

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL**

DISERTACIÓN DE GRADO

**MÉTODO CONSTRUCTIVO DE UN SISTEMA DE
ALCANTARILLADO EN TÚNEL APLICADO AL TRAMO 4-E
PARA LA DESCONTAMINACIÓN DEL RÍO MACHÁNGARA**

AUTOR:

Felipe Cabezas A.

DIRECTOR:

Ing. Roddy Cabezas M.

QUITO, Octubre del 2011

AGRADECIMIENTO

Para mis padres Roddy y Emilia, por los múltiples principios y valores infundidos, ya que sin ellos la culminación de este sueño no hubiera sido posible. A ellos quienes me enseñaron a encarar la adversidad inculcando en mí un sentido de seriedad, responsabilidad y rigor académico sin los cuales no podría tener una formación completa. Mi más sincera gratitud por brindarme un incondicional apoyo y sobre todo por acompañarme en el camino hacia el cumplir una más de mis metas.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi abuelito Luis Fernando Alarcón por ser un pilar fundamental en mi evolución tanto personal como profesional, ya que con su sabiduría supo guiarme y formarme integralmente. Un sincero reconocimiento al hombre que con su conocimiento, persistencia y paciencia supo ganarse mi respeto, admiración y cariño sin duda ha dejado una huella indeleble en mi corazón.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	4
Antecedentes	4
1.1.1 Historia de los túneles a nivel mundial.....	4
1.1.2 Historia de los Túneles en el Ecuador	9
1.2. Metodologías de construcción para túneles.....	15
1.2.1.1 Método Inglés.....	19
1.2.1.2 Método Belga (Método tradicional de Madrid).	20
1.2.1.3 Método Alemán (Galerías Sucesivas) y Método Alemán Modificado.....	25
1.2.1.4 Método Austríaco.....	30
1.3. Impacto ambiental en el río Machángara.....	32
CAPÍTULO 2	37
Organización y planeación previa a los trabajos.....	37
2.1. Estudio del proyecto	37
2.2. Ubicación del proyecto.....	38
2.3 Reunión de pre construcción.....	39
2.4. Selección de personal.....	41
2.5. Herramientas y equipos mayores	47
2.6. Alternativas de ubicación de campamento	51
2.7. Topografía y ubicación de puntos importantes del proyecto.....	51
CAPÍTULO 3	53
Proceso Constructivo	53
3.1 Inicio de trabajos y control de actividades	59
3.2. Fundición de los pozos de revisión.....	65
3.3. Excavaciones especiales.....	71
3.4. Entibados	75
3.5. Entibados permanentes.....	76
3.7. Método para el control de derrumbes.....	82

3.8. Encofrados.....	86
3.9. Vertido de hormigón	90
3.10. Control subterráneo de alineaciones.....	92
3.11. Manejo de elementos estructurales y de encofrados dentro del túnel.	93
CAPITULO 4	96
Conclusiones y recomendaciones	96
4.1.Conclusiones	96
4.2. Recomendaciones.....	97
BIBLIOGRAFÍA.	100
ANEXOS	101
ANEXO 1 Seguridad industrial.....	102
ANEXO 2 Cronograma de avance de obra.	114

Índice de Imágenes

Imagen 1.1. Acueducto construido por Eupalinos	7
Imagen 1.2. Túnel de San Diego-Quito. Colocación de pavimento Rígido.	10
Imagen 1.3. Construcción Túnel Guayasamín.	11
Imagen 1.4. Túnel de Desvío Represa Mazar.	12
Imagen 1.5. Entrada Túnel San Eduardo.	13
Imagen 1.6. Entrada al Túnel Santa Ana.....	14
Imagen 1.7. Elementos principales de un túnel.....	16
Imagen 1.8. Cargas debido al empuje del suelo en el túnel.	19
Imagen 1.9 Método Inglés. (CHILE, 2007) ¹²	20
Imagen 1.10. Método Belga. (CHILE, 2007).....	22
Imagen 1.11. Fases constructivas del túnel. Método BELGA. (GALERA, 2008). ...	23
Imagen 1.12. Ensanche de la bóveda de un túnel excavado por el método BELGA y su apuntalamiento.(GALERA, 2008).....	23
Imagen 1.13. Esquema de avance método BELGA. (GALERA, 2008).....	24
Imagen 1.14. Metodología de avance para la bóveda del túnel. (GALERA, 2008). .	24
Imagen 1.15. Método Alemán. (CHILE, 2007) ¹¹	27
Imagen 1.16. Método Alemán. Resumen de las galerías sucesivas (Estación Guzmán Bueno Madrid). (GALERA, 2008)	28
Imagen 1.17 y 1.18. Método Alemán. Ejemplos de excavaciones sucesivas. (CHILE, 2007) ¹¹	29
Imagen 1.19. Método Austríaco.(CHILE, 2007) ¹¹	30
Imagen 1.20. Rozadora.	31
Imagen 1.21. Agua río Machángara.	34
Imagen 1.22. Río Machángara.	34
Imagen 2.1. Croquis de ubicación TRAMO 4-E (línea roja).....	39
Imagen 2.2. Cascos de plástico.	43
Imagen 2.3. Gafas de plástico.	44
Imagen 2.4. Mascarilla antigases.	44
Imagen 2.5. Chaleco Reflectivo.....	45
Imagen 2.6. Guantes de cuero.	45

Imagen 2.7. Guantes de caucho.....	46
Imagen 2.8. Botas de caucho.....	46
Imagen 2.9. Arnés.	46
Imagen 2.10. Palas.	47
Imagen 2.11. Picos.	47
Imagen 2.12. Carretilla.....	48
Imagen 2.13. Elevador.	48
Imagen 2.14. Rotomartillo.	49
Imagen 2.15. Bomba Sumergible.....	49
Imagen 2.16. Cargador frontal.	50
Imagen 2.17. Volqueta.	50
Imagen 3.1. Entibado permanente conformado por cerchas de acero.....	54
Imagen 3.2 y 3.3. Características de las cerchas.	56
Imagen 3.4. Detalle de pozos de visita y de la sección del túnel.	58
Imagen 3.5. Caseta metálica.	60
Imagen 3.6. Pozo con excavación para anclajes.	61
Imagen 3.7. Detalle estructural de los anclajes.....	62
Imagen 3.8. Pozo con nivel freático alto.....	63
Imagen 3.9. Colocación de entibados.	64
Imagen 3.10. Colocación de entibados.	65
Imagen 3.11. Perfilado de las paredes del pozo.	66
Imagen 3.12. Anclajes fundidos.....	66
Imagen 3.13. Armadura centrada con separadores.	67
Imagen 3.14. Armado de tableros de encofrado.	68
Imagen 3.15. Tableros de encofrado armados.	68
Imagen 3.16. Escalones colocados.....	69
Imagen 3.17. Junta impermeable de PVC.....	70
Imagen 3.18. Cámara de arranque.....	71
Imagen 3.19. Roca taladrada para colocar explosivos.	72
Imagen 3.20. Taladrado de roca.	73
Imagen 3.21. Pedazo de roca desprendido.	74
Imagen 3.22. Colocación de entibados.	75

Imagen 3.23. Pozo completamente entibado. Vista inferior.	76
Imagen 3.24. Colocación de marcos de madera y de tablonos.....	77
Imagen 3.25. Hincado de tablonos de abajo hacia arriba.	78
Imagen 3.26. Hincado de tablonos de abajo hacia arriba.	79
Imagen 3.27. Detalle de cerchas de refuerzo.	79
Imagen 3.28. Detalle del túnel hormigonado.	80
Imagen 3.29. Cerchas metálicas con entibado permanente de madera.	81
Imagen 3.30. Relleno de sobre excavación luego de colocar el entibado.	82
Imagen 3.31. Marcos de madera tipo galería.	84
Imagen 3.32. Saquillos con material producto de la excavación, usados para relleno.	85
Imagen 3.33. Colocación de saquillos sobre los marcos tipo galería.....	85
Imagen 3.34. Tableros del encofrado.	86
Imagen 3.35. Arranque de muro.	87
Imagen 3.36. Arranque de acera de inspección y muro.	88
Imagen 3.37. Encofrados de bóveda.	89
Imagen 3.38. Encofrado y apuntalado de bóveda.	90
Imagen 3.39. Juntas de PVC en color verde.	91
Imagen 3.40. Cerchas metálicas pintadas.	94

RESUMEN

El análisis del proceso constructivo del sistema de alcantarillado en túnel utilizado en la construcción del Tramo 4-E tiene como objetivo estructurar una guía práctica que permita a los profesionales prevenir y resolver dificultades constructivas que se presentan en los trabajos de construcción de Colectores de hormigón armado ejecutados en la modalidad de túnel.

Se describe brevemente los diferentes tipos de procesos constructivos que existen para construir túneles. Los procesos constructivos se diferencian dependiendo el tipo de suelo en el que se va a realizar la excavación, el tamaño de la sección del túnel, la herramienta a ser utilizada, entre otros.

Se analiza todo lo que a organización dentro del proyecto se refiere. Se analiza el lugar en donde ubicar el campamento con los materiales para el proyecto, la organización de los materiales en la bodega, la seguridad que se debe tener para evitar que se produzcan robos por parte de los obreros o de personas ajenas al proyecto, la selección de equipos y herramientas para que el rendimiento de los obreros sea el óptimo, la seguridad industrial para evitar al máximo accidentes tanto para los obreros como para personas que circulan en los alrededores del proyecto, el control topográfico que se debe realizar para evitar desviaciones en la excavación del túnel.

Se estudia a fondo el sistema constructivo utilizado en el tramo 4-E, los problemas que se presentaron y se dan soluciones a los mismos. Se toma en cuenta las distintas condiciones de trabajo, el rendimiento de la mano de obra y los diferentes métodos para afrontar las condiciones que se presentan.

Al finalizar constan las conclusiones y recomendaciones a ser tomadas en cuenta por los profesionales que utilicen este trabajo como guía para proyectos de este tipo.

INTRODUCCIÓN

La construcción de túneles en el Ecuador en los últimos años, comenzó a ser la primera alternativa para dar solución a las diferentes necesidades de obras hidráulicas, entre ellas los colectores sanitarios que se utilizan para varios objetivos. Este tipo de solución, presenta varios inconvenientes constructivos debido especialmente a la falta de control en su diseño y construcción, por la falta de planificación y por no ceñirse a metodologías acordes a los procesos de construcción y a la disponibilidad de recursos que permitan la aplicación de tecnología de punta en el país.

Por estas razones, se pretende con este estudio estructurar una guía práctica, basada en la experiencia de la construcción del tramo 4-E de la recuperación del río Machángara, que permita a los profesionales prevenir y resolver dificultades constructivas que se presentan en los trabajos de construcción de colectores de hormigón armado ejecutados en la modalidad de túnel, conocer las diferentes metodologías que existen para la construcción de los mismos, definir un proceso de trabajo con un centro de operación y almacenamiento organizado, limpio y seguro tanto para los trabajadores como para el constructor y presentar un método constructivo para interceptores sanitarios realizados en túnel.

La construcción del tramo 4-E del colector forma parte del grupo de trabajos a ejecutar para el encauzamiento del río Machángara que busca mejorar la calidad de

vida de la población aledaña al mismo, ya que se lograría descontaminar el lecho por donde corren las aguas.

Se denomina colector al tramo del alcantarillado público que recoge diversos ramales de alcantarilla. Se construye bajo tierra, a menudo en el eje central de las calles importantes, de manera que cada una de las edificaciones de esa vía puedan conectarse para la evacuación apropiada de las aguas residuales.

Cada conexión perteneciente a una edificación se llama acometida o unión domiciliaria. Comprende la tubería que va desde la caja de revisión (o desde la cámara de inspección final) de la edificación hasta el colector.

Es esencial que cualquier proyecto de túnel comience con una investigación sobre las condiciones del terreno. Los resultados de la investigación permitirán saber cuál es la maquinaria y los métodos de excavación y sostenimiento a realizar, y podrán reducir los riesgos de enfrentar condiciones desconocidas. En los primeros estudios, las alineaciones horizontales y verticales serán optimizadas para aprovechar las mejores condiciones de agua y suelo.

Tanto los colectores como las uniones domiciliarias deben ser proyectados con cierta pendiente, definida técnicamente, para permitir el flujo de las aguas por gravedad y así evitar altas velocidades y riesgo de erosión. Asimismo, sus juntas deben ser herméticas para evitar filtraciones de aguas residuales al terreno y para impedir el ingreso del agua lluvia, las infiltraciones del terreno circundante o la introducción de

raíces. Por otra parte, deben ser lisas a fin de que no se produzcan obstrucciones por acumulación de pelos, telas, pañales y otros elementos habitualmente arrojados al alcantarillado, a pesar de estar prohibido.

El libre flujo del agua dentro de las uniones domiciliarias y de los colectores se verifica habitualmente por medio de la prueba de la bola, artefacto que debe desplazarse sin inconvenientes desde el sitio en que se introdujo hasta donde se está efectuando el examen.

Es indispensable que el diseño y construcción de estas instalaciones sean realizados por profesionales de la Ingeniería Civil.

CAPÍTULO 1

Antecedentes

1.1. Historia de los túneles

1.1.1 Historia de los túneles a nivel mundial.

El Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua define túnel como "pasosubterráneo abierto artificialmente para establecer una comunicación"¹.

El ingeniero Ernest Wahlstrom se refiere a un túnel como "*un desafío a la naturaleza*", mientras que Nordlund, ingeniero protagonista de la novela Muerte en el Túnel, afirma que: "*un túnel no es un agujero más en la tierra*". *En términos estrictamente prácticos se trata de una obra de ingeniería extraordinariamente sofisticaday quenunca fue sencilla ni segura*².

La construcción de cualquier túnel se produce por la necesidad de superar un obstáculo natural, generalmente un macizo montañoso. Es muy importante mencionar que las montañas no son los únicos obstáculos, pues existen otras barreras que obligan a la construcción de túneles, como los cursos de aguas fluviales o marinas, y las zonas urbanas densamente edificadas. Los principales usos para túneles son el transporte de vehículos, para redes de ferrocarril urbano o sistemas de

¹"Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua" 22ª edición.

http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=túnel , Acceso Junio 2010.

²LOPEZ JIMENO, CARLOS. Manual de Túneles, MADRID, Editorial Entorno Gráfico, 3era. Edición. 2000. Cap. I, Pg. 33.

Metros, para uso peatonal, para abastecimiento de agua, saneamiento y galerías de servicio.

Existen infinidad de razones por las cuales los animales en su hábitat natural, escarban y cavan en el interior de la tierra: para encontrar agua, para conseguir alimento, para fabricarse un hogar, para estar fuera de peligro, para almacenar comida. Estos son básicamente los mismos motivos que incentivan al hombre a excavar. Puesto que en la edad de piedra los hombres vivían en cuevas, la construcción de túneles fue el primer ejercicio de Ingeniería Civil llevado a cabo por los seres humanos. Ampliar las cuevas usadas como vivienda por el hombre primitivo resultaba una obvia necesidad para una criatura dotada de un pensamiento lógico. Así lo atestiguan los restos localizados de víctimas debido al colapso en la construcción de galerías en la Edad de Piedra.

El descubrir accidentalmente fuentes de agua y de minerales, durante las operaciones de ampliación de las cuevas que usaban como hogares, indujo al hombre a perforar con ese propósito y de forma gradual. La construcción de túneles se fue desarrollando, pasando desde una etapa en la que el instinto animal era predominante a otra más evolucionada en la que se buscaba una mejora en la calidad de vida.

El primer túnel de la historia construido bajo el Río Éufrates, con el objeto de comunicar el Palacio y el Templo de Belos en la Babilonia (2500 A.C), se trataba en realidad de un falso túnel, puesto que no se realizó bajo tierra sino mediante una zanja a cielo abierto que posteriormente fue cubierto. Para realizar esta construcción

se desviaron las aguas del río Éufrates aprovechando el período de estiaje del mismo. El río Éufrates nace en Turquía, fluye por las montañas de Anatolia hacia Siria y posteriormente Irak, el río confluye con el Tigris para formar el Shatt al-Arab, que a su vez desemboca en el Golfo Pérsico. Tiene una longitud de 2.780 km. y en la Biblia es conocido como "el río" y es el río que atravesaba Babilonia.³

El siguiente túnel construido bajo el cauce de un río se perforó cuatro mil años después de aquel de Babilonia, obra realizada por los Isambrad Kingdom y Marc Isambrand Brunel, Ingenieros británicos quienes tras veinte años de una insaciable lucha lograron dominar las furiosas aguas del Támesis que se resistía a ver perforado su lecho. El Támesis es un río del sur de Inglaterra. Nace en el condado de Gloucestershire, pasa por Oxford, Eton y Londres y desemboca en el mar del Norte. Su longitud es de 340 km. Hoy en día es el río más importante de Inglaterra y la principal fuente de abastecimiento de agua en Londres.

En las culturas de la antigüedad la esclavitud fue la fuente de mano de obra barata. Es por esto que obras faraónicas como las pirámides de Egipto o las tumbas talladas en la roca del Valle de los Reyes se hicieron realidad a un alto precio, pagando con muchas vidas de trabajadores anónimos que eran obligados a realizar un trabajo arduo y forzado. En Egipto, el túnel tiene un gran nexo con la muerte y con la vida después de la muerte. La mejor evidencia está en las tumbas excavadas en la roca,

³ LOPEZ JIMENO, CARLOS. Manual de Túneles, MADRID, Editorial Entorno Gráfico, 3era. Edición. 2000. Cap. I.

donde los faraones y nobles eran alojados para su viaje a la vida futura en cámaras pintadas con escenas de su vida en la tierra.³

Siguiendo con los principales hitos de la historia de los túneles merece especial referencia el de Samos, de un kilómetro de longitud y primero del que se tiene noticia del arquitecto que lo construyó, Eupalinos quien fue un arquitecto griego nacido en Megara que construyó el gran acueducto (en realidad un túnel) en Samos que cruzaba la montaña Kastro. Esta obra construida hacia el 530 A.C, en tiempos del tirano Polícrates, servía para el abastecimiento de agua a la capital de la isla, estuvo en funcionamiento durante un milenio y fue considerada como una de las tres maravillas del mundo heleno.³



Imagen 1.1. Acueducto construido por Eupalinos⁴

⁴ INTERNET. <http://flickr.com/photo/94059989@N00/224>

Roma construye túneles de muy diverso propósito, galerías mineras, túneles para abastecimiento de agua, para alcantarillado, como la célebre Cloaca Máxima, para el drenaje de lagos volcánicos, los llamados emisarios como los de los lagos Albano y Fucino, entre otros. En las calzadas romanas como la Boca di Furlo o el túnel de Pausilippo, cerca de Nápoles, con sus 1500 metros de longitud, sin olvidar los túneles de propósito militar y las catacumbas que construyeron los cristianos no solo bajo Roma sino en muchas otras ciudades de la cuenca mediterránea.

En la Península Ibérica, como en otros territorios que formaron parte del Imperio Romano, se localizan túneles de aquella época, como el de Montefurado o el impresionante, por su extensión y complejidad, conjunto minero de Las Médulas.

En fin, Roma domina la ingeniería subterránea y su límite técnico tal vez se encontrará en el emisario del Fucino con sus 5,5 km de longitud y que pese a ser considerado por Plinio el trabajo de las obras públicas más importante de todos los tiempos constituyó un gran fracaso de la ingeniería romana, estableciendo a la vez el punto máximo y los límites del arte de los túneles en la época del Imperio.

