



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA.

ESCUELA DE CIVIL.

**DISERTACIÓN PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL.**

PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA GALERÍA DE CAPTACIÓN DE
AGUAS SUBTERRÁNEAS, BASADOS EN EL MÉTODO UTILIZADO EN
LA “CONSTRUCCIÓN DE LA GALERÍA EXPLORATORIA DE GUAPULO
TERCERA ETAPA”.

**LUIS MARIO ECHEVERRÍA ESTRELLA
JORGE GUSTAVO VINUEZA VILLAGRÁN**

DIRECTOR: ING. MIGUEL ARAQUE.

QUITO, 2010.

DEDICATORIA

A aquella mujer Esthela Villagrán que siendo una madre luchadora con su incesante trabajo y humilde modo de vida, demostró y enseñó con su ejemplo no solo al autor y futuro ingeniero sino a todos aquellos que la conocen y la recuerdan, como madre, mujer y ser humano que lucha cada día por hacer un mundo mejor para todos los que la rodean, siendo un ejemplo de vida para actuales y futuras generaciones que con sus obras siempre será recordada. J.G.V.V.

A mis padres, Lucho y Rebe, por su paciencia, apoyo y lucha constante. LES AMO!!!

A todos quienes me acompañaron en este sendero, creyeron en mí y de una u otra manera me han hecho una persona mejor.

A mis hermanas, a mis pirus, a mi novia y a mis cuates de ingeniería. También les Amo.

A quienes si creyeron que un sueño se puede cumplir con cabellera larga y pensamiento diferente.

Lucho E.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Luis Echeverría que brindó su ayuda con experiencia y tiempo para alcanzar conocimientos que perdurarán en la mente de dichos autores de ésta disertación siendo el más valioso tesoro que se perpetuará y que jamás podrá ser arrebatado sino brindado de la misma manera que fue recibido, con amabilidad, paciencia y consejos para el enriquecimiento de jóvenes mentes.

A Dios por darme la oportunidad de seguir luchando

A mi familia por estar ahí, y hacerme quien soy

A los ingenieros Miguel Araque, Héctor Cajas y Diego Andrade, por sus consejos y apoyo incondicional para que esta tesis sea una realidad. Mil gracias!!!

A Jorge Vinuesa (Georgen) compañero de ruta, por su dedicación y ñeque.

A la facultad de Ingeniería por la amistad, los conocimientos y el cariño (Hasta las h.... carajo!!!)

A Carolina B. por su soporte anímico y aguantar los malgenios

A los amigos por los buenos momentos y las risas sinceras

AL FIN!!!!

Lucho E.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN A TÚNELES, GALERÍAS EXPLORATORIAS Y CONCEPTOS

BÁSICOS.	1
1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	2
1.2. DESARROLLO Y TECNOLOGÍA ACTUAL	7
1.2.1. <i>Sistemas y Métodos de Excavación</i>	8
1.2.1.1. Excavación Mediante Perforación y Voladura	9
a. Fundamentos del Sistema.....	9
b. Zonas de Perforación y Voladura	13
c. Maquinaria de Perforación	16
d. Explosivos y Detonadores.....	20
1.2.1.2. Excavación Mecánica.....	22
a. Rozadora	22
b. Tuneladoras, Topo o TMB (Tunnel Boring Machine)	26
c. Martillo Hidráulico	30
1.2.1.3. Excavación Manual	35
a. Método Cut-and-cover	36
b. Método Austriaco.....	36
c. Método Empuje de tubos	37
d. Método de Tecnología sin zanja.....	37
e. Método Alimak	38
1.2.1.4. Elección del Sistema de Excavación	38
a. Resistencia del Terreno	39
b. Abrasividad de la Roca	40
c. Forma y Dimensiones de la Sección	41
d. Costo de la Maquinaria	41
e. Vibraciones	41
1.2.2. <i>Transporte y depósito del material excavado</i>	42
1.2.3. <i>Medidas de protección de la superficie excavada</i>	42
1.2.4. <i>Drenajes</i>	44
1.2.5. <i>Impermeabilización</i>	45
1.2.6. <i>Revestimiento definitivo</i>	45
1.2.6.1. Inyecciones a alta y baja presión	45
1.3. DEFINICIONES FUNDAMENTALES.....	46
1.3.1. <i>Tierra</i>	46
1.3.1.1. Tierra Superficial.....	47
1.3.1.2. Tierra de excavación.	48
1.3.2. <i>Roca</i>	49
1.3.2.1. Definición de Roca y caracterización de macizo rocoso	50

a.	Definición de Roca.....	50
b.	Caracterización de un macizo rocoso	50
1.3.2.2.	Clasificación de las Rocas	54
a.	Clasificación por el origen o génesis.....	54
b.	Clasificación ingenieril	60
1.3.3.	<i>Avalancha (Lahar, Conglomerado Aluvial)</i>	61
1.3.3.1.	Lahar	61
1.3.3.2.	Conglomerado Aluvial	63
1.3.4.	<i>Piroclasto</i>	65
1.4.	TÚNEL	67
1.4.1.	<i>Definición</i>	67
1.4.2.	<i>Túneles famosos del mundo.</i>	68
1.4.3.	<i>Generalidades (Explotación y Conservación)</i>	69
1.5.	CLASIFICACIÓN DE TÚNELES	71
1.5.1.	<i>Túneles de Transporte</i>	71
1.5.1.1.	Generalidades Constructivas	72
1.5.2.	<i>Túneles de Conducción</i>	74
1.5.2.1.	Túneles para Alcantarillado.....	74
a.	Diferencia entre el sistema de alcantarillado sanitario y pluvial:	75
b.	Materiales.....	75
c.	Técnica de construcción.....	77
1.5.2.2.	Túneles para Red de Agua Potable.....	78
a.	Materiales.....	78
b.	Sistemas Constructivos	78
1.6.	ACUÍFERO	80
1.6.1.	<i>Tipos de Acuíferos</i>	82
1.7.	GALERÍA DE EXPLORACIÓN	83
1.7.1.	<i>Detalles Constructivos de Galería de Exploración</i>	84
1.8.	INTRODUCCIÓN AL PROCESO CONSTRUCTIVO	86
1.8.1.	<i>Consideraciones Constructivas</i>	86
1.8.2.	<i>Investigación Geotécnica</i>	87
1.8.3.	<i>Parámetros referentes a la geología</i>	87
1.8.4.	<i>Estimación de Cargas</i>	88
1.8.5.	<i>Características Geométricas</i>	88
1.8.6.	<i>Metodología de Construcción</i>	89
1.8.6.1.	Estudio Geológico	89
1.8.6.2.	Clasificación convencional de las calidades de los terrenos a excavar y revestir.	91
1.8.6.3.	Análisis mecánico del trazado de la obra subterránea	92
1.8.6.4.	Tipificación de los procesos de avance y consolidación.....	93
1.8.6.5.	Sistemas constructivos en las labores de excavación.....	93

1.8.6.6.	Sistemas constructivos en la ejecución del revestimiento.....	93
1.8.6.7.	Evaluación de los tiempos en los ciclos generales de avance y evaluación de los costos en función de los terrenos atravesados.....	94
1.8.6.8.	Programa de Construcción	94
1.8.7.	<i>Tipos de Revestimiento.....</i>	95
1.8.7.1.	Túneles con revestimiento de hormigón.....	96
a.	Tipo A.....	98
b.	Tipo B.....	98
c.	Tipo C.....	99
d.	Tipo D.....	99
1.8.7.2.	Túneles con revestimiento de hormigón lanzado y subsiguiente complemento de la estructura con hormigón normal.....	100
a.	Fase I.....	101
b.	Fase II.....	102
1.8.7.3.	Túneles Artificiales o prefabricados.....	103

CAPITULO II: NORMAS DE SEGURIDAD, ESPECIFICACIONES TÉCNICAS, MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN UTILIZADOS EN LA GALERÍA EXPLORATORIA DE GUÁPULO TERCERA ETAPA 104

2.1.	NORMAS DE SEGURIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA GALERÍA EXPLORATORIA DE GUÁPULO TERCERA ETAPA	105
2.1.1.	<i>Alcance y Aplicación.....</i>	105
2.1.2.	<i>Equipo de Protección Personal (EPP).....</i>	105
2.1.3.	<i>Lugares de Almacenamiento.....</i>	106
2.1.4.	<i>Designación de Personal</i>	106
2.1.5.	<i>Casos de Emergencia.....</i>	106
2.1.6.	<i>Entrada y Salida.....</i>	107
2.1.7.	<i>Check in /Check out</i>	107
2.1.8.	<i>Comunicaciones.....</i>	107
2.1.9.	<i>Calidad y Supervisión del Aire.....</i>	108
2.1.10.	<i>Ventilación</i>	109
2.1.11.	<i>Seguridad Eléctrica.....</i>	110
2.1.12.	<i>Iluminación</i>	111
2.1.13.	<i>Prevención y Control contra Incendios.....</i>	112
2.1.14.	<i>Soldadura, Corte y otro Trabajo Caliente</i>	113
2.1.15.	<i>Soporte de Tierra</i>	113
2.1.16.	<i>Perforación</i>	114
2.1.17.	<i>Uso de Explosivos.....</i>	114
2.1.18.	<i>Transporte y Acarreo de Material</i>	116

2.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA GALERÍA EXPLORATORIA DE GUÁPULO	
TERCERA ETAPA	118
2.2.1 <i>Términos de referencia</i>	118
2.2.1.1. Antecedentes	118
2.2.1.2. Objetivo General de la Obra	119
2.2.1.3. Objetivos Específicos	119
2.2.1.4. Información Disponible	119
2.2.1.5. Personal de Construcción	120
2.2.1.6. Equipo mínimo	120
2.2.1.7. Plazos de ejecución de los trabajos	120
2.2.1.8. Presupuesto Referencial	120
2.2.1.9. Forma de Pago	121
2.2.1.10. Fiscalización	121
2.2.2. <i>Memoria técnica</i>	121
2.2.2.1. Generalidades	121
a. Ubicación de la zona de estudio (Características físico-geográficas)	121
b. Información Existente	122
c. Descripción del Proyecto	122
d. Metodología Empleada	123
2.2.2.2. Geología General	123
2.2.2.3. Geología Particular y Geotecnia de la Galería Exploratoria	124
a. Generalidades	124
b. Condiciones geológicas- geotécnicas de la galería exploratoria	124
c. Descripción geológica - geotécnica	125
2.2.2.4. Clasificación Geomecánica de los Materiales	128
a. Presión minera sobre la cercha o marco	130
b. Altura de la bóveda de destrucción	130
c. Parámetros geomecánicos de las rocas por las que se prevé atravesará la galería exploratoria	131
2.2.2.5. Excavación de la Galería Exploratoria (Tercera Etapa)	131
2.2.2.6. Refuerzos, Soportes y Revestimientos	134
a. Refuerzos y Soportes	134
b. Revestimiento de la Galería	135
c. Colocación y características de los refuerzos y soportes	136
d. Estimación de la necesidad de refuerzos, soportes y volumen de excavación	137
2.2.3. <i>Croquis de Ubicación (Ver Anexo 3)</i>	138
2.2.4. <i>Perfil Geológico de la Galería (Ver Anexo 4)</i>	139
2.2.5. <i>Especificaciones técnicas constructivas para la galería exploratoria de Guápulo, tercera etapa, (abscisas 0+405 a 0+650)</i>	140
2.2.5.1. Generalidades	140
2.2.5.2. Especificaciones	140

a.	Replanteo y nivelación.....	140
b.	Desbroce, limpieza y desbosque	141
c.	Excavación galería	142
d.	Acarreo, transporte y desalojo.....	144
e.	Protección y entibamiento.....	147
f.	Acero de refuerzo (acero en barras)	148
g.	Encofrado y desencofrado.....	150
h.	Soportes en galería	152
i.	Hormigones.....	154
j.	Drenes	173
k.	Bombeo desde el interior de excavaciones.....	174
2.2.6.	<i>Planos de Diseño (Ver Anexo 5)</i>	175
2.3.	DESCRIPCIÓN Y DETALLE DE LA MANO DE OBRA UTILIZADA EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA GALERÍA EXPLORATORIA DE GUÁPULO TERCERA ETAPA.....	175
2.4.	DESCRIPCIÓN Y DETALLE DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA GALERÍA EXPLORATORIA DE GUÁPULO TERCERA ETAPA.....	177
2.5.	DESCRIPCIÓN Y DETALLE DE EQUIPOS UTILIZADOS EN LA GALERÍA EXPLORATORIA DE GUÁPULO TERCERA ETAPA	183
a.	Tractor Agrale:.....	188
b.	Retroexcavadora:	190
c.	Martillo eléctrico:.....	193
d.	Camión volquete:	195
e.	Compresor:.....	196
f.	Bomba de agua 2”:.....	197
CAPITULO III: PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA GALERÍA DE EXPLORACIÓN		198
3.1.	ANÁLISIS PREVIOS	199
3.1.1.	<i>Análisis de Especificaciones</i>	199
3.1.2.	<i>Reconocimiento del Sector</i>	199
3.1.3.	<i>Análisis de Tiempos</i>	200
3.1.4.	<i>Análisis de Mano de Obra</i>	202
3.1.5.	<i>Análisis de Inversión Económica</i>	206
3.2.	CONSTRUCCIÓN DE CAMPAMENTO Y GUARDIANÍA.....	211
3.3.	CONSTRUCCIÓN DE CUNETAS DE CORONACIÓN	213
3.4.	ADECUACIÓN DEL INGRESO AL TÚNEL	216
3.5.	INSTALACIONES	217
3.5.1.	<i>Sistema de Ventilación</i>	217
3.5.2.	<i>Sistema de Iluminación</i>	221
3.5.3.	<i>Instalaciones Eléctricas</i>	224
3.6.	REPLANTEO Y NIVELACIÓN	225

3.7. EXCAVACIÓN	227
3.7.1. <i>Excavación Manual</i>	227
3.7.1.1. Excavación Manual Propiamente dicha.....	227
3.7.1.2. Martillo Eléctrico	228
3.7.2. <i>Uso de Explosivos</i>	229
3.7.3. <i>Uso de Compresor</i>	233
3.7.3.1. Pie de Avance.....	235
3.8. ACARREO DE MATERIAL	237
3.8.1. <i>Proceso Manual</i>	237
3.8.2. <i>Proceso Mecánico</i>	240
3.9. DESALOJO DE MATERIAL O SOBRECARGO	246
3.9.1. <i>Proceso Mecánico</i>	247
3.10. COLOCACIÓN DE CERCHAS	249
3.10.1. <i>Perfiles UPN 100</i>	250
3.10.2. <i>Celosía con Varilla</i>	254
3.11. ENTIBADO CONTINUO PERMANENTE	255
3.12. RELLENO DE DERRUMBES POR IMPREVISTOS GEOLÓGICOS	256
3.13. CONSTRUCCIÓN DE REFUGIOS O CAMBIOS	258
3.14. DRENAJE DE SOLERA	259
3.15. ACERO EN SOLERA, HOMBROS Y BÓVEDA.....	264
3.16. FUNDICIÓN	265
3.16.1. <i>Mezclado (Amasado)</i>	266
3.16.2. <i>Transporte</i>	267
3.16.3. <i>Fundición de Solera</i>	268
3.16.3.1. Encofrado	268
3.16.3.2. Colocación.....	268
3.16.3.3. Curado	269
3.16.4. <i>Fundición de Hombros</i>	270
3.16.4.1. Encofrado	270
3.16.4.2. Colocación.....	271
3.16.4.3. Curado	272
3.16.4.4. Drenajes.....	272
3.16.5. <i>Fundición de Bóveda</i>	272
3.16.5.1. Encofrado	272
3.16.5.2. Colocación.....	274
3.16.5.3. Curado	275
3.16.5.4. Drenajes.....	275
3.16.6. <i>Control de Calidad</i>	275
3.17. DESENCOFRADO Y ARREGLO DE FALLAS	276

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	278
4.1. CONCLUSIONES	279
4.2. RECOMENDACIONES.....	280
BIBLIOGRAFÍA.....	282

RESUMEN:

A lo largo del tiempo la construcción de obras subterráneas han sido de vital importancia para el ser humano, desde refugio para protegerse ante climas extremos, hasta mecanismos necesarios de comunicación y alta tecnología como son las actuales construcciones de túneles.

Existe gran cantidad de información sobre excavación de túneles y la maquinaria utilizada, sin embargo pocos textos tratan el tema de galerías de exploración, su proceso constructivo y los detalles de dichas obras.

En la presente disertación se plantea desarrollar el proceso constructivo de una galería exploratoria para captación de aguas subterráneas, basándose en el método utilizado en la construcción de la Galería exploratoria de Guápulo-Tercera Etapa (abs. 0+405 a la 0+650), para lo cual se recopila importante información de diversos autores y normas internacionales sobre equipos y métodos utilizados en construcción de obras subterráneas, se presentan conceptos de los diferentes tipos de suelo encontrados a lo largo de los 245 metros de la galería de Guápulo, definiciones fundamentales de términos constructivos de obras subterráneas, se especifica los materiales, la mano de obra y los equipos utilizados en este proyecto, se menciona las normas de seguridad utilizadas y las especificaciones, planos de construcción, perfil geológico y ubicación de la obra.

Toda esta información recopilada concluye con la presentación de un proceso constructivo que detalla de forma escrita el seguimiento que se realizó a cada actividad y cada pormenor constructivo en el transcurso de la obra, todo esto apoyado con fotografías de campo que ilustran claramente dichos procedimientos.

El proceso constructivo de una galería exploratoria para captación de aguas subterráneas que se presenta como trabajo final en la presente disertación, no es sino una guía constructiva, no reglamentaria, parámetros detallados de las actividades que se realizan desde el inicio de la obra (reconocimiento del sector, instalación del campamento) hasta su conclusión (desenclavado y arreglo de fallas), desarrollados para profesionales, estudiantes y docentes interesados en obras civiles subterráneas.

INTRODUCCIÓN:

Exposición de razones que motivaron el estudio

La presente disertación teórico-práctica fue desarrollada por las siguientes razones que motivaron su estudio:

- Al no encontrar texto que detalle el proceso constructivo de túneles, tampoco procedimiento alguno para la construcción de galerías exploratorias, surge la necesidad de realizar este trabajo investigativo.
- Resulta de gran importancia para ingenieros civiles tener una guía constructiva práctica sobre galerías de captación de aguas subterránea, que permita aplicar los conocimientos técnicos y despejar dudas que se puedan presentar en obra.
- Los métodos constructivos y sus aplicaciones con respecto a túneles, al ser temas de gran extensión y complejidad se los aborda de manera superficial a lo largo de la carrera de ingeniería civil, donde el tiempo resulta un limitante para maestros y alumnos, razón por la cual el desarrollo de la presente investigación enfocada en el proceso de construcción de una galería, tendrá gran importancia no sólo para profesionales, sino también para docentes y estudiantes interesados en el tema.

Planteamiento sintético del problema.

Al no existir método definido para la construcción de galerías exploratorias, es necesario presentar un proceso constructivo y una investigación del tema, sustentándola en el desarrollo técnico-práctico de la obra civil ubicada en el sector de Guápulo.

Objetivos.

General

Obtener el proceso constructivo de galerías exploratorias, conociendo los pormenores de la construcción de este tipo de galerías, así como las normas y procedimientos utilizados para

dichas obras, aplicados a los diferentes tipos de suelo y rocas encontrados en la obra planteada como tema de disertación.

Específicos

- Especificar y detallar los materiales, mano de obra, equipos, normas y especificaciones con las que se podrá realizar excavaciones para galerías exploratorias y sobre todo con las que se realizó la construcción de la Galería exploratoria de Guápulo – Tercera Etapa.
- Detallar los métodos y procedimientos utilizados para la construcción de galerías exploratorias, tomando como base el proceso constructivo realizado en la Galería exploratoria de Guápulo – Tercera Etapa.
- Recopilar el proceso constructivo de galerías de captación de aguas subterráneas, esperando sirva como guía de procedimiento a profesionales interesados en el tema.
- Desarrollar, a lo largo de la investigación, conclusiones que enriquezcan un proceso constructivo de galerías exploratorias y trabajos subterráneos, así como recomendaciones que perfeccionen futuros trabajos.

Hipótesis

El recopilar y detallar un método constructivo confiable para galerías exploratorias de captación de aguas subterráneas marcará pautas importantes en la construcción de este tipo de túneles, brindando al profesional y al estudiante interesado en el tema, una guía técnica-práctica que explique cada proceso, permita resolver problemas, evaluar procedimientos y despajar dudas sobre cada etapa de construcción de esta obra.

Exposición del procedimiento técnico.

El desarrollo de la presente disertación estará basado en los métodos utilizados en el tercer tramo de construcción de la galería exploratoria localizada en Guápulo, en las abscisas 0+405 a 0+650, cuyos datos técnicos proporcionados por la EMAAP-Q, así como datos

adicionales basados en la experiencia del constructor y obtenidos en obra, serán objeto de análisis para el cumplimiento de los objetivos planteados, por lo tanto el procedimiento técnico-metodológico será el siguiente:

- Investigación bibliográfica, que incluirá información de textos y páginas web confiables.
- Análisis de normas de seguridad y especificaciones técnicas del proyecto
- Descripción y detalle de materiales, mano de obra y equipos utilizados en la construcción de la obra
- Visitas permanentes y continuas a lo largo del desarrollo del proyecto, a fin de constatar los eventos que envuelven la construcción de galerías de captación de aguas subterráneas, llevando registros de cada actividad y el detalle minucioso de labores que la conforman
- Visitas a obras civiles similares, a fin de comparar y evaluar los procedimientos realizados en nuestro proyecto, verificando que estos sean los correctos o buscando soluciones alternativas que completen nuestro trabajo investigativo
- Redacción explicativa, coherente y bien estructurada de cada proceso que forma parte de la construcción de galerías de captación de aguas subterráneas
- En base a consultas realizadas y experiencia adquirida en campo se brindarán conclusiones y recomendaciones que complementen el presente estudio y fortalezcan futuras investigaciones.

Señalamiento sintético, sumario, de los contenidos de cada capítulo.

CAPÍTULO I: Introducción a túneles, galerías exploratorias y conceptos básicos.

En este capítulo se reúne investigación sobre la historia, el desarrollo y la tecnología empleados en obras subterráneas, maquinaria y métodos de excavación de túneles con sus respectivos análisis, pasando por los conceptos de los tipos de suelo encontrados en la galería exploratoria de Guápulo-Tercera Etapa, hasta las definiciones fundamentales y

clasificaciones de túnel, galería exploratoria y acuífero. Finalmente se abordan importantes datos sobre la introducción al proceso constructivo de galerías de exploración y otras obras subterráneas.

CAPÍTULO II: Normas de Seguridad, Especificaciones Técnicas, Materiales, Mano de Obra y Equipos de Construcción utilizados en la Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa.

En este capítulo se reúnen las normas de seguridad utilizadas en la construcción de la galería exploratoria de Guápulo-Tercera Etapa y se detallan las especificaciones técnicas requeridas por la EMAAP-Q para los procedimientos y calidad de la construcción. Del mismo modo en este capítulo se presentan los planos de detalle constructivo, croquis de ubicación y perfil geológico del proyecto. Finalmente se detallan las especificaciones, uso y tipo de trabajo de materiales, mano de obra y equipos de construcción, requeridos para el proyecto en estudio.

CAPÍTULO III: Detalle del Proceso Constructivo de una Galería de Exploración.

En este capítulo se presenta de manera explicativa y completamente detallada cada procedimiento, actividad y subactividad que se cumple desde el inicio de la construcción de la Tercera Etapa de la galería de Guápulo hasta su finalización. Cada trabajo e incluso cada imprevisto es detallado como una actividad que se debe realizar como prevención a cualquier percance, de modo que todos los procedimientos llevan secuencia entre sí a lo largo del capítulo, además cada actividad que se especifica y se describe se encuentra con su respectiva fotografía que muestra las medidas tomadas por el contratista en obra durante el desarrollo del proyecto de estudio. Toda la documentación, tanto escrita como fotográfica, se realizó en campo, por lo que cada proceso descrito en este capítulo se ajusta a una realidad comprobada

CAPITULO IV: Conclusiones y Recomendaciones

En este capítulo se presentan las consideraciones finales de la disertación luego de las respectivas investigaciones y el desarrollo de un proceso constructivo para una galería exploratoria de captación de aguas subterráneas

CAPÍTULO V: Bibliografía

En este, el capítulo final encontramos todas las fuentes de consulta con sus respectivos detalles bibliográficos

**CAPITULO I: INTRODUCCIÓN A TÚNELES, GALERÍAS
EXPLORATORIAS Y CONCEPTOS BÁSICOS.**

1.1. Antecedentes históricos

El desarrollo de la ingeniería comenzó con la revolución agrícola (año 8000 a. C.) cuando las tribus dejaron de ser nómadas para cultivar sus productos y criar animales comestibles. Hacia el año 4000 a. C., con los asentamientos alrededor de los ríos Nilo, Éufrates e Indo, se inició la civilización con escritura y gobierno. He aquí los inicios de la organización del hombre, como ejemplo más remoto están pequeños agujeros que el ser humano hacía para proteger sus alimentos y tratar de mantenerlos fríos.

Hasta épocas relativamente recientes, bajo el término “arquitecto” se englobaba a la persona que dominaba los conocimientos arquitectónicos, estructurales, geológicos, hidráulicos, etc., necesarios para la construcción de las obras civiles, militares y máquinas de las distintas épocas. Comulga con esta visión los 10 libros de Marco Vitruvio (siglo I a. C.) "De Architectura", en los que se tratan temas hoy día asociados a la moderna arquitectura, la ingeniería civil, militar y mecánica. Es tras el Renacimiento cuando el desarrollo del conocimiento y las nuevas demandas sociales obligan a la especialización de las ramas y las diferentes especialidades que ahora existen en la ingeniería. Fue la necesidad quien hizo a los primeros ingenieros civiles de la historia. En España está considerado como el primer ingeniero civil Santo Domingo de la Calzada, el santo que construyó parte del Camino de Santiago, principalmente sus puentes.¹

En cuanto a la construcción de túneles y galerías no se tiene un dato histórico exacto pero se puede mencionar que dependiendo de las necesidades naturales como el conseguir abrigo o almacenamiento de productos, el hombre ha buscado de manera manual hacer dichas excavaciones subterráneas. En general, las obras de Ingeniería Civil implican el trabajo una gran cantidad de personas (en ocasiones cientos y hasta

¹Cfr. Colaboradores de Taringa, “Ingeniería Civil”. Internet. <http://www.taringa.net/posts/info/1193224/Ingenier%C3%ADa-Civil.html>. Acceso: diciembre 2009. , Cfr. Carrero, Joani. V.V.A.A. “Ingeniería Civil, sus orígenes”. Internet. <http://www.destinourbe.com/ingenieria-civil-sus-origenes.html>. Acceso: noviembre 2009

miles) a lo largo de lapsos que abarcan desde unas pocas semanas o meses hasta varios años.²

Los romanos comprendieron desde el principio de su auge como civilización que una ciudad debía tener un sistema eficiente de eliminación de desechos para poder crecer. Para ello construyeron en todas las ciudades de cierta importancia los conocidos sistemas de alcantarillado que aún hoy siguen cumpliendo su función original, que viene a ser uno de los sistemas antiguos de la construcción de túneles que actualmente se representarían como galerías para la recolección de desechos. En Mérida, por ejemplo, el alcantarillado romano se ha usado hasta hace pocos años, y su trazado sirve todavía como referencia para conocer cómo era la antigua ciudad romana. En otras ciudades como León (inicialmente fundada como un campamento de la Legión VII Germana) se conservan vestigios de estas infraestructuras, y en Itálica sirven como ejemplo al visitante en los días lluviosos de la perfección del sistema de drenaje de las calles para evitar su encharcamiento.³

Resulta sorprendente la tecnología de la antigua Roma, donde existían precedentes de civilizaciones antiguas del Próximo Oriente y de ingenieros griegos que habían construido conducciones eficientes, los ingenieros romanos, gracias fundamentalmente a su uso del hormigón, fueron los que pusieron a punto técnicas que se pudieron generalizar por todas las ciudades del Mediterráneo. Con todo, los factores técnicos no fueron los únicos que contribuyeron a difundir este tipo de obras, hizo falta también la unidad política del Imperio y la existencia de un sistema económico fuerte que creara las condiciones para el desarrollo urbanístico.

La mayor parte del recorrido se hacía por canales, en general cubiertos, que se construían por las laderas de los montes, siguiendo la línea de pendiente deseada (generalmente pequeña, del orden del 0,004%), y se situaban cada cierto tiempo *cajas de agua* o *arcas de agua*, pequeños depósitos que servían para regular el caudal o decantar los sólidos, normalmente arena, que las aguas pudieran arrastrar.

²Cfr. Colaboradores de Wikipedia. "Ingeniería Civil" Internet. http://es.wikipedia.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_civil Acceso: noviembre 2009.

³Cfr. Colaboradores de Wikipedia. "Romanización de Hispania". Internet. http://es.wikipedia.org/wiki/Romanizaci%C3%B3n_de_Hispania. Acceso: agosto 2009.

Cuando se debía salvar un camino, a un nivel un poco más bajo que el del acueducto, se usaban sifones, en los que el agua pasaba bajo el obstáculo y volvía a subir al nivel anterior. A menudo debían salvar desniveles más grandes y en ellos adoptaban la forma de puente, puesto que hacer conducciones en sifón capaces de resistir altas presiones era más caro. Como los puentes son la parte más visible de la obra, ha quedado la costumbre de llamar *Acueducto* al propio puente. En muchas ocasiones, estos acueductos continuaron en uso durante la Edad Media e incluso en tiempos modernos, gracias a arreglos y restauraciones.

Las soluciones aplicadas a los acueductos romanos se siguieron usando sin modificaciones sustanciales hasta el siglo XIX, donde se presentó el mayor desarrollo de la tecnología en excavación con la construcción de túneles carreteros en Europa. En el siglo XX, los progresos en la producción de cementos, el armado del hormigón con acero, los nuevos materiales y técnicas en la construcción de tubos y la posibilidad de construir potentes estaciones de bombeo revolucionaron las conducciones de agua y simplificaron su adaptación al terreno.⁴

De igual manera en toda Europa y como símbolo sobresaliente en París hay una serie de túneles construidos en la antigüedad utilizando mano de obra común, las cuales a posterior se transformaron en catacumbas y gran parte de ellas en alcantarillado. El sistema de túneles es demasiado complejo, y a pesar de que estos poseen placas para identificar bajo qué calle se encuentra el visitante, es muy fácil perderse en el trayecto; hay pasadizos demasiado estrechos y bajos, algunos de los cuales se inundan fácilmente; por esta razón, los visitantes deben contar con la ayuda de un guía. Debido a estos peligros potenciales, desde el 2 de noviembre de 1955 se considera ilegal toda visita sin escolta oficial, lo cual, de no ser cumplido, puede acarrear una multa de 60 euros impuesta por los *cataflics* o policía especial que patrulla las catacumbas. Sin embargo, existen entradas secretas a lo largo de París, lo que permite ingresar a las catacumbas por medio de las alcantarillas, el metro, etc. En raras pero peligrosas ocasiones las personas hacen uso de estos accesos para entrar en

⁴ Cfr. Colaboradores de Wikipedia. “Acueducto”. Internet. <http://es.wikipedia.org/wiki/Acueducto>. Acceso: septiembre 2009.

ellas. Posteriormente esta red de túneles fueron utilizados por los alemanes como refugios durante la invasión en la segunda guerra mundial.⁵

Es irrefutable que en el aspecto estratégico siempre se utilizó a las galerías o túneles como gran ventaja para la milicia; es así que de igual manera en la guerra de Vietnam los militares de ese país utilizaron una serie de túneles para comunicarse y atacar a las tropas Estadounidenses; que en realidad era una serie de galerías exploratorias elaboradas con mano de obra por parte de los mismos militares.

Desde los comienzos la construcción de este tipo de obras subterráneas requería un esfuerzo físico considerable y presentaban un alto riesgo en su construcción, debido a casos de sepultamiento por desprendimientos tanto de techos como de paredes y tierra. Así mismo la gran problemática de inundaciones a causa de rompimiento de tuberías o reservas de agua. Todo esto sin incluir, el estar expuesto por largo tiempo a los escombros, el polvo, fuertes vibraciones y poco oxígeno.⁶ Todo esto con el paso del tiempo se ha convertido en un denominador común de problemas, no solo en la construcción de túneles sino en toda obra subterránea, dificultades que deben ser afrontadas con soluciones que minimicen el alto nivel de riesgos para la salud de las personas que en ellas laboren.

La técnica de las obras subterráneas, cuyos orígenes se remontan a miles de años atrás, experimentó su primer punto culminante el siglo pasado con la construcción de los grandes túneles ferroviarios a través de los montes Genis, San Gotardo y Simplón. Se puede decir que hoy día, las obras subterráneas atraviesan un segundo apogeo con las instalaciones subterráneas para tráfico, energía hidráulica, propósitos militares, etc. Por ello es comprensible que los métodos técnicos también se desarrollen de un modo especialmente brioso en pos de la obtención de una mayor rentabilidad y seguridad. El ejemplo más expresivo se observa comparando los costos para 1 metro cúbico de excavación, que para la construcción del túnel de San

⁵Cfr. Colaboradores de Wikipedia. “Catacumbas de Paris”. Internet. http://es.wikipedia.org/wiki/Catacumbas_de_Paris. Acceso: septiembre 2009

⁶Cfr. García, Luisa. “Obras Subterráneas; Riesgos para la Salud”. Internet. <http://www.arqhys.com/contenidos/subterranas-obras.html>. Acceso: octubre 2009

Gotardo se elevaron alrededor de 50 francos (unas 800 pesetas o 6.85332 US Dólar), es decir, lo mismo que hoy cuesta la excavación para un túnel de sección similar. De ello se deduce que los costos son los mismos que hace cien años, mientras que el costo de vida se ha multiplicado por siete. Otro motivo de satisfacción es, sin embargo, el lado humanitario. Actualmente los accidentes graves y los casos de fallecimiento en las obras subterráneas ocurren con menos frecuencia gracias a las intensificadas medidas de seguridad. Por el contrario, en la construcción del túnel del San Gotardo hubo que lamentar 200 muertos⁷

El progreso técnico no debe ser solamente atribuido al desarrollo de los métodos de construcción sino que también se debe tener en cuenta los nuevos conocimientos sobre la mecánica de rocas han sido de considerable influencia para la eficiencia económica, puesto que han suministrado mejores bases para el trazado y dimensionamiento de las obras subterráneas.

Era hasta hace pocos decenios que prácticamente el tema de la geología empieza a interesar a muchos proyectistas de obras civiles, quienes acostumbraban menospreciar en sus trabajos las condiciones geológicas del terreno en que aquéllas se habían de asentar, y de igual manera tenían tan sólo en cuenta la morfología de éste al efecto de los ajustes del asentamiento de unas estructuras concebidas en orden aduciendo la economía de trabajo, volúmenes y costo. Mientras las precipitadas obras fueron de poca envergadura, la cosa no tuvo una importancia extraordinaria, pero muy pronto la construcción de grandes presas con alturas cada vez mayores, y en particular por el requisito no cumplido de la estanqueidad de los vasos creados por muchas de ellas, dio lugar a la consideración preponderante de los estudios geológicos, cuya ausencia o desconocimiento experimental había conducido a ruidosos fracasos, y a veces totales; ⁸ es a raíz de esto que el avance de la construcción de galerías y túneles toma gran repunte con la ayuda de dichos estudios.

⁷ Cfr. WENZEL Klaus, V.V.A.A., "Túneles y Obras Subterráneas", pág. 333, Editores Técnicos Asociados, España 1972

⁸ Cfr. SAENZ GARCIA Clemente, V.V.A.A., "Túneles y Obras Subterráneas", pág. 67, Editores Técnicos Asociados, España 1972

1.2. Desarrollo y tecnología actual

El gran número de obras subterráneas que se han estado desarrollando estos últimos años en el mundo entero y de las cuales nuestro país no se queda atrás, principalmente, túneles, galerías, cavernas subterráneas y otros, tanto en obras de tipo civil como proyectos viales y proyectos hidroeléctricos respectivamente, como asimismo, en diversas minas subterráneas ya operando y en proceso de expansión, e incluso en minas a cielo abierto, han sido determinantes para que el ser humano desarrolle métodos constructivos y tecnología que reemplace la mano de obra humana por un trabajo realizado por máquinas que agilicen los procesos y eviten accidentes.

Hace pocos años se empezó a probar en la práctica pequeñas máquinas perforadoras de galerías, hoy día se desarrollan máquinas que ya permiten la perforación de grandes secciones. Este desarrollo se puso solamente en marcha cuando se reconoció la rentabilidad de estos procedimientos y aún se encuentra lejos de una perfección.

También para la construcción de grandes cavidades, como centrales hidroeléctricas subterráneas donde no se puede excavar mecánicamente toda la sección, se está desarrollando una máquina fresadora a fin de fresar la periferia de la cavidad desde dos galerías laterales, mientras que el restante núcleo central puede ser sacado económicamente en grandes voladuras. Este método es presentado por la firma Kunz, de Múnich.

Pero también los trabajos que siguen a la excavación, como la retirada del material excavado, la protección de la excavación, el revestimiento con piezas prefabricadas, la impermeabilización con grandes hojas de material sintético, trabajos que se efectúan al ritmo descrito, se aproximará más y más a una fabricación industrial en serie. La organización del desarrollo de todos los trabajos concentrados sin interferencias y sin impedimentos mutuos a causa de la estrechez del lugar del trabajo, es para el contratista y el proyectista una labor de planeamiento muy compleja e interesante. Este desarrollo, por su parte, es proporcionado por los nuevos procedimientos de cálculo perfeccionados en base de nuevos procesos de medición de las características del material a excavar. La teoría contribuye tanto al aumento de

la rentabilidad de las obras subterráneas como a la modificación y mejora de los métodos técnicos aplicados en la obra.

Para dar a conocer de mejor manera el tema del desarrollo y la tecnología en obras subterráneas mencionaremos los métodos de excavación, explicando los procedimientos y la maquinaria empleada en las labores de perforación.⁹

1.2.1. Sistemas y Métodos de Excavación

De manera general vamos a referirnos a los sistemas utilizados en la excavación de túneles, los mismos que pueden ser practicados en galerías exploratorias, cuya diferencia principal es ser obras subterráneas de menor dimensión. Los sistemas y métodos de excavación de túneles dependen en primer lugar, y de forma fundamental, del tipo de terreno a atravesar, de este modo cabe hablar por separado de la excavación de túneles en roca y de la excavación de túneles en suelos o terrenos blandos.¹⁰ En la presente disertación nos referiremos, de forma práctica, a la excavación en roca (estrato considerado como el más complejo de excavar), a fin de no entrar en detalles específicos sobre los diferentes tipos de estratos existentes, puesto que este es un tema de infinitas posibilidades por las combinaciones que se pueden producir y presentar en un mismo terreno.

La perforación de túneles en terrenos blandos es un tema muy complejo en el que se mezcla la excavación en sí y el tratamiento del terreno, existiendo un gran número de sistemas de ejecución: escudos, precorte mecánico, pre bóveda de jet-grouting, congelación, incluso sostenimiento con hormigón proyectado de forma similar a los túneles en roca. En la literatura especializada puede encontrarse mucha información respecto a este tema, que se escapa del alcance del presente manual.

Los sistemas de excavación de túneles en roca son básicamente dos: el de perforación y voladura, mediante la utilización de explosivos, y la excavación mecánica, mediante

⁹Cfr. Linares Sánchez, Antonio. “Túneles y Obras Subterráneas”. Internet <http://books.google.com.ec/books?id=TXevPSBtQX4C&printsec=frontcover&dq=t%C3%BAneles+y+obras+subterr>. Acceso: agosto 2009

¹⁰ Cfr. GEOCONSULT ESPAÑA, “Manual de túneles interurbanos de carretera”, pág. 80, España 1996

tuneladoras o topos (TBM) especialmente diseñados para tal fin y las máquinas de ataque puntual, rozadoras o martillos de impacto.¹¹ Sin embargo también analizaremos el sistema manual, utilizado en suelos mixtos donde no siempre la roca es preponderante.

1.2.1.1. Excavación Mediante Perforación y Voladura

El sistema de perforación y voladura controlada conocido también como sistema “Smooth Blasting”, es el más utilizado para túneles en roca y el único posible cuando la roca es muy abrasiva, muy resistente o se encuentra en estado masivo. Básicamente consiste en efectuar unos taladros en el frente de excavación, cargarlos con explosivos y hacerlos detonar. La reacción explosiva genera una energía en forma de presión de gases y energía de vibración, capaz de quebrantar la estructura de la roca.¹²

a. Fundamentos del Sistema

Como ya hemos señalado anteriormente, la excavación mediante perforación y voladura es el sistema más utilizado para la excavación de túneles en roca.

Las partes o trabajos elementales de que consta el ciclo de trabajo característico de este sistema son las siguientes:

- Replanteo en el frente del esquema de tiro
- Perforación de los taladros
- Carga de los taladros con explosivo (barrenos)
- Voladura y ventilación
- Retirada del escombros y saneo del frente, bóveda y hastiales.

¹¹ Cfr. GEOCONSULT ESPAÑA, “Manual de túneles interurbanos de carretera”, pág. 80, España 1996

¹² Ibid, pág. 81

El esquema de tiro es la disposición en el frente del túnel de los taladros que se van a perforar, la carga de explosivo que se va a introducir en cada uno y el orden en que se va a hacer detonar cada barreno. En la figura 1.1 se muestra un esquema de tiro correspondiente al avance de un túnel típico excavado en dos fases.

*Esquema
típico de tiro.*

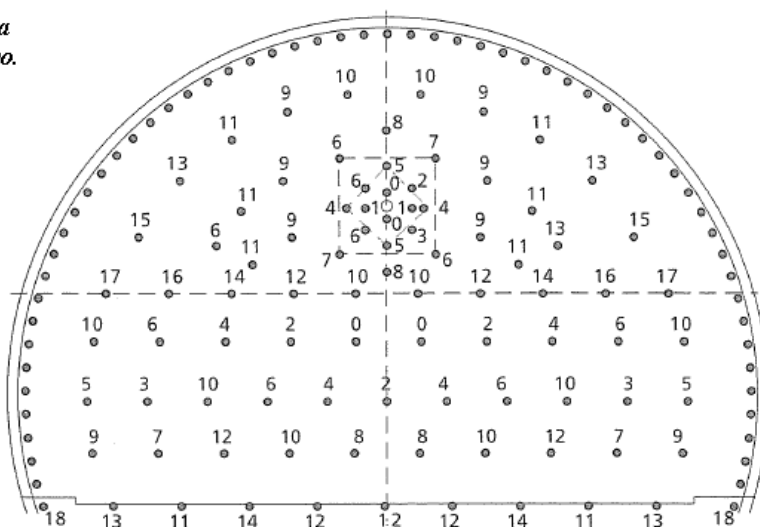
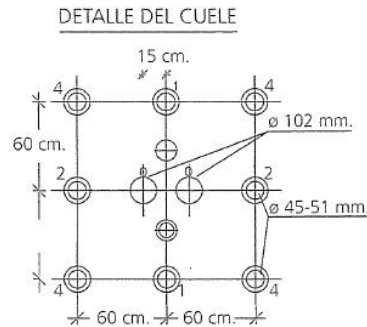


Figura 1.1

El esquema de tiro se diseña al principio de la obra en base a la experiencia y a una serie de reglas empíricas recogidas en los manuales sobre explosivos. Posteriormente, a lo largo de la excavación del túnel, se irá ajustando en función de los resultados obtenidos en cada voladura. En la figura 1.2 se observa una hoja resumen con los datos de una voladura en un frente de túnel.¹³

¹³ Cfr. GEOCONSULT ESPAÑA, “Manual de túneles interurbanos de carretera”, pág. 81, España 1996

**Descripción del
esquema de tiro**



DATOS DE LOS DETONADORES

TIPO : MICRO RETARDOS DE A. I.

MICRO RETARDOS	INSTANTE DE DETONACION	INTERVALO ENTRE DOS SUCEIVOS
Números	ms.	ma.
0 - 18	0 - 540	30

PLAN DE CARGA				
	TIPO DE TALADRO	CARGA (kg)	Nº DE TALADROS	CARGA TOTAL (kg)
RECORTE	0,78	39	30,42	
CUELE	2,94	10	29,4	
VACIO	-	2	-	
DESTROZA	4,2	38	159,6	
ZAPATERA	4,2	15	63	
TOTAL CARGA EXPLOSIVA (kg)				282,42

DATOS DE TALADROS, CARGA Y EXCAVACION				
AREA EXCAVADA	47,5	m. ²	LONG. TOTAL PERFORADA	436,8
TALADROS CARGADOS	50,8	mm.	AVANCE CONSEGUIDO	4,2
TALADROS VACIOS	89	mm.	VOLUMEN EXCAVADO	199,5
Nº DE TALADROS	104	ud.	DENSIDAD DE TALADROS	2,19
LONG. PERFORACION	4,2	m.	CARGA MAX. DETONADOR	25,2
			DENSIDAD DE CARGA	1,42

Figura 1.2

Los esquemas indicados se refieren al avance o primera fase constructiva del túnel. Para las siguientes fases (destroza), existe la posibilidad de perforar el frente, con taladros horizontales (se utiliza la misma maquinaria y sistemática de trabajo que para la fase de avance y además puede recortarse con la voladura la forma teórica del túnel) o en banco y con taladros verticales (más rápida de llevarse a cabo, con un consumo menor de explosivo, y no necesita de la retirada del escombros en cada voladura, pero necesita un recorte posterior para conseguir el perfil del túnel en los hastiales), del mismo modo que en las voladuras en banco en el exterior. (Figura 1.3).

*Esquema
de tiro en
destroza.*

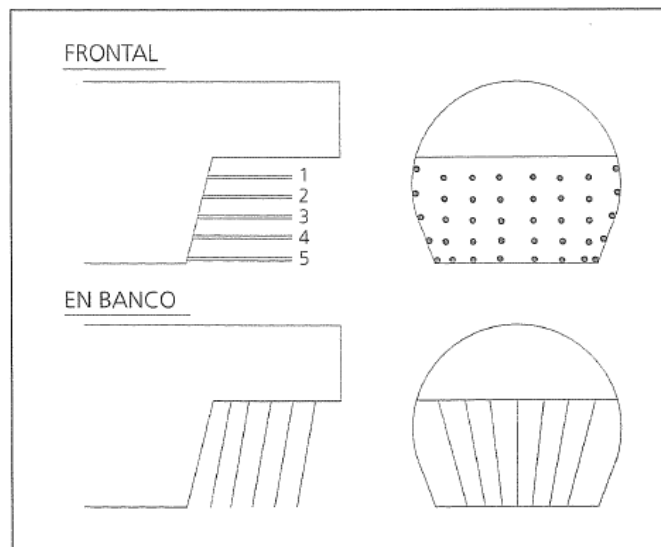


Figura 1.3

Los taladros deben de tener una longitud un 5-10 % superior a la distancia que se quiera avanzar con la pega, llamada longitud de avance, ya que siempre se producen pérdidas que impiden aprovechar al máximo la longitud de los taladros. Las longitudes de avance típicas están comprendidas entre 1 y 4 metros y se fijan en función de la calidad de la roca: cuanto mejor es la calidad del terreno, mayores serán los avances posibles. Con una roca de calidad media-buena es habitual perforar taladros de 3 a 3,50 metros para avanzar entre 2,80 y 3,20 metros en cada voladura.

Los gráficos de la figura 1.4 y figura 1.5, obtenidos de la experiencia en la excavación de un gran número de túneles, permiten estimar aproximadamente el número de taladros y el consumo de explosivos necesarios en función de la sección de excavación, la longitud de avance y la calidad de la roca. Los taladros de un esquema de tiro típico se disparan con cierto desfase (micro retardo ó retardo) entre ellos, con objeto de hacer más efectiva la voladura. En la figura 1.1 aparece, junto a cada taladro, un número que indica el orden en que son disparados. En función de dicho orden se distinguen cuatro zonas dentro de un esquema de tiro, y cada una tiene un tratamiento diferente (véase figura 1.6):¹⁴

¹⁴ Cfr. GEOCONSULT ESPAÑA, “Manual de túneles interurbanos de carretera”, pág. 82, España 1996

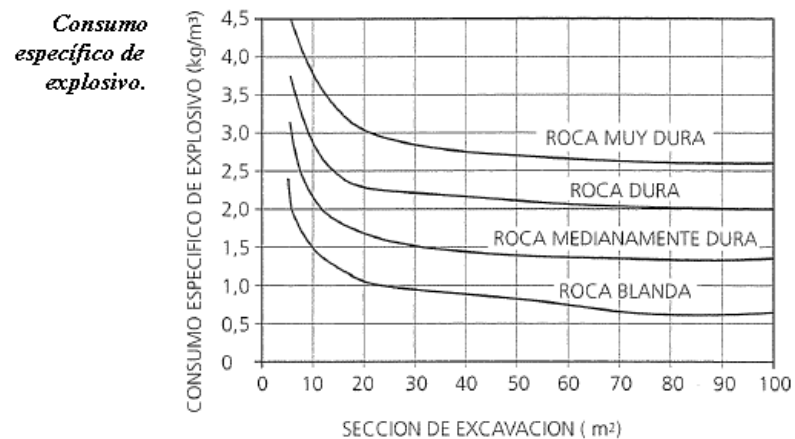


Figura 1.4

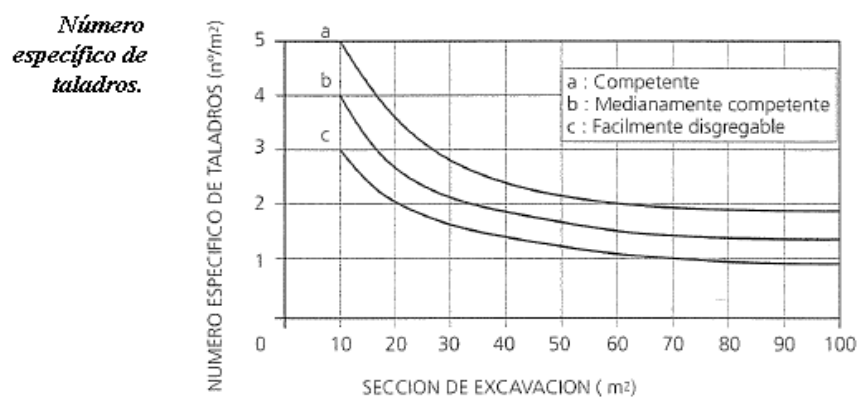


Figura 1.5

b. Zonas de Perforación y Voladura

Para la perforación y voladura, la sección teórica del túnel se divide en zonas, en las que las exigencias, tanto de densidad de perforación, como de carga específica de explosivo y secuencia de encendido son distintas.

Estas zonas son:

- Cuele
- Contracuele

- Destroza
- Zapateras
- Contorno

En la figura 1.6. se muestra la situación de estas zonas dentro de la sección transversal A continuación se definen las características de estas zonas:

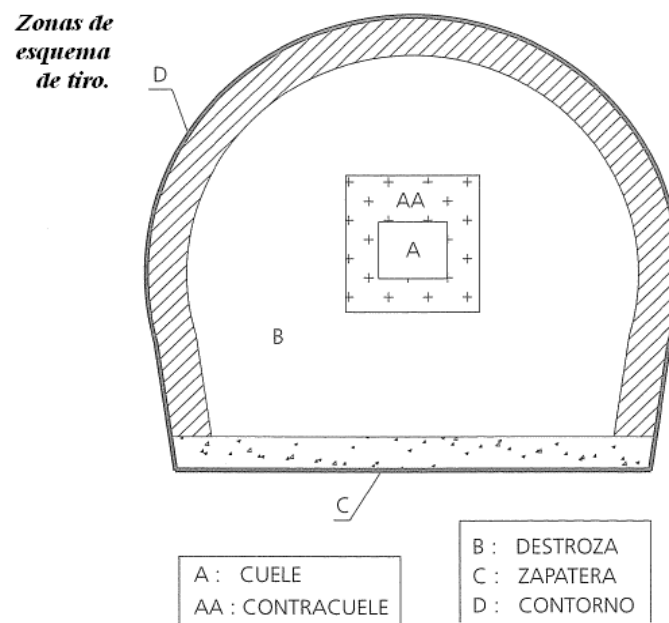


Figura 1.6

b.1. Cuele.- El cuele es la fase de la voladura que se dispara en primer lugar. Su finalidad es crear una primera abertura en la roca que ofrezca al resto de las fases una superficie libre hacia la que pueda escapar la roca, con lo cual se posibilita y facilita su arranque. El cuele es sin duda la más importante de todas las fases de la voladura de un túnel en relación con el avance de la voladura.

Existen diferentes tipos de Cueles (ver figura 1.7). El cuele más usado por su simplicidad es el cuele paralelo. Consiste en un taladro vacío (barreno de expansión), sin explosivos, de mayor diámetro que el resto (75 a 102 mm) y, a su alrededor, tres

o cuatro secciones de taladros cargados que explotan sucesivamente siguiendo una secuencia preestablecida. La misión del barrenado de expansión es la de ofrecer una superficie libre que evite el confinamiento de la roca de modo que facilite su arranque. Su diámetro varía entre 100 y 300 milímetros.¹⁵

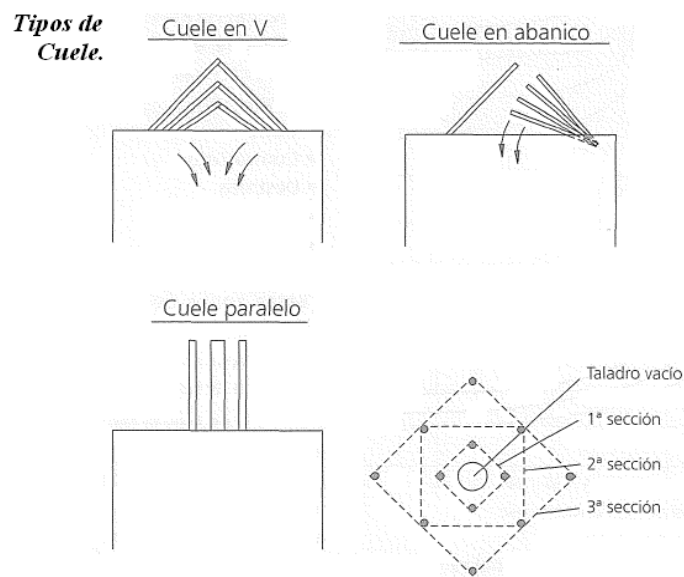


Figura 1.7

b.2. Destroza.- La destroza es la parte central y más amplia de la voladura, cuya eficacia depende fundamentalmente del éxito de la zona del cuele y contracuele, que es la zona crítica de la voladura.

b.3. Zapateras - La zapatera es la zona de la voladura situada en la base del frente, a ras de suelo. Los taladros extremos suelen ir un poco abiertos “pinchados” hacia afuera con objeto de dejar sitio suficiente para la perforación del siguiente avance. Los barrenos de las zapateras son los que más carga explosiva contienen ya que,

¹⁵ Cfr. GEOCONSULT ESPAÑA, “Manual de túneles interurbanos de carretera”, pág. 83, España 1996

aparte de romper la roca han de levantar ésta hacia arriba. Para evitar repiés, van ligeramente "pinchados" hacia abajo y son disparados en último lugar.

b.4. Contorno.- Los taladros perimetrales o de contorno son importantes pues de ellos dependerá la forma perimetral de la excavación resultante. Lo ideal es que la forma real del perímetro del túnel sea lo más parecida posible a la teórica, aunque las irregularidades y discontinuidades de la roca dificultan dicho objetivo.

Existen dos técnicas de efectuar los tiros perimetrales: el recorte y el precorte. El recorte consiste en perforar un número importante de taladros paralelos al eje del túnel en el contorno, a la distancia conveniente (entre 45 cm. y 100 cm.) y con una concentración de explosivo pequeña o incluso nula. En la secuencia de encendido son los últimos barrenos en detonar. La técnica del recorte es la más ampliamente empleada.

