

APOYO TÉCNICO EN LA EJECUCIÓN  
DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL DE DAZA

IVAN JAVIER MUÑOZ LOPEZ

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2011

APOYO TÉCNICO EN LA EJECUCIÓN  
DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL DE DAZA

**IVAN JAVIER MUÑOZ LOPEZ**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Civil

**Director**

ING. CLAUDIA CATALINA PRIETO RODRIGUEZ  
Candidato a MSc. Ingeniería geotecnia, UNAL

**Codirector**

ING. JANET OJEDA HIDALGO  
MSc Ingeniería geotecnia

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2011

*“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”.*

Artículo 1º Acuerdo No 324 de octubre 11 de 1966, emanado del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

San Juan de Pasto, Marzo de 2011

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos a:

Ingeniero Germán Rueda e ingeniera Claudia Catalina Prieto por su aprobación y participación en el desarrollo de este trabajo de grado.

Ingeniera Janet Ojeda Hidalgo, por la formación académica brindada, por sus recomendaciones y correcciones durante el trabajo de la pasantía, que contribuyeron no sólo al desarrollo del trabajo sino al crecimiento personal.

Ingeniero Luis Guillermo Londoño, Ingeniero Fernando Rodríguez Guzmán, Ingeniero Julio Cesar Cobos, Alexander Rodríguez Lara, Jorge Ávila, Eider Valencia, Luz Marina Calvache personal perteneciente al Consorcio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza por su participación y contribución recíproca y generosa para el desarrollo de la pasantía.

A todas las personas que de manera directa e indirecta participaron en el progreso y cumplimiento de la presente pasantía. Agradezco a Dios, a mi familia y amigos que estuvieron presentes y me ofrecieron su apoyo incondicional en el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a la Universidad de Nariño por la formación profesional y al Consorcio por brindar la oportunidad de realizar mi trabajo en el proyecto del Túnel de Daza, experiencia que me ha permitido crecer a nivel profesional y personal.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	21
1.1 ANTECEDENTES	22
1.1.1 Proyecto Vial Rumichaca–Pasto –Chachagüí - Aeropuerto	22
1.1.2 DEVINAR S.A	23
1.1.3 Descripción del Proyecto “Concesión Vial Rumichaca–Pasto – Chachagüí –Aeropuerto”	23
1.1.4 Descripción del proyecto de construcción Túnel de Daza	28
2. OBJETIVOS	31
2.1 OBJETIVO GENERAL	31
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
3. MARCO DE REFERENCIA	32
3.1 CLASIFICACIONES GEOMECAICAS	32
3.1.1 Índice de calidad de la roca RQD	32
3.1.2 Clasificación según Barton	33
3.1.3 Clasificación según Bieniawski	34
3.2 PRIMEROS TÚNELES	36
3.3 METODOS DE CONSTRUCCIÓN EN TUNELES	36
3.3.1 Generalidades	38
3.3.2 El Nuevo Método Austriaco	40
3.3.3 Precorte Mecánico	48
3.3.4 Sistema A.D.E.C.O	49
3.3.5 T.B.M	49
3.3.6 Perforación y voladura	50
3.3.7 Método tradicional	51
3.3.8 Escudos de presión de tierras.	52
3.4 EQUIPOS DE PERFORACION	53
3.4.1 Jumbos	53
3.4.2 Perforadoras manuales	57
3.4.3 Tuneladoras a sección completa o TMB´s	58
3.4.4 Tunelera con brazo y cabezal cortador	60
3.4.5 Martillo hidráulico	62
3.5 TUNELES EN COLOMBIA	62
3.5.1 Túneles construidos y en operación	63
3.5.2 Túneles en construcción	64
3.5.3 Túneles en diseño y futura construcción	64
4. METODOLOGIA	66
4.1 GESTIÓN HUMANA, SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	66

4.2	CONSTRUCCION DEL TÚNEL DE DAZA	66
4.2.1	Procesos técnicos	66
4.2.2	Procesos constructivos	67
4.3	DIAGRAMAS DE PERFORACION Y REPORTES DE VOLADURAS	67
4.4	MANEJO DE LA INFORMACIÓN	68
4.4.1	Control de consumo de aceros	68
4.4.2	Fabricación de arcos	67
4.4.3	Copias de seguridad	68
4.5	INFORMACIÓN TEORICA Y TECNICA	68
4.6	RECEPCION A CONFORMIDAD POR LA EMPRESA	69
5.	RESULTADOS	70
5.1	GESTIÓN HUMANA	70
5.2	SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	81
5.3	CONSTRUCCION DEL TÚNEL DE DAZA	85
5.3.1	Procesos técnicos	85
5.3.1.1	Rasante	85
5.3.1.2	Topografía	85
5.3.1.3	Diseño de portales y de excavación a cielo abierto	86
5.3.1.4	Instalaciones	86
5.3.1.5	Zona de depósito	86
5.3.1.6	Definición del perfil de excavación	86
5.3.1.7	Sección transversal del proyecto	87
5.3.1.8	Clasificación de terreno	88
5.3.1.9	Excavación	90
5.3.1.10	Secuencia de excavación e instalación de soporte	91
5.3.1.11	Secciones del túnel	97
5.3.1.12	Arcos	102
5.3.1.13	Planos campamento daza	112
5.3.2	Procesos constructivos	113
5.3.2.1	Construcción de accesos e instalaciones	113
5.3.2.2	Construcción del Portal Norte	116
5.3.2.3	Excavación subterránea	120
5.4	DIAGRAMAS DE PERFORACION Y REGISTROS DE VOLADURA	129
5.4.1	Administración de un proyecto de túnel	129
5.4.2	Proyectos del túnel	130
5.4.3	Diseño línea túnel	131
5.4.4	Diseño línea laser	132
5.4.5	Diseño plano de perforación	133
5.4.6	Reportes de perforación	136
5.5	MANEJO DE LA INFORMACIÓN	140
5.5.1	Control de consumos de aceros	140

5.5.2	Fabricación de arcos	143
5.5.3	Copias de seguridad	144
5.6	CONSIDERACIONES FINALES	144
6.	MERITOS ADICIONALES	146
6.1	COORDINACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DEL ACUEDUCTO DE JUANUY	146
6.2	COORDINACIÓN EN LA FABRICACIÓN, UBICACIÓN Y REVISIÓN DE ARCOS	148
6.3	CONSTRUCCIÓN DEL PORTAL SUR	148
6.4	EXCAVACION SUBTERRÁNEA PORTAL SUR	151
7.	ESTADO ACTUAL DE LA CONSTRUCCION DEL TÚNEL DE DAZA	153
	CONCLUSIONES	154
	RECOMENDACIONES	155
	BIBLIOGRAFIA	156
	ANEXOS	



<b>LISTA DE FIGURAS</b>		<b>Pág.</b>
Figura 1.	Ubicación general del proyecto	24
Figura 2.	Esquema de localización general de los trayectos	26
Figura 3.	Fórmula para hallar el Índice de calidad de la roca RQD	32
Figura 4.	Superficie inestable en emboquillado	43
Figura 5.	Prolongación con falso túnel.	44
Figura 6.	Clasificación mecánica según índice de RMR	45
Figura 7.	Espesores de gunita según calidad geomecánica	45
Figura 8.	Secciones N.A.T.M	46
Figura 9.	Apoyo de los sostenimientos	47
Figura 10.	Pernos inyectados	50
Figura 11.	Relación entre el grado de meteorización y la resistencia a compresión simple.	50
Figura 12.	Esquema de ejecución por el método tradicional	51
Figura 13.	Escudos de presión de tierras (EPBM)	52
Figura 14.	TBM. Tunnel boring machines	60
Figura 15.	Maquina rozadora	61
Figura 16.	Martillo hidráulico	62
Figura 17.	Túneles de Colombia	64
Figura 18.	Organigrama de trabajo del CONSORCIO CONSTRUCTORES VIALES DE NARIÑO-TÚNEL DE DAZA	71
Figura 19.	Fotografía de personal de la empresa empleando sus dotaciones	84
Figura 20.	Definición de tolerancias para la deformación	87
Figura 21.	Digitalización en Autocad del arco número 1	98
Figura 22.	Ciclo de excavación	98
Figura 23.	Sección con concreto lanzado	100
Figura 24.	Sección con arco	101
Figura 25.	Secciones de chequeo	102
Figura 26.	Vista perfil de arcos de enfilajes en celosía Tipo MAT-16	104
Figura 27.	Distribucion arcos y tubos de enfilaje	104
Figura 28.	Secuencia de arcos en celosía Tipo MAT- 16 No 0-10	105
Figura 29.	Despiece y coordenadas arco tipo Mat-16. Sección terreno tipo V	106
Figura 30.	Diseño de arcos	107
Figura 31.	Esquema de despiece de arco	109
Figura 32.	Plantillas para la fabricación de arcos	110
Figura 33.	Proceso de flejado para el cordón superior e inferior del arco y para las diagonales	111
Figura 34.	Elementos terminados e identificacion de arco	112
Figura 35.	Instalaciones	114
Figura 36.	Subestacion electrica y acueducto del proyecto	115

Figura 37.	Instalaciones para el manejo de aguas residuales.	116
Figura 38.	Excavaciones del portal norte	116
Figura 39.	Canalización de quebrada adyacente a los taludes del Portal Norte	117
Figura 40.	Talud del Portal Norte	117
Figura 41.	Localización general de la zona de depósito	118
Figura 42.	Proceso de estabilización del terreno	119
Figura 43.	Perforación e instalación con Sonda Diamec	120
Figura 44.	Instalación de enfilajes con Rocker Boomer E2C	121
Figura 45.	Enfilajes instalados	121
Figura 46.	Esquema del ciclo de excavación del túnel	122
Figura 47.	Excavadora hidráulica empleada en excavación mecánica	122
Figura 48.	Martillo hidráulico empleado en la excavación mecánica	123
Figura 49.	Jumbo empleado para la excavación por perforación y voladura	123
Figura 50.	Proceso de perforación realizada por el Jumbo	124
Figura 51.	Fotografía tomada al momento de la voladura con explosivos	125
Figura 52.	Remoción de roca fragmentada resultante de la voladura	125
Figura 53.	Instalación de arcos y separadores	126
Figura 54.	Proceso de preparación para el concreto lanzado.	127
Figura 55.	Esquema del proceso realizado por la bomba para el lanzamiento de concreto	128
Figura 56.	Línea túnel	131
Figura 57.	Formato laser	132
Figura 58.	Propiedades del Drill Plan	133
Figura 59.	Menu <i>add contour from table</i>	134
Figura 60.	Distribución de barrenos en diagrama de perforación	135
Figura 61.	Reporte perforación software túnel mannager	137
Figura 62.	Informe serie barrenos	138
Figura 63.	Tren de varillaje	140
Figura 64.	Fotografía de un Shank	140
Figura 65.	Fotografía de acoples	141
Figura 66.	Broca con botones balísticos de 45 mm	141
Figura 67.	Formato para el control de aceros de perforación	142
Figura 68.	Formato del control de calidad de elementos arco	143
Figura 69.	Formato del control de calidad arcos armados	144
Figura 70.	Fotografía construcción bocatoma, tanque de almacenamiento y conducción de acueducto Juanoy	148
Figura 71.	Fotografías de trabajos realizados en el Portal Sur	149
Figura 72.	Registro fotográfico del avance en del Portal Sur	151
Figura 73.	Fotografía de Excavación subterránea Portal Sur	152

## LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Especificaciones del proyecto	24
Tabla 2.	Descripción del proyecto vial Rumichaca–Pasto – Chachagüí	25
Tabla 3.	Valorización de los parámetros Q	34
Tabla 4.	Valorización de los parámetros (según Deere y Miller)	35
Tabla 5.	Valorización de RMR	36
Tabla 6.	Panorama de riesgo - Frente civil	82
Tabla 7.	Panorama de riesgo – Frente eléctrico	82
Tabla 8.	Elementos de protección personal	83
Tabla 9.	Información topográfica de la sección	97

## **ANEXOS**

- Anexo 1. Distribución campamentos Portal Sur Túnel de Daza.
- Anexo 2. Secciones de excavación y lanzado.
- Anexo 3. Listado de planos del Proyecto Túnel de Daza.
- Anexo 4. Plano conducción de agua.
- Anexo 5. Recibido a satisfacción por la concesión del trabajo realizado.

## GLOSARIO

- ✓ **ALINEAMIENTO:** se refiere a cada una de las porciones rectas o curvas, que sucesiva y alternativamente, componen el trazado de una vía.
- ✓ **ANDÉN:** área lateral adyacente a una vía, destinada a la permanencia y al tránsito exclusivo de peatones.
- ✓ **BARRENO:** Agujero practicado en una roca, que se rellena de pólvora u otro explosivo, para hacerla volar.
- ✓ **BROCA:** Aparato o herramienta para el corte de suelos y rocas utilizado en perforaciones o sondeos del subsuelo, que se ensambla en la parte final de la sarta de perforación.
- ✓ **BULÓN:** Anclaje metálico para refuerzo de la roca.
- ✓ **CALZADA:** es la parte de la corona, destinada al tránsito de vehículos y constituida por uno o más carriles.
- ✓ **COMPRESOR:** Máquina para producir aire comprimido, con una presión mayor a la atmosférica, mediante la elevación de la presión del aire al valor de trabajo deseado. El aire comprimido pasa de la estación compresora y llega a las instalaciones a través de tuberías. Se distinguen dos tipos básicos de compresores. El primero trabaja según el principio de desplazamiento. La compresión se obtiene por la admisión del aire en un recinto hermético, donde se reduce luego el volumen. Se utiliza en el compresor de émbolo (oscilante o rotativo). El otro trabaja según el principio de la dinámica de los fluidos.  
  
