



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DE
CIMENTACIONES Y ESTRUCTURAS DE
CONTENCIÓN UTILIZADAS PARA LA
REHABILITACION DE LA INFRAESTRUCTURA
DEL VIADUCTO 13 UBICADO EN EL KM 10+325
DE LA VÍA DOBLE CALZADA LAS PALMAS**

Autor(es)

JORGE LUIS HERRERA JIMENEZ

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ESCUELA AMBIENTAL
MEDELLÍN, COLOMBIA**

2021



**MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DE CIMENTACIONES Y ESTRUCTURAS DE
CONTENCIÓN UTILIZADAS PARA LA REHABILITACION DE LA
INFRAESTRUCTURA DEL VIADUCTO 13 UBICADO EN EL KM 10+325 DE LA VÍA
DOBLE CALZADA LAS PALMAS**

JORGE LUIS HERRERA JIMENEZ

Informe de práctica como requisito para optar al título de:

Ingeniero Civil

Asesor interno:

Juan Carlos Guzmán Martínez

Ingeniero civil

Asesor externo:

Mario Alberto Vásquez Morales

Ingeniero civil

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2021

RESUMEN

En Colombia, las obras de infraestructura como la rehabilitación de puentes y viaductos son de gran importancia, siendo necesario preservar los estándares de seguridad de esta infraestructura. En el siguiente informe se aborda la temática mencionada mediante la evaluación de los procesos constructivos de diferentes estructuras necesarias a la hora de la rehabilitación de los viaductos de la Vía doble calzada Las Palmas la cual es una vía con un flujo vehicular alto con un TPD (Transito Promedio Diario) de aproximadamente 12.000 vehículos al ser una de las principales entrada y salida del Valle de Aburra.

Como parte de la evaluación; fue necesario conocer normas vigentes para la construcción de estructuras de cimentación y contención como la NSR-10, así como un acompañamiento permanente en la obra mencionada y orientación por parte de ingenieros residentes y directores de obras tanto por parte de la empresa PROCOPAL S.A como por el contratante CONCESIÓN TUNEL DE ORIENTE.

El documento presenta el proceso constructivo llevado a cabo en la obra, ejecución y paso a paso de cada una de las estructuras realizadas en la rehabilitación, propuesta para el viaducto #13 de la vía doble calzada Las Palmas, el trabajo realizado pretende aportar como caso de estudio en las buenas prácticas y aspectos a considerar en la ejecución de obras de rehabilitación, que pueden implicar repercusiones y optimización en el desempeño de la infraestructura existente y prospectiva del país.

Evidenciando las ventajas que pueden obtener al analizar alternativas constructivas para así alcanzar mejores resultados y ver la importancia de las diferentes áreas que acompañan a la parte técnica.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	5
2. Objetivos	7
2.1 Objetivo general	7
2.2 Objetivos específicos	8
3. Marco teórico	8
3.1 Base granular:	10
3.2 Patología en pavimentos:	10
3.3 Vía:	11
3.4 Viaducto:	11
3.5 Proceso constructivo:	11
3.6 Anclajes:	11
3.7 Micropilotes:	11
3.8 Inyecciones de Consolidación	12
3.9 Muro de gravedad:	12
3.10 Pavimento:	12
3.11 Drenes horizontales:	12
3.12 Geodren vial (PLANAR):	12
3.13 Geotextil no tejido:	13
3.14 Geocelda:	13
3.15 Plan de manejo de tráfico (PMT):	13
4. Metodología	14
4.1 Revisión de la zona de estudio:	14
4.2 Exponer el proceso constructivo llevado a cabo la rehabilitación del viaducto de estudio:	14
4.3 Planteamiento de alternativas de procesos constructivos para así optimizar los procesos de rehabilitación de los viaductos:	15
4.4 Valoración SST (Seguridad y Salud en el Trabajo):	16
5. RESULTADOS	16
5.1 GENERALIDADES	16
5.2 ACTIVIDADES PRELIMINARES	17
5.2.1 Cerramiento y señalización	18
5.3 Movimientos de tierras	20
5.4. Método constructivo clásico de elementos perforados micropilotes, anclajes, drenes	23
5.4.1 Perforación	23

5.4.2. Micropilotes:	26
5.4.3 DRENES:.....	34
5.4.4 Anclajes:	36
5.5. Muro de contención	39
5.6. Mejora del terreno	41
5.7 Reparación de losa	45
5.8. REINSTALACIÓN DE BORDILLOS Y ENTREGA	47
5.9 Apreciación SST	47
5.8.1 Accidente en obra	53
6. ANÁLISIS	54
7. CONCLUSIONES	57
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

Ilustración 1. Viaducto V-13 PR10+335 de la Vía Las Palmas	9
Ilustración 2. Rehabilitación viaducto 13 PR 10+350 vía las palmas, calzada de ascenso, Medellín.	15
Ilustración 3. Mapa conceptual proceso constructivo general del viaducto.....	17
Ilustración 4. PMT aprobado para la intervención del viaducto por la calzada de ascenso del viaducto..	18
Ilustración 5. Cerramiento y señalización para inicio de actividades en el viaducto 13.	20
Ilustración 6. Movimientos de tierra (excavación) en el viaducto 13.....	22
Ilustración 7. Movimientos de tierra (demolición) y estructuras provisionales en el viaducto 13.	22
Ilustración 8. Propuestas para la construcción de los micropilotes en el viaducto 13.....	28
Ilustración 9. Perforación de micropilotes con BERETTA T46-S2 en el viaducto 13.....	33
Ilustración 10. Micropilotes realizados con BERETTA T46-S2 en el viaducto 13.	33
Ilustración 11. Perforación de drenes con BERETTA T-19 en el viaducto 13.....	35
Ilustración 12. Drenes realizados con BERETTA T-19 en el viaducto 13.	35
Ilustración 13. Anclajes realizados con BERETTA T-19 en el viaducto 13.	38
Ilustración 14. Tensionamiento de anclajes del viaducto 13.....	39
Ilustración 15. Muro de contención (zapata fundida y vástago próximo a fundir) realizados en el viaducto 13.....	41
Ilustración 16. Análisis granulométrico base utilizada para la mejora del terreno del viaducto 13.	42
Ilustración 17. Grafica granulométrica e intervalo de aceptación para la base utilizada en la mejora del terreno del viaducto 13.....	42
Ilustración 18. Características agregadas pétreos de la base utilizada para la mejora del terreno del viaducto 13.....	43
Ilustración 19. . Toma de densidades, para aceptación de colocación de base granular en el viaducto 13	44
Ilustración 20. Instalación de geocelda en el viaducto 13	44
Ilustración 21. Instalación de refuerzo para losa de aproximación del viaducto 13.	46
Ilustración 22. Fundición de losa de aproximación con concreto acelerado del viaducto 13.....	46
Ilustración 23. Acabado de losa de aproximación del viaducto 13.	46
Ilustración 24. Valoración de riesgos en perforación.	48
Ilustración 25. Niveles de riesgo.	48
Ilustración 26. Procedimiento SST ante contingencia mundial COVID-19.....	54
Ilustración 27. Culminación actividades por parte de la empresa PROCOPAL S.A. en el viaducto 13.	56

**MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DE CIMENTACIONES Y ESTRUCTURAS DE
CONTENCIÓN UTILIZADAS PARA LA REHABILITACION DE LA
INFRAESTRUCTURA DEL VIADUCTO 13 UBICADO EN EL KM 10+325 DE LA VÍA
DOBLE CALZADA LAS PALMAS**

1. INTRODUCCIÓN

Para obtener los recursos necesarios para la rehabilitación e intervención de la infraestructura vial, así como el mantenimiento continuo de las vías de los municipios y departamentos se debe presentar proyectos adecuados a la metodología del Departamento Nacional de Planeación (DPN), con el fin de estimar la accesibilidad de los proyectos por parte del Ministerio de Transporte. De esta manera entran a concursar en el Banco de proyectos para conseguir los recursos necesarios para dichas intervenciones, estos recursos salen en su gran mayoría de los dineros recaudados por los diferentes peajes ubicados en las mismas vías y administrados bajo respectivas concesiones.

El Instituto Nacional de Vías INVÍAS es el responsable de realizar los proyectos en las vías nacionales y en las vías terciarias a su disposición. Cabe decir, que las restauraciones deben seguir a su vez las normas técnicas del INVÍAS para la realización satisfactoria del proyecto. Esta metodología de trabajo adoptada para la rehabilitación de las vías puede visualizarse en la página Web del Departamento Nacional de Planeación DNP (página web), para la formulación de proyectos.

Para la potenciación de la infraestructura de los viaductos es necesario recurrir tanto a mejoras del terreno existente como a estructuras de contención, las más simples y económicas son aquellas

cuyo método de funcionamiento es a gravedad, ya sean gaviones, muros masivos o en voladizo, la restricción para estos suele ser en su mayoría el espacio requerido para que puedan construirse, además no funcionan para intervenir taludes que ya presentan signos avanzados de inestabilidad, sin embargo, se pueden recurrir a ellos para la mejora de los carriles de las calzadas a partir del eje, potenciar los contados de las calzadas, entre otros. Para las mejoras de los taludes por problemas de inestabilidad, suelen usarse los anclajes, puesto que dichas estructuras no ocupan mucho espacio, su método constructivo es rápido, los anclajes pueden ser pasivo o activos, estos son muy diferentes se usan de acuerdo al tipo de suelo a contener y los requerimientos por diseño, también puede mejorarse la estabilidad tratando sus problemas de infiltraciones utilizando drenes horizontales. Es posible ver micropilotes como estructura de contención en la reparación de viaductos.

La empresa PROCOPAL ha incursionado en el campo desde hace 50 años cuya área de especialidad es la pavimentación. Igualmente es una empresa versátil que realiza cualquier tipo de obras en cuyo momento se dispone a realizar la rehabilitación de estos 7 viaductos iniciales empezando de manera individual y posteriormente mantener un flujo de trabajo parcial por varios viaductos.

Actualmente la vía Doble Calzada Las Palmas es una ruta con una demanda importante, la cual posee un tránsito promedio diario de 12000 vehículos (TPD) aproximadamente según estudios realizados anteriormente, además es el conector principal entre el oriente antioqueño y el conocido Valle de Aburrá por lo cual es de vital importancia el mantener la misma en óptimas condiciones.