En la técnica del precorte se perfora un mayor número de taladros perimetrales y paralelos entre sí unas distancias entre 25 cm. y 50 cm., con una concentración de carga explosiva entre 0,1 y 0,3 kg./m. Esta técnica exige una perforación muy precisa que asegure un buen paralelismo y una homogénea separación entre los taladros. La carga explosiva, además de una adecuada concentración, debe distribuirse uniformemente a lo largo del barreno. El tipo de explosivo debe ser especial para precorte.¹⁶

c. Maquinaria de Perforación

La perforación de los taladros se puede hacer por dos procedimientos: el primero es mediante el uso de martillos manuales accionados por aire comprimido, y el segundo es mediante martillos hidráulicos montados sobre una maquina automóvil denominada jumbo.

¹⁶ Cfr. GEOCONSULT ESPAÑA, "Manual de túneles interurbanos de carretera", pág. 84, España 1996

*Esquema de
un martillo
manual.*

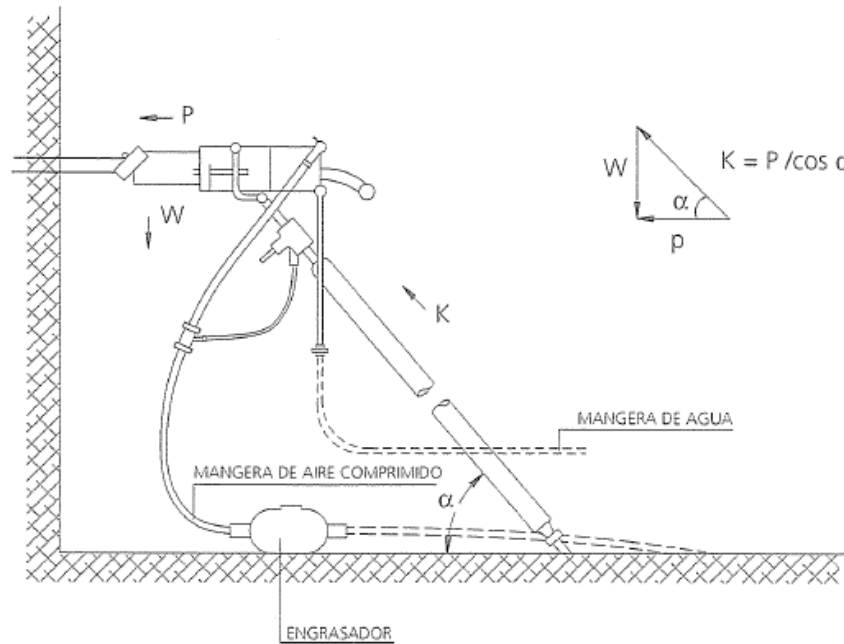


Figura 1.8

c.1) Martillos manuales.- Los martillos manuales de aire comprimido funcionan a percusión, es decir, la barrena golpea contra la roca y gira de forma discontinua entre cada percusión, separándose del fondo del taladro. El detritus es arrastrado hasta el exterior del taladro mediante agua, que tiene también la finalidad de refrigerar la barrena. Los martillos manuales son actualmente de uso infrecuente, sólo se usan, obviamente, en túneles muy pequeños o de forma accidental, pues tienen rendimientos muy inferiores a los jumbos y requieren mucha mano de obra.

c.2) Jumbo.- La máquina habitual de perforación es el jumbo (véase figura 1.9). Consta de una carrocería automóvil dotada de dos o tres brazos articulados, según los modelos. En cada brazo puede montarse un martillo de perforación (perforadora) o una cesta donde pueden alojarse uno o dos operarios y que permite el acceso a cualquier parte del frente. El funcionamiento de los jumbos es eléctrico cuando están estacionados en situación de trabajo y pueden disponer también de un motor Diesel para el desplazamiento.

*Esquema de
un jumbo.*

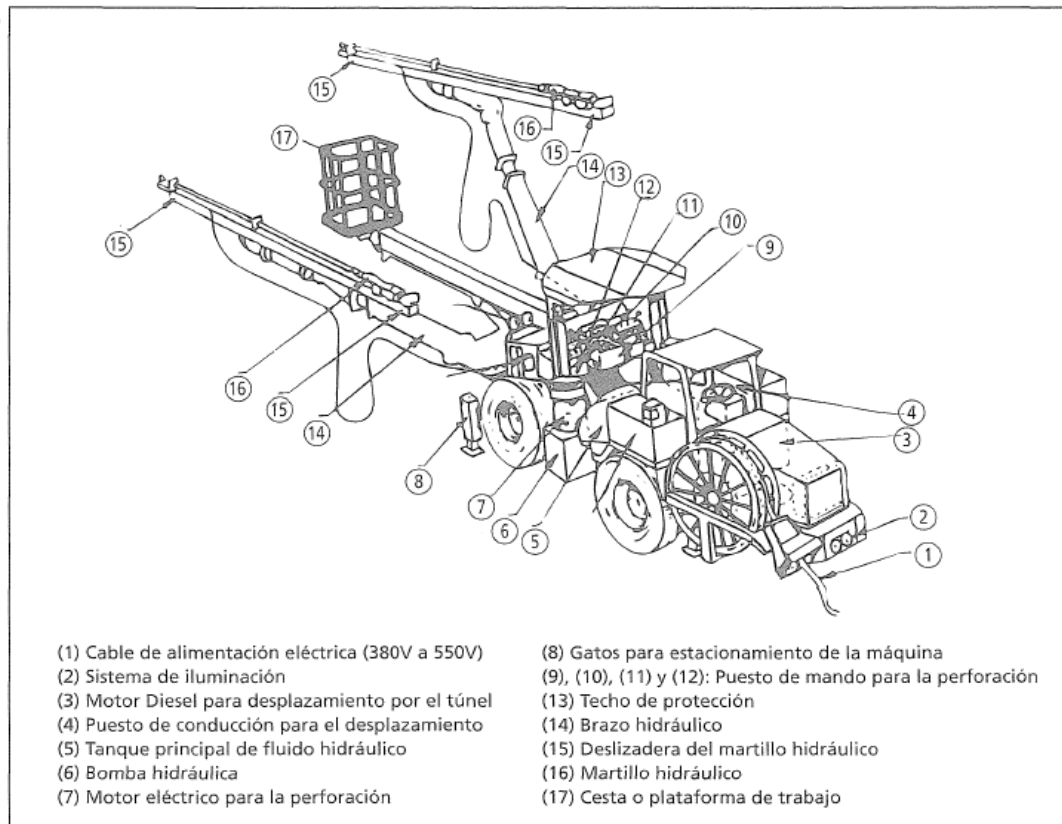


Figura 1.9

Los martillos funcionan a rotopercusión, es decir, la barrena gira continuamente ejerciendo simultáneamente un impacto sobre el fondo del taladro. El accionamiento es hidráulico, con lo que se consiguen potencias mucho más elevadas que con el sistema neumático. El arrastre del detritus y la refrigeración se consiguen igualmente con agua. Los rendimientos de perforación que se consiguen en los jumbos hidráulicos modernos, pueden superar los 3,5 m/min. de velocidad instantánea de perforación.¹⁷

Los jumbos actuales tienen sistemas electrónicos para controlar la dirección de los taladros, el impacto y la velocidad de rotación de los martillos e incluso pueden memorizar el esquema de tiro y perforar todos los taladros automáticamente. En este

¹⁷ Cfr. GEOCONSULT ESPAÑA, “Manual de túneles interurbanos de carretera”, pág. 85, España 1996

caso un único maquinista puede perforar una pega completa en unas pocas horas. En la tabla 1.1 se indican las marcas y modelos de jumbos más conocidos actualmente en el mercado.

MARCAS PRINCIPALES DE JUMBOS	
MARCA - COMPAÑÍA	PAÍS
<i>Andersens Mek Verksted AS</i>	<i>Noruega</i>
<i>Atlas Copco Rocktech Division</i>	<i>Suecia</i>
<i>Boart UK Ltd</i>	<i>Reino Unido</i>
<i>BPI (Böhler)</i>	<i>Austria</i>
<i>Cannon Industries Inc</i>	<i>USA</i>
<i>Furukawa Rock Drill Sales Ltd</i>	<i>Japón</i>
<i>Gardner-Denver Mining & Construction</i>	<i>USA</i>
<i>Interroc GmbH</i>	<i>Alemania</i>
<i>Montabert SA</i>	<i>Francia</i>
<i>Secoma</i>	<i>Francia</i>
<i>Tamrock Underground</i>	<i>Finlandia</i>

Tabla 1.1

c.3) Accesorios de perforación.- Los accesorios de perforación comúnmente usados son las varillas o barrenas y las bocas de perforación. Además se emplean manguitos y otros adaptadores para el ensamblaje de las piezas.

Las barrenas de perforación son simplemente barras de acero con un conducto interior para el paso del agua de refrigeración y unas roscas en los extremos donde se acoplan las bocas o los manguitos. La boca de perforación es la herramienta de corte, que generalmente es de metal endurecido carburo de tungsteno) o widia, dispuesto en formas diversas: en cruz, en X o botones (véase figura 1.10). Los diámetros habituales están comprendidos entre 45 y 102 milímetros.¹⁸ La elección de un tipo u otro de boca, así como de sus diámetros, depende del tipo de maquinaria de

¹⁸ Cfr. GEOCONSULT ESPAÑA, “Manual de túneles interurbanos de carretera”, pág. 86, España 1996

perforación, de las características de la roca y del diámetro de los cartuchos del explosivo a introducir.

Para la elección del material de perforación y sus accesorios se recomienda el uso de los manuales especializados facilitados por los fabricantes.

*Barrenas y
bocas de
perforación
(Cortesía de
Atlas Copco)*



Figura 1.10

d. Explosivos y Detonadores

El explosivo más utilizado para el cuele y contracuele, destroza y zapateras, es la GOMA-2 E-C o RIOMEA E20140; como carga de columna NAGOLITA, AMONITA 2-Y O EMUNEX 3000; cuando los barrenos dan agua deberá usarse el EMUNEX 6000-8000. Para los barrenos de contorno deberá usarse como carga de columna el RIOGUR F o cordón detonante de alto gramaje. El diámetro de los cartuchos deberá ser lo más próximo al diámetro de perforación de los taladros, compatible con su introducción dentro del barreno. La iniciación de la explosión en cada barreno se realiza en el cartucho cebo instalando en el fondo del barreno y que contiene un detonador.

*Cartuchos
explosivos
almacenados.*



Fig. 1.11

La iniciación de los detonadores puede ser eléctrica o por impacto; en el primer caso se utilizan detonadores eléctricos. Por razones de seguridad, contra corrientes parásitas, se utilizan exclusivamente detonadores de alta insensibilidad (AI). Una mayor seguridad ofrecen los detonadores de iniciación no eléctrica, tipo Nonel, cuyo uso sería especialmente aconsejable. Atendiendo a los tiempos de retardo, los detonadores pueden ser: instantáneos, de microretardo (retardo de 25 ó 30 mseg. entre números contiguos), o de retardo (retardo de 0,5 seg. entre números contiguos).

El resto de los elementos que se utilizan para la voladura son los siguientes:

d.1) Cañas.- Son tubos de PVC (tubos omega) abiertos longitudinalmente en cuyo interior se colocan los explosivos, cordón detonante, etc. Permiten introducir fácilmente todos los elementos en su disposición correcta dentro del taladro.

d.2) Retacador.- El retacador es el material que cierra o tapona el taladro y de este modo impide que la energía debida a la explosión se escape por la boca del mismo. Normalmente se usan unos cartuchos de arcilla muy plástica.¹⁹

¹⁹ Cfr. GEOCONSULT ESPAÑA, “Manual de túneles interurbanos de carretera”, pág. 87, España 1996

d.3) Explosor.- Es el mecanismo que produce la corriente eléctrica que da lugar a la explosión. Suelen estar basados en un condensador que se va cargando con una manivela o una batería y que cierra el circuito manual o automáticamente.

d.4) Cables.- Los cables eléctricos que transmiten la corriente desde el explosor hasta los detonadores son los usados habitualmente en trabajos eléctricos.²⁰

1.2.1.2. Excavación Mecánica

En el sistema de excavación mecánica, la energía utilizada se concentra en la punta del útil o útiles de la máquina en contacto con la roca, de modo que supera la resistencia de la roca a su penetración o indentación y la resistencia a tracción y cizallamiento. Generalmente, la energía inicial es suministrada por motores eléctricos que, mediante un circuito hidráulico, la transmiten a las herramientas de corte en contacto con la roca.²¹

Los sistemas de excavación mecánica son fundamentalmente tres:

a. Rozadora

La rozadora es una máquina excavadora de ataque puntual que consta de un brazo articulado desplazable, a fin de que pueda acceder a todos los puntos del frente de excavación, y que lleva en su extremo un cabezal provisto de las herramientas de corte o "picas" de fricción que junto con el empuje de los cilindros hidráulicos del brazo y las fuerzas de reacción de la máquina inciden sobre la roca y arrancan pequeños fragmentos de ésta. El material rocoso excavado se desprende en forma de lascas o chips de roca. Completan la rozadora un sistema de recogida y transporte del escombros y un chasis automotor sobre orugas (figura 1.12).

²⁰ Cfr. GEOCONSULT ESPAÑA, "Manual de túneles interurbanos de carretera", pág. 88, España 1996

²¹ Ibid, pág. 92

*Rozadora
(cortesía Alpine).*



Figura 1.12

Existen dos sistemas distintos de corte en las rozadoras actuales: el ripping de cabezal frontal y el milling de cabezal radial (véase la figura 1.13). En el ripping la cabeza gira en torno a un eje que es perpendicular al eje del túnel, tratándose en realidad de dos cabezas simétricas. Las picas golpean frontalmente a la roca. En el milling la cabeza gira en torno a un eje longitudinal, paralelo al eje del túnel. Las picas van dispuestas en forma helicoidal y golpean a la roca de forma lateral. Ambos sistemas proporcionan resultados similares, por lo que no se puede considerar que uno sea mejor que el otro.²²

Las picas son de dimensiones y formas distintas según los usos (figura 1.14). Cada fabricante proporciona unos criterios de uso de sus picas, que también han de comprobarse sobre el terreno hasta elegir el tipo más adecuado.

²² Cfr. GEOCONSULT ESPAÑA, “Manual de túneles interurbanos de carretera”, pág. 94, España 1996

*Sistema
de Corte.*

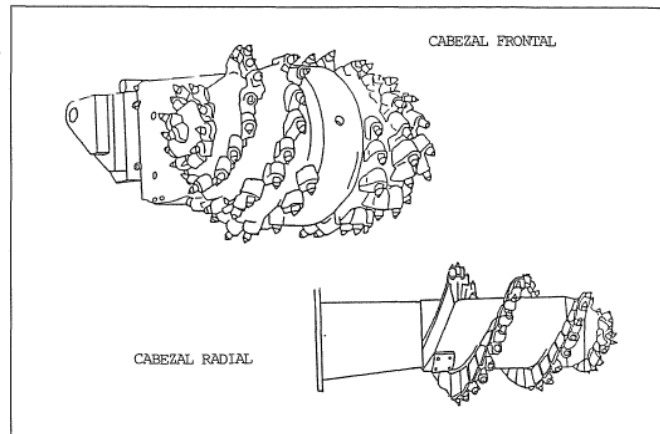


Figura 1.13

*Picas de
fricción
(Cortesía
Kennametal)*

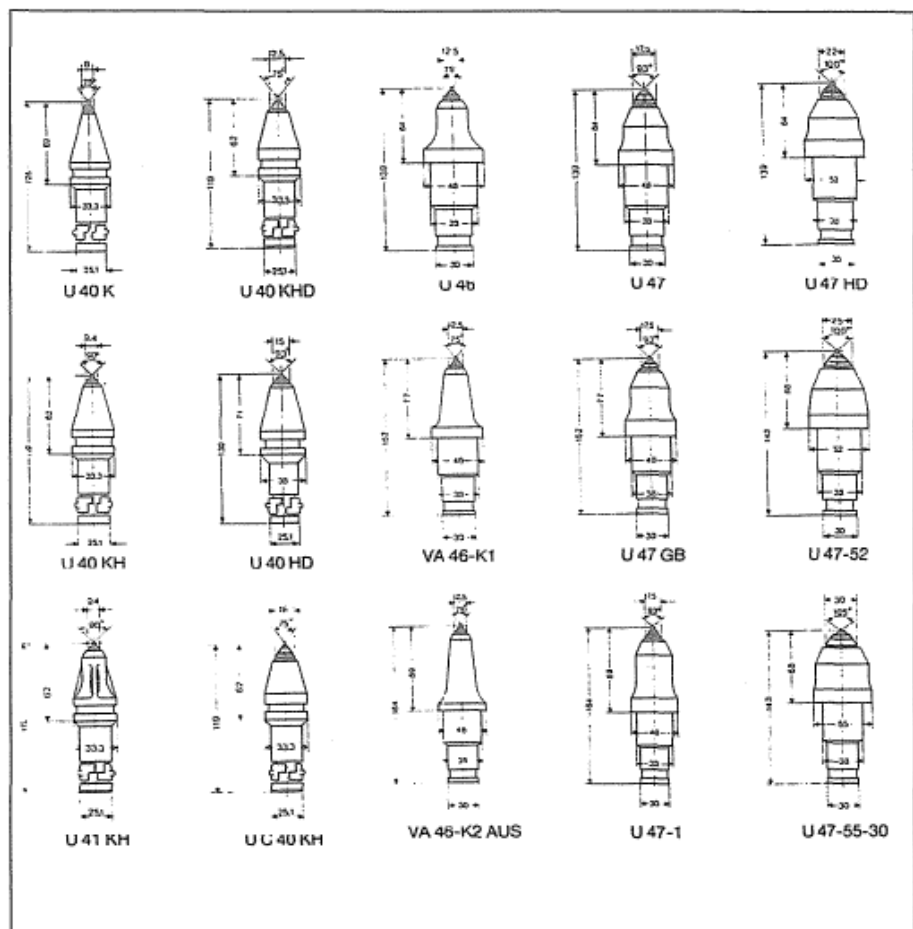


Figura 1.14

Las rozadoras se clasifican por su peso, dado que la fuerza que ejerce la cabeza contra la roca es contrarrestada únicamente por el peso de la máquina. De este modo, a mayor peso mayor será la capacidad de la rozadora para excavar rocas más resistentes, y por tanto irá dotada de mayor potencia de corte. En la tabla 1.2 se expone una clasificación de rozadoras en cuatro grupos según su peso y potencia. Los principales fabricantes mundiales de rozadoras se relacionan en la tabla 1.3 ²³

CLASIFICACIÓN DE ROZADORAS			
TIPOS	PESO (t)	POTENCIA DE CORTE (kW)	RESISTENCIA MÁXIMA DE LA ROCA (kp/cm ²)
<i>Ligeras</i>	< 20	< 50	300
<i>Medias</i>	20-40	< 110	800
<i>Pesadas</i>	40-60	< 220	1000
<i>Muy pesadas</i>	> 60-80	200-300	1200

Tabla 1.2

PRINCIPALES FABRICANTES DE ROZADORAS			
COMPAÑÍA	PAÍS	COMPAÑÍA	PAÍS
<i>AC-Eickhoff GmbH</i>	<i>Alemania</i>	<i>Herrenknecht GmbH</i>	<i>Alemania</i>
<i>Alpine Equipment Corp</i>	<i>USA</i>	<i>Markham & Co Ltd</i>	<i>Reino Unido</i>
<i>Anderson Group</i>	<i>Reino Unido</i>	<i>MSG Maschinen-Service GmbH (Salzgitter)</i>	<i>Alemania</i>
<i>CSM Bessac</i>	<i>Francia</i>	<i>Paumat GmbH</i>	<i>Alemania</i>
<i>Decon Engineering</i>	<i>Reino Unido</i>	<i>Vöest-Alpine Bergtechnik GmbH</i>	<i>Austria</i>
<i>Denys Company</i>	<i>Bélgica</i>	<i>Webster Machine Company Ltd</i>	<i>Reino Unido</i>
<i>The Dosco Corporation</i>	<i>USA</i>	<i>Westfalia Becorit Industrietechnik</i>	<i>Alemania</i>
<i>Eimco (GB) Ltd</i>	<i>Reino Unido</i>		

Tabla 1.3

²³ Cfr. GEOCONSULT ESPAÑA, “Manual de túneles interurbanos de carretera”, pág. 95, España 1996

b. Tuneladoras, Topo o TMB (Tunnel Boring Machine)

Las máquinas topo, tuneladoras o TBM (Tunnel Boring Machine) son máquinas integrales de construcción de túneles, por cuanto son capaces por sí solas de excavar la roca, retirar el escombrego y aplicar el revestimiento del túnel. La máquina va avanzando dejando detrás de sí el túnel terminado.

*Esquema de
máquina topo
(Cortesía Atlas
Copco)*



Figura 1.15

En la figura 1.16 se observa el esquema de un topo. Se produce la excavación de la roca a plena sección, generalmente de forma circular. La energía mecánica es generada mediante motores eléctricos y transmitida a la cabeza giratoria de la máquina en forma de un par de rotación, a través de circuitos hidráulicos.

*Esquema de
máquina topo
(Cortesía WIRTH)*

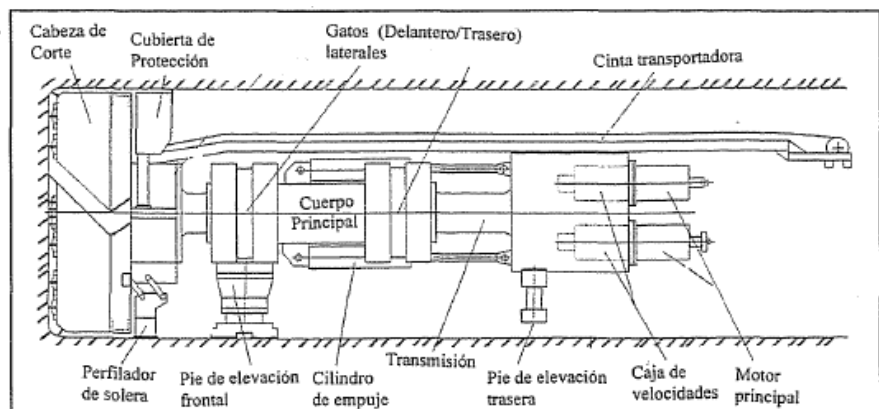


Figura 1.16

Este par de rotación, junto con el empuje proporcionado por unos cilindros hidráulicos a la cabeza de la máquina contra el frente de excavación, aportan la energía mecánica a las herramientas de corte "discos", que la transmiten a la roca a través de la superficie de contacto de los mismos.

El nivel de la energía liberada es capaz de producir, en primer lugar la penetración o indentación de los cortadores de disco y, en segundo lugar, el quebrantamiento por tracción y cizallamiento de la roca entre las series de cortadores concéntricos dispuestos en la cabeza de la máquina. La excavación de la roca se produce en forma de lascas o chips de roca de un tamaño superior al producido con rozadoras. El escombros se carga automáticamente en el frente y se conduce hacia atrás mediante una cinta transportadora, que lo deposita en unas vagones para su traslado al exterior.²⁴

En la tabla 1.4 se han resumido los principales fabricantes de topes del Mundo.

PRINCIPALES FABRICANTES DE MÁQUINAS TOPO			
FABRICANTE	PAÍS	FABRICANTE	PAÍS
<i>Akkerman Manufacturing Inc</i>	<i>USA</i>	<i>Iseki Group</i>	<i>Japón</i>
<i>Atlas Copco</i>	<i>Suecia</i>	<i>Ishikawajima-Harima Heavy Industries</i>	<i>Japón</i>
<i>Borettec Inc</i>	<i>USA</i>	<i>Kawasaki Heavy Industries</i>	<i>Japón</i>
<i>Construction and Tunnelling Services Inc</i>	<i>USA</i>	<i>Komatsu Civil Construction Machinery Div</i>	<i>Japón</i>
<i>Carl C. Decker Inc</i>	<i>USA</i>	<i>Lovat Tunnel Equipment Ltd</i>	<i>Canada</i>
<i>Decon Engineering Company</i>	<i>Reino Unido</i>	<i>Markham & Co Ltd</i>	<i>Reino Unido</i>
<i>Dosco Corporation</i>	<i>USA</i>	<i>Mitsubishi Heavy Industries Ltd</i>	<i>Japón</i>
<i>Dosco Overseas Engineering Ltd</i>	<i>Reino Unido</i>	<i>Neyrpic Framatome Mécanique</i>	<i>Francia</i>
<i>FCB Group Fives-Lille</i>	<i>Francia</i>	<i>Okamura Corp</i>	<i>Japón</i>
<i>Herrenknecht GmbH</i>	<i>Alemania</i>	<i>Rasa Industries Ltd</i>	<i>Japón</i>
<i>Hitachi Construction Machinery Co Ltd</i>	<i>Japón</i>	<i>The Robbins Company</i>	<i>USA</i>
<i>Hitachi Zosen Corp</i>	<i>Japón</i>	<i>Strojexport</i>	<i>Rep. Checa</i>
<i>Howaldtswerke-Deutsche Werft AG</i>	<i>Alemania</i>	<i>Terratec Asia-Pacific Pty Ltd</i>	<i>Australia</i>
<i>Wytss & Freitag AG</i>	<i>Alemania</i>	<i>Wirth GmbH</i>	<i>Alemania</i>
<i>Westfalia Becorit Industrietechnik GmbH</i>	<i>Alemania</i>	<i>Vöest-Alpine Bergtechnik GmbH</i>	<i>Austria</i>
<i>James Howden & Co</i>	<i>Reino Unido</i>		

Tabla 1.4

²⁴ Cfr. GEOCONSULT ESPAÑA, "Manual de túneles interurbanos de carretera", pág. 93, España 1996

A pesar de que los topos nos alejan de los riesgos de explosivos estos cuentan con ciertas desventajas como es el costo del mantenimiento de las mismas. En el caso de las perforaciones submarinas se utilizan tres escudos adicionales a las maquinas y son escudo de caja, abierto y neumático y su utilización depende del relieve en que se construya.

En principio, en las máquinas fresadoras de galerías y túneles que perforan toda la sección de la roca, se distinguen:

- máquinas con cinces rodantes montados en la cabeza,
- máquinas con cabezales porta-cuchillas.

*Cabeza de una
Máquina
excavadora con
cinceles rodantes*



Figura 1.17

Para el sistema de cinces rodantes se aprieta con gran fuerza mediante la parte frontal de la máquina una serie de cinces contra la superficie de la roca de modo que las zonas de contacto estén sometidas a una expresión excesiva que sobrepase la

resistencia de la roca. Haciendo rodar los cinceles por encima de la superficie, se obtiene un proceso de cincelaje continuado. Ello exige una gran presión en el sentido del avance. El cincel rodante es más adecuado para el uso en rocas duras. Según el tipo de roca se puede elegir entre tres clases de cinceles: de botones, dentado o de platillo (fig. 1.17).

El sistema con cabezales porta-cuchillas trabaja con cinceles fresadores montados alrededor de discos rotatorios (fig. 1.18). Mientras que para el sistema con cinceles rodantes las principales fuerzas actúan en el sentido del avance; para el sistema con cabezales porta-cuchillas las principales fuerzas se necesitan en el sentido del momento de rotación.²⁵ Hasta ahora los dos métodos solamente se pueden emplear en roca dura hasta blanda (hasta una resistencia de 2000 y 2500 kg/cm²), siendo la porta-cuchilla los más apropiados para los tipos de roca menos duros.²⁶

*Cabeza de una
Máquina
fresadora con 4
portacuchillas*

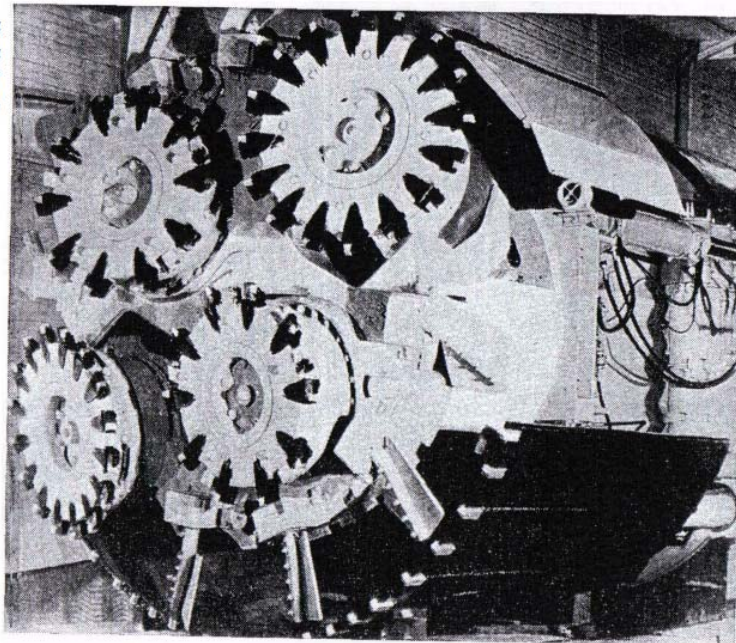


Figura 1.18

²⁵ Cfr. WENZEL Klaus, V.V. A.A., "Túneles y Obras Subterráneas", pág. 345, Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona 1972

²⁶ Ibid, pág. 347

c. Martillo Hidráulico

El martillo hidráulico es una máquina de ataque puntual; la energía se genera mediante motores eléctricos o diesel y se transmite a través de un circuito hidráulico, a la herramienta "puntero", situada en el extremo del brazo articulado de la máquina (retroexcavadora ordinaria de cadenas). Tiene una importante utilidad cuando se trata de excavar rocas blandas o fisuradas en las fases de destroza, donde compite ventajosamente con los otros métodos más potentes.

La roca es quebrantada mediante la energía de impacto generada, y el material rocoso excavado se desprende en forma de pequeños bloques o esquirlas.

En la fase de avance no debe emplearse, pues este sistema necesita al menos dos caras libres de salida de la roca para lograr un rendimiento adecuado. Las ventajas principales son el bajo coste, necesidad de pocos operarios, y una mayor producción, movilidad y flexibilidad.

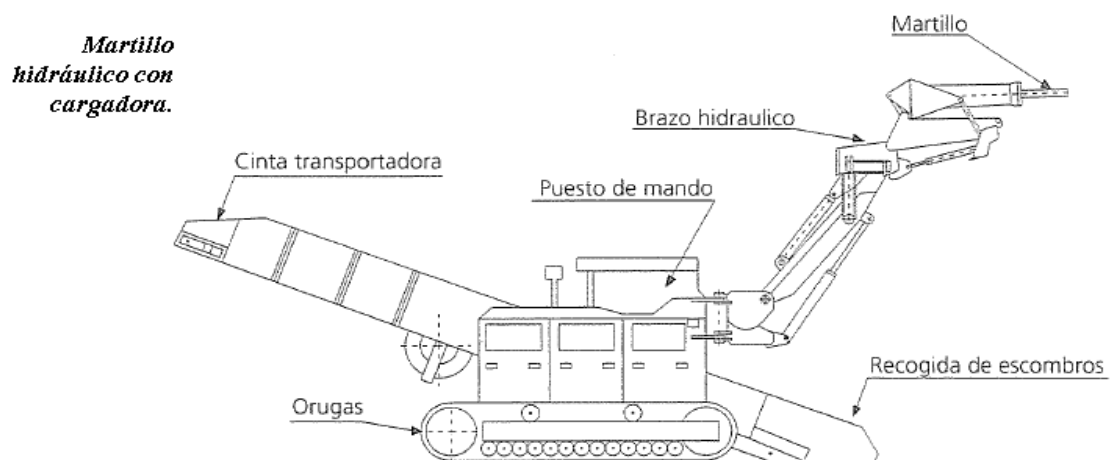


Figura 1.19

Hoy en día existen sistemas automáticos que ajustan la fuerza y la cadencia de los golpes en función de la resistencia que presenta el terreno, con lo que se consiguen rendimientos muy elevados. También se montan martillos sobre excavadoras-cargadoras provistas de un sistema de evacuación de escombros (fig. 1.19). Puede

usarse un cazo, como elemento excavador alternativo al martillo para rocas muy blandas u otro tipo de suelos.²⁷

c.1) *Elementos de Corte*

En la excavación mecánica se utiliza distintas herramientas o útiles de corte, que son los elementos que impactan sobre la roca y arrancan de ella pequeños fragmentos. Algunos de los útiles de corte pueden verse en esquema en la figura 1.20:²⁸

Picas de fricción (o de desgaste), Cortadoras de disco, Cortadoras de ruedas dentadas, Cortadora de botones, Impactadores, Cortadores vibrantes.

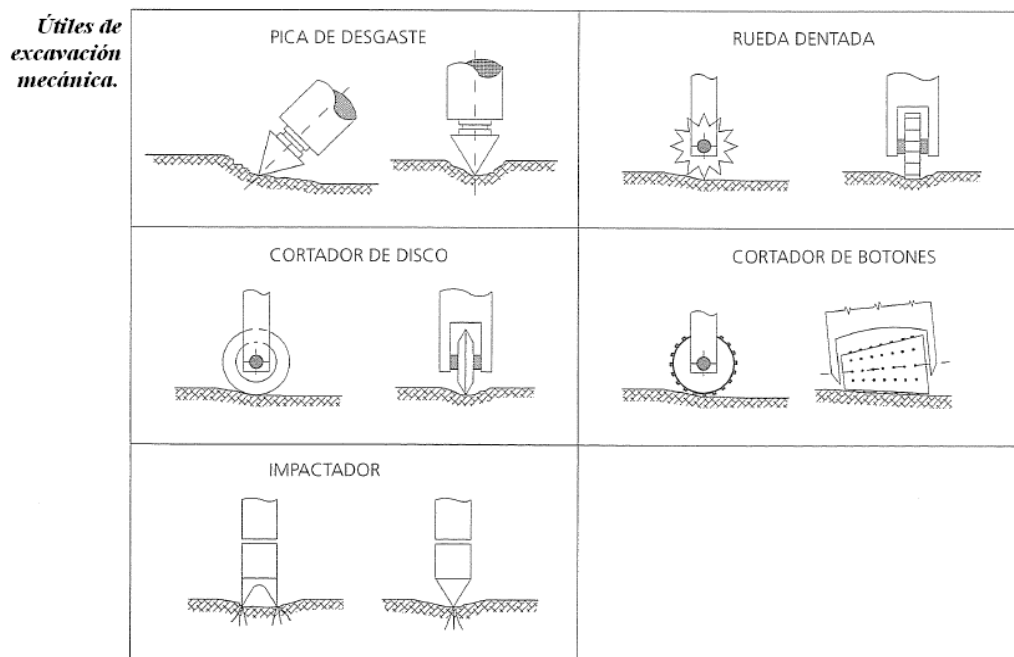


Figura 1.20

Las picas de fricción son el elemento de corte utilizado por las rozadoras y por algunas tuneladoras de terrenos blandos. Básicamente constan de un inserto de metal

²⁷ Cfr. GEOCONSULT ESPAÑA, “Manual de túneles interurbanos de carretera”, pág. 96, España 1996

²⁸ Ibid, pág. 92

duro (Widia) dentro de una matriz de acero de alta dureza y tenacidad (figura 1.21). El campo óptimo de utilización de las picas está dentro de las rocas que no superan los 800 I<p/cm² de resistencia a compresión, o menor si es muy abrasiva.

Para rocas de mayores resistencias, entre los 800 y los 2200 I<p/cm, el elemento de corte adecuado es el cortador de disco, que es el que habitualmente utilizan las tuneladoras o topos. Para resistencias aún mayores se emplean los cortadores de botones, pero no es frecuente utilizar excavación mecánica en tales casos. El cortador de disco consiste en una base de metal duro en forma de disco con uno o varios filos recambiables de acero endurecido y montado sobre un soporte de rodamientos (figura 1.21).²⁹

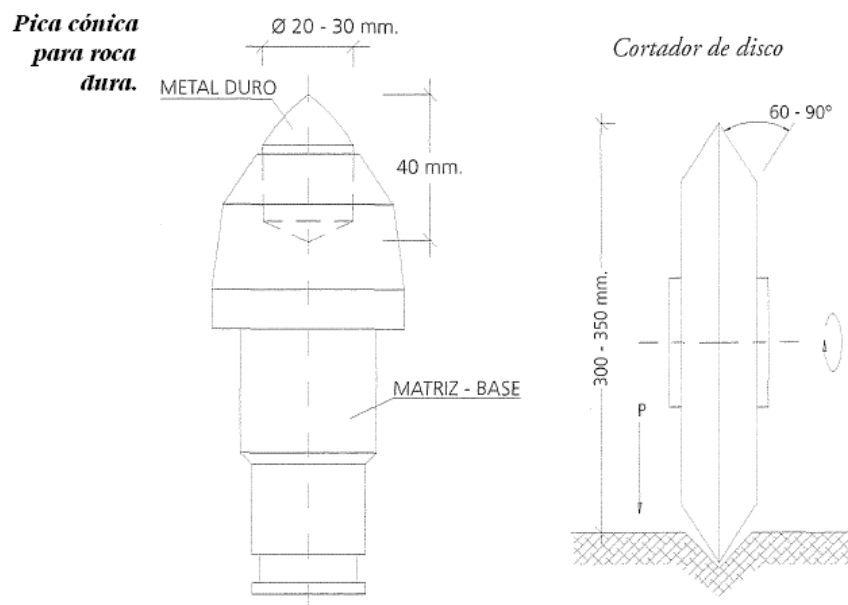


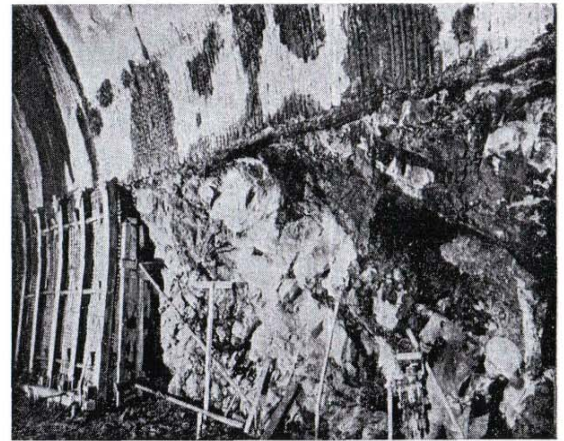
Figura 1.21

c.2) Métodos de Excavación

Entre los importantes métodos de excavación mecánica encontramos 2: El Método Belga y el Método Alemán, a continuación una breve descripción de éstos:

²⁹ Cfr. GEOCONSULT ESPAÑA, "Manual de túneles interurbanos de carretera", pág. 93, España 1996

*La bóveda
revestida queda
apoyada por el
hormigón
(encofrado a la
izquierda) del
paramento
inferior o por la
roca todavía no
excavada.*



Para este procedimiento, en primer lugar se ensancha la calota (bóveda) superior a partir de una galería hacia ambos lados avanzando en franjas (2-5). A continuación se va revistiendo la bóveda (6). Después se excava la parte inferior del túnel y para ello se emplean distintos métodos o como indica el esquema; después del hormigonado de la bóveda se hace saltar el núcleo central (7) a excepción de franjas de roca laterales (8 y 10) que sirven de soporte para la bóveda. La figura 1 muestra como la bóveda queda siempre apoyada o sobre el revestimiento lateral ya colocado o sobre la franja de roca restante. Con el otro método se abren primeramente franjas laterales que llegan desde dos galerías de fondo de la caverna hasta el borde inferior de la bóveda ya hormigonada. Las aberturas son previstas inmediatamente de un revestimiento de hormigón que se ajusta al borde inferior de la bóveda. Con la

protección así prestada por el revestimiento terminado, al final se hace saltar el bloque del núcleo central.³⁰

c.2.2) Método Alemán.- Otro método es el llamado “método alemán” (figura 1.23) en el cual se comienza en principio con la excavación de las franjas laterales siguiendo con la excavación de la calota superior.

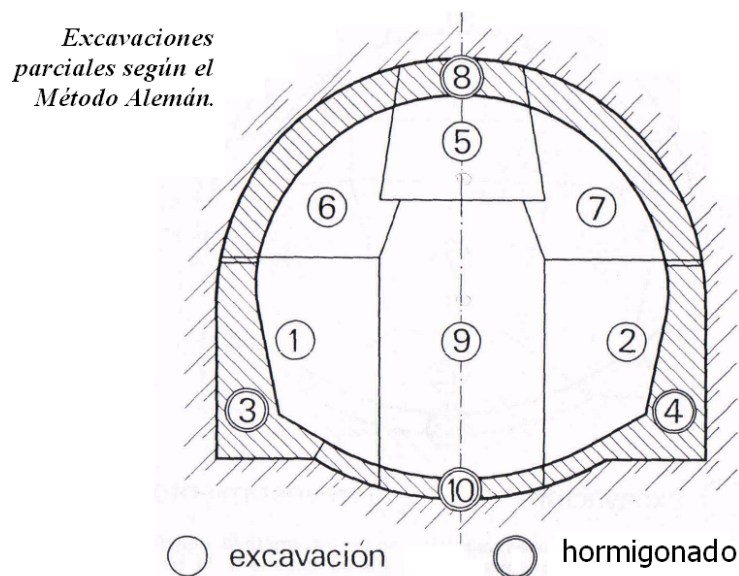


Figura 1.23

Si en casos de bóvedas de gran luz existe el peligro de que la roca de las paredes laterales durante la excavación no pueda absorber las fuerzas verticales de la bóveda, ésta se apoya sobre una viga longitudinal de hormigón en el nivel de arranque de la bóveda (figura 1.25). La viga es sostenida por pernos pos tensados introducidos en la roca. Después del hormigonado de la bóveda se empieza con la excavación de la parte inferior del túnel por uno de los métodos descritos.³¹

³⁰ Cfr. WENZEL Klaus, “Túneles y Obras Subterráneas”, pág. 338, Editores Técnicos Asociados S.A., Cfr. Barcelona 1972, Colaboradores de Wikipedia. “Túnel”. Internet. <http://es.wikipedia.org/wiki/T%C3%BAnel>. Acceso: octubre 2009.

³¹ Cfr. WENZEL Klaus, V.V.A.A., “Túneles y Obras Subterráneas”, pág. 341, Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona 1972

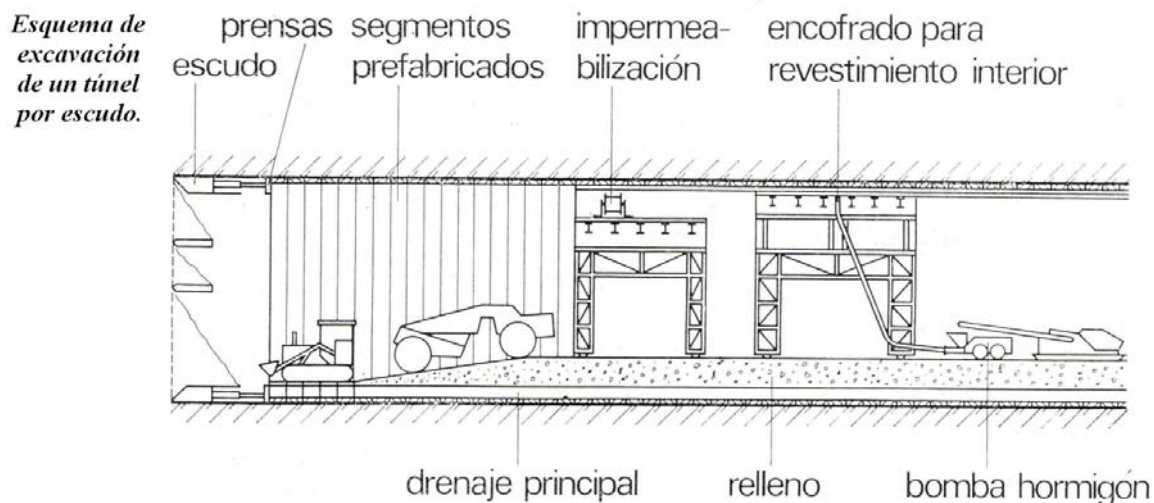


Figura 1.25

1.2.1.3. Excavación Manual

Derivado de la minería clásica del carbón de las cuencas asturianas, la excavación por medios manuales ha sido y será siempre el método más básico, peligroso y comúnmente utilizado en obras subterráneas. Desde las obras civiles de la antigüedad hasta los tiempos contemporáneos muchos ingenieros civiles y constructores han puesto en práctica este método debido en gran parte a limitaciones económicas y tecnológicas. Sin embargo este tipo de excavación resulta esencial para obras subterráneas en suelos mixtos o combinados donde la roca no sea preponderante y el tipo de suelo sea un limitante para las máquinas, de igual manera para obras civiles pequeñas o con espacio de trabajo reducido como por ejemplo: galerías de exploración, alcantarillado, etc. Donde el uso de maquinaria a gran escala se ve limitado o resulta nulo.

El sistema manual consiste en realizar la excavación (picar el suelo, triturar y retirar escombros) por medios manuales con herramienta menor, sin embargo en los tiempos modernos el desarrollo de este método cuenta con el apoyo, muy necesario, de máquinas que facilitan las labores de excavación, por ejemplo: martillo eléctrico, compresor, pie de avance, carretas para escombros, tractor y/o banda transportadora, retroexcavadora, etc. Sin embargo, a pesar de la colaboración mecánica y la

tecnología utilizada, sigue siendo el ser humano el mayor motor y el principal gestor del trabajo subterráneo.³²

Dentro de la excavación manual encontramos algunos métodos convencionales de excavación como son:

a. Método Cut-and-cover

El método **Cut and cover**, que significaría "Corta y cubre" en español, es un método de construcción para túneles superficiales donde se excava una trinchera o zanja y se cubre una vez terminada. Requiere un sistema de sostenimiento fuerte para soportar las cargas del material que cubre el túnel. Existen dos formas de realizar el cut-and-cover:

- Método *Bottom-up*: Una zanja es excavada apoyada en el terreno circundante y el túnel es construido dentro. El túnel puede ser de hormigón in situ, hormigón pretensado, arcos pretensados, arcos con acero corrugado y también con ladrillo, que se solía usar al principio.
- Método *Top-down*: En este método las paredes laterales de apoyo y las vigas niveladas se construyen a nivel de suelo, usando muros pantalla, pantalla de pilotes o cualquier otro método. Se realiza una excavación superficial para colocar las vigas del techo del túnel y después se vuelve a colocar el terreno encima, los servicios y las vías necesarias. Las máquinas excavan el acceso y van retirando el material que ha quedado entre las pantallas y el techo. Finalmente se construye la base del túnel.

b. Método Austriaco

El nuevo método austriaco fue desarrollado en los años 1960. La excavación se realiza en dos fases, primero se realiza la excavación superior y después se retira el

³² Cfr. "La Minería Subterránea". Internet. <http://www.monografias.com/trabajos72/mineria-subterranea/mineria-subterranea2.shtml> Acceso: Noviembre 2009

terreno que quede debajo hasta la cota del túnel. El método se basa en usar la tensión geológica del macizo rocoso circundante para que el túnel se estabilice a sí mismo mediante el efecto arco. Para conseguirlo nos basamos en medidas geotécnicas para trazar una sección óptima. La excavación es inmediatamente protegida con una delgada capa de hormigón proyectado. Esto crea un anillo de descarga natural que minimiza la deformación de la roca (o en sí de los estratos).

Debido al control exhaustivo el método es muy flexible, incluso en condiciones geomecánicas desconocidas de consistencia de la roca durante el trabajo de tunelación. Las mediciones de las propiedades de la roca nos informan de las herramientas apropiadas. En las últimas décadas las excavaciones mayores de 10 km en suelo blando se han convertido en usuales. Uno de los casos más conocidos, corresponden a la construcción de la Línea 4 y la Extensión de las Líneas 1, 2 y 5 del Metro de Santiago.

c. Método Empuje de tubos

En inglés el llamado método *Pipe jacking*. El método consiste en empujar el tubo mediante gatos hidráulicos hacia el terreno. Se usa cuando existen estructuras por encima que no se quieren dañar como vías de tren o carreteras.

d. Método de Tecnología sin zanja

Las tecnologías sin zanja (del inglés Trenchless technology) se basan en una serie de métodos que permiten la instalación o reparación de tuberías de pequeño diámetro (menores a 3 metros) sin la excavación de una zanja. El objetivo primordial es evitar molestias a los ciudadanos y reducir el impacto al terreno. Como principal inconveniente está el elevado coste al ser una tecnología muy costosa.

Con estos métodos convencionales se excavan **galerías** inclinadas con un grado de inclinación de hasta el 80%. Inclinaciones superiores no son aconsejables puesto que

los obreros experimentan una sensación de inseguridad y realmente les falta un apoyo fijo bajo los pies y bajo los carretones de las perforadoras.

e. *Método Alimak*

Se debe mencionar el método Alimak para el avance en galerías inclinadas o túneles de dimensiones pequeñas (ver figura 1.25). No se trata de un método de excavación propiamente mecanizado, pero, sin embargo, se sirve de dispositivos mecánicos que facilitan considerablemente la excavación convencional. Se adapta a toda clase de roca que sea temporalmente estable. La excavación se efectúa de abajo hacia arriba. La sección en general no puede sobrepasar 2x2 m. Las secciones mayores se ensanchan de arriba hacia abajo. Una jaula para los mineros y una plataforma de trabajo; en donde se coloca una barra de guía fijada a la roca por medio de pernos de anclaje. En la barra de guía se encuentran las conducciones para aire y agua y, dado el caso, los cables eléctricos.

Después de la subida de los mineros por medio de la jaula hasta el frente de ataque, los mineros proceden a la perforación de la roca desde la plataforma y cargan los barrenos con cartuchos. A continuación tanto la jaula como la plataforma, se retiran a la galería horizontal, precediéndose acto seguido a la voladura. Después de airear y regar minuciosamente el boquete provocado por la explosión, los mineros suben de nuevo arriba y prolongan la barra de guía en el nuevo sector de excavación.³³

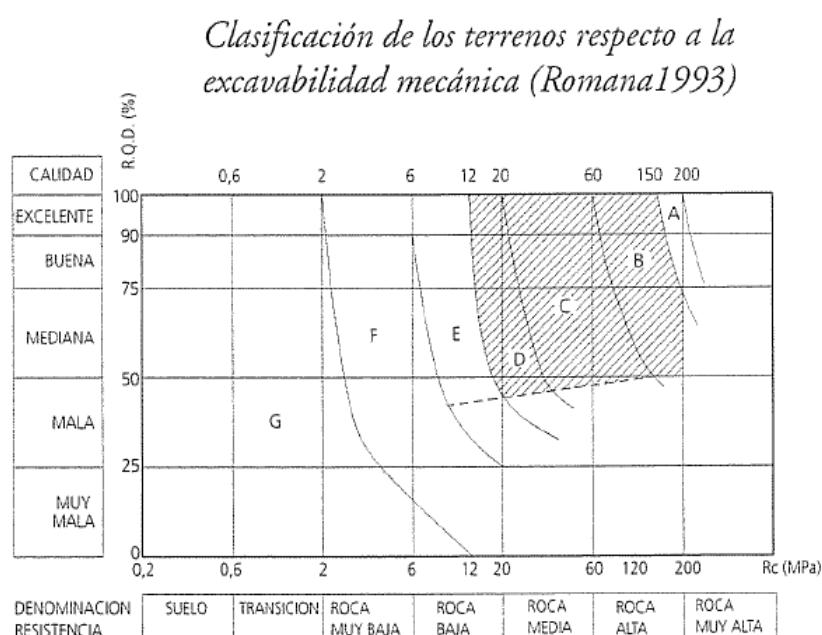
1.2.1.4. *Elección del Sistema de Excavación*

Para elegir el sistema de excavación a emplear en un determinado túnel se manejan varios criterios, algunos de índole técnica y otros económica. A continuación se muestran los aspectos que se tienen en cuenta en cada uno de ellos. Por supuesto, cada caso concreto puede tener condicionantes de otro tipo que obliguen a una determinada solución.

³³ Cfr. Colaboradores de Wikipedia. "Túnel". Internet. <http://es.wikipedia.org/wiki/T%C3%BAnel>. Acceso: octubre 2009.

a. Resistencia del Terreno

Cuando la roca tiene una alta resistencia es obligado emplear la excavación mediante explosivos, mientras que si la resistencia es media o baja pueden emplearse indistintamente la voladura o la excavación mecánica. La tabla 1.5 muestra un criterio generalmente aceptado de excavabilidad mecánica de las rocas en función de su Resistencia a Compresión Simple y de su RQD³⁴



ZONA	T O P O		R O Z A D O R A			MARTILLO	PALA
	> 25 t	< 25 t	> 80 t	50-80 t	< 50 t		
A	Possible ?						
B	Adecuado	Possible ?	Possible ?				
C	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado			
D	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Possible ?	
E	Possible	Possible	Possible	Adecuado	Adecuado	Possible	Possible ?
F				Possible	Adecuado	Adecuado	Possible
G					Possible	Possible ?	Adecuado

Tabla 1.5

³⁴ Cfr. GEOCONSULT ESPAÑA, “Manual de túneles interurbanos de carretera”, pág. 97, España 1996

b. Abrasividad de la Roca

Una alta abrasividad de la roca hace inviable la excavación mecánica, principalmente con rozadora. La tabla 1.6 muestra las condiciones de la excavación mecánica en función del Contenido Equivalente de Cuarzo (CEC) de la roca. El CEC se obtiene a partir de la composición mineralógica de la roca y aplicando a cada mineral el factor que figura en tabla 1.7 Existen ensayos de laboratorio, como el ensayo Cerchar, que determinan la abrasividad de una roca.