El aire es aspirado por un lado y comprimido como consecuencia de la aceleración de la masa (turbina).
- ✓ **CARRIL:** es la parte de la calzada, de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.
- ✓ **CORTE:** excavación del terreno existente con el fin de formar las secciones previstas en el proyecto y llegar a las cotas de trabajo.
- ✓ **DESAMBOMBAR:** Actividad que consiste en detectar y forzar la caída, controlada, de fragmentos de roca relativamente grandes o "planchones" (o "petacas", fragmentos de roca) que se encuentren fracturados y ligeramente

desprendidos del techo o los costados de una galería o labor minera subterránea y que puedan caer de improviso. Esta actividad es obligatoria y periódica en las zonas agrietadas.

- ✓ **DESCAPOTE:** retiro de la capa vegetal y demás materiales hasta llegar a la capa deseada.
- ✓ **DIACLASA:** es una fractura en las rocas que no va acompañada de deslizamiento de los bloques que determina, no siendo el desplazamiento más que una mínima separación transversal. Se distinguen así de las fallas, fracturas en las que sí hay deslizamiento de los bloques...
- ✓ **EXPLOSIVO:** Sustancia o mezcla de sustancias que por liberación súbita de su energía produce una sobrepresión en sus alrededores seguida de llama y ruido.
- ✓ **GEOLOGO:** Especialista que tiene conocimientos sobre la composición, la estructura y la evolución de la Tierra; conoce la distribución de las rocas en el espacio y en el tiempo. Esta distribución de las rocas y los minerales permite al geólogo encontrar yacimientos de minerales, petróleo y gas. Además, esta disposición permite conocer la geología para poder asentar edificios, puentes y carreteras sin riesgo para las vidas humanas.
- ✓ **LECHADA DE CEMENTO:** Mezcla de cemento con agua y en ocasiones con aditivos que sirve para cementar las rocas circundantes con el perno.
- ✓ **JUMBO:** Equipo utilizado para la perforación de los orificios para instalar los pernos y en la instalación de pernos con resina.
- ✓ **PERFILAR:** afinar o rematar una cosa para que tome forma.
- ✓ **RASANTE:** alineación vertical que define, en alzado, el trazado de una línea del camino de rodadura considerada en su inclinación respecto al plano horizontal.
- ✓ **REVESTIMIENTO:** capa o cubierta de que se cubre una superficie.
- ✓ **PERNO:** Barra de acero corrugado provista de la rosca correspondiente al otro extremo para recibir una placa de anclaje con arandela y una tuerca de fijación.
- ✓ **PERFORADORA:** Equipo manual o mecánico operado por una fuente de poder o hidráulico, utilizado para perforar agujeros o barrenos destinados a la detonación o a la instalación de pernos de anclaje para la roca.

- ✓ **POLVORÍN:** Estructura portátil o construcción fija usada para almacenar explosivos y accesorios de voladura.
- ✓ **SONDEO:** Operación que se efectúa con el fin de perforar el suelo, mediante la apertura de orificios de diámetro pequeño para la exploración de minerales y petróleo. También sirve para abrir una vía de ventilación en túneles. El sondeo se realiza con barrenos.
- ✓ **SUBESTACION ELECTRICA:** Conjunto de aparatos eléctricos, localizados en un mismo lugar, y edificaciones necesarias para la conversión o transformación de energía eléctrica o para el enlace entre dos o más circuitos.
- ✓ **SUBRASANTE:** la subrasante es la superficie sobre la cual se apoya el pavimento.
- ✓ **REZAGA:** Proceso de excavación del material producto de la voladura.
- ✓ **TALUD:** Resalte o inclinación de la topografía, natural o artificial, cuya pendiente es generalmente más suave que la de los acantilados (desde plano inclinado hasta subvertical).
- ✓ **TOPOGRAFÍA:** Conjunto de métodos y técnicas que se utilizan para la representación plana de zonas no muy extensas de la superficie terrestre y que expresan la configuración del terreno y sus accidentes naturales y artificiales.

## **RESUMEN**

### **“APOYO TÉCNICO EN LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL DE DAZA”**

EL PRESENTE TRABAJO CONTIENE LAS DIFERENTES ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE LA PASANTÍA, QUE SE DESARROLLÓ EN LA OFICINA TÉCNICA DEL CONSORCIO CONSTRUCTORES VIALES DE NARIÑO TÚNEL DE DAZA.

LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL DE DAZA FORMA PARTE DE LA VARIANTE ORIENTAL PARA PASTO, PERTENECIENTE A LA CONCESIÓN VIAL RUMICHACA – PASTO – CHACHAGÜÍ – AEROPUERTO A CARGO DEL CONCESIONARIO DEVINAR S.A. PROYECTO ENFOCADO EN FORTALECER EL DESARROLLO ESTRATÉGICO Y LOS PROYECTOS DE IMPACTO DE LA CIUDAD Y EL DEPARTAMENTO.

EL APOYO TÉCNICO BRINDADO DENTRO DE LA OFICINA TÉCNICA DEL TÚNEL SE LLEVO A CABO A TRAVÉS DEL MANEJO DE DOCUMENTACIÓN TÉCNICA, REALIZACIÓN DE COPIAS DE SEGURIDAD, DESPIECE DE ARCOS DE SOPORTE, DIGITALIZACIÓN DE TOPOGRAFÍA, DIGITALIZACIÓN DE SECCIONES EXCAVACIÓN Y LANZADO, CÁLCULO DE VOLUMEN DE EXCAVACIÓN, DISEÑO DE DIAGRAMAS DE PERFORACIÓN, REGISTROS DE PERFORACIÓN Y EL CONTROL DE ACEROS DE PERFORACIÓN.

ADEMÁS DE LAS ACTIVIDADES MENCIONADAS SE DESARROLLARON OTRAS TAREAS ADICIONALES EN LAS CUALES SE PRESTÓ LA COLABORACIÓN PERTINENTE PARA ADQUIRIR ASÍ LA EXPERIENCIA NECESARIA EN EL EJERCICIO DE LA PROFESIÓN QUE EN EL PRESENTE, PERMITEN APLICAR Y PONER EN PRÁCTICA LOS CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS DURANTE LA CARRERA, EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL EN EL FRENTE PORTAL SUR COMO RESIDENTE DE ESTE FRENTE DE TRABAJO.



**TECHNICAL SUPPORT IN THE IMPLEMENTATION OF THE BUILDING  
PROJECT OF THE TUNNEL OF DAZA**

**ABSTRACT**

THIS WORK PRESENTS THE DIFFERENT ACTIVITIES DURING THE INTERNSHIP TO BE DEVELOPED IN THE TECHNICAL OFFICE OF THE CONSORCIO CONSTRUCTORES VIALES DE NARIÑO TÚNEL DE DAZA.

TUNNEL CONSTRUCTION DAZA, IS PART OF THE EASTERN ALTERNATIVE TO PASTO, GRANT ROAD OWNED RUMICHACA – PASTO – CHACHAGÜÍ – AEROPUERTO THE BY DEVINAR S.A. PROJECT FOCUSED ON STRENGTHENING THE DEVELOPMENT AND DRAFT STRATEGIC IMPACT OF THE CITY AND THE DEPARTMENT.

TECHNICAL SUPPORT PROVIDED IN THE TUNNEL TECHNICAL OFFICE HELD THROUGH TECHNICAL DOCUMENTATION MANAGEMENT, BACKUP PERFORMANCE, SUPPORT PARTS OF ARCS, SCANNING TOPOGRAPHY, EXCAVATION SECTIONS SCANNING AND RELEASED, VOLUME CALCULATION EXCAVATION, DRILLING DESIGN PATTERNS, RECORDS OF DRILLING AND DRILLING CONTROL OF STEEL.

IN ADDITION TO THE FOREGOING ACTIVITIES DEVELOPED IN OTHER ADDITIONAL WORK WHICH IS LOANED TO ACQUIRE PARTNERSHIP AND RELEVANT EXPERIENCE NECESSARY IN THE EXERCISE OF THE PROFESSION THAT IN THE PRESENT ALLOW IMPLEMENT AND PRACTICE THE KNOWLEDGE ACQUIRED DURING THE ACADEMIC CAREER , IN THE TUNNEL CONSTRUCTION IN THE PORTAL FROM SOUTH OF THIS FRONT AS RESIDENT OF WORK.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Gobierno Nacional desde hace varios años realiza el proceso de entregar en concesión el desarrollo de diversas obras de la red vial nacional, en el propósito de agilizar la modernización y por ende prestar un mejor servicio para los usuarios mediante el mejoramiento de la conexión y articulación de la red vial con los centros de producción, consumo, transformación y los puertos marítimos que facilitan el comercio internacional. Esta perspectiva del desarrollo es representativa para la región nariñense, que por su condición fronteriza, su cercanía con el puerto de Tumaco, por las opciones de desarrollo regional, entre otras consideraciones, determinó el impulso del proyecto Rumichaca – Pasto – Chachagüí – Aeropuerto Cano, objeto esencial del Contrato de Concesión 003 de 2006 (PLAN DE ESTABLECIMIENTO Y MANTENIMIENTO FORESTAL PROYECTO TÚNEL DE DAZA, 2009).

El proyecto de construcción del TÚNEL DE DAZA y sus accesos hacen parte integral de la Variante Oriental de Pasto, perteneciente a la Concesión Vial Rumichaca – Pasto – Chachagüí – Aeropuerto a cargo del concesionario DEVINAR S.A. Debido a que, la opción de 4.620 m. de túnel con sus accesos reemplazaría parcialmente el desarrollo del corredor entre Cujacal y Alto de Daza, lo que significa que los 7.944 m. de la VARIANTE ORIENTAL DE PASTO se descartarían para cualquier intervención; tan importante como esta disminución longitudinal y tiempos de viaje, es reiterar que con el desarrollo del túnel no presentaría el mismo grado de intervención y afectación sobre los recursos que convergen en la zona sensible y protegida del Alto de Daza, situación que debe resaltarse como parte de la decisión que se adoptó para la elección del tramo en túnel (PLAN DE ESTABLECIMIENTO Y MANTENIMIENTO FORESTAL PROYECTO TÚNEL DE DAZA, 2009).

El proyecto de construcción del “TÚNEL DE DAZA”, reúne varios de los aspectos principales que un ingeniero civil egresado de la Universidad de Nariño debe conocer, tales como los nuevos métodos constructivos que se están implantando en el país, la administración eficiente de recursos humanos, técnicos y económicos, la gestión de la calidad en los procesos de un proyecto de construcción, a partir de sistemas de gestión integral con los principios generales de la calidad, con las directrices de la seguridad industrial.

La participación de un egresado de la Universidad de Nariño en éste proyecto, brinda a la Universidad y en especial a la Facultad de Ingeniería, la posibilidad de proyectarse en el campo laboral demostrando la capacidad de sus estudiantes y poniendo a prueba sus habilidades en el avance de una obra de gran magnitud.

Ésta pasantía se desarrollará realizando actividades de auxiliar de ingeniería en la Oficina Técnica, actividades que se vienen realizando desde el día 24 de septiembre de 2009 día en el cual se realizó la firma del contrato de trabajo que vincula al estudiante a la empresa; vinculación laboral que se obtuvo tras presentar a una serie de pruebas de selección de personal como la revisión de la hoja de vida, una entrevista personal y periodo de prueba.

Contrato laboral que permite ingresar como proyecto de grado a la facultad de ingeniería, las actividades realizadas como pasante desde el día 6 de marzo por medio del acuerdo No. 052 del 6 de mayo de 2010 del comité curricular y de investigación del departamento de Ingeniería Civil.

## **ALCANCE Y DELIMITACIÓN DEL PROYECTO**

El presente trabajo se desarrolló en la modalidad de pasantía institucional, donde el estudiante Iván Javier Muñoz López desempeñó el cargo de auxiliar de ingeniería para la Oficina Técnica en la construcción del proyecto "TÚNEL DE DAZA" del Consorcio Constructores Viales de Nariño - Túnel de Daza, durante el periodo de 6 meses siendo vinculado laboralmente por medio de un contrato de trabajo.

La pasantía se realizó en las oficinas del Consorcio Constructores Nariño Túnel de Daza adecuadas inicialmente en la carrera 40 # 19-20 barrio Palermo y en las oficinas ubicadas en los campamentos en sector de Daza.

Las actividades realizadas como auxiliar de ingeniería durante el período de esta pasantía incluyeron:

- Modelado y digitalización de la información topográfica correspondiente al portal Sur ubicado en el sector de Aranda.
- Procesamiento y digitalización de la información topográfica concerniente al área de excavación y de concreto lanzado realizado por el frente de trabajo.
- Reportes por medio de formatos a la oficina técnica y a la dirección del frente los avances realizados con sus respectivas características.
- Elaboración de los planos de despieces de los elementos pertenecientes a los arcos que se utilizan en la obra.
- Manejo de software túnel manager utilizado para el diseño de los planos de perforación y su seguimiento con la elaboración de reportes de la Perforación.

- Apoyo al Director de la Oficina Técnica en el desarrollo de las funciones y tareas encomendadas al Departamento Técnico.
- Apoyo con el recibo, revisión y análisis de planos y documentos concernientes a la obra, enviados al frente de trabajo.
- Actualización de las copias de planos en circulación asegurándose que ningún plano o esquema obsoleto estuviera en el frente de trabajo, en los talleres de fabricación o en alguna obra adicional.
- Llevar el registro fotográfico del frente y realizar su correspondiente archivo.
- Realizar una copia de seguridad periódicamente de la información de los diferentes departamentos de la oficina del Consorcio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza en lo referente a la construcción del túnel.
- Efectuar el proceso de revisión de las modificaciones que se efectuaron en los planos desde diseños iniciales hasta las últimas modificaciones.
- Elaboración de informes periódicos de las actividades realizadas a lo largo del proyecto para la presentación ante el consorcio constructores viales de Nariño Túnel de Daza.

## **MODALIDAD**

El presente trabajo se desarrolló en la modalidad pasantía institucional y está enmarcado en el proyecto: **“CONCESIÓN VIAL RUMICHACA – PASTO – CHACHAGÜI – AEROPUERTO”** del Consorcio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza.