El Renacimiento marca el resurgir del hombre y también los túneles salen de su relativo letargo medieval. Ya Leonardo da Vinci concibe niveles subterráneos en sus proyectos de ciudades y piensa en la posibilidad de perforar túneles allá donde los canales se encuentran con la barrera montañosa. Pero las geniales ideas y concepciones de Leonardo había que plasmarlas en la realidad.³

El primer túnel del Renacimiento es construido en la Mina de Daroca (Zaragoza, España), túnel de unos 600 m de longitud, 6 m de ancho y con altura variable de entre 7 y 8 metros, construido entre 1555 y 1570 para conducir y desviar las aguas torrenciales que venían castigando la villa aragonesa.

Pero es en el Siglo XVIII cuando surge la Era de los Canales y dentro de ella los túneles empiezan a adquirir peso propio: el túnel de Malpas, cerca de Beziers en el Canal de Midi en Francia. Obra portentosa que impulsa Colbert bajo el reinado del Rey Sol es el primer túnel para canal. Este túnel, de 155 m de longitud, 6,5m de ancho y 8 m de alto, fue perforado por Pierre-Paul Riquet, empleando la pólvora por primera vez. Así comienza la Era de los Túneles para canal; tras él, muchos túneles se construirán en las siguientes décadas destacando los túneles ingleses para canal.

1.1.2 Historia de los Túneles en el Ecuador

Los túneles empiezan a abrirse campo en el Ecuador a partir del ejemplo de los países desarrollados. Si bien la geografía y la geología del Ecuador tienen características específicas y a pesar de que la tecnología y la mano de obra para realizar una perforación en un macizo rocoso son limitadas, la construcción de túneles en el país se hace posible gracias a la capacitación de los Ingenieros Civiles y al respaldo económico brindado por los gobiernos de turno.

Los túneles más importantes que se han construido en el Ecuador durante los últimos años son:

➤ Los túneles de San Diego (64 m de longitud), San Juan (706 m de longitud) y San Roque (456 m de longitud) en Quito se construyen en los años 70 cuando surge la necesidad de mejorar la movilidad en la capital del Ecuador. La ciudad empieza a extenderse en sentido norte-sur, por lo que es necesario implementar varios cambios en el trazado de las vías. Por estas razones se decide desafiar a la complicada geografía de Quito y se construyen los túneles sobre la Av. Mariscal Sucre (Av. Occidental). Este proyecto consta de 3 túneles, los mismos que tienen un sostenimiento y revestimiento ejecutado mediante anclajes, debido a la poca capacidad portante del terreno.



Imagen 1.2. Túnel de San Diego-Quito. Colocación de pavimento Rígido. ⁵

⁵ EL COMERCIO. “Túneles en Quito”. INTERNET.
<http://www.elcomercio.com/2010-04-30/Noticias/Quito/Noticias-Secundarias/EC100430P16PLACAS.aspx>.

➤ **Túnel Guayasamín.-** Así se conoce al túnel que une el valle de Cumbayá con la ciudad de Quito, el mismo que tiene una longitud de aproximadamente 1300 m. La geotecnia del terreno genera varios inconvenientes para su construcción debido a los grandes deslizamientos, por lo que, al inicio del proyecto, se debieron construir muros de contención de hormigón proyectado sobre los taludes de terreno de poca competencia, para lograr estabilizar los mismos y así, dar inicio a la perforación del túnel. Adicionalmente el armado de sostenimiento de este túnel contempla el uso de marcos rígidos de acero que se colocaron cada 1.50 metros aproximadamente, revestidos con hormigón armado.



Imagen 1.3. Construcción Túnel Guayasamín.⁶

⁶ PROAÑO, Gastón. “Tomas de la construcción del túnel en la ciudad de Quito”. ESPOL. INTERNET. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/5989>. QUITO. Julio 2009.

➤ **Túnel de Desvío, Represa Mazar.-** Debido a la demanda de energía eléctrica del país, se ve la necesidad de crear fuentes para su generación, implementándose la construcción de centrales hidroeléctricas. Gracias a la geografía del Ecuador, es posible generar energía mediante el aprovechamiento de las diferencias de altura, logrando con esto acelerar los motores que se encargan de este trabajo. Sin embargo, debido al clima tan marcado, existen épocas secas en las que es necesario otro abastecimiento de agua para generar energía. Así nace la idea de la represa MAZAR la misma que capta el agua durante la época de invierno para abastecer a la central hidroeléctrica Paute, en épocas de estiaje. Para lograrlo, se crearon varias estructuras adicionales que son importantes para su construcción y operación. El túnel de desvío del río Mazar (1241 m de longitud) es un claro ejemplo de este tipo de obras realizadas para cumplir el objetivo del proyecto.



Imagen 1.4. Túnel de Desvío Represa Mazar.⁷

⁷ HCC (HERDOIZA CRESPO CONSTRUCCIONES & IMPREGILO “REPRESA DE MAZAR”. INTERNET. http://construtoramazar.com.ec/?q=gallery&g2_itemId=377.

➤ ***Túneles Viales San Eduardo - Guayaquil.***- El proyecto de túneles del Cerro San Eduardo nace dentro del plan de mejoras de la infraestructura vial que lleva a cabo la Municipalidad de Guayaquil y son los túneles más grandes del país, pues tienen 1295 metros de longitud cada uno de ellos. El proyecto vial consta de 7 tramos, de los cuales uno contempla la construcción de túneles. El diseño de los túneles requirió varios estudios previos como los levantamientos topográficos, geológicos y geotécnicos, de impacto ambiental, estructural, estudios complementarios viales, drenaje vial, entre otros.



Imagen 1.5. Entrada Túnel San Eduardo.⁸

⁸ VARIOS AUTORES. “FORO TÚNELES SAN EDUARDO”. INTERNET.
<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=632830>. Acceso 2010-03-22.

➤ ***Túneles Viales Cerro El Carmen y Santa Ana en Guayaquil.***- Este proyecto de túneles consta de dos viaductos que atraviesan los macizos de los cerros Santa Ana y El Carmen, con longitudes de 644 y 745 metros, respectivamente. Fueron creados para conectar el Malecón Simón Bolívar con la Av. Pedro Menéndez Gilbert. En este proyecto se construyeron tres galerías de escape dentro de los túneles, las mismas que servirán de medio de evacuación en caso de una emergencia dentro del túnel. Se manejó una excavación en suelo y roca de alrededor de 37.360 m³, y se fundieron alrededor de 20.270 m³ de hormigón.



Imagen 1.6. Entrada al Túnel Santa Ana.⁹

Existe muy poca información con respecto a los colectores construidos en el país en el pasado. Sin embargo, se pudo conocer que fueron construidos con cal, arena y piedra y a una profundidad promedio de entre 10 y 15 metros.

⁹VISITA GUAYAQUIL“Túneles Santa Ana y San Eduardo”.INTERNET.
http://www.visitaguayaquil.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=156&Itemid=197.

1.2. Metodologías de construcción para túneles.

Es importante señalar que los túneles o excavaciones subterráneas en terrenos o suelos blandos no tienen nada que ver con los túneles en roca, puesto que los problemas que pueden aparecer son muy diferentes en ambos casos, además que la tecnología para resolverlos es en algunos casos muy distinta.

De la misma manera, hablar de la construcción de túneles urbanos es muy diferente que cuando se trata de túneles a campo abierto, alejados de la ciudad o zonas pobladas, puesto que en este caso no es tan importante la incidencia provocada por la construcción, como sí sucede en túneles urbanos, donde pueden existir asentamientos o movimientos horizontales que provoquen problemas en edificios o instalaciones, lo que incluso podría producir el paro de la obra permanentemente.

Los túneles hidráulicos son obras que tienen como fin la conducción subterránea de agua. Pueden trabajar a gravedad o a presión. Los túneles a gravedad se utilizan cuando se tiene un nivel de agua casi constante en la entrada. En este caso, generalmente, el costo del túnel a gravedad es menor que el del túnel a presión pues aunque tiene una sección mayor, el revestimiento es menor.¹⁰

Sistema de Excavación. Ejecución Subterránea.

Este sistema es la esencia del concepto de un túnel puesto que uno de los principales problemas que hay que resolver previo al inicio de los trabajos del túnel, es el acceso

¹⁰ KROCHIN, Sviatoslav, “**Diseño Hidráulico**”. Quito, Ed. Escuela Politécnica Nacional, ed. 2da, 1978.

al frente, ya que el túnel se encontrará a una profundidad determinada y habitualmente se parte de la superficie del terreno, por lo que hay que realizar unas rampas para empezar los trabajos o acceder desde pozos verticales, en los casos más extremos, tomando en cuenta el incremento económico y tiempo que esto conlleva.

Son múltiples los sistemas de construcción para túneles que a nivel mundial se conocen y se han utilizado para su construcción. Vale la pena mencionar que estos métodos se han modificado de acuerdo a las experiencias en su ejecución a lo largo del tiempo y se centran fundamentalmente en diferentes secuencias de excavación. Para tener un mayor entendimiento de los métodos, es necesario conocer los términos con los que se denominan los diferentes elementos que conforman un túnel.



(Solera)

Imagen 1.7. Elementos principales de un túnel.¹¹

¹¹BARQUEROS, Isidro. "Los túneles en Madrid: Métodos Clásicos".
INTERNET, <http://ecomovilidad.net/madrid/tuneles-madrid-metodos-clasicos>.

Es norma general en la excavación de túneles realizar como primer trabajo, la construcción del techo (bóveda en el caso de sección en forma de baúl), para luego construir la llamada destroza y continuar con la obra. Destroza es la excavación o la zona comprendida desde el nivel de la bóveda (techo) hasta el nivel de la contrabóveda (suelo), para poder ejecutar los hastiales. Los hastiales son las paredes del túnel (Parte comprendida entre las 2 líneas en negritas Imagen 1.7).

El estado tensional o estado de esfuerzos del terreno cuando se realizan túneles llega a alterarse como consecuencia de sustituir, la resistencia del terreno excavado por la resistencia del sostenimiento en diseño. Esta distribución de esfuerzos resultante depende de varios factores, entre los más importantes destacan: el estado de esfuerzos existente en el suelo antes de realizar la excavación, el comportamiento mecánico del suelo, la forma de excavación, es decir el método que se empleó para realizar los trabajos de excavación y, por supuesto, el tipo de sostenimiento diseñado y la secuencia de la colocación del mismo.

En décadas pasadas era muy difícil realizar el cálculo de la distribución de esfuerzos alrededor de una excavación subterránea, y más aún cuando los proyectos salían de lo normal, es decir con formas diferentes a las circulares y con estados de esfuerzos complejos. Es a partir de los años 80, cuando se desarrollan programas para facilitar, tanto analítica como económicamente, el cálculo numérico y el análisis de la distribución de esfuerzos alrededor de una excavación. Estos programas se han desarrollado con modelos que se basan en el teorema de los elementos finitos.

Para comprender el reajuste de las partículas de suelo y la distribución de esfuerzos que este reajuste produce en el suelo, se necesitaría un trabajo recopilatorio más profundo pues se trata de un tema muy complejo, sin embargo a continuación se enumeran algunos modelos elementales y criterios que se deberán considerar al momento de analizar una distribución de esfuerzos cuando existen trabajos de excavación para la construcción de túneles y otras obras subterráneas.

Primero se debe establecer el tipo de comportamiento del suelo en el que se está trabajando, de esa manera se podrá elegir los modelos ya establecidos para su análisis y cálculo.

- Terrenos con comportamiento elástico.
- Terrenos con comportamiento Elasto – Plástico. La rotura del terreno puede verse de dos maneras.
 - Rotura Frágil del terreno.
 - Rotura Dúctil del terreno.

La importancia del diseño del revestimiento y sostenimiento de un túnel va más allá de que esté mantenga estable el túnel, debido a que el túnel puede, en muchos casos, estar expuesto a agentes que no son propios, ni de la geología, ni de las cargas que soporta el túnel. Es así que muchas veces depende del servicio que va a brindar el túnel, como sucede con los túneles hidráulicos o de conducción, en este caso a gravedad.

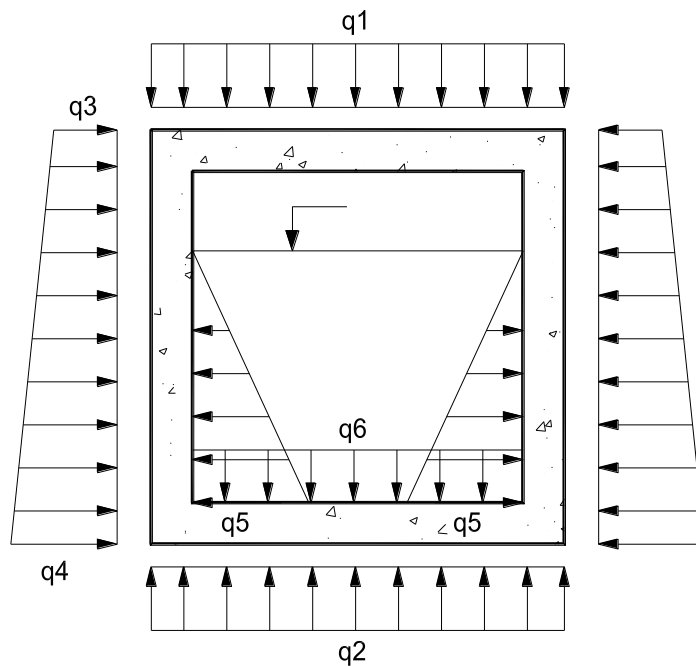


Imagen 1.8. Cargas debido al empuje del suelo en el túnel.

La excavación de un túnel y la construcción de los elementos estructurales de sostenimiento deben atender a la estabilidad de las paredes del túnel durante el proceso constructivo y asegurar la estabilidad permanente del túnel durante su utilización, siempre con los factores de seguridad correspondientes. Los varios métodos constructivos existentes que consideran este proceso, son descritos en esta sección.

1.2.1.1 Método Inglés.

Este método recibe su nombre por haber sido aplicado en túneles construidos en un tipo de terreno que usualmente se localiza en Inglaterra, como son las arenas y

areniscas. Su principal característica es proceder el avance de la perforación a sección completa del túnel, en una sola operación.¹²

Tal como se indica en la Imagen 1.9 se procede a atacar la bóveda para luego proceder desde arriba hacia abajo hasta llegar al suelo o contrabóveda si fuera el caso. En el Ecuador no se ha aplicado este método para la construcción de túneles puesto que existen otros métodos que debido a la situación geológica del medio, tienen un mejor funcionamiento al momento de realizar las excavaciones.

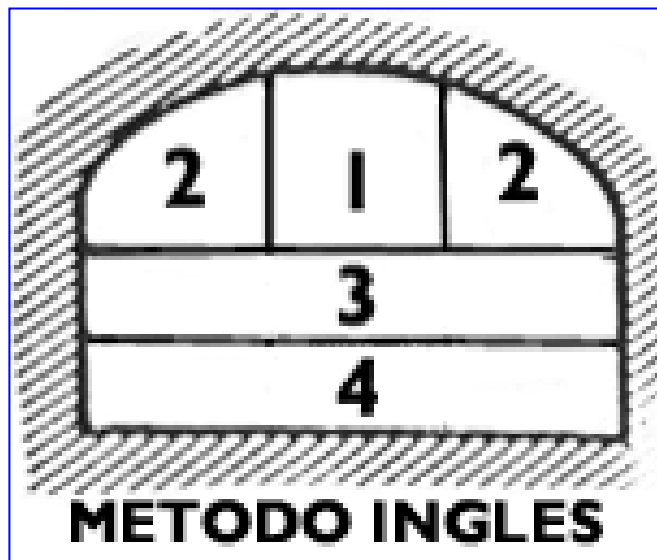


Imagen 1.9 Método Inglés. (CHILE, 2007)¹²

1.2.1.2 Método Belga (Método tradicional de Madrid).

Se basa en los principios que permitieron la construcción, en 1828, del túnel de Charleroi en el canal que enlaza Bruselas y Charleroi.¹¹

¹²GOBIERNO DE CHILE. “Métodos de Excavación de Túneles”. Ministerio de Obras Públicas. INTERNET. <http://www.vialidad.gov.cl/areasdevialidad/tuneles/Paginas/M%C3%A9tododeExcavaci%C3%B3n.aspx>.

Este método es el que más se usa en el Ecuador. En Quito fue utilizado para la construcción del túnel de conducción (Colector) bajo el intercambiador El Trébol, luego de que éste colapsara debido a una falla en la estructura. Es considerado un método muy seguro gracias a las innumerables experiencias alrededor del mundo, como es el caso de la red del metro de Madrid. La seguridad de la excavación en este método radica en que se trabaja con una sección de excavación (frente de ataque) muy pequeña, inferior a 3 metros cuadrados. Primero, utilizando herramienta manual, como son el pico y la pala, se excava la galería de la clave (parte media de la bóveda), tal como se muestra en la Imagen 1.10, la misma que se va ensanchando y apuntalando con madera y acero hasta lograr la sección de diseño de la bóveda del túnel.

Este método puede ser aplicado para túneles en terrenos blandos y en general para todo tipo de terreno, pues a pesar de que se encuentren bolsas de arena o de agua en el terreno, la sección pequeña de excavación hace poco probable que se produzca un hundimiento o deslizamiento.

Una vez realizada esta parte de la excavación se deberá colocar hormigón estructural de sostenimiento en la bóveda para conseguir la estabilidad del túnel mientras se avanza con los trabajos en la galería. Es importante la fundición de la bóveda al inicio de la excavación para proteger el frente de ataque. Detrás de la zona hormigonada continúa la obra con métodos mecánicos, en la parte denominada destroza, excavándose las paredes del túnel (hastiales) y por último se excava hasta llegar a la contrabóveda (solera).

Vale la pena señalar que este método tiene una desventaja y es el bajo rendimiento general de la obra en comparación a otros métodos mucho más efectivos en cuanto a tiempo se refiere, como aquellos que utilizan tuneladoras de frente cerrado. En el Ecuador es el más común y tal como fue mencionado anteriormente se utilizó en la construcción del túnel de encauzamiento de aguas para el Río Machángara debajo del intercambiador El Trébol. Durante la excavación de este túnel existió un deslizamiento y hundimiento, sin embargo, gracias a la protección usada en el frente de ataque con apuntalamiento y luego con hormigón de sostenimiento, no hubo contratiempos.



Imagen 1.10. Método Belga. (CHILE, 2007).12

A pesar del bajo rendimiento de este método, se lo usa en el país ya que se carece de tecnología para excavaciones en terrenos blandos, lo cual alarga los plazos de la obra. Sin embargo, es el método que se adapta a la geología existente, y es muy

aplicado para planes de ampliación de túneles donde el terreno se encuentra descomprimido.

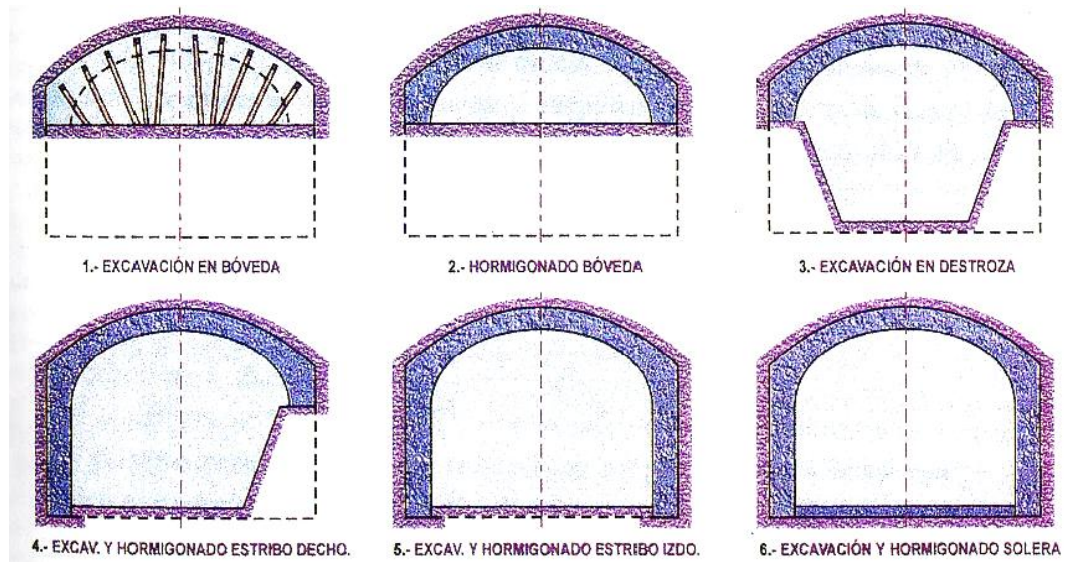


Imagen 1.11. Fases constructivas del túnel. Método BELGA. (GALERA, 2008).¹³



Imagen 1.12. Ensanche de la bóveda de un túnel excavado por el método BELGA y su apuntalamiento.(GALERA, 2008).