ESCALA DE ABRASIVIDAD	
CONTENIDO EQUIVALENTE CUARZO	CONDICIONES DE EXCAVACIÓN MECÁNICA
< 40%	<i>Viable económicamente</i>
40 - 60%	<i>Posible, los costos crecen con el CEC</i>
60 - 80%	<i>Posible. Costos altos. Rendimientos reducidos</i>
> 80%	<i>Inviabile económicamente</i>

Tabla 1.6

FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CUARZO DE DIVERSOS MINERALES			
MINERAL	FACTOR	MINERAL	FACTOR
<i>Granate</i>	<i>1.86</i>	<i>Plagioclasas</i>	<i>0.33</i>
<i>Andalucita</i>	<i>1.59</i>	<i>Magnetita</i>	<i>0.31</i>
<i>Topacio</i>	<i>1.34</i>	<i>Aragonito</i>	<i>0.06</i>
<i>Casiterita</i>	<i>1.23</i>	<i>Calcita</i>	<i>0.05</i>
<i>Cuarzo</i>	<i>1.00</i>	<i>Fluorita</i>	<i>0.05</i>
<i>Olivino</i>	<i>0.72</i>	<i>Filosilicatos</i>	<i>0.04</i>
<i>Piroxenos</i>	<i>0.56</i>	<i>Micas</i>	<i>0.04</i>
<i>Pirita</i>	<i>0.50</i>	<i>Clorita</i>	<i>0.01</i>
<i>Feldespatos</i>	<i>0.35</i>	<i>Yeso</i>	<i>0.005</i>

Tabla 1.7

c. Forma y Dimensiones de la Sección

La sección tipo del túnel puede ser un condicionante debido a la maquinaria que se pueda o no utilizar, pues si dicha dimensión es muy pequeña, deberemos recurrir a la excavación manual o mediante martillos eléctricos, pero si las dimensiones son grandes se puede utilizar topos o rozadoras para el trabajo, son embargo el uso de una u otra maquinaria también depende de la sección por ejemplo los topos permiten únicamente perforar túneles de forma circular, por lo que en túneles que necesitan una base plana, se desaprovecha mucho espacio. Hoy en día ya se fabrican topos con varias cabezas que proporcionan secciones ovaladas, pero son relativamente caros y su uso está limitado a suelos o rocas blandas.³⁵

d. Costo de la Maquinaria

Los topos tienen un coste elevado de inversión inicial. Esta inversión resultará rentable para un determinado número de metros lineales de túnel perforado, lo que exigirá un proyecto con importantes longitudes de túneles que permitan la amortización del topo. Para secciones normales, existe un amplio mercado de topos de segunda mano que, convenientemente readaptados pueden ser utilizados en régimen de alquiler o compra con unos costes razonables.

e. Vibraciones

Los explosivos producen unas vibraciones que los hacen muy complicados de utilizar en zonas urbanas o próximas a edificios habitados o de interés. Incluso pueden existir problemas cuando la voladura se efectúa en la proximidad de vías de circulación en USO: carreteras, ferrocarriles, etc. En tales casos, normalmente se prefiere utilizar medios mecánicos de excavación por razones de seguridad con el fin de evitar posibles daños.³⁶

³⁵Cfr. GEOCONSULT ESPAÑA, “Manual de túneles interurbanos de carretera”, pág. 98, España 1996

³⁶ Ibid, pág. 99

1.2.2. Transporte y depósito del material excavado

En la construcción de galerías y túneles, el transporte del material excavado hacia el depósito plantea el problema de las ventajas y desventajas que ofrecen los trenes de vagonetas sobre rieles o los vehículos sobre neumáticos. Las ventajas del transporte sobre rieles son su gran eficiencia, la limpieza del suelo de la galería aún en suelos arcillosos y húmedos, el que no ensucian el aire con gases escape y por último, el pequeño gálibo que requieren. Sus desventajas son su sensibilidad para las pendientes y su modo de funcionamiento poco flexible, lo que hace que su aplicación en las obras subterráneas quede limitada a la construcción de galerías y túneles horizontales.³⁷

Las ventajas de los vehículos sobre neumáticos (tracks) son su adaptación al servicio, la posibilidad de subir rampas de fuerte inclinación y un empleo posterior más fácil de los vehículos en otras obras. Sus desventajas más importantes son la polución del aire con gases de escape, lo que puede ser decisivo para túneles largos y el que puede convertir el suelo de la excavación en polvo y barro.³⁸

1.2.3. Medidas de protección de la superficie excavada

La teoría introducida por el chileno Dr. Fenner y desarrollada por Talobre y Rabcewicz, muestra que no es un revestimiento de espesor grueso lo que trae la necesaria seguridad de estabilidad de la obra subterránea sino, por el contrario, «cascaras semi-elásticas». Bajo esta definición se entiende un relativamente delgado revestimiento de hormigón completamente cerrado alrededor del contorno excavado (aún para grandes cavernas basta un revestimiento de 15 a 20 cm). Una condición indispensable es que este revestimiento tenga contacto completo con la roca. Siempre que no se trate casi excepcionalmente de roca permanente estable (como el granito de

³⁷ Cfr. WENZEL Klaus, V.V.A.A., "Túneles y Obras Subterráneas", pág. 362, Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona 1972

³⁸ Ibid, pág. 363

las obras subterráneas) se necesitará una protección de la superficie lo antes posible después de la excavación.

La protección consiste en primer lugar en pernos puestos en la roca. Con el fin de retener las partes sueltas o quebradizas y para fijar la armadura delgada de la capa de hormigón lanzado neumáticamente más o menos inmediatamente después, de la excavación. Este primer revestimiento continuo de la obra excavada sirve como la cáscara ya mencionada. En lugar de la capa de hormigón proyectado con armadura se puede colocar segmentos prefabricados.³⁹

En cambio, los pernos pos tensados tienen la función de unir los estratos alrededor de la caverna con el fin de formar una bóveda natural. La inclinación no sigue a una estúpida distribución radial a la caverna, sino que es determinada por un nuevo procedimiento de cálculo en consideración de la estratificación del agrietamiento tectónico.⁴⁰

Excavación de una galería con entibación (cerchas y planchas metálicas) en roca quebradiza de gneis y esquisto.



Figura 1.26

³⁹ Cfr. WENZEL Klaus, V.V.A.A., “Túneles y Obras Subterráneas”, pág. 364, Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona 1972

⁴⁰ Ibid, pág. 365

En este capítulo se debe aún tratar un procedimiento desarrollado en Suiza, conocido bajo la denominación de «Sistema Bernold». Este sistema, patentado es, en principio y en su aplicación, asombrosamente simple, por lo que en poco tiempo, un gran número de empresas constructoras que de por sí son más bien conservadoras, se han adaptado al nuevo sistema, habiendo alcanzado, según datos propios, considerables ahorros. El sistema es apropiado para roca temporalmente estable hasta muy quebradiza y suelta. Después de la voladura, y eventualmente aun antes de la retirada del material, se instalan entibaciones de montaje sostenidas una a otra con distanciadores (Figura 1.26) Encima de estos arcos de acero se colocan chapas acuchilladas (Figura 1.26) que cumplen una función triple: como protección contra la caída de piedras sueltas, como encofrado y como armadura del hormigón de relleno.⁴¹

1.2.4. Drenajes

La tecnología actual también toma mucha importancia concentraciones locales de agua que procedan de grietas que son captadas por medio de tubos de plástico y recogidas a las franjas de drenaje previstos regularmente alrededor de la sección transversal de la galería.⁴²

Estos drenajes circunferenciales desembocan en el sistema principal de drenaje longitudinalmente emplazado en la línea más profunda de la sección de la obra subterránea. Durante los eventuales trabajos de inyección, se debe proceder constantemente a un enjuague a fin de evitar una obstrucción de los filtros. Por el contrario, el peligro de incrustaciones solamente se puede evitar sobredimensionando convenientemente el sistema de drenaje. Tal atascamiento de los drenajes debe ser tenido en cuenta al efectuar los cálculos de la presión exterior del agua subterránea sobre el revestimiento de la obra.

⁴¹ Cfr. WENZEL Klaus, V.V.A.A., “Túneles y Obras Subterráneas”, pág. 366-367, Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona 1972

⁴² Ibid, pág. 367

1.2.5. Impermeabilización

Hoy día, en general, para el aislamiento contra la humedad, se emplea una hoja de material sintético que se pega al fondo liso mediante una pintura adhesiva (geosintéticos). La estanqueidad de la soldadura de las hojas se puede controlar con seguridad por distintos métodos específicamente desarrollados.

1.2.6. Revestimiento definitivo

Para el revestimiento interno de galerías y túneles se emplea casi siempre un hormigón bombeado que se coloca y compacta detrás de un encofrado móvil de acero (encofrado telescópico). El revestimiento definitivo, interno, de las obras subterráneas es necesario o deseado:⁴³

- para dar al aislamiento recién mencionado un anillo de sustentación interno contra la presión del agua exterior;
- para mantener en un grado reducido la fricción hidráulica en las galerías para conducción de agua;
- por razones estéticas.

1.2.6.1. Inyecciones a alta y baja presión

Entre los tipos de inyecciones se distinguen las de alta y las de baja presión.

Las inyecciones de alta presión de 20 a 30 toneladas tienen como fin la consolidación de la roca quebradiza o de las zonas de aflojamiento en los alrededores de la excavación hecha.

Por medio de las inyecciones de alta presión se pueden mantener alejadas aguas agresivas para el hormigón que podrían destrozar poco a poco el revestimiento.

⁴³ Cfr. WENZEL Klaus, V.V.A.A., "Túneles y Obras Subterráneas", pág. 369, Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona 1972

Las inyecciones de baja presión (hasta unas 4 atmósferas) sirven en cambio solamente para el relleno de cavidades que podrían quedar entre el hormigón bombeado y la roca (especialmente en la clave de la bóveda). En todo caso, las inyecciones de baja presión son necesarias en aquellas zonas donde la excavación requirió entibaciones metálicas que representan un obstáculo para la distribución uniforme del hormigón y que no garantizan un recubrimiento compacto de las partes de acero con el hormigón.⁴⁴

1.3. Definiciones fundamentales

1.3.1. Tierra

El término tierra proviene del origen en latín terra, posee varios usos y significados, sin embargo para nuestro estudio nos referiremos a la tierra como la materia inorgánica desmenuzable que compone el suelo natural, al material utilizado para el cultivo.

Se define con el término suelo o tierra a los materiales como, limos, arenas, arcillas con bajo porcentaje (10%) de material granular hasta un tamaño de gravas, este material puede estar consolidado, semi-consolidado o suelto. Las labores de excavación en este tipo de materiales por sus características, se lo realizar manualmente y excepcionalmente con pequeñas cargas de explosivos.⁴⁵

En la construcción de obras subterráneas podemos clasificar la tierra en dos grupos: Tierras Superficiales y Tierras de Excavación, aunque ambos materiales (superficial y de excavación) son tierras que forman parte del terreno antes de la excavación de una galería o un túnel, sus diferentes características obligan a considerar diversas alternativas de reutilización, de modo que las trataremos por separado.

⁴⁴ Cfr. WENZEL Klaus, "Túneles y Obras Subterráneas", pág. 370, Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona 1972

⁴⁵ EMAAP-Q, "Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650", Especificaciones Técnicas, Quito, 2005

1.3.1.1. Tierra Superficial

Es un material delicado, pero muy útil. Se debe procurar utilizarla lo antes posible después de haberla extraído. La tierra superficial es la capa orgánica del suelo, la que sostiene la vegetación. Es, en efecto, un material delicado, que se debe utilizar de inmediato. Si no fuera posible, pero está previsto reutilizarla al final de la obra, se debe almacenar cuidadosamente.

La alternativa más recomendable es utilizar la tierra superficial para la formación del paisaje artificial de la propia obra: por ejemplo cuando al ingreso de la galería o el túnel se desea darle un atractivo estético. Cuando, debido a las características de la obra, no sea posible reutilizarla, conviene contemplar otras posibilidades que la simple opción de enviarla al vertedero, es posible que otras obras próximas necesiten esta clase tierras para los usos que hemos descrito.

Otras aplicaciones de interés son, por ejemplo, la reutilización en la restauración de suelos contaminados, en rellenos de tierras, en terraplenes y en la reposición de perfiles de canteras abandonadas.

Esta clase de tierra se puede mezclar con otros materiales para ampliar así la gama de productos resultantes y sus aplicaciones potenciales. Una de estas aplicaciones consiste en mejorar su composición con la adición de arena, fertilizantes o cortezas de árbol trituradas.

Como ya hemos expuesto al principio, el almacenamiento cuidadoso de las tierras es imprescindible para conseguir mantener las cualidades del material; y principalmente para evitar que la excavación subterránea produzca un impacto ambiental exagerado, he ahí la compensación de la reutilización de la tierra. En este sentido se deberán observar las siguientes recomendaciones:

- Almacenar las tierras superficiales de manera que no exista peligro de contaminación con otros residuos.
- Evitar los daños que puede ocasionar el tráfico de los vehículos: no se debe permitir circular sobre las tierras porque se daña su estructura.

- Delimitar un lugar exclusivo para el almacenamiento de las tierras, formando pilas de una altura inferior a dos metros (si son más altas, la presión sobre las mismas también daña su estructura).
- La tierra se debe mantener tan seca como sea posible, y la forma más fácil de conseguirlo es utilizándola lo antes posible.
- La tierra, una vez almacenada, sólo debe ser movida para reutilizarla, porque los movimientos causan su deterioro.

1.3.1.2. Tierra de excavación.

Es aquella tierra que forma los estratos bajo la superficie y es un material que puede ser utilizado si en la ejecución de las obras se planifican correctamente.

El transporte de las tierras de excavación al vertedero causa contaminación, y ocupan en él un espacio que debería destinarse a otro tipo de material. Por lo tanto es imprescindible que se establezca cómo manipular el terreno para que se produzca la menor cantidad de tierras sobrantes. Y, en efecto, se pueden ejecutar diversas alternativas: elevar la cota del terreno, restaurar zanjas de préstamo, no excavar más de lo necesario, rehacer el paisaje, etc.

Asimismo, antes de decidir el traslado al vertedero, hay que prever la forma más sencilla posible para el movimiento de volúmenes de tierra, y que, en algunos casos, se deberán conservar algunos sobrantes de excavación durante más tiempo del previsto, por si más tarde es necesario un eventual reemplazo de material poco apropiado o contaminado.

En definitiva, se trata de minimizar el volumen de los sobrantes de la excavación que han de ser desplazados fuera de la obra, porque el transporte innecesario malgasta energía, genera polución y cuesta dinero.

Por último, es igualmente importante asegurarse que las tierras no han sido contaminadas por usos anteriores o por las actividades desarrolladas sobre ellas (es el caso, por ejemplo, de la contaminación por contacto con residuos tóxicos producidos

en la fabricación de productos diversos, o de la de edificios con usos especiales, como los hospitales). En ningún caso se debe intentar reutilizar ningún material que pueda estar contaminado si previamente no se limpia y un equipo experto no aplica técnicas específicas de reutilización.

En el caso de una excavación subterránea se debe prever que la remoción de la tierra es lo primero que se hace, por lo cual se debe planificar cuidadosamente en que se va a utilizar estos volúmenes ya sea el caso de que estos sean grandes cantidades o pocas que no influirían mucho en la obra.⁴⁶

1.3.2. Roca

Es conocido que la roca ha sido usada como material de construcción desde el inicio de la civilización. El estado del arte de la Ingeniería de Rocas hace 4000 años A.C. consistía en el laboreo manual con herramientas rudimentarias, para excavar rocas calizas y rocas blandas, capaces de suministrar un hábitat o refugio a los seres humanos que poblaban la Tierra. Durante cientos de años la roca fue excavada manualmente y no fue sino hasta 1850 que se comenzó a utilizar técnicas de perforación y voladura para la excavación de túneles en los Estados Unidos.

A pesar de la larga historia en el uso de la roca como material de construcción, el desarrollo de la Mecánica de Rocas y de la Ingeniería de Rocas, es relativamente reciente, quizás debido a la complejidad de la estructura del macizo rocoso y al hallazgo de teorías que reflejen el comportamiento de la roca como elemento de construcción.⁴⁷

⁴⁶ Cfr. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña - ITeC. “Características Materiales de los Residuos de Excavación y Demolición de Tierra Superficial y de Excavación”. Internet. http://www.construmatica.com/construpedia/Caracter%C3%ADsticas_Materiales_de_los_Residuos_de_Excavaci%C3%B3n_y_Demolici%C3%B3n_de_Tierra_Superficial_y_de_Excavaci%C3%B3n
Acceso: noviembre 2009

⁴⁷ Cfr. GAVILANES Hernán, y ANDRADE Byron, “Introducción a la ingeniería de Túneles”, pág. 30, A.I.M.E., Quito –Ecuador 2004

1.3.2.1. Definición de Roca y caracterización de macizo rocoso

a. Definición de Roca

Se define con el nombre de roca a los materiales solidificados y que son productos de derrames de lavas de diferente composición y que por su naturaleza requieren de uso de explosivos para su excavación.⁴⁸

Dentro de la geología se aplica el término roca a todos los constituyentes de la corteza terrestre, pudiendo diferenciarles entre materiales no consolidados (suelos) y consolidados. En la ingeniería civil o en la geotecnia se aplica este término a los materiales duros y resistentes que forman parte de la corteza terrestre, y se define al suelo como el producto derivado de la roca, como consecuencia de procesos meteorizantes.⁴⁹

b. Caracterización de un macizo rocoso

La caracterización de un macizo rocoso constituye la fase inicial en todo estudio geológico-geotécnico e implica la descripción de las características particulares que intervienen y que juegan un papel importante en el comportamiento geomecánico del macizo frente a procesos de desestabilización, como pueden ser la ejecución de excavaciones a cielo abierto y subterráneas, o cualquier otro mecanismo que altere el estado inicial del macizo rocoso como elemento de construcción. Es importante mencionar que la caracterización de macizos rocosos, está fundamentalmente basada en las observaciones y descripciones hechas a partir de afloramientos y sondajes de perforación. En ese sentido, dichas descripciones no solo tienen que tener un contenido geológico, sino que también, deben estar acompañadas de medidas y ensayos adicionales.

⁴⁸ EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, Especificaciones Técnicas, Quito, 2005

⁴⁹ Cfr. GAVILANES Hernán, y ANDRADE Byron, “Introducción a la ingeniería de Túneles”, pág. 21, A.I.M.E., Quito –Ecuador 2004

El comportamiento geomecánico de un macizo rocoso está relacionado a las propiedades de la roca intacta y de las discontinuidades, a las condiciones hidrogeológicas, al campo tensional, entre otras.⁵⁰ Según Palmström (1995), un macizo rocoso es un material completamente diferente de otros materiales estructurales usados en la Ingeniería de Minas o Civil, como son la madera, el acero y el concreto. Un macizo rocoso se distingue de esos materiales de construcción por la presencia de discontinuidades (diaclasas, planos de estratificación, fallas, etc.) que controlan el comportamiento de toda la masa.⁵¹

Por otra parte, al hablar de rocas, se tiene una gran variedad de materiales y, por lo tanto, una variedad de comportamientos; así, de acuerdo con el tipo de material en el macizo, éste se puede comportar de forma elástica, plástica o elástico-plástica, en función de la magnitud de las presiones actuantes.

Jumikis (1983) define el término roca como un material heterogéneo y anisotrópico que ocurre naturalmente y que está compuesto por granos de variedad policristalina (minerales) o no cristalina (amorfo) cementados entre sí. Los minerales son sustancias inorgánicas que tienen una composición química definida. Los minerales más comunes encontrados en las rocas se describen en la Tabla 1.8⁵²

Minerales más comunes encontrados en las rocas (USACE, 1997)				
Minerales	Composición química	Dureza	Color	Otras características
Feldespatos	Aluminosilicatos de potasio (feldespato ortoclasa) o sodio y calcio (feldespato Plagioclasas) con 3 dimensiones estructurales.	6	Blanco o gris, menos común rosado.	Relativa facilidad a la meteorización.
Cuarzo	Sílice, químicamente muy	7		Rompe con fractura

⁵⁰ Cfr. GAVILANES Hernán, y ANDRADE Byron, “Introducción a la ingeniería de Túneles”, pág. 21, A.I.M.E., Quito –Ecuador 2004

⁵¹ Ibid, pág. 30

⁵² Ibid, pág. 21

	estable.			concoidal.
Minerales arcillosos	Aluminosilicatos con tamaño de cristales muy pequeños que pueden ser observados con microscopio de baja potencia.	2 - 3	Generalmente blanco, gris o negro.	Puede aparecer como hojas que dan una característica de clivaje y textura jabonosa.
Micas	Aluminosilicatos de potasio (mica muscovita) o hierro-potasio-magnesio (mica biotita) con estructura en hojas. Minerales relativamente estables.	2 - 3	Muscovita es incolora, la biotita es verde oscura o de café a negro.	Rompe a lo largo de planos paralelos cercanos, formando finas laminillas en meteorización. Muscovita a menudo en laminillas en la superficie de la roca.
Clorita	Químicamente un hidro aluminosilicatos de hierro y magnesio.	2 - 2,5	Verde.	Débil, rompe fácilmente y forma hojuelas.
Calcita	CaCO ₃	3	En menas férricas es roja y café, en menas ferrosas es verde y gris.	
Menas de hierro	Óxidos, hematita (Fe ₂ O ₃); carbonates; pirita (FeS ₂).	5 - 7	Verde oscuro, café a negro.	
Minerales ferromagnesianos	Químicamente complejos de aluminosilicatos de calcio y potasio ricos en hierro y magnesio (hornablenda, augita, olivino).			

Tabla 1.8⁵³

⁵³ Cfr. GAVILANES Hernán, y ANDRADE Byron, “Introducción a la ingeniería de Túneles”, pág. 22, A.I.M.E., Quito –Ecuador 2004

Cada mineral tiene propiedades físicas, químicas y mecánicas que lo diferencian de los otros minerales presentes en una roca. La mineralogía de una roca es generalmente determinada por la exanimación de láminas delgadas en microscopio.

La escala de dureza de Mohs provee un procedimiento de campo que permite identificar minerales de acuerdo con su dureza en la caracterización de la roca (Tabla 1.9).⁵⁴

Escala de dureza de Mohs (USACE, 1997)		
Mineral estándar	Dureza	Guía de campo
Talco	1	
Yeso	2	Uña del dedo
Calcita	3	
Fluorita	4	Moneda de cobre
Apatita	5	Clavo de hierro
	5,5	Vidrio
Feldespatos ortoclasa	6	Navaja
Cuarzo	7	Lima de acero
Topacio	8	
Corindón	9	
Diamante	10	

Tabla 1.9

⁵⁴ Cfr. GAVILANES Hernán, y ANDRADE Byron, “Introducción a la ingeniería de Túneles”, pág. 21, A.I.M.E., Quito –Ecuador 2004Ibid

1.3.2.2. Clasificación de las Rocas

Las rocas, en general, pueden ser clasificadas de acuerdo con varios principios. Algunos de los sistemas de clasificación empleados son:

- Clasificación por el origen o génesis.
- Clasificación ingenieril de la roca (basada en la resistencia de la roca intacta)

a. Clasificación por el origen o génesis

Según el proceso de formación, las rocas se dividen en tres grandes grupos: ígneas, sedimentarias y metamórficas, las cuales posteriormente se subdividen según varios criterios.

a.1) Rocas ígneas.- Casi todas las rocas ígneas parecen haber cristalizado a partir del magma, el cual es una mezcla de componentes químicos formadores de los silicatos de alta temperatura, normalmente incluye sustancias en estado sólido, líquido y gaseoso. La Figura 1.26 ilustra la clasificación de las rocas ígneas según el lugar de solidificación del magma:

a.1.1) Intrusivas (platónicas): Cristalizadas lentamente a grandes profundidades, bajo una presión que no permite el escape de los gases magmáticos, forman cuerpos intrusivos muy grandes que se llaman batolitos. Intrusiones y batolitos tienen un techo que es el sector del contacto con las rocas de caja.

Algunas veces caen rocas encajantes al magma sin que se produzca su fundición. Estos fragmentos extraños se llaman xenolitos. Un cuerpo intrusivo con un ancho de algunos kilómetros contiene una tremenda energía térmica capaz de afectar las rocas de caja en una zona de contacto. Las rocas de esta zona se convierten, por causa de la temperatura, en rocas metamórficas (metamorfismo de contacto).

a.1.2) Hipoabisales (filonianas): Cristalizadas a profundidades intermedias sin que exista escape excesivo de gases magmáticos. Generalmente, el magma tiene un peso específico menor que una roca sólida, lo que posibilita su ascensión gracias a la alta presión de los gases dentro del magma para formar stocks, lacolitos, filones y diques.⁵⁵

a.1.3) Efusivas (volcánicas): Cristalizadas en superficie bajo condiciones de presión atmosférica, lo que origina un rápido proceso de desgasificación y enfriamiento. A estas últimas pertenecen los piroclastos, tobas y cenizas.

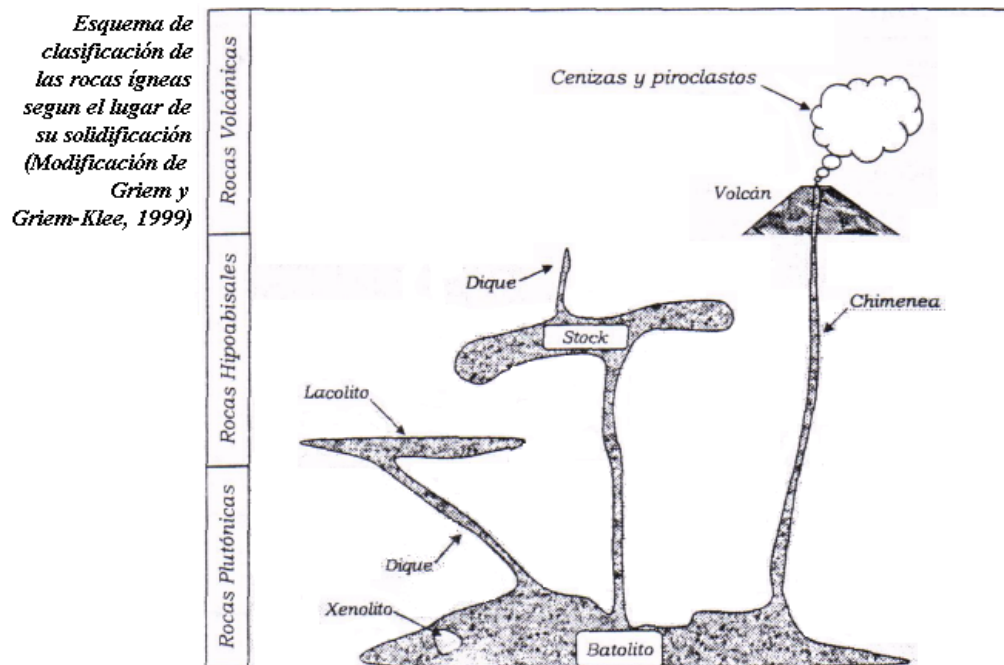


Figura 1.27

(Ver Anexo 1 – Tabla 1.10)

⁵⁵ Cfr. GAVILANES Hernán, y ANDRADE Byron, “Introducción a la ingeniería de Túneles”, pág. 23, A.I.M.E., Quito –Ecuador 2004

a.2) Rocas Sedimentarias.- La clasificación de las rocas sedimentarias está gobernada por el mecanismo de depósito de los sedimentos que determina finalmente la textura y estructura final. Las rocas sedimentarias se clasifican en:

a.2.1) Detríticas (clásticas): Formadas por fragmentos de distintos tipos, depositados después de una fase de transporte bajo un determinado ambiente de depósitos que puede ser fluvial, glacial y eólico, y que a su vez, determina el tipo del material cementante. Las rocas clásticas, entonces, se pueden definir como un conjunto de fragmentos. El cemento y la matriz es el pegamento que junta los clastos. La clasificación de las rocas sedimentarias clásticas se basa en el tamaño de los granos de sus componentes y refleja las condiciones de sedimentación. En grandes rasgos se distinguen:

Psefitas	diámetro de grano > 2 mm.
Samitas	diámetro de grano $2 - 0,02$ mm.
Pelitas	diámetro de grano $< 0,02$ mm

a.2.2) Químicas: Formadas principalmente por sales y coloides, precipitados a partir de las soluciones acuosas por efecto de la evaporación o de un cambio en el ambiente químico. Las subdivisiones posteriores se realizan según la composición química o material de los precipitados. Así, la composición química puede ser carbonatada: silícea, ferrífera, manganesífera y salina. A este mismo grupo pertenecen las rocas residuales, que aparecen luego de la completa destrucción de las rocas preexistentes, y finalmente, tenemos las rocas metasomáticas que son el resultado de la reacción de intercambio entre el agua marina y las rocas sedimentarias.

a.2.3) Organógenas: Bajo la denominación colectiva de las rocas sedimentarias organógenas se presentan todas las rocas sedimentarias combu-carbonáceas

respectivamente y los depósitos kerógenos. Se Presentan todas las rocas sedimentarias combustibles, como los depósitos kerógenos.⁵⁶

(Ver Anexo 2 – Tabla 1.11)

a.3) Rocas Metamórficas.- Como su nombre lo indica son aquellas producto del metamorfismo, es decir, del proceso por el cual se producen ciertas modificaciones en la composición mineralógica, y en la estructura de una roca como consecuencia de los cambios de presión y temperatura que ésta experimenta cuando alcanza niveles profundos de la corteza terrestre (re cristalización y cristalización de nuevos minerales).

En forma general, grado metamórfico, zonas metamórficas y facies metamórficas son los conceptos básicos y comunes para describir y clasificar los procesos metamórficos.

El grado metamórfico se refiere a la intensidad del metamorfismo que ha influido en una roca: determina la temperatura o la presión máxima del metamorfismo. Las zonas metamórficas se distinguen con base en un mineral determinado o de un grupo de minerales. Las zonas y facies metamórficas se determinan a través de la identificación de los grupos de minerales formados simultáneamente. De acuerdo con la posición geológica se distinguen tres tipos básicos de metamorfismo:

a.3.1) Metamorfismo de contacto: Ocurre en la vecindad de una roca ígnea intrusiva y resulta de efectos térmicos, y de vez en cuando, meta somáticos del magma caliente. En el caso clásico, un cuerpo ígneo alcanza una serie sedimentaria o ya metamórfica, produciendo una aureola de contacto.

⁵⁶ Cfr. GAVILANES Hernán, y ANDRADE Byron, “Introducción a la ingeniería de Túneles”, pág. 24, A.I.M.E., Quito –Ecuador 2004

a.3.2) Dinamometamorfismo: Cuando las rocas superficiales de la litosfera son sometidas a los efectos de una fuerte presión dirigida en determinado sentido, se producen alteraciones en su estructura, como es la "milonitización" de la roca. El efecto más sensible de estas presiones es la aparición de planos de disyunción o de exfoliación, lo cual es la causa de la pizarrosidad o esquistosidad; características de las pizarras y esquistos.

a.3.3) Metamorfismo regional: En los cinturones orogénicos activos, las aureolas de contacto de numerosos cuerpos intrusivos, que se ubican en distancias cortas entre sí y que se forman en un corto intervalo de tiempo, se solapan. De esta manera, la temperatura de la región entera sube por el aporte de calor en la corteza terrestre, debido al magma.⁵⁷

Clasificación de Rocas metamórficas (USACE, 1997)		
Textura y tamaño del grano	Foliadas	Masivas
Grano grueso 2mm	Roca que aparece como un complejo intermedio de esquistos y gneiss metamórficos y roca ígnea granular. La foliación tiende a ser regular y es mejor vista en la exposición: MIGMATITA	Roca que contiene granos minerales orientados aleatoriamente. La foliación, si está presente es esencialmente producto de un metamorfismo termal asociado con intrusiones ígneas y es generalmente más fuerte que la roca madre: HORNFELS

⁵⁷ Cfr. GAVILANES Hernán, y ANDRADE Byron, "Introducción a la ingeniería de Túneles", pág. 25, A.I.M.E., Quito –Ecuador 2004

	Roca que contiene abundante cuarzo y/o feldespato. A menudo se presenta con capas alternadas de colores claros (cuarzo y feldespatos) y colores oscuros (biotita y hornablenda). La foliación se ve mejor si la roca ha sido expuesta: GNEISS	Roca que contiene más del 50 % de calcita (reacciona violentamente con HCl diluido), generalmente es de color claro con textura granular: MÁRMOL
	Roca que consiste principalmente de grandes cristales de mica mostrando claramente una orientación preferente paralela o subparalela. Foliación está bien desarrollada y a menudo en nódulos: ESQUISTO	Si el mayor constituyente es la dolomita en lugar de la calcita (la dolomita no reacciona inmediatamente con HCl diluido), entonces la roca se transforma en: MÁRMOL DOLOMÍTICO
Grano medio 0.06 mm	Roca de grano medio a fino o minerales alargados con una orientación preferente. Foliación es ligeramente nodulosa debido a grandes cristales aislados que dan una apariencia moteada: FILITA	Roca que tiene grano medio a grande con una textura granular y a menudo bandeada GRANULITA
Grano fino	Roca de granos muy finos (granos individuales que no pueden ser reconocidos en una muestra de mano), con una orientación preferente de manera que rompe fácilmente en finas láminas: PIZARRA	Roca compuesta principalmente de granos de cuarzo (95 %) que están generalmente orientados de manera aleatoria, dando una textura granular: CUARCITA (META - CUARCITA)

Tabla 1.12 ⁵⁸

⁵⁸ Cfr. GAVILANES Hernán, y ANDRADE Byron, “Introducción a la ingeniería de Túneles”, pág. 29, A.I.M.E., Quito –Ecuador 2004

b. Clasificación ingenieril

Deere (1968) presentó un sistema de clasificación de las rocas, basado en una de las más importantes propiedades ingenieriles: la resistencia a la compresión uniaxial. Dicho sistema está basado en la resistencia de la roca intacta y presupone la realización de ensayos de laboratorio.

Clasificación ingenieril de la roca intacta (Deere, 1968)				
Clase	Descripción	Resistencia a la compresión uniaxial		Tipos de roca
		(PSI)	(MPa)	
A	Resistencia muy alta	> 32.000	≈ 220	Cuarцитas, diabasas, Mayoría de rocas ígneas, Ciertas rocas metamórficas. Areniscas frágilmente, Cementadas, Lutitas resistentes. Mayoría de Las calizas. Ciertas dolomitas.
B	Resistencia alta	16.000-32.000	≈ 110 a ≈ 220	
C	Resistencia media	8.000-16.000	≈ 55 a ≈ 110	Algunas lutitas. Areniscas y Calizas porosas. Esquistos y Rocas metamórficas.
D	Resistencia baja	4.000 - 8.000	≈ 28 a ≈ 55	Rocas porosas de baja, Densidad. Areniscas, Deleznables. Tufas y lutitas, Arcillosas. Rocas, meteorizadas y químicamente, alteradas de cualquier litología.
E	Resistencia muy baja	< 4.000	< 28	

Tabla 1.13⁵⁹

⁵⁹ Cfr. GAVILANES Hernán, y ANDRADE Byron, “Introducción a la ingeniería de Túneles”, pág. 30, A.I.M.E., Quito –Ecuador 2004

1.3.3. Avalancha (Lahar, Conglomerado Aluvial)

Para efectos de selección de los materiales que pueden presentarse en la excavación de la galería, se clasifica con el nombre de Avalancha a los materiales compuestos por bloques, gravas, en una matriz heterogénea cementada o no. Para esta definición, por lo menos el 20% del material debe corresponder a bloques con un tamaño mayor a 60 cm. Por las características del material la excavación de la galería se debe realizar de manera combinada por métodos manuales y con uso limitado de explosivos.⁶⁰

1.3.3.1. Lahar

Un lahar (en inglés mudflows o flujos de lodo) es un flujo de barro que se moviliza desde las laderas de los estratovolcanes. Durante los últimos siglos, los lahares han destruido más propiedad pública o privada que cualquier proceso volcánico y han sido los causantes de la pérdidas de miles de vidas humanas. Los lahares, junto con la caída de tefra, son la principal causa de riesgo asociado a volcanes.

Los lahares pueden ocurrir debido a:

1. Períodos de lluvia intensos, no necesariamente coincidiendo con períodos de actividad volcánica
2. Fusión de glaciación en las partes altas de un volcán, durante actividad volcánica
3. Vaciado de un lago hospedado en la cumbre de un volcán
4. Desplome de ladera debido a prolongada alteración hidrotermal o sismo

A diferencia de las avalanchas de detritos, los lahares son depósitos « húmedos » donde el agua influye tanto en la génesis como en el transporte de la masa removida.

Los lahares asociados a actividad volcánica se caracterizan por contener generalmente bolones (bloques angulosos de roca en ocasiones tan grandes como 30

⁶⁰ EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, Especificaciones Técnicas, Quito, 2005

cm y raramente métricos) en una matriz volcánica la cual es generalmente más gruesa que fango. El flujo lahárico puede arrasar todo a su paso, incorporando muchas veces material orgánico como hojas y troncos destrozados y ocasionalmente los cuerpos de animales o personas. Los depósitos de este tipo de flujos se caracterizan por tener mala selección y estratificación; de ahí el vocablo Javanés "lahar" otorgado por los vulcanólogos. La razón principal de que este tipo de eventos sea tan frecuente en los volcanes es que comúnmente las pendientes de los volcanes activos son cubiertas por abundantes fragmentos sueltos de roca principalmente volcánica que pueden mezclarse con el agua formando flujos descendentes.

El movimiento de los lahares se debe principalmente a la acción de la gravedad y su velocidad depende fuertemente del ángulo de la pendiente en la cual se moviliza y de la viscosidad del lahar. Las dimensiones del canal y la dureza de la superficie infrayacente al flujo parecen tener un efecto considerable sobre la movilidad del flujo. A su vez, la viscosidad está relacionada a la proporción de material sólido transportado por el agua, siendo algunos flujos predominantemente acuosos, otros llegan a contener casi el 95 % de sólidos.

*Lahar tras
una erupción.
Monte Saint
Helens.*



Figura 1.28

Si la pendiente es fuerte, el flujo tendrá un efecto principalmente erosivo sobre el cono. A medida que el flujo baja por las laderas del estratovolcán, la pendiente disminuye por lo tanto pierde energía y empieza a dejar su carga sólida, formando depósitos de detritos de varios metros de espesor. En especial cuando las laderas del cono son muy empinadas los flujos bajan con gran velocidad y energía (velocidades cercanas a los 100 km/h) y pueden aprovechar el curso de los valles, sepultando vastas áreas topográficas y causando un efecto no despreciable sobre la configuración del relieve. Hay casos en donde el flujo lahárico ha logrado alcanzar una distancia de 300 km desde su lugar de procedencia.

Este tipo de fenómenos tiene una injerencia remarcada en el relieve de un sector en específico. Puede causar cambios geomorfológicos en un volcán como la generación de cañadas (quebradas profundas); cambios en los cursos de los ríos, embancamiento en algunos sectores y fuertes inundaciones en otros; rellenos de valles fluviales y cuencas; entre otros.

Como ya se ha mencionado, los fenómenos laháricos representan un gran peligro geológico principalmente por ser fenómenos naturales de alta energía, poder destructivo considerable y que son difíciles de controlar. Sin embargo son fenómenos relativamente fáciles de predecir su movimiento, en el sentido que ellos siguen los valles. La predicción del tiempo de ocurrencia de este tipo de fenómenos no es trivial, pero normalmente el desarrollo de un evento eruptivo puede ser el antecedente al desarrollo de este tipo de flujos.⁶¹

1.3.3.2. Conglomerado Aluvial

Roca sedimentaria detrítica compuesta por cantos redondeados de tamaño superior a 2 mm (rudita), si los cantos son angulosos se denominan brechas. En estas rocas se pueden distinguir las siguientes partes: la trama, (cantos mayores de 2 mm) que forma el armazón; la matriz, (arenas y/o arcillas) que rellenan los huecos existentes

⁶¹ Cfr. Colaboradores de Wikipedia. "Lahar". Internet. <http://es.wikipedia.org/wiki/Lahar>. Acceso: noviembre 2009.

entre los cantos de la trama y el cemento, que une los distintos fragmentos entre sí. Si los cantos no están cementados (ya sean angulosos o redondeados), se consideran sedimentos y son conocidos como gravas (ruditas no cementadas). Los cantos pueden proceder de la erosión de cualquier tipo de roca. Se dice que un conglomerado es poligénico, cuando los cantos proceden de la erosión de distintas rocas madres, como normalmente suele ocurrir, y monogénico, si todos proceden de la misma roca.

En clasificaciones anteriores, se llamaba conglomerado a las rocas formadas por cantos mayores de 2 mm, y dentro de ellas, se denominaba pudinga a las que tenían los cantos redondeados.

*Conglomerado
fluvial de cantos
carbonatados.
Mioceno superior
de Molina de
Segura-Antonio
del Ramo*



Figura 1.29

Respecto a su ambiente de formación su génesis implica un intenso proceso de transporte y erosión por el agua, que redondea los fragmentos de las rocas y su posterior acumulación (sedimentación). Los principales medios sedimentarios donde se originan los conglomerados son: los cauces existentes en los abanicos aluviales

formados por torrentes, los cauces de ramblas y ríos, y las proximidades de las rompientes de las olas en zonas litorales. Este tipo de rocas son más abundantes en zonas cercanas a montañas donde forman parte de abanicos aluviales o de antiguos abanicos deltaicos.⁶²

1.3.4. Piroclasto

Se define con este nombre a los materiales compuestos por bloques y gravas en una matriz fina heterogénea cementada. El tamaño de los bloques mayores a 60 cm, no debe superar el 20 % del material. La excavación de la galería se lo realizará de manera combinada por métodos manuales y con uso limitado de explosivos.⁶³

En geología se llama piroclasto a cualquier fragmento sólido de material volcánico arrojado al aire durante una erupción.

Petrológicamente los piroclastos son fragmentos de roca ígnea volcánica, solidificados en algún momento de la erupción, lo más a menudo durante su recorrido aéreo. En sentido "estricto" el término alude a un determinado tamaño del fragmento; se distingue así, por ejemplo, una bomba volcánica de un piroclasto (en sentido estricto), aún cuando en "sentido amplio" una bomba volcánica tiene carácter piroclástico.

Etimológicamente la palabra deriva de dos raíces griegas que significan literalmente: fuego (*pyro*) y fragmento (*klastos*).

En el sentido amplio del término, los piroclastos pueden tener tamaños muy variados, desde metros a μm (micrómetros, millonésimas de metro). Por su tamaño se distinguen clásicamente tres categorías:

⁶² Cfr. Del Ramo, Antonio. Guillén, Francisco. "Conglomerado (Pudinga)". Internet. http://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,359,a,0,m,2012&r=ReP-8164-DETALLE_REPORTAJES. Acceso: noviembre 2009.

⁶³ EMAAP-Q, "Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650", Especificaciones Técnicas, Quito, 2005

- **Cenizas.** Partículas de menos de 2 mm de “diámetro”. Pueden ser microscópicas.
- **Lapilli.** Término de origen italiano, plural, usado así en Geología (el singular sería *lapillo*). Se trata de fragmentos de entre 2 y 64 mm (64 mm son 26 mm), de material poroso.
- **Bombas volcánicas.** Fragmentos de más de 64 mm.

Las partículas piroclásticas más pequeñas, las cenizas de menor tamaño, pueden ascender con el movimiento convectivo de los gases y el aire calientes que forman la pluma volcánica, pudiendo llegar a la estratosfera, desde la que ausencia de viento puede facilitar el lento viaje a regiones muy remotas, o distancias relativamente considerables y que se las encuentran en las excavaciones previo al estudio geotécnico, como se presento en nuestro estudio y que es tema de análisis.

Los piroclastos más grandes se acumulan por gravedad en el área circundante del cráter y van construyendo el cono volcánico, según la modalidad de vulcanismo, a medias o no con coladas de lava. Cuando alternan los dos tipos de emisión se forman conos estratificados, donde alternan capas de cenizas, poco coherentes, con otras de roca dura derivada de la solidificación.

Se llama rocas piroclásticas a las formadas por agregación de piroclastos; por ejemplo, la toba volcánica, formado por cenizas, o las ignimbritas, formadas por fragmentos heterogéneos arrastrados por flujo piroclástico. Las rocas piroclásticas son clasificadas entre las ígneas volcánicas, de acuerdo a su composición; pero por la forma en que se depositan, en estratos, presentan rasgos y propiedades más característicos de las rocas sedimentarias.

Relacionando sus usos de manera industrial se lo asociaría con la Puzzolana que es uno de los componentes del cemento.⁶⁴

⁶⁴ Cfr. Colaboradores de Wikipedia. “Piroclasto”. Internet. <http://es.wikipedia.org/wiki/Piroclasto>. Acceso: octubre 2009.

1.4. Túnel

1.4.1. Definición

Por definición un túnel no es más que una vía de comunicación subterránea de dos o más bocas utilizada para el tránsito de automóviles, y en algunas ciudades se utilizan como uso exclusivo para trenes, transporte de aguas, gases, cereales y hasta petróleo. Otra categoría de túneles se remontan a estaciones hidroeléctricas perforadas en rocas cercanas a las presas o bien excavaciones realizadas con fines mineros. Para el inicio de construcción de un túnel se necesitan explosivos y excavadoras, en caso de túneles muy largos se necesitan ciertas aberturas en dirección perpendicular al túnel, como especie de chimeneas de equilibrio, para proceder a abrir por distintos orificios.⁶⁵

Es bien conocido que cuanto mayor sea la caverna de una obra subterránea que se excava en la roca, tanto mayor se hace la perturbación causada del estado de tensión primario. Mientras más se considera ya en la conformación de la caverna, el nuevo estado de tensión que se producirá posteriormente, tanto menos complicadamente se comportará la roca durante la excavación. La estructura de la obra subterránea depende, por consiguiente (al contrario de las construcciones sobre terreno), no solamente del propósito para el que tiene que servir la obra sino también, de modo muy determinante, de las condiciones del subsuelo.

Solamente una investigación exacta previa de las propiedades características de la roca o suelo en general mediante mediciones y ensayos “in situ” y en el laboratorio permite determinar con precisión las condiciones estáticas durante la excavación y después de la misma. En primer lugar se trata de las características mecánicas de la roca: módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson, cohesión y ángulo de fricción interna. En consideración de la poca homogeneidad de la roca conviene siempre efectuar mediciones en tantos puntos diferentes como sea posible a fin de obtener una imagen

⁶⁵ Cfr. Colaboradores de Arqhys, Architects Site. “Túneles”. Internet. <http://www.arqhys.com/articulos/famosos-tuneles.html> Acceso: septiembre 2009.

representativa de las condiciones para la subsiguiente evaluación de los resultados. Los valores característicos sobre la mecánica de rocas obtenidos, inclusive las cualidades de las fallas tectónicas en la dirección que sea, se emplea para el cálculo estático o bien en el procedimiento analítico, por ejemplo el método Finite-Element (FEM) (de los elementos finitos) con programas de computadora, o bien mediante fotoelasticidad, que describen los estratos que constituye el sector analizado.⁶⁶

1.4.2. Túneles famosos del mundo.

- **Túnel de Seikan, Japón:** Es el túnel ferroviario de mayor longitud en el mundo, sirve como medio de conexión entre las islas de Josu y Hokkaido, posee una distancia de 53.85 Km.
- **Canal de la Mancha:** Siendo el túnel submarino más largo, con una longitud de 50,4 km, comunica Coquelles y Cheriton, localidades de Francia e Inglaterra.
- **Mont Cenis:** Siendo el primer túnel ferroviario, entrelaza Francia e Italia, posee una longitud de 13,7 km.
- **El Simplon:** Es el túnel más extenso de los Alpes, une a Suiza e Italia. Mide 19,8 km. La carretera, que lleva de Brigue, Suiza, a Domodossola, Italia, fue construida por los franceses entre 1800 y 1806 y está apoyada en un total de 611 puentes.
- **El Yerba:** Su nombre proviene de la isla que atraviesa, Yerba Buena en la bahía de San Francisco, dicho túnel posee dos niveles y posee el mayor diámetro. Mide 165 km de largo.
- **El acueducto Delaware:** Túnel de repartición de agua de mayor tamaño, localizado en el Estado de Nueva York, posee una longitud de 137 km.

⁶⁶ Cfr. WENZEL Klaus, V.V.A.A., “Túneles y Obras Subterráneas”, pág. 334 -335, Editores Técnicos Asociados, España 1972

- **El túnel del Mont Blanc:** Es un túnel para automóviles que atraviesa los Alpes entre Chamonix y Courmayeur, comunidades de Francia e Italia y mide 11,6 kilómetros. Este túnel ha permitido reducir el trayecto de Ginebra a Milán en unos 100 kilómetros. La parte inferior de su sección total (75 m²) está destinada a la ventilación del túnel.
- **El Plan Snowy Mountains:** Mide 145 km es una construcción de carácter hidroeléctrico localizada al sur de Australia. Este Plan es una extensa construcción de ingeniería que afecta a unos 7.000 km² de esta sierra situada cerca de Canberra. La realización de esta construcción, presupuestado por el gobierno de esta nación, comenzó en 1949 y finalizó en 1972, con un costo de 800 millones de dólares australianos.
- **El túnel de Fréjus:** Es el túnel alpino para automóviles más extenso del mundo con sus 13 km de longitud⁶⁷

1.4.3. Generalidades (Explotación y Conservación)

El túnel se presenta con frecuencia como una solución alternativa de otras a cielo abierto, ya sean a nivel superficial o elevado. El túnel aporta, casi siempre, una solución brillante, favorecida por los enormes avances que las técnicas de perforación han puesto a punto en los últimos lustros, que nos han llevado desde una perforación artesana hasta avances rápidos, casi sin obreros, con máquinas dirigidas por láser.⁶⁸

El estudio previo de un túnel debe empezarse con los antecedentes y el planteamiento del problema, teniendo clara la situación del o de los productos a transportar por el túnel, del transporte previsible a servir en el año horizonte, y de la delimitación geográfica de las zonas de influencia que se van a beneficiar o a dar servicio con el túnel o galería, teniendo en cuenta su población, las perspectivas del crecimiento de

⁶⁷Cfr. Colaboradores de Arqhys, Architects Site. “Túneles”. Internet. <http://www.arqhys.com/articulos/famosos-tuneles.html> Acceso: septiembre 2009.

⁶⁸ Cfr. LINARES SANCHEZ Antonio, V.V.A.A., “Túneles y Obras Subterráneas”, pág. 5, Editores Técnicos asociados, España 1972

su producto por habitante, el desarrollo de las producciones y los consumos de aquellos productos que incidan sobre el transporte que va a utilizar el túnel, las perspectivas de desarrollo industrial, y finalmente, las previsiones de los flujos de productos, líquidos, mercancías o viajeros, que transitan ahora y transitarán en el año horizonte entre las dos zonas servidas por las bocas del túnel, contando todos los medios concurrentes de transporte.

Con todos estos elementos a la vista se debe poner en marcha un estudio de las soluciones posibles para el trazado del túnel, y también de sus accesos, que a veces tienen tanta importancia o más que el propio del túnel, y por ello, se debe empezar por el establecimiento de unos criterios de proyecto basados en la geometría, la economía, el drenaje, las estructuras, los cruces con otros medios de transporte, e incluso la estética. Esta parte del trabajo debe hacerse con un conocimiento real y global de la geología, la orografía y el urbanismo de la zona, no debe rechazarse ninguna alternativa con fáciles prejuicios pues a veces nos encontraremos con centenares de posibles opciones, de las cuales deberemos elegir la más conveniente.⁶⁹

En los túneles hay que distinguir dos fases bien diferenciadas: la construcción, y la explotación y conservación. Dentro de la indispensable seguridad y calidad que precisa toda obra subterránea, la construcción es independiente del uso que se vaya a dar al túnel. Por el contrario, la explotación y conservación dependen del usuario.

Un primer grado de dificultad se presenta durante el proceso constructivo del túnel, la excavación, el ingreso de personal y maquinaria, proceso de entibado, revestimiento, etc., todas estas actividades son de alto riesgo y presentan peligros comunes sea cual sea el propósito del túnel.

Un segundo grado de dificultad encontramos cuando la obra ha sido concluida y el usuario utiliza ciertos elementos en movimiento dentro del túnel e incluso estructuras auxiliares como cintas transportadoras, ferrocarriles mineros o de mercancías, transporte por cable, etc.

⁶⁹ Cfr. LINARES SANCHEZ Antonio, V.V.A.A., “Túneles y Obras Subterráneas”, pág. 8,9,10, Editores Técnicos Asociados, España 1972

Mayor dificultad representa un usuario que produzca desgaste del propio revestimiento del túnel o en su defecto de la galería, tales como agua potable, aguas negras de poblaciones o industrias, aire a gran velocidad, etc. En todos estos casos, las personas solamente entran en el túnel para su vigilancia y conservación.⁷⁰

1.5. Clasificación de túneles

La utilización de las obras subterráneas puede ser muy variada dependiendo de las necesidades y prioridades que el ser humano requiera, es por esta razón que clasificaremos a los túneles de acuerdo a las actividades o usos para los cuales se los construye, pues tanto en el aspecto constructivo como en el diseño y ubicación cada túnel varía de acuerdo al uso, de esta manera tenemos:

1.5.1. Túneles de Transporte

Este tipo de túneles son aquellos diseñados para facilitar la comunicación entre distintos lugares a través de diversos tipos de transportes. En la mayor complejidad y generalidad del conjunto construcción – explotación – conservación se encuentran los túneles para el transporte de personas y mercancías ya sea por carretera o largos trazados de vías que cruzan una determinada topografía, por esta razón encontramos dentro de esta clasificación todos aquellos túneles construidos para medios de transporte como vehículos a motor marinos y terrestres, tráfico ferroviario, y aquellos túneles utilizados como medio de comunicación entre un punto y otro siendo ésta de modo peatonal o mediante cualquier medio de transporte que no utilice motor (bicicletas, triciclos, etc.).

No siempre los medios de transporte que utilicen este tipo de túneles llevarán pasajeros en su interior, pues en muchos países del mundo se utilizan estos medios para transportar alimentos, animales e incluso vegetación.

⁷⁰ Cfr. LINARES SANCHEZ Antonio, V.V.A.A., “Túneles y Obras Subterráneas”, pág.6, Editores Técnicos Asociados, España 1972

Otro tipo de túneles de transporte son aquellos utilizados para la extracción del material en la explotación de minas subterráneas, donde la mayor parte del trayecto se realiza a través de pequeños vagones siguiendo una línea ferroviaria, en algunos países, bastante primitiva. Por otro lado encontramos muchos transportes metropolitanos, sobre todo en ciudades de gran desarrollo como New York, donde el trazado contempla varios túneles ferroviarios a diversas profundidades, alcanzando una verdadera ciudad subterránea llena de túneles y trenes que transportan millones de pasajeros diariamente.

1.5.1.1. Generalidades Constructivas

Los túneles de transporte utilizan para su trazado y construcción redes diseñadas considerando tres aspectos: la geometría, la resistencia y la capacidad. En la práctica, el diseño de transporte centra sus miras en tomar los diseños geométricos y definir su ancho, número de carriles, vías o diámetro. Su producto es tomado por el especialista en pavimentos, rieles o túneles y convertido en espesores de calzada, balasto, vigas o paredes de recubrimiento. El ingeniero de transporte es también responsable de definir el funcionamiento del sistema considerando el tiempo. Por ejemplo El estudio del proyecto de un túnel para autopista (Fig. 1.30) viene determinado principalmente por dos factores: las exigencias del trazado y la naturaleza del macizo que se tendrá que atravesar. En realidad, será necesario buscar la solución más eficaz en relación con los costes de construcción, de entretenimiento y de explotación de toda la obra en las diversas alternativas prácticas del trazado.

La geometría del trazado de un túnel especialmente de transporte no solo debe quedar dentro de las condiciones fijadas para todo el itinerario, sino que debe ser muy generosa en cuanto a: rasantes interiores en el caso de que este sea para carretera o ferrocarril ya que sería ideal que quedarán rampas entre el 0,3 y el 1%.

*Túnel para
tráfico liviano,
vía rápida.*



Figura 1.30

Encontramos a los túneles ferroviarios y vehiculares como los casos más comunes de construcción de túneles. En el primer caso, con tracción eléctrica o aun diesel, no se plantea la necesidad de ventilación adicional, y desde el punto de vista estético la oscuridad del túnel y la velocidad e iluminación del tren no hacen necesario un cuidado especial de suelo, paredes y techo. En el segundo caso, la circulación automóvil contamina el ambiente con sus tubos de escape de tal manera, que a partir de una cierta concentración se necesita ventilación artificial. Por otra parte, la seguridad y tranquilidad de los usuarios ante la iniciativa de tantos conductores precisa de una buena iluminación, señalización y previsión de accidentes. Además, la buena iluminación del suelo, paredes y techo obliga a una calidad en su revestimiento, ausencia de filtraciones y goteras, y limpieza de todo ello.⁷¹

⁷¹ Cfr. García, Luisa. “Obras Subterráneas; Riesgos para la Salud”. Internet. <http://www.arqhys.com/contenidos/subterraneas-obras.html>. Acceso: octubre 2009 ,
Cfr. Linares Sánchez, Antonio. “Túneles y Obras Subterráneas”. Internet <http://books.google.com.ec/books?id=TXevPSBtQX4C&printsec=frontcover&dq=t%C3%B1eles+y+obras+subterr>. Acceso: agosto 2009

1.5.2. Túneles de Conducción

Este tipo de túneles, como su nombre lo indica, son aquellos diseñados para conducir líquidos, productos e incluso cables de comunicaciones subterráneamente, es por esta razón que la mayoría de sus diseños están enfocados a trabajos con tubería por la cual transitan los productos a diferentes presiones.

Otro de los objetivos de los túneles de conducción es unir cuencas hidrográficas vecinas, para transportar agua para consumo, para riego, para centrales hidroeléctricas o como cloacas, atravesando elevaciones topográficas importantes.

Dentro de los túneles de conducción encontramos la siguiente clasificación importante:

1.5.2.1. Túneles para Alcantarillado

Los túneles hechos para alcantarillado son aquellos utilizados para la recepción de grandes caudales, ya sean de aguas servidas, aguas lluvias o sistemas combinados que son los que reúnen aguas servidas y aguas lluvias. Las dimensiones del túnel dependerán del caudal que éste receptorá, y su recubrimiento se lo realizará dependiendo de las exigencias a las cuales este sometido, ya que las aguas pueden tener un alto grado de agresividad en contra del hormigón, en donde él mismo requeriría una gran resistencia o si es necesario un recubrimiento especial. Para ello la obra de túneles de alcantarillado se complementa con la realización de sistemas de menor dimensión que recolectan los pequeños caudales provenientes de las viviendas o el ambiente y que regularmente se los construye subterráneamente aunque podemos encontrar otros a cielo abierto o por medio de zanjas. Dicho sistema debe poseer un mínimo de pendiente del 2% como base de diseño, caso contrario se tomarán los requerimientos que se necesiten en campo a fin de que no exista empozamiento o taponamiento de la red.