Para la rehabilitación de los ya anterior mencionados 7 viaductos la Concesión Túnel Oriente sub contrata a PROCOPAL que a su vez subcontrata a las empresas INGESPACIOS Y TC COSTRUCIONES con el fin de realizar de manera parcial la rehabilitación de varios viaductos.

En la función como practicante se pretende brindar el apoyo al residente para el cumplimiento de las respectivas rehabilitaciones, tales como, trazabilidad de micropilotes, cumplimientos del PMT, Inventario del material requerido en obra, análisis de cantidades reales vs cantidades contractuales y verificación del trabajo realizado por día de los viaductos 4,5,8 y 13 en los tiempos que se encuentren en operación entre otros; siendo como área de interés principal el viaducto 13, en el cual se practicará un método constructivo alternativo para los micropilotes, puesto que, las condiciones del terreno no permiten el habitual, evaluando de esta manera las diferentes alternativas presentadas para la intervención del mismo y así poder adoptar la más útil.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Implementar alternativas que permitan la optimización de los métodos constructivos para el proceso de rehabilitación del viaducto 13 ubicado en el PR 10+325 de la vía Doble Calzada Las Palmas, enfatizando en la evaluación de las diferentes opciones analizadas para la perforación de los micropilotes y comparación con el método constructivo convencional de los mismos.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar los métodos constructivos propicios de las estructuras de contención y cimentaciones necesarias para rehabilitación del viaducto.
- Realizar un comparativo entre las diferentes propuestas presentadas para los métodos constructivos de los micropilotes realizados en obra.
- Identificar los riesgos operativos que pueden presentarse en actividades de perforación tanto para los operarios como para sus ayudantes, y así determinar su posible mitigación.

3.MARCO TEÓRICO

La vía Doble Calzada Las Palmas (Medellín, Antioquia), la cual actualmente es atendida para operaciones de mantenimientos preventivos y correctivos por la Concesión Túnel Oriente en el tramo comprendido por el PR 6+400 el Chuscalito hasta el PR16+790 Sanchopaisa, esta a su vez subcontrata a la empresa PROCOPAL con el fin de realizar la rehabilitación de 7 viaductos ubicados en la calzada ascendente comprendidos en este tramo (PR 6+400; PR 16+790), los cuales con el paso del desarrollo del proyecto se le suman dos intervenciones adicionales las cuales no se contemplaron al inicio de la licitación. Esto con el propósito de realizar una potenciación que permita mejorar la estabilidad de los viaductos y posteriormente la superficie de rodadura de los viaductos.

En el Viaducto V-13, localizado en el PR10+335 de la Vía Las Palmas **Ilustración 1**, se presentan grietas longitudinales y transversales en el perímetro del viaducto, las cuales se presumen se presentaron a partir de movimientos en masa, los cuales generaron desplazamientos diferenciales entre el viaducto y el lleno adyacente.

También se encuentra un fallo en la calzada de tipo media luna de aproximadamente 1,80m de ancho por 15,00m de largo, en la zona central de la segunda luz, en sentido Sur-Norte, además se presentan asentamientos en diferentes partes del viaducto y secciones que presentan “piel de cocodrilo”.

El principal objetivo es describir el detalle en el proceso constructivo de algunas estructuras de contención y cimentaciones necesarias para la rehabilitación del viaducto #13 de la vía doble calzada de las palmas.



Ilustración 1. Viaducto V-13 PR10+335 de la Vía Las Palmas

Para tener un correcto desarrollo de un proyecto de infraestructura vial, hoy en día se cuenta con guías que sirven como apoyo para la formulación de proyectos de inversión pública, e incluso para su debida realización, proporcionados por las respectivas gobernaciones de las zonas en donde se realizan las intervenciones.

Para determinar una correcta formulación de proyecto es necesario identificar las dimensiones del problema, tener propuestas técnicas que ayuden a solucionarlo, así como debido costo y cronograma del mismo.

Por otro lado, un proceso constructivo es aquel conjunto de actividades organizadas en un tiempo determinado, que son necesarias para la correcta ejecución de un proyecto en nuestro caso un proyecto de infraestructura vial.

Las descripciones técnicas, los diseño y los análisis de precios unitarios (APU) son los pilares fundamentales para el buen desarrollo de un proyecto, puesto que con estos implícitamente se incluyen ítem o literales de gran importancia como rendimientos de actividades, costos de materiales, mano de obra, maquinaria entre otros. (Departamento Nacional de Planeación, subdirección territorial y de inversión pública, 2017). A continuación, se describen los conceptos principales inmersos en las obras de rehabilitación de infraestructura vial:

3.1 Base granular: Es la capa principal de la estructura de pavimento, ubicada entre la subrasante o la sub base y la carpeta asfáltica según sea el caso. Tiene como objetivo distribuir las fuerzas generadas por las cargas a través de la subrasante. (Instituto de desarrollo urbano, 2013).

3.2 Patología en pavimentos: Los pavimentos pueden presentar diferentes patologías, ya sea por cargas externas, movimientos por cambios de temperatura, asentamientos diferenciales de las estructuras de cimentación, empuje en los terraplenes, fallas geológicas, diseños constructivos obsoletos. Entre ellas podemos observar la pérdida de alineamiento vertical, las grietas y las fisuras. Todos esto puede generar aberturas en superficie, en profundidad, asentamientos etc.

3.3 Vía: Es una infraestructura utilizada para el transporte cuya finalidad es permitir el tránsito de vehículos, con niveles de seguridad y de comodidad óptimos. Se puede constituir por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación y uno o varios carriles en cada sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la función a la cual estará expuesta. (INVIAS, 2015).

3.4 Viaducto: Es una obra a manera de puente, para el paso de una vía o camino sobre una hondonada.

3.5 Proceso constructivo: Es el conjunto de fases, consecutivas en el tiempo que son necesarias para realizar un proyecto de infraestructura. (Departamento Nacional de Planeación, 2015).

3.6 Anclajes: Son elementos con el fin de presentar contención lateral en el talud, se realizaba de tal forma que se presente un método de contención a profundidad que trabaja como soporte y sujeción en este caso ayuda a mejorar el talud existente. (CONSTRÚMATICA, 2018).

3.7 Micropilotes: Es un sistema de construcción relativamente nuevo el cual trabaja ya sea como contención o cimentación, está compuesto por un refuerzo de acero y una fundición de concreto a través de una perforación previamente realizada, para disminuir asentamientos, potenciar estructuras, mejorar terrenos entre otros. (Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera, 2001).

3.8 Inyecciones de Consolidación: Es un mejoramiento de suelo en el cual se inyecta lechada a una presión, este también es conocido como micropilote inyectado, mejorar las características del suelo existente, también ayudara a que disminuya el asentamiento de estructuras que puedan ser sobrepuestas en el, reduce las fisuras longitudinales y la infiltración, es un proceso similar al del anclaje, pero en superficie.

3.9 Muro de gravedad: Es una estructura de contención la cual da estabilidad a un talud conteniendo las fuerzas activas a partir de su peso propio. (CONSTRÚMATICA, 2018).

3.10 Pavimento: Es una estructura vial compuesta por un conjunto de capas de material seleccionado, su función es recibir en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento óptima para el desplazamiento de automotores. (Luna, 2017).

3.11 Drenes horizontales: Sirve para la captación, transporte y evacuación de aguas infiltradas, para abatimiento del nivel freático y disminución de presión de poros en los taludes.

3.12 Geodren vial (PLANAR): El geodrén vial (planar) tiene como función la captación, conducción y evacuación de fluidos, es de la categoría de los geotextiles no tejidos, está hecho de un polietileno de alta densidad (HDPE). Este tiene como finalidad la filtración de líquidos a su vez reteniendo material granulado de suelo permitiendo así el paso de los fluidos, es utilizado en los sistemas de drenaje tradicionales o filtro francés. (COVECO.)

3.13 Geotextil no tejido: El Geotextil No Tejido son fibras o filamentos entrelazados de polipropileno virgen, mediante un proceso de punzonado por agujas, se forma una tela la cual tiene propiedades eficientes para la infiltración sirviendo así para drenaje, son utilizados en diferentes campos de la ingeniería civil para la solución de problemas hidráulicos. (PAVCO.)

3.14 Geocelda: Son estructuras en forma de celda tipo panal plana con la capacidad de confinar material granular, esta tiene capacidades de elongación considerables y a su vez distribuye las cargas aplicadas encima de ella de una manera más eficiente. (TEX DELTA.)

3.15 Plan de manejo de tráfico (PMT): Es una alternativa que se presenta ante una intervención vial con el fin de brindar un ambiente seguro, ordenado y ágil para cualquier agente vial (peatones, ciclistas, conductores, etc..). El PMT aprobado para el proyecto debe ser seguido en todo momento al pie de la letra para evitar sanciones sobre el mismo. (INVIAS, 2013).

Por otro lado, es necesario comprender que para el cumplimiento eficiente de proyectos viales es necesario tener conocimiento constante de los valores reales y contractuales de los diferentes ítems de una actividad correspondiente, se debe tener claro las especificaciones técnicas junto con los modelos de análisis de precios unitarios (APU) puesto que son bases fundamentales para el desarrollo de un proyecto. A Partir de estos podemos mantener el orden de controles importantes, como los rendimientos de las actividades, los costos de los materiales, la mano de obra y la maquinaria que se debe usar para la ejecución en las diferentes actividades. (Departamento Nacional de Planeación, subdirección territorial y de inversión pública, 2017).

4. METODOLOGÍA

4.1 Revisión de la zona de estudio: Se realiza una comparación con respecto a la información obtenida de los planos del diseño, especificación y proceso constructivo de la rehabilitación del viaducto 13 ubicado en el PR10+35 de la vía doble calzada las Palmas departamento de Antioquía Para tener el respectivo conocimiento acerca de la intervención a realizar en el proceso de prácticas es necesario conocer tanto la información real como la información obtenida a partir de las visitas de campo. Es necesario determinar una documentación técnica, que contenga especificaciones, ficha técnica, proceso constructivo, planos, cronograma de actividades, entre otros.

4.2 Exponer el proceso constructivo llevado a cabo en la rehabilitación del viaducto de estudio: A partir de la rehabilitación se van a conocer métodos constructivos de diferentes estructuras de cimentación y contención como anclajes, muros de contención, drenes y micropilotes **Ilustración 2**, para estos últimos se presentaran varias alternativas constructivas por las condiciones de diseños presentadas en el viaducto.