¹³ GALERA, José. “Métodos Constructivos para la excavación de túneles en suelos”. INTERNET. www.geocontrol.es/pdf/tunelesuelos.pdf. CHILE. 2008.

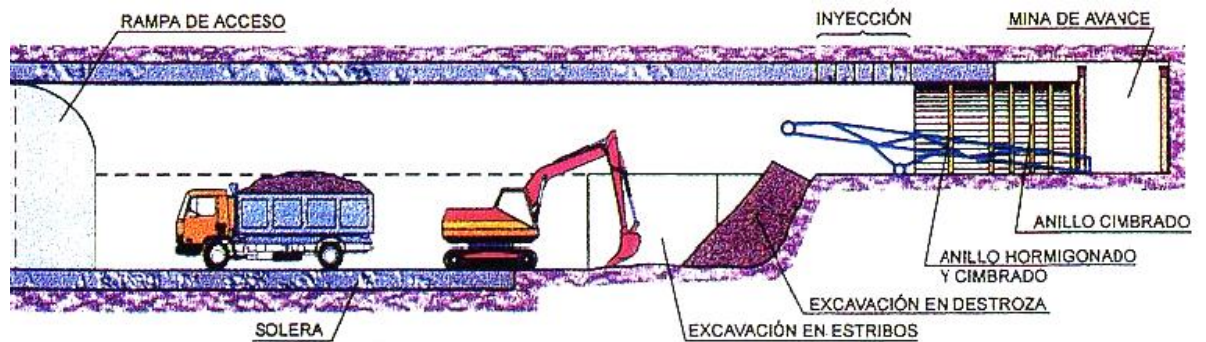


Imagen 1.13. Esquema de avance método BELGA. (GALERA, 2008).13

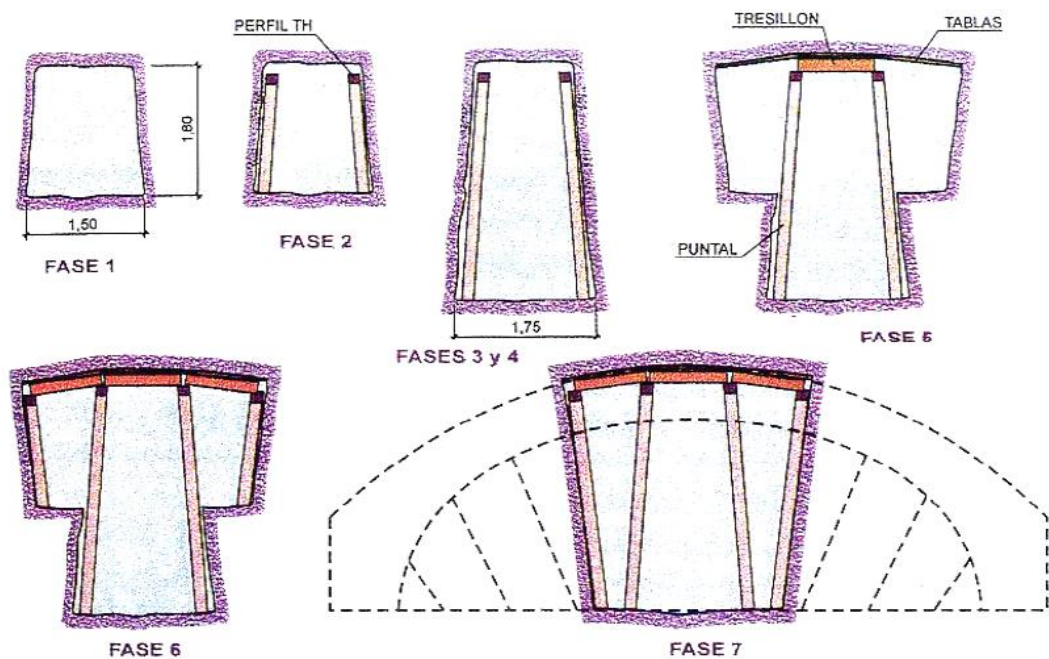


Imagen 1.14. Metodología de avance para la bóveda del túnel. (GALERA, 2008).

Se explica el método belga debido a su frecuente uso en el país cuando se ejecutan túneles de conducción agravada, como aquellos que son destinados para alcantarillado y obras sanitarias. Se mencionan algunas recomendaciones que deben ser tomadas en cuenta para aplicar este método de una manera correcta y segura.

1. Es necesario priorizar la máxima seguridad para los trabajadores en el interior del túnel, así como también para las edificaciones y otros elementos ubicados en la superficie.
2. Se debe tener solamente la mínima sección necesaria de corte abierto, en el frente del túnel, en todo momento.
3. El análisis económico estará basado en brindar la seguridad y la calidad de excavación para evitar cualquier tipo de inconveniente en lo que a accidentes laborales se refiere.

El problema de este método, para su aplicación en el país, desde el punto de vista de la programación y avance de obra, será la escasa mano de obra calificada, lo que podría encarecer el proyecto.

Su rendimiento varía entre 30 y 50 m. de túnel por mes, dependiendo de la calidad del terreno y del tamaño de la sección.

1.2.1.3 Método Alemán (Galerías Sucesivas) y Método Alemán Modificado.

El método alemán se basa en el concepto del núcleo central. Es un sistema que fue utilizado por primera vez en 1803 para construir el túnel en el Canal de San Quintín, ejecutado por Wiebeking. Fue empleado en la construcción de las amplias bodegas de cerveza de Baviera. Es un método muy seguro al momento de construir estaciones

o túneles de sección superior a 8 metros cuadrados, además de que puede ser utilizado en terrenos blandos. La excavación inicia con los trabajos en los hastiales, que se dividen en dos niveles, cada uno de ellos correspondiente a la mitad de la altura del hastial. Lógicamente se realiza primero el nivel inferior, se coloca hormigón en la primera parte del hastial dejando armadura libre para que la misma sea continua en la segunda mitad del hastial y funcione como un solo elemento, se continúa la excavación del nivel superior y de la misma forma se funde y se espera su fraguado. Simultáneamente al fundido de los hastiales, se excava la galería de la clave, es decir la parte intermedia de la bóveda, lo cual será muy importante para la ejecución de los trabajos de excavación de las partes externas de la bóveda (costillas elemento No.4 en la Imagen 1.15).

Cuando se han terminado estos trabajos, se comienza a realizar la excavación de las partes externas (costillas) que formarán la bóveda del túnel; esto se realiza desde lo alto del segundo nivel del hastial excavado en la primera parte de los trabajos. Las costillas, es decir las partes que unen los hastiales con la galería de la clave, son también recubiertas con hormigón estructural, una vez finalizada la excavación.

En lugar de hormigón se puede utilizar otro tipo de sostenimiento como son cerchas metálicas, entre otros. Se repite este proceso las veces que sean necesarias hasta conseguir la longitud del túnel o caverna. Una vez fraguado todo ese hormigón o

sostenimiento elegido, se realiza la excavación de toda la sección y se ejecuta la contrabóveda.¹⁴

El Método Alemán Modificado se aplica en el caso en que si durante la operación de perforación del túnel a través de un terreno bastante firme surge la presencia de agua, lo que origina una alteración en el método Clásico Alemán en lo que a las etapas sucesivas de ataque del frente se refiere. Sin embargo el método mantiene el mismo concepto que el método alemán clásico.



Imagen 1.15. Método Alemán. (CHILE, 2007)¹⁴

¹⁴ BARQUEROS, Isidro. “Los túneles en Madrid: Métodos Clásicos”. 11/12/2009. INTERNET. <http://ecomovilidad.net/madrid/tuneles-madrid-metodos-clasicos>. Acceso: (2010-01-10).

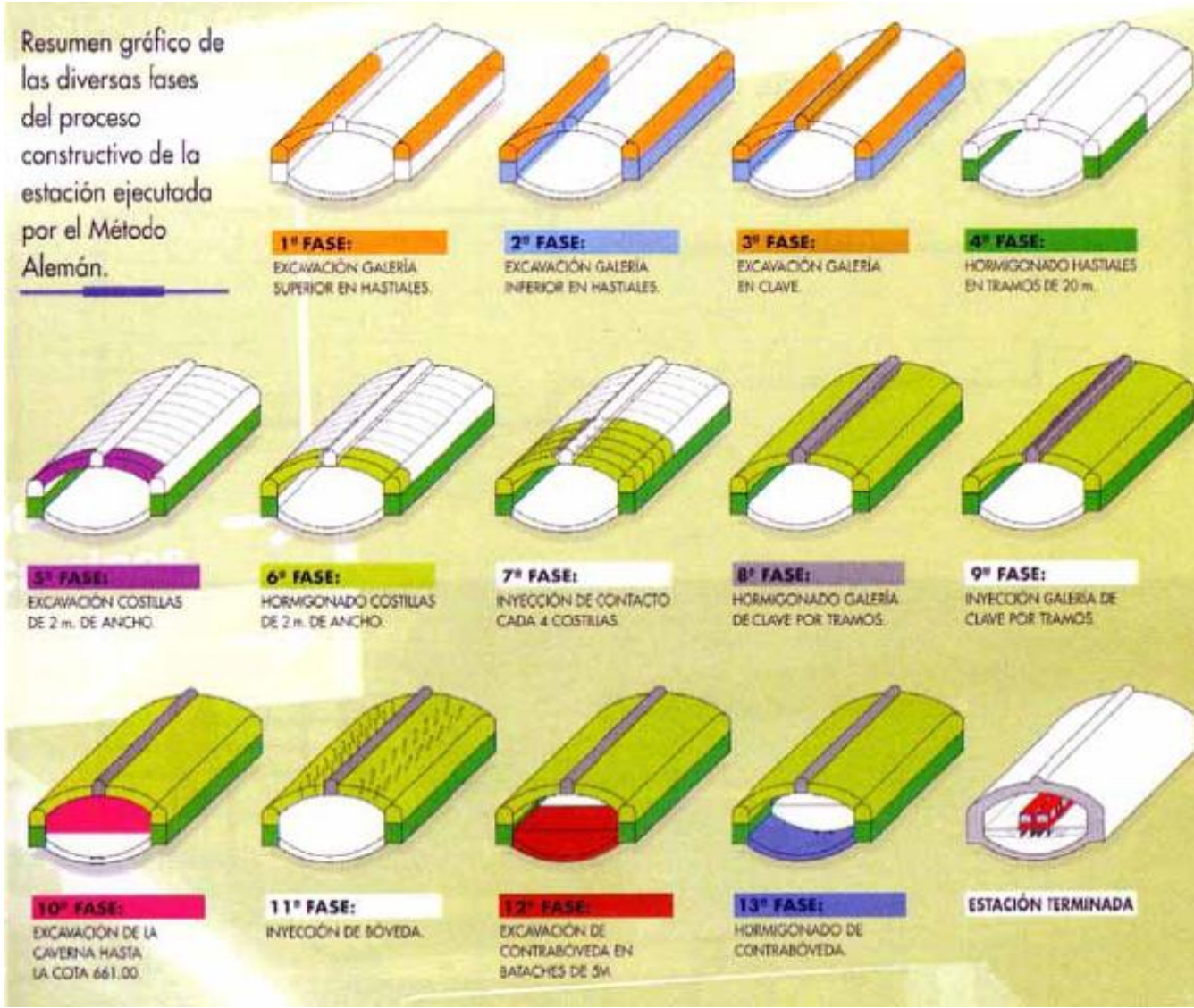


Imagen 1.16. Método Alemán. Resumen de las galerías sucesivas (Estación Guzmán Bueno Madrid). (GALERA, 2008)¹³



Imagen 1.17 y 1.18. Método Alemán. Ejemplos de excavaciones sucesivas. (CHILE, 2007)¹¹

1.2.1.4 Método Austríaco.

Los austríacos desarrollaron un plan de trabajo basado en la utilización de puntales de madera formando un sistema de entibado. La excavación se realiza en el orden que se muestra en la Imagen 1.19.¹¹



Imagen 1.19. Método Austríaco.(CHILE, 2007)¹¹

Es un método que tiene una alta peligrosidad en terrenos blandos como son los terrenos en la ciudad de Quito y en la mayoría de subsuelos en el país. Su principal carencia es que el frente de excavación (ataque) se hace con una amplia sección, lo que produce una alta probabilidad de desplome o deslizamiento de la excavación. Por ello no se utiliza este método en el Ecuador y no se recomienda su uso por la geología y tipos de suelos por donde cruzan los proyectos de túneles nacionales.

El frente de excavación puede ser realizado a sección completa, es decir todos los elementos del túnel al mismo tiempo, alcanzando secciones cercanas a los 80 metros cuadrados. Sin embargo para reducir la probabilidad de desplome del frente, la

excavación se realiza a semisección, es decir avanzando solamente con el frente de la sección de la bóveda, de alrededor de 30 metros cuadrados, pero sin duda el procedimiento esquematizado cambia, y las etapas de excavación son modificadas por lo que nace el Nuevo Método Austríaco que ha mostrado mejores resultados que el clásico, ya que brinda una mayor libertad tanto en el tamaño de las secciones a trabajar como en el orden a seguir en el proceso de trabajo.

En cualquiera de los casos, el frente sigue siendo amplio y esto conlleva a grandes riesgos y alta probabilidad de desplome del frente. Es importante señalar que según la excavación va progresando se proyecta hormigón en las paredes del túnel y a continuación se realiza el revestimiento definitivo seleccionado de acuerdo al diseño. Este método se lo realiza con medios mecánicos, excavadoras a sección completa o rozadoras como la que se muestra en la Imagen 1.20.



Imagen 1.20. Rozadora.15

¹⁵BARQUEROS, Isidro. “Los túneles en Madrid: Métodos Clásicos”. 11/12/2009. INTERNET. <http://ecomovilidad.net/madrid/tuneles-madrid-metodos-clasicos>.

1.3. Impacto ambiental en el río Machángara.

Se entiende por *impacto ambiental* el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. El concepto puede extenderse, con poca utilidad, a los efectos de un fenómeno natural catastrófico. Técnicamente, es la alteración de la línea de base, debido a la acción antrópica (efectos causados por el ser humano) o a eventos naturales.

Las acciones humanas, motivadas para la consecución de diversos fines, provocan efectos colaterales sobre el medio natural o social. Mientras los efectos perseguidos suelen ser positivos, al menos para quienes promueven la actuación, los efectos secundarios pueden ser positivos y, más a menudo, negativos. La evaluación de impacto ambiental (EIA) es el análisis de las consecuencias predecibles de la acción; y la Declaración de Impacto ambiental (DIA) es la comunicación previa, que las leyes ambientales exigen bajo ciertos supuestos, de las consecuencias ambientales predichas por la evaluación.

El río Machángara, elemento geográfico fundamental y condicionador de la estructura espacial de la ciudad de Quito así como de su entorno inmediato, evidencia un grave deterioro funcional y ambiental en todo su curso puesto que es el receptor de gran cantidad de las aguas residuales que genera la ciudad de Quito, las que se vierten en diferentes puntos a lo largo de su recorrido. Además de ello, el río recibe una gran cantidad de basura y escombros que lo vuelven altamente contaminante. Esto ha provocado la degradación de la imagen urbana y el descuido y

olvido por parte de las autoridades y los habitantes de la ciudad, convirtiéndose en el espacio receptor de basura y aguas residuales de Quito.

Desde su origen en el barrio Caupicho y en su curso por las zonas sur y centro-sur de la ciudad, el río Machángara se encuentra alimentado por sus quebradas afluentes y colinda con sectores que evidencian un elevado proceso de urbanización y densificación. En éstos se puede observar la falta de espacios públicos, de dotación de servicios e infraestructura y de equipamiento de recreación pasiva y activa.

En base a estas constataciones y a la necesidad de consolidar una estructura territorial metropolitana que garantice adecuadas condiciones de vida para los habitantes de Quito a través de la recuperación del espacio público y la refuncionalización de la ciudad central, el Plan General de Desarrollo Territorial (2001) estableció como uno de sus proyectos fundamentales y prioritarios la recuperación del río Machángara. Este afán coincidió con los objetivos de la ex Corporación de Salud Ambiental de Quito, y permitió desarrollar, en conjunto, el proyecto “PARQUE LINEAL MACHÁNGARA” como una propuesta integral que comprende dos componentes esenciales: la descontaminación del río y la recuperación de la quebrada y áreas verdes para conformar espacios recreativos de alta calidad paisajística y ambiental.

El plan general de descontaminación y recuperación del río Machángara consiste en la eliminación de las aguas residuales, mediante la construcción de interceptores sanitarios a cada lado del río hasta la planta o plantas de tratamiento ubicadas en sitios estratégicos, y su descarga final al río Guayllabamba.

A lo largo de su recorrido, el río Machángara muestra una serie de paisajes afectados, espacios y detalles que delatan la transformación que ha tenido por la intervención del hombre. Los altos niveles de contaminación convierten al río Machángara en un lugar donde se forman montañas de espuma tóxica y donde el color del agua puede pasar de un café oscuro a un caférojizo (Imágenes 1.21 y 1.22).



Imagen 1.21. Agua río Machángara.¹⁶



Imagen 1.22. Río Machángara.¹⁷

¹⁶<http://www.astec.com.ec/index.php?idSeccion=45>. INTERNET.

La diferencia de escenarios que existe entre la parte sur del río, en los alrededores del centro comercial " El Recreo" y de "El Trébol", y la parte norte, desde el túnel Guayasamín hasta la población de Cumbayá, reflejan los diferentes estilos de vida que lleva la gente. El nivel de contaminación tanto en el tramo sur como en el tramo norte del río, es lo que ha preocupado a la ciudadanía y ha inspirado a la ex EMAAP-Q, en conjunto con la ex Corporación Ambiental Vida para Quito, a desarrollar un proyecto que descontamine al río Machángara, "arteria principal" de la ciudad de Quito.

A lo largo del trayecto del río Machángara se presentan particularidades funcionales, morfológicas, ambientales y sociales que deben ser consideradas en los diferentes tramos de intervención, como son:

- Incremento descontrolado del equipamiento comercial e industrial, en relación a otros usos como el residencial.
- Ocupación ilegal de los bordes de la quebrada sin respetar las márgenes de protección.
- Deterioro funcional y de imagen de los sectores construidos junto a la quebrada.
- Alta contaminación del río, que genera mal olor en el entorno.
- Presencia de basura, escombros y roedores en las laderas aledañas.
- Descargas clandestinas de aguas servidas hacia el río (principalmente de fábricas).
- Deterioro de espacios verdes y recreativos que se localizan junto a las quebradas afluentes.

¹⁷<http://clasehipertextual.blogspot.com/2009/05/machangara-y-su-recorrido-rio.html>. INTERNET.

La propuesta de intervención se ha dividido en tramos, división que responde a las particularidades morfológicas del río y de las quebradas, a las características espaciales y funcionales del entorno urbano y a los requerimientos técnicos de diseño y construcción de los interceptores sanitarios y colectores que se realizan a lo largo del río.