### **1.1 ANTECEDENTES**

**1.1.1 Proyecto Vial Rumichaca–Pasto –Chachagüí (Aeropuerto).** Está enmarcado dentro de las políticas nacionales de mejoramiento de la red vial de integración nacional e internacional, aprobadas en el documento CONPES 3303 de 2004, para el desarrollo integral del departamento de Nariño. Así mismo en el marco del Plan Nacional de Desarrollo “Hacia un Estado Comunitario”, el Gobierno Nacional programó invertir en este departamento, en el período 2004–2006, recursos con miras a fortalecer el desarrollo estratégico y los proyectos de impacto

sobre la región dentro de los cuales está incluido el corredor vial mencionado (CONPES 2009).

En el documento CONPES 3045 de 1999 se identifica el corredor Rumichaca – Pasto – Chachagüí como proyecto prioritario dentro del programa “concesiones viales 1998 – 2000”. En este mismo documento se establece un plan de acción para desarrollar proyectos viales a través de concesiones, donde se tiene como principal propósito impulsar la competitividad tanto interna como externa del país mediante la dotación con infraestructuras viales estratégicamente ubicadas, capaces con las demandas generadas por el desarrollo de las actividades económicas y sociales, y que a su vez le permitan al país situarse en una posición competitiva a nivel internacional (CONPES 2009).

**1.1.2 DEVINAR S.A.** El concesionario de este proyecto es la EMPRESA DESARROLLO VIAL DE NARIÑO S.A. – DEVINAR S.A. Esta empresa se constituyó mediante escritura pública No. 04289 del 1° de diciembre de 2006 bajo la forma de una sociedad anónima. La sociedad se inscribió en la Cámara de Comercio de Bogotá con el No. de matrícula 01659808 el 22 de diciembre de 2006. Los socios de la empresa DEVINAR S.A. son:

- CONCAY S.A.
- INCOEQUIPOS S.A.
- INGENIEROS CONSTRUCTORES GAYCO S.A.
- A&D ALVARADO & DURING S.A.
- NACIONAL DE PAVIMENTOS LTDA.
- COMPAÑÍA DE ESTUDIOS E INTERVENTORIAS S.A. -CEI S.A.
- ESTUDIOS TÉCNICOS S.A.
- TRANSPORTE E INGENIERIA LTDA. – TIN LTDA.
- JMV INGENIEROS CONTRATISTAS LTDA.
- INVERSIONES RODRÍGUEZ Y RINCON LTDA.

**1.1.3 Descripción del Proyecto “Concesión Vial Rumichaca – Pasto – Chachagüí – Aeropuerto”.** El proyecto vial Rumichaca – Pasto – Chachagüí (Aeropuerto) hace parte de la Red troncal Nacional pavimentada y geográficamente se ubica en el departamento de Nariño (figura 1). El corredor vial inicia en el Puente Internacional de Rumichaca, en la frontera con Ecuador, sigue su recorrido a lo largo de la Ruta No. 25, la cual forma parte de la red vial Panamericana, pasa por el municipio de Ipiales, y las poblaciones de San Juan, Pilcuan, Pedregal, Tangua y Catambuco, continuando por un vía alterna por el costado oriental al municipio de Pasto hasta empalmar con la población de Chachagüí y terminar en el acceso al aeropuerto Antonio Nariño.

Figura 1. Ubicación general del proyecto.



(Imágenes tomadas de Google earth)

Este corredor representa en la actualidad un eje vial importante por sus flujos vehiculares, que permiten un intercambio comercial con Ecuador, tanto en las ciudades cercanas a la frontera (Ipiales, Tulcán) como en los principales centros de consumo de los dos países. Además del transporte de productos agrícolas de la región a centros de consumo en el occidente y centro del país, así como la comunicación entre el puerto de Tumaco y el departamento del Putumayo, además de importantes sitios de interés turístico. Se estimó que por este corredor durante el año 2004 se movilizaron alrededor 430.000 toneladas de productos agrícolas, manufacturados, mineros y pecuarios entre los dos países (CONPES, 2009), resaltando la importancia de esta ruta.

El Gobierno Nacional estructuró este proyecto de concesión con el apoyo de la firma CONSULTORÍA COLOMBIANA S.A. las especificaciones se mencionan en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones del proyecto

Longitud (rehabilitaciones y construcciones)	169.25 Km
Número de Peajes	2 (El Placer , El Cano trasladado a Daza)
TPD Promedio por estación	3,900 – 3,300
% Vehículos Pesados	20 % – 23 %

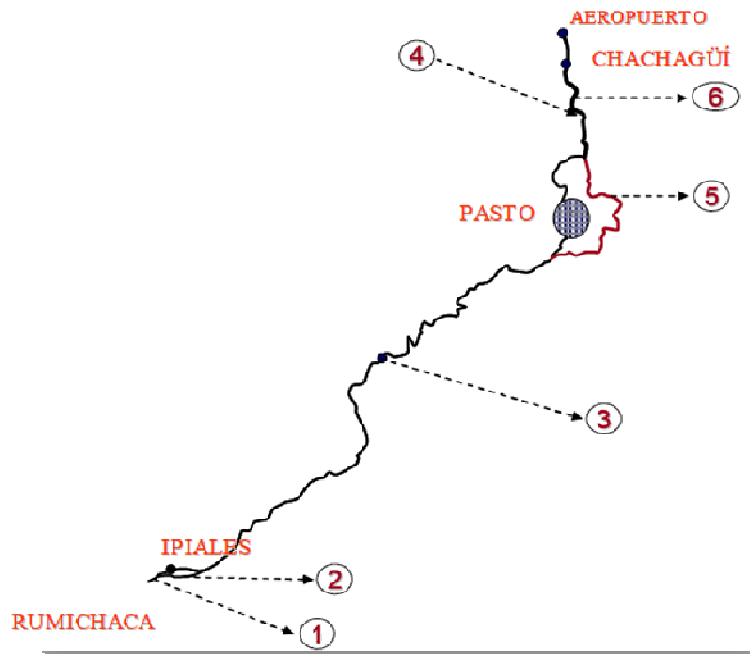
Ingreso esperado Pesos 2004	\$ 299,000 Millones
Aporte estatal Pesos 2004	\$ 34,900 Millones
Número de Años de Concesión Aprox.	14 años
Plazo estimado de Pre construcción	6 meses
Plazo estimado de Construcción	42 meses
Plazo estimado operación y mantenimiento	120 meses

El proyecto vial Rumichaca – Pasto – Chachagüí (Aeropuerto) está conformado inicialmente por seis trayectos (figura 2) y dos estaciones de peaje con una longitud total de 169,2 km, en la tabla 2 se realiza una descripción más detallada del proyecto.

Tabla 2. Descripción del proyecto vial Rumichaca – Pasto – Chachagüí (Aeropuerto)

	<b>Descripción</b>
Clase	Tercera Generación
Concesionario	Desarrollo Vial de Nariño S.A.-
Número contrato	003 de 2006
Inicio pre construcción	16/05/2007
Longitud	O – D: 115.50 km. actual (CS)
Etapas – Construcción	169.25 Km. Al finalizar la construcción
Tráfico	1.799.707 (Mayo de 2007 a dic. 2007)
Ingreso esperado	299.000 millones (\$ Dic. / 2004)
Estaciones de peaje	2, El Placer y Cano
Inversión estimada estructuración	\$ 277.924 Millones de pesos de 2004
Interventoría	Consortio PyM, Acta de inicio Enero 13 de 2009.

Figura 2. Esquema de localización general de los trayectos.



A continuación, se describen los trayectos según el documento del INSTITUTO NACIONAL DE CONCESIONES REPÚBLICA DE COLOMBIA – INCO y el PLAN DE ESTABLECIMIENTO Y MANTENIMIENTO FORESTAL PROYECTO TÚNEL DE DAZA:

### **Trayecto 1**

Es el sector comprendido entre el Puente Internacional de Rumichaca donde se localiza el PR 0+015 de la vía Panamericana, hasta el PR 5+200 a la salida de IpiALES por el costado Sur, incluyendo el Paso Nacional por IpiALES. El alcance general de la obras a ejecutar por el concesionario, comprende la rehabilitación de la vía existente y su mantenimiento durante el plazo de la concesión.

### **Trayecto 2**

Variante de IpiALES. Es el sector comprendido por la Variante de IpiALES que parte del PR 0+560 de la vía Rumichaca-IpiALES-Pasto y termina a la altura del PR 7+000 de la misma vía. Esta vía perimetral tiene 6.9 Km., de longitud de los cuales en la actualidad se encuentran construidos 5 Km. y el resto (1.9 Km.) se encuentran en construcción por parte del INVIAS, los cuales serán entregados al concesionario al término de su construcción. El alcance general de la obras a ejecutar por el concesionario, comprende la rehabilitación de la vía existente y su mantenimiento durante el plazo de la concesión.



### **Trayecto 3**

Es el sector comprendido entre Ipiales y Pasto, el cual inicia en el PR 5+200 a la salida Sur de la ciudad de Ipiales hasta el PR 83+000 en la entrada sur de Pasto, para un total de 77.8 Km. aproximadamente. El alcance general de las obras a ejecutar por el concesionario, comprende la rehabilitación de la vía existente, y su mantenimiento durante el plazo de la concesión.

### **Trayecto 4**

Corresponde al tramo de la vía existente entre Pasto – Chachagüí – Aeropuerto comprendido entre el PR5+000, en la salida actual de Pasto hacia Chachagüí, en el puente de Chapultepec, hasta el PR 32+500 a la entrada al Aeropuerto; con una longitud aproximada de 27.5 Km. El alcance general de las obras a ejecutar por el concesionario, comprende la rehabilitación de la vía existente, y su mantenimiento durante el plazo de la concesión.

### **Trayecto 5**

Corresponde a la construcción del tramo designado como Variante Oriental de Pasto, el cual inicia en el PR77+400 aproximadamente del trayecto Ipiales – Pasto (Ruta 2501), sitio denominado Catambuco, hasta el PR 13+000 del trayecto existente entre Pasto-Chachagüí (Ruta 2502), sitio denominado Alto de Daza. Esta variante tiene una longitud estimada de 25.94 Km., el cual incluye un tramo en doble calzada entre el K16+530 y el K25+940.

El alcance general de las obras a ejecutar por el concesionario, comprende los estudios, diseños, gestión predial, social y ambiental, construcción y mantenimiento de la variante por el costado Oriental de la ciudad de Pasto, de acuerdo con concepto técnico No 415 de octubre de 1997 y Auto 717 de 1997 del Ministerio de Medio Ambiente, con concepto técnico del corredor según estudio de diagnóstico de alternativas, a partir del PR 77+400 de la vía Ipiales-Pasto (sitio denominado Catambuco) hasta empalmar en el sector del alto de Daza de la vía actual de Pasto-Aeropuerto.

La Variante será de una sola calzada bidireccional entre el K0 y el K16+530 (Cujacal) y de allí en adelante en doble calzada hasta el punto donde se intersecta esta Variante (K25+940) con la vía actual en el alto de Daza ó Intersección salida a Buesaco, en una longitud de 9.4 km., aproximadamente. El Concesionario deberá realizar las obras y actividades de compensaciones ambientales que se establezcan en la licencia ambiental que debe obtener para este trayecto, incluida la adquisición de los lotes para las áreas de reforestación.

En el numeral 16 del proyecto vial Rumichaca – Pasto – Chachagüí (Aeropuerto) se establecen las principales actividades a ejecutar en el “Trayecto 5” y señala: “El concesionario deberá ejecutar el diseño definitivo, del túnel de Daza, de acuerdo con los términos de referencia y las condiciones establecidas en el Apéndice C,

independientemente de que se den las condiciones para realizar este alcance opcional de la obra de construcción del túnel establecido en el Apéndice E. De igual manera deberá efectuar los diseños definitivos electromecánicos y establecer un manual de operación y mantenimiento”.

### **Trayecto 6**

Es el sector correspondiente a la construcción del Par Vial, entre el Alto de Daza – Chachagüí – Aeropuerto, inicia en la Intersección de la Variante de Pasto en el Alto de Daza (PR13+000 de la vía existente), hasta el PR 32+500 aproximadamente a la entrada al Aeropuerto Antonio Nariño; discriminado de la siguiente manera: un Par vial entre el K0+000 al K5+800 y el K10+200 al K14+600 y una segunda calzada entre el K5+800 al K10+200 y el K14+600 al K16+940 (abscisas del par vial) y construcción de mínimo tres retornos, estimados en 1.5 Km., para una longitud total aproximada de 18.4 Km.

El alcance general de las obras a ejecutar por el concesionario, comprende los estudios, diseños, gestión predial, social y ambiental, construcción y mantenimiento del par vial durante el plazo de la concesión.

**1.1.4 Descripción del proyecto de construcción Túnel de Daza.** En el año 2005 el Instituto Nacional de Concesiones INCO presentó a consideración del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial el Estudio de Impacto Ambiental para la construcción del Proyecto de Concesión de la vía Rumichaca – Pasto – Chachagüí - Aeropuerto, específicamente para dos tramos de construcción que de acuerdo con la ley están sujetos al proceso de licencia ambiental; el primero de estos tramos corresponden a la denominada VARIANTE ORIENTAL DE PASTO (Trayecto 5), que corresponde con un diseño bidireccional de calzada sencilla (K0+000) en el corregimiento de Catambuco (distante 5 Km. al sur de Pasto: PR77+400 de la vía actual Pasto – Ipiales) hasta Cujacal (K17+129.28); desde este punto está proyectada una doble calzada hasta el Alto de Daza (K25+073.62, L= 7.944.3 Km), también denominada intersección salida a Buesaco. En total el corredor proyectado originalmente tenía una longitud de 25.940 Km

El segundo tramo, denominado PAR VIAL ALTO DE DAZA – CHACHAGUI – AEROPUERTO (Trayecto 6), de longitud 18.4 Km., está diseñado para la construcción de par vial entre K0+000 al K5+800 y del K10+200 al K14+600 (L tramo en par vial = 10.200 Km.) y la segunda calzada del K5+800 al K10+200 y del K14+600 al K16+940 (L tramo en segunda calzada = 6.740 Km.), a lo cual se suma la construcción de tres retornos.