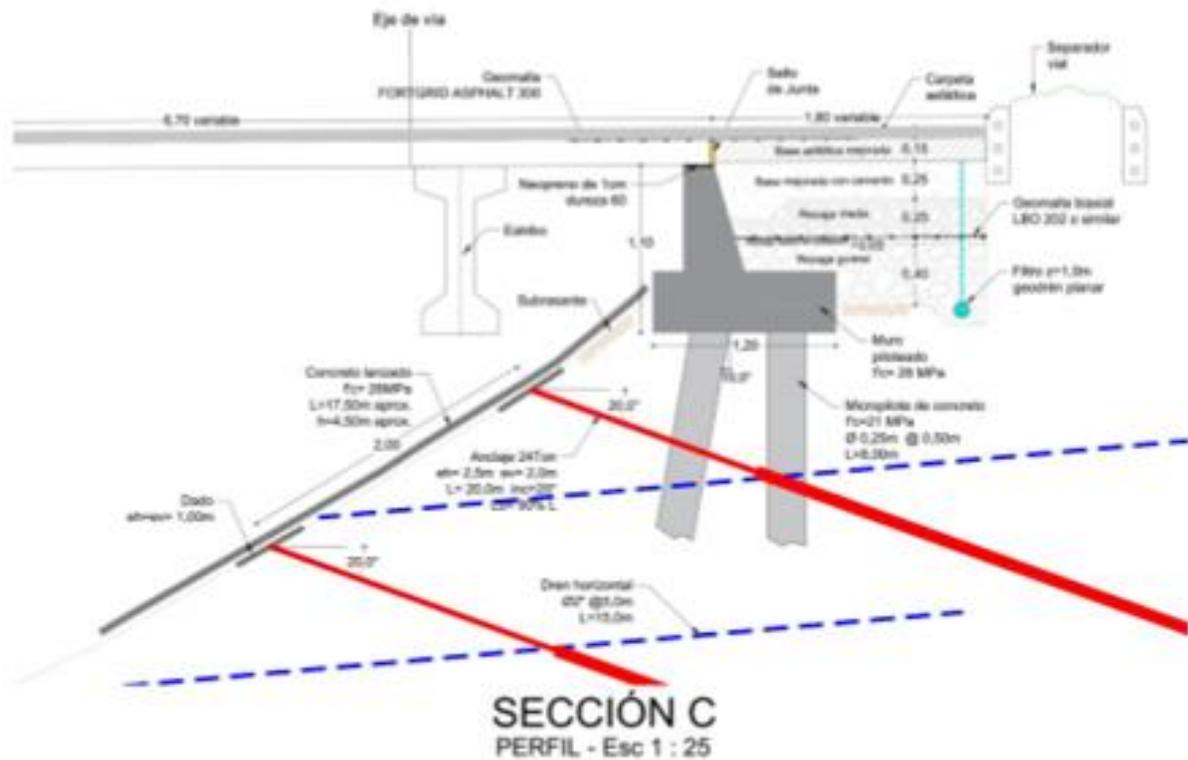


Ilustración 2. Rehabilitación viaducto 13 PR 10+350 vía las palmas, calzada de ascenso, Medellín.

4.3 Planteamiento de alternativas de procesos constructivos para así optimizar los procesos de rehabilitación de los viaductos: A medida que se fueron ejecutando las actividades en los viaductos anteriores y en el mismo de estudio, se pudieron determinar optimizaciones en las actividades, como parte de complementación de programación en los procesos constructivos utilizados o sustracción de los mismos, estas presentaban modificaciones en las actividades, que una vez ejecutadas se estableciera una propuesta de mejora para actividades siguientes. Se realiza una apreciación ante los ingenieros residentes y auxiliares con el fin de que la ejecución de las mismas quede bajo su criterio.

4.4 Valoración SST (Seguridad y Salud en el Trabajo): En el transcurso del proyecto se van presentando incidentes y accidentes los cuales deben ser evaluados para así determinar medidas de mitigación y contención a los mismos para evitar posibles replicas en el futuro.

5. RESULTADOS

La rehabilitación del viaducto 13 ubicado en el PR 10+325 de la vía Doble Calzada Las Palmas entre los municipios de Medellín y Envigado, comprende la construcción de diferentes estructuras de contención y cimentación como muros de contención, anclajes, drenes y micropilotes, estas estructuras deben ser realizadas bajo los márgenes constructivas de la NSR-10 y especificaciones técnicas proporcionadas por el INVIAS, se evidenciará el paso a paso de cada una de estas estructuras y así mismo el proceso constructivo general del mismo viaducto.

5.1 GENERALIDADES

La vía Doble Calzada Las Palmas al ser una de las más transitadas de la ciudad con una enorme cantidad de vehículos pesados transitando diariamente sobre ella y siendo una de las entradas y salidas al Oriente cercano Antioqueño se ve en la necesidad de cumplir con estándares de calidad para el tránsito de los mismos que proporcionen las condiciones idóneas para sus actores viales.

Para la elaboración de esto se aplicaron una serie de intervenciones, las cuales se presentan en la **Ilustración 3** dando un panorama global de las intervenciones.

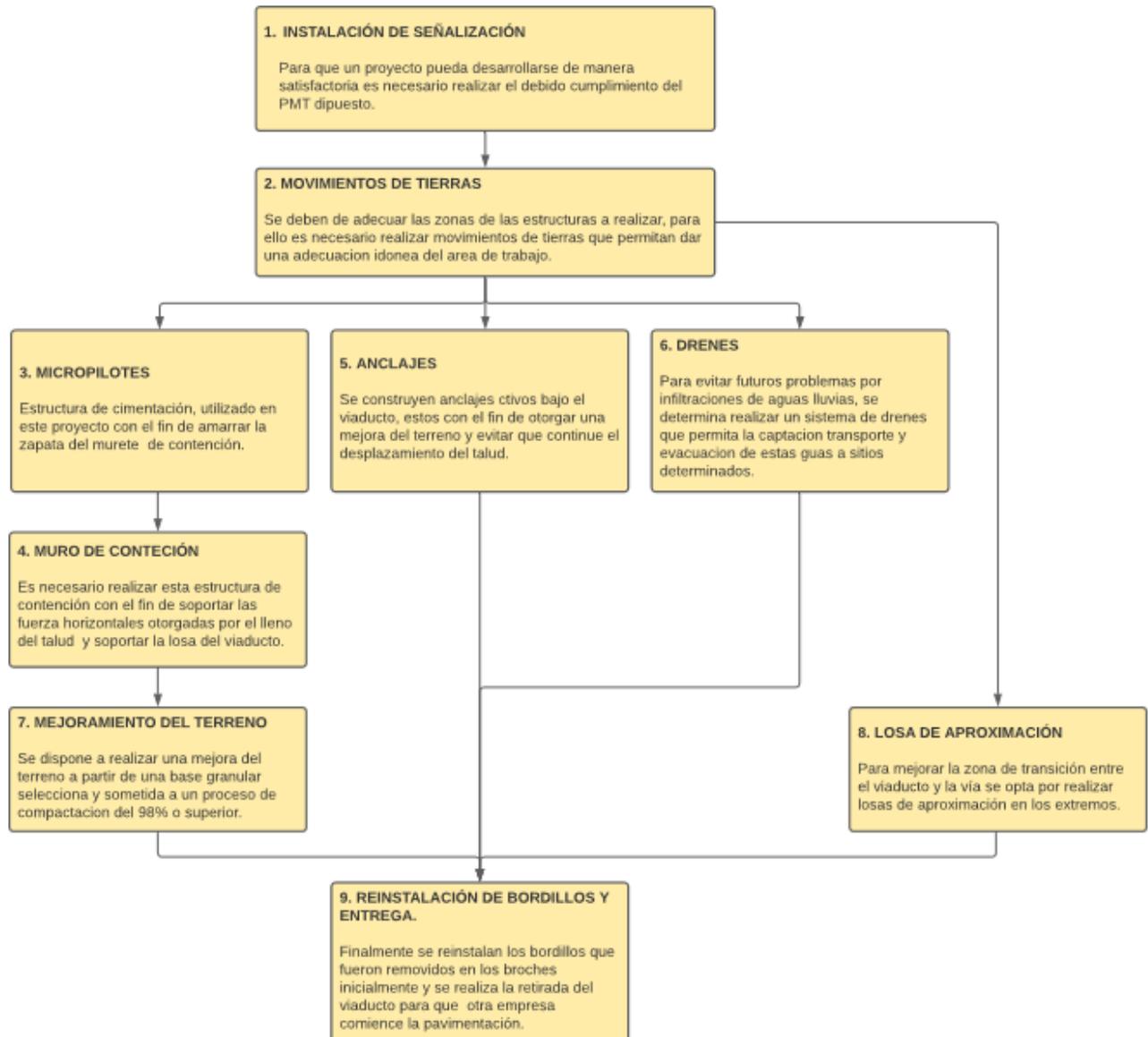


Ilustración 3. Mapa conceptual proceso constructivo general del viaducto.

5.2 ACTIVIDADES PRELIMINARES

Se debe considerar todas aquellas actividades necesarias para iniciar la ejecución de la obra civil, entre ellas se encuentran: localización y replanteo, cerramientos y señalización, demolición y remoción, excavación y desalajo de material.

5.2.1 Cerramiento y señalización

Con el fin de aislar el lugar de trabajo de las zonas aledañas, se implementan cerramientos provisionales, los cuales se deben realizar con una altura mínima de 2,1 m. Además, se brindará paso para el tránsito de vehículos y peatones con los elementos necesarios que garanticen el aislamiento y seguridad durante las obras. En el proyecto fue indispensable el mantener la integridad y el flujo normal de los ciclistas lo cual fue un reto puesto que se debía cumplir con un PMT el cual comprendía un cierre total **Ilustración 4**, pero dejando un carril exclusivo para estos actores viales.