Se denomina red de alcantarillado al sistema de estructuras y tuberías usadas para la evacuación de aguas residuales desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se disponen o tratan. Estas aguas pueden ser aguas servidas en cuyo caso el

alcantarillado toma el nombre de alcantarillado sanitario, o a su vez pueden ser aguas de lluvia en cuyo caso el alcantarillado se llamará alcantarillado pluvial.

a. Diferencia entre el sistema de alcantarillado sanitario y pluvial:

- **Sanitario:** Transporta aguas negras, es decir aguas servidas o sucias. Dentro del perímetro urbano todas las cuadras tienen una tubería, de todas las edificaciones sale una tubería que se conecta al sistema de drenaje.
- **Pluvial:** Transporta aguas lluvias y en muchos casos aguas de riego. En el perímetro urbano no todas las cuadras tienen que tener una tubería, no es necesario que todas las edificaciones se conecten al sistema de drenaje.
- **Semejanzas:** mediante ambos sistemas se debe procurar dar tratamiento al tipo de agua a fin de reciclar y evitar contaminación. La configuración del túnel es prácticamente similar, las medidas cambian de acuerdo al caudal. Poseen registros o pozos de revisión.

Registro o Pozo de Revisión.- Están hechos de hormigón, facilitan la inspección de tuberías, la limpieza, mantenimiento y reparación de salideros. Se utilizan cuando hay cambios de dirección, cruces de calles, cambio de diámetros, cambio de pendientes o tramos muy largos, se colocan cada cierto número de metros en dependencia del diámetro de la tubería.

b. Materiales

Un análisis más detallado de los materiales a considerar en un alcantarillado, permite distinguir dentro de los mismos, dos grupos bien diferenciados. Un grupo está constituido por productos sin forma, que engloban todos aquellos materiales que actúan como materia prima en el proceso constructivo, pasando a constituir parte de las redes únicamente después de quedar situados en obra. Otro grupo, está

representado por materiales con forma, que tienen antes de la fase de construcción una determinada geometría y naturaleza.

b.1) Materiales sin forma.- algunos de los materiales sin forma pueden ser los siguientes: Cantos, bloques de hormigón vibrado, ladrillos, cerámicos, macizos de Resistencia Característica $\geq 100 \text{ Kg/cm}^2$

- **Cementos:** Portland Puzolánicos. Deben cumplir con el Pliego de Prescripciones técnicas generales para la recepción de cementos RO - 75; BOE, 26 y 29 de Agosto de 1975.
- **Hormigones:** En masa $R \geq 150 \text{ Kg./cm.}^2$; armado $R \geq 200 \text{ Kg./cm.}^2$.
R=resistencia

Este tipo de materiales son los utilizados para la construcción de galerías y túneles de alcantarillado ya que éstos poseen grandes dimensiones y no es posible la construcción en serie de dichas formas, las mismas que son determinadas de acuerdo al estudio de suelos, y el nivel de costos para la obra.

b.2) Materiales con Forma.- son todos aquellos tubos, piezas y accesorios que integran las redes de saneamiento como:

- Tubos y accesorios de gres.
- Tubos de hormigón en masa, armados y pretensados. (diámetro grande.)
- Tubos y accesorios de fibrocemento. (diámetro pequeño)
- Tuberías de barro vitrificado (diámetro pequeño)
- Los tubos y accesorios de fundición dúctil
- Tuberías plásticas Ej.: PVC, Polietileno (diámetro variado)

Estas últimas son las más usadas, en lo referente a los sistemas de redes de alcantarillado, para caudales de recolección.

c. Técnica de construcción

Se excava el suelo verticalmente como una zanja grande en forma de embudo para que no haya desprendimiento del suelo, en el fondo se deposita un lecho de arena el cual funciona como apoyo a las tuberías. Luego se rellena con un suelo seleccionado sin piedras alrededor de la tubería y más cercano a la superficie se encuentra una capa de tierra. Las pendientes de las tuberías están calculadas para lograr la capacidad de auto limpieza. Una alcantarilla es una construcción que permite el drenaje transversal de las aguas superficiales bajo otra infraestructura, como un camino, carretera o vía férrea. Otra forma de construcción es mediante la perforación horizontal del suelo entibando tramo a tramo a fin de evitar derrumbes y finalmente dando el recubrimiento deseado, normalmente con hormigón anticorrosivo resistente a medios salinos y químicos. Históricamente se construían con ladrillo (formando bóveda) o mediante lajas de piedra en dintel. Actualmente lo más habitual es emplear para su construcción, hasta 5 m² de sección, tuberías de distintos materiales; siendo los más habituales para drenaje:

- El hormigón, en masa o armado.
- El fibrocemento (en desuso reciente en muchos países por los problemas de asbestosis que podría generar).
- La chapa de acero, ondulada para dotarla de inercia y galvanizada para evitar su corrosión.
- El poliéster reforzado con fibra de vidrio.
- Otros materiales plásticos, como el policloruro de vinilo, el polipropileno o el polietileno, en tuberías de paredes macizas o estructuradas.

Las alcantarillas mayores, a partir de los 2 m² de sección, se pueden construir in situ, mediante hormigón armado, o bien con soluciones prefabricadas como Marcos de hormigón armado que no son sino arcos prefabricados de hormigón armado o

pretensado, y/o arcos de chapa ondulada y galvanizada, los cuales terminan conformando las galerías.⁷²

1.5.2.2. Túneles para Red de Agua Potable

El túnel o la galería (según sean sus dimensiones) para red de agua potable, usualmente conocido como acueducto (del latín *aquae ductus* "conducto de agua") y en el cual es común la instalación de tuberías, normalmente de acero inoxidable o revestidas con pinturas que evitan la corrosión, es un sistema o conjunto de sistemas acoplados que permite transportar agua en forma de flujo continuo desde un lugar en el que ésta sea accesible en la naturaleza hasta un punto de consumo distante.

a. Materiales

Los materiales utilizados para la construcción de redes de agua potable no difieren de aquellos utilizados en redes de alcantarillado, pues estos dependerán del tipo de terreno, medio en el que se trabaje (ambientes corrosivos, salinos, etc.), tipo de construcción, etc. Sin embargo la utilización de tuberías galvanizadas, PVC, prefabricadas de Hormigón, cajas, cisternas, válvulas, así como recubrimientos con pinturas anticorrosivas, y en los casos de galerías utilización de cerchas, entibados, y hormigones de buen tratamiento y resistencia, forman parte importante del tipo de materiales utilizados para conformar redes de agua potable.

b. Sistemas Constructivos

Cualquier asentamiento humano, por pequeño que sea, necesita disponer de un sistema de aprovisionamiento de agua que satisfaga sus necesidades vitales. La solución más elemental consiste en dotar a la población del agua proveniente de un río o manantial más cercano, desde donde se acarrea el agua a los puntos de

⁷² Cfr. Dotres Fallat, Maryla. Fdez de Alaiza Amador, Silvia. "Sistemas de Alcantarillado". Internet. <http://www.arqhys.com/construccion/sistemas-alcantarillado.html>. Acceso: noviembre 2009.

consumo, mediante zanjias, tuberías, túneles e incluso canales elevados. Otra solución consiste en excavar pozos dentro o fuera de la zona habitada o construir aljibes (depósitos destinados a guardar agua procedente de la lluvia, normalmente subterráneos total o parcialmente).

Sin embargo cuando el poblamiento alcanza la categoría de auténtica ciudad, se hacen necesarios sistemas de conducción que canalicen el agua a los puntos más adecuados del entorno y la aproximen al lugar donde se ha establecido la población. Es aquí donde la construcción de galerías para la conducción de aguas, o en su defecto para la recolección de aguas subterráneas que posteriormente serán transportadas a depósitos de potabilización y/o distribución, se presentan como una de las mejores alternativas debido a que la excavación cruza obstáculos manteniendo las pendientes evitando incomodar el desarrollo urbanístico de la ciudad.

Ésta obras relativamente pequeñas en sus dimensiones (dependiendo del caudal a ser transportado) requieren revestimientos exactos para las velocidades de los caudales a ser transportados y evitar el desgaste del hormigón especialmente el ubicado en la solera, los mismos que son controlados bajo regulares mantenimientos como lo disponga el proyectista o constructor en las recomendaciones. De igual forma el diseño será preponderante para conocer si la galería trabajara a presión o con nivel libre con respecto al flujo de agua.

Para un diseño de un sistema de red de agua potable se tomarán en cuenta varios factores como: el punto de recepción para la aportación de agua potable, cisternas, cajas de válvulas, coeficientes de fricción (materiales), gasto medio diario, gasto máximo diario, gasto máximo horario, demanda actual, demanda proyectada, población de proyecto, tomas domiciliarias, etc., pero estos son temas de diseño para redes de agua potable que se pueden encontrar en diferentes bibliografías.

1.6. Acuífero

Se denomina Acuífero a las capas o formaciones constituidas por materiales geológicos permeables normalmente empapados por agua subterránea, podemos decir que un acuífero (Fig. 1.31) es aquella área bajo la superficie de la tierra donde el agua de la superficie, por ejemplo el agua lluvia, percola y se almacena. A veces se mueve lentamente al océano por flujos subterráneos. Una formación acuífera viene definida por una base estancadora (muro) y por un techo, que puede ser libre, semipermeable o impermeable; por lo que son los continentes de las masas de agua subterránea.

*Esquema de
Acuífero Libre
y Acuífero
confinado.*



Figura 1.31

Si se excava o perfora la tierra para conectar con un acuífero, a través de pozos y/o galerías filtrantes se puede explotar esta masa de agua para consumo humano, agrícola o industrial. La capa freática es el acuífero subterráneo que se encuentra a poca profundidad relativa y que tradicionalmente abastece los pozos de agua potable. Es, obviamente, la capa más expuesta a la contaminación procedente de la superficie.

En lugares alejados de ríos, lagos o mares, estos acuíferos son a menudo la única fuente de agua disponible, especialmente en extensas áreas como los desiertos de Atacama, Kalahari y Sahara. A veces esta agua sale a la superficie por sí sola a través de encharcamientos, manantiales, (oasis, en los desiertos), afloramientos, rezumes,

aguas termales, o géiseres. La zona del subsuelo en la que los huecos están llenos de agua se llama zona saturada. El nivel superior de la zona freática a presión atmosférica, se conoce como nivel freático. El nivel freático puede encontrarse a muy diferentes profundidades, dependiendo de las circunstancias geológicas y climáticas, desde sólo unos centímetros hasta decenas de metros por debajo de la superficie, en la mayoría de los casos la profundidad varía con las circunstancias meteorológicas de las que depende la recarga de los acuíferos. El nivel freático no es horizontal, a diferencia del nivel superior de los mares o lagos, sino que es irregular, con pendiente monótonamente decreciente desde el nivel fijo superior al nivel fijo inferior.

Por encima de la zona saturada, desde el nivel freático hasta la superficie, se encuentra la zona no saturada o zona vadosa, en la que la circulación es principalmente vertical, representada por la percolación, que es la circulación movida por la gravedad, del agua de infiltración.

Cuando el nivel freático no se encuentra a la presión atmosférica, sino que la supera, se dice que el acuífero no es libre, sino cautivo o confinado; en este caso, cuando realizamos un pozo o sondeo, el agua tiende a ascender traspasando el techo (semipermeable o impermeable) del acuífero. En estas únicas condiciones, el nivel freático pasa a denominarse entonces nivel piezométrico; el cual podría llegar hasta la superficie del terreno o incluso superarla, provocando excepcionalmente lo que se conoce como surgencia o pozo artesianos. Pero por lo general, la mayoría de los pozos de acuíferos cautivos no son artesianos, sino que el agua asciende por el pozo, sin llegar a la superficie; pero que es ésta la explicación física a este fenómeno. Muy raras veces, los niveles piezométricos pueden incluso descender dentro del pozo, fenómeno que se explica, por la existencia de dos acuíferos: un acuífero superior (confinado o no) pero a mayor presión, que recarga el existente inferior, proceso singular que habríamos provocado nosotros mismos, a través de la conexión hidráulica por el pozo.

1.6.1. Tipos de Acuíferos

Existen dos tipos de Acuíferos: Acuíferos Libres y Acuíferos Confinados

Acuíferos libres son aquellos en los que el terreno rocoso permeable se encuentra dispuesto bajo la superficie, y en donde se acumula y por donde circula el agua subterránea. En un acuífero "libre" se distinguen:

Una zona de saturación, que es la situada encima de la capa impermeable, donde el agua rellena completamente los poros de las rocas. El límite superior de esta zona, que lo separa de la zona vadosa o de aireación, es el nivel freático y varía según las circunstancias: descendiendo en épocas secas, cuando el acuífero no se recarga o lo hace a un ritmo más lento que su descarga; y ascendiendo, en épocas húmedas.

Una zona de aireación o vadosa, es el espacio comprendido entre el nivel freático y la superficie, donde no todos los poros están llenos de agua.

Acuíferos Cativos o Confinados son aquellos en los que la roca permeable donde se acumula el agua se localiza entre dos capas impermeables, que puede tener forma de U o no. En este caso, el agua se encuentra sometida a una presión mayor que la atmosférica, y si se perfora la capa superior, fluye como un surtidor, tipo pozo artesiano.

Por lo que, perforando el terreno hasta la zona de saturación es como se obtiene un pozo ordinario, mientras que, como vimos, la formación de un manantial surgente o pozo artesiano se produce en un acuífero cautivo, cuando el nivel piezométrico "virtual" aflora en la superficie y las aguas surgen al exterior. Para mejor explicación observar la Fig. 1.32 donde se muestra los 2 tipos de acuífero y los tipos de pozos.⁷³

⁷³ Cfr. Colaboradores de Wikipedia. "Agua subterránea". Internet. http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_subterr%C3%A1nea. Acceso: agosto 2009, Cfr. García Martínó, Andrés R. Lugo, Ariel. E. Tomado de: Cartilla del agua para Puerto Rico. 1996. Vol. 10 Núm. 1-3. pp. 35-3 "Acuífero". Internet. <http://ctp.uprm.edu/jobos/educacion/acuiferos.html>. Acceso: septiembre 2009.

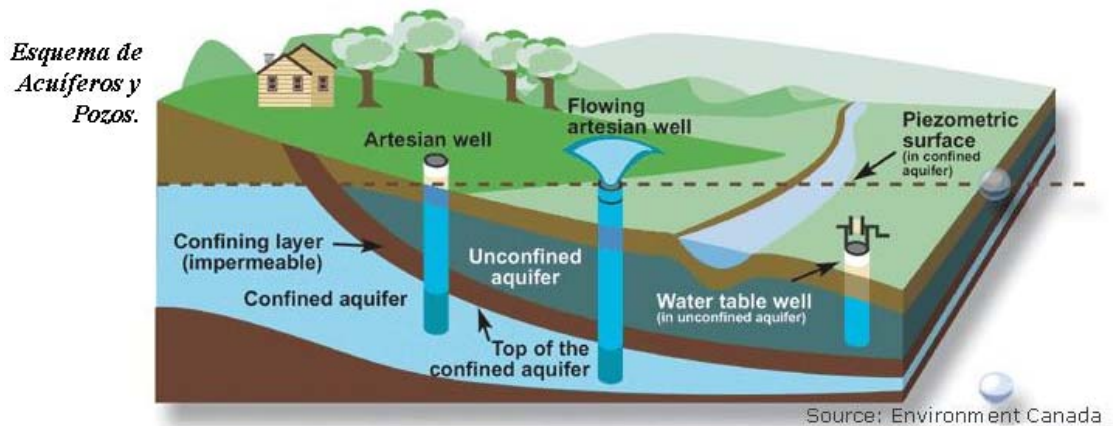


Figura 1.32

1.7. Galería de exploración

Por definición en términos constructivos una galería es un pasillo o camino subterráneo con gran cantidad de columnas y vigas que sirven como soporte evitando su colapso.

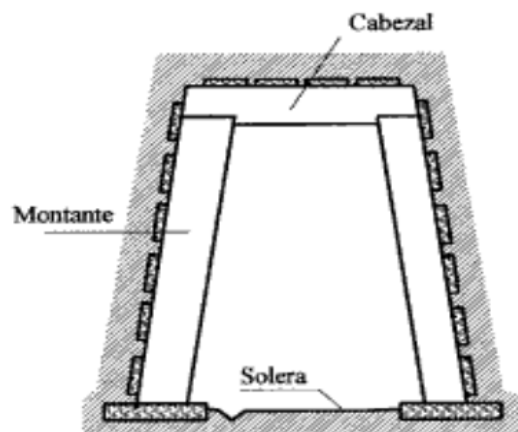
Las galerías son usadas con varias finalidades como por ejemplo: la preparación de túneles (obras de gran dimensión), exploración, acceso del personal a las exploraciones, o frentes de trabajo, transporte del material, del mineral, caudales, etc. En ellas se instalan vías, bandas transportadoras, conducciones, cables eléctricos, tuberías, etc.

Una Galería de Exploración es un túnel de menores dimensiones construido mediante procesos de excavación a fin de captar las aguas subterráneas, ya sean filtraciones internas de aguas freáticas o grandes reservorios subterráneos como lagunas bajo tierra, y conducirlos a sus puntos de almacenamiento a fin de ser procesadas y distribuidas a una determinada población

Por su funcionamiento constructivo y servicio para el que son diseñadas, las galerías de exploración poseen diámetros menores a 2 metros o secciones inferiores a 13 m², sin embargo dependiendo de los caudales a transportar o la magnitud de aguas subterráneas que se recolecten las dimensiones pueden variar.

1.7.1. Detalles Constructivos de Galería de Exploración

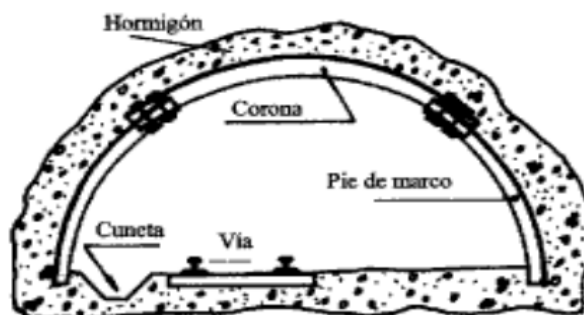
Las galerías, comúnmente y debido a presiones del terreno, son fortificadas mediante entibación. Antiguamente todos los soportes eran de madera, contruidos por dos montantes que descansan sobre unas soleras y coronados por un cabezal (Fig. 1.33). Actualmente se usan soportes metálicos que son más seguros y estéticos.



Galería entibada

Figura 1.33

Cuando las galerías deben estar preservadas de forma permanente, como los principales accesos, entonces se enmarcan con hierros perfilados, colocados a pocos metros y sobre los marcos que construye una corona de hormigón (Fig. 1.34)



Galería enmarcada y hormigonada

Figura 1.34

La evacuación de las aguas durante la construcción se las hace mediante canales de sección semicircular, rectangular o de trapecio, de anchura adecuada y con una pendiente muy regular.

Como ya hemos analizado la forma en la que son construidas las galerías de exploración varía de acuerdo al tipo de suelo en el que se realice la excavación, el diseño requerido y la función que vayan a prestar, es así que tenemos galerías de forma burdamente rectangular, en forma de arco, combinadas (es decir mitad rectangular y mitad circular) o totalmente circular cuando son necesarios soportes artificiales. La sección transversal varía entre 4 y 20 m², siendo la más normal de unos 12 a 13 m².

Otro medio para sostener el techo de las galerías que se viene utilizando con éxito, consiste en introducir en el techo unos pernos metálicos, fabricados de forma redonda liso o corrugado de 18 a 25 mm. Con longitudes que varían entre 0,50 y 15 m. La cola del perno se abre y aprieta y en el otro extremo lleva un placa con una tuerca contra el techo de la galería (Fig. 1.35) Últimamente se ha suprimido la cuña sobre el final del perno, dejándolo simplemente cortado en bisel y empleando para su fijación unas cargas de resina, que dan un excelente resultado (Fig. 1.35).

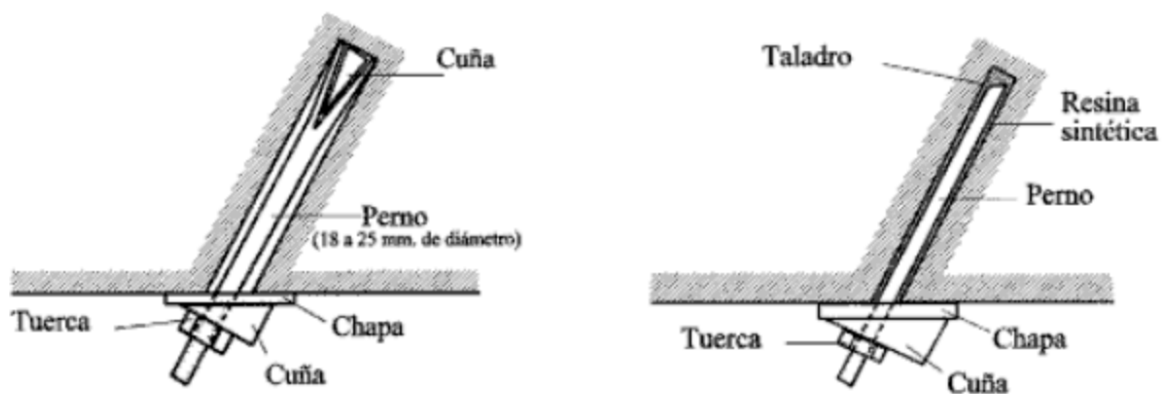


Figura 1.35

La carga de resina está constituida por una masa pastosa envasada en una envoltura plástica y un reactivo acelerante colocado en un tubo de vidrio incorporado en la primera carga. El efecto adhesivo de la carga se realiza al ponerse en contacto el reactivo con el cuerpo básico o masilla dando origen a una reacción térmica que activa el fraguado de la resina.

Para realizar el anclaje se perfora en el techo con un diámetro algo mayor que el perno. A continuación se sitúa en el fondo del taladro una o más cargas cuyo volumen sea suficiente para rellenar la longitud necesaria entre la perforación y el perno. Se introduce el perno en el agujero con un movimiento rotativo no inferior a 150 r.p.m. rompiendo el envase de la carga. El fraguado se efectúa inmediatamente y después de algunos minutos el perno tiene una resistencia al deslizamiento de alrededor de 5 toneladas.

Estos métodos de sustentación para galerías se denominan, según el tipo de anclaje: empernado, recamado, o simplemente entibación con tirantes.⁷⁴

1.8. Introducción al Proceso Constructivo

El proceso constructivo es aquel mediante el cual a partir de la ejecución de una serie de actividades se hace una obra material de desarrollo progresivo.

1.8.1. Consideraciones Constructivas

Subsiste la dificultad práctica de especificar un esquema estático que se ajuste completamente al comportamiento real de la estructura de túneles; esto es debido a la incertidumbre en la evaluación de la influencia, sobre el comportamiento estático, de las numerosas variables en juego: características geomecánicas de los terrenos,

⁷⁴ Cfr. Estruch Serra, Miquel. Gómez, Ana Tapia. “Topografía subterránea para minería y obras”. Internet.
<http://books.google.com.ec/books?id=YUsbzGmMEogC&pg=PA27&lpg=PA27&dq=como+se+const+ruye+una+Galer>. Acceso: diciembre 2009.

modalidades de realización del revestimiento y técnicas de sostenimiento de la excavación.⁷⁵

1.8.2. Investigación Geotécnica

Otro punto esencial que cualquier proyecto de túnel o galería debe poseer es que comience con una investigación sobre las condiciones del terreno. Los resultados de la investigación nos permitirán saber cuál es la maquinaria y los métodos de excavación y sostenimiento a realizar, y podrán reducir los riesgos de encontrar condiciones desconocidas. En los primeros estudios, las alineaciones horizontales y verticales serán optimizadas para aprovechar las mejores condiciones de agua y suelo.⁷⁶

1.8.3. Parámetros referentes a la geología

Por los estudios geológicos se tendrá conocimientos de los terrenos a atravesar; si sobre el conjunto del trazado se encuentran más terrenos diaclasados y muy fracturados, así como secciones esquistas susceptibles de engendrar fuertes presiones, la forma de la sección que mejor se adapta a tal dificultad, a la heterogeneidad, y a las presiones geotécnicas, es casi circular. Una buena solución es proyectar una bóveda clásica de tres centros que a la vez da una cierta garantía para sostener la roca y permite un hormigonado simple y uniforme a todo lo largo de las obras, lo cual es muy importante.⁷⁷

⁷⁵ Cfr. Linares Sánchez, Antonio. “Túneles y Obras Subterráneas”. Internet <http://books.google.com.ec/books?id=TXevPSBtQX4C&printsec=frontcover&dq=t%C3%BAneles+y+obras+subterr>. Acceso: agosto 2009

⁷⁶ Cfr. Colaboradores de Wikipedia. “Túnel”. Internet. <http://es.wikipedia.org/wiki/T%C3%BAnel>. Acceso: octubre 2009.

⁷⁷ Cfr. LINARES SANCHEZ Antonio, “Túneles y Obras Subterráneas”, pág. 29, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1972

1.8.4. Estimación de Cargas

Según el estado del macizo que se tiene en la zona que se verá afectada por el túnel, se pueden estimar cargas y tener el tipo de revestimiento para cada perfil y al comenzar a excavar se sabrá qué tipo de sección es y que revestimiento le corresponderá.

Se puede también hacer uso del estudio geosísmico, por medio de explosiones y reflejos de la onda de explosión dándose cuenta del efecto que se tendrá en el macizo, la zona afectada se llamará zona descomprimida.

Las cargas que van a afectar el diseño son básicamente las producidas por la roca, las producidas por las fuerzas hidráulicas interiores y las fuerzas producidas por las hidrostáticas externas; es de alta importancia saber que en donde se crea existirá un mayor esfuerzo sobre el túnel a la hora de hacer el revestimiento se debe pensar en un determinado tipo de blindaje, para asegurar así el cumplimiento y la seguridad en el túnel.⁷⁸

1.8.5. Características Geométricas

El perfil longitudinal de un túnel o galería de montaña puede venir determinado por exigencias topográficas que obliguen a una predeterminación de las bocas de acceso. Esto pueda dar lugar a pendientes excesivas no deseables, pero inevitables en ciertos casos particulares.

En el caso de que se pueda fijar la pendiente del túnel por carencia de exigencia espacial de situación de las bocas de acceso, debe dotarse al perfil longitudinal de pendientes mínimas de 0,25 % a partir del centro del túnel o de la galería hacia las dos bocas. Esta pendiente es necesaria para la evacuación de las aguas, tanto las que se recojan por los drenes procedentes de la filtración del terreno como la procedente de la limpieza del suelo firme y paredes.

⁷⁸ Cfr. Colaboradores de la Escuela de Ingeniería de Antioquia. “Túneles y pozos Hidráulicos”. Internet.
http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/tuneles/tuneles_y_pozos_hidraulicos.html. Acceso: agosto 2009.

Si se temiese, por cualquier circunstancia, que las filtraciones pudieran dar lugar a caudales cuantiosos, se deberá forzar la pendiente de tal manera que facilite la evacuación de las aguas con secciones reducidas de los afluentes.⁷⁹

1.8.6. Metodología de Construcción.

La construcción de un túnel o de una galería es siempre un problema complejo que exige una metodología cuidadosa del siguiente contenido que se analizará superficialmente a continuación:

1.8.6.1. Estudio Geológico.

El estudio geológico sirve para definir las características de los terrenos a atravesar con el túnel, y, especialmente, las peculiaridades litoestratigráficas e hidrogeológicas relacionadas con la estabilidad mecánica de las rocas a perforar.

Para la presente disertación y debido a las especificaciones presentadas por la empresa metropolitana de alcantarillado y agua potable de Quito, hacemos hincapié en el estudio geológico desde el punto de vista de análisis de BIENIAWSKI que es la siguiente:

La clasificación de BIENIAWSKI ha dividido siempre el índice RMR dentro de 5 clases (I, II, III, IV y V) con las denominaciones desde Muy buena a Muy mala. Cada clase cubre un intervalo de 20 puntos.

En la práctica las clases no son equiparables entre sí. Por ello proponemos la sustitución del sistema de 5 clases por el de 10 Subclases. Cada subclase tiene un rango de 10 puntos y para mantener un cierto grado de correlación con la división anterior se denomina con el numeral romano de BIENIAWSKI (I, II, III, IV, V) seguido de una letra: a para la mitad superior y b para la mitad inferior de cada clase. Estas modificaciones están ya en uso en el sistema SMR para taludes. La Tabla 1.14

⁷⁹ Cfr. Linares Sánchez, Antonio. “Túneles y Obras Subterráneas”. Internet <http://books.google.com.ec/books?id=TXevPSBtQX4C&printsec=frontcover&dq=t%C3%B3neles+y+obras+subterr>. Acceso: agosto 2009

recoge la comparación entre las clases de BIENIASKI y las subclases propuestas con la denominación de cada una.

CLASIFICACIÓN MODIFICADA DE BIENIAWSKI EN SUBCLASES Y CLASES				
RMR	Modificado		Bieniaswki original	
	Clase	Denominación	Denominación	Clase
100	Ia	Excelente	Muy buena	I
90	Ib	Muy buena		
80	IIa	Buena a muy buena	Buena	II
70	IIb	Buena a media		
60	IIIa	Media a buena	Media	III
50	IIIb	Media a mala		
40	IVa	Mala a media	Mala	IV
30	IVb	Mala a muy mala		
20	Va	Muy mala	Muy mala	V
10	Vb	Pésima		

Tabla 1.14

Las clases Ia (excelente) a Vb (pésima), no aparecen prácticamente nunca.⁸⁰

⁸⁰ Cfr. GAVILANES Hernán, y ANDRADE Byron, “Introducción a la ingeniería de Túneles”, pág. 84, A.I.M.E., Quito –Ecuador 2004

1.8.6.2. *Clasificación convencional de las calidades de los terrenos a excavar y revestir.*

La clasificación convencional de las calidades mecánicas de los terrenos del trazado (fundamentalmente su estructura litológica, estratigráfica, tectónica e hidrológica) es necesaria porque la tendencia moderna a mecanizar al máximo los elementos de avance, exige una mayor precisión en la definición de las calidades intrínsecas y en la estimación de sus dificultades específicas, ya que precisamente la mecanización moderna, se concilia difícilmente con la serie de labores, más bien manuales, de entibación, refuerzo y estabilización, que exigen los terrenos flojos o de características mecánicas deficientes; y además porque las elevadas amortizaciones que motiva la maquinaria, prevista para grandes avances se hacen prohibitivas al reducirse o anularse los ritmos o rendimientos a obtener en los terrenos difíciles. Es por esta razón que con el suficiente conocimiento se podrán eliminar la mayor parte de los casos fortuitos e imprevistos y lograr realizar su trabajo, dentro del orden de magnitud del plazo propuesto y previsto.

En consecuencia, está justificado, que desde hace bastante tiempo se hayan venido clasificando los terrenos de una determinada obra subterránea, según clases o grados de calidad más o menos convencionales.

Es importante una clasificación convencional como la mencionada si se complementa con los diagramas de estabilidad de terrenos, deducidos por Lauffer en la observación de numerosos casos experimentales.⁸¹

Este tipo de diagramas experimentales, muy generalizado entre los constructores de túneles y galerías (especialmente entre los alemanes) se funda en que cualquier tipo de terreno, recién cortado según una bóveda de medio punto, puede aguantar un tiempo sin que se produzca su hundimiento. Este fenómeno es debido a que inicialmente la resistencia al corte de la mayor parte de los terrenos supera a las tensiones tangenciales en la zona de intradós de la excavación, retrasando su descomposición y consiguiente peligro de hundimiento.

⁸¹ Cfr. LINARES SANCHEZ Antonio, “Túneles y Obras Subterráneas”, pág. 18, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1972

Esta circunstancia nos permite disponer de un determinado tiempo o intervalo, dentro del cual hay que sostener el terreno antes que la zona próxima al hueco se descomprima y se derrumbe. El tiempo que dura dicho proceso puede oscilar entre márgenes amplios, pero siempre dependerá de las características mecánicas del terreno, principalmente de su cohesión, su ángulo de rozamiento interno y su grado de humedad, así como de las dimensiones geométricas del hueco, especialmente el ancho del avance y la profundidad sin proteger.⁸²

1.8.6.3. *Análisis mecánico del trazado de la obra subterránea.*

El análisis mecánico de los trazados necesita como base un estudio geológico y geotécnico que defina y dibuje: la zona de los terrenos bajo los cuales irá el túnel y un perfil longitudinal por el eje del túnel, con el pronóstico de los terrenos a encontrar a nivel de la rasante de los frentes de ataque de la excavación (litología, tectónica, potencia de capas, buzamientos, rumbos, etc.

Las clases de terrenos a excavar en el túnel se definen teniendo en cuenta las dificultades dependientes de sus características petrográficas y litográficas (composición química, potencia del paquete, etc.), de su disposición estratigráfica (rumbo de las capas, buzamiento, etc.) de su grado de detectonización (fracturación, despegue, milonitización, etc.) y de su saturación hídrica (embolsamiento, imbibición, etc.). Las longitudes de cada tipo de terreno se anotan en el perfil longitudinal en su correspondiente tajo. Una vez definidos los tipos de terreno y diferenciadas sus cualidades de estabilidad mecánicas se tiene las condiciones necesarias y suficientes para posibilitar la construcción del túnel.⁸³

⁸² Cfr. LINARES SANCHEZ Antonio, “Túneles y Obras Subterráneas”, pág. 19, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1972

⁸³ Ibid, pág. 22

1.8.6.4. Tipificación de los procesos de avance y consolidación.

La tipificación de los procesos de avance y consolidación del túnel es necesaria para evitar los imprevistos que se presentan muy desfavorablemente en el precio y en el plazo.

En este sentido los terrenos de las clases I y II, dentro de los diez que se hacen referencia de manera específica; por su bondad permitirían el avance a sección completa casi sin ningún esfuerzo. Pero los más frecuentes son los comprendidos entre las clases III y VII que permiten labores de avance más demoradas con refuerzo y consolidación tipificadas, ya que se ejecutan según un mismo proceso operatorio, que sólo varía con la separación lineal a que se colocan los refuerzos y con la profundidad de los anclajes.⁸⁴

1.8.6.5. Sistemas constructivos en las labores de excavación.

Los sistemas constructivos en las labores de excavación son función de numerosas variables y entran de lleno en el campo de acción del contratista especializado. Se debe exponer la necesidad de coordinar las operaciones de avance en excavación para que las labores que resulta necesario ejecutar sean siempre muy semejantes al ejecutarlas siguiendo un procedimiento de ciclos repetidos o de operaciones sistemáticas, que resulten fáciles de comprender, tanto para el personal en obra como para el personal de oficina, esto facilitará el control sobre los trabajos y ayudará a llevar ordenadamente el libro de obra.⁸⁵

1.8.6.6. Sistemas constructivos en la ejecución del revestimiento.

Los sistemas constructivos en la ejecución del revestimiento deben comprender tres labores claramente diferenciadas:

⁸⁴ Cfr. LINARES SANCHEZ Antonio, "Túneles y Obras Subterráneas", pág. 23, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1972

⁸⁵ Ibid, pág. 25

- a) Operación de impermeabilización y recogida de aguas.
- b) Revestimiento u hormigonado de los hastiales.
- c) Afirmado u hormigonado de solera.

Durante el proceso constructivo la iluminación de superficies lisas de techo y paredes denuncia las filtraciones, que no son admisibles, aunque sea por razones estéticas, y no de seguridad.

1.8.6.7. *Evaluación de los tiempos en los ciclos generales de avance y evaluación de los costos en función de los terrenos atravesados.*

La evaluación de tiempos en los ciclos generales de avance, y de los costes en función de los terrenos atravesados, es ya una aplicación numérica, y permite llegar a establecer los avances diarios para cada tipo de terreno, y su coste, ya que todas las labores están tipificadas y controladas.⁸⁶

1.8.6.8. *Programa de Construcción*

El programa de construcción o cronograma de actividades es la parte final de la metodología pero sin embargo la más importante, pues una vez analizados todos los puntos anteriores con sus respectivas referencias y estudios técnicos, se debe planear y programar cada trabajo de manera que entre ellos se complementen evitando cruces que entorpezcan el avance de la obra y retrasen la entrega o finalización de la misma. El desarrollar un correcto programa de construcción es de vital importancia pues mediante éste se puede analizar las necesidades, las fortalezas y el avance o retraso de la obra junto con sus causas, datos que nos ayudarán a mejorar el rendimiento y las falencias del trabajo.⁸⁷

⁸⁶ Cfr. LINARES SANCHEZ Antonio, V.V.A.A., “Túneles y Obras Subterráneas”, pág. 27, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1972

⁸⁷ Ibid, pag 28

1.8.7. Tipos de Revestimiento

Al momento de construir un túnel, los métodos tradicionales conservan todavía todo su valor y, con frecuencia, son los únicos que permiten resolver ciertas dificultades. Tienen la gran ventaja de permitir una fácil adaptación a las condiciones reales. Su campo de aplicación es vasto, desde el ataque rápido a plena sección, en roca o en terreno firme, hasta la progresión con prudencia, en sección dividida, con una o varias galerías de avance.

El planteamiento del proyecto de una galería o túnel está condicionado no sólo por la sección útil interior requerida y por la entidad del recubrimiento, sino también por el método previsto para proceder a la excavación y a la ejecución del revestimiento. El estudio del proyecto de un túnel para una galería o en sí para la mayoría de túneles viene determinado principalmente por dos factores: las exigencias del trazado y la naturaleza del macizo que se tendrá que atravesar. En realidad, será necesario buscar la solución más eficaz en relación con los costes de construcción, y de explotación de toda la obra en las diversas alternativas prácticas del trazado.⁸⁸

Otro problema que debe ser considerado es la situación de las bocas tanto por lo que atañe a la instalación de los equipos y maquinaria para la realización de la obra como en lo referente al transporte y eventual utilización del material procedente de la excavación.

El conocimiento exacto de la naturaleza geológica y geomecánica del macizo que debe atravesarse, es fundamental a fin de elegir los medios de construcción, las modalidades y la sucesión de las fases de trabajo, el tipo y forma de las secciones del revestimiento.

Como ya puede imaginarse y como también se ha demostrado en práctica, no todos los aspectos que intervienen en la realización pueden ser tomados en cuenta de una manera completa en la fase de proyecto y es necesario un cuidado constante durante el curso de los trabajos a fin de adaptar las modalidades de la excavación y las fases

⁸⁸ Cfr. JOGNA Luciano, V.V.A.A., "Túneles y Obras Subterráneas", pág. 99, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1972

de realización del revestimiento.⁸⁹ La ventaja es aún más importante cuando se apliquen tecnologías adecuadas que, inmediatamente después de la excavación, permiten evitar el proceso de descompresión de la roca y la consiguiente formación de cargas sobre la bóveda.⁹⁰ Se considera poder distinguir los siguientes tipos de revestimiento y de sección de túnel que difieren entre sí, bien por las modalidades ejecutivas, o bien por su comportamiento estático. Tendremos así:

1.8.7.1. Túneles con revestimiento de hormigón

Esos túneles se realizan siguiendo el concepto tradicional de construcción mediante excavación, cimbras metálicas de sostenimiento provisional y hormigonado de revestimiento definitivo.⁹¹

Las modalidades más comunes utilizadas en la construcción de túneles proyectados son:

- Abertura de la excavación por tramos de longitud limitada que, naturalmente, depende de las condiciones del terreno; normalmente con excavación de I Fase limitada a la bóveda y solamente en terrenos de mucha consistencia, a plena sección;
- Sostenimiento de la excavación mediante entibación constituida por cimbras metálicas suficientemente rígidas bloqueadas contra la pared de la excavación con cuñas de hormigón o metálicas (se considera necesario excluir el empleo de madera cuando se trata de obras de gran dimensión);
- Hormigonado del revestimiento portante, variando su distancia del frente de excavación según el tipo del terreno; a título de orientación diremos que no debe exceder, en ningún caso, de 10 a 15 m.

⁸⁹ Cfr. JOGNA Luciano, V.V.A.A., “Túneles y Obras Subterráneas”, pág. 100, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1972

⁹⁰ Ibid, pág. 102

⁹¹ Ibid, pág. 103

- Taponado definitivo con pasta de cemento de los eventuales huecos entre el revestimiento y la pared de la excavación.

La comprobación del contacto entre la roca y el revestimiento debe ser realizada de modo sistemático, ya que la existencia de huecos macroscópicos es muchas veces causa de lesiones que pueden evitarse fácilmente con rápidas inyecciones de relleno o taponado, sin necesidad de recurrir a un verdadero y apropiado tratamiento del terreno alrededor del perfil de la excavación.

Los revestimientos se han subdividido en cuatro tipos que difieren entre sí por el distinto espesor en la clave y en la base de los hastiales.⁹²

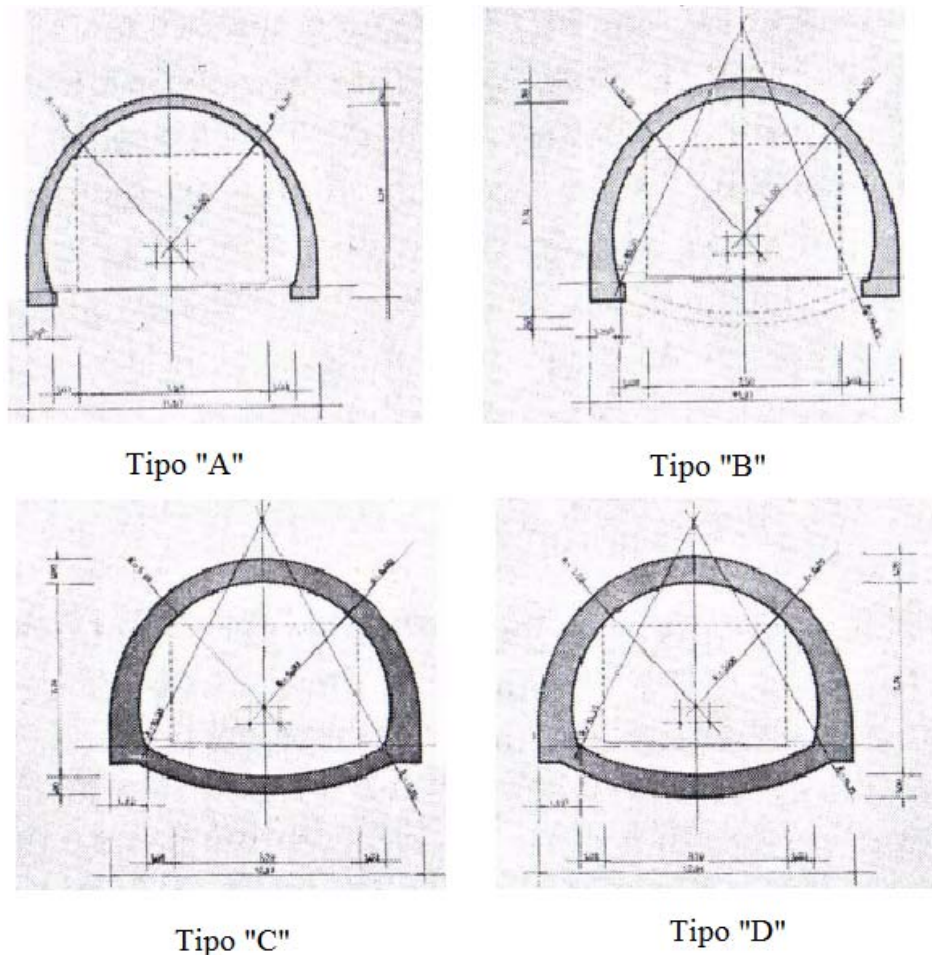


Figura 1.36

⁹² Cfr. JOGNA Luciano, V.V.A.A., "Túneles y Obras Subterráneas", pág. 104, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1972

Cada tipo proyectado en función de la carga que gravita sobre la bóveda y de los empujes laterales que se ejercen contra las paredes del revestimiento tiene un campo de utilización que depende, en general, tanto de las características geomecánicas del terreno, como de la altura del recubrimiento.

Desde el punto de vista estático, por las secciones previstas, podemos indicar un campo de validez que hace referencia a la clasificación de Terzaghi, válida para túneles a profundidades medias, reservando la comprobación de su validez estática en cada caso especial, como indicaremos enseguida.⁹³

a. Tipo A

Puede ser empleado para terrenos hasta la clase II de Terzaghi, a saber: roca dura estratificada o esquistosa.

Son compatibles cargas verticales sobre la bóveda de unas 8 t/m^3 con solicitaciones en el hormigón de unos 10 kg/cm^3 de tracción (altura de tierra que carga la bóveda $h=0$ a $0,5b$)

b. Tipo B

Puede ser empleado en tipos de terreno hasta de la clase IV de Terzaghi, a saber: roca fragmentada en bloques descoyuntados con discontinuidad de cualquier modo orientada, comparable desde el punto de vista mecánico a una arena gruesa sin cohesión (con ángulo de rozamiento $\rho = 30^\circ$).

Son compatibles cargas verticales sobre la bóveda de unas 40 t/m^2 con solicitaciones en el hormigón similares a las determinadas para el tipo A $ht =$ de $0,25$ a $0,35 (b+h)$

⁹³ Cfr. JOGNA Luciano, V.V.A.A., "Túneles y Obras Subterráneas", pág. 105, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1972

c. Tipo C

Puede ser empleado en los tipos de terreno hasta de la clase VI de Terzaghi, o sea: roca completamente fracturada, hasta las arenas sueltas. El ángulo de rozamiento interno es de unos 25° .

Son compatibles cargas verticales sobre la bóveda de unas 60 t/m^2 con solicitaciones de hormigón similares a las determinadas para los tipos precedentes $h_t = 1,10 \text{ a } 2,10 (b+h)$.⁹⁴

d. Tipo D

Puede ser empleado en los tipos de terreno hasta la Clase VII de Terzaghi, o sea: terrenos arcillosos no hinchables pero que dan empujes. Ángulo de rozamiento interno de unos 20° . Son compatibles cargas verticales sobre la bóveda de unas 90 t/m^2 , con solicitaciones del hormigón similares a las determinadas para los tipos precedentes $h_t = 1,10 \text{ a } 2,10 (b + h)$.

Los cuatro tipos tienen el hastial preparado para la eventual inserción del arco inferior, cuya oportunidad no está ligada solamente a motivos estrictamente estáticos; por ejemplo, la presencia de agua puede ser motivo suficiente para requerir la inserción en la estructura de un arco inferior, eventualmente de menor espesor, y aplazada respecto al momento en que se ejecute el revestimiento. Las condiciones que, en cambio, desde el punto de vista estático, requiere la adopción del arco inferior son: 1.- solicitaciones elevadas transmitidas por el hastial incompatibles con las cualidades mecánicas del terreno y 2.- empujes laterales elevados. Presentándose el caso, la comprobación de las solicitaciones bajo el hastial debe efectuarse, en todo caso, en función de las características geomecánicas del terreno.⁹⁵

⁹⁴ Cfr. JOGNA Luciano, V.V.A.A., "Túneles y Obras Subterráneas", pág. 106, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1972

⁹⁵ Ibid, pág. 107

1.8.7.2. Túneles con revestimiento de hormigón lanzado y subsiguiente complemento de la estructura con hormigón normal

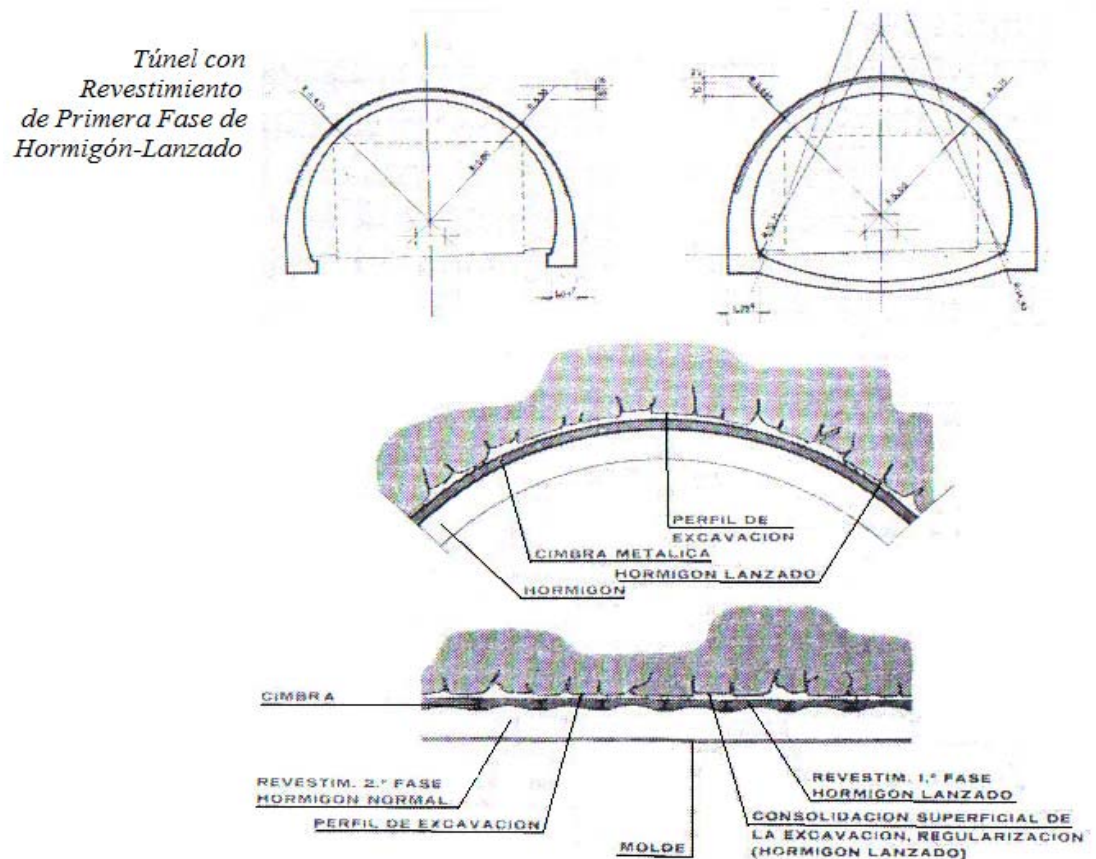


Figura 1.37

Como variante de los túneles realizados mediante cimbras y revestimiento de hormigón normal se ha recurrido con frecuencia a túneles construidos con revestimiento portante de I fase de hormigón lanzado y subsiguiente hormigonado normal en encofrados.⁹⁶ Normalmente, los revestimientos adoptados, al estar sin armar, no son aptos para soportar esfuerzos de tracción y por consiguiente es necesario adoptar una forma de sección tal que mantenga la curva de las presiones dentro del tercio central de la propia sección.

⁹⁶ Cfr. JOGNA Luciano, V.V.A.A., "Túneles y Obras Subterráneas", pág. 108, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1972

Es posible adoptar tecnologías que excluyan la formación de cargas de cedimiento o permitan por el contrario, una nueva consolidación del terreno todo alrededor de la excavación, mediante la formación de un anillo protector de terreno plastificado, por las cuales será posible formular las hipótesis de carga diferentes de las consideradas normales.

Entre éstas podemos, desde luego, incluir la tecnología que prevé la inmediata contención del terreno mediante hormigón lanzado de manera que forme un revestimiento importante, en la fase inicial.⁹⁷

La ejecución de ese tipo de túneles se lleva a cabo normalmente en dos fases principales:

a. Fase I

Excavación y revestimiento de la bóveda a toda sección hasta el plano diametral. La excavación se hará por trozos de longitud limitada (en sentido longitudinal) según las características del terreno; inmediatamente después del arranque se dará una primera pasada de hormigón lanzado a fin de evitar el desmoronamiento del terreno al contacto con el aire, y para regularizar el espesor de acuerdo con el perfil requerido.

Dicha operación será realizada, como máximo antes de que transcurra una hora a partir del tipo de explosivo de arranque. En ciertas condiciones será oportuno aumentar el espesor de tal revestimiento en otros 8 ó 10 cm. para atribuir ya una función portante.

Ejecutado el primer despejo de material de excavación se procede a completar el revestimiento de I Fase de hormigón lanzado hasta alcanzar el espesor requerido por el comportamiento estático de la obra. En esta forma es posible completar un

⁹⁷ Cfr. JOGNA Luciano, V.V.A.A., “Túneles y Obras Subterráneas”, pág. 109, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1972

revestimiento portante que reaccione ante las dilataciones del terreno alrededor del contorno de la excavación impidiendo peligrosas descompresiones.⁹⁸

b. Fase II

Hormigonado normal ejecutado en encofrados a distancias a veces notables del frente, pero siempre después que el revestimiento de la I Fase haya permitido con su modesto cedimiento alcanzar un nuevo equilibrio en la masa que rodea el contorno de la excavación. El hecho de efectuarse después de haber ya producido ajustes y adaptaciones permite a la estructura de la II Fase ser puesta en carga únicamente a largo plazo una vez que el hormigón ha alcanzado una segura madurez con su fraguado. En teoría esa tecnología ofrece indudables ventajas por la prontitud de ejecución del revestimiento y terreno.

Es preciso, hacer algunas consideraciones:

- o El hormigón lanzado empleado para la ejecución de la I Fase difiere del hormigón normal tanto por la técnica de su colocación como por la añadidura de aditivos;⁹⁹
- o Los áridos, el cemento y los aditivos mezclados en seco, se presurizan mediante aire comprimido y, a través de tubos de goma, llega a la lanza o boquilla de proyección; en ella, se mezclan con agua y la mezcla es proyectada contra la superficie a revestir. La acción de los aditivos es doble: aceleran el fraguado para permitir que en poco tiempo puedan ser puestas en obra capas sucesivas, e incrementan la resistencia mecánica inicial hasta el punto de poder soportar la presión de estabilización (de 40 a 60 kg/cm² al cabo de 20 minutos de la colocación).

Por otra parte, es sabido que los aditivos provocan a largo plazo un retroceso de las resistencias mecánicas del hormigón; tal disminución de la resistencia,

⁹⁸ Cfr. JOGNA Luciano, V.V.A.A., “Túneles y Obras Subterráneas”, pág. 111, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1972

⁹⁹ Ibid, pág. 111

que es limitada en tanto que la dosis del aditivo no excede del orden de un 3 %, se deja sentir fuertemente si dicha dosis alcanza o supera un 4 ó 5%.¹⁰⁰

Por lo tanto hemos creído prudente confiar a la Fase I del revestimiento de hormigón lanzado, únicamente la misión de contención inmediata (con niveles de trabajo del material del orden de 100/ 120 kg/cm²). La Fase II, en cambio, será realizada con hormigón normal y asumirá por sí sola de modo definitivo la función estática, a veces con niveles de trabajo ligeramente superiores (aproximadamente 80 a 85 kg/cm²) a los adoptados normalmente.¹⁰¹

- o Cuando las cargas verticales predominen sobre los empujes horizontales (por ejemplo, fuertes cargas de asiento sobre la bóveda) se debe recurrir a un tipo de sección de forma ojival; por el contrario, cuando se presentan cargas que actuarán en dirección radial es aconsejable un tipo de sección de forma circular o semicircular.

1.8.7.3. Túneles Artificiales o prefabricados

Es muy conocido los túneles prefabricados como también es común que estas secciones son usualmente construidas para obras de grandes dimensiones, sin embargo esto depende mucho del tipo de terreno (propiedades mecánicas y espesor del macizo) en el cual se construye el túnel y el uso que se le vaya a dar, pues en lo que respecta a galerías es recomendable la excavación manual y también, si es posible y las dimensiones lo ameritan, con fresadoras para el proceso mecánico. Hay que tomar en cuenta que tanto en galerías como en túneles de mayores dimensiones siempre existe la incertidumbre y la posibilidad de encontrar ciertas fallas o estratos que los estudios no revelan, es por eso que se puede usar una sección previamente construida que cumpla con todas las exigencias previstas y prevenga posibles sorpresas que pueda revelar la excavación.