Con la construcción del colector en sus diferentes tramos se pretende lograr:

- La eliminación de las aguas residuales, mediante la construcción de interceptores sanitarios y semicombinados a cada lado del río, hasta llegar a la zona de Oyacoto, donde se realizan estudios para la implementación de una planta de tratamiento.
- La eliminación de los tradicionales botaderos de basura y de escombros en las márgenes y laderas, mediante la construcción de espacios verdes recreativos (parques lineales y puntuales).
- La concientización de la ciudadanía para el cumplimiento de las ordenanzas municipales que rigen la conservación y el manejo de los ríos y las quebradas.

En cada uno de los tramos de intervención se pretende responder a las necesidades particulares de cada sector por el que atraviesa el Parque Lineal, jerarquizando de esta manera el rol que tendrá cada tramo. Se propone además la creación de parques “temáticos” que aporten diversidad a la intervención total, sin que se pierda la imagen general del proyecto.

CAPÍTULO 2

Organización y planeación previa a los trabajos.

2.1. Estudio del proyecto

Como en toda obra de Ingeniería Civil, es indispensable realizar la evaluación del proyecto, estudiando en forma pormenorizada toda la información existente: planos de construcción, memoria técnica de los estudios, especificaciones técnicas, modelo del contrato. Adicionalmente se debe visitar el sitio en donde se llevarán a cabo los trabajos. Todo lo indicado es necesario a fin de establecer el más justo valor a ofertar.

De ser adjudicado el contrato y con anticipación a la firma del mismo, se debe hacer una nueva visita al lugar de trabajo que permita observar si se han producido cambios significativos que puedan afectar a la ejecución del mismo, además se debe realizar un acercamiento con los pobladores del sector a fin de poner en su conocimiento los trabajos que se van a realizar y las posibles dificultades que se les pudiera ocasionar en el desarrollo de la obra, recogiendo criterios de los mismos lo que servirá para evitar, en lo posible, incomodidades en su diario vivir, planificando adecuadamente la ejecución de cada una de las tareas necesarias para el desarrollo del proyecto.

2.2. Ubicación del proyecto.

El proyecto objeto del análisis, Tramo 4-E, se localiza a lo largo de los barrios Mercado Mayorista, Argelia Baja y Mirador Bajo, de la Parroquia San Bartolo, al Sur Occidente del Distrito Metropolitano de Quito.

El Tramo 4-E tiene una longitud de 518,18 metros que corren a lo largo de las calles Manglaralto y Guanazán; en sentido oriente – occidente, desde el Pozo 58, en la esquina de la Avenida Pedro Vicente Maldonado y Guanazán. Desde dicho pozo, el colector corre paralelo al eje de la calle Guanazán hasta la intersección con la calle Manglaralto, en esta intersección el colector gira 90° en su conexión al pozo 62 y toma sentido Sur – Norte, hasta el pozo 64' (no contemplado en este proyecto), continua paralelo al eje de la calle Manglaralto por su carril oriental.

La zona circundante al colector en el Tramo 4-E, al ser poblada, cuenta con toda la infraestructura necesaria, como es alumbrado público, agua potable, red telefónica, recolección de basura, vía consolidada, en sectores adoquinada y, en otros, a nivel de sub-base.

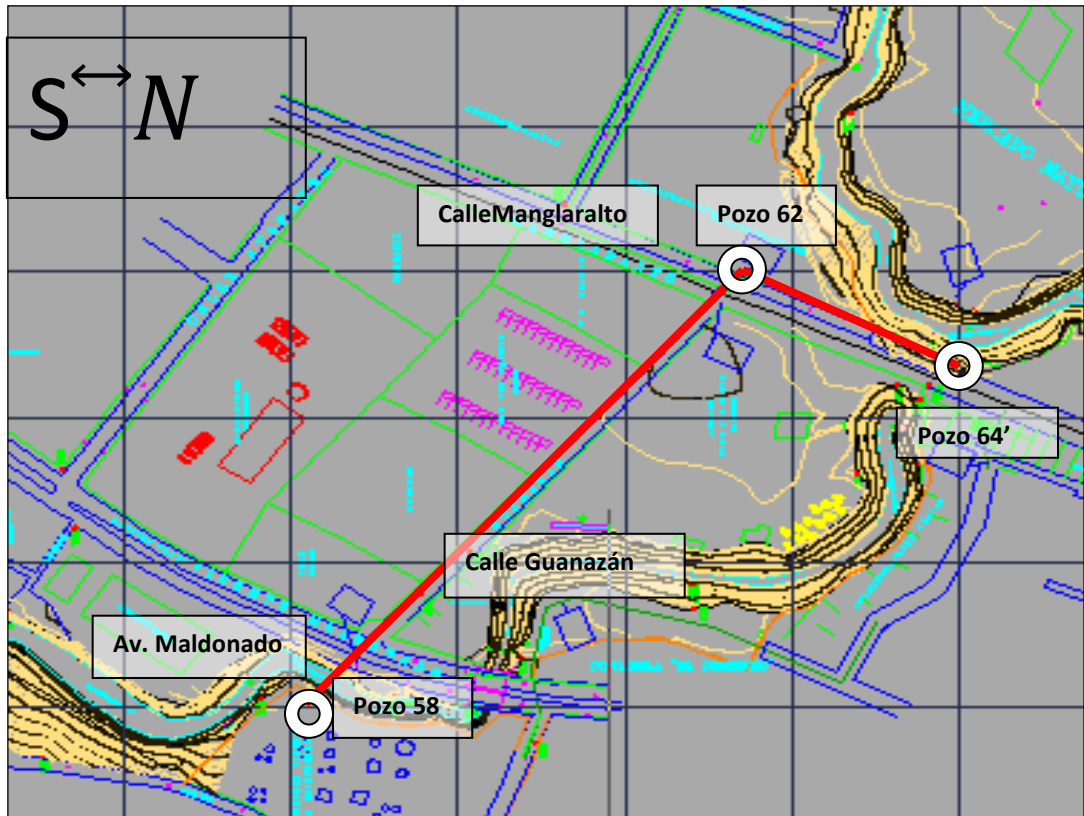


Imagen 2.1. Croquis de ubicación TRAMO 4-E (línea roja).

2.3 Reunión de pre construcción.

El plazo de ejecución de los trabajos corre a partir de la firma del contrato, por tanto es necesario que el constructor realice una reunión inmediata de pre construcción, con la participación del contratista, su personal técnico, el Administrador del Proyecto y el Fiscalizador, a fin de definir los parámetros básicos para la correcta y apropiada ejecución de los trabajos, los mismos que constan a continuación:

- *Fecha de inicio real del proyecto.*

Si bien es cierto que el plazo para la ejecución del proyecto corre a partir de la fecha de la firma del contrato, en la realidad es necesario en la reunión de pre construcción

fijar, en acuerdo con la fiscalización, la fecha de inicio real o efectiva de los trabajos, realizar un análisis del cronograma contractual y, de ser necesario, hacer una reprogramación la que se justifica únicamente, si por fuerza mayor no imputable al contratista, no se puede dar inicio a la obra.

➤ *Normativas de comunicación y relación entre las partes.*

Cada entidad pública tiene normas sobre cómo tienen que desarrollarse las comunicaciones entre las partes, dicha normativa será dada a conocer y será de estricto cumplimiento, estas normas deberán ser conocidas por cada uno de los actores es decir contratista, personal técnico del contratista, fiscalizador y administrador del contrato.

➤ *Normas de control.*

La fiscalización y el personal de control de calidad de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (Ex EMAAP-Q), definirán las normativas respecto al control de calidad de los materiales utilizados en la obra, para lo cual la entidad contratante dispondrá los ensayos a realizarse y las normas que los regirán y entregará, en lo posible, manuales respecto a cada tema. En caso de ser requeridos ensayos especiales estos se llevarán a cabo de acuerdo a normas nacionales y/o internacionales referentes al caso.

➤ *Normas de seguridad.*

La construcción de colectores bajo el sistema de túneles, es considerada de alto riesgo, más aún cuando se la ejecuta en zonas pobladas y calles con tráfico vehicular

lo que demanda un cuidado especial que brinde seguridad a los obreros, a los moradores y a los visitantes del sector, así como también a las edificaciones y obras de infraestructura existentes. Para ello deberá cumplirse estrictamente con toda la normativa de seguridad entregada por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, incluidos planes de evacuación en caso de accidentes.

2.4. Selección de personal.

La selección del personal va de acuerdo a las exigencias de la entidad contratante, y de la complejidad de la obra a ser ejecutada. Su elección se la realizará tomando en cuenta el nivel de conocimiento por su formación académica, la experiencia que haya logrado en la ejecución de obras similares, buen manejo del control de calidad, seguridad industrial y capacidad para organizar al personal y asignarle tareas específicas. Estos criterios se los aplica para la elección del personal técnico (Superintendente y Residente de obra).

La selección de los obreros de mayor responsabilidad, tal el caso del maestro mayor y sus ayudantes o “segunderos”, se la realiza tomando en consideración su liderazgo, capacidad de organización del trabajo, distribución de tareas, exigencia en el cumplimiento de las mismas, experiencia en la ejecución de obras similares, aplicación de las normativas de seguridad industrial y sapiencia para la buena ejecución de los trabajos con apego a las especificaciones.

El personal técnico básico del constructor de nivel profesional y de los obreros es el siguiente, de acuerdo con sus funciones:

Superintendente.- Es un Ingeniero Civil con experiencia en construcción de túneles que será el encargado de supervisar todas las actividades dentro de obra. Entre las varias responsabilidades que tendrá el profesional a cargo de este puesto están el manejo de personal, control de maquinaria pesada, conceptos de mecánica de suelos, topografía, tecnología del hormigón, optimización en el uso de materiales. Deberá también tener conocimiento en la elaboración de planillas de avance de obra y en de los documentos que establecen día a día, con detalle, las dificultades, avances del proceso constructivo (libro de obra).

Maestro Mayor.- Trabajador con experiencia en este tipo de obras, con capacidad de comunicación y liderazgo de personal. Es el encargado de hacer cumplir en las jornadas de trabajo las disposiciones impartidas por el ingeniero superintendente de obra y por el fiscalizador, además deberá verificar que los trabajadores bajo su cargo se equipen adecuadamente con ropa de trabajo e implementos de seguridad.

Albañiles.- Trabajadores con experiencia en este tipo de obra, con capacidad de solventar y llevar a cabo los trabajos encomendados, por el maestro de obra en cada frente de trabajo.

Peones.- Personal que no necesita ser calificado para construir túneles pero debe tener experiencia en otro tipo de trabajos, generalmente es personal empleado para

acarreo en el interior del túnel y desalojo desde boca de pozo hasta la zona de desalojo.

Al personal en función de las tareas a ellos encargadas, se le dotará del siguiente equipo de trabajo, el cual le brinda protección y le permite ejecutar en debida forma su función en el proyecto.

2.5 Dotación de equipos de trabajo.

Para brindar la mayor seguridad posible al personal que va a formar parte del proyecto y para lograr la ejecución del mismo en el menor tiempo posible teniendo rendimientos de mano de obra altos, se le debe dotar de todo el material de seguridad industrial adecuado para este tipo de obra. Los principales implementos son:

Casco de plástico.- Utilizado para protección de la cabeza, sirve para evitar heridas provocadas por caída de materiales incorporados en obra (ripió, encofrado, varillas de refuerzo, etc.), herramientas o piedras que pueden desprenderse cuando se están realizando excavaciones.



Imagen 2.2. Cascos de plástico.

Gafas de plástico.- Protege los ojos de los trabajadores del polvo, agua contaminada, limillas (chispas) producto de actividades como cortes en hormigón, fabricación del encofrado de madera, corte de varillas con amoladora, etc.



Imagen 2.3. Gafas de plástico.

Mascarillas antigases.- Utilizado para proteger la salud de los trabajadores, cuando sus actividades se desarrollan en presencia de gases nocivos, como son las actividades al interior del colector.



Imagen 2.4. Mascarilla antigases.

Chaleco reflectivo.- Permite identificar a los trabajadores de la obra, lo cual ayuda a tener un control del personal en horas de trabajo. Ayuda a los trabajadores cuando se

encuentran en lugares oscuros o donde se encuentra trabajando maquinaria ya que poseen tiras reflectivas que permiten identificar claramente su presencia.



Imagen 2.5. chaleco Reflectivo.

Guantes de cuero.- Implementos utilizados para la protección de las manos, cuando se realizan excavaciones ya que por la manipulación de las herramientas como palas, picos y carretillas pueden producir ampollas o magulladuras, o en actividades en que deba manipular rocas, bloques, transportar y amarrar varillas de acero, etc.



Imagen 2.6. Guantes de cuero.

Guantes de caucho.- Implementos utilizados para actividades como limpieza de varillas cuando se colocan anticorrosivos, cuando se debe estar en contacto con cemento, hormigón fresco, agua contaminada, etc.



Imagen 2.7. Guantes de caucho.

Botas de caucho.- Implemento utilizado para actividades donde hay presencia de agua, como en la excavación del colector y en fundiciones de hormigón como en la estructura del túnel.



Imagen 2.8. Botas de caucho.

Arnés.- Equipo que se coloca entre los brazos y piernas y se conecta a una línea de vida que brinda seguridad al trabajador cuando realiza actividades en altura.



Imagen 2.9. Arnés.

2.5. Herramientas y equipos mayores

Para el desarrollo de las actividades que se realizan en proyectos de este tipo, es necesario contar con las siguientes herramientas y equipos:

Pala.- Herramienta que permite la ejecución de actividades como: recoger material producto de excavaciones, fundiciones, colocación de material en carretillas, etc.



Imagen 2.10. Palas.

Picos.- para este tipo de trabajo se emplean picos especiales como el pico No. 4 en la imagen, de doble punta, los mismos que deben ser reforzados y con sus puntas endurecidas en fragua. Ideal para la excavación de túneles.

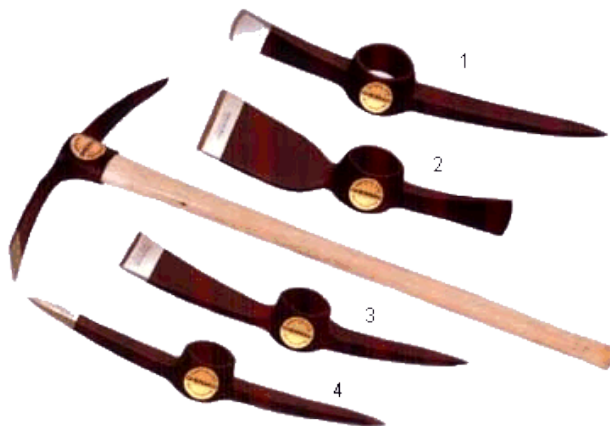


Imagen 2.11. Picos.

Carretilla.- Herramienta que permite transportar materiales (grava, arena, cemento, tablas) dentro del sitio de trabajo, para realizar las actividades programadas tanto en fundición de elementos estructurales, como también en el desalojo de materiales producto de excavaciones.



Imagen 2.12. Carretilla.

Elevador.- Equipo que se coloca en cada uno de los pozos de entrada al túnel, está provisto de un motor eléctrico ó a gasolina y sirve para la extracción del material producto de las excavaciones en el colector.



Imagen 2.13. Elevador.

Rotomartillo.- equipo empleado para excavaciones en sitios en los cuales se tiene material consolidado o rocas.



Imagen 2.14. Rotomartillo.

Bomba sumergible de agua.- Maquinaria utilizada para expulsar el agua producto de filtraciones internas debido a la presencia de agua subterránea, facilitando los trabajos de excavación, desalojo, encofrado, fundición de hormigón, etc.



Imagen 2.15. Bomba Sumergible.

Cargador frontal.- Maquinaria que coloca el material a ser desalojado en las volquetas.



Imagen 2.16. Cargador frontal.

Volqueta.- Vehículo que transporta el material a desalojarse tal como escombros y suelo excavado.



Imagen 2.17. Volqueta.

2.6. Alternativas de ubicación de campamento

La ubicación del campamento es muy importante ya que debe ser central y estar en un lugar de fácil acceso, para poder llevar las herramientas a cualquier parte del proyecto y debe tener la mayor de las seguridades para evitar que los equipos sean sustraídos por personas ajenas al proyecto.

En toda el área cercana al proyecto, existen lugares en donde se pueden ubicar campamentos. Pero dadas las necesidades del proyecto, se ubicó un solo campamento en la parte central del tramo de la calle Guanazán. Este contó con instalaciones de oficina, bodegas para acopio de materiales, bodega para herramientas de trabajo, comedor para personal, vestidores, dormitorios (se trabajó las 24 horas del día, los 7 días de la semana), contó también con un botiquín para primeros auxilios, sistema de alumbrado, servicios higiénicos y duchas para el personal, agua potable y servicio de internet.

2.7. Topografía y ubicación de puntos importantes del proyecto

Por tratarse de un proyecto que se realiza por tramos y en el cual la pendiente longitudinal del colector es baja (0,55%), a fin de no tener problemas en la descarga, se realizó la reposición general de datos topográficos desde el sitio de descarga, en coordinación con los contratistas de los tramos con los que empata esta porción del colector. Entre los puntos referenciales importantes están los siguientes:

Ejes de los pozos N° 58, 59, 60, 61, 62, 63 y 64', cuya ubicación se realiza en la superficie con la mayor exactitud, pues de ello dependerá en gran parte el éxito de la obra. El trabajo fue ejecutado con equipos electrónicos de última generación como estación total, que junto con el software especializado de propiedad de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (ex EMAAP-Q), permitió los chequeos posteriores.

CAPÍTULO 3

Proceso Constructivo

Para que todo proyecto pueda realizarse de una manera eficaz es necesario definir un proceso constructivo adecuado y organizado para así lograr un avance ideal en las diversas labores del proyecto. Es muy importante controlar el cumplimiento de la programación de obra y la ordenada ejecución de los trabajos en ella establecidos.

El método de excavación del túnel de los pozos de revisión (Método Belga) se realiza de forma manual, con el empleo de herramientas manuales desde pico y palas hasta martillos neumáticos manuales. No se descarta la presencia de bloques de roca los cuales dependiendo de su tamaño deberán ser fragmentados hasta con el empleo de explosivos. El rendimiento diario esperado en este colector es de entre 3,2 m y 3,5 m longitudinales de excavación de túnel y en el cronograma (ver anexo 1) se estima terminar con todos los trabajos en 240 días (7 meses).

En los sondeos de investigación realizados se ha establecido la existencia de nivel freático y la cota a la que se encuentra (sobre el nivel de la bóveda), por lo que durante la excavación se espera la presencia de agua. Para vencer esta dificultad se deberán utilizar bombas de succión en los pozos, lo que ayudará a dar estabilidad al túnel. Para prevenir gran acumulación de agua producto de las filtraciones, el contratista deberá planificar adecuadamente el sentido del avance de la excavación y aprovechar también el tramo ya construido para drenaje de las aguas.