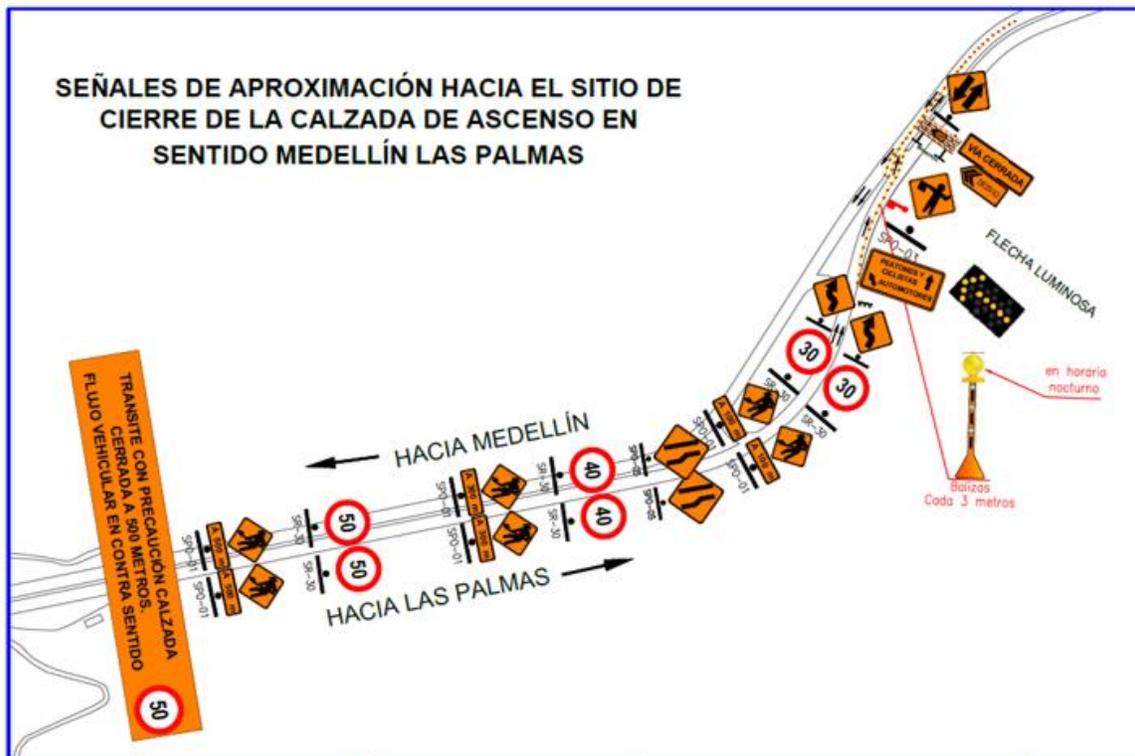


Ilustración 4. PMT aprobado para la intervención del viaducto por la calzada de ascenso del viaducto.

El cerramiento y señalización del viaducto fue dispuesto de la siguiente manera. Se instaló a distancias de 50 metros entre cada una de ellas las señales verticales correspondientes al PMT aceptado para el proyecto después de esto se procedió a realizar los broches de desvío para generar un flujo bidireccional por la calzada de descenso el cual fue posible realizarlo con 90 maletines, 20 flashes, 3 barricadas y el debido cerramiento con madera y tela de sarán, esto con el fin de realizar un cierre total en la calzada de ascenso y su respectivo cerramiento de seguridad, sin embargo se dejó un carril en el costado derecho de 2m para la exclusividad de los ciclistas, finalmente para mantener el control de la circulación y prevención de cualquier incidente vial se contó con 2 auxiliares de tránsito certificados encargados de la entrada y salida de maquinaria y material necesario para el proyecto así como el flujo seguro de los diferentes actores viales presentes en la doble calzada intervenida **Ilustración 5**. A continuación, se presenta el procedimiento y etapas del cerramiento y señalización descrita.

Paso a paso:

1. Conocer las normas referentes al manejo de espacios públicos de la región.
2. Plantear alternativas de tránsito según el PMT.
3. Plantear y disponer de alternativas para el tránsito peatonal.
4. Instalación de señalización según PMT.
5. Colocación de maletines generadores de flujo bidireccional.
6. Instalación de barricadas y elementos de desvío.
7. Ubicar los postes en madera de altura mínima 2,1m y con un espaciamiento según especificaciones técnicas.
8. Colocación de tela de sarán.
9. Indispensable mantener 2 auxiliares de tránsito en todo momento.



Ilustración 5. Cerramiento y señalización para inicio de actividades en el viaducto 13.

5.3 Movimientos de tierras

Para el desarrollo de la rehabilitación del viaducto es necesario acondicionar el terreno según sea necesario, lo cual hace indispensable el recurrir a movimientos de tierras (excavaciones)

Ilustración 6 , demoliciones y estructuras provisionales **Ilustración 7** que permitan realizar las estructuras deseadas.

Según el criterio del diseñador estos espesores de excavaciones y puntos de demolición pueden variar según lo determine la actividad a realizar y el tipo de suelo presente. El material dispuesto de este literal debe ser retirado, transportado y depositado en la planta de la empresa la cual está ubicada en el municipio de Girardota de la manera correcta evitando incidentes ambientales que puedan poner en peligro la obra, la obra debe contar con la maquinaria y herramienta necesaria para llevar a cabo esta actividad en este caso se utilizó una retroexcavadora de referencia HYUNDAI 180, una maquina muy versátil capaz de realizar tanto actividades de excavación como de demolición. A continuación, se presenta el procedimiento para los movimientos de tierras.

Paso a paso:

1. Estudios de suelos, que permitan la clasificación de mantos presentes en el viaducto.
2. Delimitar áreas o puntos de trabajo según sea el caso por el equipo topográfico.
3. Realizar descapote y limpieza si es necesario.
4. Realizar excavación o demolición con RETRO HYUNDAI 180.
5. **IMPORTANTE** tener precaución con obras de drenaje e hidrosanitarias existentes en el subsuelo del terreno.
6. Realizar sistemas provisionales de contención como entibados en caso de ser necesarios durante las excavaciones.
7. Retirar materiales consecuentes a la actividad.
8. Cargue y transporte de material desde el Viaducto V-13, localizado en el PR10+335 de la Vía Las Palmas hasta el deposito autorizado en la planta de la empresa ubicado en el municipio Girardota.
9. limpieza final del área para inicios de actividades.



Ilustración 6. Movimientos de tierra (excavación) en el viaducto 13.



Ilustración 7. Movimientos de tierra (demolición) y estructuras provisionales en el viaducto 13.

5.4. Método constructivo clásico de elementos perforados micropilotes, anclajes, drenes.

Los elementos perforados son aquellos que previamente a su construcción son necesario realizar perforaciones como adecuación del mismo, como lo son los micropilotes, anclajes y drenes entre otros, estas perforaciones se pueden realizar parcialmente teniendo en cuenta que se debe tener la maquinaria necesaria para estos y para poder realizarlos de una manera parcial, los procesos constructivos de estos elementos son similares por así decirlo y se podrían resumir en:

Para la construcción de un micropilote o un anclaje es necesario recurrir a los siguientes pasos:

- Perforación del micropilote, drenes o anclaje.
- Instalación de la armadura.
- Inyección del micropilote o anclaje.
- En el caso de los anclajes activos, se realiza un paso final que consta de un tensionamiento.

5.4.1 Perforación

Para la realización de estructuras de contención o cimentación como estas, la primera actividad que debe hacer es la perforación, para que esta pueda ejecutarse de la mejor manera de vital importancia tener estudios de suelos que permitan conocer el tipo de este y así poder determinar: el tipo de perforación que se ha de utilizar ya sea rotación, roto-percusión, herramienta ideal para la maquinaria y sistema en el cual trabajara sea en seco, con agua o con aire.

5.4.1.1 Sistemas de perforación

Según el resultado arrojado por el estudio de suelos realizado se escogerá el sistema de perforación menos dañino para este, que permita realizar un trabajo más limpio (menos destrucción del terreno existente) para poder realizar de manera más cómoda las actividades siguientes como armadura y demás, este sistema puede ser en seco, con agua, o con aire.

- i. Seco: Se utiliza en suelos blandos donde dependiendo el cabezal adecuado para la maquinaria sea fácil evacuar la carga perforada.
- ii. Agua: Se utiliza cuando se presentan terrenos rocosos y es necesario recurrir a la roto percusión, en este caso se anula el compresor y se le adecua una moto bomba, el cabezal de la maquinaria también varía.
- iii. Aire: Es el sistema más destructivo perfora a través de grandes presiones de aires inyectadas por el cabezal adecuada, para el desarrollo del proyecto no fue utilizado esta variante.

5.4.1.2. Encamisado

Es necesario conocer el efecto del agua en el tipo de suelo para así determinar si es necesario realizar un encamisado en el proceso de perforación y de ser así buscar el más indicado ya sea metálico que es un encamisado que se puede recuperar o de polímero que no sea recuperable estos elementos son necesarios en suelos no cohesivos. Cuando se trata de suelos blandos se recurre a entubaciones provisionales, pero si se conoce de cavernas subterráneas o lagunas en la zona de perforación se debe realizar una entubación permanente.

5.4.1.3. Ejecución de perforación.

Según la Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera del Ministerio de fomento (2005) (P.61), se determina que los sistemas de perforación son:

- i. Perforación a rotación: Provoca rotura de terreno o perfora cimentaciones preexistentes por la fricción generada en el martillo de perforación, es recomendable para perforar cimentaciones preexistentes puesto que genera menores vibraciones que la roto percusión siendo así menos destructiva.
- ii. Perforación ha roto percusión: consiste en provocar golpes repetitivos a la vez que va rotando para así generar la trituración de los materiales a perforar, por fricción y percusión de manera simultánea, esta resulta ser más agresiva y es ideal para suelos rocosos.

5.4.1.4. Cabezales empleados para la perforación:

- i. Mano de ángel: Este cabezal es usado para perforar en suelo blando o suelos de consistencia dura, pero sin contenido de roca, se puede utilizar bajo sistemas de perforación con agua o aire.
- ii. Martillo de fondo: Este martillo realiza la perforación en la roca y suelos muy duros por roto-percusión, rota y golpea el suelo para así ir penetrando. Solo se puede emplear con aire a presión.
- iii. Auger: O tornillo sin fin este tiene una forma de espiral, este solo se puede utilizar en suelos blandos rotar se va introduciendo en el suelo y va sacando el material en ascenso a través de él, al salir de la perforación, no requiere es necesario inyectar agua para el

trabajo de este, pero si se desea un trabajo más limpio se puede agregar agua a gravedad para ello esta humectará el suelo y permitirá mejor cohesión entre los actuantes.