Los dos tramos anteriores, junto con la rehabilitación de la actual vía Rumichaca – Ipiales – Pasto – Aeropuerto, fue entregada en concesión por el INCO a finales del año 2006; derivado de esta condición, el Concesionario DESARROLLO VIAL DE NARIÑO S.A. – DEVINAR – adquirió la responsabilidad de adelantar la revisión de

los diseños contemplados en el contrato de concesión, incluyendo, entre otras consideraciones técnicas, el diseño definitivo del TÚNEL DAZA como alcance opcional dentro del contrato.

El tramo por donde está propuesto desarrollar este túnel más los accesos de longitud total 4.620.0 m. (Longitud de Túnel: 1.708 m.; Longitud de accesos: 2.912.0 m.) se localiza en la parte baja de la ladera del Cerro de Daza. Este nuevo desarrollo proyectado, en comparación con el tramo vial en superficie comprendido entre Cujacal y Alto de Daza de la Variante Oriental (K17+129.28 - K25+073.62, L = 7.944 = 7.944 m.), no solo es más corto en su longitud (3.324 m.), sino que también disminuye ostensiblemente la intervención sobre las laderas y las zonas ambiental y socialmente sensibles, incluidas dentro de la categoría de áreas protegidas por el POT de Pasto y la Corporación Autónoma Regional de Nariño – CORPONARIÑO -.

En efecto, la opción de 4.620.0 m. de túnel y accesos reemplazaría parcialmente el desarrollo del corredor entre Cujacal y Alto de Daza, lo que significa que los 7.944.0 m. de la VARIANTE ORIENTAL DE PASTO se descartan para cualquier intervención; tan importante como esta disminución longitudinal y tiempos de viaje, es reiterar que con el desarrollo del túnel no se presenta el mismo grado de intervención y afectación sobre los recursos que convergen en la zona sensible y protegida del Alto de Daza, situación que debe resaltarse como parte de la decisión que se adoptó para la elección del tramo en túnel, decisión que fue respaldada por comunidad, autoridades, gremios y demás estamentos representativos de la comunidad nariñense.

De esta manera el proyecto vial concesionado se proyecta en el ámbito de la sostenibilidad ambiental y social; este concepto y su internalización al proceso de la obra constructiva del TÚNEL es la ratificación de la responsabilidad que asume el Concesionario DEVINAR de ejecutar la obra bajo el criterio de minimizar los impactos sobre el medio ambiente, la comunidad y sus actividades productivas.

Esta estrategia significa internalizar durante las fases de obra y operación medidas y acciones encaminadas hacia la prevención, mitigación, corrección y compensación por los impactos negativos asociados con esta obra de ingeniería; pero por igual, esta estrategia también significa la sostenibilidad de los beneficios asociados tanto con la fase de obra a través de empleo y la demanda de bienes y servicios, como también por su contribución al desarrollo de la región, mediante un corredor cómodo, seguro y permanentemente atendido, que garantice la continuidad de los flujos de personas y vehículos en el tiempo.

Sobre la base de las consideraciones, el Ministerio de Transporte en cabeza del INSTITUTO NACIONAL DE CONCESIONES, tomó la decisión de impulsar el trámite de licenciamiento ambiental para la opción TÚNEL DE DAZA, y para ello a través del Concesionario DEVINAR S.A.

El Túnel de Daza con sus accesos, como se mencionó, tiene una longitud de 4.620.0 m. y una cobertura máxima de alrededor de 250 m. La construcción de este Túnel busca salvar la barrera geográfica que separa las cuencas de la Quebrada Blanco y del Río Bermúdez, dando continuidad a la VARIANTE ORIENTAL entre el sector sur en inmediaciones de Aranda (K -17) y el sector Sur en cercanías al Alto de Daza en la actual vía Panamericana (K13 carretera actual).

En consecuencia este desarrollo del Túnel Daza entra a formar parte integral del proyecto Rumichaca – Pasto – Chachagüí – Aeropuerto Cano, objeto esencial del Contrato de Concesión; a través de esta concesión el Gobierno continua con la modernización de la infraestructura vial, simultáneamente impulsa el desarrollo local, el mejoramiento de los índices de producción, productividad, consumo, transformación, conexión y articulación de la red vial con los centros de producción y, por supuesto, con los puertos marítimos que facilitan el comercio internacional.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Brindar al Consorcio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza, un servicio de apoyo en el Departamento técnico del proyecto de construcción del Túnel de Daza que se encuentra dentro de la “Concesión Vial Rumichaca – Pasto – Chachagüi – Aeropuerto”.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Conocer y aplicar las políticas de la empresa en relación la gestión humana y de salud ocupacional utilizada para los empleados.
2. Aprender el manejo de la calidad y el manejo de seguridad industrial utilizada por las diferentes áreas para la buena ejecución del proyecto.
3. Identificar los procesos constructivos y técnicos requeridos para la construcción del Túnel de Daza.
4. Elaborar los diagramas de perforación y reportes de voladura empleando el software Túnel Manager.
5. Manejar la información de los diferentes departamentos de la oficina del Consorcio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza en lo referente a la construcción del túnel.
6. Recolectar información teórica, técnica y la experiencia que servirán para el desempeño profesional en el futuro inmediato.
7. Ejecutar el objeto de la presente pasantía de conformidad con los conocimientos adquiridos en la Universidad y con las funciones encomendadas por la oficina técnica del proyecto.

### 3. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1 CLASIFICACIONES GEOMECANICAS

Es Terzaghi (1946) quien propone la primera clasificación del terreno orientada a la construcción de túneles. La información provenía de túneles sostenidos principalmente por cerchas metálicas. A partir de los años 50 fue generalizándose la utilización de pernos y el concreto lanzado en la construcción de túneles para usos civiles. La clasificación de Lauffer de 1958 muestra el uso combinado de cerchas, de pernos y el concreto Lanzado en la construcción de túneles en roca. Esta clasificación está, por otra parte, muy vinculada al surgimiento del Nuevo Método Austriaco (NATM). Su utilización requiere, sin embargo, la experiencia directa en obra y es poco práctica en las fases de proyecto y anteproyecto. (Sánchez, 2009).

Las que se pueden denominar clasificaciones modernas (Sistema RMR (Bieniawski) y Q (Barton)) intentan un mayor grado de objetividad. Se trata en los dos casos de combinar atributos del macizo rocoso (de tipo geológico, geométrico y tensional) en un número único relacionado con la calidad global de la roca. A su vez, este número permite, a través de la experiencia recogida en su utilización en casos reales, la definición de un sostenimiento del túnel y la estimación de otros parámetros o datos de interés (resistencia del macizo rocoso, tiempo de estabilidad de una excavación no sostenida, etc.). (Sánchez, 2009)

**3.1.1 Índice de calidad de la roca RQD.** A partir de la definición del índice de calidad de roca RQD propuesto por Deere en 1964, se propone una simple clasificación de la calidad de la roca en 5 categorías.

La calidad de la roca se determina a partir de trozos de rocas testigo mayores a 10 cm recuperados en sondeo.

Figura 3 Fórmula para hallar el Índice de calidad de la roca RQD

$$RQD = 100 \frac{\text{Longitud de testigo en trozos } >10 \text{ cms}}{\text{Longitud perforada}}$$

RQD	<25%	25%–50%	50%–75%	75%–90%	90%–100%
CALIDAD	M. Pobre	Pobre	Medio	Buena	M. Buena

**3.1.2 Clasificación según Barton.** Basándose en una gran cantidad de casos tipo de estabilidad en excavaciones subterráneas, el Norgerian Geotechnical Institute (N.G.I.), propuso un índice para determinar la calidad del macizo rocoso en túneles y taludes. El valor numérico de éste índice Q se define por: (CACERES, 2010)

$$Q = ( RQD / JN ) ( JR / JA ) ( Jw / SRF )$$

Esta clasificación utiliza seis parámetros para definir la clase de macizo:

1. RQD, índice de calidad de la roca.
2. Jn, índice del número de familias de fracturas
3. Jr, índice de rugosidades en las fracturas
4. Ja, índice de alteración de las paredes de las fracturas
5. Jw, índice del caudal afluyente
6. SRF, índice del estado de tensión del macizo

Para explicar cómo llegaron a la ecuación para determinar el índice Q, los autores ofrecen los siguientes comentarios: (CACERES, 2010)

El primer cociente (RQD/Jn), que representa la estructura del macizo es una medida rudimentaria del tamaño de los bloques o de las partículas con dos valores extremos (100/0.5 y 10/20) con un factor de diferencia de 400. Si se interpreta el cociente en unidades de centímetros, los tamaños de “partículas” de 200 cm a 0.5 cm. se puede apreciar como aproximaciones gruesas pero bastante realistas. Probablemente los bloques más grandes tendrían varias veces este tamaño y los fragmentos chicos menos de la mitad. (CACERES, 2010)

El segundo cociente (Jr / Ja), representa la rugosidad y las características de la fricción de las paredes de las fisuras o de los materiales de relleno. Este cociente se inclina a favor de juntas rugosas e inalteradas que se encuentran en contacto directo se puede pensar que estas superficies están cerca de la resistencia óptima, que tenderán a dilatarse fuertemente cuando estén sometidas a esfuerzos cortantes y por lo tanto serán muy favorables a la estabilidad de un túnel. (CACERES, 2010)

Cuando las fisuras tienen recubrimientos y rellenos arcillosos delgados se reduce notablemente su resistencia, sin embargo, el contacto de las paredes después de un ligero desplazamiento por el esfuerzo cortante puede ser muy importante y salvar la excavación de un colapso. Donde no haya contacto de paredes, la situación para la estabilidad de un túnel se representa de manera muy desfavorable. (CACERES, 2010)

El tercer cociente (Jw / SRF), consiste en dos parámetros de fuerzas, SRF es un valor de: 1) la carga que se disipa en el caso de una excavación dentro de una zona de fallas. Y de roca empacada en arcillas; 2) los esfuerzos en una roca

competente, y 3) las cargas compresivas en rocas plásticas incompetentes. (CACERES, 2010)

Se puede considerar como un parámetro total de esfuerzos. En cuanto al parámetro  $J_w$  se trata de una medición de la presión del agua que tiene un efecto negativo en la resistencia al esfuerzo cortante de las fisuras debido a la reducción en el esfuerzo efectivo normal. El agua puede causar además, un ablandamiento de las arcillas e incluso posiblemente su lavado. (CACERES, 2010)

Tabla 3. Valorización de los parámetros Q (Según Barton, Lien y Lunden)

PARAMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR	OBSERVACIONES
<b>RQD</b>	A.- Muy mal	0 a 25	Cuando RQD se reporta o es medido como menor a 10, se lo otorga un valor nominal de 10.
	B.- Mala	25 a 50	
	C.- Regular	50 a 75	
	D.- Buena	75 a 90	
	E.- Excelente	90 a 100	

**3.1.3 Clasificación según Bieniawski.** Es una clasificación que ha sido utilizada en África del Sur y fue desarrollada principalmente a partir de excavaciones subterráneas mineras.

La evaluación de calidad de macizos rocosos Rock Mass Rating (RMR) es realizada mediante la atribución de valores a los 5 parámetros que intervienen:

1. Resistencia a la compresión a la roca alterada, Bieniawski emplea la clasificación de la resistencia a la compresión uniaxial de la roca que proponen, Deere y Millar, como alternativa se podrá utilizar la “Clasificación de carga de punta”, para cualquier tipo de roca, excepto la muy frágil.
2. RQD, índice de calidad de la roca según Deere y Miller.
3. Espaciamiento de las discontinuidades, es decir de las fallas, planos de estratificación y otros planos de debilidad.
4. Condiciones físicas y geométricas de las discontinuidades, este parámetro toma en cuenta la separación o abertura de las fisuras, su continuidad, la rugosidad de su superficie, el estado de las paredes (duras o blandas), y la presencia de relleno en las discontinuidades.
5. Presencia de agua subterránea, se intenta medir la influencia del flujo de las aguas subterráneas sobre la estabilidad de las excavaciones en función del caudal que penetra en la excavación, y de la relación entre la presión del agua en las discontinuidades y el esfuerzo principal.