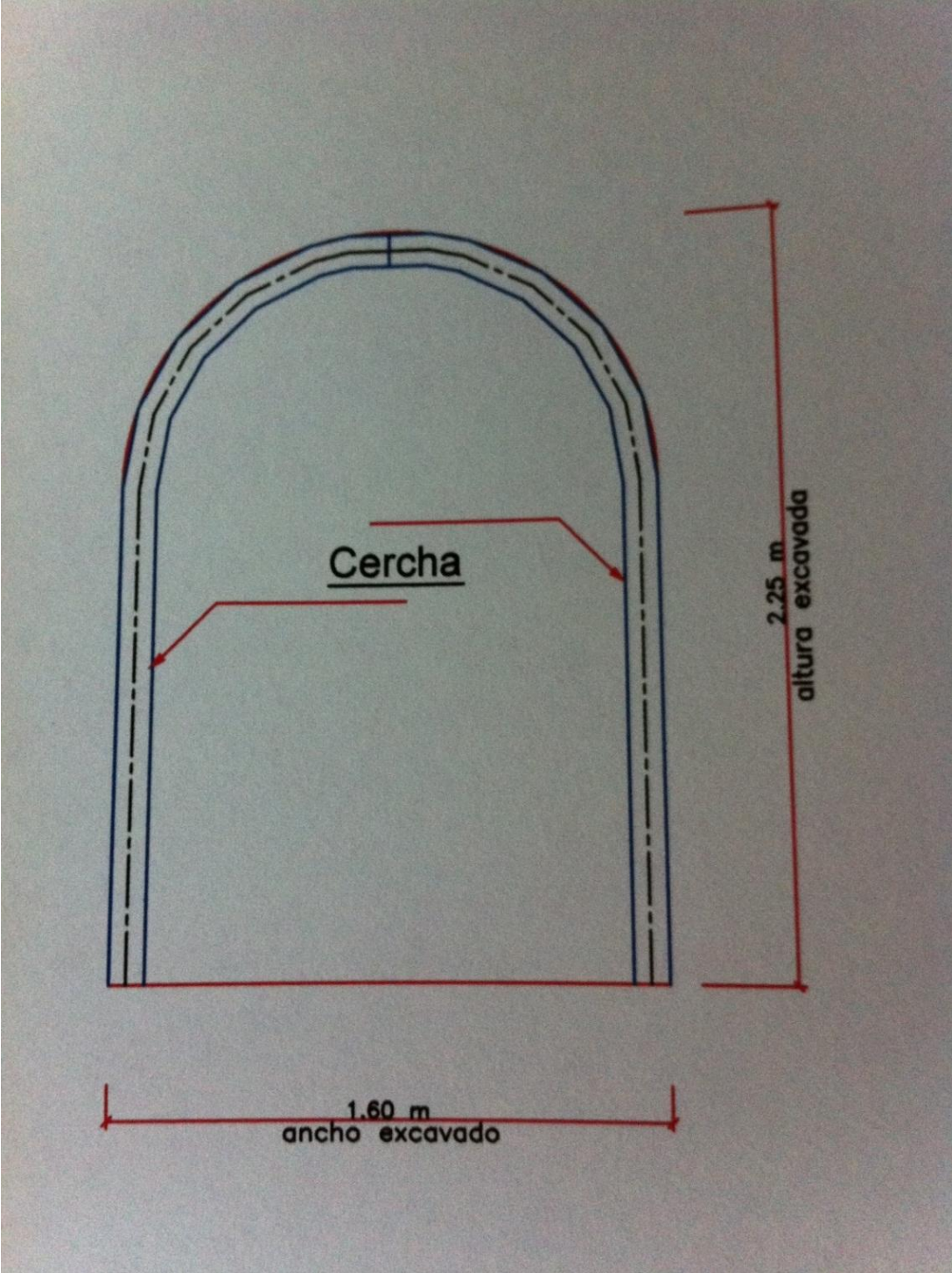
Para dar facilidad constructiva al avance en la excavación del túnel, se propone un entibado metálico, el mismo que será permanente y formará parte de la estructura; se recomienda un espaciamiento entre los mismos de 1,2 m, aunque si las condiciones del suelo cambian, la separación puede variar.

Dadas las características geotécnicas de los materiales atravesados, limo arenoso y lentes de arena, generalmente de compacidad media a baja, se prevé el empleo de entibado, utilizando para ello cerchas metálicas fabricadas con perfiles de acero (Imagen 3.1). Entre las cerchas y el suelo, se hincan elementos de madera (medias duelas) a lo largo de todo el tramo.



Imagen 3.1. Entibado permanente conformado por cerchas de acero.

El espaciamiento entre cerchas es variable, se colocarán cada 1.2 m cuando la estabilidad del suelo sea buena, y a 0.60 m o 0.40 m cuando exista presencia de agua y/o de estratos de suelo suelto.



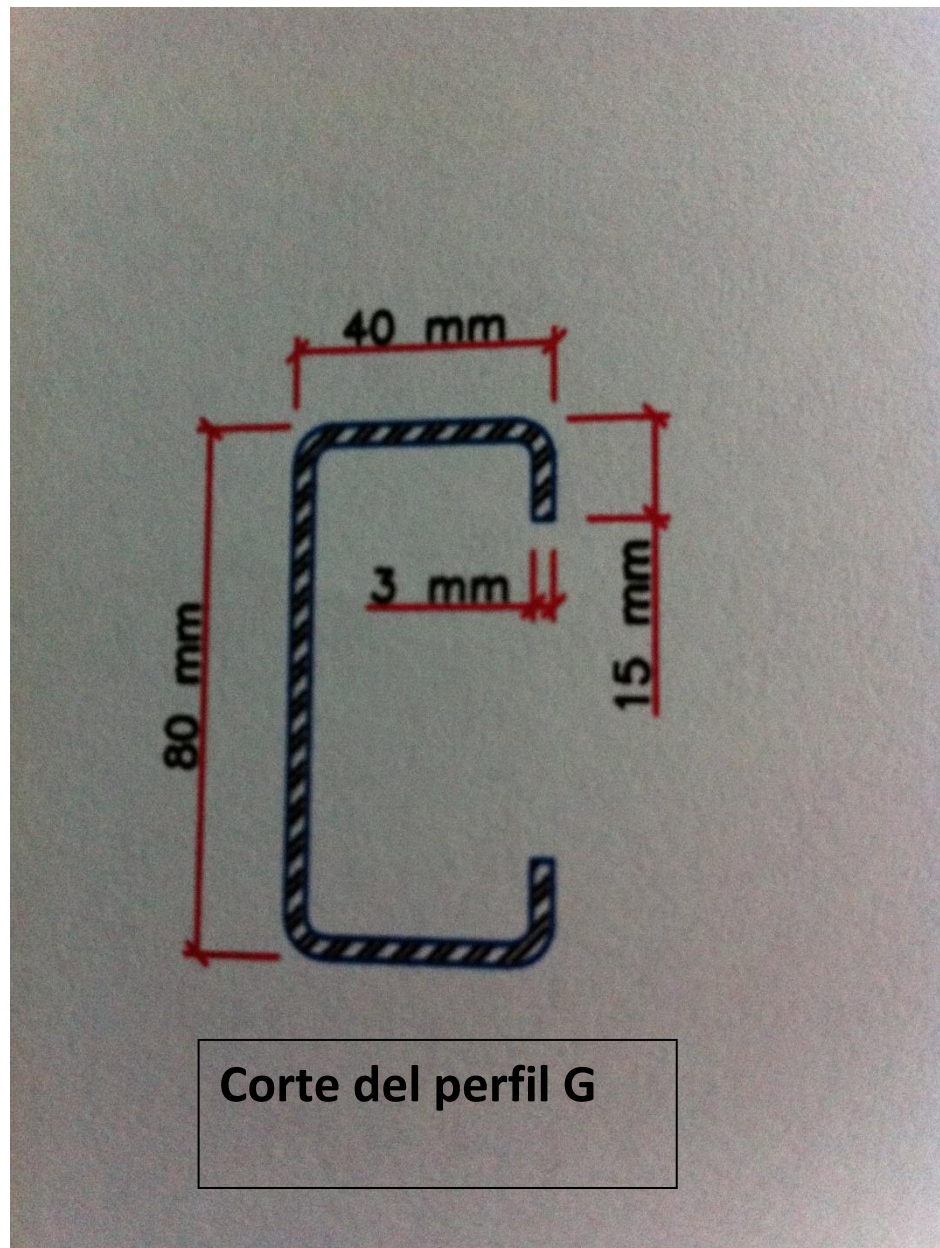


Imagen 3.2 y 3.3. Características de las cerchas.

Entre las cerchas metálicas propuestas como entibado, se colocará madera de encofrado para impedir el desprendimiento de bloques, donde las condiciones lo requieran. Este revestimiento se lo realizará en la cúpula y solo en casos especiales en las paredes.

Se ha previsto que la construcción del túnel se realice en contra-pendiente para garantizar la fácil recolección y drenaje de las aguas lluvias o posibles aguas freáticas que se evacuarán con el uso de bombas adecuadas.

El hormigonado de la bóveda se realizará a través de boquetes (orificios) en el encofrado ubicados aproximadamente cada 12 m; por ellos se inyecta hormigón muy fluido (asentamiento de entre 18 y 22 cm) con lo que se asegura colar el hormigón en todos los espacios y la ausencia de vacíos (aire).

La construcción de los pozos de visita que forman parte del diseño, se la hará encofrando y fundiendo tramos de 2,50 m de altura. Las cuatro paredes que lo conforman deben anclarse al suelo con el uso de varillas y dentellones de hormigón (anclajes) para así evitar su deslizamiento.

El uso de los aditivos indicados en las especificaciones técnicas se lo hará de acuerdo a las necesidades del proyecto, basadas en factores externos como el clima, dificultades constructivas, presencia de nivel freático, calidad de los agregados, facilidad de curado de los elementos, entre otros.

La Imagen 3.4 muestra el detalle, en corte, de los pozos de visita, cuya altura varía a lo largo de todo el tramo, junto con la sección transversal constante del túnel.

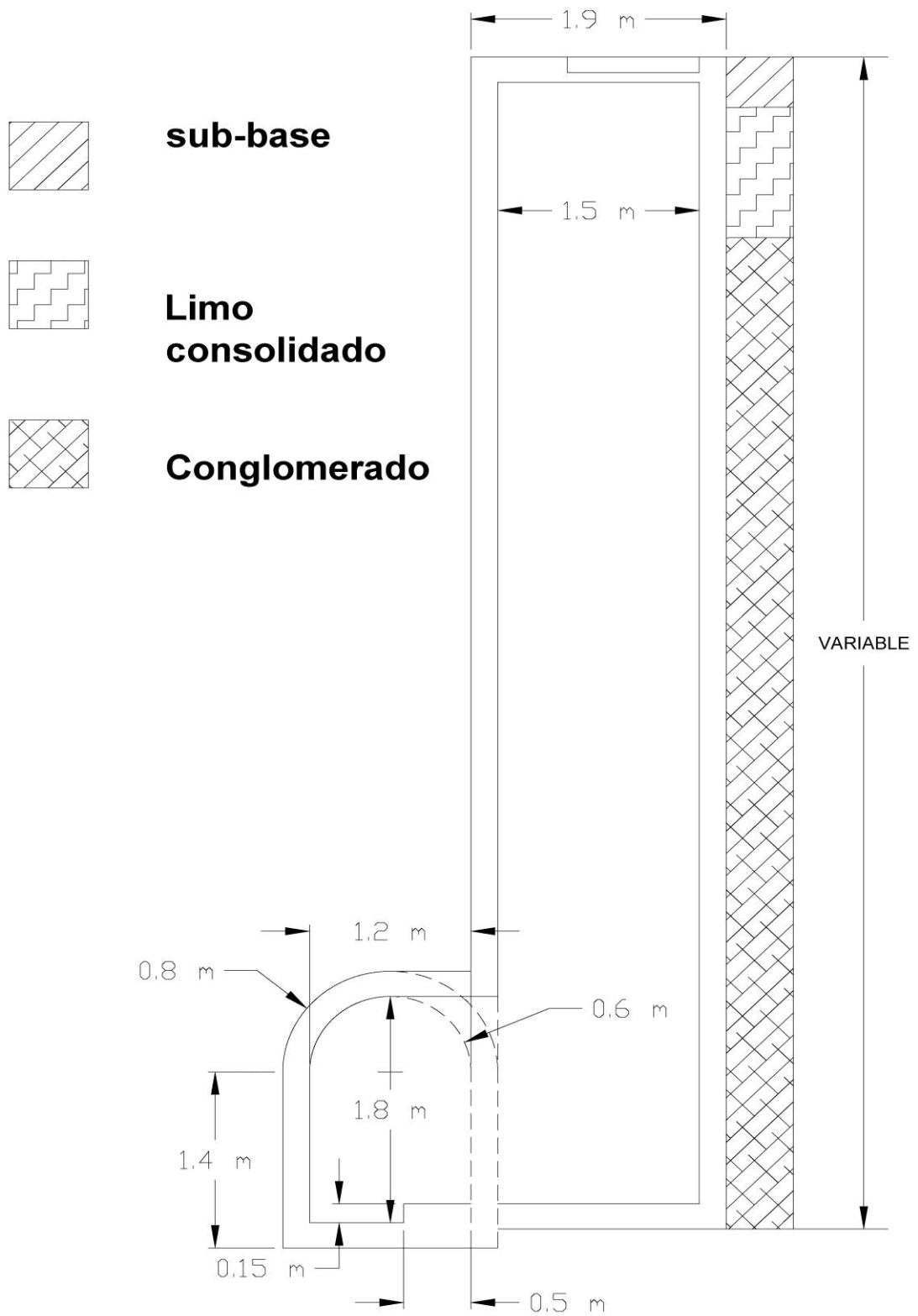


Imagen 3.4. Detalle de pozos de visita y de la sección del túnel.

3.1 Inicio de trabajos y control de actividades

El inicio de los trabajos de construcción requiere realizar el replanteo topográfico del proyecto en la superficie, definiendo la alineación del eje del túnel y determinando la ubicación de los pozos de revisión en las abscisas correspondientes. En los sitios donde se ubican los pozos se procede a construir casetas cuadradas cubiertas de aproximadamente 5 m² ya que los pozos son de 1,9 m² y se debe cubrir el área de los mismos y dejar suficiente espacio para movilización de personal y manejo de materiales y equipos. Las casetas son construidas utilizando paneles metálicos o tableros de madera. Las casetas deben tener un costado con puertas para permitir el ingreso y salida del personal y el traslado de los materiales. Las casetas son importantes también para la protección del sitio de excavación, así como para impedir que los transeúntes interfieran en las labores del personal y para evitar que personas ajenas a la ejecución del proyecto puedan sufrir accidentes por caídas dentro de los pozos, especialmente durante las noches. Las casetas deberán contar con suministro eléctrico autorizado e instalado por el proveedor (Empresa Eléctrica) colocando acometidas industriales temporales, las que se realizan siguiendo normas de seguridad industrial. Es necesario usar cable blindado, tomacorrientes y enchufes con protección, para evitar cualquier tipo de accidente, considerando que la provisión de energía eléctrica será mediante líneas de 220 voltios.

La energía eléctrica servirá para brindar iluminación en los sitios de excavación, así como para utilizar equipos de construcción, como elevadores con motor eléctrico, usados para el desalojo vertical de los materiales producto de la excavación y,

bombas de succión para el desalojo de agua subterránea. Las bombas son necesarias ya que en la zona se encontró un nivel freático alto y en la mayoría de los pozos, la presencia de aguas subterráneas se encontró entre los 2,30 m y 3,10 m por debajo del nivel de la calzada.

En el exterior de los pozos, en uno de los bordes y dependiendo de la ubicación, se deben construir anclajes debidamente diseñados para brindar seguridad al momento de instalar y de trabajar con los elevadores que se ocupan para desalojar el material producto de las excavaciones.



Imagen 3.5. Caseta metálica.

3.1 Excavación de los pozos de revisión.

La excavación de pozos se realiza manualmente con personal que tenga experiencia en este tipo de labor. Para facilitar el trabajo de los obreros y tener una vida útil más larga de las herramientas se utilizan picos de acero con puntas templadas o

endurecidas. Dependiendo del tipo de suelo se realizarán las excavaciones con o sin entibado con el fin de evitar deslizamientos de material.

Las excavaciones de pozos se deben realizar procurando la máxima verticalidad de las paredes del pozo, así como su paralelismo, a fin de evitar inconvenientes durante la colocación de los encofrados. Se recomienda que la excavación se realice por tramos no mayores a 2,50 m para no causar inestabilidad en las paredes de los pozos. En todos los tramos de excavación, dependiendo de la estabilidad y de las características del suelo, se procede a realizar las paredes del pozo como se muestra en la Imagen 3.6, para colocar anclajes, los mismos que darán sustentabilidad a las paredes de hormigón. Este proceso se debe realizar las veces que sean necesarias en tramos de no más de 2,5m hasta alcanzar la cota de fondo del pozo.



Imagen 3.6. Pozo con excavación para anclajes.

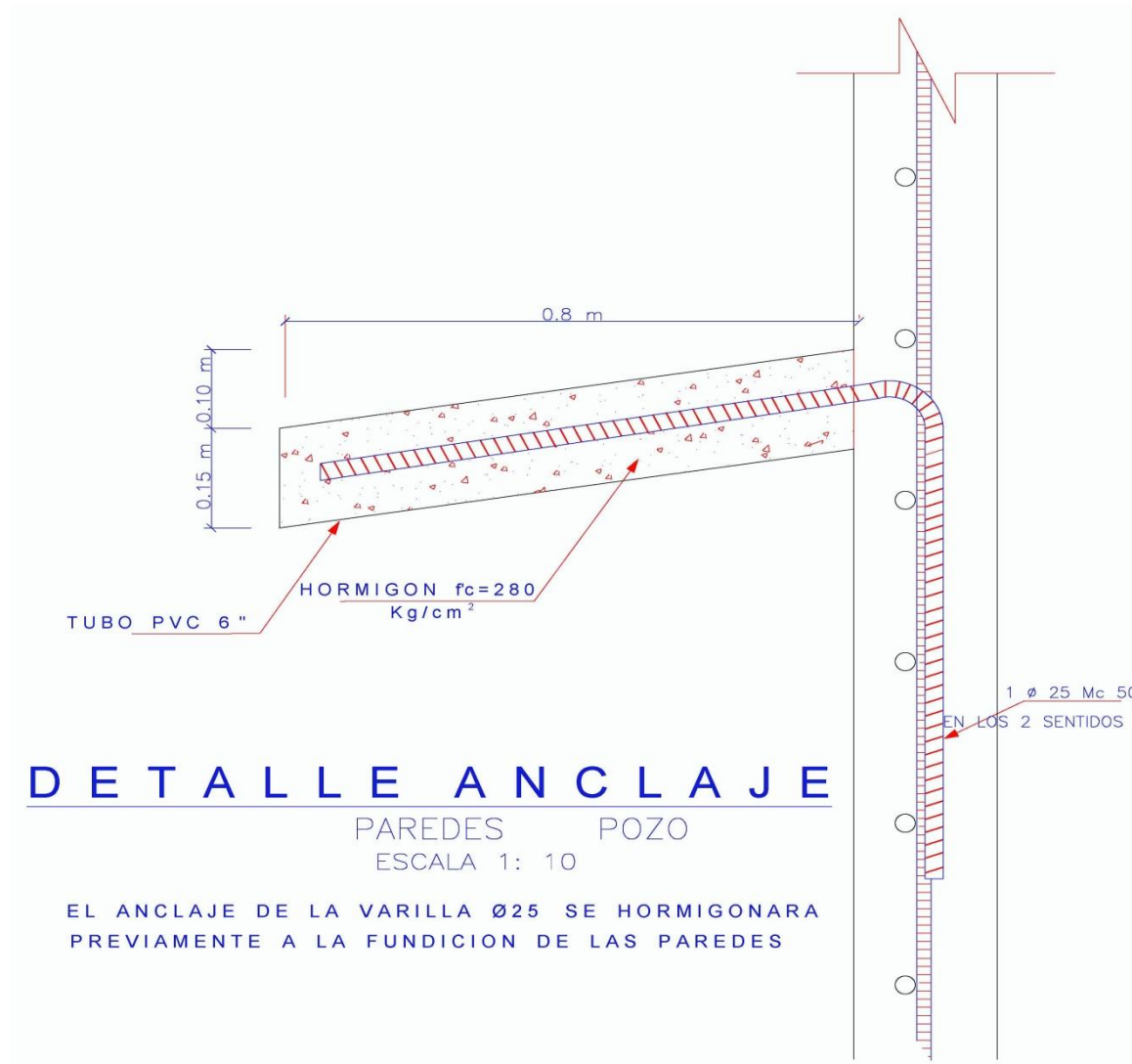


Imagen 3.7. Detalle estructural de los anclajes.