5.4.1.5. Maquinaria de Perforación.

La maquinaria empleada para perforaciones puede ser de dos tipos según la necesidad:

- i. En terrenos horizontales: Son utilizadas las perforadoras de oruga capaces de desplazarse al sitio marcado a través de su sistema móvil y realizar el trabajo en superficie.
- ii. En taludes: Cuando se trata de perforaciones en taludes se utilizan perforadoras colgantes que consisten en brazos de perforación los cuales se suspenden en el talud y perforan los puntos marcados, son desplazadas a con la ayuda de los operarios y poleas o con ayuda de otra maquinaria como retro y demás.

5.4.2. Micropilotes:

Es un sistema relativamente nuevo, con una gran variedad de usos y el cual presenta una gran practicidad debido a su rapidez constructiva y a sus diferentes aplicaciones, las aplicaciones más frecuentes de los micropilotes son:

- Estructuras de cimentación: Es su uso más común, puede servir en obras nuevas, reparación, repotenciación etc. Se pueden trabajar como sistemas de cimentaciones combinados, se pueden presentar en lugares donde sea de difíciles accesos constructivos para otras estructuras.
- Estructuras de contención: Para estabilización de masas de tierras en construcciones donde se deban realizar cortes se utilizan sistemas combinados de grupos de micropilotes

con vigas de amarre estos presentarían diferentes inclinaciones, así se podrán disminuir tanto los esfuerzos cortantes y momentos flectores.

- Estabilización de taludes o laderas: Igual que lo anterior, se utilizan sistemas combinados de grupos de micropilotes con vigas de amarre son muy utilizados en la estabilización de taludes cuando se realizarán cortes.
- Mejora del terreno: se utilizan cuando los suelos en donde se realizarán los proyectos no cumplen las condiciones requeridas lo que se busca es mejorar su capacidad de soporte, para así poder cumplir requerimientos según lo pida la NSR10. Para estas mejoras de terreno es recomendado micropilotes inyectados (o también conocidos como inyecciones de consolidación) pues estas generan bulbos en el terreno dando los incrementos necesarios para realizar los trabajos solicitados.

Para de un proceso de compactación del suelo existente a partir de micropilotes se debe analizar varias alternativas constructivas **Ilustración 8** puesto que el no considerar los diferentes factores como cumplimiento del PMT, desconfinamiento de la calzada de descenso, entre otros pueden presentar problemas mayores en el caso de escoger un método constructivo sin ser analizado.

Al inicio del proyecto se planteó realizar dos líneas de micropilotes, en los extremos serían vaciados por gravedad y en el centro vaciado por inyección, sin embargo, a medida que se realizaron las excavaciones se determinó el cambiar estos últimos y realizarlos todos por vaciado de gravedad.

Se realizarían de la siguiente manera, la línea B (más cercana al pasador central) presentaría inclinación de 0° mientras la línea A (más cercana al eje de la calzada) presentaría una inclinación

de 10°, sin embargo, esta inclinación y el espacio con el que se contaba de la excavación no permitía el ingreso de la perforadora que en este caso era una perforadora de horizontal de orugas BERETTA T46-S2 de dimensiones 2,30m de ancho con el brazo en la posición necesaria y comandos ubicados por 3,50m de largo para una excavación de 1,80m de ancho. Para la construcción de estos se analizaron 3 tipos de métodos constructivos que al final presentarían la misma calidad requerida del micropilote y cumplieren con lo que se tenía en campo. A continuación, se presentan las propuestas para los métodos constructivos de los micropilote.

PROPUESTA I	PROPUESTA II	PROPUESTRA III
PASO A PASO	PASO A PASO	PASO A PASO
<ol style="list-style-type: none"> 1. Replanteamiento del PMT de total a parcial. 2. Proyección de micropilotes a superficie. 3. Comisión de topografía, para localización y replanteo de las actividades. En coordenadas. 4. Ubicación de maquinaria. 5. Perforación de micropilotes en puntos marcados. 6. Inserción de refuerzo en espiral. (Espiral longitudinal de varilla #3 amarrada a 4 varillas longitudinales #4 para cumplir el refuerzo solicitado) 7. Vaciado de concreto por gravedad según diseñador. (28Mpa) 8. Excavación en material heterogéneo en cualquier grado de humedad 9. Demolición de cualquier tipo de concreto simple o reforzado, Incluye disposición del material resultante, además de toda herramienta menor, equipo y personal necesario 10. Limpieza. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Excavación en material heterogeneo en cualquier grado de humedad 2. Demolición de cualquier tipo de concreto simple o reforzado, Incluye disposición del material resultante, además de toda herramienta menor, equipo y personal necesario 3. Construcción de solado provisional. 4. Comisión de topografía, para localización y replanteo de las actividades. En coordenadas. 5. Instalación de viga provisional para soporte del brazo. 6. Ubicación de maquinaria. 7. Perforación de micropilotes en puntos marcados. 8. Inserción de refuerzo en espiral. (Espiral longitudinal de varilla #3 amarrada a 4 varillas longitudinales #4 para cumplir el refuerzo solicitado) 9. Vaciado de concreto por gravedad según diseñador. (28Mpa) 10. Limpieza. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Replanteamiento del PMT de total a parcial. 2. Excavación en material heterogeneo en cualquier grado de humedad 3. Demolición de cualquier tipo de concreto simple o reforzado, Incluye disposición del material resultante, además de toda herramienta menor, equipo y personal necesario 4. Demolición separadora central para general ancho necesario para la maquina T46-S2 5. Construcción de solado provisional. 6. Comisión de topografía, para localización y replanteo de las actividades. En coordenadas. 7. Ubicación de maquinaria dentro de la excavación 8. Perforación de micropilotes en puntos marcados. 9. Inserción de refuerzo en espiral. (Espiral longitudinal de varilla #3 amarrada a 4 varillas longitudinales #4 para cumplir el refuerzo solicitado) 10. Vaciado de concreto por gravedad según diseñador. (28Mpa) 11. Limpieza.

Ilustración 8. Propuestas para la construcción de los micropilotes en el viaducto 13.

PROPUESTA I

Paso a paso:

1. Planteamiento del nuevo PMT de total a parcial.
2. Proyección de micropilotes a superficie.
3. Comisión de topografía, para localización y replanteo de las actividades.
4. Ubicación de maquinaria.
5. Perforación de micropilotes en puntos marcados.
6. Inserción de refuerzo en espiral. (Espiral longitudinal de varilla #3) y refuerzo longitudinal (4 varillas longitudinales #4 para cumplir el refuerzo solicitado).
7. Vaciado de concreto por gravedad según diseñador. (28Mpa)
8. Excavación en material heterogéneo en cualquier grado de humedad
9. Demolición de cualquier tipo de concreto simple o reforzado, Incluye disposición del material resultante, además de toda herramienta menor, equipo y personal necesario.
10. Limpieza.

PROPUESTA II

Paso a paso:

1. Excavación en material heterogéneo en cualquier grado de humedad.
2. Demolición de cualquier tipo de concreto simple o reforzado, incluye disposición del material resultante, además de toda herramienta menor, equipo y personal necesario.
3. Construcción de solado provisional.
4. Comisión de topografía, para localización y replanteo de las actividades en coordenadas.
5. Instalación de viga provisional para soporte del brazo.

6. Ubicación de maquinaria.
7. Perforación de micropilotes en puntos marcados.
8. Inserción de refuerzo en espiral. (Espiral longitudinal de varilla #3) y refuerzo longitudinal (4 varillas longitudinales #4 para cumplir el refuerzo solicitado).
9. Vaciado de concreto por gravedad según diseñador. (28Mpa).
10. Limpieza.

PROPUESTA III

Paso a paso:

1. Planteamiento del nuevo PMT de total a parcial.
2. Excavación en material heterogéneo en cualquier grado de humedad.
3. Demolición de cualquier tipo de concreto simple o reforzado, Incluye disposición del material resultante, además de toda herramienta menor, equipo y personal necesario.
4. Demolición separadora central para general ancho necesario para la maquina T46-S2
5. Construcción de solado provisional.
6. Comisión de topografía, para localización y replanteo de las actividades en coordenadas.
7. Ubicación de maquinaria dentro de la excavación.
8. Perforación de micropilotes en puntos marcados.
9. Inserción de refuerzo en espiral. (Espiral longitudinal de varilla #3) y refuerzo longitudinal (4 varillas longitudinales #4 para cumplir el refuerzo solicitado).
10. Vaciado de concreto por gravedad según diseñador. (28Mpa).
11. Limpieza.

Finalmente, la propuesta con la que se decidió realizar la actividad fue la PROPUESTA II puesto que la propuesta 1 intervenía con el PMT aprobado lo cual no era factible y también presentaba un gasto significativo de concreto lo cual no era de considerar, por otra parte, la propuesta 3 al demoler el separador central y tener frecuentes vibraciones por el paso de volquetas en la calzada podría generar un des confinamiento en la calzada de descenso y generar el fallo de esta. Por esto se determinó realizarse con la propuesta II .

Al realizar la excavación se encontraron un primer manto orgánico de 20cm y un terreno limo arcillo, también se evidencian los asentamientos diferenciales en el muro los cuales comprobaban los hundimientos presentados en la calzada y por los cuales se realizó la rehabilitación presente, se procede con la demolición del muro. La comisión topográfica marca los respectivos puntos en los cuales se realizarán las líneas A y B de micropilotes y se da inicio a las perforaciones **Ilustración 9**. Los micropilotes deben realizarse de 8,00m en profundidad y 30cm en superficie con el fin de empotrarse en la viga del muro de contención realizando así un sistema combinado que permita que el muro no se vuelva a asentar como anteriormente lo hizo. Cada micropilote consta de una perforación de 8 metros, se inicia perforando el terreno arcilloso con tornillo sin fin o “auger” con inyecciones de agua intermitentes los primeros 50cm, posterior a esto se pasa a perforar con martillo de fondo con sistema de agua hasta lograr la profundidad requerida puesto que se encuentra con material rocoso, luego a este se le inserta un refuerzo en espiral longitudinalmente de varilla #3 amarrada a 4 varillas longitudinales #4 para cumplir el refuerzo solicitado, y finalmente es vaciado por gravedad con concreto de 28 Mpa resistencia que ha sido dada por el diseñador el viaducto necesito de 108 micropilotes es decir 54 por línea cada uno de 20 cm de diámetro por 8m

de profundidad a una separación de 1m entre micropilote a lo largo del viaducto y 0,5m entre las líneas A y B **Ilustración 10.**

Paso a paso:

PROPUESTA II

1. Excavación en material heterogéneo en cualquier grado de humedad.
2. Demolición de cualquier tipo de concreto simple o reforzado, Incluye disposición del material resultante, además de toda herramienta menor, equipo y personal necesario.
3. Construcción de solado provisional.
4. Comisión de topografía, para localización y replanteo de las actividades en coordenadas.
5. Instalación de viga provisional para soporte del brazo.
6. Ubicación de maquinaria.
7. Perforación de micropilotes en puntos marcados.
8. Inserción de refuerzo en espiral. (Espiral longitudinal de varilla #3) y refuerzo longitudinal (4 varillas longitudinales #4 para cumplir el refuerzo solicitado).
9. Vaciado de concreto por gravedad según diseñador. (28Mpa).
10. Limpieza.