¹⁰⁰ Cfr. JOGNA Luciano, V.V.A.A., “Túneles y Obras Subterráneas”, pág. 112 Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1972

¹⁰¹ Ibid, pág. 113

**CAPITULO II: NORMAS DE SEGURIDAD,
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS, MATERIALES, MANO DE
OBRA Y EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN UTILIZADOS EN LA
GALERÍA EXPLORATORIA DE GUÁPULO TERCERA ETAPA**

2.1. Normas de Seguridad para la construcción de la galería exploratoria de Guápulo tercera etapa

2.1.1. Alcance y Aplicación

Las normas que se detallan a continuación se aplican a la construcción de túneles, de ejes, de compartimentos, y de callejones subterráneos, basándose en la experiencia obtenida en campo y en la norma internacional OSHA (1926.800) para construcción subterránea, la misma que procura minimizar los riesgos que se presentan al momento de realizar trabajos bajo tierra, manteniendo la seguridad tanto del trabajador como de la obra en sí.

A continuación se detallan los puntos principales tomados en cuenta de dicha norma utilizados en la construcción de la galería exploratoria de Guápulo tercera etapa.

2.1.2. Equipo de Protección Personal (EPP)

El empleador proporcionará y renovará el EPP en un máximo de 80 días durante el transcurso de la obra, el mismo que constará de los siguientes elementos:

- o Casco de protección contra golpes
- o Vestimenta de trabajo (camisa manga larga y pantalón, ambos de tela resistente – Jean)
- o Guantes de protección
- o Botas de caucho
- o Impermeable
- o Chaleco reflectivo
- o Protector auditivo
- o Protector facial (mascarillas con filtros de ser necesario)
- o Protector ocular

2.1.3. Lugares de Almacenamiento

El empleador proporcionará sitios específicos para el almacenamiento de EPP, así como suministros médicos, herramientas, maquinaria, alimentos, etc.

2.1.4. Designación de Personal

- a) El empleador deberá designar una persona competente a cargo de la seguridad industrial del proyecto, la misma que deberá estar a cargo de un máximo de 15 personas. En caso de incrementarse el número de trabajadores se deberá designar mayor personal de seguridad de acuerdo a los riesgos que presente la obra.
- b) La persona competente tendrá la obligación de realizar charlas referentes a seguridad o riesgos potenciales de acuerdo al trabajo que se realizará antes de iniciar la jornada, o con cada grupo al inicio de su respectivo turno.
- c) La persona competente deberá controlar que el personal cumpla con las funciones para las que ha sido designado, ubicándose en los sitios específicos de trabajo.

2.1.5. Casos de Emergencia

- a) El empleador junto con la persona competente (Comité de Seguridad) deberán desarrollar procedimientos de emergencia que incluirán planes de evacuación (deslaves, incendios, inundaciones etc.)
- b) El empleador debe tener conocimiento de la ubicación de las estaciones de auxilio y rescate más cercanas al proyecto, de igual manera deberá informar en los mencionados puestos de auxilio, la localización del proyecto.

2.1.6. *Entrada y Salida*

- a) El empleador proporcionará y mantendrá medios seguros para el ingreso y salida a todas las estaciones de trabajo.
- b) Todo acceso deberá estar correctamente señalizado de manera que el trabajador identifique los riesgos existentes.
- c) La persona competente deberá estar al tanto y organizar el flujo de personal evitando descoordinación entre maquinaria y trabajadores en el transcurso de las actividades y durante los cambios de turno.

2.1.7. *Check in /Check out*

El empleador mantendrá un procedimiento de registros de comprobación que asegure al personal fuera de la excavación la cuenta exacta del número de personas que se encuentran en el interior.

2.1.8. *Comunicaciones*

- a) El empleador proporcionará medios eficaces de comunicación en zonas donde la voz sola natural no sea efectiva, estos podrán ser mediante radios portátiles, sistemas de parlantes, telefonía móvil, o cualquier otro medio que cumpla este fin.
- b) Los medios de comunicación serán proporcionados en todos los frentes de trabajo, incluyendo los sitios para el acceso de personal.
- c) Los sistemas de comunicación deberán funcionar a partir de una fuente de alimentación independiente y serán instalados de modo que el uso de cualquier otro medio no interrumpa la señal o corte la transmisión de información.
- d) Los sistemas de comunicación serán probados en cada cambio de turno a fin de constatar su correcto funcionamiento.

- e) Los sistemas de comunicación serán utilizados exclusivamente para transmisión referente al proyecto, dando prioridad a transmisiones de emergencia.¹⁰²

2.1.9. Calidad y Supervisión del Aire

- a) La atmósfera en todas las áreas de trabajo subterráneas será probada tan a menudo como necesario para asegurar que el rango de oxígeno se mantenga entre 19.5% y 22%. Las pruebas para el contenido de oxígeno serán hechas antes de las pruebas para los contaminantes de aire.
- b) En caso de encontrar ambientes peligrosos, explosivos o nocivos se procederá a retirar a los trabajadores y llamar al personal autorizado para su control.
- c) Se realizará periódicamente mediciones de gases en el interior de la excavación, determinando cualquier exceso nocivo para la salud, clasificando como peligroso al trabajo subterráneo que presente los siguientes datos:
- La supervisión del aire divulga 10% o más del límite explosivo mas inferior para el metano o de otros gases inflamables medidos en l2” + o – 0.25 de la azotea, de la cara, del piso o de las paredes en el área de trabajo subterráneo en un período mayor de 24 horas.
 - La historia del área geográfica o de la formación geológica indica que diez por ciento o más del límite explosivo más inferior para el metano u otros gases inflamables es probable ser encontrado en tales operaciones subterráneas.
- d) En caso de encontrarse ante los mencionados ambientes se recomienda:

¹⁰² Cfr. OSHA 29 CFR1926 “Regulaciones de la Industria de la Construcción”, Subparte S Construcción Subterránea, pág. 421, Reglas Press LLC, 2006

- Uso de mascarillas adecuadas según el tipo de trabajo
- Equipos de motor a diesel móvil aprobados para operaciones gaseosas
- El fumar será prohibido en todas las operaciones gaseosas y el empleador será responsable de todas las fuentes personales de ignición tales como fósforos, alumbradores, etc.¹⁰³

2.1.10. Ventilación

- a) El aire fresco será proporcionado a todas las áreas de trabajo subterráneas en las suficientes cantidades para prevenir peligros o la acumulación dañosa de polvo, humo, vapores o gases.
- b) La ventilación mecánica será proporcionada en todas las áreas de trabajo subterráneas a menos que el empleador pueda demostrar que la ventilación natural brinda la calidad necesaria de aire con suficiente volumen y flujo.
- c) Serán provistos un mínimo de 200 pies cúbicos (5.7 m3) de aire fresco por minuto por cada empleado subterráneamente.
- d) La velocidad lineal del flujo de aire en las áreas de trabajo subterráneas será por lo menos 30 pies por minuto.
- e) La dirección del flujo de aire mecánico será reversible
- f) El sistema de ventilación garantizará la evacuación de humos o gases a la atmósfera exterior antes de que el trabajo se reasuma en áreas afectadas.
- g) Una vez cerrado el sistema de ventilación con todos los empleados fuera del área subterránea, solo se permitirá a las personas competentes autorizadas el ingreso para probar los contaminantes del aire hasta que sea restaurada la ventilación y todas las áreas afectadas queden liberadas.

¹⁰³ Cfr. OSHA 29 CFR1926 “Regulaciones de la Industria de la Construcción”, Subparte S Construcción Subterránea, pág. 422, Reglas Press LLC, 2006

- h)** Se deberá realizar mediciones continuas sobre los niveles de polvo en los frentes de trabajo, asegurando que estén bajo los permitidos.
- i)** Se prohíbe subterráneamente los motores de combustión interna excepto aquellos motores diesel en el equipo móvil cuya necesidad de aire para el funcionamiento, así como los gases que emane (monóxido de carbono, etc.), no superen los niveles permisibles.
- j)** Los trabajos subterráneos clasificados como peligrosos tendrán sistemas de ventilación contruidos de materiales resistentes al fuego, y que posean sistemas eléctricos aceptables incluyendo los motores de ventilador.¹⁰⁴

2.1.11. Seguridad Eléctrica

- a)** Las líneas de energía eléctrica serán aisladas o situadas lejos de líneas de agua, de líneas telefónicas, de líneas de aire, o de otros materiales conductores, de modo que un circuito dañado no energice los otros sistemas.
- b)** La persona competente deberá revisar el correcto estado de los cables a fin de evitar cortocircuitos, todo tipo de cable sin su protección respectiva, en mal estado o mal funcionamiento deberá ser cambiado o no utilizado
- c)** Los circuitos de encendido serán localizados de modo que el movimiento del personal o del equipo no los dañe ni interrumpa el servicio.
- d)** Los transformadores no serán colocados subterráneamente a menos que estén situados en un recinto resistente al fuego, al agua y a condiciones climáticas extremas.¹⁰⁵

¹⁰⁴ Cfr. OSHA 29 CFR1926 “Regulaciones de la Industria de la Construcción”, Subparte S Construcción Subterránea, pág. 423, Reglas Press LLC, 2006

¹⁰⁵ Ibid, pág. 426

2.1.12. Iluminación

- a) Los requisitos de la iluminación aplicables a las operaciones subterráneas de la construcción se encuentran en la tabla D-3 de 1926.56 del código OSHA (Tabla 2.1).

Tabla D-3 Mínima Iluminación de Intensidades en Vela de Pie	
Velas de Pie	Área u Operaciones
5	Área de construcción general de rayos.
3	Áreas de la construcción general, colocación de concreto, excavación y áreas de basura, caminos de acceso, áreas activas de almacenamiento, plataformas de carga, reabastecimiento de combustible, y áreas de campo de mantenimiento.
5	Dentro: Almacén, corredores, pasillos, y caminos de salida.
5	Túneles, ejes, y general área de trabajo bajo tierra: (Exención: mínimo de 10 pies de velas es requerida en un túnel y en el eje de encabezonamiento durante la operación de taladro, mugre, pesado. Agencias de las Minas aprobaron que las luces en el casco deben ser aceptadas para usarlas en el encabezonamiento del túnel.
10	Plantas de construcción y Negocios Generales (e.g., tanda de plantas, plantas de proyección, mecánico y cuartos de equipo eléctrico, negocios de carpintería, y cuartos de almacenaje, pasillos)
30	Estaciones de primeros auxilios, enfermerías, y oficinas.

Tabla 2.1¹⁰⁶

¹⁰⁶ OSHA 29 CFR1926 “Regulaciones de la Industria de la Construcción”, Subparte D Salud Ocupacional y Controles Ambientales- Iluminación, pág. 183, Reglas Press LLC, 2006

- b) Solamente el equipo portátil aceptable de iluminación será utilizado a 50 pies (15.24 m.) del frente subterráneo durante la colocación de los explosivos.¹⁰⁷

2.1.13. Prevención y Control contra Incendios

- a) Las llamas abiertas y los fuegos se prohíben en todas las operaciones subterráneas de la construcción, excepto según lo permitido para soldadura, corte y otras operaciones de trabajo calientes.
- b) El fumar se puede permitir solamente en áreas libres de peligro de fuego y de explosión.
- c) Las señales fácilmente visibles que prohíben fumar y las llamas abiertas serán fijadas en las áreas que tienen peligros de la explosión.
- d) El empleador podrá almacenar subterráneamente no más de 24 horas el combustible diesel para el equipo subterráneo usado en las obras.
- e) El almacenamiento de aceite, grasa, combustible se realizará en envases firmemente sellados colocados en un cubeto que contenga el 110% del líquido almacenado, ubicado en áreas resistentes al fuego y alejadas por lo menos a 300 pies (91.44m) de los compartimentos explosivos
- f) Los materiales inflamables o combustibles no serán almacenados a 100 pies (30.48m) de ningún acceso a la operación subterránea. Donde no sea factible debido a limitaciones de espacio, tales materiales se pueden situar dentro del límite de los 100 pies a condición de que se coloque una barrera resistente al fuego de grado no menor a una hora entre el material almacenado y el acceso, se tomen las precauciones adicionales que protegerán los materiales contra fuentes de ignición
- g) Las instalaciones eléctricas en áreas de almacenamiento de aceite, grasa o combustible serán utilizadas solamente para los dispositivos de iluminación.

¹⁰⁷ Cfr. OSHA 29 CFR1926 “Regulaciones de la Industria de la Construcción”, Subparte S Construcción Subterránea, pág. 423-424, Reglas Press LLC, 2006

- h)** Escapes o derrames de líquidos inflamables o combustibles serán limpiados inmediatamente.
- i)** Se proporcionará de suficientes extintores en los lugares de almacenamiento de combustibles y fuentes de ignición.

2.1.14. Soldadura, Corte y otro Trabajo Caliente

- a)** Serán permitidas subterráneamente no más que la cantidad de gas combustible y de cilindros de oxígeno necesarios para realizar la soldadura, el corte o el otro trabajo caliente, durante el período de 24 horas.
- b)** Se deberá instalar barreras incombustibles debajo de la soldadura, del corte, o del otro trabajo caliente que es hecho en o sobre un eje o un aumento.

2.1.15. Soporte de Tierra

- a)** Los accesos, las aberturas y las paredes principales deberán ser apuntaladas o presentar otra protección equivalente para asegurar el exceso seguro de empleados y del equipo. Las áreas o taludes adyacentes serán aseguradas de otra manera (cunetas de coronación) para evitar que el suelo flojo o los materiales fracturados ponga en peligro el área de acceso.
- b)** El empleador asegurará la estabilidad de la tierra en áreas con peligro de hundimiento, apuntalando, completando o construyendo barricadas y fijando señales de peligro o prevención.
- c)** La persona competente debe revisar la azotea, la cara, y las paredes del área de trabajo al empezar la jornada, cada cambio de turno y tan a menudo como sea necesario para determinar la estabilidad de la tierra.
- d)** En caso de encontrar tierra suelta que resulte peligrosa para los trabajadores será derrocada, escalada o apoyada. En caso de utilizar anclajes la persona competente deberá revisar el sistema de tornillo, condiciones de tierra y distancia de fuentes de vibración.

- e) Los soportes de tierra dañados o desalojados que creen una condición peligrosa serán reparados o sustituidos puntualmente. Al sustituir soportes, los nuevos serán instalados antes de que se quiten los dañados.¹⁰⁸

2.1.16. Perforación

- a) La persona competente revisará el equipo destinado para la perforación antes de cada uso, los defectos de dicho equipo que afecten la seguridad serán corregidos antes del uso del mismo.
- b) El área a perforar deberá ser revisada antes de comenzar el trabajo y durante todo el proceso, en prevención de derrumbes y otros peligros.
- c) El personal que utilice máquinas perforadoras deberá estar debidamente capacitado y se realizarán los trabajos con relevos no mayores de dos horas a fin de evitar problemas por la vibración de la maquinaria.
- d) Las herramientas adicionales a la máquina de perforación serán ubicadas lejos de ésta y en un lugar y posición seguros antes de iniciar el trabajo.
- e) Se advertirá a los empleados sobre el inicio de los trabajos de perforación con el fin de que tomen las precauciones necesarias.
- f) Durante el proceso de perforación los trabajadores deberán colocarse el respectivo equipo de protección facial y auditiva.¹⁰⁹

2.1.17. Uso de Explosivos

- a) El empleador permitirá solamente a las personas autorizadas y calificadas para manejar y utilizar explosivos.
- b) El fumar, las armas de fuego, los fósforos, las lámparas de llama abierta y otro tipo de fuegos, llama o calor que produzcan chispas serán prohibidos

¹⁰⁸ Cfr. OSHA 29 CFR1926 “Regulaciones de la Industria de la Construcción”, Subparte S Construcción Subterránea, pág. 424, Reglas Press LLC, 2006

¹⁰⁹ Ibid, pág. 425

dentro o cerca de los compartimentos explosivos o mientras se estén manejando, transportando o utilizando.

- c)** No se permitirá a ninguna persona manejar o utilizar explosivos mientras se encuentre bajo influencia de alcohol o de otras drogas peligrosas.
- d)** Los explosivos que no son utilizados serán mantenidos en un compartimento bloqueado, inaccesible a las personas no autorizadas a manejarlos. El empleador mantendrá un inventario y deberá informar a las autoridades apropiadas sobre cualquier pérdida, hurto, o entrada desautorizada en un compartimento.
- e)** No se abandonará ningún explosivo o agente explosivo.
- f)** No se luchará contra ningún fuego en peligro inminente de contacto con los explosivos. Se retirará a todos los empleados a un área segura y el área de fuego será bloqueada.
- g)** Los envases originales que contienen explosivos serán utilizados para llevar los detonadores y otros explosivos de los compartimento de almacenaje hacia el área a utilizarse.
- h)** Los empleados autorizados a preparar cargas de explosivo u operaciones de explosión utilizarán todas las precauciones incluyendo señales de peligro visuales y audibles, banderas o barricadas que presten seguridad al empleado
- i)** Las debidas precauciones deben ser tomadas para prevenir la descarga accidental de casquillos, cortocircuitos o cualquier tipo de fuente detonante que entre en contacto con los explosivos.
- j)** Las cajas y los materiales vacíos de papel y de embalaje de la fibra, que han contenido previamente explosivos, no serán utilizados otra vez para ningún propósito sino que serán destruidos quemándose en una locación aprobada.
- k)** Los explosivos deteriorados o dañados no serán utilizados.

- l)** La entrega y aplicación de explosivos serán hechas solamente por y a las personas autorizadas y en compartimentos autorizados.¹¹⁰
- m)** Los explosivos y agentes explosivos, no serán transportados con otros materiales.
- n)** Ninguna persona fumará, llevará fósforos o cualquier otro dispositivo de llama, ni armas de fuego o cartuchos cargados mientras se encuentra en un vehículo que transporta explosivos.
- o)** La cantidad de explosivos llevados a un área subterránea no excederá la cantidad estimada necesaria para la ráfaga.
- p)** Los explosivos en tránsito no serán dejados desatendidos.¹¹¹
- q)** El coche o el transporte que contiene explosivos será alado no empujado.
- r)** Los compartimento para transportar los detonadores y los explosivos en el mismo coche o transporte serán separados físicamente por una distancia de 24” o por una partición sólida por lo menos de 6” de grueso.¹¹²

2.1.18. Transporte y Acarreo de Material

- a)** La persona competente deberá revisar el equipo de transporte al inicio de la jornada de trabajo y en los cambios de turno. Los defectos del equipo que afecten a la seguridad y salud (luces, pitos, fugas, cinturón de seguridad, etc.), serán corregidos antes de que se utilice el mismo.
- b)** El equipo móvil de transporte deberá tener medios convenientes de frenado así como palanca, botón o cualquier otro mecanismo como freno de emergencia.

¹¹⁰ Cfr. OSHA 29 CFR1926 “Regulaciones de la Industria de la Construcción”, Subparte U El Arruinar el uso de explosivos, pág. 442, Reglas Press LLC, 2006

¹¹¹ Ibid, pág. 443

¹¹² Ibid, pág. 444

- c)** El equipo móvil de transporte tendrá dispositivos amonestadores audibles para advertir a los empleados sobre las acciones a realizar. El operador sonará el dispositivo antes de mover el equipo y siempre que sea necesario durante el recorrido.
- d)** El operador asegurará que las luces sean visibles a los empleados en ambos extremos de cualquier equipo móvil, y estén encendidas siempre que el equipo esté en funcionamiento
- e)** El operador no podrá transportar exceso de pasajeros en el equipo móvil de transporte, ni utilizar dicho equipo para labores que no estén dentro de su especificación.
- f)** El equipo móvil de transporte no será dejado desatendido a menos que el interruptor principal o el motor se encuentren apagados, en caso de encontrarse los controles en funcionamiento o en posición neutro se deberán fijar los frenos o tomar precauciones equivalentes para evitar que el equipo ruede.
- g)** En caso de que exista un solo carril y sirva éste en ambos sentidos para el acarreo de material, se deberá dejar un espacio cada 200 pies (60.96 m) a fin de que el equipo móvil transportador tenga las facilidades de poder darse la vuelta.
- h)** Al descargar el material de desalojo de los coches o carretillas, éstos deberán contar con dispositivos de fijación para evitar que vuelquen., de igual manera serán equipados con un dispositivo de traba para prevenir descarga involuntaria
- i)** Los coches o carretillas utilizados para desalojo de material serán cargados y asegurados al equipo móvil de transporte para evitar que resbalen
- j)** Los coches para desalojo de material deberán ser alados no empujados.

- k)** Los acoples para coches o carretillas deberán estar en buen funcionamiento y se podrá utilizar cadenas de seguridad u otras conexiones a fin de fijarlos bien al equipo móvil de transporte.¹¹³
- l)** Todo equipo estacionado dentro del túnel será acuñado, bloqueado o frenado para prevenir movimiento inadvertido.
- m)** Además del material de desalojo, solamente herramientas de mano pequeñas, cubos de almuerzo o los artículos pequeños similares se podrán transportar en los coches o carretillas.¹¹⁴

2.2. Especificaciones técnicas para la construcción de la galería exploratoria de Guápulo tercera etapa

2.2.1 Términos de referencia

2.2.1.1. Antecedentes

El Acuífero de Quito, guarda grandes reservas de agua subterránea que pueden ser aprovechadas para el abastecimiento de algunos sectores de la población del Distrito Metropolitano de Quito. Una de las posibilidades de extracción del recuso hídrico subterráneo es la construcción de galerías de infiltración, las mismas que mediante excavaciones con métodos y tecnologías adecuadas pueden captar el agua del acuífero y por gravedad conducir estos caudales para dotar del servicio a poblaciones que se encuentran ubicadas en cotas más bajas.

Se estima que con la construcción de una galería de aproximadamente de 4.55 m² de sección y con 700 m de longitud se podría alcanzar la descarga del Acuífero Centro a la altura de la plaza Argentina para extraer por infiltración un caudal del orden de

¹¹³ Cfr. OSHA 29 CFR1926 “Regulaciones de la Industria de la Construcción”, Subparte S Construcción Subterránea, pág. 425, Reglas Press LLC, 2006

¹¹⁴ Ibid, pág. 426

los 200 l/s, que se utilizaría para abastecimiento de las poblaciones de Cumbayá y Tumbaco.

2.2.1.2. *Objetivo General de la Obra*

El objetivo general de la obra es continuar con la construcción de una galería exploratoria que nos permita conocer las condiciones geológicas e hidrogeológicas del subsuelo y sobre una base real, diseñar las obras definitivas de aprovechamiento de parte del recurso hídrico del Acuífero Centro de Quito a través de una galería de exploración.

2.2.1.3. *Objetivos Específicos*

- Definición de las condiciones geológicas e hidrogeológicas presentes en el tramo comprendido entre los 205 a 405 m de la galería proyectada.
- Recomendar las soluciones constructivas más adecuadas para la galería de exploración considerando las condiciones geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas del subsuelo.
- Analizar los parámetros y la clasificación geomecánica del macizo rocoso que atraviesa la galería, correlacionar cada tipo de roca con los sostenimiento provisionales y definitivos requeridos.
- Establecer un estimado de las cantidades de obra necesarias para la construcción de la galería de infiltración definitiva.

2.2.1.4. *Información Disponible*

Para la construcción de la segunda etapa de la Galería exploratoria la EMAAP-Q proporcionará la siguiente información:

- Memoria Técnica de diseño
- Especificaciones Técnicas para la construcción
- Planos de diseño
- Perfil Geológico-Geotécnico del tramo de galería exploratoria comprendido entre las abscisas 0+00 a la 0+ 405 m.

2.2.1.5. Personal de Construcción

Todo el personal del contratista deberá estar suficientemente capacitado y con experiencia en construcción de obras subterráneas.

El Contratista mantendrá el personal mínimo suficiente para la correcta y oportuna ejecución de la obra

Para el control y organización del trabajo, el contratista mantendrá como residente en la obra un Ing. con mínimo 5 años de experiencia en construcción de obras subterráneas (Galerías o túneles).

2.2.1.6. Equipo mínimo

- Canguro, dumper o algún medio de transporte similar, para la evacuación de los materiales de excavación del interior de la galería.
- Un compresor mínimo 30 HP de potencia
- Dos martillos neumáticos
- Juego de barrenos de 1 y 2 m. de largo X 1 1/2" de diámetro
- Equipo de ventilación completo
- Sistema de iluminación

Toda la maquinaria principal como sus elementos auxiliares y herramientas, deberán estar completas y ser aptas para el trabajo previsto. Serán examinadas y aprobadas por la Fiscalización antes de entrar en operación.

2.2.1.7. Plazos de ejecución de los trabajos

Para la ejecución de este trabajo se ha establecido un plazo de 210 días calendario, el mismo que corre a partir de la suscripción del contrato y la notificación de que el anticipo se encuentra disponible.

2.2.1.8. Presupuesto Referencial

El presupuesto referencial para la ejecución de este trabajo alcanza a la suma de US \$ 141.871,52 (CIENTO CUARENTA Y UN MIL OCHOCIENTOS SETENTA Y UNO CON 52/100), este valor no incluye el IVA.

2.2.1.9. Forma de Pago

Se concederá el 30 % en calidad de anticipo, el restante 70% se cancelará en planillas de avance mensual aprobadas por la Fiscalización.

2.2.1.10. Fiscalización

La Fiscalización de estos trabajos la ejercerá la EMAAP-Q, a través del Departamento Acuífero de Quito.¹¹⁵

2.2.2. Memoria técnica

2.2.2.1. Generalidades

a. Ubicación de la zona de estudio (Características físico-geográficas)

Guápulo, es un barrio periférico de Quito, ubicado al este de la ciudad, en el declive que forma el inicio del valle de Tumbaco (ver figura No.-1).

El acceso principal a Guápulo se lo realiza desde la Av. González Suárez, por una vía adoquinada con una pendiente superior al 15%. La zona de estudio se caracteriza por presentar relieves abruptos con descensos pronunciados en tramos relativamente cortos que varían entre 2500 msnm a 2850 msnm. la temperatura promedio fluctúa entre 8 a 16 °C; la precipitación media anual de la zona está en el orden de los 1400 mm al año.

Los principales drenajes del área de estudio, están representados por el Río Machángara que en el sector tiene una dirección SE y la Quebrada el Batán que

¹¹⁵ Cfr. EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, Términos de Referencia, Quito, 2005

recorre en dirección WE y desemboca en el Río Machángara cerca del puente de la Autopista Simón Bolívar.¹¹⁶

b. Información Existente

Para la elaboración de la presente memoria, se dispuso de la siguiente documentación:

- Carta topográfica de Quito, escala 1:25.000.
- Hoja Geológica de Quito Escala 1:100.000
- Perfil Geológico-Geotécnico del tramo de galería exploratoria comprendido entre las abscisas 0+00 a 0+ 405 m.
- Caracterización Hidrogeológica del Acuífero de Quito año 2004.

Toda esta información recibida fue analizada detalladamente para este trabajo, el cual se basa principalmente en los parámetros obtenidos en los tramos de la Galería Exploratoria construidos hasta la presente fecha.

c. Descripción del Proyecto

UBICACIÓN:	Sector piscinas de Guápulo (Quito)
COTA:	2.660 m.s.n.m.
COORDENADAS:	781.294E, 9'978.560N
TIPO DE GALERÍA:	Galería de Exploración.
LONGITUD ESTIMADA:	700 m
DIRECCIÓN DE EXCAVACIÓN:	N55°W
SECCIÓN:	4.99 m ²
PENDIENTE LONGITUDINAL:	2X1000
PENDIENTE TRANSVERSAL:	2X100

¹¹⁶Cfr. EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, pág. 1, Memoria Técnica, Quito, 2005

d. Metodología Empleada

La metodología empleada consistió principalmente en el análisis de la información obtenida durante la excavación de la Galería Exploratoria de Guápulo, como son: el perfil geológico, descripción geológica - geotécnica del material atravesado y las condiciones hidrológicas presentes en el subsuelo.

Sobre esta base se establece la proyección horizontal del terreno hasta la profundidad de 650 m y se realiza una estimación de los tipos de materiales que pueden presentarse durante la excavación de este tramo de la Galería Exploratoria.¹¹⁷

Para el diseño de los sostenimientos de la galería en los tramos de roca, se aplicará la teoría de RMR (resistencia mecánica de la roca) propuesta por Bieniawsky, en los tramos donde los materiales presenten diferentes características y composiciones heterogéneas, el diseño de los sostenimientos se lo realiza considerando el comportamiento geomecánico del material y las condiciones de saturación. De acuerdo a la experiencia y los resultados obtenidos en la construcción del primer y segundo tramo de la Galería Exploratoria, estos materiales requieren de una metodología especial en la excavación y la colocación continua e inmediata de soportes, con espaciamiento entre 0.60 m a 1.0 m.

Los resultados obtenidos de la metodología empleada se plasman en este Informe Técnico.

2.2.2.2. Geología General

El área de estudio se encuentra ubicada en la parte oeste del Callejón Interandino, en el Graben conformado durante la orogénesis andina, el mismo está limitado por las cordilleras Oriental o Real y la Occidental, la primera constituida por rocas metamórficas y la segunda por rocas volcánicas.

Las formaciones geológicas que conforman la cuenca de la denominada Cubeta de Quito son de origen volcánico en las que se puede distinguir tres fases principales:

- **Cretáceo-** constituido por un sustrato de lavas diabásicas, doleríticas de composición básica, que posteriormente sufren un levantamiento durante la orogénesis.

¹¹⁷ EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, Memoria Técnica, pág. 2, Quito, 2005

- **Terciario-** constituida por una fase de volcanismo difuso con emisión de coladas de lavas de composición principalmente andesíticas.
- **Pleistoceno y Cuaternario-** fase de volcanismo, principalmente explosivo con emisiones de material predominantemente piroclástico, bombas, lapille, polvos y cenizas volcánicas.¹¹⁸

El territorio de estudio está limitado por dos discontinuidades que se ubican prácticamente en la base de las estructuras levantadas a oriente y occidente. Existen también varios sistemas de fallas secundarias transversales entre las longitudinales que predominan.

2.2.2.3. *Geología Particular y Geotecnia de la Galería Exploratoria.*

a. Generalidades.

La Galería, tiene como objetivo captar por infiltración las aguas subterráneas del Acuífero Central de Quito, que de acuerdo a las estimaciones realizadas por la Unidad de Hidrogeología de la EMAAP-Q, estaría en el orden de los 200 l/s. La galería tendrá una longitud aproximada de 700 m con una dirección N55° W; con esta longitud y dirección se estima llegar hasta la descarga del acuífero ubicada en la Plaza Argentina en este sitio la galería estará a una profundidad de 160 m.

La sección diseñada tiene como dimensiones sin tomar en cuenta el tipo de revestimiento, 4.55 m², con 2.20 metros de ancho en la solera y 2,30 metros de alto, en la clave conservando una sección circular en la bóveda de 1.10 metro de radio desde el eje de la galería. En el plano No. 1 se presenta la sección diseñada y las características constructivas.

b. Condiciones geológicas- geotécnicas de la galería exploratoria.

Las condiciones geológicas - geotécnicas que se describen a continuación son los parámetros obtenidos en el tramo desde la abscisa 0+00 a la 0+405, parámetros que nos sirvieron de

¹¹⁸ EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, Memoria Técnica, pág. 3, Quito, 2005

referencia para el diseño de la tercer etapa de la galería exploratoria entre los 0+405 m a 0+650 m. (ver fig. N.- 2)

c. Descripción geológica - geotécnica

➤ De 0.00 m a 20.00m

Andesita Piroxénica: Flujo de lava de composición acida, color gris, masiva, con fracturas espaciadas entre 0.30 a 1.0 m, se observa niveles lajosos horizontales. El depósito en su contexto general es alterado y ligeramente húmedo, tiene un ángulo de buzamiento de 14° a 16° al oeste y un espesor de aproximadamente 5 m. El afloramiento principal de este material se lo puede apreciar en el portal de entrada de la galería, en este sitio tiene una potencia de aproximadamente 30 m.

➤ De 20.00 m a 60.00 m

Escoria Volcánica: Flujo de lava escoriácea, color rojiza, muy alterada fracturada, porosa y en algunos tramos deleznable. El material es ligeramente húmedo. El depósito tiene un buzamiento de 12° a 15° al oeste y un espesor aproximado de 12 m, este material se lo puede apreciar en la parte superior del portal de entrada de la galería.¹¹⁹

➤ De 60.00 m a 82.00 m

Toba Volcánica (Cangahua): Limo arenoso color café amarillento, muy compacto, el material se encuentra en estado variando de húmedo a saturado. El depósito tiene un buzamiento de 14° al oeste y un espesor aproximado de 5 m.

➤ De 82.00 a 135.00 m

Depósito de Nube Ardiente (Piroclastos): Bloques y gravas angulosas de lava andesítica, en una matriz limo arenosa cohesiva, el material se encuentra saturado y con

¹¹⁹ EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, Memoria Técnica, pág. 4, Quito, 2005

vertimiento de agua, debido a esta condición el terreno es muy inestable. Los bloques alcanzan tamaños de hasta 1.0 m y representan el 15% del material, las gravas corresponden a un 40% y la matriz arenosa está en el orden el 45%. El depósito al igual que los demás estratos tiene un ángulo de buzamiento de 14° al oeste y un espesor de aproximadamente 15 m.

➤ **De 135.00 a 160.00 m**

Flujo Laharítico: Bloques y gravas angulosas, con una matriz limo arenosa cohesiva, saturada y con vertimiento de agua, el material es muy inestable. Los bloques con tamaños de hasta 1.5 m, representan el 30% del depósito, las gravas corresponden al 30% y la matriz un 40%. El ángulo de buzamiento es de 14° al oeste y tiene un espesor aproximado de 8 m.

➤ **De 160.00 m a 192.00 m**

Depósito de Nube Ardiente (Piroclastos): (similar al tramo de 82.00 m a 135.00 m), el material se encuentra saturado y con vertimiento de agua, el depósito tiene un buzamiento de 14° al oeste y un espesor de 10 m.

➤ **De 192.00 m a 196.00 m**

Toba Volcánica (Cangahua): (similar al tramo de 60.00 m a 82.00 m), el material se encuentra saturado, el depósito tiene un buzamiento de 14° al oeste y un espesor de 1.5 m.

➤ **De 196.00 m a 204.00 m**

Depósito de Nube Ardiente (Piroclastos): (similar al tramo de 82.00 m a 135.00 m), el material se encuentra saturado y con vertimiento de agua, el depósito tiene un buzamiento de 14° al oeste y un espesor de 3 m.

➤ **De 204.00 m a 205.00 m**

Depósito Aluvial: Bloques y gravas subredondeadas, en una matriz areno limosa consolidada, el material se presenta estable y con presencia de agua (chorreo), con un caudal aproximado a 3.0 l/s. Este material aparece en la parte final de la galería, por lo que no se puede determinar su potencia y rumbo. Los bloques son de tamaños hasta 50 cm en un porcentaje del 20%, las gravas corresponden al 50% y la matriz está en el orden del 30%. Por la apariencia del material se puede asumir que correspondería a un canal aluvial.¹²⁰

➤ **De 205.00 m a 310.00 m**

Depósitos de Avalancha: Glastos y bloques andesíticos-basálticos, angulosos y subangulosos con tamaños que varían de decimétricos a métricos, dentro de una matriz limo arenosa poco cementada. Glastos y Bloques = 60%, Matriz = 40%. El depósito tiene un buzamiento de 14° al oeste y un espesor de 25 m

➤ **De 310.00 m a 370.00 m**

Depósito de Nube Ardiente (Piroclastos): Bloques y gravas angulosas de lava andesítica, en una matriz limo arenosa cohesiva, el material se encuentra saturado y con vertimiento de agua, debido a esta condición el terreno es muy inestable. Los bloques alcanzan tamaños de hasta 1.0 m y representan el 15% del material, las gravas corresponden a un 40% y la matriz arenosa está en el orden el 45%. El depósito al igual que los demás estratos tiene un ángulo de buzamiento de 14° a oeste y un espesor de aproximadamente 20 m.

➤ **De 370.00 m a 381.00 m**

Toba Volcánica (Cangahua): Limo arenoso color café amarillento, muy compacto, el material se encuentra en estado variando de húmedo a saturado. El depósito tiene un buzamiento de 14° al oeste y un espesor aproximado de 5 m.

¹²⁰ EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, Memoria Técnica, pág. 5, Quito, 2005

➤ **De 381,00 m a 405.00 m**

Depósito Conglomerático: Bloques y gravas subredondeadas de andesitas basálticas, en una matriz arenosa, bien consolidada, el material se encuentra saturado con chorreo de agua, tiene un buzamiento de 14° al oeste y un espesor aproximado de 12 m. Bloques y gravas 70%. Matriz 30%

➤ **De 405 m a?.**

Al Final de los 405 m en el frontón se observa un cambio litológico de conglomerado a una toba (cangahua).

2.2.2.4. Clasificación Geomecánica de los Materiales

Este tipo de clasificación se lo realiza para determinar de manera estimada la calidad de la rocas que se prevé encontrar al continuar con la construcción de la galería exploratoria en el tramo comprendido entre 405 a 650 m, esta clasificación es muy importante para la definición del método constructivo, el diseño de los soportes, sostenimientos y el revestimiento de la galería Definitiva (ver fig. Perfil Geológico d la Galería.).¹²¹

Para el diseño y las recomendaciones constructivas de esta obra se clasificará al terreno diferenciando dos tipos de materiales. Para rocas se aplica del método RMR (Resistencia mecánica de la roca), propuesto por Bieniawsky para obras subterráneas; para el caso de materiales clasificados como volcano-sedimentos, tobas, depósitos fluviales, depósitos de avalancha, lahares, que son predominantes en la Cuenca Artesiana de Quito, se recurre a los resultados y experiencias obtenidas en la construcción del primer y segundo tramo de galería. Para este caso el diseño de los sostenimientos se lo realiza considerando el comportamiento geomecánico del material y las condiciones de saturación, estos materiales requieren de una metodología especial en la excavación y la colocación continua e inmediata de soportes, con espaciamiento entre 0.60 m a 1.0 m.

¹²¹ EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, Memoria Técnica, pág. 6, Quito, 2005

Por otra parte para el diseño de los sostenimientos se aplica la carga efectiva (presión minera sobre el marco o cercha Kgf) que ejerce el material sobre la estructura minera, diseño que se obtiene basados en método propuesto por Protodiakonov, que se describe más adelante.

Para el caso de rocas el método RMR propuesto por Bieniawsky considera 6 parámetros:

- Resistencia de la roca sana
- RQD
- Separación entre diaclasas
- Estado de las diaclasas
- Presencia de agua
- Disposición de las juntas respecto a la excavación

De acuerdo al valor del RMR las rocas se clasifican en 5 categorías diferentes, para cada una define los tipos de sostenimiento, se establece criterios sobre la forma y longitud de excavación y el tiempo que estas pueden permanecer sin ningún sostenimiento (Tabla 2.2).

En el caso de la galería donde predomina materiales sueltos y heterogéneos, la colocación y espaciamiento de las cerchas y las necesidades de entibamiento se lo define considerando la propuesta de Protodiakonov en base a la altura de la bóveda de destrucción o bóveda de equilibrio.

Categoría de las rocas según el valor RMR (Bieniawsky)		
CATEGORÍA	CALIDAD DE LA ROCA	VALOR RMR
I	Roca muy buena	81-100
II	Roca buena	61-80
III	Roca mediana	41-60
IV	Roca mala	21 - 40
V	Roca muy mala	> 20

Tabla 2.2

a. Presión minera sobre la cercha o marco

Los materiales se encuentran en un estado tensional de equilibrio, el mismo que está condicionado por la presión de las rocas suprayacentes. Durante la excavación, en las rocas circundantes se produce la destrucción de éste equilibrio y como resultado de esto alrededor de la excavación, las tensiones se redistribuyen y surgen las fuerzas que en geomecánica se denomina presión minera.¹²²

La presión minera en las excavaciones puede actuar sea por el techo, en forma lateral o por el piso, dependiendo de la calidad de la roca. En el caso que nos concierne y tomando en consideración que la galería atraviesa un material muy heterogéneo con un grado de fortaleza muy variable y que la presencia de agua por las condiciones mismas de la obra va a ser permanente y abundante, para el cálculo de la presión minera nos basaremos en el comportamiento de la galería exploratoria y consideraremos la presión minera que el terreno ejerce sobre el techo de la excavación, cuya expresión matemática se expresa de la siguiente forma:

$$P = 4/3 * a * b * mv * L \quad (\text{kgf})$$

- p: Presión minera sobre la cercha (kgf)
- a: Sema-ancho de la excavación (m.)
- b: Altura de la bóveda de destrucción (m)
- Mb: Masa volumétrica de la roca (kg/m³)
- L: Longitud entre cerchas o marcos

b. Altura de la bóveda de destrucción

Este parámetro está directamente ligado a la presión minera sobre el techo de la excavación ya que según la hipótesis de Protodiakonov, la presión de las rocas sobre el techo se explica por la formación de la bóveda de equilibrio natural sobre la excavación (bóveda de destrucción), que por lo general tiene forma parabólica, y matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

¹²² EMAAP-Q, Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650, Memoria Técnica, pág. 7, Quito, 2005

$$b = 2a/f \text{ (m.)}$$

b : Altura de la bóveda de destrucción o equilibrio

2a: Ancho de la excavación por el techo (m.)

f : Coeficiente de fortaleza de la roca

c. Parámetros geomecánicos de las rocas por las que se prevé atravesará la galería exploratoria.

ROCA GRADO DE FORTALEZA	COEFICIENTE DE FORTALEZA (f)		MASA VOLUMÉTRICA KG/M3
Andesita Sana	Muy fuerte	15-20	2.700
Andesita Alterada	Fuertes	10-14	2.400
Cangahua	Fuertes	6-8	2.200
Depósito Piroclásticos	Algo fuertes	3-5	1.900
Depósitos Aluviales	Algo débiles	1-2	1.800
Materiales Suelos	Movedizas	1-0.5	1.700

Tabla 2.3¹²³

2.2.2.5. Excavación de la Galería Exploratoria (Tercera Etapa)

Se recomienda realizar la excavación de la galería exploratoria mediante métodos convencionales manuales preferentemente y en ciertos sectores donde las características del

¹²³ EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, Memoria Técnica, pág. 8, Quito, 2005

material sean favorables se podrá utiliza martillos neumáticos para perforación con cargas limitadas de explosivos.

Debido a la falta de investigaciones geológicas directas, como perforaciones con recuperación de testigos, para la definición de los tipos de rocas por las cuales atravesará La Galería Exploratoria en el tramo entre 405 a 650 m, nos remitiremos a los datos geológicos locales, observaciones de campo y los datos obtenidos en la construcción de la de la galería exploratoria, tramo entre 0+0.0 a 0+405 m. Por lo tanto los parámetros de las condiciones de la roca en el subsuelo son obtenidos por métodos indirectos, por lo que, el perfil geológico-geotécnico, a pesar de los cuidados que se ha procurado en su elaboración, debe ser considerado como referencia, y durante la excavación, las condiciones de la roca pueden variar.

Con la información geológica recopilada, hemos estimado que la galería exploratoria en el tramo de 0+ 405 a 0+650 m atravesaría los siguientes materiales:

TRAMO (m.)	MATERIALES	LONGITUD (m.)
DE: 405 A: 430 620 650	Tobas volcánicas (cangahua), saturada, que por sus características se desprende en forma de bloques y requiere sostenimientos	55.00
430 A: 550	Bloques y gravas con tamaños hasta 60 cm. en matriz limo arenosa, medianamente compacta (Depósito Piroclástico)	120.00
550 A: 620	Bloques y gravas angulosos con tamaños mayores a 60 cm., en matrices limosas, arenosas, arcillosas (avalancha).	70.00
	TOTAL:	245.00

Tabla 2.4

Para efectos de realizar una definición de la excavación y el tipo de sostenimiento se ha diseñado un cuadro en el que se realiza una categorización porcentual de las diferentes clases

de materiales, parámetros geomecánicos, presencia de agua tomando en cuenta la longitud de la galería exploratoria.

Cuadro de porcentajes de clasificación de las rocas según su categoría							
OBRA	ROCA (Clasificación BIENIAWSKY) (%)					MATERIALES HETEROGÉNEOS (%)	LONGITUD (m)
	I	II	III	IV	V		
Galería Exploratoria	-	-	-	2	3	95	245.00

Tabla 2.5¹²⁴

Si consideramos que la galería se realizará en una zona donde tendremos presencia de agua fluyendo permanentemente, cuyo caudal se incrementará conforme aumente la profundidad de la construcción, no se puede dar un dato de los caudales que encontraremos en la galería pero se estima que este será superior a los 50 l/s. Tomando en cuenta esta situación y las condiciones del terreno, el rendimiento de la construcción será bajo y deberá tomarse todas las precauciones a fin de evitar riesgos durante la excavación, por lo que la colocación de sostenimientos debe ser inmediata y basada en las recomendaciones técnicas propuestas para esta obra. De acuerdo al cuadro anterior y aplicando el método RMR propuesto por Bieniawsky, se estima que un 2% corresponde a roca tipo IV un 3% a roca tipo V y 95 % a materiales heterogéneos que están fuera de ésta clasificación.

¹²⁴ EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, Memoria Técnica, pág. 9, Quito, 2005

2.2.2.6. Refuerzos, Soportes y Revestimientos

a. Refuerzos y Soportes

Para el efecto es necesario tener un concepto claro de lo que es un refuerzo y lo que es un soporte.

a.1) Refuerzo.- Los refuerzos se refieren a un conjunto de medidas que se efectúan con la finalidad de reforzar la roca, antes, durante y después de la excavación o aflojamiento, esto tiene como propósito mantener la resistencia propia de la roca o su recuperación, de tal manera que la roca pueda considerar el elemento de resistencia; entre los principales refuerzos encontramos los pernos de anclaje que se colocan antes del aflojamiento, otro elemento de soporte se puede considerar al hormigón lanzado de espesor delgado, que tiene como objetivo la prevención al trituramiento de la roca fracturada.

a.2) Soporte.- Los soportes se refieren a medidas realizadas para ejercer una presión a la superficie de la roca con la finalidad de mantener un perfil en condiciones estables, lo cual no hubiera sido posible debido a la relación desfavorable entre los esfuerzos inducidos alrededor del túnel y la resistencia del macizo rocoso. Los principales elementos de soporte son las cerchas y el estibado.

Los refuerzos y los soportes están diseñados considerando dos situaciones importantes como son la estabilidad del macizo y la seguridad durante la construcción, aspecto de no menos importancia es la estabilidad, seguridad y eficiencia de mantenimiento a largo plazo, es decir durante la operación.

En el caso de la Galería Exploratoria, debido a las condiciones hidrogeológicas presentes, se deberán tomar medidas de protección inmediatas, por lo que se

recomienda colocar los refuerzos y soportes necesarios en el menor período de tiempo, para evitar desprendimientos de materiales.

Si consideramos la calidad de la roca, el tipo de inestabilidad más frecuente sería el desprendimiento de bloques, gravas y material granular, en forma de derrumbes que ejercerían cargas reales, por lo que es necesario reforzar la roca oportunamente, sin dejar tramos mayores a 1 m de excavación, sin protección. Como soportes para este tipo de trabajos se recomienda la utilización de cerchas metálicas, entibado metálico o malla electrosoldada en la bóveda. En sitios donde existan condiciones extremas (rocas de muy mala calidad y abundante presencia de agua), a más de estos soportes se podrá utilizar un revestimiento con hormigón estructural de acuerdo a lo que se especifica en el numeral siguiente.¹²⁵

b. Revestimiento de la Galería

Este revestimiento se implementará para las rocas que no se enmarcan dentro de la clasificación de Bieniawsky y que por sus condiciones geológico-geotécnicas requieren un tratamiento especial en la colocación de sostenimiento. Los tramos que requerirá este tratamiento generalmente están relacionados con fallas geológicas o zonas materiales no consolidados y con abundante presencia de agua, por lo que es necesario tomar todas las precauciones en el proceso de excavación, para lo cual se recomienda la colocación de entibado de madera, malla electrosoldada, marcos metálicos con una separación de 0.30 m. a 0.50 m., y 15 cm. de espesor de hormigón.

¹²⁵ Cfr. EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, Memoria Técnica, pág. 10, Quito, 2005

c. Colocación y características de los refuerzos y soportes

c.1) Cerchas metálicas

Las cerchas son soportes permanentes, estas deberán ser construidas de perfiles de acero tipo "I" o "H" de 10 cm. de ancho por 10 cm. de alto, curvadas de acuerdo al perfil del túnel, la colocación deberá realizarse con un empotrado de 15 cm. bajo el nivel de excavación y sostenidas en la bóveda y paredes mediante cuñas de acero, pernos o tirantes que garanticen la firmeza de la estructura. El espacio entre cerchas deberá sujetarse a la clasificación de la roca y su aplicación será de forma inmediata a la excavación, considerando que el tiempo transcurrido y el espacio de excavación no provoquen la inestabilidad del macizo. Se debe mantener una correcta alineación en la colocación de las cerchas, (ver plano de diseño)¹²⁶

c.2) Inyecciones

Para la construcción de la galería deberá considerarse la necesidad de realizarse las inyecciones de consolidación en ciertos tramos donde el material por sus características presente inestabilidad o exista el riesgo de desprendimiento de bloques de tamaños medianos o grandes. El diseño de las inyecciones se basará en la clasificación que se realice a la roca durante la excavación.

En lo referente a las inyecciones de contacto se considera que éstas deben realizarse en los tramos donde se coloque el revestimiento definitivo (hormigón estructural), por debajo de este, entre el pre-moldeado y la roca.

¹²⁶ Cfr. EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, Memoria Técnica, pág. 11, Quito, 2005

d. Estimación de la necesidad de refuerzos, soportes y volumen de excavación.

Debido a la poca información de las características y condiciones del subsuelo en las zonas por donde atravesará la galería, en la realidad se torna difícil precisar para cada lugar las condiciones de excavación, los requerimientos de refuerzos, soportes y las cantidades de obra, sin embargo basados en la interpretación de los resultados y la caracterización del subsuelo realizada en base a la galería exploratoria construida entre los 0.00 a 405 m, se ha definido un perfil geológico-geotécnico, para el tramo comprendido entre 405 a 650 m tomando en consideración 6 parámetros, (ver fig. 2.2): 1.- Litología, 2.- Clasificación del material, 3.- Altura de la bóveda de equilibrio, 4.- Presión sobre la cercha, 5.- Presencia de agua, 6.- Tipo de soporte, 7.- Necesidad de entibado, 8.- Revestimiento, 9.- Metodología de excavación.¹²⁷

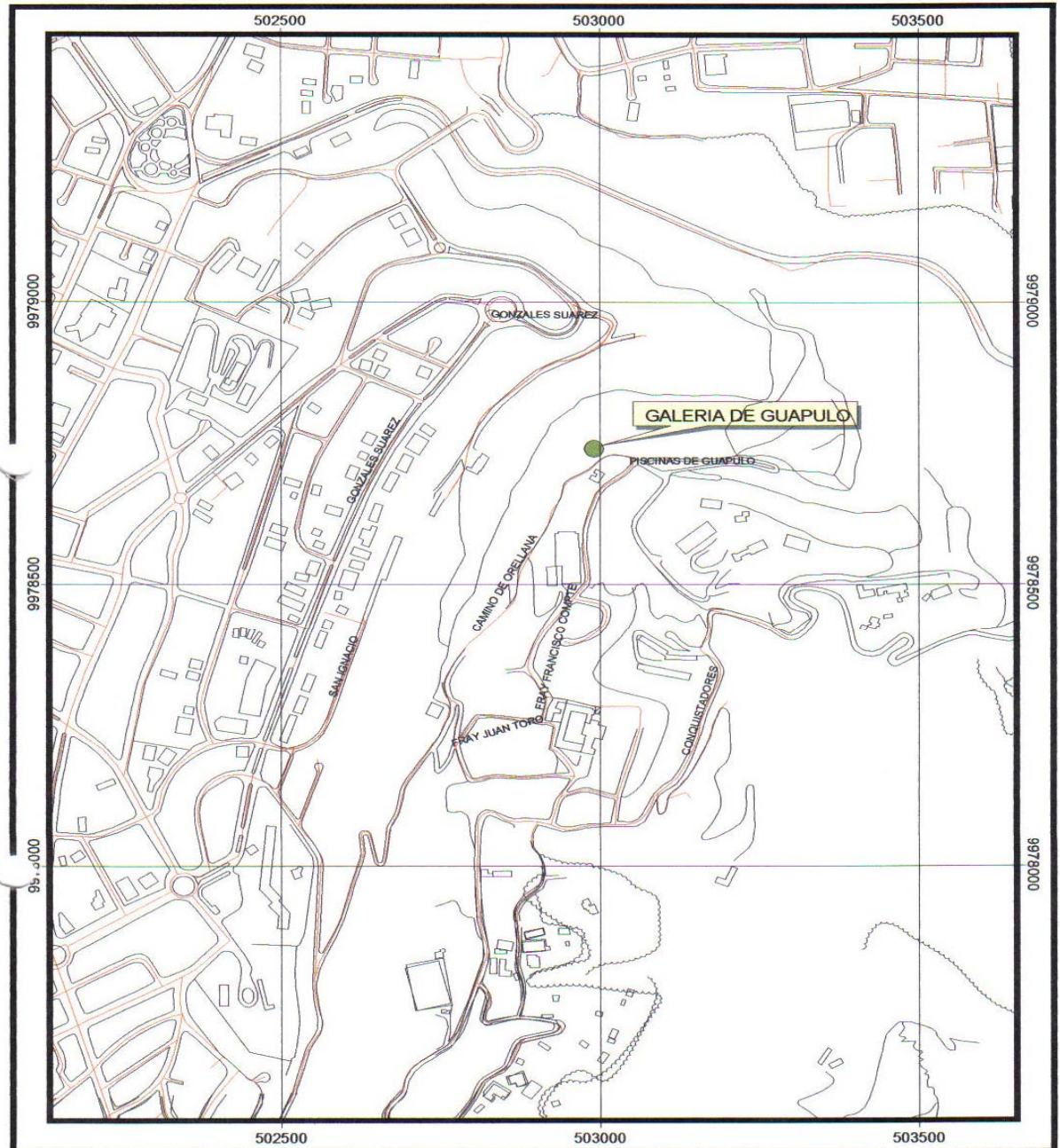
Estos parámetros nos han permitido realizar una zonificación aproximada de las condiciones favorables o desfavorables de excavación de la galería, en base al abscisado del eje y además nos permite realizar una estimación de la cantidad de obra y los rubros correspondientes que se aplicarán en la construcción de la galería; éstas cantidades durante la etapa de construcción podrán variar en base a las características de la roca y la clasificación que se realice durante la excavación.