Bieniawski reconoció que cada parámetro no contribuye necesariamente de igual manera al comportamiento del macizo. Por ejemplo un RQD de 90 y una resistencia a la compresión uniaxial de 2000 Kg/cm<sup>2</sup> parecerían indicar una roca



de calidad excelente, pero una infiltración grande en esa misma roca puede cambiar radicalmente esta opinión. Clasificación según Bieniawski

Tabla 4. Valorización de los parámetros (según Deere y Miller)

PARAMETRO		ESCALA DE VALORES						
Resistencia de la roca inalterada	Resistencia a compresión diametral (kg/cm <sup>2</sup> )	Mayor a 80	40 a 80	20 a 40	10 a 20			
	Resistencia a compresión uniaxial (kg/cm <sup>2</sup> )	Mayor a 2000	1000 a 2000	500 a 1000	250 a 5000	100 a 250	30 a 100	10 a 30
	Valoración	15	12	7	4	2	1	0
R.Q.D.	Recuperación (%)	90 a 100	75 a 90	50 a 75	25 a 50	Menor a 25		
	Valoración	20	17	13	8	3		
Espaciamiento entre las juntas	( m )	Mayor a 3	1 a 3	0.3 a 1	0.05 a 0.3	Menor a 0.05		
	Valoración	30	25	20	10	5		
Estado de las fracturas		Superficies muy rugosas, sin continuidad sin separación, roca adyacente sana	Superficies algo rugosas separación menor a 1mm, roca adyacente ligeramente meteorizada	Superficies algo rugosas separación menor a 1mm, roca muy meteorizada	Superficies pulidas, relleno menor a 5 mm, fisuras abiertas de 1 a 5 mm, fracturas continuas	Relleno blando con espesor mayor a 5 mm, fisuras abiertas mayores a 5 mm, fisuras continuas		
	Valoración	25	20	12	6	0		
Agua subterráneas	Flujo en 10 m de túnel ( lit/min )	Nada	Menor a 10	10 a 25	25 a 125	Mayor a 125		
	Relación entre la presión de agua en la fractura y la tensión principal mayor	0	0 a 0.1	0.1 a 0.2	0.2 a 0.5	Mayor a 0.5		
	Descripción	Totalmente seca	Húmeda	Mojada	Goteos	Flujo		
	Valoración	10	10	7	4	0		

Tabla 5. Valorización de RMR

Valoración RMR		100 a 81	80 a 61	60 a 41	40 a 21	Menor a 20
Clasificación N°		I	II	III	IV	V
Descripción		Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala
Tiempo medio de sostén		10 años para claro de 5m.	6 meses para claro de 4m.	1 semana para claro de 3m.	5 horas para claro de 15 m.	10 minutos para claro de 0.5 m
Parámetros geomecánicos	Cohesión	30 ton/m <sup>2</sup>	20 a 30 ton/m <sup>2</sup>	15 a 20 ton/m <sup>2</sup>	10 a 15 ton/m <sup>2</sup>	Menor a 10 ton/m <sup>2</sup>
Recomendados	Ang. Fricción	Mayor a 45°	40° a 45°	35° a 40°	30° a 35°	Menor a 30°

### 3.2 PRIMEROS TÚNELES

La perforación de túneles fue el primer ejercicio de ingeniería llevado a cabo por el ser humano. El hombre primitivo empezó por ampliar la cueva para brindar mayor seguridad a su hogar (Caicedo, 2009) y con el descubrimiento accidental de depósitos de agua y de minerales durante las operaciones de extensión del hogar, indujeron a los hombres a perforar con ese propósito y, así, de forma gradual la perforación de los túneles se fue desarrollando pasando desde una etapa en la que el instinto animal era predominante a otra más evolucionada (De Santos et al. 2007)

La historia de los túneles adquiere una dimensión y un ritmo especial con el nacimiento del Ferrocarril Metropolitano que se inicia en 1863 con la apertura del tramo Bishops Road-Farringdon Street (5,6 km de longitud, con 5,10 m de altura y 8,60 m de ancho) de lo que posteriormente sería el Metro de Londres, le siguió el de Glasgow en 1886, Budapest (1896), Boston (1898), París (1900), Berlín (1902), Madrid (1919), Atenas (1920) y así un gran número más (De Santos, et al. 2007).

### 3.3 METODOS DE CONSTRUCCIÓN EN TUNELES

La selección del método constructivo de un túnel viene regida por una serie de factores de diversa índole (Oteo, 2010):

- Unos geotécnicos, en cuanto a las características del terreno, lo que puede condicionar el aplicar un método u otro (Oteo, 2010).
- Otros económicos, en cuanto a la posibilidad de utilizar métodos en que se necesita una importante inversión, como en el caso de las tuneladoras (Oteo, 2010).

- Otras sociales y medio-ambientales, en cuanto a la seguridad del método, la afección al entorno, la presencia de obstáculos naturales y artificiales (ríos, pozos, cimentaciones existentes, minas, etc.) (Oteo, 2010).

Pueden enumerarse, a tal efecto, los siguientes condicionantes:

- Las características del terreno, junto con la profundidad a la que se quiere desarrollar la obra subterránea. Si existen rellenos y suelos blandos importantes, el túnel tiene que desarrollarse (en principio) por debajo de ellos, dejando un recubrimiento de terreno “resistente” del orden de un diámetro por encima de la clave. El término “resistente” puede considerarse natural o artificial (con tratamientos del terreno previos). La presencia de niveles freáticos colgados y continuos en el terreno pueden condicionar el método constructivo y transformarlo en una obra de túnel artificial (a cielo abierto); en general, puede decirse que hasta una profundidad de excavación en área urbana de unos 15-18- m es más económico el realizar un túnel entre pantallas continuas que excavada subterráneamente. (Oteo, 2010)
- El plazo de la obra, ya que ello puede obligar en algunos procedimientos (como en el Tradicional en Madrid) a abrir numerosos frentes de ataque, lo que puede encarecer la obra. O bien, puede alargarse el plazo si se necesita construir una tuneladora nueva y tiene algún condicionante especial (características de arranque, diámetro, etc.). Ello puede obligar a utilizar varios sistemas – no mecanizados totalmente – para aprovechar la geometría del problema, las características geotécnicas, etc., y acortar el plazo de ejecución. (Oteo, 2010)
- La longitud del tramo, lo que puede hacer viable el uso de una TBM o no. Para túneles de varios kilómetros (5-6) de longitud puede ser rentable – o suficientemente amortizable – una TBM nueva. Pero en tramos cortos de 1-1,5 Km. Se pueden emplear tuneladoras ya existentes, con equipos ya formados y con experiencia. (Oteo, 2010)
- El nivel tecnológico de la zona, que puede permitir el utilizar medios muy mecanizados, por existencia de personal especializado, talleres de reparación, etc., disminuyendo la mano de obra. (Oteo, 2010)
- La posibilidad de amortización de maquinaria en la propia obra u otras futuras. La inversión en máquinas TBM nuevas y de gran diámetro es importante (15 a 60 millones de euros) y tiene que contemplar el presente y el futuro de la tuneladora, los planes de infraestructuras, los cambios políticos, etc. (Oteo, 2010)
- El espacio disponible en los extremos del túnel o zonas intermedias, con los problemas de interferencia a otros servicios (caso urbano) o los de impacto ambiental (caso interurbanos). (Oteo, 2010)
- La existencia de “obstáculos” especiales. Como tales pueden considerarse la presencia de fallas, contactos entre terrenos, otros túneles, pozos, vaguadas rellenas, zonas de terreno contaminados por keroseno y gases,

ruinas históricas, etc. Todo ello puede condicionar extraordinariamente el método constructivo. Por ejemplo, una zona de fallas muy larga, con agua, terrenos con fluencia, etc., puede condicionar el uso de una tuneladora (aunque sea de doble escudo) y obligar a realizar una cámara lateral al túnel excavado con tuneladora, para avanzar y tratar el terreno antes de excavar con la TBM o para completar el túnel con métodos convencionales. La presencia de ruinas puede obligar a cambiar un sistema de pantallas continuas a otro subterráneo, con tratamiento del terreno entre ruinas y túnel, a fin de protegerlas, etc. (Oteo, 2010)

**3.3.1 Generalidades.** La construcción de túneles se divide en dos grandes ramas: túneles en roca y túneles en terreno blando. La diferencia más notable entre un tipo u otro es la problemática presentada en cada caso. En el primero el principal “problema” sería la propia excavación del macizo rocoso, que no precisa ningún tipo de sostenimiento si el macizo no presenta juntas. En el segundo, la excavación “sencilla” pero la principal dificultad es evitar que el terreno se desmorone en el interior del túnel, que de no ser cohesivo no tendrá capacidad alguna de sostenerse (Fronz y Valdés, 2009)

El reconocimiento del terreno siempre es escaso en un túnel, tanto por las dificultades de llegar a él (sobre todo en túneles interurbanos profundos), como por el carácter puntual – muchas veces – de las prospecciones. (Oteo, 2010)

El primer problema a tener en cuenta es el de los emboquilles, con sus problemas de estabilidad de taludes a corto y largo plazo (y en excavación de avance y después de destroza). (Oteo, 2010)

Este problema puede no condicionar el proceso constructivo, ya que puede hacerse un emboquille y una cierta cámara (con métodos convencionales) para, a continuación introducir una TBM y seguir el túnel. Pero, incluso en ese caso es necesario tenerlo en mente y no empezar el trabajo de la TBM en zona de posible inestabilidad. (Oteo, 2010)

En el caso de rocas hay tres factores predominantes a la hora de seleccionar el proceso constructivo y dimensiones del sostenimiento: (Oteo, 2010)

- La presencia de fallas y accidentes, así como la posibilidad de su tratamiento previo a la excavación en los mismos. No basta decir que se pedirá una tuneladora que permitirá los tratamientos. La disposición radial de los huecos que permitan las perforaciones tiene que ser tal que los taladros no estén muy separados en la zona de tratamiento y debe recordarse la forma cónica de los “paraguas” de tratamiento, lo que hacen que la zona tratada puede separarse mucho de la directriz a excavar. (Oteo, 2010)

- La existencia de agua y/o gas a presión. Es necesario estimar esa presión y los caudales previstos y el contenido de metano y exano de los gases (por si pueden originar deflagraciones), ya que pueden hacer inviables algunos sistemas constructivos y obligan a tratamientos especiales (perforaciones con obturadores diseñados a tal efecto). Sobre la presión del agua se discute mucho y, en algunos túneles, se le llega a adjudicar alturas de agua muy importantes y presiones elevadas que, después, son más pequeñas. De todas formas, los golpes de agua y arena pueden enterrar maquinaria importante. (Oteo, 2010) En estos casos, la congelación previa del agua del terreno puede dar magníficos resultados.
- La posibilidad de inducir en el terreno importantes deformaciones:
  - a) Por fluencia, debida a la elevada tensión natural inicial del terreno, que origina decompresiones por liberación de tensiones y deformaciones que dan convergencias importantes en secciones (que no tienen que ser muy profundas, como en algunas pizarras y esquistos tectonizados) o que pueden originar el atrapamiento de máquinas.
  - b) Por hinchamiento a corto y largo plazo, al contener el terreno arcillo-margoso minerales expansivos (esmeclitas) y anhidrita (sulfato cálcico hemihidratado). Primero suele hinchar, al descomprimirse y variar la humedad, la esmeclita, con lo que se abre la estructura y puede expandir la anhidrita, para llegar a yeso di hidratado, más estable. También ha habido experiencias negativas en los túneles hidráulicos de Trasvasar (Gran Canaria), al existir una capa arcillosa-esmeclítica entre las fonolitas excavada; las deformaciones se han producido por extrusión de la arcilla (al liberar las tensiones a 400-500 m de profundidad) e hinchar la esmeclita, produciéndose levantamientos de la solera (en túneles de Ø 3,50 m) de hasta 2,80 m (con la capa en cuestión en solera) o convergencias de más de 1 m (cuando estaba en hastiales). En estos casos el método tiene que tener en cuenta la posibilidad de construir soleras curvas y muy rápidamente, para no permitir la relajación del terreno. (Oteo, 2010)

Todo ello puede llevar a zonificar el trazado del túnel y definir un sistema diferente en cada zona. (Oteo, 2010)

En cuanto a los métodos a seleccionar, pueden mencionarse los siguientes métodos como los más importantes:

- El N.A.T.M., con su variedad de Método Bernold y auxiliado o no con enfilajes o
- “paraguas” cortos para evitar sobre excavaciones e inestabilidades en bóveda.
- El precorte mecánico o realización de prebóvedas cortas antes de excavar.
- El A.D.E.C.O. cosido del frente con bulones de fibra de vidrio.
- La utilización de TBM a sección completa (circular).

- Perforación y voladura.
- Método tradicional
- Escudos de presión de tierras

**3.3.2 El Nuevo Método Austriaco.** El Nuevo Método Austriaco (N.A.T.M. son sus siglas en inglés), desarrollado y patentado por Rabcewicz. Su experiencia proviene de haber tenido que construir túneles, durante la Segunda Guerra Mundial, de bajo costo, con espesores de hormigón muy delgados. Con la llegada del hormigón proyectado extiende su experiencia e idea y llega a patentar un nuevo sistema (o sistema-filosofía). Como indica el Profesor Rodríguez Ortiz en su conferencia sobre diseño de túneles en roca (Curso de Túneles en Roca, CEDEX, 1995), en la Memoria original de la patente se explica que este Nuevo Método Austriaco se caracteriza por:

- La aplicación de un revestimiento delgado, semi-rígido, colocado inmediatamente antes que la roca pueda ser perjudicada por la descompresión.
- El revestimiento puede ser de cualquier material adecuado al propósito indicado, tal como anclajes, hormigón proyectado, hormigón, hormigón prefabricado o arcos metálicos y cada uno de estos medios puede emplearse solo, o bien emplearse una combinación de dos o más de ellos.

Llevado por su experiencia anterior, Rabcewicz pone como punto importante la instrumentación (sobre todo el control de convergencias), como máxima garantía del buen funcionamiento de un sostenimiento delgado.

En los años posteriores, a las publicaciones de Rabcewicz se unen las de Müller-Salzburg y otros autores, que van articulando los aspectos teóricos del tema, con objeto de que tenga una especie de cuerpo de doctrina específico, ya que si se considera el texto de la patente, podría considerarse como N.A.T.M cualquier sistema de hacer túneles (incluso con TBM-EPB integral), ya que el sostenimiento puede considerarse semi-rígido. En ese sentido Müller-Salzburg indica, como principios básicos del método:

- Utilizar la propia roca como elemento resistente frente a las cargas que se van a produciendo durante a excavación.
- No introducir daños apreciables a la roca con el sistema de arranque, a fin de que no se abran más diaclasas, no se formen grandes aureolas de descompresión, etc.
- El sostenimiento inicial a colocar debe ser flexible (ya no semi-rígido) y proteger al macizo rocoso de todos los efectos que entraña la eliminación de la roca en el interior de la sección del túnel. Es decir: evitar meteorización, progreso de la

descompresión y descohesión inducidas por el arranque, etc. Debe colocarse en magnitud y velocidad adecuada a cada tipo de roca, a efectos de que se eviten esas influencias negativas.

- El revestimiento definitivo no es preciso que esté inmediatamente próximo al frente de avance. Su instalación debe hacerse -si se requiere- con las deformaciones del sostenimiento ya estabilizadas, a fin de minimizar en él los esfuerzos. No es necesario que sea de tipo rígido.
- Debe controlarse, en todo momento, el comportamiento de la roca y del sostenimiento, para comprobar su eficacia o la necesidad de su refuerzo. La medida de convergencias parece el elemento básico de control.