Ilustración 9. Perforación de micropilotes con BERETTA T46-S2 en el viaducto 13



Ilustración 10. Micropilotes realizados con BERETTA T46-S2 en el viaducto 13.

5.4.3 DRENES:

Los drenes siendo estructuras perforadas las cuales tienen como función el captar, transportar y evacuar infiltraciones de aguas para nuestro caso N.F del talud.

Este terreno presenta unas vaguadas al frente de la vía la cual aporta bastantes aguas por infiltración lo que mantiene muy humedad la zona lo cual genera esas deformaciones en el sector del viaducto, para mitigar estas condiciones además de las fuertes lluvias que puedan presentarse se determina realizar 10 drenes horizontales de 30m de profundidad por debajo del viaducto, los drenes constan de una tubería de PVC de 2" de diámetro con ranuras realizadas con cortadora a 45° y envuelta con geotextil para generar un sistema de captación, transporte y evacuación de fluidos de la siguiente manera estos son introducidos en las perforaciones realizados por la maquina BERETTA T-19 que es una perforadora de tipo colgante **Ilustración 11** y una vez instalado se procede a darle un mejor acabado para así dar por terminada esta actividad. A continuación, se presenta el proceso constructivo de los drenes realizados.

Paso a paso:

1. Limpieza y adecuación del viaducto por debajo.
2. Comisión de topografía, para localización y replanteo de las actividades. En coordenadas.
3. Ubicación de maquinaria colgante T-19.
4. Amarre de maquinaria generar estabilidad en la misma.
5. Perforación de drenes en puntos marcados.
6. Encamisado provisional.

7. Inserción de tubería previamente adecuada.

8. Corte de dren sobresalido.

9. Limpieza.



Ilustración 11. Perforación de drenes con BERETTA T-19 en el viaducto 13.



Ilustración 12. Drenes realizados con BERETTA T-19 en el viaducto 13.

5.4.4 Anclajes:

Estos elementos se realizan con la finalidad de brindar estabilizaciones en taludes, presentan una practicidad por el poco espacio que ocupan y por la diversidad que presenta la resistencia con respecto a su grado de inclinación.

Los anclajes pueden clasificarse en activos o pasivos para los diseños del proyecto se trabajarán con anclajes activos que es aquel al cual se les realiza un tensionamiento después de su realización. (Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno del ministerio de fomento (2001), (P.11)).

Similar a los drenes en el anclaje se debe iniciar una vez ubicada la maquinaria colgante BERETTA T-19 **Ilustración 13**, se procede a la inserción de los tirantes y el revestimiento del mismo para posteriormente realizar la inyección y se construye el dado de protección de este y poder realizar el paso más importante de un anclaje activo que es su tensado **Ilustración 14**, después de culminar la inyección se construye el dado del anclaje, para así poder realizar el tensionamiento respectivo de los cables esto garantiza la estabilidad del talud, este tensionamiento varía dependiendo las condiciones del diseño 3 torones por anclajes con un tensados a 24 toneladas.

Es necesario realizar este proceso por personal capacitado del sub contratista TERRACEO, puesto que un mal tensionamiento podría generar daños en el anclaje o en el dado del anclaje que puedan presentar peligro en la estabilización del talud.

La Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno del ministerio de fomento (2001), (P.11) recomienda que el dado no debe soportar cargas nominales concentradas, distorsiones angulares superiores a $1/750$. A continuación, se presenta el proceso constructivo de los anclajes realizados.

Paso a paso:

1. Fabricación, transporte y almacenamiento de los tirantes.
2. Ubicación y adecuación de la maquinaria (T-19).
3. Perforación.
4. Encamisado.
5. Instalación de la armadura.
6. Inyección del anclaje.
7. Construcción de dado de protección.
8. Tensado del anclaje (solo para anclajes activos).



Ilustración 13. Anclajes realizados con BERETTA T-19 en el viaducto 13.



Ilustración 14. Tensionamiento de anclajes del viaducto 13.

5.5. Muro de contención

Son elementos constructivos que cumplen la función de soportar esfuerzos horizontales producidos por empujes de suelos generados por diversas fuentes ya sean deslizamientos, cargas externas, etc. También pueden ser utilizados como contención de líquidos depósitos, en teoría las represas son muros de gravedad de dimensiones colosales con el fin de aprovechar el agua de los ríos que represan.

Los muros de contención soportan tanto empujes horizontales generados por el terreno que contienen como también esfuerzos verticales transmitidos por pilares o paredes de cargas que suelen apoyarse en ellos, en el caso de las vías soportan las cargas de los vehículos que diariamente transitan sobre ellas.

En el proyecto fue utilizado como un sistema combinado entre el muro de contención y los micropilotes tanto los de inclinación de 0° como los de 10° , los cuales se empotraban en la viga o zapata del muro 30 cm con el fin de que el elemento funcione como uno solo **Ilustración 15**, aumentando así las condiciones del mismo y evitando los asentamientos diferenciales de este a futuro, para la construcción de este se utilizó concreto con resistencia acelerada que permitía obtener la resistencia de 7 días en 3 días para poder realizar los ensayos de resistencia y que las fundiciones del vástago y la zapata concordasen en los tiempos el proceso constructivo utilizado del muro de contención fue el siguiente:

Paso a paso:

1. Se realiza el replanteo.
2. Se realizan las excavaciones o movimientos de tierras necesarios.
3. Demolición del muro de contención existente.
4. Fundición de solado provisional.
5. Realización de micropilotes (incluye todo el proceso constructivo de los mismos, recordar dejar 30cm de empotramiento entre la zapata del muro y el micropilote).
6. Colocación de armadura (refuerzo de zapata y de vástago).
7. Formaleta de zapata, si es necesario colocar separadores.

8. Vaciado y vibrado de zapata.
9. Desencofrado y curado de zapata.
10. Formaleta de vástago, si es necesario colocar separadores.
11. Vaciado y vibrado de vástago.
12. Desencofrado y curado de vástago.



Ilustración 15. Muro de contención (zapata fundida y vástago próximo a fundir) realizados en el viaducto 13.

5.6. Mejora del terreno

Para asegurar que la rehabilitación del viaducto va a cumplir con las solicitudes pedidas se requiere realizar una mejora del terreno en donde se realizó las excavaciones de los micropilotes y el muro de contención, esta será compactada al 98% y se realizaran ensayos de densidades para

corroborar que así sea, por último, se dispondrá la respectiva estructura de pavimento para así cumplir con lo pedido.

Para esta mejora se utilizó base granular traída del Tonusco en donde los agregados gruesos son extraídos del Rio del Tonusco los cuales presentan una mayor resistencia con respecto a los del área metropolitana, podemos ver las características de los agregados de dicha base a continuación.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO, INV E - 213							
ESPECIFICACIONES				GRANULOMETRÍA			
Tamiz		Parámetros Invas		Peso 1	6831,0	Peso 2	6368,0
Tamiz ("/No)	Apertura (mm)			Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
2"	50,0						
1 1/2"	37,5	100,0	100,0				
1"	25,0	70,0	100,0	172,4	2,52	2,5	97,5
3/4"	19,0	60,0	90,0	973,7	14,25	16,8	83,2
1/2"	12,5	52,5	82,5	1333,4	19,52	36,3	63,7
3/8"	9,5	45,0	75,0	452,9	6,63	42,9	57,1
No 4	4,8	30,0	60,0	862,6	12,63	55,6	44,4
No 10	2,0	20,0	45,0	797,1	11,67	67,2	32,8
No 40	0,425	10,0	30,0	906,6	13,27	80,5	19,5
No 200	0,075	5,0	15,0	853,4	12,49	93,0	7,0
FONDO	-	-	-	15,9	0,23	93,2	

Ilustración 16. Análisis granulométrico base utilizada para la mejora del terreno del viaducto 13.

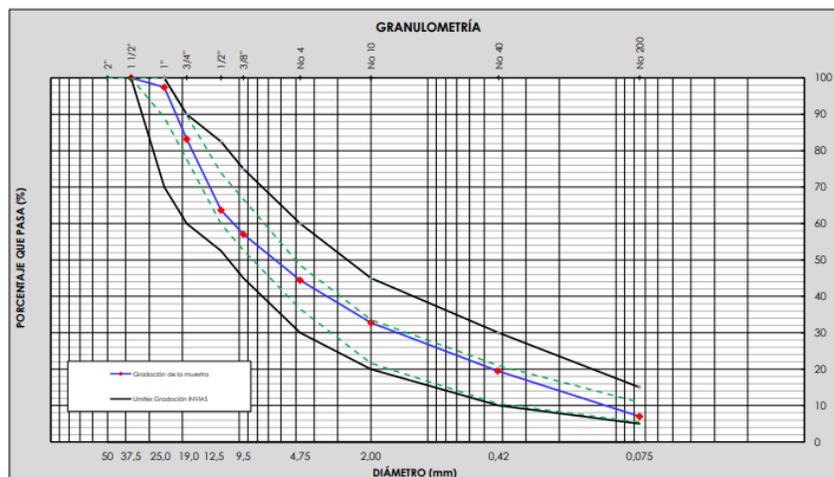


Ilustración 17. Grafica granulométrica e intervalo de aceptación para la base utilizada en la mejora del terreno del viaducto 13.