Al realizar las excavaciones surgió un inconveniente, pues al tener un nivel freático alto, a aproximadamente 2,40 m. de profundidad de la superficie de la calzada, afloraron las aguas subterráneas como se muestra en la Imagen 3.8, lo que dificultó la excavación, así como el desalojo del material de excavación, por lo que para tener un mejor rendimiento, se procedió a realizar una sobre excavación en forma de cubo de aproximadamente 0,40m² en una de las esquinas del pozo y a encauzar el agua de afloramiento para que la misma escurra hasta el cubo, desde el cual, mediante una bomba de succión, se extrajo el agua manteniendo la excavación lo más seca posible.



Imagen 3.8. Pozo con nivel freático alto.

Cuando las excavaciones se realizan en suelos de poca capacidad portante o inclusive en zonas de relleno, no se colocan los anclajes. En estos sitios el hormigonado de los pozos no puede realizarse de arriba hacia abajo, porque la

inestabilidad del suelo no lo permite, de hacerlo se produciría el desprendimiento de los tramos hormigonados incluidos los anclajes como se explica en el subtítulo 3.3 de este capítulo. Por ello se debe tener especial cuidado en estos sitios pues de no considerarse esta situación puede producirse la caída de los muros hormigonados y el daño total de lo ejecutado, además del riesgo para el personal que trabaja en el sitio. La excavación de los pozos en estos sitios, se vuelve muy inestable por lo que es necesario, conforme se avanza en la profundidad de la excavación, colocar entibados de madera como se muestra en las Imágenes 3.9 y 3.10, según se describe posteriormente, junto con las precauciones pertinentes para evitar derrumbes en el pozo. En estos pozos, el área de excavación se incrementa en aproximadamente 0,20 m por lado para colocar el entibado y los marcos de madera como se detalla en el subtítulo 3.5 de este capítulo. El hormigonado de las paredes en estos pozos se realiza desde abajo hacia arriba una vez que se ha alcanzado la cota de fondo del pozo.



Imagen 3.9. Colocación de entibados.



Imagen 3.10. Colocación de entibados.

3.2. Fundición de los pozos de revisión.

Como ya se indicó, en los pozos en los cuales se tienen suelos de buena capacidad portante y estables, se realiza un perfilado de la excavación de las paredes del pozo, de acuerdo al detalle que se puede observar en las Imágenes 3.11 y 3.12 y se procede en primer lugar a realizar el hormigonado de los anclajes de soporte para las paredes.



Imagen 3.11. Perfilado de las paredes del pozo.



Imagen 3.12. Anclajes fundidos.

Posteriormente, en base a los planos estructurales se procede a la colocación del acero de refuerzo cuidando que dicha armadura quede perfectamente centrada entre

la pared excavada y el encofrado (Imagen 3.13), para ello se utilizan separadores de acero de refuerzo.



Imagen 3.13. Armadura centrada con separadores.

Se procede luego al armado de los tableros de encofrado, teniendo especial cuidado en su verticalidad. Luego se procede con el colado del hormigón. Para evitar que se produzcan porosidades en las paredes del pozo, se debe añadir un aditivo plastificante al hormigón y se debe tener cuidado en proporcionar un adecuado vibrado al mismo, durante su colocación.



Imagen 3.14. Armado de tableros de encofrado.

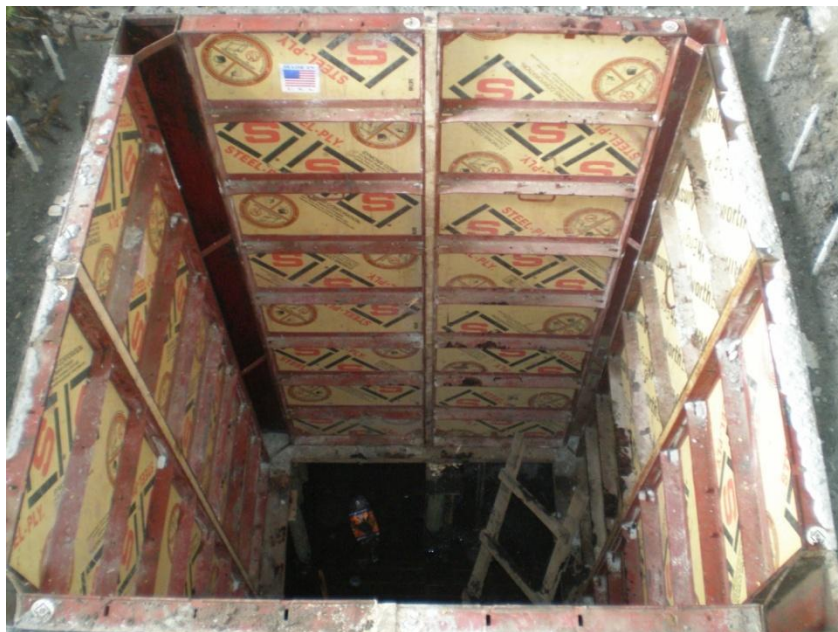


Imagen 3.15. Tableros de encofrado armados.

A las 12 horas de realizado el hormigonado, cuando se tiene la resistencia suficiente, se procede al desencofrado de las paredes del pozo y enseguida, antes de tener el endurecimiento total de las mismas, se procede a taladrar en una de las paredes del

pozo para, de acuerdo a los planos, colocar los estribos de acero que se utilizan como peldaños para ingresar y salir del pozo (Imagen 3.16). Dichos estribos o escalones deben ser fijados con un mortero de alta resistencia con aditivo expansivo, de modo que se asegure una adecuada adherencia de estos elementos de acero con el hormigón del pozo. Siempre se debe vigilar la adecuada colocación de los estribos, pues ellos constituyen la escalera de ingreso desde la superficie y deben prestar seguridad para el personal en obra y luego para el personal de mantenimiento.



Imagen 3.16. Escalones colocados.

En aquellos pozos en los cuales las condiciones del suelo no son favorables requiriéndose entibado de madera como elemento de sostenimiento, se coloca un segundo entibado hacia el interior del pozo, el mismo que tendrá la dimensión de diseño del pozo, produciéndose una cámara hueca entre el entibado anterior y posterior, este espacio debe ser relleno con material granular para que al momento

de introducir el hormigón, el encofrado resista el empuje del mismo. Comenzando desde la losa de fondo del pozo se procede con la colocación del acero de refuerzo, luego se procede al armado del acero de refuerzo de las paredes del pozo. Una vez que se ha completado el armado del acero de refuerzo, se procede a colocar los tableros de encofrado, los mismos que deben ser debidamente apuntalados chequeando su verticalidad. Posteriormente se procede con el hormigonado de la losa de fondo en la que se deberá colocar, en el costado que da hacia el túnel, una junta impermeable de PVC (Imagen 3.17), a fin de que la losa de fondo del pozo y la losa del colector tengan continuidad y se eviten filtraciones en la junta de construcción generada por fundir los elementos de manera separada.



Imagen 3.17. Junta impermeable de PVC.

Al alcanzar la cota de la losa de fondo en los pozos, se procede a bajar desde la superficie el eje de la alineación del colector empleando para ello equipo topográfico de precisión (estación total). Entonces se procede a realizar la excavación de la denominada cámara de arranque (Imagen 3.18) de la excavación del túnel, que es en si la parte del túnel paralela al eje de colector en el sector del pozo.



Imagen 3.18. Cámara de arranque.

3.3. Excavaciones especiales

Dentro del proceso de excavación, especialmente en la excavación del túnel se encuentran diferentes tipos de suelos, desde suelos blandos hasta aquellos de gran dureza y estabilidad como son las cangaguas, areniscas consolidadas y dentro de ellos muchas veces se encuentran rocas de gran tamaño.

El rendimiento del grupo de trabajo excavando en areniscas consolidadas es muy bajo (menos de 1m longitudinal diario de túnel terminado y listo para ser encofrado y hormigonado). Esto comparado con que el rendimiento del personal que, en condiciones óptimas de trabajo, excava 1,5m de sección de túnel dejándolo listo para ser encofrado y hormigonado. Para realizar la excavación en material tipo areniscas consolidadas de gran dureza, se emplea un martillo de percusión.

En el caso de tener rocas de gran tamaño, dependiendo del volumen y de la calidad del material adyacente se pueden seguir estos procesos:

1. En el caso que la roca encontrada esté dentro de un estrato de suelo duro y no exista el riesgo de derrumbes, se procede a taladrar la roca (Imagen 3.19) para colocar explosivos. Es necesario contar con personal que tenga experiencia en este tipo de trabajos porque debe ser una explosión controlada de forma tal que no dañe la conformación del túnel y no se produzcan sobre excavaciones.



Imagen 3.19. Roca taladrada para colocar explosivos.

2. Si la roca se encuentra dentro de un estrato de suelo relativamente blando, de igual manera, empleando personal especializado, se debe taladrar y picar la roca formando un plano de falla (Imagen 3.20), para luego con ayuda de cuñas de acero proceder a partir la roca y proseguir con la excavación. El taladrado tiene como objeto delimitar la profundidad de la fractura en el macizo rocoso.



Imagen 3.20. Taladrado de roca.



Imagen 3.21. Pedazo de roca desprendido.

Al presentarse este tipo de excavaciones que bajan el rendimiento de la mano de obra, es necesario buscar alternativas de trabajo que no hagan que este tipo de inconvenientes generen un retraso importante del proyecto. Es por esto que para cumplir con el avance establecido en el cronograma, se sugiere trabajar en más de un frente de ataque. Esto se logra excavando primero al menos 3 pozos de revisión para, desde cada uno de ellos, empezar la excavación del túnel con diferentes grupos de trabajo.

3.4. Entibados

En los pozos en los cuales el suelo es de baja capacidad portante, presenta lentes de arena o es producto de un relleno, se procederá a la colocación de entibados de madera con el fin de evitar derrumbes. Comenzando a una profundidad de 0,30 m desde la boca del pozo, se colocan marcos de madera constituidos por piezas de 0,15 x 0,15 m. colocados con una separación en altura de aproximadamente 1,00 m como se puede observar en las Imágenes 3.22 y 3.23. En la parte posterior de estos marcos de madera se procede a la colocación del entibado con tabla o tablón de ser el caso, debido a que pueden producirse derrumbes por la inestabilidad del suelo. Es necesario tomar todas las precauciones posibles y realizar la colocación del entibado adecuada y oportunamente. Esto se deberá realizar en forma integral hasta alcanzar la cota de cimentación de la losa de fondo de cada pozo.



Imagen 3.22. Colocación de entibados.



Imagen 3.23. Pozo completamente entibado. Vista inferior.

3.5. Entibados permanentes

Al tener excavaciones en donde existan suelos inestables o producto de relleno, es necesario el uso de entibados permanentes. Esto es aplicable tanto en tramos de excavación de pozos como en tramos de excavación del túnel.

En el caso de los pozos, existen dos variantes, una en aquellos en los cuales toda la excavación, es decir desde la parte en el inicio del pozo en la superficie, hasta la cota de la solera del mismo, es necesario colocar entibados; y otra, en pozos en los cuales no se coloca entibado en los tramos superiores, pero si se coloca cuando a cierta profundidad se encuentra suelo con condiciones inestables.

En el primer caso a aproximadamente 0,30 m. de la boca del pozo se empieza colocando marcos de madera conformados por elementos de 0,15 x 0.15 m. Dichos

marcos deben ser colocados a distancias no mayores de 1 m., como se aprecia en la Imagen 3.24. A continuación, en la parte posterior de los marcos se coloca tabla o tablón dependiendo de la necesidad, la misma que servirá para sostener las paredes excavadas y proteger al personal que realiza la labor de excavación de posibles derrumbes que se podrían producir. Luego de completada la excavación y colocado todo el entibado, se coloca en la cara frontal de los marcos de madera tablas o tablones, los mismos que constituyen un segundo entibado. Esto se realiza poniendo mucho cuidado en que la unión entre tabla y tabla sea muy ajustada, pues este entibado sirve para conformar una especie de encofrado posterior de las paredes de hormigón del pozo y es el mismo que contribuye a que el hormigón se quede en su lugar al momento del vertido. Se deberá dejar ventanas (espacio en las esquinas) como se observa en la Imagen 3.24 en el encofrado de cada pared del pozo para proceder a rellenar el espacio entre tablas con material granular.



Imagen 3.24. Colocación de marcos de madera y de tablones.

El segundo caso, es decir el entibado permanente parcial, generalmente sucede luego de tener tramos de pozo ya hormigonados y cuando se encuentra presencia de suelos inestables. Entonces se procede a realizar el trabajo antes descrito pero la diferencia es que en este caso, se coloca el primer marco de madera y por la parte posterior de este, se procede a hincar hacia arriba tablas de forma tal que el inicio de estas quede entre el suelo y la parte posterior de las paredes del pozo, como se muestra en las Imágenes 3.25 y 3.26. Luego, se colocan los marcos a un metro de distancia entre ellos y simultáneamente se continua colocando el entibado de madera posterior. Una vez que se llegue a la cota de la contrabóveda, se procede a hacer el forrado de las caras internas de los marcos con madera. Se debe dejar ventanas en cada pared a fin de rellenar con material granular el espacio que se forma entre las 2 caras o paredes del entibado.



Imagen 3.25. Hincado de tablonces de abajo hacia arriba.

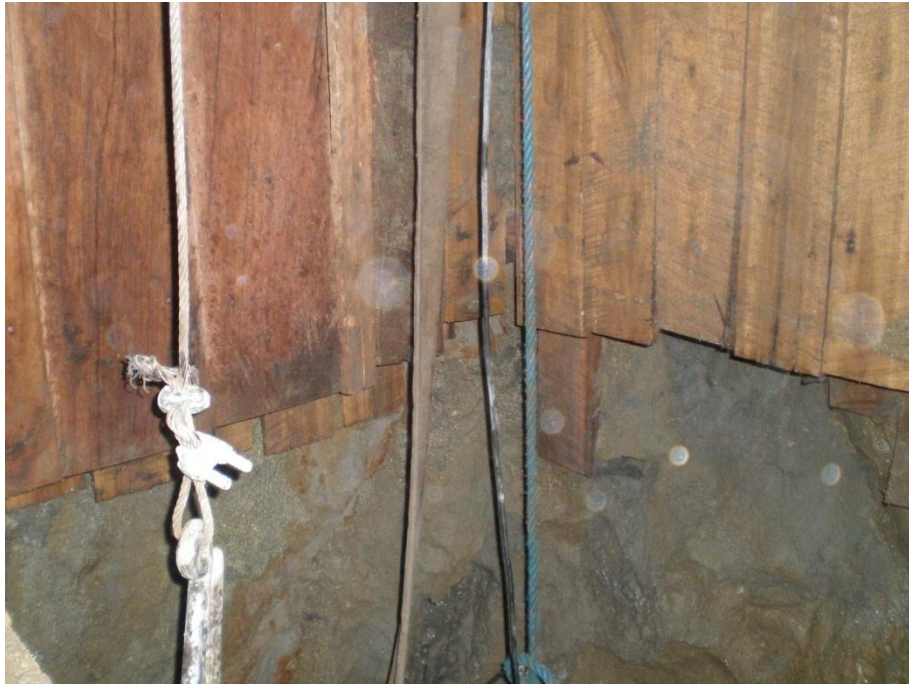


Imagen 3.26. Hincado de tablonces de abajo hacia arriba.

En el caso del colector o túnel, luego de que en la excavación se ha alcanzado la sección de diseño, se procede a la colocación de los marcos de acero siguiendo las normas de diseño y posteriormente se realiza el hincado de tablas o tablonces por la parte posterior de estos marcos. Las tablas o tablonces conforman el entibado permanente, en razón que este entibado constituye una especie de encofrado posterior de la sección de hormigón, la unión entre tabla y tabla debe ser lo más hermética posible de modo que al momento del hormigonado no existan fugas de hormigón hacia la parte posterior del entibado.

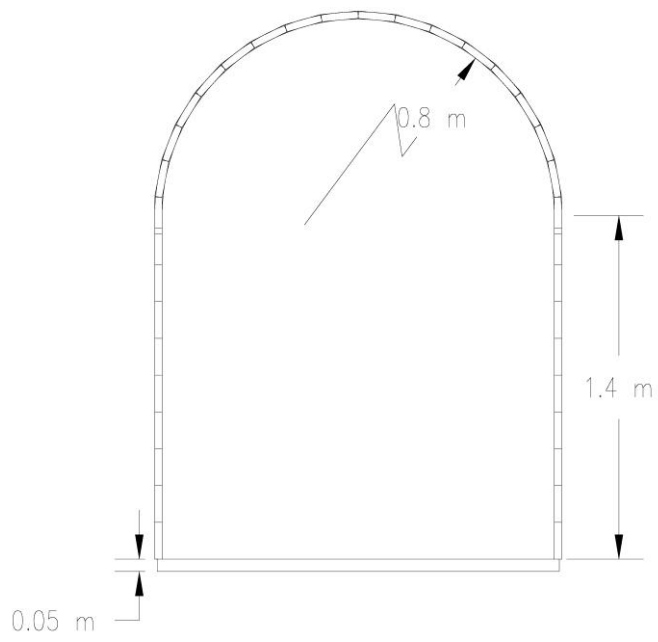


Imagen 3.27. Detalle de cerchas de refuerzo

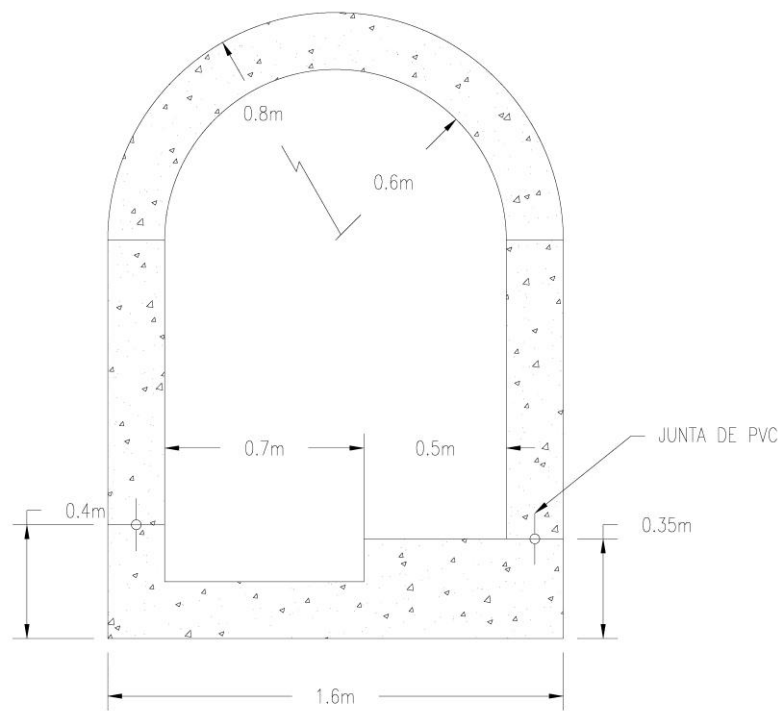


Imagen 3.28. Detalle del túnel hormigonado



Imagen 3.29. Cerchas metálicas con entibado permanente de madera.