Para el cálculo del volumen de excavación para cada túnel se toma una sección 4.55 m², considerando un diseño abovedado con las siguientes dimensiones: base 2.20 m., altura 2.30 m, radio de la bóveda 1.10 m y una sobreexcavación máxima de 0.10 m.¹²⁸

¹²⁷ Cfr. EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, Memoria Técnica, pág. 12, Quito, 2005

¹²⁸ Ibid, pág. 13

2.2.3. Croquis de Ubicación (Ver Anexo 3)

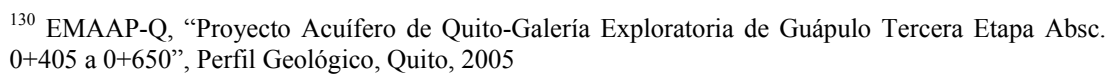


UBICACION DE GALERIA DE GUAPULO

Figura 2.1¹²⁹

¹²⁹ EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, Croquis de Ubicación, Quito, 2005

CORTE GEOLÓGICO DE LA GALERÍA DE GUÁPULO

Figura 2.2¹³⁰

2.2.5. Especificaciones técnicas constructivas para la galería exploratoria de Guápulo, tercera etapa. (abscisas 0+405 a 0+650)¹³¹

2.2.5.1. Generalidades

Las presentes especificaciones tienen como finalidad normar y establecer los parámetros constructivos bajo los cuales se ejecutarán las diferentes actividades relacionadas con la excavación de la Galería de Guápulo entre las abscisas 0+405 a la 0+650

2.2.5.2. Especificaciones

a. Replanteo y nivelación

a.1. Descripción

Replanteo es la ubicación del proyecto en el terreno y el control de la dirección y pendiente de la galería, la misma que debe sujetarse a las indicaciones de los planos respectivos. Esta actividad se la ejecutará como paso previo para el inicio de los trabajos y durante toda la etapa de construcción.

a.2. Especificación

- Todos los trabajos de replanteo y nivelación deben ser realizados con aparatos de precisión tales como teodolito, nivel, estación total, cinta métrica, etc., y por personal técnico capacitado y experimentado;
- Se deberá colocar mojones de hormigón perfectamente identificados con la cota correspondiente; su número estará de acuerdo a la magnitud de la obra y necesidad del trabajo.

¹³¹ EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, Especificaciones Técnicas , Quito, 2005

a.3. Medición y forma de pago

Este rubro se medirá y pagará por metro lineal con aproximación a un decimal.

b. Desbroce, limpieza y desbosque

b.1. Definición

Consistirá en despejar el terreno necesario para llevar a cabo la obra contratada, de acuerdo con las presentes especificaciones y demás documentos, en las zonas indicadas por el fiscalizador y/o señalados en los planos. Se procederá a cortar, desenraizar y retirar de los sitios de construcción, los árboles incluidos sus raíces, arbustos, hierbas, etc. y cualquier vegetación en: las áreas de construcción, áreas de servidumbre de mantenimiento, en los bancos de préstamos indicados en los planos y proceder a la disposición final en forma satisfactoria al Fiscalizador, de todo el material proveniente del desbroce y limpieza.

b.2. Especificación

Estas operaciones pueden ser efectuadas indistintamente a mano o mediante el empleo de equipos mecánicos. Todo el material proveniente del desbroce y limpieza, deberá colocarse fuera de las zonas destinadas a la construcción en los sitios donde señale el ingeniero Fiscalizador o los planos.

El material aprovechable proveniente del desbroce será propiedad del contratante, y deberá ser estibado en los sitios que se indique; no pudiendo ser utilizados por el Constructor sin previo consentimiento de aquel. Todo material no aprovechable deberá ser retirado, tomándose las precauciones necesarias.

Los daños y perjuicios a propiedad ajena producidos por trabajos de desbroce efectuados indebidamente dentro de las zonas de construcción, serán de la responsabilidad del Constructor.

Las operaciones de desbroce y limpieza deberán efectuarse invariablemente en forma previa a los trabajos de construcción.

Cuando se presenten en los sitios de las obras árboles que obligatoriamente deben ser retirados para la construcción de las mismas, éstos deben ser retirados desde sus raíces tomando todas las precauciones del caso para evitar daños en las áreas circundantes. Deben ser medidos y cuantificados para proceder al pago por metro cúbico de desbosque.

b.3. Forma de pago

El desbroce y limpieza se medirá tomando como unidad el metro cuadrado con aproximación de dos decimales.

No se estimará para fines de pago el desbroce y limpieza que efectúe el Constructor fuera de las áreas que se indique en el proyecto, o disponga el ingeniero Fiscalizador de la obra.

c. Excavación galería

c.1. Definición

Las excavaciones en la galería se realizará en las líneas, niveles y dimensiones que aparecen en los planos, el contratista por ningún concepto podrá variar este diseño.

El soporte permanente del túnel lo proporcionará y los instalará el contratista de acuerdo a las secciones establecidas en los diseños, previamente estos deberán ser aprobados por la fiscalización.

El contratista tomará todas las precauciones para evitar aflojar material fuera de la línea del proyecto, toda la barrenación y las explosiones deberán efectuarse cuidadosamente para no producir este efecto. Cualquier daño o afectación a parte de la obra, debido las explosiones o por cualquier otra operación del contratista, será de su entera responsabilidad e inmediatamente corregirá o remediará los daños causados

El criterio técnico que se aplicará para determinar la clasificación de las rocas y colocación de sostenimientos se basará principalmente en la clasificación de Bieniawsky, y para las rocas que no encajan dentro de esta clasificación su categorización se lo realizará directamente in situ, en base a las características geológicas observadas.

En caso de que por descuido del contratista se produjeran derrumbes ocasionando cavernas, por no aplicar adecuadamente los principios de clasificación de la roca y las recomendaciones de la fiscalización en lo que tiene relación con la longitud de maniobra de excavación y el tiempo de permanencia sin sostenimiento de la misma, esto será de exclusiva responsabilidad del contratista.

En el caso de fuerza mayor, cuando los derrumbes se produjeran por fenómenos geológicos o hidrogeológicos incontrolables, la fiscalización reconocerá los costos necesarios para el bloqueo de estas cavernas, de acuerdo con los valores establecidos en los ítems respectivos.

Se considera que la sobreexcavación máxima en condiciones normales reconocida por la EMAAP-Q será de 10 cm. a lo ancho de la sección excavada, con relación a los diseños especificados en los planos

Para el caso en que sea necesario el uso de explosivos, las operaciones de disparo deberán ser ejecutadas con el sistema de pos-corte perimetral con cargas de dinamita y mecha detonante en el último tiempo de detonación del diagrama, similar al sistema "smooth blasting" de dupont.

Luego de las explosiones o excavación manual, se desalojará todo el material suelto fuera del túnel a los sitios que haya aprobado la fiscalización, cuya distancia libre deberá estar dentro de un radio de 1 Km., si la distancia de los botaderos sobrepasa esta longitud, se reconocerá el costo del sobre acarreo, en sujeción al ítem correspondiente.

Todo material que sobresalga dentro de la línea del proyecto debe removerlo el contratista por su cuenta antes de colocar el revestimiento en los tramos que señale la fiscalización.

Durante el período de construcción del túnel, el contratista deberá realizar los trabajos necesarios para proteger el túnel contra inundaciones.

Se iluminará y ventilará los frentes de trabajo de manera que permitan un desarrollo normal de las actividades.

En caso de requerirlo o por facilidades constructivas, el contratista bajo su costo, instalará sostenimientos o protecciones provisionales que permitan mantener estable la excavación, hasta que se coloque los sostenimientos definitivos (cerchas metálicas).

c.2. Especificación de los materiales a excavar

Revisar el Marco Conceptual, características y definiciones de los materiales en el Capítulo I.

c.3. Medición y forma de pago

Este rubro se medirá por metro lineal de excavación con aproximación a dos decimales, para una sección de 4.99 m², para lo que se ha considerado cuatro tipos de materiales, en este costo incluye el desalojo de los materiales excavados del interior del túnel hasta la plataforma de maniobras.

d. Acarreo, transporte y desalojo

d.1. Definición

Se entiende por acarreo, transporte y desalojo, todas las tareas que permiten llevar al sitio de obra, los materiales necesarios para su ejecución, para los que en los planos y documentos de la obra se indicará cuales son; y el desalojo desde el sitio de obra a los lugares determinados en los planos o por el Fiscalizador, de todos los materiales producto de las excavaciones, que no serán aprovechados en los rellenos y deben ser retirados. Este rubro incluye: carga, transporte y volteo final.

d.2. Especificaciones

d.2.1. Acarreo

Se entenderá por acarreo, la operación de carga, transporte y volteo, del material producto de las excavaciones y del que señalen los planos o indique el fiscalizador, hasta los bancos de desperdicio o almacenamiento que se encuentren dentro de la zona de libre colocación, que señale el proyecto y/o el fiscalizador.

El acarreo comprenderá también la actividad de movilizar el material producto de las excavaciones de un sitio a otro, dentro del área de construcción de la obra, cuando las condiciones impongan la necesidad de volver a ocupar dicho material en los rellenos o reposiciones.

El acarreo, se deberá realizar por medio de equipo mecánico adecuado en buenas condiciones, sin ocasionar la interrupción de tráfico de vehículos, ni causar molestias a los habitantes. Incluyen las actividades de carga, transporte y volteo.

En los proyectos en los que no se puede llegar hasta el sitio mismo de construcción de la obra con los materiales a emplearse en ella, sino que deben ser descargados cerca de la misma, debido a que no existen vías de acceso carrozables, el costo del acarreo de los materiales, deberá ser incluido dentro del análisis de los rubros afectados.

d.2.2. Transporte

Llámesse transporte, a la operación de carga, desalojo y volteo de todos los materiales que deban ser retirados del área de la obra, fuera de la zona libre de colocación señalada en el proyecto o fijada por el fiscalizador. El transporte se realizará desde la ubicación de material autorizado por el Fiscalizador a los sitios previamente determinados en los planos o dispuestos por la Fiscalización, este trabajo se ejecutará con los equipos adecuados, y de tal forma que no cause molestias a los usuarios de las vías ni a los moradores de los sitios de acopio.

El transporte deberá hacerse a los sitios señalados y por las rutas de recorrido fijadas por el fiscalizador, si el contratista decidiera otra ruta u otro sitio de recepción de los materiales desalojados, o transportados, la distancia para el pago será aquella que fue señalada por el fiscalizador o que consta en los planos.

d.2.3. Desalojo.

Son las actividades que tienen por objeto retirar los materiales producto de la excavación o derrumbes que se produzcan al interior la galería, hasta la plataforma de operaciones.

d.3. Forma de Pago

d.3.1. Acarreo

Los trabajos de acarreo de materiales, se medirán para fines de pago en la forma siguiente:

El acarreo del material producto de la excavación en una distancia dentro de la zona de libre colocación, se medirá para fines de pago en metros cúbicos (m³) con dos decimales de aproximación, de acuerdo a los precios estipulados en el Contrato, para el concepto de trabajo correspondiente.

Por zona de libre colocación se entenderá la zona comprendida entre el área de construcción de la obra y 1 (uno) kilómetro alrededor de la misma.

d.3.2. Transporte

El transporte para el pago será calculado como el producto del volumen realmente transportado, por la distancia desde el centro de gravedad del lugar de las excavaciones hasta el sitio de descarga señalado por el fiscalizador, o los planos.

Para el cálculo del transporte se considerará: el volumen transportado aquel que ha sido realmente excavado medido en metros cúbicos en el sitio de obra, y la distancia medida en Kilómetros y fracción de Km. será la determinada por el fiscalizador en la ruta definida desde la obra al sitio de depósito.

d.3.3. Desalojo

Los trabajos de desalojo de materiales que se produzcan por imprevistos geológicos, se medirán para fines de pago en la forma siguiente:

El acarreo del material producto de fenómeno imprevisto hasta la plataforma de operaciones, se medirá para fines de pago en metros cúbicos (m³) con dos decimales de aproximación, de acuerdo a los precios estipulados en el Contrato, para el concepto de trabajo correspondiente.

e. Protección y entibamiento

e.1. Definición

Protección y entibamiento son los trabajos que tienen por objeto evitar la socavación o derrumbamiento de las paredes de la excavación, para conseguir su estabilidad y proteger y dar seguridad a los trabajadores y estructuras colindantes.

e.2. Especificaciones

El constructor deberá realizar obras de entibado, soporte provisional, en aquellos sitios donde se encuentren estratos aluviales sueltos, permeables o deleznales, que no garanticen las condiciones de seguridad en el trabajo. Donde hubiere viviendas cercanas, se deberán considerar las medidas de soporte provisionales que aseguren la estabilidad de las estructuras.

e.2.1 Protección apuntalada

Las tablas se colocan vertical u horizontalmente de ser el caso contra las paredes de la excavación y se sostienen en esta posición mediante puntales transversales, que son ajustados en el propio lugar.

El objeto de colocar las tablas contra la pared es sostener la tierra e impedir que el puntal transversal se hunda en ella. El espesor y dimensiones de las tablas, así como el espaciamiento entre los puntales dependerán de las condiciones de la excavación y del criterio de la fiscalización.

Este sistema apuntalado es una medida de precaución, útil en las zanjas relativamente estrechas, con paredes de cangahua, arcilla compacta y otro material cohesivo. No debe usarse cuando la tendencia a la socavación sea pronunciada.

Esta protección es peligrosa en zanjas donde se haya iniciado deslizamientos, pues da una falsa sensación de seguridad.

e.2.2 Protección vertical

Esta protección es el método más completo y seguro de revestimiento con madera.

Consiste en un sistema de largueros y puntales transversales dispuestos de tal modo que sostengan una pared sólida y continua de planchas o tablas verticales, contra los lados de la zanja. Este revestimiento puede hacerse así completamente impermeable al agua, usando tablas machihembradas, tablestacas, láminas de acero, etc.

La armadura de protección debe llevar un puntal transversal en el extremo de cada larguero y otro en el centro. Si los extremos de los largueros están sujetos por el mismo puntal transversal, cualquier accidente que desplace un larguero, se transmitirá al inmediato y puede causar un desplazamiento continuo a lo largo de la zanja, mientras que un movimiento de un larguero sujeto independientemente de los demás, no tendrá ningún efecto sobre éstos.

e.3. Forma de Pago

La colocación de entibados será medida en m² del área colocada directamente a la superficie de la tierra, el pago se hará al Constructor con los precios unitarios estipulados en el contrato

f. Acero de refuerzo (acero en barras)

Cabe resaltar que la especificación que se detalla a continuación es para el acero en barras utilizado en la construcción de la galería de Guápulo tercera etapa.

f.1. Descripción

El trabajo consiste en el suministro, transporte, corte, figurado y colocación de barras de acero, para el refuerzo de estructuras, muros, canales, pozos especiales, disipadores de energía, alcantarillas, descargas, etc.; de conformidad con los diseños y detalles mostrados en los planos en cada caso y/o las ordenes del ingeniero fiscalizador.

f.2. Especificaciones

El Constructor suministrará dentro de los precios unitarios consignados en su propuesta, todo el acero en varillas necesario, estos materiales deberán ser nuevos y aprobados por el Ingeniero Fiscalizador de la obra. Se usarán barras redondas corrugadas con esfuerzo de fluencia de 4200 kg/cm², grado 60, de acuerdo con los planos y cumplirán las normas ASTM-A 615 o ASTM-A 617.

El acero usado o instalado por el Constructor sin la respectiva aprobación será rechazado.

Las distancias a que deben colocarse las varillas de acero que se indique en los planos, serán consideradas de centro a centro, salvo que específicamente se indique otra cosa; la posición exacta, el traslape, el tamaño y la forma de las varillas deberán ser las que se consignan en los planos.

Antes de precederse a su colocación, las varillas de hierro deberán limpiarse del óxido, polvo, grasa u otras substancias y deberán mantenerse en estas condiciones hasta que queden sumergidas en el hormigón.

Las varillas deberán ser colocadas y mantenidas exactamente en su lugar, por medio de soportes, separadores, etc., preferiblemente metálicos, o moldes de HS, que no sufran movimientos durante el vaciado del hormigón hasta el vaciado inicial de este. Se deberá tener el cuidado necesario para utilizar de la mejor forma la longitud total de la varilla de acero de refuerzo.

A pedido del ingeniero fiscalizador, el constructor está en la obligación de suministrar los certificados de calidad del acero de refuerzo que utilizará en el proyecto; o realizará ensayos mecánicos que garanticen su calidad.

Toda armadura o características de ésta, serán comprobadas con lo indicado en los planos estructurales correspondientes. Para cualquier reemplazo o cambio se consultará con fiscalización.

f.3. Forma de Pago

La medición del suministro y colocación de acero de refuerzo se medirá en kilogramos (kg.) con aproximación a la décima.

Para determinar el número de kilogramos de acero de refuerzo colocados por el Constructor, se verificará el acero colocado en la obra, con la respectiva planilla de aceros del plano estructural.

g. Encofrado y desencofrado

g.1. Definición

Se entenderá por encofrados las formas volumétricas, que se confeccionan con piezas de madera, metálicas o de otro material resistente para que soporten el vaciado del hormigón con el fin de amoldarlo a la forma prevista.

Desencofrado se refiere a aquellas actividades mediante las cuales se retira los encofrados de los elementos fundidos, luego de que ha transcurrido un tiempo prudencial, y el hormigón vertido ha alcanzado cierta resistencia.

g.2. Especificaciones

Los encofrados contruidos de madera pueden ser rectos o curvos, de acuerdo a los requerimientos definidos en los diseños finales; deberán ser lo suficientemente fuertes para resistir la presión resultante del vaciado y vibración del hormigón, de igual manera deberán estar sujetos rígidamente en su posición correcta y lo suficientemente impermeables para evitar la pérdida de la lechada.

Los encofrados para tabiques o paredes delgadas, estarán formados por tableros compuestos de tablas y bastidores o de madera contrachapada de un espesor adecuado al objetivo del encofrado, pero en ningún caso menores de 1 cm.

Los tableros se mantendrán en su posición, mediante pernos, de un diámetro mínimo de 8 mm. roscados de lado a lado, con arandelas y tuercas.

Estos tirantes y los espaciadores de madera, formarán el encofrado, que por sí solo resistirá los esfuerzos hidráulicos del vaciado y vibrado del hormigón.

Los apuntalamientos y riostras servirán solamente para mantener a los tableros en su posición, vertical o no, pero en todo caso no resistirán esfuerzos hidráulicos.

Al colar hormigón contra las formas, éstas deberán estar libres de incrustaciones de mortero, lechada u otros materiales extraños que pudieran contaminar el hormigón. Antes de depositar el hormigón; las superficies del encofrado deberán aceitarse con aceite comercial para encofrados de origen mineral.

Los encofrados metálicos pueden ser rectos o curvos, de acuerdo a los requerimientos definidos en los diseños finales; deberán ser lo suficientemente fuertes para resistir la presión, resultante del vaciado y vibración del hormigón, estar sujetos rígidamente en su posición correcta y los suficientemente impermeables para evitar la pérdida de la lechada. En caso de ser tablero metálico de tol, su espesor no debe ser inferior a 2 mm.

Las formas se dejarán en su lugar hasta que la fiscalización autorice su remoción, y se removerán con cuidado para no dañar el hormigón.

La remoción se autorizará y efectuará tan pronto como sea factible; para evitar demoras en la aplicación del compuesto para sellar o realizar el curado con agua, y permitir la más pronto posible, la reparación de los desperfectos del hormigón.

Con la máxima anticipación posible para cada caso, el Constructor dará a conocer a la fiscalización los métodos y material que empleará para construcción de los encofrados. La autorización previa del Fiscalizador para el procedimiento del colado, no relevará al Constructor de sus responsabilidades en cuanto al acabado final del hormigón dentro de las líneas y niveles ordenados.

Después de que los encofrados para las estructuras de hormigón hayan sido colocados en su posición final, serán inspeccionados por la fiscalización para comprobar que son adecuados en construcción, colocación y resistencia, pudiendo exigir al Constructor el cálculo de elementos encofrados que ameriten esa exigencia.

Para la construcción de tanques de agua potable se emplearán tableros de contrachapados o de superior calidad.

El uso de vibradores exige el empleo de encofrados más resistentes que cuando se usan métodos de compactación a mano.

g.3. Forma de Pago

Los encofrados se medirán en metros cuadrados (m²) con aproximación de dos decimales.

Al efecto, se medirán directamente en la estructura las superficies de hormigón que fueran cubiertas por las formas al tiempo que estén en contacto con los encofrados empleados.

No se medirán para efectos de pago las superficies de encofrado empleadas para confinar hormigón que debió ser vaciado directamente contra la excavación y que debió ser encofrado por causa de sobre excavaciones u otras causa imputables al Constructor, ni tampoco los encofrados empleados fuera de las líneas y niveles del proyecto.

La obra falsa de madera para sustentar los encofrados estará incluida en el pago.

El constructor podrá sustituir, al mismo costo, los materiales con los que está constituido el encofrado (otro material más resistente), siempre y cuando se mejore la especificación, previa la aceptación del Ingeniero fiscalizador.

h. Soportes en galería

h.1. Soportes Provisionales

El contratista deberá proponer a la fiscalización para su aprobación, según las dificultades encontradas, los tipos de entibados más idóneos para sostener las superficies excavadas de manera provisional, hasta la colocación de los soportes definitivos.

Todas las veces que se hallaren condiciones de probables derrumbes, el contratista deberá emplear entibados en cantidad suficiente como para garantizar la seguridad del trabajo, siendo el único responsable de la estabilidad de toda la superficie excavada.

El contratista podrá elegir, entre los diferentes tipos de entibado el que sea más idóneo para el sostén de la roca y su facilidad constructiva. El espaciamiento de los soportes será de conformidad con el tipo de roca que se encuentre durante la perforación y previa aprobación de fiscalización; sin embargo ocasionalmente y en caso de emergencia, el contratista podrá modificar el entibamiento aprobado, ya que es de su responsabilidad el conservar la seguridad del túnel.

Los soportes provisionales deberán ser retirados luego de colocados los soportes definitivos (cerchas metálicas)

h.2. Soportes permanentes de acero estructural, (cerchas metálicas)

Las piezas de acero utilizados como soportes permanentes consistirán de: vigas de ala ancha curvadas de acuerdo con el perfil del túnel. El contratista será el único responsable de la seguridad de toda excavación subterránea. La instalación deberá realizarse con espaciamientos adecuados, tomando en cuenta la clasificación de la roca y en forma inmediata a la excavación, propendiendo que el tiempo transcurrido y el espacio de excavaciones no provoque la inestabilidad del macizo excavado. En zonas de falla se podría utilizar piezas de mayor ancho que permitan estabilizar en mejor forma el derrumbe del material, láminas corrugadas y demás accesorios necesarios para la rápida estabilización del macizo.

El contratista debe proporcionar todos los soportes de acero estructural formados por marcos de acero con perfiles UPN-100 o similares y otros miembros estructurales aprobados, incluyendo los pernos, tuercas, cuñas tirantes y otros accesorios necesarios para armar los soporte permanentes de acero estructural y para mantenerlos en su sitio. Los soportes deberán cumplir las normas respectivas para estos casos.

Los soportes permanentes de acero se colocarán, previa aprobación de la Dirección de Obra, en las líneas y niveles establecidos y deberán conservarse en buen estado por el contratista así como el alineamiento correcto. La distancia entre los marcos de acero estructural se basará en la clasificación geomecánica de la roca según Bieniawsky 1979 y deberá ser aprobado por de la fiscalización de la obra.

Los soportes permanentes para túneles pueden consistir en marcos y anillos de acero estructural, con o sin largueros de acero y otros miembros de acero estructural. Se pueden usar otros soportes permanentes previa aprobación de la fiscalización. Si se quieren soportes permanentes para las secciones irregulares de los túneles, estos soportes deberán construirse de acuerdo con los proyectos aprobados por la fiscalización. Cuando el tipo de roca atravesada lo requiera, ajuicio de la fiscalización se colocará entre cercha y cercha, planchas metálicas convenientemente perfiladas.

Los detalles de los soportes permanentes de acero estructural, incluyendo el tamaño, pesos, materiales y la instalación en diferentes partes del túnel están sujetos a aprobación de la fiscalización. Cualquier cambio de los soportes metálicos, debidos a malas instalaciones por parte del contratista, lo hará el mismo por su cuenta.

Nada de lo estipulado en esta especificación impide que el contratista, por su cuenta monte los soportes provisionales necesarios o use soportes permanentes estructurales más gruesos que los aprobados, si el uso de estos miembros más pesados no aumenta el costo, y nada de lo aquí especificado se puede interpretar que releva al contratista de ser el único responsable de la seguridad del túnel ni de la responsabilidad por heridas ni por la muerte de personas o daños a la propiedad.

h.3. Medición y forma de pago

Una vez que la cercha esté construida conforme se señala en los planos, se pagará por Kilogramo con aproximación a dos decimales, de acuerdo a los precios especificados en la tabla de cantidades y precios, en este precio se incluye todos los costos de transporte, fabricación, colocación y demás accesorios, conforme las especificaciones y detalle de los planos.

i. Hormigones

i.1. Definición

Se entiende por hormigón al producto endurecido resultante de la mezcla de: cemento Portland, agua y agregados pétreos (áridos), en proporciones adecuadas; a esta mezcla pueden agregarse aditivos con la finalidad de obtener características especiales determinadas en los diseños o indicadas por la fiscalización.

i.2. Especificaciones

i.2.1. Generalidades

Estas especificaciones técnicas, incluyen los materiales, herramientas, equipo, fabricación, transporte, manipulación, vertido, a fin de que los hormigones producidos tengan perfectos acabados, resistencia, y estabilidad requeridos.

i.2.2. Clases de hormigón

Las clases de hormigón a utilizarse en la obra serán aquellas señaladas en los planos u ordenada por el Fiscalizador, y están relacionadas con la resistencia requerida, el contenido de cemento, el tamaño máximo de agregados gruesos, contenido de aire y las exigencias de la obra para el uso del hormigón.

Se reconocen varias clases de hormigón, que se clasifican según el valor de la resistencia a la compresión a los 28 días, pudiendo ser entre otros:

TIPO DE HORMIGÓN	f 'c (Kg./cm2)
HS	280
HS	210
HS	180
HS	140
H Ciclópeo	60% HS (f'c=180 K/cm2) +40% Piedra

Tabla 2.6

Los hormigones que están destinados al uso en obras expuestas a la acción del agua, líquidos agresivos, y a severa o moderada acción climática como congelamientos y deshielos alternados, tendrán diseños especiales determinados en los planos, especificaciones y/o más documentos técnicos.

El hormigón que se coloque bajo el agua será de la resistencia especificada con el empleo del tipo de cemento adecuado para fraguado rápido.

El hormigón de 210 kg/cm² está destinado al uso en secciones de estructura o estructuras no sujetas a la acción directa del agua o medios agresivos, secciones masivas ligeramente reforzadas, muros de contención.

El hormigón de 180 kg/cm² se usa generalmente en secciones masivas sin armadura, bloques de anclaje, collarines de contención, replantillos, contrapisos, pavimentos, bordillos, aceras.

El hormigón de 140 kg/cm² se usará para muros, revestimientos u hormigón no estructural.

Todos los hormigones a ser utilizados en la obra deberán ser diseñados en un laboratorio calificado por la Entidad Contratante. El contratista realizará diseños de mezclas, y mezclas de prueba con los materiales a ser empleados que se acopien en la obra, y sobre esta base y de acuerdo a los requerimientos del diseño entregado por el laboratorio, dispondrá la construcción de los hormigones.

Los cambios en la dosificación contarán con la aprobación del Fiscalizador

i.2.3. Normas

Forman parte de estas especificaciones todas las regulaciones establecidas en el Código Ecuatoriano de la Construcción.

i.2.4. Materiales

1º) Cemento

Todo el cemento será de una calidad tal que cumpla con la norma INEN 152: Requisitos, no deberán utilizarse cementos de diferentes marcas en una misma fundición. Los cementos

nacionales que cumplen con estas condiciones son los cementos Portland: Rocafuerte (Holcim), Chimborazo, Guapán y Selva Alegre.

A criterio del fabricante, pueden utilizarse aditivos durante el proceso de fabricación del cemento, siempre que tales materiales, en las cantidades utilizadas, hayan demostrado que cumplen con los requisitos especificados en la norma INEN 1504.

El cemento será almacenado en un lugar perfectamente seco y ventilado, bajo cubierta y sobre tarimas de madera. No es recomendable colocar más de 14 sacos uno sobre otro y tampoco deberán permanecer embodegados por largo tiempo.

El cemento Portland que permanezca almacenado a granel más de 6 meses o almacenado en sacos por más de 3 meses, será nuevamente muestreado y ensayado y deberá cumplir con los requisitos previstos, antes de ser usado.

La comprobación del cemento, indicado en el párrafo anterior, se referirá a:

TIPO DE ENSAYO	ENSAYO INEN
Análisis químico	INEN 152
Finura	INEN 196, 197
Tiempo de fraguado	INEN 158, 159
Consistencia normal	INEN 157
Resistencia a la compresión	INEN 488
Resistencia a la flexión	INEN 198
Resistencia a la tracción	AASHTO T-132

Tabla 2.7

Si los resultados de las pruebas no satisfacen los requisitos especificados, el cemento será rechazado.

Cuando se disponga de varios tipos de cemento estos deberán almacenarse por separado y se los identificará convenientemente para evitar que sean mezclados.

2º) Agregado fino

Los agregados finos para hormigón de cemento Portland estarán formados por arena natural, arena de trituración (polvo de piedra) o una mezcla de ambas.

La arena deberá ser limpia, silícica (cuarzosa o granítica), de mina o de otro material inerte con características similares. Deberá estar constituida por granos duros, angulosos, ásperos al tacto, fuertes y libres de partículas blandas, materias orgánicas, esquistos o pizarras. Se prohíbe el empleo de arenas arcillosas, suaves o disgregables. Igualmente no se permitirá el uso del agregado fino con contenido de humedad superior al 8 %.

Los requerimientos de granulometría deberá cumplir con la norma INEN 872: Áridos para hormigón.

Requisitos:

El módulo de finura no será menor que 2.4 ni mayor que 3.1; una vez que se haya establecido una granulometría, el módulo de finura de la arena deberá mantenerse estable, con variaciones máximas de ± 0.2 , en caso contrario el fiscalizador podrá disponer que se realicen otras combinaciones, o en último caso rechazar este material.

Ensayos y tolerancias:

Las exigencias de granulometría serán comprobadas por el ensayo granulométrico especificado en la norma INEN 697. El peso específico de los agregados se determinará de acuerdo al método de ensayo estipulado en la norma INEN 856. El peso unitario del agregado se determinará de acuerdo al método de ensayo estipulado en la norma INEN 858.

El árido fino debe estar libre de cantidades dañinas e impurezas orgánicas, para lo cual se empleará el método de ensayo INEN 855. Se rechazará todo material que produzca un color más oscuro que el patrón.

Un árido fino rechazado en el ensayo de impurezas orgánicas puede ser utilizado, si la decoloración se debe principalmente a la presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito o partículas discretas similares. También puede ser aceptado si, al ensayarse para determinar el efecto de las impurezas orgánicas en la resistencia de morteros, la resistencia relativa calculada a los 7 días, de acuerdo con la norma INEN 866, no sea menor del 95 %.

El árido fino por utilizarse en hormigón que estará en contacto con agua, sometida a una prolongada exposición de la humedad atmosférica o en contacto con la humedad del suelo, no debe contener materiales que reaccionen perjudicialmente con los álcalis del cemento, en una cantidad suficiente para producir una expansión excesiva del mortero o del hormigón. Si tales materiales están presentes en cantidades dañinas, el árido fino puede utilizarse, siempre que se lo haga con un cemento que contenga menos del 0.6 % de álcalis calculados como óxido de sodio.

El árido fino sometido a 5 ciclos de inmersión y secado para el ensayo de resistencia a la disgregación (norma INEN 863), debe presentar una pérdida de masa no mayor del 10 %, si se utiliza sulfato de sodio; o 15 %, si se utiliza sulfato de magnesio. El árido fino que no cumple con estos porcentajes puede aceptarse siempre que el hormigón de propiedades comparables, hecho de árido similar proveniente de la misma fuente, haya mostrado un servicio satisfactorio al estar expuesto a una intemperie similar a la cual va estar sometido el hormigón por elaborarse con dicho árido.

Todo el árido fino que se requiera para ensayos, debe cumplir los requisitos de muestreo establecidos en la norma INEN 695.

La cantidad de sustancias perjudiciales en el árido fino no debe exceder los límites que se especifican en la norma INEN 872. Los siguientes son los porcentajes máximos permisibles (en peso de la muestra) de sustancias indeseables y condicionantes de los agregados.

AGREGADO FINO	% DEL PESO
Material que pasa el tamiz No. 200	3.00
Arcillas y partículas desmenuzables	0.50
Hulla y lignito	0.25
Otras sustancias dañinas	2.00
Total máximo permisible	4.00

Tabla 2.8

En todo caso la cantidad de sustancias perjudiciales en el árido fino no debe exceder los límites que se estipula en la norma INEN 872 para árido fino.

3º) Agregado Grueso

Los agregados gruesos para el hormigón de cemento Portland estarán formados por grava, roca triturada o una mezcla de estas que cumplan con los requisitos de la norma INEN 872.

Para los trabajos de hormigón, consistirá en roca triturada mecánicamente, será de origen andesítico, preferentemente de piedra azul.

Se empleará ripio limpio de impurezas, materias orgánicas, y otras sustancias perjudiciales, para este efecto se lavará perfectamente. Se recomienda no usar el ripio que tenga formas alargadas o de plaquetas.

La producción y almacenamiento del ripio, se efectuará dentro de tres grupos granulométricos separados, designados de acuerdo al tamaño nominal máximo del agregado y según los siguientes requisitos:

TAMIZ INEN	PORCENTAJE EN MASA QUE DEBEN PASAR POR LOS TAMICES		
	No.4 a 3/4" (19 mm)	3/4" a 1 1/2" (38mm)	1 1/2 a 2"
(aberturas cuadradas)			
(76mm)			
3" (76mm)			90-100
2" (50 mm)		100	20-55
1 1/2" (38 mm)		90-100	0-10
1" (25mm)	100	20-45	0- 5
3/4(19mm)	90-100	0-10	
3/8(10mm)	30-55	0- 5	
No. 4(4.8mm)	0-5		

Tabla 2.9

También podrá usarse canto rodado triturado a mano o ripio proveniente de cantera natural siempre que tenga forma cúbica o piramidal, debiendo ser rechazado el ripio que contenga más del 15 % de formas planas o alargadas.

En todo caso los agregados para el hormigón de cemento Portland cumplirán las exigencias granulométricas que se indican en la tabla 3 de la norma INEN 872.

Las exigencias de granulometrías serán comprobadas por el ensayo granulométrico INEN 696.

El peso específico de los agregados se determinará de acuerdo al método de ensayo INEN 857.

Los siguientes son los porcentajes máximos permisibles (en peso de la muestra) de sustancias indeseables y condicionantes de los agregados.

AGREGADO GRUESO	% DEL PESO
Solidez, sulfato de sodio, pérdidas	
en cinco ciclos:	12.00
Abrasión - Los Ángeles (pérdida):	35.00
Material que pasa tamiz No. 200:	0.50
Arcilla:	0.25
Hulla y lignito:	0.25
Partículas blandas o livianas:	2.00
Otros:	1.00

Tabla 2.10

En todo caso la cantidad de sustancias perjudiciales en el árido grueso no debe exceder los límites que se estipula en la norma INEN 872.

4º) Piedra

La piedra para hormigón ciclópeo deberá provenir de depósitos naturales o de canteras; será de calidad aprobada, sólida resistente y durable, exenta de defectos que afecten a su resistencia y estará libre de material vegetal tierra u otro material objetable. Toda la piedra alterada por la acción de la intemperie o que se encuentre meteorizada, será rechazada.

Las piedras a emplearse para cimientos o cualquier obra de albañilería serán limpias, graníticas, andesíticas o similares, de resistencia y tamaño adecuado para el uso que se les va a dar, inalterables bajo la acción de los agentes atmosféricos.

La piedra para hormigón ciclópeo tendrá una densidad mínima de 2.3 gr/cm³, y no presentará un porcentaje de desgaste mayor a 40 en el ensayo de abrasión norma INEN 861 luego de 500 vueltas de la máquina de los Ángeles.

La piedra para hormigón ciclópeo no arrojará una pérdida de peso mayor al 12 %, determinada en el ensayo de durabilidad, norma INEN 863, luego de 5 ciclos de inmersión y lavado con sulfato de sodio.

El tamaño de las piedras deberá ser tal que en ningún caso supere el 25 % de la menor dimensión de la estructura a construirse. El volumen de piedras incorporadas no excederá del 50 % del volumen de la obra o elemento que se está construyendo con ese material.

5º) Aqua

El agua para la fabricación del hormigón será potable, libre de materias orgánicas, deletéreos y aceites, tampoco deberá contener sustancias dañinas como ácidos y sales, deberá cumplir con la norma INEN 1108 Agua Potable.

Requisitos: El agua que se emplee para el curado del hormigón, cumplirá también los mismos requisitos que el agua de amasado.

6º) Aditivos

En caso de usar aditivos, estos estarán sujetos a aprobación previa de fiscalización. Se demostrará que el aditivo es capaz de mantener esencialmente la misma composición y rendimiento del hormigón en todos los elementos donde se emplee aditivos. Se respetarán las proporciones y dosificaciones establecidas por el productor

Los aditivos que se empleen en hormigones cumplirán las siguientes normas:

- Aditivos para hormigones. Aditivos químicos. Requisitos: Norma INEN PRO 1969.
- Aditivos para hormigones. Definiciones. Norma INEN PRO 1844

- Aditivos reductores de aire. Norma INEN 191, 152

Los aditivos reductores de agua, retardadores y acelerantes deberán cumplir la "Especificación para aditivos químicos para concreto" (ASTM - C - 490) y todos los demás requisitos que esta exige exceptuando el análisis infrarrojo.

1.2.5. Amasado del Hormigón

Se recomienda realizar el amasado a máquina, en lo posible una que posea una válvula automática para la dosificación del agua.

La dosificación se la hará al peso. El control de balanzas, calidades de los agregados y humedad de los mismos deberá hacerse por lo menos a la iniciación de cada jornada de fundición.

El hormigón se mezclará mecánicamente hasta conseguir una distribución uniforme de los materiales. No se sobrecargará la capacidad de las hormigoneras utilizadas; el tiempo mínimo de mezclado será de 1.5 minutos, con una velocidad de por lo menos 14 r.p.m.

El agua será dosificada por medio de cualquier sistema de medida controlado, corrigiéndose la cantidad que se coloca en la hormigonera de acuerdo a la humedad que contengan los agregados. Pueden utilizarse las pruebas de consistencia para regular estas correcciones.

1º) Hormigón mezclado en camión

La norma que regirá al hormigón premezclado será la INEN PRO 1855.

Las mezcladoras sobre camión serán del tipo de tambor giratorio, impermeables y de construcción tal que el hormigón mezclado forme una masa completamente homogénea.

Los agregados y el cemento serán medidos con precisión en la planta central, luego de lo cual se cargará el tambor que transportará la mezcla. La mezcladora del camión estará equipada con un tanque para medición de agua; solamente se llenará el tanque con la cantidad de agua establecida, a menos que se tenga un dispositivo que permita comprobar la cantidad de agua añadida. La cantidad de agua para cada carga podrá añadirse directamente, en cuyo caso no se requiere tanque en el camión.

La capacidad de las mezcladoras sobre camión será la fijada por su fabricante, y el volumen máximo que se transportará en cada carga será el 60 % de la capacidad nominal para mezclado, o el 80 % del mismo para la agitación en transporte.

El mezclado en tambores giratorios sobre camiones deberá producir hormigón de una consistencia adecuada y uniforme, la que será comprobada por el Fiscalizador cuando él lo estime conveniente. El mezclado se empezará hasta dentro de 30 minutos luego de que se ha añadido el cemento al tambor y se encuentre éste con el agua y los agregados. Si la temperatura del tambor está sobre los 32 grados centígrados y el cemento que se utiliza es de fraguado rápido, el límite de tiempo antedicho se reducirá a 15 minutos.

La duración del mezclado se establecerá en función del número de revoluciones a la velocidad de rotación señalada por el fabricante. El mezclado que se realice en un tambor giratorio no será inferior a 70 ni mayor que 100 revoluciones. Para verificar la duración del mezclado, se instalará un contador adecuado que indique las revoluciones del tambor; el contador se accionará una vez que todos los ingredientes del hormigón se encuentren dentro del tambor y se comience el mezclado a la velocidad especificada.

2º) *Transporte de la mezcla*

La entrega del hormigón para estructuras se hará dentro de un período máximo de 1.5 horas, contadas a partir del ingreso del agua al tambor de la mezcladora; en el transcurso de este tiempo la mezcla se mantendrá en continua agitación. En condiciones favorables para un fraguado más rápido, como tiempo caluroso, el Fiscalizador podrá exigir la entrega del hormigón en un tiempo menor al señalado anteriormente.

El vaciado del hormigón se lo hará en forma continua, de manera que no se produzca, en el intervalo de 2 entregas, un fraguado parcial del hormigón ya colocado; en ningún caso este intervalo será más de 30 minutos.

En el transporte, la velocidad de agitación del tambor giratorio no será inferior a 4 RPM ni mayor a 6 RPM. Los métodos de transporte y manejo del hormigón serán tales que faciliten su colocación con la mínima intervención manual y sin causar daños a la estructura o al hormigón mismo.

i.2.6. Manipulación y vaciado del hormigón

1º) Manipulación

La manipulación del hormigón en ningún caso deberá tomar un tiempo mayor a 30 minutos.

Previo al vaciado, el constructor deberá proveer de canalones, elevadores, artesas y plataformas adecuadas a fin de transportar el hormigón en forma correcta hacia los diferentes niveles de consumo. En todo caso no se permitirá que se deposite el hormigón desde una altura tal que se produzca la separación de los agregados.

El equipo necesario tanto para la manipulación como para el vaciado, deberá estar en perfecto estado, limpio y libre de materiales usados y extraños.

2º) Vaciado

Para la ejecución y control de los trabajos, se podrán utilizar las recomendaciones del ACI 614 - 59 o las del ASTM. El constructor deberá notificar al fiscalizador el momento en que se realizará el vaciado del hormigón fresco, de acuerdo con el cronograma, planes y equipos ya aprobados. Todo proceso de vaciado, a menos que se justifique en algún caso específico, se realizará bajo la presencia del fiscalizador.

El hormigón debe ser colocado en obra dentro de los 30 minutos después de amasado, debiendo para el efecto, estar los encofrados listos y limpios, asimismo deberán estar colocados, verificados y comprobados todas las armaduras y chicotes, en estas condiciones, cada capa de hormigón deberá ser vibrada a fin de desalojar las burbujas de aire y oquedades contenidas en la masa, los vibradores podrán ser de tipo eléctrico o neumático, electromagnético o mecánico, de inmersión o de superficie, etc.

De ser posible, se colocará en obra todo el hormigón de forma continua. Cuando sea necesario interrumpir la colocación del hormigón, se procurará que esta se produzca fuera de las zonas críticas de la estructura, o en su defecto se procederá a la formación inmediata de una junta de construcción técnicamente diseñada según los requerimientos del caso y aprobados por la fiscalización.

Para colocar el hormigón en vigas o elementos horizontales, deberán estar fundidos previamente los elementos verticales.

Las jornadas de trabajo, si no se estipula lo contrario, deberán ser tan largas, como sea posible, a fin de obtener una estructura completamente monolítica, o en su defecto establecer las juntas de construcción ya indicadas.

El vaciado de hormigón para condiciones especiales debe sujetarse a lo siguiente:

- ***Vaciado del hormigón bajo agua***

Se permitirá colocar el hormigón bajo agua tranquila, siempre y cuando sea autorizado por el Ingeniero fiscalizador y que el hormigón haya sido preparado con el cemento determinado para este fin y con la dosificación especificada. No se pagará compensación adicional por ese concepto extra. No se permitirá vaciar hormigón bajo agua que tenga una temperatura inferior a 5°C.

- ***Vaciado del hormigón en tiempo frío:***

Cuando la temperatura media esté por debajo de 5°C se procederá de la siguiente manera:

Añadir un aditivo acelerante de reconocida calidad y aprobado por la Supervisión.

La temperatura del hormigón fresco mientras es mezclado no será menor de 15°C. La temperatura del hormigón colocado será mantenida a un mínimo de 10°C durante las primeras 72(setenta y dos) horas después de vaciado durante los siguientes 4(cuatro) días la temperatura de hormigón no deberá ser menor de 5°C.

El Constructor será enteramente responsable por la protección del hormigón colocado en tiempo frío y cualquier hormigón dañado debido al tiempo frío será retirado y reemplazado por cuenta del Constructor.

- ***Vaciado del hormigón en tiempo cálido:***

La temperatura de los agregados agua y cemento será mantenido al más bajo nivel práctico. La temperatura del cemento en la hormigonera no excederá de 50°C y se debe tener cuidado para evitar la formación de bolas de cemento.

La subrasante y los encofrados serán totalmente humedecidos antes de colocar el hormigón.

La temperatura del hormigón no deberá bajo ninguna circunstancia exceder de 32°C y a menos que sea aprobado específicamente por la Supervisión, debido a condiciones excepcionales, la temperatura será mantenida a un máximo de 27°C.

Un aditivo retardante reductor de agua, que sea aprobado, será añadido a la mezcla del hormigón de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. No se deberá exceder el asentamiento de cono especificado.

i.2.7. Consolidación

El hormigón armado o simple será consolidado por vibración y otros métodos adecuados aprobados por el fiscalizador. Se utilizarán vibradores internos para consolidar hormigón en todas las estructuras. Deberá existir suficiente equipo vibrador de reserva en la obra, en caso de falla de las unidades que estén operando.

El vibrador será aplicado a intervalos horizontales que no excedan de 75 cm, y por períodos cortos de 5 a 15 segundos, inmediatamente después de que ha sido colocado. El apisonado, varillado o paleteado será ejecutado a lo largo de todas las caras para mantener el agregado grueso alejado del encofrado y obtener superficies lisas.

i.2.8. Pruebas de consistencia y resistencia

Se controlará periódicamente la resistencia requerida del hormigón, se ensayarán en muestras cilíndricas de 15.3 cm (6") de diámetro por 30.5 cm (12") de altura, de acuerdo con las recomendaciones y requisitos de las especificaciones ASTM, CI72, CI92, C31 y C39.

La cantidad de ensayos a realizarse, será de por lo menos uno por cada 6 m³ de Hormigón (2 cilindros por ensayo, 1 probado a los 7 días y el otro a los 28 días).

Los ensayos que permitan ejercer el control de calidad de las mezclas de concreto, deberán ser efectuados por el fiscalizador, inmediatamente después de la descarga de las mezcladoras. El transporte de los cilindros para los ensayos se lo hará de manera adecuada.

Si el transporte del hormigón desde las hormigoneras hasta el sitio de vaciado, fuera demasiado largo y sujeto a evaporación apreciable, se tomará las muestras para las pruebas

de consistencia y resistencia junto al sitio de la fundición. De utilizarse hormigón premezclado, se tomarán 2 muestras por cada camión que llegue a la obra.

La uniformidad de las mezclas, será controlada según la especificación ASTM - C39. Su consistencia será definida por el fiscalizador y será controlada en el campo, ya sea por el método del factor de compactación del ACI, o por los ensayos de asentamiento, según ASTM - C143. En todo caso la consistencia del hormigón será tal que no se produzca la disgregación de sus elementos cuando se coloque en obra.

Siempre que las inspecciones y las pruebas indiquen que se ha producido la segregación de una amplitud que vaya en detrimento de la calidad y resistencia del hormigón, se revisará el diseño, disminuyendo la dosificación de agua o incrementando la dosis de cemento, o ambos. Dependiendo de esto, el asentamiento variará de 7 - 10 cm.

i.2.9. Curado del hormigón

El constructor, deberá contar con los medios necesarios para efectuar el control de la humedad, temperatura y curado del hormigón, especialmente durante los primeros días después de vaciado, a fin de garantizar un normal desarrollo del proceso de hidratación del cemento y de la resistencia del hormigón.

El curado del hormigón podrá ser efectuado siguiendo las recomendaciones del Comité 612 del ACI.

De manera general, se podrá utilizar los siguientes métodos: esparcir agua sobre la superficie del hormigón ya suficientemente endurecida; utilizar mantas impermeables de papel, compuestos químicos líquidos que formen una membrana sobre la superficie del hormigón y que satisfaga las especificaciones ASTM - C309, también podrá utilizarse arena o aserrín en capas y con la suficiente humedad.

El curado con agua, deberá realizárselo durante un tiempo mínimo de 14 días. El curado comenzará tan pronto como el hormigón haya endurecido.

Además de los métodos antes descritos, podrá curarse al hormigón con cualquier material saturado de agua, o por un sistema de tubos perforados, rociadores mecánicos, mangueras porosas o cualquier otro método que mantenga las superficies continuamente, no periódicamente, húmedas. Los encofrados que estuvieren en contacto con el hormigón fresco

también deberán ser mantenidos húmedos, a fin de que la superficie del hormigón fresco, permanezca tan fría como sea posible.

El agua que se utilice en el curado, deberá satisfacer los requerimientos de las especificaciones para el agua utilizada en las mezclas de hormigón.

El curado de membrana, podrá ser realizado mediante la aplicación de algún dispositivo o compuesto sellante que forme una membrana impermeable que retenga el agua en la superficie del hormigón. El compuesto sellante será pigmentado en blanco y cumplirá los requisitos de la especificación ASTM C309, su consistencia y calidad serán uniformes para todo el volumen a utilizarse.

El constructor, presentará los certificados de calidad del compuesto propuesto y no podrá utilizarlo si los resultados de los ensayos de laboratorio no son los deseados.

i.2.10. Reparaciones

Cualquier trabajo de hormigón que no se halle bien conformado, sea que muestre superficies defectuosas, aristas faltantes, etc., al desencofrar, serán reformados en el lapso de 24 horas después de quitados los encofrados.

Las imperfecciones serán reparadas por mano de obra experimentada bajo la aprobación y presencia del fiscalizador, y serán realizadas de tal manera que produzcan la misma uniformidad, textura y coloración del resto de las superficies, para estar de acuerdo con las especificaciones referentes a acabados.

Las áreas defectuosas deberán picarse, formando bordes perpendiculares y con una profundidad no menor a 2.5 cm. El área a repararse deberá ser la suficiente y por lo menos 15 cm.

Según el caso para las reparaciones se podrá utilizar pasta de cemento, morteros, hormigones, incluyendo aditivos, tales como ligantes, acelerantes, expansores, colorantes, cemento blanco, etc. Todas las reparaciones se deberán conservar húmedas por un lapso de 5 días.

Cuando la calidad del hormigón fuere defectuosa, todo el volumen comprometido deberá reemplazarse a satisfacción del fiscalizador.

i.2.11. Juntas de construcción

Las juntas de construcción deberán ser colocadas de acuerdo a los planos o lo que indique la fiscalización. Donde se vaya a realizar una junta, la superficie de hormigón fundido debe dejarse dentada o áspera y será limpiada completamente mediante soplete de arena mojada, chorros de aire y agua a presión u otro método aprobado. Las superficies de juntas encofradas serán cubiertas por una capa de 1 cm de pasta de cemento puro, inmediatamente antes de colocar el hormigón nuevo. Dicha parte será bien pulida con escobas en toda la superficie de la junta, en los rincones y huecos y entre las varillas de refuerzo saliente.

i.2.12. Tolerancias

El constructor deberá tener mucho cuidado en la correcta realización de las estructuras de hormigón, de acuerdo a las especificaciones técnicas de construcción y de acuerdo a los requerimientos de planos estructurales, deberá garantizar su estabilidad y comportamiento.

El fiscalizador podrá aprobar o rechazar e inclusive ordenar rehacer una estructura cuando se hayan excedido los límites tolerables que se detallan a continuación:

1º) Tolerancia para estructuras de hormigón armado

- Desviación de la vertical (plomada)

En las líneas y superficies de paredes y en aristas: En 3 m 6.0 mm.

En un entrepiso: Máximo en 6 m 10.0 mm. En 12 m o más 19.0 mm.

- Variaciones en las dimensiones de las secciones transversales en los espesores de losas y paredes:

En menos 6 mm

En más 12.0 mm

- Variación de dimensiones en planta (zapatas o cimentaciones):

En menos 12.0mm

En más 50.0 mm

- Desplazamientos por localización o excentricidad: 2% del ancho de zapata en la dirección del desplazamiento pero no más de 50.0 mm.
- Reducción en espesores: Menos del 5% de los espesores especificados

2º) **Tolerancias para estructuras masivas:**

Toda clase de estructuras: En 6 m 12.0 mm

- Variaciones de las dimensiones construidas de las establecidas en los planos:

En 12m 19.0 mm

En 24 m o más 32.0 mm

- Variaciones de las dimensiones con relación a elementos estructurales individuales, de posición definitiva: En construcciones subterráneas dos veces las tolerancias anotadas antes.
- Desviaciones de la vertical de los taludes especificados o de las superficies curvas de todas las estructuras incluyendo las líneas y superficies de columnas, paredes, estribos, secciones de arcos, medias cañas para juntas verticales y aristas visibles:

En 3 m 12.0 mm

En 6 m 19.0 mm

En 12 ó más 30.0 mm

En construcciones subterráneas: dos veces las tolerancias anotadas antes.

3º) **Tolerancias para colocación del acero de refuerzo:**

- Variación del recubrimiento de protección:
 - Con 50 mm de recubrimiento: 6.0 mm
 - Con 76 mm de recubrimiento: 12.0 mm
- Variación en el espaciamiento indicado: 10.0 mm

i.2.13. Dosificación

Los hormigones deberán ser diseñados de acuerdo a las características de los agregados, y los requerimientos técnicos necesarios en las obras.

C = Cemento

A = Arena

R = Ripio o grava

Ag. = Agua

Los agregados deben ser de buena calidad, libre de impurezas, materia orgánica, y tener adecuada granulometría. De igual manera el agua será libre de aceites, sales, ácidos u otras impurezas.

i.3. Forma Pago

El hormigón será medido en metros cúbicos con 2 decimales de aproximación, determinándose directamente en la obra las cantidades correspondientes.

El hormigón simple de bordillos dimensionados se medirá en metros lineales con 2 decimales de aproximación.

Las losetas de hormigón prefabricado de conformidad con las medidas fijadas, se medirán en unidades.

Los parantes de hormigón armado, contruidos de acuerdo a las medidas señaladas, se medirán en metros.

j. Drenes

j.1. Descripción

Se entenderá como drenes para estructura los tubos que se coloque bajo ella o se introduzcan en el terreno, con grava natural clasificada o sin clasificar, arena o piedra triturada, que faciliten el libre escurrimiento de las filtraciones del terreno natural y evite en esa forma la subpresión hidrostática que pueda actuar contra la estructura.

Las excavaciones o perforaciones necesarias para alojar los drenes se considerarán como excavaciones o perforaciones de drenaje.

El material permeable que conformará el dren se colocará formando capas en la forma en que señalen los planos o el Ingeniero Fiscalizador, se colocarán de tal manera que los materiales finos queden en contacto con el suelo natural y los de mayor diámetro en contacto con la estructura siguiendo una graduación uniforme.

Los drenes en los hastiales o bóveda de la galería se construirán con tubos que tengan un diámetro mínimo de 11/2" anclados en forma adecuada, en lugares que se señale en los planos o el Ingeniero Fiscalizador, al colocarlos se deberá tener especial cuidado de no obturar las juntas de los tubos en la operación de instalación de la tubería de la red o en el colado del hormigón. Existe drenes que se colocarán tras las estructuras, estos se construirán con tubería de pvc reforzado de 3".

j.2. Medición y Forma de Pago

La construcción de drenes se pagará en metro lineal de tubería, con aproximación a dos decimales, en el que se incluye el material granular. Al efecto se determinarán directamente en la obra, la longitud de los drenes colocados de acuerdo al proyecto.

k. Bombeo desde el interior de excavaciones

k.1. Descripción

Bombeo es la acción de extraer, elevar o impulsar un fluido mediante una o más bombas para realizar una obra desde un sitio previamente escogido hasta el exterior de una excavación, ya que la zanja, su limpieza, los encofrados y las fundiciones no pueden realizarse con presencia de agua, cualquiera que sea su procedencia y por tanto hay que tomar las debidas precauciones y protecciones que la técnica de construcción aconseja para estos casos.

El método para eliminar el agua de las excavaciones, es por bombeo, mediante la utilización de bombas eléctricas o de combustión, dependiendo de la altura a elevar el fluido; en el segundo caso, evitando contaminar el ambiente de trabajo con los gases de la combustión.

k.2. Medición y Forma de Pago

El bombeo de agua se medirá en horas que realmente estuvo encendida la bomba y se medirá con aproximación del minuto.¹³²

2.2.6. Planos de Diseño (Ver Anexo 5)¹³³

2.3. Descripción y detalle de la mano de obra utilizada en la construcción de la galería exploratoria de Guápulo tercera etapa

A continuación se presenta un cuadro detallando al personal utilizado, su categoría y sus funciones desempeñadas en la realización de la Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa.