El desarrollo de las técnicas del hormigón proyectado o gunita (utilizada masivamente en Austria desde 1954 y empleado en España, por primera vez, en el Túnel de Miranda en 1958), permite el desarrollo del N.A.T.M. al darle su herramienta fundamental: un sistema de sostenimiento de colocación inmediata, graduable en resistencia (fijación) y rigidez (en función del espesor a proyectar y de los refuerzos con cerchas, mallas, etc., que se utilicen). Las líneas características (o sea su relación presión-desplazamiento) del terreno y del sostenimiento llegan a un equilibrio tras la adecuada deformación y la oportuna relajación que se produce en el macizo rocoso. Sin embargo, se deben tener en cuenta algunos aspectos:

- La excavación siempre afecta a la roca, lo que ocurre es que las deformaciones inducidas movilizan la asistencia de las diaclasas y ayudan a sostener el macizo, sobre todo si el sostenimiento ayuda a limitar ese movimiento.
- Con ello se consigue que el peso que gravite sobre el sostenimiento sea el de aquella zona de roca que movilice resistencia en diaclasas. Si esa movilización es pequeña, la corona de roca afectada alrededor del túnel es de poco espesor y la carga sobre el sostenimiento es pequeña.
- Si los desplazamientos son muy grandes -es decir, si el sostenimiento fuera excesivamente flexible- se rebasa la resistencia de pico de las diaclasas y, aunque queda la residual, la resistencia de la roca alrededor del túnel descendería claramente, obligando a que se movilice la resistencia de diaclasas más lejanas, con lo que una masa mayor de roca incide sobre el sostenimiento.
- Los fenómenos de fluencia, de liberación de tensiones internas, etc., hacen que deban considerarse, diferentes líneas características del terreno para corto y largo plazo, por lo que el equilibrio inicial puede no ser el definitivo y

necesitarse un refuerzo del sostenimiento con el tiempo o recurrir al revestimiento definitivo como ese refuerzo.

Para la aplicación del N.A.T.M, se sigue el siguiente proceso de diseño y construcción (Oteo, 1998):

- Estudio geomecánico del macizo rocoso en el que se va a construir el túnel, con determinación de materiales, direcciones de diaclasado, estado de las diaclasas, presencia de agua, toma de muestras, ensayos de laboratorio e *in situ*, etc. Se consigue, así, el disponer de estos estudios geológicos y geotécnicos bases, con definición de materiales y propiedades, anomalías o fallas, etc.
- Caracterización geomecánicamente el macizo, con utilización de las clasificaciones geomecánicas, lo que conduce a sectorizar el trazado, en función de los materiales existentes, presencia de agua, grado de fracturación, etc.
- Definición de secciones tipo de sostenimiento en cada sector antes distinguido, que se determinan según diversos tipos de análisis.
- Excavación del túnel, con los medios previstos y que se adecuen al principio fundamental de dañar la roca lo menos posible.
- Instalación del sostenimiento previsto en cada sector y que se explicita por el estado del frente que se va abriendo (con la supervisión de un técnico que debe estar a pie de obra).
- Instalación inmediata de secciones de auscultación y control, base fundamental del N.A.T.M. El control mínimo de convergencias en función a la calidad del terreno, control de empujes del revestimiento, esfuerzos de cerchas y en burlones movimientos del interior del terreno respecto al sostenimiento.
- Seguimiento e interpretación de la instrumentación, puede deducirse si la sección de sostenimiento es la adecuada para ese sector o si es necesario reforzarlo. Velocidades de deformación del orden de centímetros por día suelen ser señal de alto riesgo.
- Si es necesario, puede colocarse un revestimiento definitivo, que suele ser de hormigón formaleteado.

El N.A.T.M. es fácil de proyectar y, por eso, ha tenido gran desarrollo y, además, necesita poca inversión (sólo en la maquinaria de arranque, sino se usan explosivos, la cargadora y los robots para bulonar y gunitar). (Oteo, 2010)

Generalmente el pre diseño se hace con recomendaciones de autores conocidos, como las de Bieniawski y después debe hacerse una comprobación con métodos



numéricos (curvas convergencia-presión, elementos finitos y/o diferencias finitas), aunque, a veces, esas comprobaciones no se analizan bien o no se reproducen bien, como cuando no se tiene en cuenta la diferente trayectoria de tensiones alrededor del túnel (defecto que es muy normal en algunos proyectos, en que no se analizan con detalle los resultados “en colores” de los cálculos realizados). Además, es necesario tener en cuenta la posibilidad de caída de cuñas y la posibilidad de zonas arenizadas, brechificadas y, en general, con poca o nada cohesión. Con estos análisis se puede fijar el – o los – coeficientes de seguridad del sostenimiento y revestimiento, aunque no está tan claro el significado con que, a veces, se emplean. (Oteo, 2010)

También es necesario decidir si la excavación se hace a sección completa, si en avance y destroza o se llega a definir una sección partida (en 3, 4 o más zonas). Ello es fruto de tener en cuenta varios factores: (Oteo, 2010)

- Las deformaciones de plastificación e inestabilidad del frente o de la bóveda. (Oteo, 2010)
- El factor económico y la facilidad de construcción. El excavar a sección completa obliga a mayores medios (jumbo, robots de bulonado y gunitado, etc.), por lo que puede ser conveniente –aunque el terreno no lo exija – el ir a “avance y destroza”. También debe de tenerse en cuenta en qué sentido se avanza, en cuál se hace la destroza y en cuál se coloca el revestimiento; a nuestro juicio no debe aplazarse excesivamente la colocación del revestimiento después de excavar; salvo, en ocasiones, al contratista le interesa empezar el revestimiento en sentido contrario al de la excavación, con lo que hay zonas del túnel que tardan mucho en ser revestidas. (Oteo, 2010)

En el caso de excavar en fases, hay que tenerlo en cuenta en los emboquilles, pues la excavación de la destroza y zona de solera puede afectar a la estabilidad del talud de emboquille, dado que afecta – aún más – al pie del talud. Si ha habido ya problemas de estabilidad inicialmente, conviene preparar la excavación de la destroza con pilotes, falso túnel y relleno contra la ladera (Fig. 4 y 5), con lo que se encarece algo la solución, pero se aumenta su seguridad y el poder seguir excavando el túnel; un problema de inestabilidad a esas alturas penaliza el túnel y supone un claro aumento de coste y de plazo de ejecución. (Oteo, 2010)

Figura 4. Superficie inestable en emboquillado (Oteo, 2010)

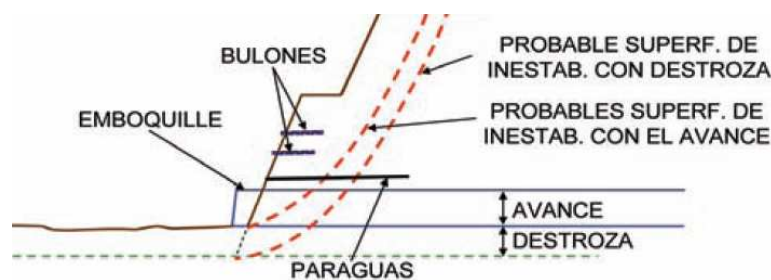
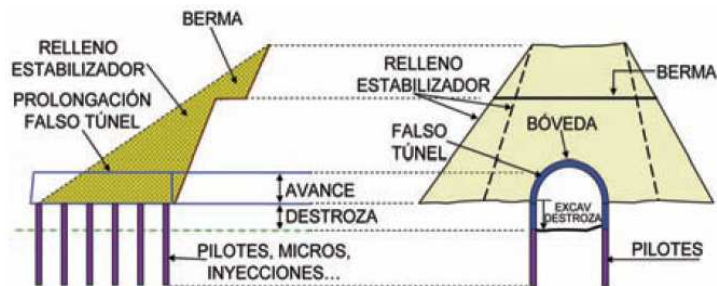


Figura 5. Prolongación con Falso Túnel. (Oteo, 2010)



Un problema sobre el que conviene hacer hincapié es el del uso de las clasificaciones geomecánicas con valores correspondientes a calidades “muy malas” y “malas”, es por debajo de RMR inferior a 35-40. Personalmente se ha introducido un cambio en el rango de los valores RMR de Bieniawski y las calidades correspondientes. Este cambio procede, del mal uso que, geotécnicamente, se hace del concepto de “roca”, tanto cuando los valores del RMR son bajos (en cuyo caso el comportamiento de ese “macizo rocoso”, fracturado y tectonizado, es más parecido al de un “suelo”) como cuando se habla de rocas de grados de meteorización IV, V y VI. No hay nada contra la clasificación de grados de meteorización de una roca (de la Asociación Internacional de Ingeniería Geológica), según la cual se va desde la roca sana y algo fracturada (I y II), hasta el material totalmente meteorizado y transformado en suelo fluvial (grados V y VI). Lo que si se emplea es el uso de la palabra “roca” (que suelen utilizar técnicos de origen geológico y minero) o es la más apropiada para RMR bajos y grados de alteración altos. Ese término implica, subconscientemente, una continuidad y una “cohesión” de conjunto poco real. Los geotécnicos educados en el concepto de suelo como material origen del estudio de las teorías geotécnicas y ampliadas (y transformadas) al análisis de macizos rocosos (a partir de la catástrofe de la Presa de Vaiont) se considera que existen tres tipos de materiales: a) Los claramente rocosos (RMR mayores de 60 grados I y II). b) Los “suelos” (RMR inferiores a 35 y grados V y VI). c) Los intermedios, que suelen tener el comportamiento de una roca descompuesta, fracturada, etc., pero en los que juega, generalmente, más el carácter rocoso que otra cosa. (Oteo, 2010)

En la Fig. 6, se describe la propuesta de clasificación geomecánica según el índice RMR y en la Fig. 7, los espesores de gunita (u hormigón) que pueden corresponder a esos tipos de calidades. En los casos en que RMR es menor de 30-35 debe pensarse en utilizar más los métodos propios de suelos (sección partida, prebóvedas, etc., incluso en el método Bernold, con espesor apreciable) que los de roca. La Fig. 8, completa estas recomendaciones con unas posibles secciones tipo. (Oteo, 2010)

Posible nuevo criterio de clasificación geomecánica de macizos rocosos, desde el punto de vista geotécnico.

Figura 6. Clasificación mecánica según índice de RMR (Oteo, 2010)

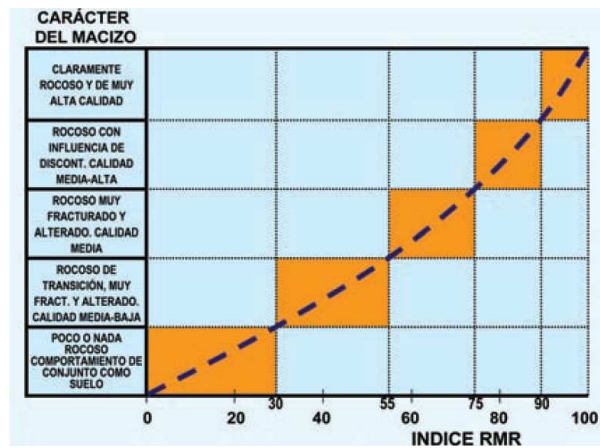


Figura 7. Espesores de gunita según calidad geomecánica (Oteo, 2010)