En el caso que se produzcan sobre excavaciones, se deben colocar los pórticos metálicos (cerchas) siguiendo el eje del colector y se coloca el entibado en la parte posterior de los mismos. A continuación, se deben realizar sujeciones con alambre de amarre entre el entibado y el marco metálico, luego de lo cual se procede a rellenar la parte posterior en las oquedades de la sobre excavación de modo que con la presión del relleno se confinen los entibados hacia adentro del túnel, alineándose con el resto del colector ya entibado. Se debe indicar, que en este proyecto y en proyectos similares, los marcos de acero se colocan según el diseño, siguiendo el eje del colector cada 1,20 m. En el caso de zonas donde existen suelos inestables y derrumbes, se recomienda colocar los marcos de acero cada 0,60 m. Las distancias

para colocar las cerchas pueden variar por distintas condiciones, como son la sección de excavación, la capacidad portante del suelo, la presencia de nivel freático, el diseño estructural de las cerchas, entre otras.



Imagen 3.30. Relleno de sobre excavación luego de colocar el entibado.

3.7. Método para el control de derrumbes.

Debido a que el colector atraviesa diferentes tipos de suelo con variadas condiciones geomecánicas, existen sitios a lo largo de la excavación del túnel en los que se

encuentran lentes de arena. Por esto, durante la excavación del mismo, se pueden producir derrumbes de distinta magnitud.

Para evitar derrumbes se recomienda controlar el avance de la excavación de acuerdo al tipo de suelo que se tiene. Así pues, si el material corresponde a un suelo bien consolidado, se excava en longitudes continuas de dos a tres metros y luego se procede a la colocación de los marcos de acero y el entibado. En el caso de suelos sueltos o con poco grado de cohesión como arenas o relleno, el avance se hará en tramos de no más de 0,60 m, colocándose los marcos de acero cada 0,60 m y realizando inmediatamente el hincado del entibado de madera.

Si llegara a producirse un derrumbe, se procede a retirar todo el material producto del evento, tomando todas las precauciones del caso. A continuación, se procede a colocar marcos de madera tipo galería como se observa en la Imagen 3.31, sobre los cuales se coloca tablas que servirán de soporte de saquillos llenos de material como se observa en las Imágenes 3.32 y 3.33, hasta cubrir el espacio dejado por el derrumbe.

Si el derrumbe supera los 3 metros sobre la cúpula del túnel, se deben colocar los marcos de madera tipo galería desde la parte más alta del derrumbe y se procede con el relleno como se describió anteriormente. Luego, se procede a colocar una segunda galería más baja y se repite el proceso de colocación de los saquillos de tierra hasta llegar a la altura de la clave del colector.

Los saquillos utilizados para el relleno deben ser armados con el mismo material producto de las excavaciones. El peso de cada uno de estos no debe superar los 25 kilos para facilitar su manipulación y colocación en el interior del túnel.



Imagen 3.31. Marcos de madera tipo galería.



Imagen 3.32. Saquillos con material producto de la excavación, usados para relleno.



Imagen 3.33. Colocación de saquillos sobre los marcos tipo galería.

3.8. Encofrados

Una vez colocado adecuadamente el acero de refuerzo horizontal y vertical, se realiza el armado de los tableros de encofrado. Dichos tableros deben guardar la verticalidad y perpendicularidad en los dos sentidos (horizontal y vertical) de forma que se obtengan paredes uniformes y perpendiculares entre sí formando una sección geoméricamente perfecta. Para asegurar la forma de la sección, se debe verificar los niveles y alineaciones con un nivel de burbuja corrigiendo cualquier error mediante un apuntalamiento adecuado. Los tableros a emplearse deben ser metálicos o tableros con estructura de acero y madera de buena resistencia mecánica para evitar que se produzcan hinchamientos o “soplados” de los tableros del encofrado.



Imagen 3.34. Tableros del encofrado.

La construcción de los encofrados necesarios para hormigonar la sección del túnel debe tener la siguiente secuencia:

1. Se arman los tableros de encofrado de 0,20 m de altura sobre el acero de refuerzo de la solera en tramos de aproximadamente la mitad de la distancia de pozo a pozo. Es así como se conforma el arranque de los muros y la acera de inspección como se aprecia en las Imágenes 3.35 y 3.36. Para mantener constante la separación del tablero y, por ende, el ancho del muro y el ancho de la acera en el otro costado, se recomienda colocar separadores de acero de refuerzo de longitud igual al espesor deseado, aproximadamente a un metro de distancia entre ellos. A continuación, se vierte el hormigón siguiendo el proceso descrito más adelante (ver subtítulo 3.9).



Imagen 3.35. Arranque de muro.



Imagen 3.36. Arranque de acera de inspección y muro.

2. Sobre la acera en uno de los costados y sobre la solera en el otro, se arman los tableros que sirven para realizar el hormigonado de los muros (hastiales). De igual manera se colocan separadores de acero para controlar el espesor de diseño de los muros. En caso de tratarse de un túnel de una sección relativamente pequeña, se controla la verticalidad de los tableros, con apuntalamientos mediante el uso de puntales (“pingos”) de madera. A continuación, se procede a hormigonar los hastiales.

3. Finalmente, como se aprecia en la Imagen 3.37, se procede a encofrar la bóveda teniendo como estructura principal cerchas semicirculares de tablón, sobre las cuales se arma el tablero utilizando duelas machihembradas. Se recomienda que la longitud máxima de los elementos del encofrado de la bóveda sea de 1,20 m, para

así, facilitar la manipulación y el traslado de estos elementos dentro del túnel. Cada uno de estos elementos debe contar, junto a su eje y en un solo lado, un boquete de 15cm de diámetro con tapa. El boquete se utiliza para colocar la manguera del suministro de concreto al momento de fundir la bóveda.



Imagen 3.37. Encofrados de bóveda.

El encofrado semicircular se coloca en posición utilizando puntales de madera con la longitud adecuada, los mismos que forman hileras longitudinales a cada lado del colector con una separación entre los puntales de 1,0 m (Imagen 3.38). Sobre las cabezas de estos puntales se coloca tabla, la misma que sirve para dar un adecuado asiento al tablero. La alineación longitudinal se verifica y se corrige con cuñas de madera que van al pie de los puntales. Es necesario cubrir la cara externa de estos tableros con aditivo desencofrante o con aceite quemado, con el fin de evitar que los tableros sufran daños por adherencia al momento de desencofrar.



Imagen 3.38. Encofrado y apuntalado de bóveda.

Para los tramos curvos del colector es necesaria la fabricación de tableros especiales, pues además de la curvatura de la bóveda estos deben tener una curvatura vertical a lo largo de su eje longitudinal, por lo que se deberá contar con carpinteros con experiencia que realicen el trabajo de forma adecuada, pues el hormigonado en estos tramos se vuelve más difícil.

3.9. Vertido de hormigón

En primer lugar se debe fundir la solera del túnel, para lo cual se vierte el hormigón e inmediatamente se realiza el vibrado adecuado para lograr un hormigón libre de porosidades. El nivelado y buen terminado del hormigón se logra con el uso de codales.

Se debe tener especial precaución en colocar las juntas de PVC al inicio del tramo y al final del mismo, así como la junta longitudinal, pues estas sirven para dar continuidad y evitar filtraciones en la junta que se forma entre el hormigonado de un tramo y el siguiente, como se muestra en la imagen 3.39. Para sellar perfectamente la junta de construcción, se debe dejar la mitad de la junta de PVC embebida en el tramo que se está hormigonando y la otra mitad debe quedar libre para que esta sea embebida en el tramo siguiente a hormigonar.



Imagen 3.39. Juntas de PVC en color verde.

Posteriormente, se procede a realizar el vertido del hormigón de los muros (hastiales) o paredes laterales del colector, hasta la altura total de ellos. Cabe recalcar que con el objetivo de tener un mejor grado de acomodamiento del hormigón así como para tener un mejor acabado de las paredes del muro, es necesario adicionar al hormigón un aditivo plastificante y tomar en cuenta todas las precauciones necesarias y obligatorias al momento de hormigonar. Para el hormigonado de la bóveda del

colector, en los tableros curvos se dejan ventanas circulares a una distancia prudente (en este caso no mayor a 12 m), por las cuales se realiza el vertido.

En este proceso, el uso del vibrador es complicado debido a la forma circular del encofrado, así como por la ubicación del acero de refuerzo. Para superar esta dificultad y lograr un mayor grado de acomodamiento del hormigón, se recomienda añadir un aditivo súper plastificante al mismo y golpear manualmente los tableros con martillos de goma.

3.10. Control subterráneo de alineaciones.

Para realizar el control de las alineaciones en el colector tipo túnel, se aplica el siguiente procedimiento:

1. La referencia para la alineación del eje debe ser la boca del pozo. Desde estos puntos externos referenciados y con la ayuda de plomadas, se procede a bajar la posición del eje hasta la solera del pozo.
2. Se traslada paralelamente el eje desde la solera hasta ubicar el eje del túnel, entonces se referencia con puntos fijos este eje, pues será necesario realizar futuras reposiciones y chequeos.
3. Ubicado el eje del túnel y utilizando estación total, se procede a colocar puntos y datos para el avance correcto de la excavación.

4. Es necesario reponer el eje constantemente debido a que en varios sitios de la obra pueden existir desprendimientos y derrumbes por la calidad de los suelos, lo cual genera pérdida de datos.

5. Para evitar desviaciones y tener que realizar rectificaciones de gran magnitud, se recomienda realizar la verificación de la alineación del eje del colector con una frecuencia mínima de dos días. Los chequeos son realizados tanto en alineación como en pendiente, pues al tratarse de pendientes bajas que en este proyecto oscilan entre el 0.55% y el 0.63%, un error podría causar un desnivel excesivo no solo en la alineación vertical del tramo sino de todo el proyecto.

3.11. Manejo de elementos estructurales y de encofrados dentro del túnel.

Los elementos estructurales o marcos construidos en acero (Imagen 3.40), en este proyecto son de un solo cuerpo y poseen placas de pie para sujetar el elemento al piso.

Los elementos metálicos, considerando a éstos como un sistema clásico de sostenimiento pasivo, han resultado ser probablemente uno de los sistemas más versátiles dados los diferentes terrenos y proyectos de túneles en los cuales ha sido aplicado este sistema. Los marcos (cerchas) deben ser recubiertos con pintura anticorrosiva antes de ser trasladados al túnel. Sin embargo, debido a la

manipulación durante su transporte y colocación, pueden perder parte de la pintura y empezar a oxidarse. Este inconveniente se resuelve dentro del túnel con el uso de un desoxidante y aplicando pintura a mano utilizando una brocha.



Imagen 3.40. Cerchas metálicas pintadas.

Los tableros de los encofrados rectos son construidos con bastidor de perfil estructural de acero, por lo que deben ser trasladados al interior del túnel utilizando el elevador. A pesar de que estos elementos no son excesivamente pesados, se debe tener cuidado al ingresarlos al túnel a través de los pozos ya que estos tienen alturas promedio de aproximadamente 10 m, por lo que cualquier descuido que genere su caída libre podría causar daños a los trabajadores que reciben los elementos. Ya en el interior del túnel, las cerchas deben ser transportadas con su mayor dimensión paralela al eje longitudinal del túnel. Antes de cada uso se deberá rociar, en la

superficie de contacto con el hormigón, líquido desencofrante o aceite quemado, para facilitar el desencofrado.

Se debe realizar la programación del hormigonado de forma tal que el avance de las fundiciones siga una sola dirección, con la finalidad de que el transporte de tableros sea por el interior del túnel. Así, se evita subir y bajar estos elementos en cada pozo, mejorando el rendimiento del trabajo y reduciendo el maltrato de los tableros.

Los tableros curvos para el encofrado de la bóveda del túnel se transportan verticalmente por medio de los elevadores. Ya en el interior del túnel el transporte de estos elementos es más dificultoso por su forma, por lo que se recomienda construir un tablero pequeño con rodachines a fin de facilitar su manejo.

Cabe recalcar que la herramienta menor (palas, picos, carretillas, puntas, combos, etc.) a pesar de ser liviana y no muy peligrosa, debe ser manejada con cuidado dentro del túnel para evitar accidentes y daño a algún elemento estructural del colector, lo cual podría causar su funcionamiento incorrecto.

CAPITULO 4

Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

✚ El Proyecto de Túneles llega a constituirse en una obra de arte que ha ido desarrollándose en base a las necesidades creadas por el hombre a lo largo del tiempo como es la captación de agua, entre otras. Es importante concluir que este arte conlleva a realizar estudios detallados para obtener resultados favorables durante la construcción de un túnel. Al decir que se trata de un arte, se hace referencia a la alta capacidad de los ingenieros para retar a un macizo de roca o a un terreno blando, para atravesarlo con un medio de conducción.

✚ De acuerdo a los estudios a realizarse en un Proyecto de Túneles, en este caso hidráulico, se llega a concluir que este tipo de proyectos difieren de las demás obras civiles, especialmente en lo que a calidad y cantidad de estudios geológicos y geotécnicos que deberán realizarse en el sector donde se implante el túnel se refiere. Es importante recalcar que primero se deberán realizar los estudios de factibilidad del proyecto, analizando los resultados obtenidos de los estudios preliminares, buscando la mejor alternativa, con los estudios de geología y geotecnia.

✚ Se ha examinado la problemática general de la planificación, excavación y construcción del tramo 4-E que forma parte del proyecto integral para la recuperación del río Machángara, brindando las posibles alternativas para solucionar

los problemas comunes y ofreciendo ciertas recomendaciones, las mismas que han sido utilizadas en construcciones alrededor del mundo. Es necesario señalar que la construcción de túneles en ningún lugar del planeta será la misma, siempre se tendrá que enfrentar diferentes tipos de problemas, por lo que el criterio del diseñador, constructor y demás personas involucradas, deberá ir ligado a las recomendaciones expuestas en este trabajo.

✚ La conclusión más importante de este trabajo es que en este tipo de obras se debe definir un proceso constructivo adecuado y organizado para tener un avance eficaz en las diversas labores del proyecto. La relación que existe entre la programación de obra y un proceso constructivo ordenado es muy grande, por lo que es importante estar seguro que cada proyecto que se realice tenga bases sólidas para que en el campo se ejecute de una manera eficiente.

4.2. Recomendaciones.

✚ En un Proyecto de Túneles se recomienda realizar los estudios geológicos y geotécnicos de manera minuciosa, pues no se debe dudar, por más lógico y conocido que parezca el lugar, que es necesario realizar estudios comprobatorios que muestren la realidad geotécnica. Los ensayos, tanto de laboratorio como in situ, suelen tener un alto costo en relación con el presupuesto del proyecto; sin embargo, estos se justifican enteramente ya que garantizan la seguridad en el sitio de trabajo y reducen la posibilidad de encontrar problemas durante la ejecución de la obra.

✚ Una vez terminada la obra, es importante someter la estructura a un mantenimiento continuo, para evitar alteraciones en las propiedades de los elementos. De no ser así, estos podrían verse afectados por la presencia de sustancias nocivas como sulfatos o sulfuros, presentes en aguas servidas, provocando infiltraciones alrededor de la estructura a través de las juntas y, por ende, un mal comportamiento estructural del túnel y posteriormente un posible colapso.

✚ Cuando se generen juntas durante el proceso constructivo, se recomienda sellarlas con el uso de elementos como bandas de PVC, para garantizar su impermeabilidad.

✚ El entibado de este tipo de túneles, sin importar la metodología, se deberá realizar a medida que avanza la excavación para de esta manera mantener siempre la estabilidad del frente de ataque. Esta es una medida de seguridad que se toma para preservar la vida de los trabajadores y por supuesto el correcto desarrollo de la obra.

✚ La ventilación en la etapa de construcción deberá ser obligatoria. Se recomienda que las mangas de aire a colocarse sean debidamente supervisadas durante la instalación y periódicamente durante la construcción del túnel.

✚ La seguridad industrial y salud ocupacional de un Proyecto de Túneles tiene características especiales y únicas, por lo que no serán comúnmente aplicadas en otras obras civiles.

✚ Se recomienda realizar un minucioso control de la construcción. Se requiere determinar de forma exacta el tipo de suelo a ser perforado así como también la calidad de todos y cada uno de los elementos y materiales que deben incorporarse durante la ejecución de la obra.

✚ El control del agua que pueda afectar el normal desarrollo de la obra es fundamental. Para lograrlo se puede recurrir a la ejecución de trabajos complementarios como construcción de cunetas o subdrenes que direccionen el fluido a sitios propicios para su desfogue a sistemas de alcantarillado en funcionamiento, o utilizando bombas para expulsar el agua al exterior del túnel.

✚ El avance del túnel se deberá realizar contra pendiente para evitar acumulación de agua en el frente de excavación y facilitar el desalojo del agua subterránea y del material producto de la excavación.

✚ Con respecto a la utilidad de este trabajo, es importante señalar que se trata de una guía para la construcción de este tipo de túneles, sin embargo existen temas complejos y amplios, para lo cual cada lector y proyectista que haga uso de esta guía, deberá profundizar la investigación para lograr el mejor de los resultados en la ejecución de obras similares.

BIBLIOGRAFÍA.

- AETOS (1 989): "Diccionario Glosario Técnico de Túneles y Obras Subterráneas". Inglés-Español. AETOS, Asociación Española de Túneles y Obras Subterráneas. Madrid.
- BEAVER, P. (1972): "A history of tunnels". Peter Davies. Londres.
- BLACK, A. (1937).: "The Story of Tunnels". McGraw-Hill Book Company, INC.Nueva York.
- CARMODY, J.; STERLING, R. (1993): "Underground Space Design". Van Nostrand Reinhold. Nueva York.
- EUROTUNNEL (1993): "The Channel Tunnel A 21st Century Transport System". The Channel Tunnel Group Limited.
- FLEMING; GRANT; MELLORS; SKIPP; WORSFOLD. (1992): "The Channel Tunnel". Part 1: Tunnels Proceedings of The Institution of Civil Engineers. Ed. Tim Rouse.
- VICTORIA MOSQUERA, JULIO ZARAY, HERNAN ROSERO, MARIO REVILLA (2009):EMAAP-Q "Gestión 2000-2009", Gráficas Imago CIA. LTDA.
- www.vidaparaquito.com/proyectos/descontaminaciónríomachángara

ANEXOS

ANEXO 1 Seguridad industrial.

La seguridad industrial es el conjunto de normas de prevención y control que el Contratista debe implementar en cada una de sus actividades de trabajo e instalaciones a fin de evitar accidentes.

El Contratista tiene la obligación de adoptar las medidas de seguridad industrial necesarias en cada uno de los frentes de trabajo, y mantener programas que logren una adecuada salud física y mental de todo el personal, de acuerdo a la normativa que tiene el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) sobre el tema, dando estricto cumplimiento a las siguientes normas:

1. “Los técnicos y trabajadores deberán realizarse un chequeo médico, con los respectivos exámenes de laboratorio, con la finalidad de prevenir epidemias. A los trabajadores que vayan a trabajar en el subsuelo, se les realizará un chequeo médico previo, y luego semanalmente durante la construcción de la obra, los exámenes serán mínimo de funciones pulmonares, rayos X y audiometría.
2. Se implementará una campaña educativa inicial por medio de charlas y afiches informativos sobre las normas elementales de higiene y comportamiento ocupacional.
3. El área de primeros auxilios, deberá incluir los implementos básicos para cubrir atenciones emergentes.

4. Para un mayor control ambiental de las zonas aledañas se deberá reglamentar el uso de las diferentes áreas relacionadas con el área de influencia del proyecto, así como los horarios de comidas.
5. El personal técnico y obreros de la obra, deberán estar protegidos contra los riesgos producidos por el polvo en el aire o los gases nocivos al interior del colector.
6. Para minimizar los riesgos de trabajo, el Contratista deberá proveer a su personal la vestimenta básica como cascos, mascarillas antigases, botas con planta y punta de acero. Los obreros que trabajen en zonas altas dispondrán además de cinturones de seguridad provistos de los elementos necesarios para asegurar sus labores.
7. Deberá proporcionarse y mantenerse un medio de acceso seguro a todos los lugares de trabajo.
8. Planes y procedimientos de evacuación deberán ser desarrollados e informados a los empleados.
9. Deberán suministrarse equipos de comunicación entre el frente de trabajo y la boca del colector, y dichos sistemas deberán ser independientes de la fuente de abastecimiento eléctrico de los mismos.
10. La atmósfera en todas las áreas del colector deberá contener por lo menos un 21 por ciento de oxígeno.
11. Los motores de combustión interna que no sean móviles no deberán usarse bajo tierra.