PERSONAL	CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
TÉCNICOS		
1 Ingeniero Residente	Ingeniero Civil, título de 3er. Nivel	Encargados del control de obreros, logística de materiales, cubicación de avance de obra, elaboración de planillas, preparación de informes, seguridad industrial, control de explosivos y cumplimiento del plan de contingencia.
2 Ayudantes de Residente	Egresados de Ingeniería Civil	

¹³² Cfr. EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, Especificaciones Técnicas, Quito, 2005

¹³³ EMAAP-Q, “Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650”, Planos de Diseño, Quito, 2005

OBREROS		
1 Electricista	Técnico	Encargado de instalar todas la conexiones, red eléctrica y equipos usados en la galería y campamento.
2 Ayudantes de Electricista	Categoría I	Encargados de asistir al electricista en las instalaciones, acometidas, funcionamiento de equipos, y colocación de la red eléctrica.
1 Maestro Mayor	Categoría IV	Encargado de controlar maquinaria, proveer materiales, instalar cerchas y entibar con ayuda de las 4 personas (2 perforadores y 2 obreros) que se encuentran fijos en el interior del túnel. Además el maestro mayor deberá estar listo ante cualquier emergencia, y comunicar al personal que labora el turno
2 Perforadores	Categoría IV	Encargados de perforar, picar y cargar la carreta en el frontón
2 Obreros	Categoría III	Encargados de manipular maquinaria y equipos, deberán turnarse con los perforadores para evitar el desgaste físico
1 Tractorista	Maquinista	Encargado del manejo de tractor con el que deberá llevar la carreta cargada y traer la nueva descargada
1 Peón	Categoría I	Encargado de ayudar al tractorista a descargar la carreta y acomodar el material excavado en el exterior de la galería

2 Choferes	Categoría IV	Encargados de manejar los volquetes hacia el lugar de disposición final
1 Operador	Categoría IV	Encargado de operar la gallineta que carga el material excavado a los volquetes
1 Cocinera	Categoría II	Reside en el campamento y está encargada de preparar las comidas para todo el personal

Tabla 2.11

Elaborado por: Autores

2.4. Descripción y detalle de los materiales utilizados en la galería exploratoria de Guápulo tercera etapa

A continuación se presenta un cuadro detallando los materiales, su especificación y características, y su uso dentro de la construcción de la Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa

MATERIALES	CARACTERÍSTICAS / ESPECIFICACIÓN	PROCEDIMIENTO
HORMIGÓN		
Arena	Provenientes de la mina ubicada en Pifo perteneciente a DISENSA; piedra #57 y arena azul (material triturado)	Material utilizado en la elaboración de hormigón y como parte del sistema de drenaje.
Ripio		
Piedra bola		

Cemento Portland 50 Kg.	SELVALEGRE Cemento puzolánico contiene aproximadamente: 55-70% clinker Portland; 30-45% puzolana; 2-4% yeso	Material utilizado para la conformación del hormigón, sus propiedades químicas reaccionan con el resto de materiales brindando dureza y consistencia a la mezcla
Sika 3	Acelerante usado en hormigón	Material vertido en el hormigón 210 kg/cm ² para conseguir fraguado en 1 hora
TUBERÍAS Y ACCESORIOS		
Yee desagüe	NOVAFORT EC 160 mm	Material utilizado en el sistema de drenaje bajo la solera
Tubería de drenaje PVC	NOVAFORT Ø 160 mm	Material utilizado en el sistema de drenaje bajo la solera
Kalipega	946 cc.	Material utilizado para suelda de tubería NOVAFORT
Anillo de caucho	NOVAFORT 160 mm	Material utilizado para unión de los tubos de drenaje
Tapón de desagüe	160 mm	Material utilizado al fin del drenaje (frontón del túnel)
Instalación de agua	tubería PVC 1/2"	Material utilizado para refrigerante de pie de avance
Tubo	110 plomo	Material utilizado para instalaciones de batería sanitaria
Tubos	R; PE/BAJA/RECI. Negro sin imp	

	(79-01); 40"	
Llave de manguera	FV	Material utilizado para instalaciones sanitarias y agua potable
Unión 1/2"	Hidro 3	
Tee 1/2"	Hidro3	
Abrazadera 1/2	industrial 62-67	
Codos PVC	110x90 Plastigama	
Neplo	HG 1 1/2"x10 cm	
Llave de paso	de bola 1/2"	
Pitón manguera	3PZS Italy	
ACEROS Y ACCESORIOS		
Varilla (acero de refuerzo)	12x12; 10x12	Material colocado en hombros, bóveda y solera
Electrodos	AGA 6011 1/8	Material para suelda en armella para cerchas
Acero en barras	1,75m Pretul	Material de mantenimiento de equipos
Alambre #18	recocido #18, 20kg	Material utilizado para amarre de acero de refuerzo
Alambre #10	recocido #10, 22kg por rollo	Material para sujetar tabloncillos de entibado

Pernos	1/8"x1/2"	Material para asegurar las uniones de semi-cerchas y extensiones de cerchas utilizados en los cambios
Perfiles UPN	6 m	material que conforma la fabricación de cerchas
Placas metálicas	A36 (200x90x6 mm, y 200x100x10 mm)	Material de bases y uniones de cerchas
Disco de corte para hierro	SIEA 9"	Material utilizado para cortar varilla y alambre de amarre
MADERA		
Tablones de Colorado	2,4x0,27x0,04	Material utilizado como entibado permanente
Rieles	2,4x0,15x0,02	
Pingos	2,5x Ø10	
ILUMINACIÓN		
Alambre sólido #12	alambre/PVC 450-750 V	Material utilizado en iluminación dentro de la galería
Alambre sólido #10	alambre/PVC 450-750 V	Material utilizado en la red para acometida hacia la galería
Alambre gemelo 2x14	alambre/VDE 300 V	Material utilizado en iluminación de campamento
Enchufe	blindado T/EAGLE	Materiales utilizados en actividades

Toma	T/EAGLE	eléctricas varias
Boquillas	CAU C/ALAM E27 UN; claro 100W 120V E27 OSRAM	Material utilizado en iluminación a lo largo de la galería
Iodín para lámparas	foco 500 W 220-240V SYL COL	Material utilizado para iluminación en el frontón
OTROS		
Polietileno	plástico negro 47 kls	Material utilizado para facilitar trabajos de excavación y protección de solera para fraguado y sistema de drenajes.
Dinamita	Nuevo explogel III ; 1x1/8 x 7 "	Material usado como explosivo para la excavación en roca, piroclastos y avalancha.
Fulminantes ordinarios #8	cápsula 45 mm, diámetro externo 6,3 mm	Material que activa la dinamita para producir la explosión
Mecha lenta plastificada	Cordón de 4,7 mm, núcleo central de pólvora, capas de: fibras, asfalto, plástico	Material que activa el fulminante
Fundas plásticas para protección de los cartuchos	fundas naturales 4x10; 102x254	Material que protege a los cartuchos del agua
	fundas negras delgada 6x9; 152x22	
Pegamento africano	1/4 de litro	Material que asegura el fulminante, cartucho y mecha

Pernos de acero	grado 8 5/8x3 y 1/2": grado 5 3/8x3	Material utilizado para la reparación de carretas y tractor
Tuercas	3/8 hexagonal NC	Material utilizado en mantenimiento de equipos
Arandelas	PLA 3/8 HIE, PRE 3/8; PLA 5/8 HIE, PRE 5/8	
Clavos de acero	4 C/C	Material utilizado en señalización de rótulos
Piola	#6 PONTE/S	Material utilizado en marcación, ubicación de niveles, etc.
Franela	59FRAN10	Material de uso personal por parte de los obreros
Cinta de embalaje	transparente 2"x80 vd	Material usado para asegurar mecha, fulminante y cartucho
Cabo Fortex	1/2"	Material utilizado para protección de obreros, halar equipos y materiales
Candado	Lámina China 50-TL650	material usado para asegurar bodegas y campamento

Tabla 2.12

Elaborado por: Autores

2.5. Descripción y detalle de equipos utilizados en la galería exploratoria de Guápulo tercera etapa

A continuación se presentan cuadros detallando los equipos con su especificación, características, y su uso dentro de la construcción de la Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa

EQUIPOS / HERRAMIENTAS	CARACTERÍSTICAS / ESPECIFICACIONES	PROCEDIMIENTO
HERRAMIENTA MENOR		
picos	doble punta con curvatura	Herramientas utilizadas para excavación, desalojo, limpieza, desbroce, etc.
palas	Bellota	
Lima redonda	Bellota	
Llave mix	TW 1"	
Machete	24" Bellota	
Escalera metálica	Aluminio conformado	
Cinzel puntero	TE-SP SM70	
cabo para zapapico	Bellota	
martillo	para carpintero/ Bellota	
Combo	12 lbs HANSA	
Cizalla	120 CA/CD. A: 5.0 -CPM: 4,000	Equipo utilizado para el corte de hierro

Flexómetro	Bellota 3m	Herramienta utilizada para medir longitudes y marcas distancias
Barrenos	longitud 5 pies	Herramientas que conforman las orificios para los cartuchos
Tecle	tecle manual ELEPHANT de cadena 2 toneladas	Herramienta que ayuda a izar rocas de gran dimensión para su posterior desalojo
Cadena	5/16"	Herramienta utilizada para halar carretas e izar piedras
Llave ajustable	12" PRETUL	Herramienta para mantenimiento de equipos
VENTILACIÓN		
Manga de ventilación	manga 18,5" , 0,008 cm. de grosor	Herramienta conductora de aire hacia la galería
Blower centrífugo	1,5 HP 1948 CFN - 1,5 sp; Dayton USA 110-220 V	Equipo utilizado para conducir aire a través de la manga
Base de estructura metálica	50x50x150 cm para motor Blower	Herramienta utilizada para sujeta el ventilador a la torre de inicio para ventilación
Ventilador aerofoil JL 9,5"	Mot. D63B 3300rpm/110V/320W/1600 CFN	Equipo utilizado para renovar el aire a lo largo del interior de la galería

DRENAJE DE AGUA		
Pulmón auxiliar	Tanque para conservar la presión	Equipo de apoyo para conservar la presión del compresor
Bomba de agua de 2"	173F-40CX, diesel	Equipo utilizado para desalojar el exceso de agua existente
PERFORACIÓN		
Martillo rompedor Hilti	TE905DLX 115 V.	Equipo empleado en la excavación, desmenuza el material en el frontón del túnel
Martillo perforador	BOSCH GBH 5-38 D martillo perforador (GBH538D)	Equipo empleado para perforar orificios para cartuchos
Broca para concreto	Metal extra dura 3/8", y 5/8"x210mm	Herramienta utilizada en perforaciones en madera
4 carretas	1,6x1,8x1,6 m.	Equipo utilizado para llevar y desalojar material excavado desde el frontón
CONTROL DE PENDIENTES		
Nivel	marca Geoline AL-28	Equipo Topográfico utilizado para el control de pendientes
Tripode	mediano CST	

Mira telescópica	ASTOR	
DESALOJO		
Tractor agrícola Agrale 4100		Maquinaria utilizada para acarreo de materiales y desalojo de material excavado
2 volquetes	HN3250P34C6M	Maquinaria empleada en el desalojo de material excavado hasta el sitio de disposición final
Cargadora-Retroexcavadora	Cat 3054C DINA	Maquinaria empleada en el desalojo de material, carga los volquetes
Compresor de 4 hp	SUMAKE, compresor 4hp, 50 L	Equipo utilizado para el inflado de neumáticos
Inflador de llantas	DURABUILT DC 12 V 300 PSI	Equipo utilizado para el control de presión en neumáticos
SEGURIDAD		
Cascos	Normados, resistentes a impacto y penetración	Equipo de seguridad personal utilizado por los obreros durante turnos de trabajo.
Botas punta de acero	Súper 2000 P/A N39 bota amarilla	
Impermeables	Normados sin orificios ni fallas	

Guantes	Cuero corto, Caucho	
Gafas	Normadas, protección contra impacto y transparente NO oscuras	
Tapones para oído	Caucho sintético	
Mascarillas	De filtro para gases, 3M 8210 para polvo	
ILUMINACIÓN		
Centro de carga	monofásico 2 esp. C/neutro	Equipo (Switch fusible) utilizado para controlar la energía
Breaker	QO 1P 60A P/caja SQD	Equipo (fusible) utilizado para control de energía eléctrica
Linternas	Rubber light R252 P/Camping	Equipo utilizado por personal dentro de la galería
OTROS		
Soldadora	Eléctrica 230 A, m. Dogo	Equipo utilizado para mantenimiento de equipos.
Sierra Eléctrica	sierra circular 1500 W	Equipo utilizado para corte de madera, elaboración de encofrados y entibado
Sierra	SANFLEX	Equipo empleado para corte de hierro

Botiquín	Equipado con utensilios para atención de heridas	Equipo médico usado en caso de lesiones menores
Tanques de construcción	Metálicos pintados con anticorrosivo	Herramienta utilizada en rellenos

Tabla 2.13

Elaborado por: Autores

Especificaciones detalladas de la maquinaria utilizada:

a. Tractor Agrale:

MOTOR	
Motor	Agrale M 93
Cilindros	1 vertical
Potencia máxima ISO 1585	14.4 cv (10.8 kW) a 2750 rpm
Torque máximo - NBR ISO 1585	4 kgf a 2350 rpm
TRANSMISIÓN	
Embrague	Monodisco a seco - Ø 180 mm
Cambios	7 cambios al frente y 3 marcha atrás a 2750 rpm

SISTEMA HIDRAULICO	
Presión máxima de servicio	120 kgf/cm ²
Capacidad de levante	400 kg a 610 mm del enganche del implemento
Toma de fuerza	Motor a 2750 rpm
	Enganche manual para freno de mano.
SISTEMA ELÉCTRICO	
Batería	12 V / 55 Ah
Alternador	14 V / 55 Ah
Arranque	8 kW
CAPACIDADES	
Tanque de combustible	19.6 litros
Cárter motor	2.5 litros
Caja de cambios	12 litros
Sistema hidráulico	8 litros
Dirección	0.25 litros
DIMENSIONES	
Largo	2410 mm

Ancho máximo	1187 mm
Altura hasta el volante	1210 mm
Distancia entre ejes	1190 mm
Radio de giro libre	2500 mm
PESO	
En orden de marcha con lastre	1140 kg
Con embrague sin lastre	885 kg

Tabla 2.14

Elaborado por: Autores

b. Retroexcavadora:

MOTOR	
Modelo de motor (estándar)	Cat 3054C DINA
Potencia bruta ISO 14396	76 hp / 56 Kw
Potencia neta - ISO 9249	75 hp / 56 Kw
Modelo de motor (optativo) - Inyección directa con turbo compresión	Cat 3054C DIT
Potencia neta - ISO 9249	90 hp / 67 Kw

PESOS	
Peso en orden de trabajo - Nominal	6.792 kg
Peso en orden de trabajo - Máximo	10.200 kg
Tracción en las cuatro ruedas	155 kg
RETROEXCAVADORA	
Profundidad de excavación - estándar	4.360 mm
Brazo extensible extendido	6.666 mm
Rotación del balde	205°
Fuerza de excavación del balde - Estándar	51.8 kN
Fuerza de excavación del balde - Brazo extensible retraído y extendido	51.1 kN
Fuerza de excavación del brazo - Brazo extensible extendido	23.4 kN
Con brazo extensible retraído	2.112 kg
Con brazo extensible extendido	1.323 kg
Altura de carga - Estándar	3.636 mm
Alcance de carga - Estándar	1.768 mm
CARGADOR	
Capacidad del balde - Uso general	0.76 m3

Ancho del balde - Uso general	2.262 mm
Altura de descarga a ángulo máximo	2.651 mm
Alcance de descarga a ángulo máximo	772 mm
Profundidad de excavación	106 mm
Capacidad de levantamiento a altura máxima	2.547 kg
Fuerza de desprendimiento del balde	40.9 Nm
SISTEMA HIDRAULICO	
TREN DE FUERZA - TRANSMISION SERVOMECANICA	
Avance y retroceso – 4	39.9 km / hora
ESPECIFICACIONES DE OPERACION - RETROEXCAVADORA	
Círculo de giro exterior - Neumáticos delanteros	8.16 m
Círculo de giro exterior - Balde más ancho	10.74 m
CAPACIDAD DE LOS EJES	
Eje delantero y trasero estático con tracción en 2 y 4 ruedas	22.964 kg
Eje delantero y trasero dinámico con tracción en 2 y 4 ruedas	9.186 kg
CAPACIDADES DE LLENADO	
Sistema de enfriamiento - Aire acondicionado	15.9 litros

Sistema de enfriamiento - Alta temperatura	16.7 litros
Tanque de combustible	144 litros
Aceite de motor + Filtro de aceite	7.6 litros
Transmisión servomecánica de tracción en 2 y 4 ruedas con convertidor de par	18.5 litros
Eje trasero	16.5 litros
Eje delantero de tracción en las cuatro ruedas	11.0 litros
Eje delantero - Planetarios	0.7 litros
Sistema hidráulico	79.5 litros
Tanque hidráulico	37.9 litros

Tabla 2.15

Elaborado por: Autores

c. Martillo eléctrico:

DATOS TÉCNICOS	
Peso (según EPTA)	4.9 kg
Voltaje	36 V
Potencia	720 W
Sistema antirrobo TPS	Sí

Número de marchas	1
Vibración triaxial en cincelado (ah,Cheq)	9 m/s ²
Vibración triaxial para perforación con martillo en hormigón	11 m/s ²
Clase de peso	4-5 kg
Modos de trabajo	Perforación con percusión, cincelado, ajuste de posición de cincel
Energía de impacto 100	2.6 J
Giro derecha/izquierda	Sí
Vel. 1ª en vacío	740 rpm
Prof. de perforación en 1 min.	13 cm ³ /min
Prof. de perforación 2 en 1 min.	24 cm ³ /min
Prof. de perforación 3 en 1 min.	40 cm ³ /min
Drilling performance - Drilling depth 4 in 1 minute	51 cm ³ /min
Prof. de perforación 5 en 1 min.	53 cm ³ /min
Prof. de perforación 6 en 1 min.	56 cm ³ /min
Rango óptimo de taladro	5-20 mm
Rango Ø de perforación con broca TE	5 mm - 24 mm

Rango Ø máx. en perforación con broca corona con perc	25 mm - 68 mm
Cantidad de embalaje	1

Tabla 2.16

Elaborado por: Autores

d. Camión volquete:

ESPECIFICACIONES DE CAMIÓN VOLQUETE				
Modelo		HN3250P34C6M	Motor	Motora L375 de D. C.
Dimensión total		8300*2500*3400mm	Dimensión de la cubierta	5,600*2,300*1,500mm
Peso		12,900kg	Número de eje	3
Banda de rodamiento		2065/1860/1860mm	Distancia entre ejes	3600+1350mm
Distancia mínima al suelo		255mm	Tripulación de cabina	3
Carga nominal	Eje delantero	7,500kg	Descarga de permisión	25000kg
	Eje trasero	2*13,000kg		

Tabla 2.17

Elaborado por: Autores

e. Compresor:

COMPRESOR		
MODELO	XP375WCU	HP375WCU
COMPRESOR — TORNILLO ROTATIVO / UNA ETAPA		
Entrega de Aire libre – cfm (m3/min)	375 (10.6)	375 (10.6)
Presión de operación – psig (bar)	125 (8.6)	150 (10.3)
MOTOR		
Marca	Cummins	Cummins
Modelo	4B3.9TAA	4B3.9TAA
Velocidad – rpm	2.200	2.200
Bhp (Kw) a la velocidad especificada	125	125
Capacidad del tanque de combustible – gal (L)	60 (227.1)	60 (227.1)
DIMENSIONES		
Largo – Pulgadas (mm)	158.5 (4026)	158.5 (4026)
Ancho – Pulgadas(mm)	78.1 (1985)	78.1 (1985)
Alto – pulgadas (mm)	68 (1726)	68 (1726)
Peso al despacho — Sin combustible – lb (kg)	3,959 (1795)	3,959 (1795)

Tabla 2.19

Elaborado por: Autores

f. Bomba de agua 2”:

BOMBA DE AGUA 2"	
Modelo:	173F-40CX
Diámetro de la entrada y del enchufe:	100 mm.
Salida máxima:	8.0 HP
Elevación de la bomba:	30
Velocidad:	3600 rpm
Altura de la succión:	8 m
Capacidad máxima:	80 m3/hr
Tamaño:	630x455x510 mm
Peso:	47 Kg

Tabla 2.18

Elaborado por: Autores

CAPITULO III: PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA GALERÍA DE EXPLORACIÓN

3.1. ANÁLISIS PREVIOS

3.1.1. Análisis de Especificaciones

A continuación se realiza un análisis de varios puntos importantes que pueden presentar dificultades o riesgos antes de la ejecución del proyecto, los que junto con muchas de las especificaciones detalladas en el Capítulo II nos permitirán explicar y comparar con los procedimientos constructivos empleados en la ejecución de la obra, procedimientos que en lo posible se han ceñido al fiel cumplimiento de las especificaciones, sin embargo de acuerdo a las circunstancias de trabajo y experiencia del contratista se tomaron decisiones aprobadas por el fiscalizador que mejoraron muchas de las especificaciones en beneficio de la obra; todos estos análisis se irán describiendo a continuación:

3.1.2. Reconocimiento del Sector

Una vez realizada la visita a la zona del proyecto, se constató de manera presencial y veraz los datos presentados en la Memoria Técnica sobre la ubicación de la zona en estudio. De igual manera se realizó la observación detallada tanto del lugar donde se construirá la Galería Exploratoria como del urbanismo, logística y población del sector. A continuación un resumen con los principales datos obtenidos del reconocimiento y basados en la memoria técnica detallada en el Capítulo II:

Guápulo, es un barrio periférico al este de la ciudad en el declive que forma el inicio del Valle de Tumbaco, limita con el barrio de Miravalle Alto y la región donde se encuentra la zona de Guápulo pertenece al Bosque Húmedo Montano Bajo (Bhm-b), se caracteriza por presentar nubosidad nocturna, topografía accidentada, con vegetación original remanente casi inexistente. Según esta clasificación del DMQ, de acuerdo con las características de precipitación, altitud y temperatura, Guápulo se encuentra en la Zona Interandina I, al estar localizada entre 2400 a 3100 msnm .

Guápulo es una localidad de baja densidad poblacional, su crecimiento urbano ha sido limitado, la mayoría de predios conservan sus antiguos límites y no existen

programas de vivienda. El subsector, según el Censo del 2001, tiene una población total de 919 habitantes, de los cuales, 432 son hombres y 487 son mujeres.

*Camino de
ingreso
desde la vía
adoquinada al
campamento*



Fig. 3.1

Elaborado por: Autores

El acceso principal a Guápulo se lo realiza desde la Av. González Suárez, por una vía adoquinada. La zona de estudio se caracteriza por presentar relieves abruptos con descensos pronunciados en tramos cortos que varían entre 2500 msnm (metros sobre el nivel del mar), a 2850 msnm. La temperatura promedio fluctúa entre 8 a 16 °C la precipitación media anual de la zona está en el orden de los 1400 mm al año.

3.1.3. Análisis de Tiempos

El contratista para la realización de los trabajos contratados presentó un cronograma con las cantidades, inversiones y tiempo de ejecución, el mismo que es aprobado en su oferta y de conocimiento de fiscalización que se encarga de controlar el cumplimiento del mismo.

Comparando el cronograma presentado y lo realizado en la ejecución real de la obra se tienen las siguientes observaciones:

Los trabajos de desbroce y limpieza fueron ejecutados en la parte exterior de la galería, sobre el portal de entrada, con la realización de cunetas de coronación y adecuación del botadero; debido al invierno y por ser un sector propenso a deslaves fue necesario el corte y desenraizado de árboles que atentaban contra la seguridad del campamento y del portal, por lo que el tiempo programado que aparentemente era excesivo fue totalmente empleado.

*Trabajos de
desbroce y
limpieza*



Fig. 3.2

Elaborado por: Autores

Puesto que durante la excavación de la galería se encontró material como avalancha, piroclastos y roca, y además las especificaciones de entibado, colocación de cerchas y recubrimiento de hormigón para un acabado final, hizo innecesario otros métodos constructivos que involucren materiales o rubros como:

- Malla electro soldada
- Inyección de contacto, lechada de cemento
- Hormigón ciclópeo
- Hormigón lanzado
- Anclaje con varilla

La excavación se realizó a lo largo de los 650 m con un rendimiento promedio de 2m/día obtenido en obra por la excavación de los diferentes tipos de suelo (tierra, avalancha, roca y piroclasto). En el caso de roca y piroclasto se generaron mayores dificultades en la excavación, la existencia de derrumbes por imprevistos geológicos, obligó a desalojar el material derrumbado, encerchar, entibar y rellenar dichos sitios para continuar la excavación, por la presencia de material suelto en algunos sectores fue necesario el uso de cerchas a una distancia menor a 1 metro, lo que representó un gran aumento en la fabricación del número de cerchas.

A medida que avanzaba la excavación el incremento de aguas freáticas fue considerable, fue así que trabajos como excavación, drenajes, armadura de hierro, fundiciones y el tener un solo frente de trabajo alteraron la programación del cronograma en un inicio planificado, razón por la cual fue necesario la ampliación del plazo contractual el mismo que solicitado por el contratista y aprobado por fiscalización y autoridades de la EMAAP-Q fue concedido en un incremento de 30 días calendario.

3.1.4. *Análisis de Mano de Obra*

La mano de obra tanto del personal técnico como de obreros fue proporcionada por el contratista, y previamente capacitados y aleccionados de los peligros que pueden ocurrir por un descuido aún involuntario, además se puso en su conocimiento el plan de contingencia para casos de emergencia el mismo que fue aprobado por fiscalización.

La capacitación a más de la experiencia de los obreros en trabajos de túneles y galerías, consistía en normas de seguridad industrial, con todas las precauciones que una obra subterránea requiere para evitar inconvenientes y accidentes de trabajo, pues hay que recordar que la responsabilidad civil y penal recaen sobre el contratista.

El contratista provee a su personal de los equipos necesarios de seguridad (Fig. 3.3) tales como:

- Cascos
- Guantes
- Chalecos
- Botas impermeables (punta y plantilla metálica)
- Mascarillas
- Gafas
- Tapones de oídos
- Ternos impermeables
- Construcción de un polvorín para los explosivos a utilizarse.

*Trabajos de
excavación
manuales en
el interior de
la galería.*



Fig. 3.3

Elaborado por: Autores

Para cumplir con lo programado los trabajos se realizaron bajo la supervisión de 1 ingeniero residente, 2 ayudantes, 21 obreros distribuidos en 3 turnos al día, una cocinera y un técnico en el manejo de explosivos.

El ingeniero residente y los dos ayudantes son responsables de la obra en cuanto a: control de obreros, logística de materiales, cubicación de avance de obra, elaboración de planillas, preparación de informes, seguridad industrial, control de explosivos, y cumplimiento del plan de contingencia distribuida en los turnos programados.

El horario de trabajo de cada turno es de 6 horas, 1 hora de receso para alimentación y 1 hora de intervalo entre cambio de turnos; en la hora de receso se aprovecha para el uso de explosivos a fin de que la galería pueda ser ventilada del gas y polvo que produce una explosión.

La distribución del personal de obreros es el siguiente:

*Obreros
picando en
el frontón de
excavación.*



Fig. 3.4

Elaborado por: Autores

2 en el frontón picando y cargando la carreta o vagón, 2 manipulando maquinaria y equipo y listos a turnarse con los anteriores para evitar el desgaste físico, además

perforan los orificios para que el técnico de explosivos coloque y detone los mismos antes de salir a la hora de alimentación, 1 tractorista llevando la carreta cargada y trayendo la nueva carreta descargada, y en ella cuando es necesario las cerchas y la madera para el entibado, 1 obrero en el exterior para que con el tractorista desembarquen la carreta cargada y a su vez distribuya e iguale el material descargado, 1 maestro de obra que controla maquinaria, provee materiales, instala cerchas y entibado con ayuda de los 4 obreros que están fijos en el interior del túnel, y está listo para cualquier emergencia que debe comunicar al personal que labora el turno, toda estas actividades son vigiladas y aprobadas por el personal técnico.

*Impermabilización
con polietileno
durante trabajos
subterráneos.*



Fig. 3.5

Elaborado por: Autores

El avance de obra de cada turno está supeditado al tipo de suelo y probables complicaciones que se dan en el interior de la galería.

3.1.5. Análisis de Inversión Económica

Una vez legalizado el contrato y entregadas las pólizas de seguro para el buen uso de anticipo y seriedad de cumplimiento de contrato, la EMAAP-Q entrega el anticipo del 50% del monto del contrato al contratista, en base al siguiente presupuesto:

CONSTRUCCION DE GALERIA EXPLORATORIA DE GUAPULO TERCERA ETAPA ABSCISAS 0+405 A 0+650						
TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS						
RUBRO N°	CODIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO USD	PRECIO TOTAL USD
1	01.001.4.03	REPLANTEO Y NIVELACION TUNEL	m	300.00	1.24	372.00
2	01.002.4.01	DESBROCE Y LIMPIEZA	m2	500.00	1.09	545.00
3	01.005.4.08	RELLENO CON MAT. EXCAVACION ENTRE ENCOFRADO Y PARED	m3	200.00	3.73	746.00
4	01.005.4.09	RELLENO CON GRAVA ENTRE ENCOFRADO Y PARED	m3	50.00	19.00	950.00
5	01.006.4.24	EXCAV. TUNEL AREA 4.99 M2 - TIERRA: 400- 800m	m	65.00	133.06	8648.90

		(INC. DESALOJO INTERIOR TUNEL)				
6	01.006.4.26	EXCAV. TUNEL AREA 4.99 M2 - ROCA: 400-800m (INC. DESALOJO INTERIOR TUNEL)	m	5.00	320.23	1601.15
7	01.006.4.27	EXCAV. TUNEL AREA 4.99 M2 - AVALANCHA: 400-800m (INC. DESALOJO INTERIOR TUNEL)	m	70.00	275.54	19287.80
8	01.006.4.29	EXCAV. TUNEL AREA 4.99 M2 - PIROCLAST- BLOQ<60 cm: 400-800 m (INC. DESALOJO INTERIOR TUNEL)	m	120.00	253.99	30478.80
9	01.007.4.02	ACARREO MECANICO HASTA 1 km (carga, transporte, volteo)	m3	1,400.00	0.91	1274.00
10	01.007.4.03	SOBREACARREO (transporte/medios mecánicos)	m3- km	1,400.00	0.29	406.00
11	01.007.4.16	CONTROL Y DESALOJO DERRUMBE POR	m3	100.00	20.24	2024.00

		INMPREVISTO GEOLOGICO EN TUNEL				
12	01.008.4.03	ENTIBADO CONTINUO PERMANENTE DE TUNEL	m2	430.00	11.09	4768.70
13	01.008.4.05	ENTIBADO PERMANENTE TUNEL ESTRUCTURA PERFIL ACERO (NO RETORNABLE)	Kg	100.00	1.96	196.00
14	01.009.4.09	MALLA ELECTROSOLDADA 8.15	m2	300.00	6.23	1869.00
15	01.009.4.14	ACERO REFUERZO fy=4200 kg/cm2 TUNEL (SUMINISTRO, CORTE Y COLOCADO)	Kg	2,000.00	1.31	2620.00
16	01.010.4.06	ENCOFRADO/DESENCOF RADO MADERA MONTE CEPILLADA	m2	120.00	7.90	948.00
17	01.010.4.09	ENCOFRADO/DESENCOF RADO BOVEDAS ARCOS	m2	60.00	9.70	582.00
18	01.010.4.20	ENCOFRADO PARED COLECTOR/TUNEL NO RETORNABLE	m2	100.00	9.94	994.00
19	01.011.4.44	HORMIGON SIMPLE	m3	90.00	123.29	11096.10

		GALERIAS $f'c=210$ kg/cm ²				
20	01.011.4.47	PERFORACIONES PARA INYECCIONES	m	80.00	34.16	2732.80
21	01.011.4.50	INYECCION DE CONTACTO, LECHADA DE CEMENTO	Ton	3.00	270.76	812.28
22	01.011.4.53	HORMIGON CICLOPEO 40% PIEDRA (140 KG/CM ²)	m ³	30.00	75.17	2255.10
23	01.011.4.54	HORMIGON LANZADO $f'c=210$ E=10cm INCLUYE VENTILACION – ILUMINACION	m ²	60.00	37.60	2256.00
24	01.015.4.02	DRENES (TUBERIA PVC 75 mm)	m	100.00	4.07	407.00
25	01.015.4.06	DRENES (TUBERIA PVC 1 1/2")	m	100.00	2.89	289.00
26	01.015.4.08	DRENES (TUBERIA PVC 160 mm)	m	350.00	8.10	2835.00
27	01.019.4.68	ANCLAJE CON VARILLA D= 1 1/4" INCLUYE INYECCION (INCL. PERFORACION)	m	40.00	29.80	1192.00
28	01.020.4.09	BOMBEO AGUA IGUAL / MAYOR 2"	hora	30.00	4.54	136.20

29	01.037.4.02	CERCHA (PROVISION Y MONTAJE)	UPN Kg	18,000.00	2.36	42480.00
		TOTAL			USD	144,802.83

SON : CIENTO CUARENTA Y CUATRO MIL OCHOCIENTOS DOS DOLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA CON 83 CENTAVOS

Tabla 3.1

Elaborado por: Autores

Con el anticipo se procede a la compra de materiales que en el mercado son escasos o son de importación y que pueden llegar a ser críticos en la obra como perfiles UPN y explosivos.

Respetando el detalle de planos estructurales, se procede a la fabricación de cerchas con perfiles UPN las mismas que son aprobadas por fiscalización; es necesario tener en stock cerchas, madera y explosivos.

La adquisición de explosivos se hace por medio de la institución a la empresa EXPLOCEN C.A. con cargo al contratista, la misma que es protegida en el trayecto desde la fábrica a la obra por personal militar y entregada en la obra en un sitio seguro previamente construido y protegido cuyo nombre es polvorín.

El tipo de maquinaria y equipo a emplearse en forma inmediata es: 4 carretas metálicas de dos ejes, tractor Agrale 4100, por lo que la inversión del anticipo queda plenamente justificada.

La inversión real efectuada es de:

Maquinaria y equipo	\$ 18.627,90
Mano de obra	\$ 52.136,85
Acarreo mecánico hasta 1km	\$ 4.014,00
Madera	\$ 7.587,22

Acero de refuerzo	\$ 8.754,39
Hormigón $f'c=210$ kg/cm ²	\$ 3.901,86
Drenes 160 mm	\$ 1.438,68
Cerchas UPN	\$ 30.560,07
Gastos administrativos	\$ 6.923,16
Combustibles	\$ 2.294,99
Energía eléctrica	\$ 627,08
Materiales	\$ 2.100,04
Explosivos	\$ 5.363,73

3.2. Construcción de Campamento y Guardianía

Con la presencia y autorización de fiscalización, se recorrió el área para la ubicación del campamento, el polvorín, el sitio donde se realizó el acopio del material y el lugar de desalojo del material excavado, todo esto previo el desbroce y limpieza del área a utilizarse (Fig. 3.6).

*Trabajos de
desbroce y
limpieza*



Fig. 3.6

Elaborado por: Autores

Se construyó un campamento (Fig.3.7) de área aproximada a 60 m², el mismo que se distribuyó de la siguiente manera: un comedor de 20 m², una cocina de 9 m², una batería sanitaria, una bodega de 25 m² y un polvorín para seguridad de los explosivos.

*Construcción de
Campamento y
Guardianía*



Fig. 3.7

Elaborado por: Autores

Se realizó instalaciones de agua potable y energía eléctrica para la iluminación exterior del campamento y del interior de la galería, de igual manera se realizó la instalación del equipo de ventilación, instalando la manga y ventiladores que ayudaron a oxigenar el interior de la galería.

El mantenimiento de todas las instalaciones fue constante a fin de evitar riesgos y accidentes e la obra. Además se arregló el camino de acceso hacia el botadero, lastrando y nivelando el camino, trabajo que se lo realizó continuamente por mantenimiento debido al invierno que azotó al sector.

Se destinó un sitio para quema de leña, que sirvió como abrigo para los obreros que salían de la galería completamente mojados, así como para el secado de impermeables (Fig. 3.8).

*Lugar (previamente
lastrado y nivelado)
de almacenamiento
temporal del
material excavado
antes de ser llevado
al botadero.
Se observa leña
utilizada por los
trabajadores para
dar calor.*



Fig. 3.8

Elaborado por: Autores

Como el trabajo se desarrolló todo el tiempo que regía el contrato con la presencia de personal técnico y de obreros en tres turnos, no fue necesario una guardiana específica, además existía presencia de obreros en la figuración y corte de hierro que residían en el campamento, y personal para mantenimiento de equipos.

3.3. Construcción de cunetas de coronación

Con el fin de evitar cualquier tipo de accidente producto de la erosión o socavación del terreno debido a la temporada de invierno por la que se atravesó, se procedió a construir cunetas de coronación.

*Cuneta
previamente
excavada
antes de fundir
el hormigón*



Fig. 3.9

Elaborado por: Autores

Se construyeron 3 cunetas de coronación en total, una superior, una intermedia y una inferior, recubiertas con hormigón de 180 kg/cm², que cumplieron un papel importante en la recolección de aguas lluvias que descendían por las laderas de Guápulo y que a su paso iban saturando los terrenos, socavando los mismos y provocando deslaves hacia la boca de la galería. Las cunetas dirigían al líquido recolectado haciéndolo desembocar en la calzada entregando las aguas al alcantarillado existente en el sector.

La cuneta inferior fue ubicada a una distancia de 8m desde el portal de entrada, la cuneta intermedia a 5m de la inferior, y la superior a 7 m de la intermedia, y todas con una sección trapezoidal de 0.60 (base mayor) x0.40 (base menor) x0.30 (altura).

El criterio utilizado para la construcción de estas cunetas está basado en la topografía del terreno, pues donde encontremos posibles zonas de almacenamiento de aguas lluvias, generalmente las bases de pequeños relieves que forman una especie de terrazas naturales donde las lluvias y las aguas que descenden tienden a almacenarse o socavar el terreno, son los lugares más indicados para la construcción de cunetas de

coronación, sin embargo cuando la topografía no ayuda mucho se puede ir moldeando el terreno a fin de conseguir la forma deseada para establecer la cuneta.

*Colocación de
hormigón
sobre el terreno
previamente
moldeado en
forma de canal*



Fig. 3.10

Elaborado por: Autores

*Cuneta
finalizada*



Fig. 3.11

Elaborado por: Autores

3.4. Adecuación del ingreso al túnel

Antes de dar inicio a los trabajos en el interior de la galería, es necesario adecuar la boca de ingreso al túnel a fin de evitar que derrumbes producto de deslaves, tierras sueltas, socavación de aguas lluvias, etc. tapone la entrada ocasionando un grave accidente al personal de trabajo y generando daños materiales a la obra. Por esta razón se inspecciona el talud sobre el portal de ingreso, retirando tierra floja que pueda generar deslizamiento, se derrocan árboles y vegetación considerada riesgosa cerca del campamento e ingreso a la galería, finalmente se construye un portal de aproximadamente 8 metros en la boca de la galería que proteja a los obreros que trabajan al interior evitando que cualquier deslizamiento o derrumbe tape la entrada.

*Derrumbe
producto de las
aguas lluvias y
tierra suelta en
el sector. Falta
de soporte al
ingreso del túnel*



Fig. 3.12

Elaborado por: Autores

*Portal de soporte
en la boca del
túnel diseñado
con cerchas y
tablones.*



Fig. 3.13

Elaborado por: Autores

3.5. Instalaciones

Para realizar un trabajo subterráneo es muy importante contar con instalaciones de ventilación, iluminación y eléctricas en óptimo nivel, que garanticen el desarrollo de los trabajos subterráneos, a continuación se explicarán y detallarán cada proceso de instalación realizado en la galería exploratoria de Guápulo.

3.5.1. Sistema de Ventilación

El sistema de ventilación es una de las partes fundamentales en el desarrollo de la obra, puesto que proporciona el oxígeno necesario para el personal que trabaja en el interior de la galería, evitando: asfixia por la escases del gas vital en toda la longitud de la excavación, intoxicaciones por parte de la inhalación de dióxido de carbono (CO₂) emanado del uso de ciertos equipos (tractor, bombas de agua, etc.) e incluso por los gases y polvo producidos por explosiones de dinamita realizadas en el interior de la galería.

*Primera
instalación del
ventilador
exterior a la
entrada de la
galería.*



Fig. 3.14

Elaborado por: Autores

*Instalación final
del ventilador
exterior a la
entrada a la
galería.*



Fig. 3.15

Elaborado por: Autores

El sistema de ventilación consistió en el uso de 1 ventilador centrífugo tipo VENT-SET S CMI-500 de polea con motor 3HP 1750 rpm/1700 CFM y una caída de presión de 5", ubicado en la parte exterior junto al portal, y 3 ventiladores AEROFOIL "JL" de capacidad 9,5" JL, de 3300 rpm/110 V/320 W, 50 UF "B"

1600CFM, ubicados en el interior de la galería aproximadamente a 180 m uno del otro y que conducen el aire hasta el sitio deseado a través de una manga de polietileno ubicada a lo largo de la galería.

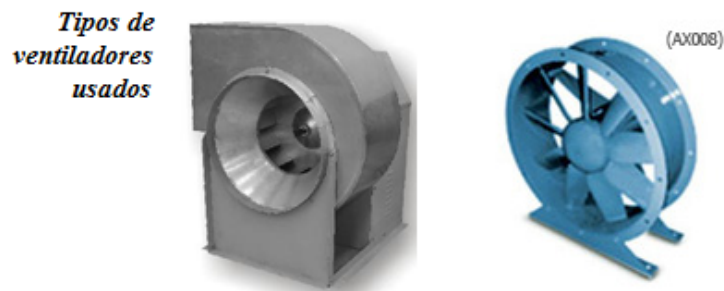


Fig. 3.16

Elaborado por: Autores

Manga de ventilación en el frontón. Proceso de renovación de aire durante trabajos de excavación.



Fig. 3.17

Elaborado por: Autores

La manga de ventilación es transparente de polipropileno de 0.008 de espesor por 12 1/2" de ancho, la misma que es vendida por kilos y en paquete completo; durante los trabajos de excavación ésta se extiende a todo lo largo de la galería sujeta a las cerchas o al entibado según la necesidad, desembocando por tramos, cada 180 m, en

ventiladores sujetos a las cerchas y que poseen su propio switch de control e interruptor de arranque.

Manga de ventilación sujeta con correas a los perfiles UPN



Fig. 3.18

Elaborado por: Autores

Manga de ventilación en tramo ya fundido dentro de la galería.



Fig. 3.19

Elaborado por: Autores

Pese a que el sistema funcionó perfectamente fue necesario tomar precauciones con los obreros cuando se realizaron las explosiones, sacando al personal y dando un tiempo de aproximadamente 1 hora para que el túnel expulse gases y polvo, y quede despejado el ambiente de partículas que impidan la respiración y la visibilidad. La humedad existente durante la excavación y la presencia de agua, también fue un factor que ayudó a la oxigenación en el interior de la galería.

3.5.2. Sistema de Iluminación

El sistema de iluminación resulta ser de gran relevancia en la construcción de una galería exploratoria. Al penetrar longitudes extensas bajo tierra donde la visibilidad es nula, es necesario contar con un sistema óptimo que preste este servicio durante las labores de excavación, no solo a fin de cumplir con precisión los trabajos, sino con fines de seguridad, pues al rotar personal cumpliendo turnos de 24 horas es vital tener iluminadas las zonas de trabajo, el campamento y las áreas de ingreso, descanso e incluso depósito del material de manera constante durante las horas laborables, esto, sin duda alguna, ayudará a evitar accidentes o errores constructivos en horas o lugares en los que haga falta la luz del día.

*Reflector de
500 W sujeto
al perfil UPN
ubicado en el
frontón de
avance.*



Fig. 3.20

Elaborado por: Autores

Para iniciar con el sistema de iluminación es recomendable solicitar a la empresa eléctrica Quito un transformador que nos permita el uso de red trifásica, sin embargo luego de realizada la gestión se nos informó que la empresa no contaba con la infraestructura necesaria para proveer nuestros requerimientos en el sitio de trabajo, por lo que se nos autorizó se realizarse la acometida de energía eléctrica, la misma que trabajará con dos fases cada una de 110 V.

*Iluminación
en el frente
de excavación.*



Fig. 3.21

Elaborado por: Autores

La acometida fue tomada desde el poste más cercano con tres hileras de cable #8 esto es 2 fases y un neutro hasta el portal, desde el portal hasta 250m se utilizó 3 hileras de cable #10 y de aquí en adelante 3 hileras de cable #12, esta variación de sección de cables obedece a la pérdida de voltaje que ocasiona la distancia recorrida por los cables a lo largo de la galería. Se utilizó una fase para iluminación y otra fase para el uso de maquinaria y equipos, optimizando la red existente de 220 V en dos fases.

La iluminación a lo largo de la galería y el campamento se realizó en base a boquillas y focos distanciados a una longitud máxima de 8 m., con cable y conexiones protegidas por cinta aislante y con estrictas seguridades ya que existía

permanentemente la posibilidad de contacto con el agua que, al ser un buen conductor de electricidad, podía generar fatales accidentes a los obreros.

Para el frontón de avance de la excavación se ubicó, y es aconsejable, un reflector de 500 W, pues en toda excavación resulta muy importante la total iluminación del frente de trabajo, lo que se logra únicamente con un medio luminoso potente, pues las boquillas y focos no abastecen lo suficiente.

*Focos colocados
a lo largo de
la galería*



Fig. 3.22

Elaborado por: Autores

Existen lámparas portátiles, reflectores pequeños, que son utilizados para muchas obras subterráneas sobre todo de pequeñas dimensiones (alcantarillado, colectores, etc.), sin embargo en el caso de la Galería Exploratoria de Guápulo era imprescindible una pequeña red eléctrica debido a las dimensiones de la excavación y a la facilidad de movilización dentro de ésta, pues al tener lámparas portátiles o linternas con pedestal, limitaban el movimiento del personal y maquinaria dentro de la galería.

A lo largo de la construcción de la galería se reemplazó gran cantidad de focos, debido a golpes por parte del paso de obreros, transporte de materiales, contacto con

el agua, efectos de presión o incidentes aislados, lo que obligaba a cambiar y reabastecer de luz inmediatamente las zonas afectadas.

Protección con polietileno para evitar el contacto con aguas subterráneas.



Fig. 3.23

Elaborado por: Autores

3.5.3. Instalaciones Eléctricas

Con el fin de utilizar la energía eléctrica para el funcionamiento de maquinaria y otros equipos a mas del sistema de iluminación, fue necesario con el personal calificado y cumpliendo las normas de seguridad realizar las conexiones y cableado respectivo aprobado por fiscalizaciónel para la distribución de energía, sin embargo debido al voltaje existente en la red, el uso de instalaciones eléctricas para equipos fue limitado, apenas se logró utilizar cierra eléctrica, amoladora, taladro y se optó por el uso de un compresor INGERSOILL RAND 375 CFM/100PSI, motor DEUTZ 6 cilindros, algunos equipos que se planeo utilizar requerían mayor voltage del suministrado, por lo tanto se canceló su uso.

*Compresor
utilizado para
el funcionamiento
del Pie de Avance*



Fig. 3.24

Elaborado por: Autores

3.6. Replanteo y nivelación

Las labores de replanteo y nivelación son primordiales en una obra subterránea, pues marcarán el rumbo y dirección por donde deberá continuar la excavación.

Al ser la tercera etapa de construcción de la galería, resulta de gran necesidad la información prestada por la empresa contratante, en este caso la EMAAP-Q, sobre los datos inicialmente tomados, así como los planos que indiquen la posición a donde se quiere llegar. Con el rumbo de N55°W como punto de partida para la continuación de los trabajos subterráneos, se realizó un control constante con aparatos de precisión sobre la alineación y nivelación manteniendo la pendiente longitudinal de diseño del 2x1000 y la transversal del 2%, pendientes que evitan el desgaste del hormigón y conservan un flujo laminar.

De esta manera se va dejando ejes fijos, marcaciones ubicadas en las cerchas, que nos ayuden a continuar sin desviar nuestra dirección. Es importante tomar en cuenta que los trabajos de replanteo y nivelación son constantes a lo largo de la excavación,

pues a medida que se avanza se corre un gran riesgo de salir inintencionalmete de rumbo, razón por la cual es necesario replantear y nivelar cada 15 a 20 m durante el desarrollo de los trabajos subterráneos.

Equipo de topografía, Estación Total y prisma utilizados por la EMAAP-Q para comprobar el nivel, la alineación y la pendiente dentro de la galería.



Fig. 3.25

Elaborado por: Autores

Equipo de topografía, Teodolito utilizado por el contratista para replanteo continuo (cada 15 a 20m.) durante los procesos de excavación.



Fig 3.26

Elaborado por: Autores

3.7. Excavación

Los trabajos de excavación constituyen la parte más importante en la construcción de una galería, pues no solo son un referente que marca la productividad, el tiempo, la calidad y la seguridad de la obra y su finalización, sino que son la base para un análisis del terreno que nos permite cosechar información geológica de gran calidad para futuras obras.

El desarrollo de los trabajos de excavación subterránea se realizó durante las 24 horas del día con 3 turnos de 8 horas cada uno, 6 horas de actividad en trabajos del túnel, 1 hora para la alimentación y 1 hora entre cada turno de lunes a sábado. A continuación se explica la clasificación y los tipos de trabajo de excavación que se realizaron en la galería de Guápulo.

3.7.1. Excavación Manual

Dentro de los trabajos de excavación manual encontramos dos tipos de excavación: la excavación manual propiamente dicha y la excavación mediante martillo eléctrico, ambas explicaremos a continuación.

3.7.1.1. Excavación Manual Propiamente dicha

La excavación en el interior de la galería se realizó a partir de las ABS. 0+405 a 0+650 de acuerdo al tipo de estrato y geología que se fue encontrando conforme avanzaban los trabajos, la mayor parte de terreno encontrado pertenecía al tipo Tierra y Roca, en menor proporción Avalancha y Piroclasto.

Al encontrar Tierra fue necesario realizar los trabajos de excavación manualmente pues el estrato no ofrece gran resistencia y resulta cómodo avanzar con el uso de herramienta menor (picos, palas, azadones, barrenos, puntas, combos). Sin embargo cuando el estrato a escavar requería el uso de explosivos (Roca), los obreros hacían las perforaciones necesarias para colocar el material detonante, realizadas las explosiones y transcurrido el tiempo necesario para la extracción de gases y polvo,

los obreros cargaban el material en las carretas para el desalojo, a la vez que perfilan las paredes para lograr la sección de diseño de la galería, efectuando este trabajo manualmente con herramienta menor y con mucho cuidado por la posibilidad del desprendimiento o derrumbes de material suelto.



Fig.3.27

Elaborado por: Autores

A medida que avanzaba la excavación se construyeron cambios a largo de la galería cada 50 m., los mismos que consistían en la excavación de un área más ancha que permitió el giro de la maquinaria, en ocasiones el arreglo de la misma, abastecimiento de materiales y paso del personal sin obstaculizar el trabajo a lo largo del túnel.

3.7.1.2. Martillo Eléctrico

El martillo eléctrico, si bien es un equipo de trabajo, no es sino una herramienta dentro de la excavación manual, pues como su nombre lo indica martilla (rompe o perfora) el estrato duro o de gran resistencia haciendo de menor tamaño el material a excavar, sin embargo para culminar el proceso de excavación, retirar este material

del frontón, así como para desalojarlo del interior de la galería es necesario realizar un trabajo manual con herramienta menor.

Uso del martillo eléctrico en los primeros metros de excavación.



Fig. 3.28

Elaborado por: Autores

Cuando se inició la excavación se empleó un martillo eléctrico HILTI TE-905 DLX 115 V con su respectivo cincel como rompedor y como perforador, debido al abscisado en el que se trabajó (0+450 m.) lamentablemente su uso fue muy limitado debido a la pérdida de voltaje existente en la red eléctrica y a un bajo rendimiento en los estratos que se excavaban, es decir el uso de cualquier martillo eléctrico fue descartado por los antecedentes descritos.

Ante tal situación fue necesario el uso de otro equipo, el Pie de Avance, el mismo que explicaremos oportunamente.

3.7.2. *Uso de Explosivos*

Durante la excavación dentro de la galería se encontró estratos difíciles de excavar y muy resistentes, donde hubo la necesidad de ocupar equipo especializado para realizar el trabajo, sin embargo gran parte de los estratos encontrados fueron roca,

material sumamente resistente y difícil de cavar a mano, no solo por la demora y lo laborioso que significa el trabajo, sino por el riesgo al que se expone a los trabajadores, pues nunca se sabe el grado de fractura que pueda presentar una determinada roca y el tamaño de fragmentos que se desprendan de ella.

Por estas razones fue necesario realizar la excavación en base a explosivos, los mismos que se adquieren a través de un pedido del contratista por medio de la EMAAP-Q a la empresa EXPLOCEN C.A., la misma que protege el material explosivo con personal militar durante el trayecto desde su fábrica ubicada en Cotopaxi al sitio de la obra, al llegar los explosivos son almacenados en un sitio seguro, blindado, previamente construido y protegido cuyo nombre es polvorín.

*Barrenos,
herramienta
utilizada para
la preparación
de los orificios
para explosivos.*



Fig. 3.29

Elaborado por: Autores

Para el uso de explosivos de acuerdo a la sección de la galería y los estudios sobre sistemas de perforación, se realizó como promedio 8 perforaciones y se trataba que la explosión coincidiera con la hora de alimentación del grupo que estaba laborando, a fin de evitar que los gases emanados y el polvo generado por la explosión afecten a los obreros, y mediante el sistema de ventilación los gases y polvo eran eliminados por

la boca de la galería único frente de trabajo existente, proceso que demoraba aproximadamente 1 hora, que además servía de seguridad ante la posibilidad de que un cartucho se haya pasmado y haya peligro de explosión.

El tipo de explosivo utilizado es el EXPLOGEL III que es una dinamita pulverulenta sensible al fulminante #8 envasada en cartuchos de papel o en cuerpos plásticos acoplables constituyéndose éstos en explosivos de contorno, lo que significa que con ellos se obtiene cortes uniformes, con un mínimo de sobre excavación, permitiendo una voladura de mayor calidad y alta eficiencia.

El explosivo viene en cartuchos de 1x1/8" de diámetro por 7" de largo con un peso aproximado de 119 gr., resistente al agua por 15 minutos y con una velocidad de detonación aproximada de 3869 m/seg; el fulminante #8 tiene una longitud de cápsula de 45 mm, diámetro externo 6,3 mm.

Todo tipo de explosivo es peligroso y debe ser manejado y utilizado por personas competentes y experimentadas, dichas personas tienen la responsabilidad de poner en práctica las medidas de seguridad aprobadas para el manejo de este material.

Distribución de perforaciones para la colocación de explosivos.



Fig. 3.30

Elaborado por: Autores

El recubrimiento al explosivo con una funda plástica es para garantizar que funcione correctamente, evitando que se humedezca la dinamita y permita que el fulminante #8 se sujete con cemento de contacto al cartucho y a la mecha.

La mecha lenta plastificada es un cordón de 4,7 mm de diámetro externo, con núcleo central de pólvora negra con diversas capas de recubrimiento: fibras, asfalto, plástico, etc. que le hace totalmente impermeable para su utilización en el agua y permite conducir la chispa en forma continua y a velocidad uniforme, es la que da inicio a la detonación de un fulminante ordinario, por cuanto la potencia de la chispa de la pólvora es considerablemente superior a la mínima necesaria para iniciar el fulminante.