CALIDAD DE LOS AGREGADOS PÉTREOS, INV Art. 330		Unidad	Valor	Límite Mínimo	Límite Máximo	Concepto
Límite líquido	INV E-125	%	0	-	-	CUMPLE
Índice de Plasticidad (NP = 0)	INV E-125 y E-126	%	NP	-	0	CUMPLE
Equivalente de Arena	INV E-133	%	58	30	-	CUMPLE
Valor de Azul de Metileno (0 = No aplica)	INV E-235	mg/g	0	-	10	CUMPLE
Ensayo modificado de compactación	INV E-142	kg/m ³	2,348	-	-	CUMPLE

Ilustración 18. Características agregadas pétreos de la base utilizada para la mejora del terreno del viaducto 13.

El método constructivo para la mejora del terreno sería:

Paso a paso:

1. Limpieza del terreno.
2. Introducción de geodren planar en la zanja.
3. Disposición de la base seleccionada por capaz.
4. Compactación mayor al 98% de cada capa **Ilustración 19**.
5. Toma de ensayos de verificación para las densidades.
6. Colocación geocelda abierta antes de última capa de base.
7. Última capa de base después de la geocelda **Ilustración 20**.
8. Cubrir el terreno en caso que no se vaya a realizar el procedimiento de pavimentación inmediatamente.



Ilustración 19. . Toma de densidades, para aceptación de colocación de base granular en el viaducto 13



Ilustración 20. Instalación de geocelda en el viaducto 13

5.7 Reparación de losa

Se evidencia al inicio y al final del viaducto fisuras y hundimientos en los sitios en donde se ubican las losas de aproximación esto se debe a que estas son una transición en las cargas ejercidas que se presentan entre el viaducto ejercidas por los vehículos de carga pesada que transitan diariamente sobre esta vía, los daños que estas losas pueden presentar generan daños para los diferentes actores viales.

Para la mejora de esta procedemos:

Paso a paso:

1. Comisión de topografía, para localización y replanteo de las actividades.
2. Colocación de refuerzo inferior. **Ilustración 21.**
3. Embutir tubería o ductos que pasen por la estructura.
4. Colocación de refuerzo superior. **Ilustración 21.**
5. Vaciado o fundición de la losa de aproximación. **Ilustración 22.**
6. Acabado. **Ilustración 23.**
7. Curado para evitar grietas por contracción (ahogar la estructura para mejores resultados).
8. Desencofrado lateral y desapuntalar progresivamente.
9. **IMPORTANTE** no se puede transitar hasta que alcance la resistencia solicitada.
10. Iniciar la estructura de pavimento.



Ilustración 21. Instalación de refuerzo para losa de aproximación del viaducto 13.



Ilustración 22. Fundición de losa de aproximación con concreto acelerado del viaducto 13.



Ilustración 23. Acabado de losa de aproximación del viaducto 13.

5.8. REINSTALACIÓN DE BORDILLOS Y ENTREGA

Para poder realizar la rehabilitación del viaducto fue necesario realizar dos broches uno en la parte inicial del viaducto y otro en la final los cuales generaban un cierre total en la calzada de ascenso y un doble sentido vial en la calzada de descenso. Al culminar la rehabilitación es necesario reinstalar el separador central, para ello se debe llevar a cabo el siguiente procedimiento.

Paso a paso:

1. Demoler estructura de pavimento provisional.
2. Colocación de geomembrana.
3. Colocación y compactación de lleno nuevo (arena, limo, materia orgánica).
4. Reinstalación de bordillos.
5. Instalación de capa vegetal seleccionada par separador central.

5.9 Apreciación SST

En la construcción de estructuras de contención y de cimentación es posible que se presenten incidentes y accidentes a lo largo de la ejecución, estos pueden generar ciertos riesgos, peligros para el personal de obra presente, podemos realizar una escala de valoración del peligro según la frecuencia en la que se presente una condición **Ilustración 24** como podemos observar a continuación.

		Frecuencia				
		No ha ocurrido en la empresa.	Ha ocurrido con frecuencias mayores a un año.	Ha ocurrido con frecuencia de varias veces al año.	Ha ocurrido con frecuencia varias veces al mes.	Ha ocurrido con frecuencia de varias veces a la semana.
Consecuencias	Valoración	1	2	3	4	5
Disconfort, trastorno mental u orgánico transitorio.	1	Bajo (1)	Bajo (2)	Bajo (3)	Bajo (4)	Medio (5)
Lesión menor o enfermedad que no requiere incapacidad.	2	Bajo (2)	Bajo (4)	Medio (6)	Medio (8)	Alto (10)
Incapacidad laboral temporal por accidente o enfermedad laboral, mayor a un día.	3	Bajo (3)	Medio (6)	Medio (9)	Alto (12)	Alto (15)
Invalidez o Incapacidad parcial permanente, por accidente o enfermedad laboral.	4	Bajo (4)	Medio (8)	Alto (12)	Alto (16)	Alto (20)
Una o varias muertes por accidente o enfermedad laboral.	5	Medio (5)	Alto (10)	Alto (15)	Alto (20)	Alto (25)

Ilustración 24. Valoración de riesgos en perforación.

Podemos calificar estos de la siguiente manera:

NIVEL DE RIESGO	ACEPTABILIDAD	PRIORIDAD	DECISIONES
Alto	No Aceptable.	Urgente.	En presencia de este nivel de riesgo, se requiere plan de acción aprobado por la alta dirección, DE MANERA URGENTE . Es preciso solicitar aprobación de la alta dirección para inicio o continuar el trabajo. Es preciso valorarlo, para constatar su reducción.
Medio	Aceptable.	No Urgente. Programado.	En presencia de este nivel de riesgo, se requiere un plan de acción y un plazo establecido para lograr su reducción. Se debe hacer seguimiento al cumplimiento del plan y volver a valorarlo para constatar su reducción.
Bajo	Aceptable.	Baja.	En presencia de este nivel de riesgo, se requiere mantener controles operacionales para evitar una valoración mayor.

Ilustración 25. Niveles de riesgo.

En las perforaciones y anclajes se pueden encontrar diferentes tipos de peligros los cuales pueden desprenderse dependiendo de la actividad realizada, esta puede tener cierta valoración, según los últimos registros obtenidos:

1. Demarcación de zonas de trabajo, en este podemos apreciar peligros como:

- Locativo: Caídas en el mismo nivel, caídas de altura estas pueden causar lesiones musculares, traumas o contusiones y se pueden clasificar como un peligro bajo según los últimos registros, podemos mitigar estos con procedimientos de señalización adecuados, capacitaciones en alturas.

- Físicos: Radiaciones ultravioletas, a causa de la radiación solar es posible obtener quemaduras en la piel esto está catalogado como un peligro medio por la repetición con la que se ha presentado, puede ser mitigado con campañas de prevención y suministros de protección solar.
- Transporte: desplazamientos terrestres a causas de flujo vehicular los cuales pueden causar traumas y contusiones que están catalogados según los últimos registros con una valoración baja, esta puede ser mitigada capacitaciones de tránsito y programación de señalización y seguridad vial.

2. Señalización del área de trabajo:

- Locativo: Caídas en el mismo nivel, se producen cambios de nivel en el desplazamiento y contacto con terreno irregular en zonas de trabajo estos pueden causar lesiones, heridas y lesiones osteomusculares y se pueden clasificar como un peligro bajo según los últimos registros, podemos mitigar estos con procedimientos de señalización con programa de señalización para adecuación caminos peatonales en obra.
- Mecánico: Golpeado por o contra puede generarse por el estado de la señalización esto puede causar lesiones y heridas, está catalogado en categoría de bajo y puede mitigarse con capacitaciones en plan de emergencias y contingencias. Programa de tránsito y seguridad vial.
- Transporte: Atropellamiento, estos pueden ser causado por condiciones mecánicas del vehículo los cuales pueden causar traumas, contusiones y politraumatismos puede mitigarse con capacitaciones al personal sobre manejo del tránsito.

- Físico: Radiación ultravioleta pueden verse cuando se presenta contacto directo o indirecto con radiación solar No ionizantes y causar quemaduras en la piel, para evitar esto se debería suministrar al trabajador bloqueador y realizar capacitaciones sobre los rayos ultra violeta.

3. Cargue y descargue de equipo:

- Locativo: Pueden presentarse peligros de caídas en el mismo nivel y caídas de objetos desde niveles superiores pueden depender del estado de los equipos y causar contusiones y politraumatismos a los ayudantes o trabajadores esta categorizado como un peligro de bajo riesgo por su incidencia en el área de trabajo y puede ser mitigado a partir de capacitaciones sobre auto cuidado, seguimiento al programa de orden y aseo y señalización de las zonas de trabajo.
- Transporte: Se pueden presentar desplazamientos terrestres, estos se dan por condiciones mecánicas del vehículo o ya sea por aptitudes del conductor y generar traumas contusiones y politraumatismos esta categorizado como un peligro bajo el cual puede mitigarse con capacitaciones al personal sobre manejo del tránsito, uso adecuado de los EPP y dotación reflectiva.
- Mecánico: Los peligros mecánicos presentados en cargue y descargue son el atrapamiento con equipos y herramientas y golpeado por o contra esto, puede generarse por el estado de la señalización y el manejo de herramientas y pueden causar traumas, contusiones y politraumatismos, este según su incidencia está clasificado como un peligro medio y debe ser mitigado con capacitaciones sobre el autocuidado suministró de herramientas adecuadas para cada labor y un uso adecuado de los EPP.

4. Tanqueo de maquinaria:

- Físico: Puede presentarse como radiación ultravioleta al presentarse contacto directo e indirecto con radiación solar presentando quemaduras en la piel es un peligro de categoría baja el cual puede mitigarse suministrando al trabajador bloqueador y realizar capacitaciones sobre los rayos ultra violeta.
- Locativo: Se evidencia como caída en el mismo nivel en contacto con terrenos irregular provocando posiblemente lesiones osteomusculares es categorizado como un peligro bajo el cual puede mitigarse con una adecuada utilización de los equipos de trabajo en alturas, uso adecuado de los EPP y charlas preventivas.