12. Deberá proporcionarse suficiente alumbrado para permitir las operaciones seguras en el frente y en el área general del colector y en el lugar de trabajo de los empleados.
13. No deberá almacenarse más de 1 día de abastecimiento de combustible diesel bajo tierra. Gasolina o gas licuado de petróleo no deberán ser llevados, almacenados o usados bajo tierra.
14. El aceite, grasa o combustible almacenado bajo tierra deberá ser mantenido en envases herméticos sellados en áreas resistentes a incendios.
15. Deberán usarse fluidos hidráulicos resistentes a incendios, aprobados, en las maquinarias y equipos operados hidráulicamente.
16. No deberán prenderse hogueras bajo tierra.
17. Deberá usarse ropas o equipo de protección cuando así se requiera.
18. El empleador deberá examinar y probar el techo, el frente y las paredes del área de trabajo al comienzo de cada turno y en forma frecuente posteriormente.
19. El suelo suelto deberá ser removido o soportado. Las condiciones del suelo a lo largo de los pasillos de acarreo y pasillos de viaje serán examinadas periódicamente y graduadas o soportadas como sea necesario.
20. Los soportes de colector averiados o desprendidos, ya sean conjuntos de acero o de madera, deberán ser reparados o reemplazados. Deberán instalarse nuevos soportes cuando sea posible antes de remover los soportes averiados.
21. El equipo mecánico móvil de acarreo deberá estar equipado con dispositivos de advertencia audible. Deben proporcionarse luces en ambos extremos.

22. El contratista no permitirá que los empleados viajen en cucharones, baldes de palas, o en equipo de acarreo que no está específicamente diseñado o adaptado para el transporte de empleados.”

A. Señalización de seguridad industrial.

Se debe implementar la adecuada señalización para prevenir y controlar las actividades humanas con el fin de evitar deterioros ambientales en diferentes zonas del proyecto y brindar seguridad a los trabajadores y a la ciudadanía en general.

Se colocarán señales de entrada y salida de vehículos en los sitios de acceso a los frentes de trabajo. El equipo que se emplee durante la construcción del colector por ninguna circunstancia interrumpirá el tráfico en las avenidas próximas. Sin embargo podrá usarse la siguiente señalización de acuerdo a los requerimientos emergentes de la obra.

B. Señales preventivas.

Este tipo de señalización advierte a los usuarios de las vías sobre los peligros potenciales existentes en la zona, cuando exista alguna actividad que afecte el tránsito y pueda presentarse un cierre parcial o total de las vías; estas señales deberán ubicarse con suficiente anticipación al lugar de inicio de la obra.

Las señales preventivas tendrán un tamaño de 75 ó 90 por 75 ó 90 cm. Se colocarán al (los) lado(s) (derecho y/o izquierdo) de la vía que se afecte por la obra.

Cuando se requieran señales preventivas con texto, su forma será rectangular y su tamaño dependerá de la cantidad de letras que se coloquen en el mismo. Las letras

del mensaje serán de una altura de 15 cm como mínimo. Además de las señales preventivas, se podrán utilizar las siguientes, para la señalización de obras que afecten a las vías:

C. Trabajos en la vía.

Esta señal se utilizará para advertir la proximidad a un tramo de la vía que se ve afectado por la actividad de una obra que perturba el tránsito por la calzada o sus zonas aledañas.



Imagen 5.1. Trabajos en la vía.

D. Maquinaria en la vía

Esta señal se utilizará para advertir la proximidad a un sector por el que habitualmente circula maquinaria o equipo pesado para el desarrollo de obras.



Imagen 5.2. Maquinaria en la vía.

E. Señales Reglamentarias.

Los trabajos en las vías públicas o en las zonas próximas a ellas que afecten el tránsito, originan situaciones que requieren atención especial. Si en tales condiciones son necesarias medidas de reglamentación diferentes a las usadas normalmente, los dispositivos reglamentarios permanentes se removerán o se cubrirán adecuadamente y se reemplazarán por los que resulten apropiados para las nuevas condiciones del tránsito.

En los sectores en donde se limite el peso del vehículo, o el peso por eje permitido, además de utilizar las señales reglamentarias correspondientes, en la medida de lo posible se habilitará un desvío para los vehículos que excedan los límites señalados para el tramo sometido a la realización de las obras.

Las señales reglamentarias tendrán forma circular y sus colores serán los señalados en los esquemas mostrados más adelante. Su diámetro mínimo será de 75 cm. Se colocarán al (los) lado (s) (derecho y/o izquierdo) de la vía que se afecte por la obra. Además de las señales reglamentarias, se podrán utilizar las siguientes, para la señalización de obras que afecten las vías.

F. Vía cerrada.

Esta señal se utilizará para notificar a los conductores el inicio de un tramo de vía por el cual no se permite circular mientras duren las obras.



Imagen 5.3. Vía cerrada.

G. Desvío.

Esta señal se utilizará para notificar el sitio mismo en donde es obligatorio tomar el desvío señalado.



Imagen 5.4. Desvío

H. Señales Informativas.

Se utilizarán señales informativas en la ejecución de obras, para indicar con anterioridad el trabajo que se realiza, distancia y otros aspectos que resulten importantes destacar.

Las señales de información deberán ser uniformes y tendrán fondo naranja reflectivo, mensaje y orla de color negro. El texto tendrá una altura mínima de letra de 20 cm.



Imagen 5.5. Trabajos en la vía.

I. Dispositivos para canalización del tránsito

La función de estos elementos es encauzar el tránsito a través de la zona de trabajos y marcando las transiciones graduales necesarias en los casos en que se reduce el ancho de la vía o se generan movimientos inesperados.

Será necesario que se contemplen medidas especiales que garanticen el paso de los vehículos en forma gradual y segura a través del área de trabajo, considerando la seguridad de los peatones, los trabajadores y los equipos de la obra. Estos elementos deberán estar precedidos por señales preventivas e informativas y en las horas de oscuridad serán complementados con dispositivos luminosos.

Una disminución inadecuada de los carriles de circulación producirá operaciones de tránsito ajenas a la voluntad de los usuarios, que generan congestión y probabilidad de accidentes en el área.

En el caso de que los trabajos tengan larga duración, la canalización permanecerá en el mismo lugar por grandes períodos de tiempo, durante los cuales algunos elementos como conos, barricadas, etc., se podrían salir de sus lugares originales; por lo que es necesario revisar la canalización periódicamente para asegurar su correcta ubicación y funcionamiento como medida de regulación del tránsito.

J. Barricadas.

Las barricadas se utilizan para hacer cierres parciales o totales de calzadas o de carriles. Se colocarán perpendicularmente al eje de la vía, obstruyendo la calzada o los carriles inhabilitados para la circulación del tránsito vehicular, en caso de que la calzada esté obstruida totalmente por la barricada, se deberá colocar en la parte superior la señal de Desvío.

Las barricadas estarán formadas por bandas o listones horizontales, entre 2,0 m y 2,4 m de longitud y 20 cm de altura, separados por espacios iguales a sus alturas. Las bandas serán fijadas sobre caballetes, es decir portátiles, para obras de corta duración y a postes firmemente hincados, para obras de larga duración La altura de cada barricada deberá ser de 1,50 m como mínimo.

Las franjas de las barreras serán de colores alternados blanco y naranja, con una inclinación hacia el piso de 45 grados en la dirección del paso de los vehículos. Las franjas serán elaboradas en material reflectivo de tal manera que sean visibles, bajo condiciones atmosféricas normales, a una distancia mínima de 300 metros, cuando se iluminen con las luces altas de un vehículo normal.

Cuando existen desvíos hacia la izquierda y la derecha, las franjas deberán dirigirse hacia ambos lados, partiendo desde el centro de la barrera. Los soportes y el reverso de la barrera serán de color blanco.



Imagen 5.6.

K. Conos de Tránsito.

Los conos de tránsito se utilizarán para delinear carriles temporales de circulación, en la formación de carriles de tránsito que entran a zonas de reglamentación especial y en general en el desvío temporal del tránsito por una ruta.

Son dispositivos en forma de cono truncado fabricados en material plástico de color anaranjado, con protección UV para evitar su decoloración y de alta resistencia al

impacto, de tal manera que no se deterioren ni causen daños a los vehículos. Deberán tener un mínimo de 0,45 m de altura, y la base donde se apoya puede tener cualquier forma la cual garantice su estabilidad, por lo general es cuadrada. Los conos de 0,45 m tendrán dos bandas de 5 cm, separadas entre sí 10 cm y elaboradas en lámina reflectiva. Los conos cuya altura sea de 0,70 m o superior, deberán tener dos bandas: de 15 cm (la superior) y de 10 cm (la inferior).

Se emplearán conos de mayor tamaño cuando el volumen del tránsito, velocidad u otros factores lo requieran. Para el uso nocturno los conos podrán equiparse con dispositivos luminosos que tengan buena visibilidad. Es necesario adoptar medidas para asegurar que los conos no sean movidos por la brisa que producen los vehículos que les pasen cerca, por lo que se recomienda colocar lastre en sus bases.

La forma y dimensiones de los conos se indican a continuación:

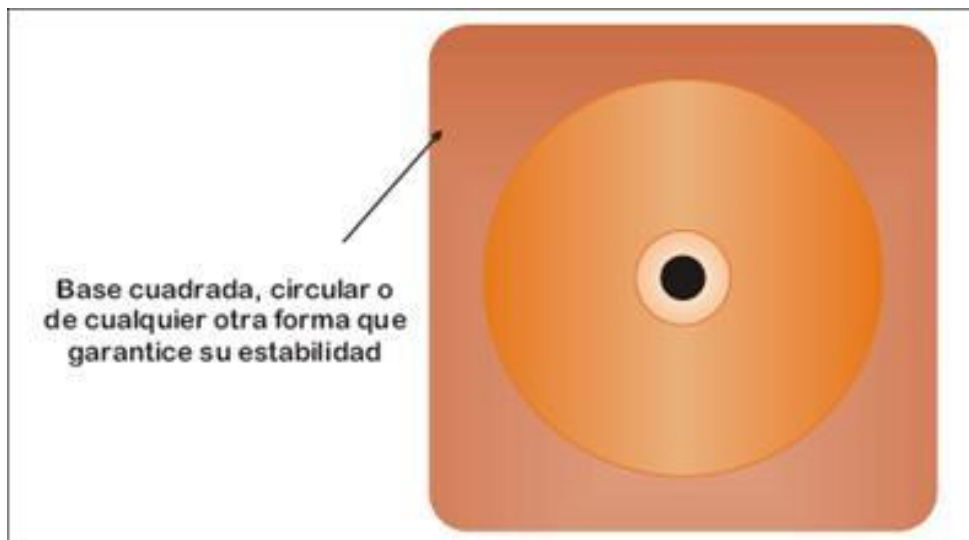
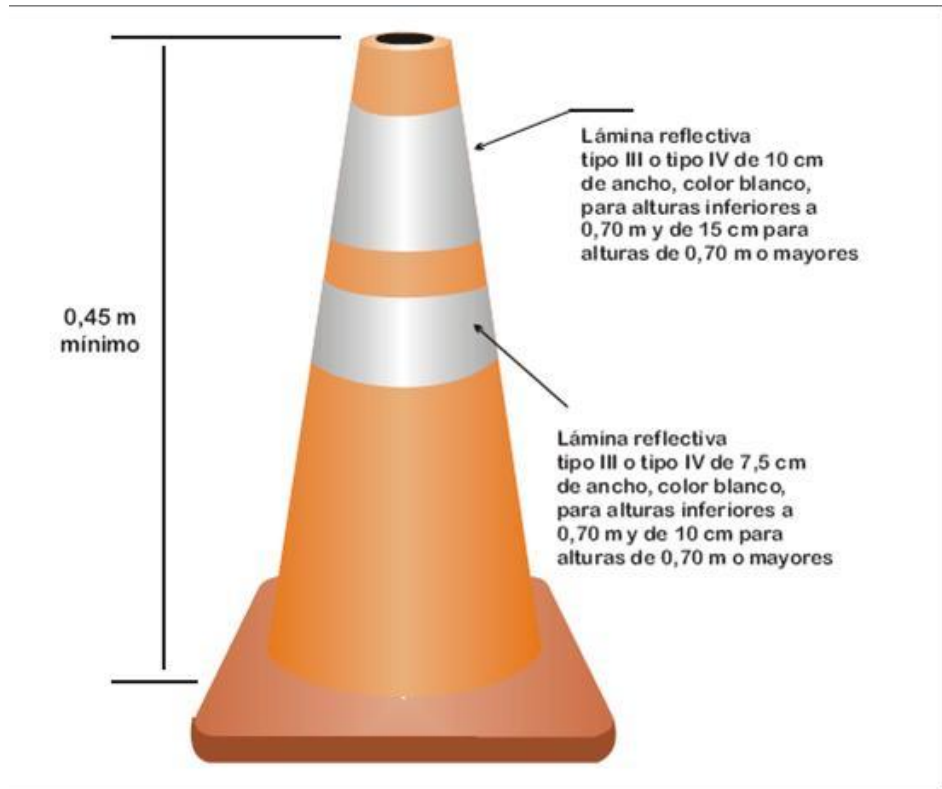


Imagen 5.7. y 5.8

ANEXO 2 Cronograma de avance de obra.

CRONOGRAMA REPROGRAMADO DE TRABAJOS

RUBRO C N°	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO USD	PRECIO TOTAL USD	OBRAS: RECUPERACION RIO MACHANGARA INTERCEPTOR TRAMO 4E (SECTOTR CALLES GUANAZAN Y MANGLARALTO)										10/2/10 al 15/02/10
						10/7/09 al 31/07/09	1/08/09 al 31/08/09	1/09/09 al 30/09/09	1/10/09 al 31/10/09	1/11/09 al 30/11/09	1/12/09 al 31/12/09	1/01/10 al 31/01/10	1/02/10 al 31/02/10			
MODULO CA01 TUNEL SECCION DE EXCAVACION 1.6 x 2.2 m.																
1	REPLANTEO Y NIVELACION TUNEL	m	518.15		518.15											
2	RELLENO CON GRAVA ENTRE ENCERRADO Y PARED	m ³	90.68													
3	EXCAVACION TUNEL A MANO EN TIERRA (INC. DESALOOJ INTERIOR TUNEL)	m ³	528.51													
4	EXCAVACION TUNEL A MANO EN CONGLOMERADO (INC. DESALOOJ INTERIOR TUNEL)	m ³	178.17													
5	EXCAVACION TUNEL A MANO EN MAT. CONSOLIDADO-COMPLESOR PERFORADOR (INC. DESALOOJ INTERIOR TUNEL)	m ³	1.48.11													
6	DESALOOJ INTERIOR TUNEL	m ³	88.09													
7	ACARREO MECANICO HASTA 1 km (carga transporte valle)	m ³	1.037.88													
8	SOBREACARREO (transporte radios mecanicos)	m ³ -km	9.689.41													
9	CONTROL Y DESALOOJ DERRUMBE POR IMPREVISTO GEOLOGICO EN TUNEL	m ³	90.68													
10	ENTUBADO PERMANENTE TUNEL ESTRUCTURA PERFLACERINO RETORNABLE	kg	11.549.32													
11	ACERO REFUERZO fy=4200 kg/cm ² TUNEL (SUMINISTRO, CORTE Y COLOCADO)	kg	30.159.33													
12	ENCERRADO/DESENCERRADO METALICO BOVEDA-ARCO	m ²	994.49													
13	ENCERRADO/DESENCERRADO METALICO RECTO	m ²	2.746.20													
14	ENCERRADO PARED COLECTOR/TUNEL NO RETORNABLE	m ²	1.243.59													
15	HORMIGON SIMPLE f'c=280kg/cm ²	m ³	673.90													
16	INYECCION DE LECHADA DE CEMENTO-INCL. PERFORACION (TONELADA DE CEMENTO)	Tn	10.38													
17	HORMIGON SIMPLE REPLANTILLO f'c=140KG/CM ²	m ³	51.82													
18	BOMBEO DE HORMIGON	m ³	725.41													
19	JUNTAS IMPERMEABLES PVC 18 CM	m	1.243.59													
20	DRENAS (TUBERIA PVC 1 1/2")	m	170.00													
MODULO CA02 POZO DE AVANCE																
21	EXCAVACION TUNEL A MANO EN TIERRA (INC. DESALOOJ INTERIOR TUNEL)	m ³	54.43		200.74											
22	EXCAVACION TUNEL A MANO EN CONGLOMERADO (INC. DESALOOJ INTERIOR TUNEL)	m ³	18.14		93.53											
23	EXCAVACION TUNEL A MANO EN MAT. CONSOLIDADO-COMPLESOR PERFORADOR (INC. DESALOOJ INTERIOR TUNEL)	m ³	90.72		448.62											
24	EXCAVACION TUNEL A MANO EN ROCA-COMPLESOR PERFORADOR Y EXPLOSIVOS (INC. DESALOOJ INTERIOR TUNEL)	m ³	18.14		160.10											
25	ACARREO MECANICO HASTA 1 km (carga transporte valle)	m ³	181.44													
26	SOBREACARREO (transporte radios mecanicos)	m ³ -km	807.19													
27	CONTROL Y DESALOOJ DERRUMBE POR IMPREVISTO GEOLOGICO EN TUNEL	m ³	4.54													
28	ACERO REFUERZO fy=4200 kg/cm ² (SUMINISTRO, CORTE Y COLOCADO)	kg	4.046.44													
29	ENCERRADO/DESENCERRADO TABLERO CONTRACHAPADO	m ²	166.38													
30	ENCERRADO/DESENCERRADO METALICO RECTO	m ²	150.78													
31	HORMIGON SIMPLE f'c=280kg/cm ²	m ³	79.15													
32	BOMBEO DE HORMIGON	m ³	79.15													
33	PERFORACIONES PARA INYECCIONES	m	50.26													
34	ESTRIBO DE POZO HF D=850MM (PROVISION Y MONTAJE)	u	201.00													
35	TAPA CON CERCO HF D=850MM (MAT. TRANS. INST)	u	6.00													
36	ACERO REFUERZO fy=4200KG/CM ² INTERIOR COLECTOR (CORTE Y COLOCADO)	kg	4.048.44		797.54											
MODULO CA03 TRABAJOS AMBIENTALES																
39	ROTULOS DE SEÑALIZACION, POSTES HG 2" (PROVISION Y MONTAJE)	m ²	8.00		305.36											
30	ROTULOS DE SEÑALIZACION SIN POSTES (PROVISION Y MONTAJE)	m ²	14.00		213.86											
31	VALLA SEÑALIZACION EN PANAFLEX ILLUMINADA (PROVISION Y MONTAJE)	m ²	4.00		105.36											
32	CONO DE SEÑALIZACION VIAL	u	15.00		90.00											
33	CINTA REFLECTIVA - ROLLO 3" x 200 PIES (CON LEYENDA)	u	6.00		51.41											
TOTAL																
INVERSION MENSUAL PROGRAMADA						1.27%	8.74%	12.29%	18.27%	18.26%	17.63%	17.30%	4.26%	1.78%		
AVANCE PARCIAL EN %						1.27%	10.01%	22.30%	40.57%	56.84%	76.66%	93.96%	98.22%	100.00%		
INVERSION ACUMULADA																
AVANCE ACUMULADO EN %																