En la perforación realizada en el estrato, se introduce aproximadamente 3 cartuchos, el último lleva el fulminante y una longitud aproximada de 1,50 m de mecha, asegurando estos elementos con un relleno de paja o hierbas del lugar denominado en obra como muñeco.

*Material a
desalojar
luego de 1 hora
de haberse
producido la
explosión.*



Fig. 3.31

Elaborado por: Autores

A continuación se procede al encendido de la mecha de los ocho cartuchos y se abandona el sitio de trabajo; aproximadamente a 300 m de distancia es decir a unos 7 minutos empiezan las detonaciones pero el personal ya está a buen recaudo. Cada voladura dependiendo del estrato existente, permitió un avance en excavación de 1 a 1,5m promedio.

3.7.3. Uso de Compresor

Como describimos anteriormente, el uso del martillo eléctrico resulto bastante limitado debido a las dificultades con la conexión eléctrica principalmente, por esta razón y debido a la presencia de suelos duros tipo avalancha, roca y piroclastos, se decidió el empleo de un compresor que lleve la suficiente energía al interior de la galería para de esta manera hacer funcionar cualquier equipo de perforación sin inconvenientes.

Se utilizó un compresor de las siguientes características: INGERSOILL RAND 375 CFM/100PSI, motor DEUTZ 6 cilindros, instalado con sus respectivas conexiones a tubería PVC de 2” de presión y accesorios para el paso del aire comprimido así como tubería de presión de ½” para el paso del agua como refrigerante.

*Primer
compresor
utilizado para
el Pie de
Avance.*



Fig. 3.32

Elaborado por: Autores

*Segundo
compresor de
mayor potencia
que reemplazó
al primero.*



Fig. 3.33

Elaborado por: Autores`

Debido a la distancia de la excavación, fue necesario apoyarse con un pulmón ubicado estratégicamente en un cambio (lugar a lo largo de la galería con mayor sección que el diseño de la misma) construido en el interior del túnel, que nos permitió conservar la presión generada por el compresor en la abscisa 0+460 en adelante, y con el uso de el pie de avance se realizaron las perforaciones para colocar el material explosivo.

El horario de trabajo del compresor estaba en función de los turnos de cuadrilla de los obreros, el combustible usado fue diesel, logrando un rendimiento diario aproximado de 2 metros lineales en excavación que equivale a 9,98 m³.

*Tanque pulmón
utilizado para
conservar la
presión enviada
por el compresor.*



Fig. 3.34

Elaborado por: Autores

3.7.3.1. Pie de Avance

El equipo seleccionado debido a los estratos encontrados fue el Pie de Avance, equipo perforador que consta de una broca en su frente y que trabaja a base de presión de aire generada por el compresor, de ésta manera el aire empuja a la broca hacia el interior del estrato, perforando la superficie deseada, sin embargo y debido al constante movimiento, existe el peligro de recalentamiento de la broca y por ende del equipo, por lo que se utiliza un sistema de refrigerado mediante agua que evita este problema.

*Pie de Avance,
equipo utilizado
para perforación
de orificios para
los explosivos.*



Fig. 3.35

Elaborado por: Autores

*Pie de
Avance
perforando
orificios
para
explosivos.*



Fig. 3.36

Elaborado por: Autores

El pie de avance permite por percusión perforar cualquier tipo de estrato, lo que sería imposible realizar a mano, es así que se lo utilizó para preparar los orificios en donde se colocaron los cartuchos explosivos. Como ya mencionamos anteriormente la instalación para el uso de esta herramienta constó de una tubería de presión de 2" para transportar el aire y una tubería de ½" para agua como refrigerante.

3.8. Acarreo de Material

La actividad de acarreo de material es uno de los más importantes durante los trabajos subterráneos en la galería, pues junto con los trabajos de excavación marcan los tiempos y productividad de la obra. Un trabajo de acarreo bien coordinado y bien realizado, garantiza que el resto de trabajos funcionen de manera adecuada y los cronogramas de trabajo y económicos marchen de buena manera.

Hay que tomar en cuenta que el material acarreado no es solo aquel producto de las excavaciones y trabajos subterráneos, sino también la movilización de aquellos materiales almacenados en bodega y que sirven para la confección total o parcial de la galería como por ejemplo: Madera: puntales, tablones, rieles, Perfiles UPN 100 figurados en cerchas de acuerdo con el diseño, Pernos de ½"x1", Pétreos: ripio, arena, Cemento, Acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, Alambre para amarre, Explosivos, Material para iluminación: focos, cable, etc.

A continuación se explica los diferentes tipos de acarreo de material utilizados en la galería exploratoria de Guápulo.

3.8.1. *Proceso Manual*

Como se dijo anteriormente una actividad importante a lo largo de un proceso constructivo es el acarreo del material, el mismo que puede presentar algunas dificultades en su desarrollo, en el caso de la galería de Guápulo el acarreo se trataba de realizar un recorrido llevando y trayendo material, herramienta o equipo que se necesitase en el frente de trabajo desde el campamento, donde se ubicó la bodega, hasta el frontón de excavación, así como el desalojo del material excavado desde el

interior de la galería hacia los sitios de acopio, todo esto a lo largo de la obra subterránea recorriendo una distancia promedio de 600 m.

*Cargado
manual de
material
excavado
en carreta.*



Fig. 3.37

Elaborado por: Autores

Dentro del proceso de acarreo manual la principal actividad ejecutada por los trabajadores en el interior de la galería se concentró en el cargado del material excavado a las carretas transportadoras, luego de labores de excavación manual o con explosivos, en ocasiones se presentaron rocas de gran tamaño las mismas que, por tratarse de rocas de gran volumen y peso imposible de levantarlas físicamente o de destruirlas con herramienta menor, eran desalojadas utilizando un tecele suspendido en las cerchas, el mismo que elevaba el material a las carretas para el desalojo.

Una vez llenada la carreta era halada hacia el exterior con ayuda del tractor AGRALE 4100, donde otro trabajador la vaciaba manualmente en el sitio de acopio, mientras el tractor ingresaba con una nueva carreta vacía para continuar el acarreo del material.

Rocas de gran tamaño levantadas manualmente con ayuda del tecle.



Fig. 3.38

Elaborado por: Autores

Colocación manual de rocas en las carretas.



Fig. 3.39

Elaborado por: Autores

Otros materiales como madera preparada y usada en los entibados, el acero de refuerzo figurado, alambre #18 para amarre, polietileno, tubería de drenaje, el manteniendo constante de la iluminación sobre todo en el cambio de focos y chequeo

de cables eléctricos así como de la manga de ventilación, eran transportados manualmente desde la bodega de campamento hacia el sitio requerido. Cabe resaltar que los costos de acarreo tanto de materiales y equipo desde la bodega hasta el frontón, así como del material excavado desde el frontón hacia el campamento estaban incluidos en los costos de mano de obra del personal.

*Descarga
manual de
carretas con
material
excavado.*



Fig. 3.40

Elaborado por: Autores

3.8.2. Proceso Mecánico

El proceso de acarreo mecánico como su nombre lo indica es aquella actividad mediante la cual el traslado de material, equipos y herramientas se lo realiza utilizando maquinaria o algún tipo de mecanismo pues la carga a transportar resulta demasiado pesada para hacerlo manualmente. A fin de cumplir este objetivo se utilizaron carretas haladas por un pequeño tractor AGRALE 4100, las mismas que estuvieron diseñadas para soportar cargas mayores a 200 Kg. Debido al peso y al constante tránsito del tractor y sus carretas fue necesario colocar tablones en la base de la galería a fin de evitar el hundimiento y daño de solera.

*Colocación
de tablonés a
fin de evitar
daños o
hundimientos
en solera.*



Fig. 3.41

Elaborado por: Autores

Como se mencionó anteriormente el recorrido dentro de la galería fue de aproximadamente 600 m., los mismos que eran recorridos por la maquinaria transportando cerchas, tablonés, y de más materiales, de igual manera hormigón preparado en el exterior, ripio o grava para el drenaje, así como todo material excavado desde el interior de la galería al sitio de acopio en el exterior. En ocasiones se presentaron rocas de gran tamaño, las mismas que para ser levantadas fue necesario la ayuda de un teclé enganchado al perfil UPN y así colocarlas en las carretas, sin embargo hubo otras rocas de mayor tamaño y peso que tuvieron que ser amarradas directamente al tractor, pues debido a sus dimensiones no ingresaban en las carretas.

*Transporte de
materiales y
herramientas
sobre carretas.*



Fig. 3.42

Elaborado por: Autores

*Descarga de
material en
el interior de
la galería.*

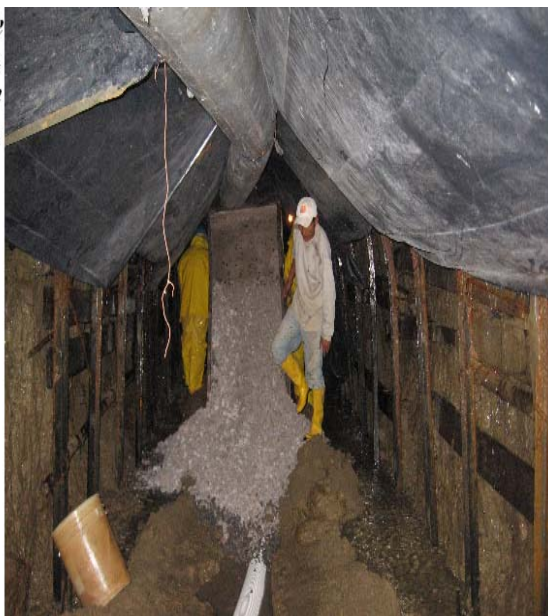


Fig. 3.43

Elaborado por: Autores

Rocas de gran tamaño y peso cargadas por el tractor.



Fig. 3.44

Elaborado por: Autores

Una actividad importante que se presentó en el proceso de acarreo mecánico en el interior de la galería fue la ubicación de la maquinaria sobre todo en el manejo de las carretas: la carreta vacía que ingresaba halada por el tractor era ubicada antes del cambio más cercano, mientras el tractor se daba la vuelta en el cambio y entraba de retro para ser enganchado a la carreta cargada, la carreta vacía era movilizada por los trabajadores y arrinconada en el cambio. Luego de asegurar la carreta cargada al tractor, éste llevaba la carga hacia el sitio de acopio donde era descargada manualmente para luego volver a ingresar, entre tanto la carreta vacía que quedó ubicada en el cambio era llevada a mano por los trabajadores hacia el frontón de excavación, donde manualmente se cargaba con material excavado, esperando vuelva a ingresar el tractor para desalojarlo, de este modo se repetía el procedimiento las veces necesarias hasta cumplir el trabajo.

*Tractor
transportando
material sobre
una de las
carretas.*

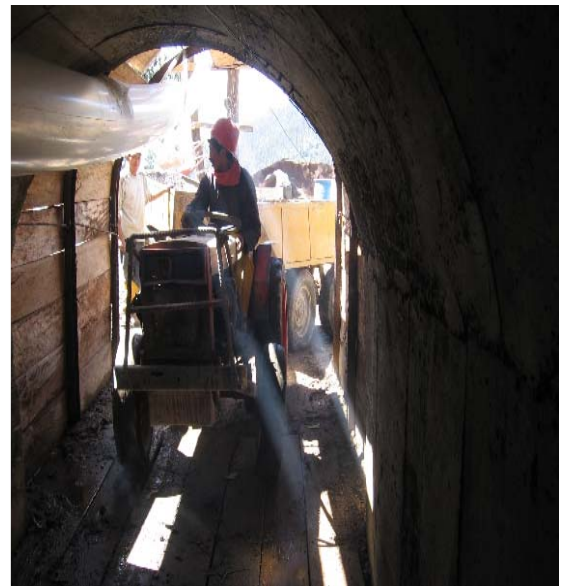


Fig. 3.45

Elaborado por: Autores

Ciertas dificultades esporádicas como daño de neumáticos en carretas y tractor, tanto en el interior como en el exterior de la galería, así como el mantenimiento de estos equipos, paralizaban temporalmente la obra pues no solo los trabajos de acarreo mecánico se veían suspendidos, sino que al tener algún problema dentro de la galería, el tractor prácticamente ocupaba el 90% de la sección y las carretas el 70% de ésta, lo que impedía el paso de cualquier persona, equipo o herramienta que pudiera cumplir su función, en caso de que la paralización o el problema hubiese sido fuera de la excavación, el contar con carretillas y desalojar el material de forma manual resultaba totalmente ilógico, teniendo que recorrer 600 m. a pie cargando material pesado era peligroso ergonómicamente además de la falta de personal, desembocando en un desperdicio de energías y tiempo de los trabajadores, por tal motivo fue necesario que se emplee 4 carretas incluida una emergente y un control semanal del tractor en su funcionamiento mecánico, a fin de evitar los imprevistos mencionados.

En el proceso de acarreo de material excavado desde el interior de la galería las 4 carretas utilizadas estaban ubicadas de la siguiente manera: una en el frontón de la

excavación para el embarque de material a transportar al exterior, la segunda se encontraba en el cambio lista a ser llevada al frontón una vez que la primera fuese transportada por medio del tractor hacia el sitio de acopio, la tercera estaba ubicada a la entrada de la galería para ser llevada por el tractor hacia el interior al sitio de cambio mientras se descargaba la primera carreta que fue llevada del frontón al sitio de acopio; y finalmente la cuarta carreta se encontraba como equipo emergente en caso de daño de una de las 3 carretas ya descritas.

*Carretas
cargas con
material.*



Fig. 3.46

Elaborado por: Autores

En lo referente al combustible el tractor utilizaba diesel, por lo tanto este combustible tenía que estar en stock evitando cualquier paralización de la maquinaria, sobre todo porque su consumo era las 24 horas del día.

3.9. Desalojo de material o Sobreacarreo

El desalojo de material o sobreacarreo es la actividad en la cual todo material producto de la excavación y trabajos subterráneos, que ha sido previamente transportada y colocada en los respectivos sitios de acopio destinados por fiscalización cerca del campamento, es llevado a zonas de relleno (botaderos) o almacenamiento de material designadas por el municipio, y a las cuales tiene acceso el contratista mediante previos permisos otorgados.

Descarga manual de las carretas en sitios de acopio de material.



Fig. 3.47

Elaborado por: Autores

Para el desalojo del material obtenido en los trabajos de excavación de la galería de Guápulo, la EMAAP-Q por medio de fiscalización consiguió la autorización de la AGD para usar como botadero, el sitio de las antiguas canteras de Guápulo, lo que ayudo a no encarecer la obra por concepto de transporte del material, pues en un principio el municipio había autorizado llevar el material al botadero ubicado en el sector de La Bota, incrementando el costo debido a la distancia que debían recorrer las volquetas.

El proceso para desalojo de material es básicamente mecánico con maquinaria pesada, poco interviene el trabajo manual de los obreros, a continuación explicaremos el procedimiento.

3.9.1. Proceso Mecánico

Para realizar el desalojo en las antiguas canteras de Guápulo, se debe recorrer aproximadamente 600 m. entre los centros de gravedad de acopio y botadero, con el compromiso de la EMAAP-Q que todo el material desalojado sea nivelado conformando una sola plataforma.

En el exterior y cerca al portal de la galería, se conformo un desnivel que permitía el desembarco de las carretas y el acopio del material excavado cada 5 días aproximadamente, al cabo de los cuales y por medio de una cargadora o una gallineta, dos volquetas eran cargadas desalojando el sitio de acopio, transportando el material al lugar indicado por el fiscalizador, previamente designado por el municipio.

Cargado de volquetas con material producto de los trabajos subterráneos.



Fig. 3.48

Elaborado por: Autores

Al encontrarse el botadero a una distancia cercana, las volquetas no tuvieron inconvenientes de tránsito en el trayecto, al contrario, se turnaban muy bien, mientras una era cargada y salía del campamento con material, la otra llegaba al sitio indicado y vaciaba su balde, de esta manera el único lugar donde coincidían era en el trayecto, una de ida y otra de vuelta, sin inconvenientes.

*Carga de
volquetas
para
desalojo.*



Fig. 3.49

Elaborado por: Autores

De acuerdo a lo contratado el costo del desalojo consiste en m^3/km , lamentablemente para el contratista por tratarse de una distancia tan corta (600 m.), el costo de desalojo por viaje de volqueta oscilaba de acuerdo a la EMAAP-Q en \$ 4,00 cada viaje, costo que nada tiene que ver con la realidad, pues llegó a establecerse en \$14,00 el viaje, afectando esto al contratista quien tuvo que absorber la diferencia.

Debido a la época invernal, las constantes lluvias y por supuesto el terreno con material sin compactar (acopiado para ser desalojado), hizo que el camino de acceso al botadero tenga que ser reparado constantemente llegando a colocar lastre y

afirmandolo con compactación, evitando así cualquier accidente con las volquetas al momento de ingreso y al descargar lo transportado.

*Trabajos de
relleno,
lastrado y
compactado
en el sector
del botadero.*



Fig. 3.50

Elaborado por: Autores

3.10. Colocación de Cerchas

La colocación de cerchas es una de las principales actividades del trabajo estructural en el interior de la galería, de acuerdo a la necesidad, tipo de suelo y especificaciones, el diseño se realizó con perfiles UPN 100, los mismos que a medida que la excavación avanzaba se iban colocando para permitir el entibamiento dando seguridad a la galería y al personal de obreros que laboraba en el interior.

3.10.1. Perfiles UPN 100

Los perfiles UPN 100 son elementos de acero con una sección en forma de U, cuyas características son:

- Las uniones entre la cara del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas.
- Las caras interiores de las alas tienen una inclinación del 8 % a la base de las alas.
- Las alas tienen el borde con arista exterior y redondeado interior.
- Este producto es obtenido de las palanquillas laminadas en caliente

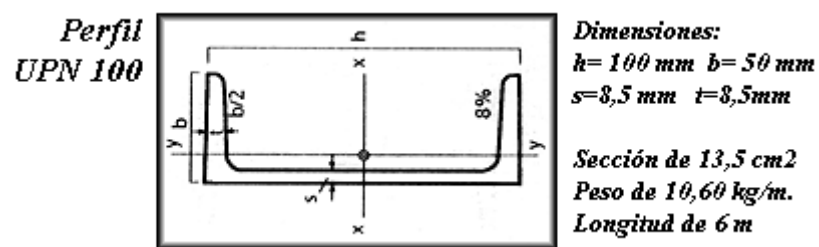


Fig. 3.51

Para conformar las cerchas, siguiendo los planos constructivos, las especificaciones de diseño y tomando en cuenta una relativa facilidad constructiva, el perfil UPN 100 es cortado en dos cuerpos de 3 m de longitud, barolado para dar la curvatura de la bóveda, con 8 armellas soldadas a lo largo de los hombros, 4 en cada lado lo que permite utilizar separadores entre cerchas y lograr la estabilidad de las mismas.

*Semi-cerchas
en perfiles
UPN 100.*



Fig. 3.52

Elaborado por: Autores

*Placas
soldadas en
las bases y
armellas
soldadas en
hombros.*



Fig. 3.53

Elaborado por: Autores

En las bases de cada semi-cercha se suelda una placa metálica de 100x200x10 mm y en la parte superior se suelda otra placa de 200x90x6 mm con dos agujeros, las placas superiores unidas entre sí por medio de 2 pernos de $\frac{1}{2}$ "x1 $\frac{1}{4}$ " conforman la cercha completa.

*Separadores
anclados a
las cerchas
por medio de
armellas.*



Fig. 3.54

Elaborado por: Autores

La cercha irá anclada al piso de la solera con un mojón de hormigón de 12x25x8 cm, y previamente asegurada con chicotes de varilla Ø12 mm de aproximadamente 60 cm incrustados hacia la solera, diseñados para que impidan el desplazamiento transversal y longitudinal conservando la distancia de 1m promedio entre cerchas.

En el sector de los cambios se conservará las semi-cerchas pero éstas irán empernadas a un perfil UPN 100 de 0,90 cm de longitud horizontal, lo que permite ampliar la sección del túnel a 3,10 m.

*Cerchas a lo
largo de la
galería.
Vista del
frontón de
excavación.*



Fig. 3.55

Elaborado por: Autores

*Extensiones de
cerchas (90 cm)
para los sitios
de cambio.*



Fig. 3.56

Elaborado por: Autores

Cabe resaltar que los trabajos de instalación, empernado y conformación de las cerchas fueron realizados manualmente por el personal una vez que las actividades de acarreo concluyeron, de igual manera la colocación de cerchas implicó que los trabajos de excavación sean detenidos hasta asegurar bien el lugar con el entibado.

*Armado
manual de
cerchas.*



Fig. 3.57

Elaborado por: Autores

3.10.2. Celosía con Varilla

Otro tipo de cerchas utilizadas en obras subterráneas son aquellas conformadas por celosías con varilla de acero, el uso de este tipo de cerchas en la construcción de esta galería fue descartado de acuerdo al diseño por cuanto la fabricación resultaba muy demorosa y retardaba el proceso constructivo, además de correr el riesgo de no garantizar la uniformidad en su sección. Otra de las razones de gran peso para no trabajar con este tipo de cerchas fue que al tratarse de una galería de infiltración la humedad existente hace propenso el material a la oxidación en forma acelerada perjudicando al diámetro de la varilla y una posible corrosión de la misma. Razones por las cuales se prefirió el uso del perfil UPN 100 importado, asegurando la

construcción y colocación de una cercha uniforme, un entibado y una fundición rápida garantizando la seguridad de los obreros en el avance de la obra.

3.11. Entibado continuo permanente

El trabajo de entibado, no es sino construir una pared, muro o techo portátil dentro de una obra subterránea o bajo tierra, a fin de evitar derrumbes o desmoronamiento de material suelto debido a socavación por aguas subterráneas, planos de corte, etc. La mayoría de veces dicho entibado, dentro de los planos constructivos y de diseño, servirá como referencia para el acabado final o construcción definitiva de la obra.

En la construcción de galerías, túneles y obras subterráneas es necesario un entibado continuo permanente pues es una de las actividades que complementa el desarrollo de la excavación, como se dijo anteriormente al tener por objeto evitar la socavación o derrumbamiento de las paredes de la sección excavada, consigue la estabilidad de la misma y brinda seguridad a los trabajadores.

*Tablones
de madera
Colorado
formando
parte de la
galería.*



Fig. 3.58

Elaborado por: Autores

Para el entibado de la galería exploratoria de Guápulo, rigiéndose a la normativa y con la autorización de fiscalización, se utilizó tablones de madera Colorado de 2,4x0,

27x0, 04 m colocándolos sobre las cerchas garantizando la seguridad de los obreros mientras continuaba el avance de la excavación. En algunos sectores donde se encontraba suelo más estable se colocó rieles de eucalipto sobre todo en los hombros, de igual manera en sectores donde el espacio no era suficiente para el ingreso de tablonos o rieles se colocaron pingos como entibado permanente.

Debido a los diferentes tipos de suelo encontrados resultó bastante complicado realizar un entibado exacto, sin embargo se consiguió hacer un entibado bastante uniforme a fin de que trabaje como encofrado interior al momento de fundir el hormigón y dar el acabado final a la galería, de igual manera se logró crear un entibado suficientemente resistente como para permitir la continuidad de los trabajos dentro de la galería sin sufrir ningún percance.

*Entibado
uniforme y
resistente*



Fig. 3.69

Elaborado por: Autores

3.12. Relleno de derrumbes por imprevistos geológicos

Dentro de los posibles inconvenientes que se presentan durante las labores de excavación, colocación de cerchas y entibado, se encuentran los derrumbes por imprevistos geológicos que pueden ser de diferentes magnitudes. Como ya hemos mencionado anteriormente los derrumbes en el interior de la galería se presentan

debido a la presencia de aguas subterráneas que socavan el suelo, fallas geológicas y sus planos de corte y suelo no compactado o flojo que cede fácilmente al momento de excavar y retirar el material en el que se apoya o que lo contiene.

A medida que avanzaban los trabajos subterráneos en la galería de Guápulo se presentaron varios derrumbes de menores proporciones sobre todo a los costados de la excavación, pues el hecho de no ser uniforme el tipo de suelo ni conocer con exactitud el plano de falla hizo que existan pequeños deslaves laterales internos que si bien no causaron mayores dificultades en la sección, generaron la necesidad de desalojar el material y una vez encerchado y entibado proceder al relleno de las zonas huecas para evitar que queden bolsas de aire y que continúe el disgregamiento de las paredes de la galería.

*Relleno
con rocas
y material
excavado.*



Fig. 3.60

Elaborado por: Autores

Dichos rellenos se realizaron con el mismo material de excavación enfundado en sacos de yute y colocados ordenadamente en los espacios vacíos. En algunos casos al ser requerido un relleno con urgencia se colocaron de manera inmediata tanques de metal, los cuales eran llenados rápidamente con el material excavado, evitando se presente un colapso mayor de las paredes y perjudique la sección, sin embargo este

procedimiento fue poco utilizado pues como ya mencionamos los derrumbes fueron en su mayoría de menores proporciones.

*Tanques
metálicos
rellenados con
material de
excavación.*



Fig. 3.61

Elaborado por: Autores

3.13. Construcción de refugios o cambios

Un refugio o cambio no es sino una ampliación de la sección dentro de una obra subterránea. La construcción de cambios a lo largo de una galería con un solo frente de trabajo resulta sumamente necesaria pues es en este lugar donde se refugian los obreros mientras la maquinaria recorre en el interior, de igual manera es allí donde la misma maquinaria, equipo utilizado o herramienta menor se almacena en caso de daños o desperfectos, sin interrumpir las labores o el paso de trabajadores.

En el caso de la galería de Guápulo los refugios, contruidos cada 50 m tenían una sección 3,10x2,30 m diferente a la original de 2,20x2,30m, y además de cumplir las funciones ya mencionadas, tenían un objetivo especial, pues fue en estos lugares donde se realizaron las actividades de cambio de carretas entre la cargada y la descargada para hacer el desalojo continuo del material excavado, actividades de las

que no se pudo prescindir en ningún instante pues el avance de la obra estaba enteramente ligado a las labores de acarreo de material .

Tomando en cuenta todas las razones expuestas se justificó plenamente la construcción de refugios o cambios puesto que en la galería, a más de contar con un solo frente de trabajo, no existía la posibilidad de construir pozos de inspección pues los trabajos subterráneos se encontraban aproximadamente a 150 m promedio de profundidad respecto de la superficie.

3.14. Drenaje de solera

El drenaje en solera es el sistema mediante el cual se canaliza toda el agua que cae y se acumula dentro de la galería, la misma que al ser constante e incrementarse en caso de lluvia, puede llegar a perjudicar los trabajos subterráneos así como causar accidentes en el interior de la excavación, además de generar sub-presión hidrostática que pueda actuar contra la solera.

*Tubería
para
drenaje
colocada.*



Fig. 3.62

Elaborado por: Autores

El drenaje en solera consta de tubos PVC instalados en el eje de la galería y recubiertos con grava natural clasificada o sin clasificar, que faciliten el libre

escurrimiento de las filtraciones del terreno natural. En el caso de la galería de Guápulo debido a la existencia de grandes cantidades de agua, el piso se tornó muy lodoso impidiendo el trabajo normal de las maquinarias y los obreros, lo que hizo que la construcción del drenaje y la solera se realice cada 30 m conforme avanzaba la excavación.

Para iniciar la construcción del drenaje se procedió a excavar una zanja a lo largo del eje de la solera conservando la pendiente longitudinal (2x1000) y con una sección de 0,40 x 0,40 m., en la cual se colocó tubería PVC 160 mm para desagüe en forma de espina de pescado. A continuación y como protección se cubrió con material pétreo (ripio) a la tubería colocada, a la zanja y al ancho de la solera, capa de aproximadamente 7 cm, para finalmente colocar polietileno en la parte superior, lo que impermeabilizó la zona y permitió que los trabajos subterráneos se realicen en seco, sobre todo el armado de hierro, después del cual se fundió el hormigón de 210 kg/cm² con acelerante Sika 3 en una proporción tal para obtener fraguado en una hora.

*Trabajos de
excavación
de zanja
para drenes.*



Fig. 3.63

Elaborado por: Autores

*Colocación
de pétreos
para
protección
de tubería.*



Fig. 3.64

Elaborado por: Autores

*Nivelación del
ripio colocado
y recubrimiento
con polietileno.*



Fig. 3.65

Elaborado por: Autores

El exceso de agua generado por el avance de excavación se controla extrayéndola e impulsándola al exterior con el uso de una bomba a gasolina de 2", evitando en lo posible contaminar el ambiente de trabajo con los gases de la combustión emitidos

por ésta. La bomba se encuentra conectada a una tubería por la que transita todo el líquido por sobre la solera, lo que permite realizar cualquier trabajo en especial la colocación de la armadura y fundición del hormigón cumpliendo con las especificaciones determinadas por la EMAAP-Q y controles de calidad.

*Bomba
utilizada
para la
extracción
del exceso
de agua.*



Fig. 3.66

Elaborado por: Autores

*Exceso
de agua
esalejado
con ayuda
de la bomba.*



Fig. 3.67

Elaborado por: Autores

*Exceso
de agua
evacuado
por bombeo.*



Fig. 3.68

Elaborado por: Autores

Por efecto de la excavación la existencia de agua subterránea, sobre todo aquella que descendía desde el techo, en ciertos tramos resultó muy intensa por lo que se hizo necesario el uso de polietileno como una carpa protectora que permitió a los obreros, construir el drenaje, amarrar el acero y fundir el hormigón, sin exceso de agua que altere los procesos.

*Polietileno
colocado en
forma de
carpa para
impermeabi-
lizar las zonas
de trabajo.*

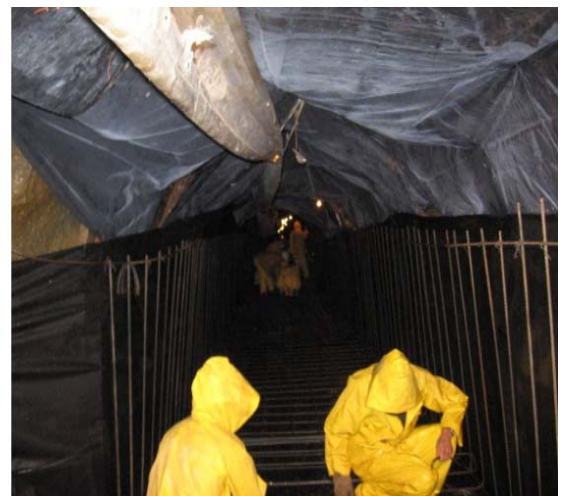


Fig. 3.69

Elaborado por: Autores

3.15. Acero en solera, hombros y bóveda

Como en toda obra civil una de las tareas más importantes es el trabajo con acero, el mismo que consiste en el suministro, transporte, corte, figurado y colocación de las barras de acero para el refuerzo de la estructura.

En la galería de Guápulo los refuerzos de acero fueron necesarios para la solera, los hombros y la bóveda, de conformidad con los diseños, detalles de los planos y órdenes del Ing. Fiscalizador.

El suministro y transporte del acero, calculando la cantidad que se requería en base a los planos constructivos, se lo realizó con anticipación no sólo debido a inconvenientes que se puedan presentar con el traslado del material, sino también a fin de evitar la escases del producto en obra o en el mercado.

El corte, figurado y colocación de las barras de acero se lo realizó en obra de acuerdo a las especificaciones y requerimientos conforme avanzaba la construcción de la galería.

*Colocación
de acero en
hombros y
solera.*



Fig. 3.70

Elaborado por: Autores

La colocación de los aceros se lo hizo de manera conjunta en la conformación de los hastiales y la solera para que al fundir la solera, la armadura quedara conformada en un solo cuerpo, y así los aceros tengan sustentación en la solera ya fundida.

*Armadura
de acero en
hombros y
solera
asegurada
para
fundición.*



Fig. 3.71

Elaborado por: Autores

Puesto que la fundición se realizó cada 30m debido a la gran cantidad de agua presente en el interior de la obra, esto favoreció a que la humedad existente en la galería no afecte a la oxidación del acero instalado.

Se tuvo bastantes precauciones de seguridad, puesto que al transitar los trabajadores por la armadura y debido a la humedad propia de la galería, sus botas se encontraban mojadas ocasionando que puedan existir riesgos de caídas al mismo nivel y peligros de incrustación de alguna varilla en su cuerpo.

3.16. Fundición

Una vez colocado y ajustado el acero iniciamos con la fundición del hormigón. El proceso de fundición es el más trascendente en la construcción de una obra subterránea, pues de este proceso depende la resistencia, acabado y el avance como tal de la obra. Por esta razón es de vital importancia que las actividades que conforman el proceso de fundición sigan estrictamente las especificaciones y requerimientos de la empresa contratante (EMAAP-Q) así como del fiscalizador de

la obra, a fin de garantizar su resistencia y comportamiento estructural una vez finalizados los trabajos.

Hay que tomar en cuenta que el fiscalizador podrá aprobar o rechazar e inclusive ordenar rehacer una estructura cuando se hayan excedido los límites tolerables que se detallan en los planos o en las especificaciones, razón por la cual en este proceso constructivo fue primordial tomar las mejores medidas de control con los materiales, las herramientas, el equipo, los encofrados, la fabricación, el transporte, la manipulación, el vertido, etc. a fin de que los hormigones producidos tuvieran perfectos acabados y resistencia.

3.16.1. Mezclado (Amasado)

La actividad de mezclado del hormigón se cumplió bajo las especificaciones dadas por la EMAAP-Q, utilizando una máquina mezcladora de un saco de capacidad ubicada en el exterior de la galería en la zona de campamento, lo que facilitaba las labores debido a la cercanía a los materiales pétreos, a la arena, a los sacos de cemento y al agua.

*Trabajos de
mezclado con
ayuda de la
concretera.*



Fig. 3.72

Elaborado por: Autores

El agua fue dosificada por medio de un sistema de medida a través de cubetos controlados en campo, de esta manera se iba corrigiendo la cantidad que se colocaba en la mezcladora de acuerdo a la humedad que contenían los agregados. Además del control de agua de la mezcla, se realizó comprobaciones en sitio de acuerdo a las especificaciones mediante el ensayo de asentamiento utilizando el cono de Abrahams, de esta manera se logró que la consistencia de mezcla requerida para el hormigón no varíe a lo largo de la galería.

3.16.2. Transporte

Luego de realizada la mezcla, el hormigón era transportado hasta el sitio de la obra en el interior de las carretas haladas por el tractor, y una vez dentro era vaciada por los trabajadores siendo el hormigón colocado en los sitios requeridos.

*Vertido del
hormigón
hacia las
carretas.*



Fig. 3.73

Elaborado por: Autores

El equipo necesario tanto para la manipulación como para el vaciado (herramienta menor, carretas, vibrador, etc.) se encontraba en perfecto estado, teniéndose un

especial cuidado en mantener las pendientes longitudinal y transversal, así como una buena vibración para extraer el aire existente y evitar dejar vacíos en el interior que ocasionasen filtraciones futuras.

3.16.3. Fundición de Solera

3.16.3.1. Encofrado

Al trabajar con la solera no se utilizó ningún tipo de encofrado, pues se vertió el hormigón sobre la capa de ripio colocada previamente para el drenaje, generando una nueva capa de hormigón de aproximadamente 7 cm.

3.16.3.2. Colocación

La colocación del hormigón de 210 kg/cm^2 se la realizó manualmente en tramos cada 30 m. y durante los 30 primeros minutos de mezclado luego de agregar el acelerante sika en proporción para fraguado en una hora, de este modo se fue colocando en obra de forma continua, cumpliendo las especificaciones, nivelando y vibrando la mezcla depositada por las carretas sobre la capa de ripio a lo largo de cada tramo.

En los trabajos en solera, una vez nivelada la capa de hormigón se colocó sobre éste polietileno para evitar que el goteo de las aguas subterráneas desde la bóveda dañe la superficie terminada. Durante cada jornada de trabajo se realizaba la fundición de un tramo de 30 m. obteniéndose así una estructura completamente monolítica a la que se dejaba chicotes y hormigón con aspecto áspero o bien una junta de construcción, lo que en ambos casos nos permitió continuar con el siguiente tramo de hormigonado.

*Colocación
manual de
hormigón
en solera.*



Fig. 3.74

Elaborado por: Autores

3.16.3.3. Curado

Terminada la fundición de los 30 m, se suspendían los trabajos por 2 días, dando oportunidad a que el hormigón tenga un proceso de fraguado sin el maltrato por el paso de obreros y maquinaria.

*Vista de
solera
acabada su
fundición.*



Fig. 3.75

Elaborado por: Autores

El curado del hormigón fundido se efectuó con la misma humedad natural de la galería, suspendiendo el drenaje ubicado bajo la solera a las 24 horas de colocado el hormigón para que el agua existente corra por encima de la superficie de la solera, garantizando el buen curado del hormigón.

3.16.4. Fundición de Hombros

3.16.4.1. Encofrado

Una vez fundida la solera y transcurridos 2 días para que el hormigón tenga un proceso de fraguado garantizado, considerando además que se utilizó acelerante de fraguado, dimos inicio al encofrado en hombros. Previamente se tuvo cuidado que el tramo de solera y las varillas del armado estén limpias de rebabas o cualquier elemento ajeno al hormigón, en seguida se procedió a colocar pedazos de tubería de PVC 2” como drenaje lateral a lo largo de la galería.

*Encofrado
de hombros.*



Fig. 3.76

Elaborado por: Autores

Finalmente se empezó por instalar y asegurar el encofrado, el mismo que se lo humedeció y aplicó aceite a fin de evitar que quede pegado al hormigón. En el caso de los hombros se utilizó como encofrado externo el mismo entibado que se realizó conforme avanzaban los trabajos de excavación, mientras que como encofrado interno se utilizaron tableros de madera contrachapada bien apuntalados para evitar desperfectos.

3.16.4.2. Colocación

Inspeccionada la ubicación y sujeción correcta del drenaje en tubería PVC 50 mm (2”), la separación y amarre de las varillas, el correcto apuntalamiento y limpieza del encofrado respetando dimensiones y recubrimientos exigido, se procedió a colocar el hormigón manualmente en forma continua con el uso de palas y baldes, dentro de los primeros 30 minutos de mezclado el hormigón con el acelerante, teniendo presente un correcto vibrado mecánico y manual, además de golpes laterales con mazo de caucho para evitar burbujas de aire y posibles espacios vacíos para de esta forma impedir la existencia de fisuras laterales que generan filtraciones y oxidación al acero de refuerzo.

*Primer tramo
de hombros
finalizado y
segundo tramo
encofrado listo
para fundir.*



Fig. 3.77

Elaborado por: Autores

3.16.4.3. Curado

Una vez terminados los trabajos de fundición en cada tramo de 30 m, se suspendían los trabajos por 2 días, dando oportunidad a que el hormigón tenga un proceso de fraguado. El curado del hormigón fundido se efectuó con la misma humedad natural de la galería, e incluso en tramos donde se creyó conveniente se procedió a regar agua humedeciendo así el hormigón recién fraguado.

3.16.4.4. Drenajes

Los drenajes utilizados en el sector de los hombros de la galería consistieron en pedazos de tubo PVC de 50 mm. (2”), con una longitud igual al espesor del hombro, que fueron colocados de la siguiente manera: la primera hilera a cada metro de distancia en sentido longitudinal, la segunda hilera a 40 cm de altura de la primera y cada tubo en la mitad del espacio que existía entre tubos de la primera hilera (en forma de traba), lo que permitió el desalojo de aguas freáticas a través de los hombros hacia la solera.

3.16.5. Fundición de Bóveda

3.16.5.1. Encofrado

Previo al encofrado de la bóveda se verificó que la parte superior de los hombros y sus varillas estén limpias de rebabas o cualquier elemento ajeno al hormigón, enseguida se desencofró los hombros y se procedió a colocar la tubería de drenaje PVC de 2” (50 mm) para la bóveda.

Como encofrado exterior se utilizó el entibamiento de tabloncillos inicialmente colocado y para el encofrado interior se fabricó varios módulos de 1 metro de longitud con media duela de eucalipto respetando el radio de curvatura de la bóveda y los detalles constructivos especificados en los planos de diseño.

*Encofrado
utilizado para
fundición de
bóveda.*



Fig. 3.78

Elaborado por: Autores

Puesto que se fue encofrando metro a metro conforme se iba fundiendo se tuvo especial precaución de humedecer o colocar aceite en los encofrados a fin de poder retirarlos fácilmente, reutilizarlos y evitar que restos de madera queden adheridos al hormigón.

*Encofrado
de bóveda,
cerchas y
módulos
instalados.*



Fig. 3.79

Elaborado por: Autores

Finalmente se colocó el encofrado exterior a 15 cm del encofrado interior, apoyándolo en sus extremos y en el medio con cerchas de tablón de colorado debidamente apuntaladas a fin de resistir el peso del hormigón.

3.16.5.2. Colocación

Inspeccionada la ubicación y sujeción correcta del drenaje en tubería PVC de 50 mm (2”), así como la separación y amarre de las varillas, y el correcto apuntalamiento del encofrado respetando el recubrimiento exigido, se procedió a la colocación del hormigón dentro de los primeros 30 minutos de haberlo mezclado con el acelerante.



Fig. 3.80

Elaborado por: Autores

De forma manual y continua se colocó el hormigón por el espacio central de 15 cm. dejado entre los encofrados exterior e interior, fundiendo la bóveda metro a metro colocando y llenando módulo por módulo. Con ayuda del equipo de vibración y golpes de mazo de caucho contra la madera del encofrado se logró el buen acomodo de los agregados y el desplazamiento de la mezcla hacia el interior, ocupando todo el

volumen y evitando queden partículas de aire o posibles espacios vacíos, que a la postre generen grietas o filtraciones disminuyendo la resistencia del hormigón y pudiendo hacer colapsar el techo de la galería.

Se logró fundir 4 tramos de 1 metro de bóveda por jornada, además se iba dejando cada 30 m. previsto chicotes y hormigón con aspecto áspero o bien una junta de construcción, lo que nos permitía continuar fundiendo el siguiente tramo e ir formando elementos que trabajen como estructura monolítica.

3.16.5.3. Curado

El curado para la bóveda resultó bastante cómodo, pues la humedad natural en el interior de la galería favoreció a este proceso, sin embargo en algunos tramos por precaución se regó agua cada cierto tiempo a fin de conseguir un curado óptimo.

3.16.5.4. Drenajes

El drenaje utilizado para la bóveda de la galería consistió en pedazos de tubería PVC 2” (50 mm) con una longitud igual al espesor de la bóveda, que fueron colocados en una hilera a ambos extremos a 40 cm. de altura desde el inicio de la bóveda con separación longitudinal de 1 m., esta ubicación permitía el desalojo de aguas freáticas a través de la bóveda hacia la solera.

3.16.6. Control de Calidad

Para realizar un buen control de calidad de cada fundición se obtuvo 4 muestras de cilindros aprobados por fiscalización y enviados a ensayo de laboratorio para comprobar que su resistencia era la requerida y especificada por la EMAAP-Q.

El transporte de los cilindros para los ensayos se lo realizó en cajones de madera con una cama de arena, evitando ser golpeados para impedir cualquier alteración a los resultados definitivos.

*Preparación
de cilindros
(muestras)
para ensayos
de control de
calidad.*



Fig. 3.81

Elaborado por: Autores

Para la composición del hormigón todo material pétreo utilizado y exigido por fiscalización correspondió a las minas de Pifo y fue distribuido por DISENSA, material que está calificado por la EMAAP-Q como excelente para la construcción de sus obras. De igual manera el cemento y el hierro están respaldados por las normas INEN que rigen en nuestro país.

Cabe resaltar que todo procedimiento fue realizado de acuerdo a las especificaciones dadas por la EMAAP-Q y supervisado constantemente por personal de fiscalización.

3.17. Desencofrado y arreglo de fallas

Las actividades de desencofrado y arreglo de fallas son las finales del proceso constructivo, sin embargo son de mucha importancia pues el acabado que presente la obra depende enteramente de estas labores.

El desencofrado de hombros y bóveda se lo realizó al día siguiente de cada fundición, teniendo especial cuidado al retirar módulos y tableros evitando su fractura o que restos de madera queden adheridos al hormigón. Las actividades de desencofrado se realizaron prontamente no solo para comenzar con las labores de curado, sino para aprovechar este encofrado armarlo de nuevo y utilizarlo en los siguientes tramos.

Las imperfecciones del hormigón fueron reparadas (resanadas) por mano de obra experimentada bajo el control del ingeniero residente y la aprobación del ingeniero fiscalizador. El resane tuvo el objetivo no solo estético de producir uniformidad de la superficie, sino de eliminar las pequeñas cavidades producto de espacios vacíos en el hormigón durante la fundición, evitando agrietamientos o fisuras futuras debido al desgaste del hormigón durante su uso.

Tanto en las actividades de desencofrado como en la reparación de fallas se puso especial cuidado al momento de trabajar con los drenajes. Se aseguró de no taponarlos y que nada los impida cumplir su función de permitir el paso de agua subterránea al interior de la galería, caso contrario la galería no estaría cumpliendo su función de recolección de aguas y en una situación extrema el líquido almacenado generaría presión hacia las paredes de la obra subterránea presentando un problema estructural para el cual no fue diseñado el proyecto.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Muchas veces es necesario ajustar los conocimientos técnicos a la práctica en campo, improvisando soluciones dentro de la ingeniería que cumplan con las normas y permitan un mejor desarrollo del proceso constructivo
- Al momento de realizar una excavación es importante identificar correctamente los tipos de suelo a medida que avanzan los trabajos, esto permitirá tomar precauciones en cuanto al modo de avance y seguridad de los trabajadores, disminuyendo riesgos, accidentes e incluso optimizando tiempos de trabajo
- El seguimiento del proceso constructivo y la correcta programación de actividades son imprescindibles para la construcción de una galería exploratoria y en general para el desarrollo de cualquier actividad subterránea, pues ayudan a mantener un control de riesgos, avance de obra y prevenir cualquier inconveniente
- La maquinaria y los materiales a utilizar en obras subterráneas deben estar en perfecto estado y ajustarse lo más posible a los requerimientos del trabajo a realizar
- El proceso constructivo de una galería exploratoria está ligado directamente al diseño y las especificaciones, pero sobre todo al método de excavación a utilizarse
- Los estudios de suelos y la información geológica del sitio previa al inicio del proyecto y utilizada para su diseño no garantiza la realidad geológica interna del lugar, la misma que se nos presenta claramente conforme avanzan los trabajos de excavación y por lo cual es necesario y de gran importancia realizar trabajos geotécnicos periódicos a medida que se desarrolla la obra
- Resulta de gran importancia la documentación del proceso constructivo, no solo como referencias para contratista y fiscalizador, sino como bases para control de calidad, tiempos de trabajo, seguridad industrial y sobre todo para realizar cambios en pos de mejoras para futuras obras subterráneas

- Ningún proceso constructivo para galerías de exploración es definitivo, reglamentario u obligatorio, siempre estará sujeto a cambios o alteraciones, mejoras e incluso improvisaciones dependiendo de las complicaciones que se presenten en el desarrollo de la obra subterránea
- Los autores y la bibliografía consultada resulta bastante limitada al momento de definir métodos de excavación y clasificarlos, por lo tanto fue necesario realizar una clasificación basada en el tipo de maquinaria principal utilizada para los trabajos subterráneos y la descripción del proceso como tal
- Cabe recalcar que la presente disertación, resultado de una ardua investigación, tanto teórica como de campo, es una guía constructiva, mas no un reglamento o una norma obligatoria, este trabajo esperamos sirva como base para trabajos futuros y ayude a controlar imprevistos que se puedan presentar en obra, evitando accidentes o trabajos inseguros

4.2. Recomendaciones

- Dentro del proceso constructivo de la galería se debe poner gran énfasis en el desalojo del material excavado desde el frente de avance hacia el exterior de la galería, para lo cual se recomienda generar soluciones que optimicen recursos físicos y económicos, y de igual manera que presenten buena comodidad para el desarrollo del resto de trabajos
- En toda obra subterránea se recomienda, a más de los estudios de suelos, realizar un análisis de riesgos constantemente conforme avanzan los trabajos de excavación, antes de la colocación de los perfiles UPN, a fin de asegurar la estabilidad del frente de trabajo, evitar contratiempos y garantizar la seguridad de los trabajadores
- Se recomienda realizar los trabajos de excavación de la galería, durante las 24 horas del día, de ésta manera no sólo se reduce el tiempo de construcción, sino que se puede llevar registros y tener un control permanente del tipo de estrato

que se atraviesa, su comportamiento, así como el tipo de filtración que posee, todo esto a fin de colocar los refuerzos y el entibado que sean necesarios.

- Adicional al desarrollo de la disertación, resultó de gran importancia los trabajos realizados en campo, pues representan experiencias invaluable donde se aplican y se ponen a prueba los conocimientos aprendidos en la universidad, por lo tanto se recomienda que los estudiantes, mientras puedan, realicen trabajos de campo y acumulen conocimientos a medida que desarrollan su respectiva disertación.
- Debido a las dificultades que se encuentran en las obras subterráneas sobre todo con los tipos diferentes tipos de suelo que se van encontrando conforme se avanza en la excavación, se recomienda para futuras obras realizar constantemente ensayos de laboratorio para determinar con qué tipo de suelo se trabaja y los métodos de estabilidad que permitan continuar las actividades sin riesgos para los trabajadores

BIBLIOGRAFÍA

GAVILANES Hernán y ANDRADE Byron, “Introducción a la ingeniería de Túneles”, A.I.M.E., Quito –Ecuador 2004

GEOCONSULT ESPAÑA, “Manual de túneles interurbanos de carretera”, España 1996

JOGNA Luciano, “Túneles y Obras Subterráneas”, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1972

OSHA 29 CFR1926 “Regulaciones de la Industria de la Construcción”, Subparte S Construcción Subterránea, Reglas Press LLC, 2006

OSHA 29 CFR1926 “Regulaciones de la Industria de la Construcción”, Subparte D Salud Ocupacional y Controles Ambientales- Iluminación, Reglas Press LLC, 2006

OSHA 29 CFR1926 “Regulaciones de la Industria de la Construcción”, Subparte U El Arruinar el uso de explosivos, Reglas Press LLC, 2006

SAENZ GARCIA Clemente, V.V.A.A., “Túneles y obras subterráneas”, Editores Técnicos Asociados, España 1972

WENZEL Klaus, V.V.A.A., “Túneles y Obras Subterráneas”, Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona 1972

EMAAP-Q, Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650, Términos de Referencia, Quito, 2005

EMAAP-Q, Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650, Memoria Técnica, Quito, 2005

EMAAP-Q, Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650, Croquis de Ubicación, Quito, 2005

EMAAP-Q, Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650, Perfil Geológico, Quito, 2005

EMAAP-Q, Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650, Especificaciones Técnicas, Quito, 2005

EMAAP-Q, Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650, Planos de Diseño, Quito, 2005

“La Minería Subterránea”. Internet <http://www.monografias.com/trabajos72/mineria-subterranea/mineria-subterranea2.shtml> Acceso: Noviembre 2009

Carrero, Joani. V.V.A.A. “Ingeniería Civil, sus orígenes”. Internet. <http://www.destinourbe.com/ingenieria-civil-sus-origines.html>. Acceso: noviembre 2009

Colaboradores de la Escuela de Ingeniería de Antioquia. “Túneles y pozos Hidráulicos”. Internet. http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/tuneles/tuneles_y_pozos_hidraulicos.html. Acceso: agosto 2009.

Colaboradores de Taringa, “Ingeniería Civil”. Internet. <http://www.taringa.net/posts/info/1193224/Ingenier%C3%ADa-Civil.html>. Acceso: diciembre 2009.

Colaboradores de Wikipedia. “Piroclasto”. Internet. <http://es.wikipedia.org/wiki/Piroclasto>. Acceso: octubre 2009.

Colaboradores de Wikipedia. “Acueducto”. Internet. <http://es.wikipedia.org/wiki/Acueducto>. Acceso: septiembre 2009.

Colaboradores de Wikipedia. “Agua subterránea”. Internet. http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_subterr%C3%A1nea. Acceso: agosto 2009. , García Martínó, Cfr. Andrés R. Lugo, Ariel. E. Tomado de: Cartilla del agua para Puerto Rico. 1996. Vol. 10 Núm. 1-3. pp. 35-3 “Acuífero”. Internet. <http://ctp.uprm.edu/jobos/educacion/acuiferos.html>. Acceso: septiembre 2009.

Colaboradores de Wikipedia. “Catacumbas de París”. Internet. http://es.wikipedia.org/wiki/Catacumbas_de_Par%C3%ADs. Acceso: septiembre 2009

Colaboradores de Wikipedia. “Lahar”. Internet. <http://es.wikipedia.org/wiki/Lahar>. Acceso: noviembre 2009.

Colaboradores de Wikipedia. “Romanización de Hispania”. Internet. http://es.wikipedia.org/wiki/Romanizaci%C3%B3n_de_Hispania. Acceso: agosto 2009.

Colaboradores de Wikipedia. “Túnel”. Internet. <http://es.wikipedia.org/wiki/T%C3%B3nel>. Acceso: octubre 2009.

Colaboradores de Wikipedia. “Ingeniería Civil”. Internet. http://es.wikipedia.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_civil. Acceso: noviembre 2009.

Colaboradores de Arqhys, Architects Site. “Túneles”. Internet. <http://www.arqhys.com/articulos/famosos-tuneles.html>. Acceso: septiembre 2009.

Colaboradores de Arqhys, Architects Site. “Túneles”. Internet. <http://www.arqhys.com/articulos/famosos-tuneles.html>. Acceso: septiembre 2009.

Del Ramo, Antonio. Guillén, Francisco. “Conglomerado (Pudinga)”. Internet. http://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,359,a,0,m,2012&r=ReP-8164-DETALLE_REPORTAJES. Acceso: noviembre 2009.

Dotres Fallat, Maryla. Fdez de Alaiza Amador, Silvia. “Sistemas de Alcantarillado”. Internet. <http://www.arqhys.com/construccion/sistemas-alcantarillado.html>. Acceso: noviembre 2009.

EMAAP-Q, Proyecto Acuífero de Quito-Galería Exploratoria de Guápulo Tercera Etapa Absc. 0+405 a 0+650, Especificaciones Técnicas, Quito, 2005

Estruch Serra, Miquel. Gómez, Ana Tapia. “Topografía subterránea para minería y obras”. Internet. <http://books.google.com.ec/books?id=YUsbzGmMEogC&pg=PA27&lpg=PA27&dq=como+se+construye+una+Galer>. Acceso: diciembre 2009.

García, Luisa. “Obras Subterráneas; Riesgos para la Salud”. Internet. <http://www.arqhys.com/contenidos/subterraneas-obras.html>. Acceso: octubre 2009

García, Luisa. “Obras Subterráneas; Riesgos para la Salud”. Internet. <http://www.arqhys.com/contenidos/subterraneas-obras.html>. Acceso: octubre 2009, Linares Sánchez, Cfr. Antonio. “Túneles y Obras Subterráneas”. Internet

<http://books.google.com.ec/books?id=TXevPSBtQX4C&printsec=frontcover&dq=t%C3%B1eles+y+obras+subterr.> Acceso: agosto 2009

Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña - ITeC. “Características Materiales de los Residuos de Excavación y Demolición de Tierra Superficial y de Excavación”. Internet.

http://www.construmatica.com/construpedia/Caracter%C3%ADsticas_Materiales_de_los_Residuos_de_Excavaci%C3%B3n_y_Demolici%C3%B3n_de_Tierra_Superficial_y_de_Excavaci%C3%B3n Acceso: noviembre 2009

LINARES SANCHEZ Antonio, V.V.A.A., Túneles y obras subterráneas, pág. 5, editores técnicos asociados, España 1972

Linares Sánchez, Antonio. “Túneles y Obras Subterráneas”. Internet <http://books.google.com.ec/books?id=TXevPSBtQX4C&printsec=frontcover&dq=t%C3%B1eles+y+obras+subterr.> Acceso: agosto 2009

WENZEL Klaus, Túneles y Obras Subterráneas, pág. 338, Editores Técnicos Asociados S.A., Cfr. Barcelona 1972, Colaboradores de Wikipedia. “Túnel”. Internet. <http://es.wikipedia.org/wiki/T%C3%B1el>. Acceso: octubre 2009.