5. Manejo de para perforación del talud (Beretta T43, T46, T19).

- Mecánico: Se ve en ocasiones cuando se presentar contactos con superficies cortantes o punzantes, o cuando se dan atrapamientos con equipos estos pueden ocasionar lesiones y heridas, además de politraumatismos y hasta la muerte según sea el caso, por su incidencia está categorizada como un peligro medio-alto, pero este puede verse controlado o reducido con un buen uso de los EPP, equipos y permisos en regla para trabajos de altura, capacitaciones al personal de acuerdo al riesgo expuesto.
- Locativo: Se presentan al darse caída desde niveles superiores generadas ya sean por condiciones del terreno o por la infraestructura (locativos y/o elementos de seguridad personal) pueden causar contusiones, politraumatismos e incluso la muerte, es categorizada como un peligro de clase media y se puede mitigar bajo el uso adecuado de los EPP, guías de trabajo, verificaciones de seguros de altura y cursos de altura.

- Físico: Se da a través del ruido o vibraciones por manejo de mangueras, compresor de aire y martillos, causando dolores osteomusculares, pérdida auditiva y estrés por su incidencia; se clasifica como un peligro de clase media, puede ser mitigado con el mantenimiento adecuado del equipo, uso adecuado de EPP, audiometrías al personal expuesto y suministro especial para la protección auditiva personal.

6. Limpieza:

- Locativo: Se pueden dar caídas del mismo nivel las cuales dependiendo el grado pueden generar contusiones y politraumatismos e incluso generar la muerte, sin embargo, por su incidencia está clasificado como un peligro medio se puede controlar con la utilización adecuada de los equipos de trabajos altura y el uso adecuado de los EPP.
- Físico: Se identifica bajo temperaturas extremas de frío o calor cuales pueden causar sofocamiento, cansancio, deshidratación y hasta enfermedades respiratorias está clasificada como un peligro medio que se puede controlar o evitar con hidratación adecuada durante el día, pavas de protección y suministro de bloqueador a los empleados.
- Además de esto cabe resaltar que bajo la pandemia presentada desde el 2020 el trabajo SST ha sido intervenir oportunamente en las obras de construcción ante cualquier caso de COVID-19 con el fin de no tener una propagación desmesurada de este en las cuadrillas de trabajo **Ilustración 26.**

5.8.1 Accidente en obra

Un accidente es un incidente que no se pudo evitar, generando acciones involuntarias que dañan a las personas, durante la rehabilitación de los viaductos el área de perforación presentó un accidente con un ayudante de perforación, este se encontraba en la actividad de perforación de micropilotes con la máquina T46-S2 en un cambio del martillo de fondo en el cual se necesitaba extender el para seguir en profundidad al ser colocado de nuevo, este se desprende reventando una arandela de seguridad y cae en la rodilla del ayudante de perforación ocasionando lesiones menores en su rodilla derecha, él ayudante fue trasladado de inmediato al centro hospitalario más cercano el cual determina 10 días de incapacidad para el ayudante y recomienda cambiar de actividades de trabajo por al menos un mes, por lo que se determina colocarlo como auxiliar de tránsito donde se aprovechó en que este tenía curso para ejercer esta actividad, este accidente puede ser prevenido en proyectos futuro tomando medidas como:

- Colocando una segunda arandela de seguridad a la perforadora BERETTA T46-S2.
- Realizando los cambios de martillos entre dos o 3 ayudantes dependiendo la ubicación de la maquinaria.
- Realizando charlas preventivas en las cuales se cuente el evento sucedido para así no recaer en el mismo.



Ilustración 26. Procedimiento SST ante contingencia mundial COVID-19.

6. ANÁLISIS

En nuestro país tenemos el compromiso de presentar vías de excelente calidad puesto que, al ser un territorio relieve montañosos, la movilidad se ve dependiente de vehículos automotores para el cumplimiento de las actividades diarias de cada persona, la vía doble calzada de las palmas es una de las más transitadas en el valle de aburra y es de vital importancia mantener en óptimas condiciones, para nuestro estudio se realizó la rehabilitación de 7 viaductos los cuales presentaban en deterioro en su estructura de pavimento a causar de diferentes causas, puesto las condiciones del suelo variaban considerablemente entre cada uno de esto ocasionados diferentes tipos de daños en relación uno con el otro y diferentes métodos de rehabilitación para estos.

Con experiencia en lo presenciado en las actividades de auxiliar de ingeniería en el proyecto de rehabilitación de los viaductos de la vía doble calzada de las palmas, además de la información obtenida tanto por parte investigativa como por lo aprendido de los directores del proyecto, se puede certificar que el éxito de un proyecto estará definido por 5 etapas, y que el incumplimiento de estas darán como resultado, problemáticas que la ingeniería no puede contemplar, cabe aclarar que para el inicio de estas 5 etapas es necesario dejar estipulado y firmado tanto el Acta de contrato como las pólizas del mismo :

1. Inicio: Conocer los interesados, acta de inicio(IMPORTANTE).
2. Planificación: Incluye estudios previos, diseños, planos, presupuesto, plan de inspección planeación, sostenibilidad.
3. Ejecución: Se debe cumplir lo estipulado por la planificación y llevar registros necesarios como el plan diario, plan semanal, plan mensual para conocer los avances del proyecto.
4. Controles: Se debe llevar un control técnico, una evaluación de las PQPS (Planeación, calidad, presupuesto, sostenibilidad) buen manejo de las demás áreas en las que se debe apoyar nuestra área técnica.
5. Cierre: Al culminar un proyecto es necesario dejar bien hecha un ACTA DE CIERRE esta debe incluir todas las áreas tal como la técnica, ambiental y demás implicadas.

Una vez cumplido esto para el proceso de rehabilitación del viaducto, se permite constatar un documento el cual presenta métodos constructivos, paso a paso de drenes, muros de contención, anclajes, mejoramientos de terrenos, losas de aproximación y micropilotes además de algunos datos

de interés para el control e identificación de peligros presente en actividades de perforación, que sirve al constructor guiarse en el desarrollo de una actividad como las presentadas.

Al finalizar de la rehabilitación del viaducto 13 se logra implementar un sistema combinado de cimentación en el eje de la calzada de ascenso con la capacidad de soportar las cargas necesarias para evitar futuros hundimientos y fisuras en la carpeta asfáltica. Este sistema combinado presenta una unión entre micropilotes los cuales se empotran en un murete de contención permitiendo así, cumplir la función deseada.

Para la realización de este se logró implementar con éxito un método constructivo alternativo de los micropilotes, puesto que las condiciones espaciales no permitían realizar el método utilizado en los otros viaductos, este fue escogido después de presentar 3 alternativas con el fin de ejecutar la que mejor se adaptase a la solicitud.



Ilustración 27. Culminación actividades por parte de la empresa PROCOPAL S.A. en el viaducto 13.

7. CONCLUSIONES

Este documento pretende trascender de las definiciones técnicas de ingeniería civil, y ser una guía de orientación al personal capacitado en actividades de construcción a la intervención de las ya mencionadas estructuras.

Las 5 etapas de un proyecto determinan el éxito del mismo se debe tener un cumplimiento del mismo por todas las partes participantes en el, es importante que todo el personal del proyecto conozca y comprenda los alcances de este documento y sea de su entendimiento puesto que será una de sus bases más fuertes para la realización idónea de la rehabilitación pedida.

En una construcción se pueden generar imprevistos que afecten las etapas de un proyecto, esto debe manejarse con cautela ser evaluados y solucionados para regresar al sendero programado, se debe tener en cuenta que los percances presentados pueden ser técnicos, climatológicos, biológicos como los presentados por la pandemia actualmente presente en el mundo, es donde la experticia de tanto la parte técnica como SST debe presentarse para continua el flujo de lo planeado para que estos percances no desemboquen en situación de retraso para el proyecto.

Cabe resaltar que, gracias a la experiencia adquirida en campo, al acompañamiento de personal SST directores de obra e ingeniero residente, fue posible la culminación del proceso de formación universitario y la realización del presente informe, el cual servirá para futuras rehabilitaciones o guías constructivas de estructuras ya mencionadas.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Wilder Luna (2017). •pavimento rígido y tipos de pavimentos rígidos

Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno del ministerio de fomento (2001), (P.11)

Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno, Ministerio de fomento, España. 2001.

Recuperado de https://www.fomento.es/recursos_mfom/0710300.pdf

Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera, Ministerio de fomento, España. 2005. Recuperado de https://www.fomento.es/recursos_mfom/0710200.pdf

INVIAS (2015). Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medianos y altos volúmenes de tránsito. Instituto nacional de vías.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN subdirección territorial y de inversiones públicas grupo de coordinación de SGR (2015). Construcción pavimento rígido en vías urbanas de bajo tránsito.

Página oficial CTAO. (2010) FASES DEL PROYECTO. Recuperado de <http://tunelorientegaleon.com/productos2137999.html>.

CONSTRÚMATICA (2018). Enciclopedia de construcción. Recuperado de <https://www.construmatica.com/construpedia/Anclajes>.

Geosintéticos PAVCO (wavin). Recuperado de:
<https://pavcowavingeosinteticos.com/geotextil-no-tejido/>

CARRETERA, G. P. (2005) MINISTERIO DE FOMENTO. Recuperado de :
https://www.fomento.es/recursos_mfom/0710200.pdf

COVECO. (s.f.) Geodren. Recuperado de : <https://www.coveco.com.co/producto/geodren-vial/>

DELTA, T (s.f.). Geotextiles. Recuperado de: <https://texdelta.com/blog/geoceldas-funciones-y-aplicaciones-principales/>

Concesión Túnel de Oriente, C.t. (2017). Recuperado de: <http://www.tunelorientec.com/>

INVIAS (2015) Recuperado de: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-generales-de-construccion-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>.

INVIAS (2013). Especificaciones Generales de Construcción de carreteras. Capítulo 7, SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD.

INVIAS (2013). Especificaciones Generales de Construcción de carreteras. INV ARTICULO 600 - 13, EXCAVACIONES VARIAS.

INVIAS (2013). Especificaciones Generales de Construcción de carreteras. INV ARTICULO 201 - 13, DEMOLICIÓN Y REMOCIÓN.

INVIAS (2013). Especificaciones Generales de Construcción de carreteras. INV ARTICULO 640 - 13, ACERO DE REFUERZO.

INVIAS (2012). Especificaciones Generales de Construcción de carreteras. INV ARTICULO 220 - 13, AFIRMADOS SUBBASES Y BASES.

INVIAS (2013). Especificaciones Generales de Construcción de carreteras. INV ARTICULO 200 - 13, DESMONTE Y LIMPIEZA.