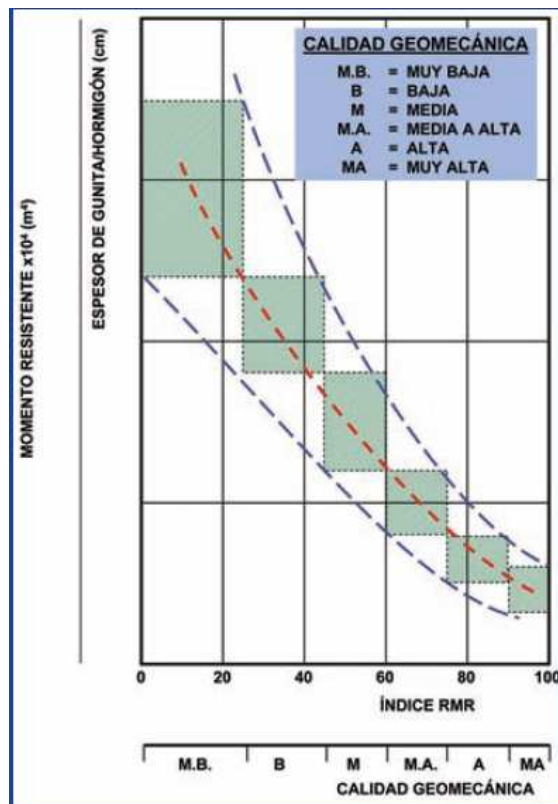
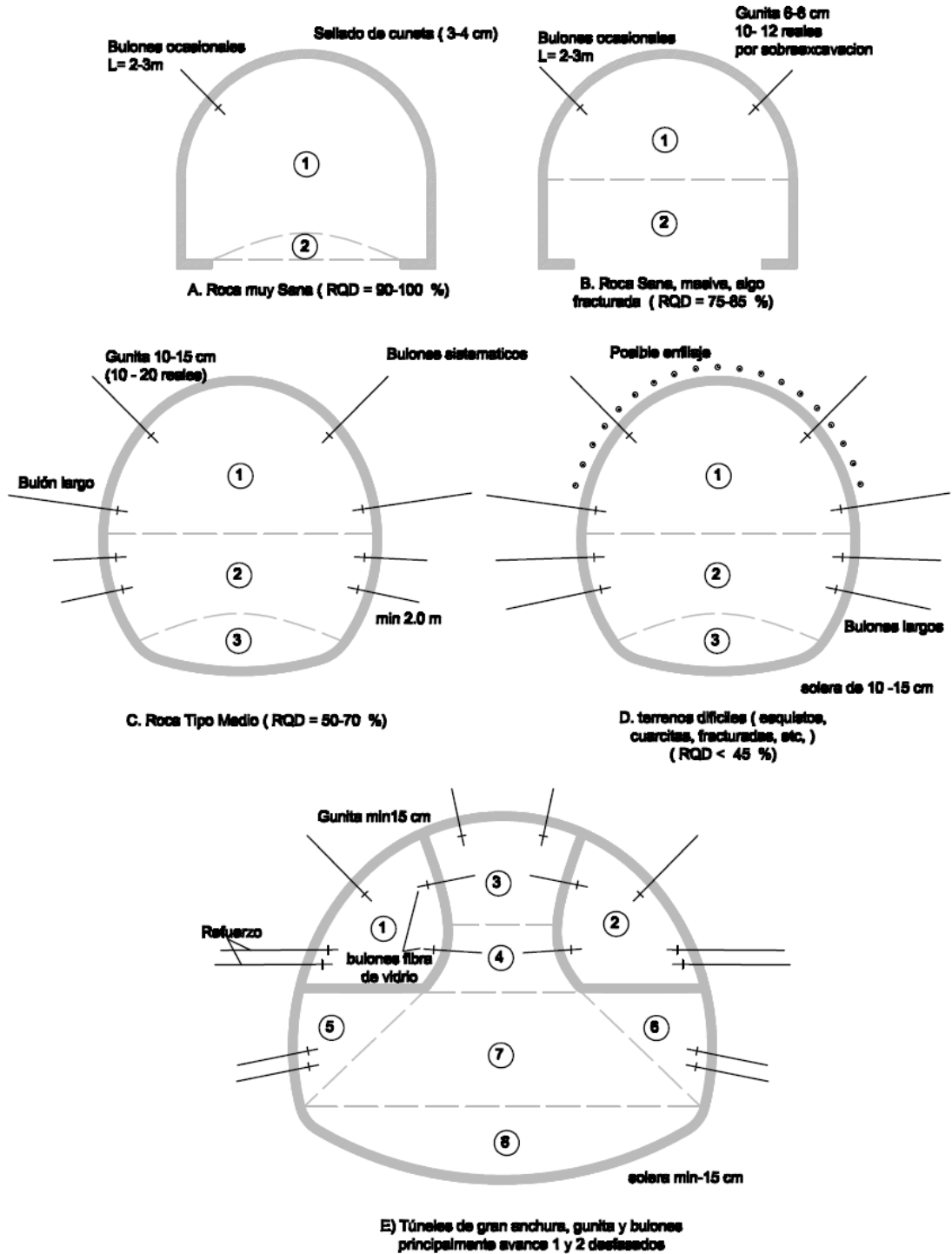
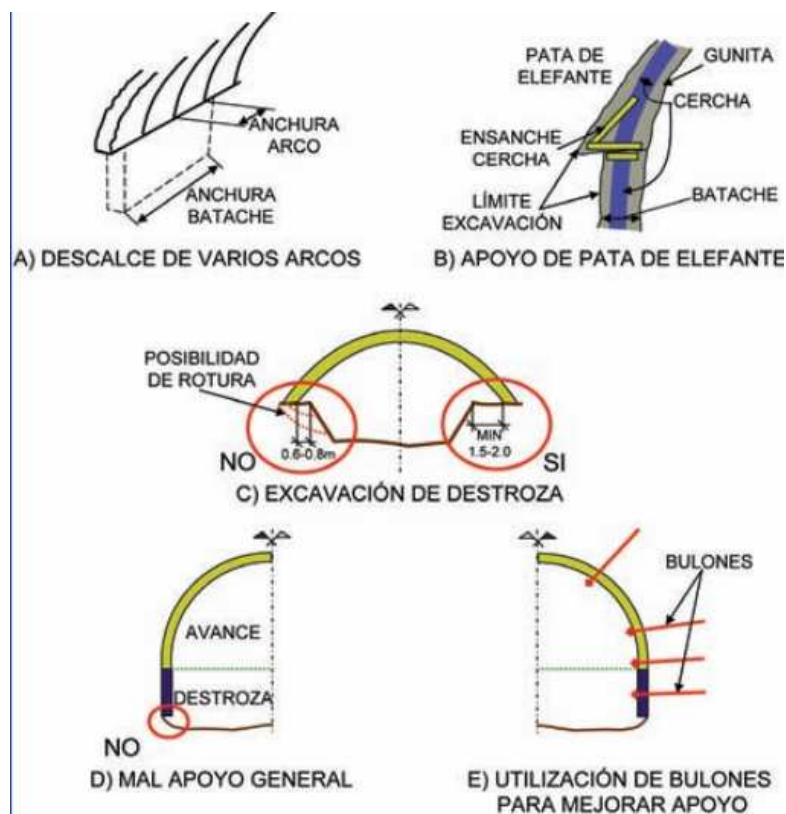


Figura 8. Secciones N.A.T.M



Otros aspectos a tener en cuenta son los apoyos de los sostenimientos que, muchas veces, se cuidan poco y, al excavar, pasa la destroza y se pueden dejar casi en el aire en longitudes grandes, dejando el arco casi “en el aire” (Fig. 9. a.), o bien se deja una berma en el terreno, al hacer la destroza, de poca anchura lo que puede ser muy peligroso en materiales meteorizables, arcillosos desecables o expansivos, etc. (Fig. 9.c). Pero también a veces se deja el apoyo del hastial mal hecho (Fig. 9.d), lo que puede ayudar al hundimiento del túnel. Se conocen casos en que esto ocurrió e incluso hay que cuidar el apoyo de la bóveda, a veces con pata de elefante, bien armada, como indica la Fig. 9. b. y en ocasiones, ayudar ese apoyo, tanto en bóveda como en hastiales, con bulonados sistemáticos cuasi-horizontales (Fig. 6.e), aunque no sea para sujetar bloques sino para conseguir cortar la posibilidad de descenso de clave y hastiales, a los que tan sensible puede ser una bóveda de sostenimiento realizada con gunita. (Oteo, 2010)

Figura 9. Apoyo de los sostenimientos (Oteo, 2010)



Otro aspecto a considerar es la existencia de zonas con fluencia, en que es necesario instalar sostenimientos bastante rígidos, por lo que puede ser conveniente el uso del sistema Bernold, con apreciable espesor de gunita y

hormigón y con refuerzo exterior de gunita. En estos casos también se necesita – como en los casos de expansividad – una contra bóveda curva, que haga de puntal contra los hastiales y resista los intentos de levantamiento del terreno por debajo del túnel. (Oteo, 2010)

**3.3.3 Precorte mecánico.** Se enmarca dentro de los métodos denominados de pre-sostenimiento al avance, especialmente idóneos para la ejecución de túneles especialmente en entornos urbanos o semiurbanos, debido a la mínima afección que producen en las estructuras y servicios situados por encima de la clave (Oteo, 1998)

Este método consiste en la realización de un corte en el avance a partir del frente del túnel, siguiendo el perímetro de la sección del mismo. La ranura de corte así obtenida se rellena, simultáneamente a la operación de corte, con un hormigón proyectado de fraguado rápido, realizado por la vía seca o húmeda, obteniendo de esta manera una bóveda rígida estabilizante. La puesta en obra del revestimiento definitivo se realiza posteriormente contra las bóvedas del pre-revestimiento ejecutadas. (Oteo, 1998)

Las ventajas en el uso de este método consisten en la conservación de las características del terreno que rodea a la excavación, eliminación prácticamente total del sobre perfil, aumento de la seguridad para el personal de obra en el frente, aumento en la velocidad de avance entre otras. (Oteo, 1998)

Esta alternativa puede ser útil en materiales margosos y calcáreos, siempre que se califiquen como “rocas blandas” (resistencia a compresión simple inferiores a 15-30 MPa), ya que puede originar unas “tejas” de hormigón proyectado que protejan de la posible caída de bloques en bóveda, a veces difíciles de “coser” con bulones, dado su pequeño tamaño. Hay que tener cuidado y precauciones al “fabricar” las tejas, ya que pueden perder su continuidad e integridad y caer al excavar por debajo. (Oteo, 2010)

No debe olvidarse el colocar una cercha cada teja ni el apuntalamiento inferior; ya que suelen construirse a sección completa y es muy conveniente el cierre de la sección. Esta excavación a sección completa tiene el inconveniente de posible plastificación del frente (materiales margosos) que puede obligar a completar el método con bulones en el frente. (Oteo, 2010)

Por supuesto la presencia de vías importantes de agua en el frente puede invalidar esta solución, lo mismo que la formación de bloques rocosos de importante magnitud, al no emplearse bulones. (Oteo, 2010)

**3.3.4. Sistema A.D.E.C.O.** Se trata de un sistema fácil de definir y difícil de comprobar antes de su uso, aunque Lunardi y colaboradores han desarrollado teorías que lo avalan. (Oteo, 2010)

No se conoce ninguna experiencia sistemática de este tema, muy propio también de rocas blandas y suelos duros figurados. (Oteo, 2010)

Suele excavarse a sección completa, con un cocido frontal de un bulón cada 1- 1,5 m2. A veces exige una protección adicional en bóveda y hastiales, con paraguas metálicos, con lo que el método se complica y se hace más lento y más caro. (Oteo, 2010)

Si existen cuñas rocosas puede haber problemas dada la distribución horizontal del cocido. Exige materiales bastante homogéneos y continuos, del tipo margo-arcilloso o margo calcáreo. (Oteo, 2010)

**3.3.5. T.B.M.** En el caso de usar escudos y tuneladoras es preferible ir a sección completa y circular. Para ello es muy importante la buena caracterización del terreno a fin de decidir si la TBM puede apoyarse siempre en “grippers”, que es lo normal en macizos claramente rocosos. (Oteo, 2010)

Pero si existen zonas blandas o muy fracturadas, los grippers no encuentran reacción adecuada o tienen dificultades para replegarse y el avance posterior. Pueden tener también problemas de atrapamientos a profundidades apreciables y terrenos fluyentes. Sin embargo, pueden atravesar zonas con hinchamientos lentos (caso de anhidrita) y después resistir la expansividad si se coloca un revestimiento pronto. (Oteo, 2010)

Las T.B.M. pueden avanzar con revestimiento prefabricado o no y pueden integrar lo que se denomina doble escudo: grippers para el caso de roca resistente y gatos hidráulicos para apoyarse en un revestimiento prefabricado y permitir girar la rueda frontal de corte. (Oteo, 2010)

Si en zonas blandas se produce un cierto atrapamiento, en el caso de doble escudo puede montarse un anillo metálico interior de refuerzo para utilizar la máxima capacidad de empuje de la máquina y atravesar esa zona. (Oteo, 2010)

Es muy importante que la TBM incorpore la posibilidad de tratamientos previos, mediante taladros inyectados por delante del frente de la máquina (Fig. 10). Como antes se ha señalado, es importante una buena caracterización del terreno y establecer, claramente, sus grados de meteorización, RMR, etc. En la Fig. 11, puede verse una posible relación de la resistencia a compresión simple de un granito o un gneis, en función del grado de meteorización. Si se prevé grados I y II en el túnel, la TBM puede llevar sólo grippers, ya que la roca tendrá siempre resistencias a compresión simple superiores a 50 MPa, con una alta probabilidad

de tenerla entre 60 y 100 MPa. Sin embargo, si aparecen diques o bandas con granito de grado III-IV, la resistencia a compresión simple acaba hasta en 15-25 MPa, lo cuál puede ser insuficiente para trabajar con grippers, por lo que la tuneladora puede quedarse “atrapada” en el túnel. (Oteo, 2010)

Figura 10. Pernos Inyectados (Oteo, 2010)

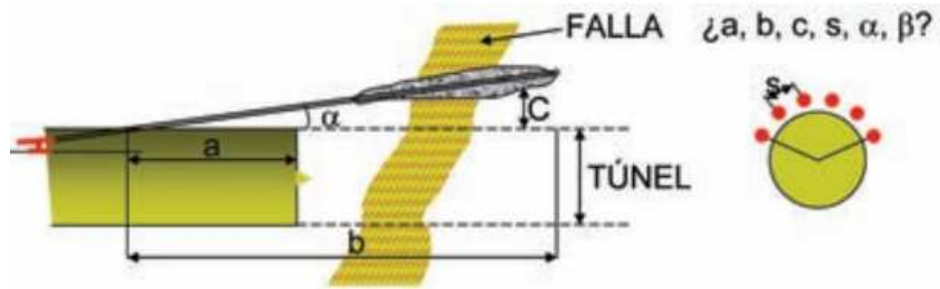
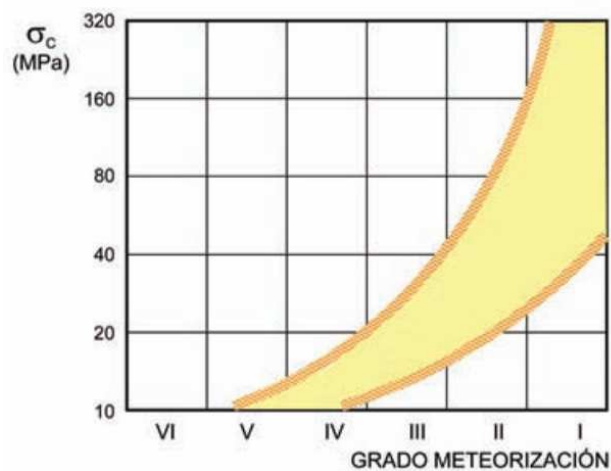


Figura 11. Relación entre el grado de meteorización y la resistencia a compresión simple. (Oteo, 2010)



**3.3.6 Perforación y voladura.** Se aplica en cualquier tipo de roca y sección y es justamente esta versatilidad, junto con la reducida inversión inicial, la que promueve el empleo de esta técnica, sin embargo, la voladura afecta en mayor medida las características mecánicas del terreno de la zona además de afectar a un mayor volumen de éste (Fronz y Valdés, 2009).

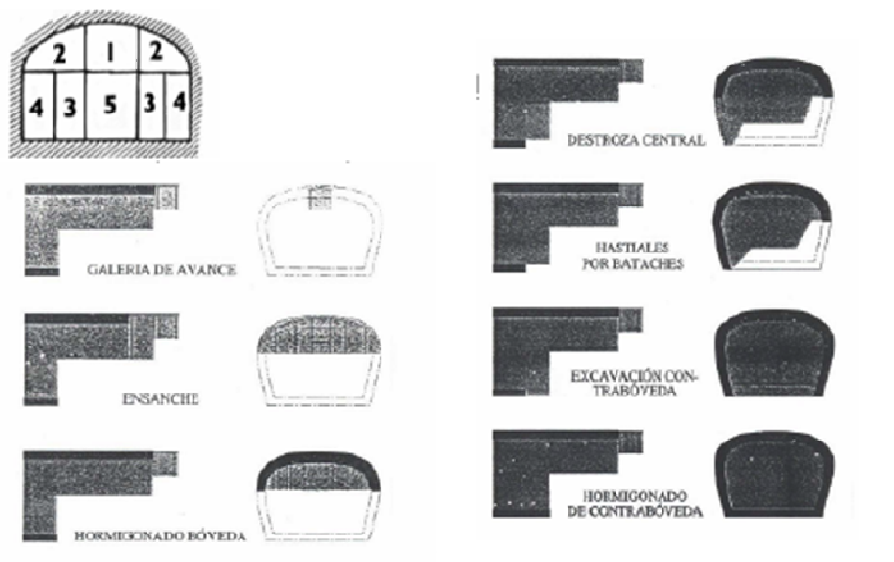
Por otro lado es el único posible cuando la roca es muy abrasiva, muy resistente o se encuentra en estado masivo. Básicamente consiste en efectuar unos taladros en el frente de excavación, cargarlos con explosivos y hacerlos detonar. La reacción explosiva genera una energía en forma de presión de gases y energía de vibración, capaz de quebrantar la estructura de la roca (Fronz y Valdés, 2009).



A grandes rasgos este método consiste en la perforación de barrenos, dibujando el perímetro a excavar, que se cargan con los explosivos para la voladura. Una vez evacuados humos y ventilado el túnel se retiran los escombros y se sanea el interior. Este proceso se va repitiendo a lo largo de la traza del túnel, en más de una fase por sección (avance y destroza) si se trata de grandes diámetros (Fronz y Valdés, 2009).

**3.3.7 Método tradicional.** El método tradicional consta de varias fases, que se van realizando sucesivamente (figura 12).

Figura 12. Esquema de ejecución por el método tradicional. (Tomado de: Fronz y Valdés, 2009)



Se inicia la excavación con una galería de avance según el eje del túnel, de apenas un metro de anchura, en la clave de la sección. Una vez finalizada la galería se abre la excavación a ambos lados de ésta en pases, hasta que la media sección superior queda completamente excavada. Normalmente se utilizan pases de 1 a 2,5m de longitud por 1 a 1,5m de ancho. Luego se ejecuta la bóveda con anillos de 2,5m de ancho, que impide la deformación del terreno. La excavación del avance se realiza mediante martillos neumáticos. La destroza consiste en excavar un cubo central en la mitad inferior, dejando un resguardo de 1 a 1,5m en los hastiales de manera que éstos puedan hacer frente a los empujes de la bóveda. Esta operación se realiza con máquina excavadora con un desfase de 5 a 6 anillos respecto del avance. Luego se ejecutan los hastiales por bataches al tresbolillo con módulos de 2,5m, cuidando no descalzar la bóveda (la junta entre anillos quedará en el centro del batache) y no excavar dos hastiales enfrentados a

la vez. Para acabar se excava el fondo de la sección y se ejecuta la contra bóveda.

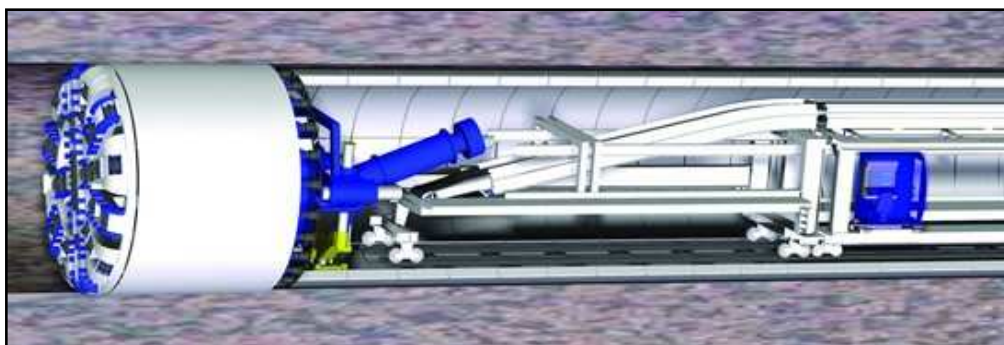
Este método es muy versátil, ya que se pueden modificar los parámetros básicos (ancho de pase, longitud de avance, entibación) adaptándolos al tipo de terreno y se sección (Fronz y Valdés, 2007).

### 3.3.8 Escudos de presión de tierras.

La excavación mecanizada en terrenos blandos requiere comúnmente el empleo de escudos y la colocación del revestimiento antes que la máquina abandone el tramo en cuestión, completando la operación con inyecciones de contacto entre el revestimiento y el terreno. (Fronz y Valdés, 2009)

Para controlar la estabilidad del frente del túnel los Escudos de Presión de Tierras también llamados tuneladoras o EPBM's (*Earth Pressure Balance Machine*) amasan los terrenos excavados empujándolos contra el frente mediante unos cilindros hidráulicos que empujan la cabeza de corte. En función de la granulometría del terreno y de su grado de humedad, esta será más o menos fácil de amasar; por eso cuando existen dificultades con el amasado hay que acondicionar el terreno añadiendo agentes como espumas, polímeros o suspensiones de arcillas. Los EPBM's disponen de una estructura metálica que aísla totalmente la excavación realizada del terreno y permite colocar el revestimiento sin que exista interferencia alguna por parte del terreno excavado (Sáenz, 2008)

Figura 13. Escudos de presión de tierras (EPBM). Imagen tomada de <http://www.directindustry.es/prod/the-robbins-company/tuneladoras-de-presion-de-tierras-59089-385092.html>



### 3.4 EQUIPOS DE PERFORACIÓN

**3.4.1 Jumbos.** Los Jumbos son unidades de perforación equipadas con uno o varios martillos perforadores cuyas principales aplicaciones en labores subterráneas se encuentran en:

- Avance de túneles y galerías.
- Bulonaje y perforación transversal.
- Banqueo con barrenos horizontales.
- Minería por corte y relleno.

Los componentes básicos de estos equipos son:

- Mecanismo de traslación.
- Sistema de accionamiento.
- Brazos.
- Deslizaderas.
- Martillos.

Estas máquinas pueden ser remolcadas o más habitualmente autopropulsadas. Estas últimas disponen de un tren de rodaje sobre: neumáticos, orugas o carriles. El primero, es el más extendido por la gran movilidad que posee (hasta 15 km/h), por la resistencia frente a las aguas corrosivas y por los menores desgastes sobre pisos irregulares. Los chasis en la mayoría de los casos son articulados, posibilitando los trabajos de excavaciones con curvas.

Los Jumbos sobre carriles, que han caído muy en desuso, encuentran aplicación cuando los trabajos presentan: gran longitud, pequeña sección, problemas de ventilación y los equipos de carga y transporte del material se desplazan también sobre carril. Con estos equipos es imprescindible que desde cada posición el Jumbo pueda perforar todos los barrenos previstos.

Las fuentes de energía son: diesel, eléctrica o de aire comprimido. Los brazos de los Jumbos modernos están accionados hidráulicamente existiendo una gran variedad de diseños, pero, pueden clasificarse en los siguientes grupos:

- De giro en la base.
- De giro en línea.
- De tipo trípode.

Del número de cilindros y movimientos del brazo dependen la cobertura y posibilidades de trabajo de los Jumbos, siendo la selección de los brazos un aspecto importante, sobre todo en obra pública, más que en minería, ya que las labores a realizar son muy variadas.

Las perforadoras pueden ser rotopercutivas o rotativas, según el tipo de roca en la que se requiere avanzar, el diámetro de perforación y el rendimiento exigido. Estas perforadoras, a diferencia de las de cielo abierto, tienen un perfil bajo para poder realizar correctamente los barrenos de contorno, sin una inclinación excesiva que dé lugar a dientes de sierra. Por esta razón, los sistemas de rotación de los martillos suelen ir en posición opuesta a la de los de cielo abierto, quedando dentro de las deslizaderas. Los diámetros de perforación dependen de la sección de los túneles o galerías, que para una roca de resistencia media a dura, Como para esos calibres el varillaje, tanto si es integral como extensible, está entre los 25 mm y los 37 mm de diámetro, las perforadoras de interior son mucho más ligeras que las de cielo abierto con energías por golpe más bajas y frecuencias de impacto mayores.

Las cabinas de operación donde se encuentran los paneles de control pueden ser abiertas con un marco de protección o cerradas, insonorizadas y climatizadas. Las cabinas suelen disponer de espacio para uno, dos o más operarios. En los equipos más modernos el número de palancas es mínimo con un diseño ergonómico, que proporcionan la comunicación entre el operario y el sistema de control, auxiliándose además de pantallas de aplicaciones múltiples, cuyos menús se pueden cambiar fácilmente para conseguir la Información deseada.

También en estos equipos las cabinas se elevan para que en la posición de trabajo el frente de perforación sea más visible. En los últimos años la perforación subterránea ha experimentado un fuerte impulso, basado en una mayor potencia de percusión de los martillos y en la robotización de los equipos. El control informático permite medir todos los parámetros de la perforación y adaptarlos a las necesidades requeridas; además, la utilización de precisos sensores y servo válvulas permite situar los barrenos en su posición exacta, evitándose así las imprecisiones provocadas por los errores humanos.

Las ventajas principales de la Informática aplicada a los Jumbos de perforación se pueden resumir en:

- Ahorro de mano de obra.
- Menor tiempo de perforación.
- Menor sobre perforación.
- Control de la operación.
- Mayor avance por pega.
- Ahorro en varillaje y explosivos.
- Menores costos de excavación.
- Seguridad en el trabajo.

Los Jumbos robotizados cuentan básicamente de los siguientes elementos, que se añaden a los de un Jumbo convencional:

- Un computador, que almacena los esquemas de perforación, con sus correspondientes secuencias de movimiento de brazos, y controla la posición de las distintas articulaciones de los brazos, así como la situación de los martillos en las deslizaderas.
- Unos sensores, que miden en cada articulación los correspondientes ángulos y la posición de los martillos en las deslizaderas.
- Unas servo válvulas, que aportan a cada cilindro el caudal de aceite adecuado, de acuerdo con los impulsos eléctricos que reciben del micro-procesador.
- Un monitor, donde se visualizan tanto los esquemas de las pegas, con indicación de los barrenos ya perforados, en perforación y pendientes de perforar; las velocidades de penetración en cada barreno; los ángulos de divergencia de cada brazo respecto al eje de referencia, etc. La forma previa de operar de estos Jumbos suele ser la siguiente:

Una vez conducido el Jumbo hasta el frente, y estabilizado con sus gatos, se alinea una de las deslizaderas con el láser que marca la alineación del túnel. Para ello, se usan dos dianas o colimadores situados en uno de los brazos.

El ordenador lee la posición relativa que ha tomado dicha deslizadera respecto al Jumbo, y a partir de la posición de éste respecto al láser efectúa el cambio de coordenadas correspondientes, sobre el esquema de perforación.

A continuación, se posiciona uno de los brazos en el punto en el cual la roca sobresale más en el frente. Esta información da al sistema de control un plano de posicionamiento desde el cual se pueden mover los brazos sin chocar con el frente. Una vez finalizado el posicionamiento, existen tres modos distintos de operación: automático, semiautomático y manual.

*Automático.* El Jumbo es manejado totalmente por el computador de abordó, posicionando automáticamente cada brazo frente al correspondiente punto de emboquille de acuerdo con la secuencia programada. Después de aproximar la deslizadera hasta el frente, se inicia el emboquillado del barreno con percusión reducida y se continúa la perforación del taladro en régimen normal. Una vez concluido se retira el martillo y automáticamente se mueve el brazo para nivelar el barreno siguiente. El barrenista, en este caso, solamente supervisa la correcta ejecución de la perforación.

*Semiautomático.* Cuando las regularidades del frente impiden emboquillar algún barreno en el punto programado, el perforista moverá el brazo a una nueva zona, cerca de la mostrada en el esquema de perforación. El sistema de control ajustará automáticamente la dirección de avance de modo que el fondo del barreno esté en el punto previsto.

- Manual. El Jumbo se puede operar manualmente como uno normal, sin Intervención del computador. Este modo de operación es útil para perforar los martillos perforadores u otras aplicaciones no coincidentes con el avance convencional.

Los esquemas de perforación se diseñan en un computador personal en la oficina, pudiendo obtenerse por impresora gráficos de cada uno de ellos. La instalación en los Jumbos se hace fácilmente con toda la información almacenada.

En cada esquema de perforación cada barreno aparece asociado con la siguiente información:

- Número de barreno.
- Coordenadas X, Y.
- Divergencia.
- Tipo de barreno: vacío, del cuele, de contorno, de destroza, y de zapatera.

También aparecen en los esquemas de perforación barrenos imaginarios, que representan:

- El punto de referencia (marcado por ejemplo con 0).
- Las posiciones de descanso de los brazos cuando no estén perforando (marcadas -1, -2 o -3). Otra información adicional corresponde a la secuencia de barrenos de cada brazo. Se pueden programar dos o más brazos para perforar el mismo barreno, lo cual dará lugar a que sea realizado por el brazo que llegue primero al número de taladro indicado en la secuencia.

A la hora de establecer la secuencia de cada brazo, se procurará seguir los siguientes criterios:

- Utilización simultánea de todos los brazos.
- Evitar que los brazos trabajen muy cerca uno de otro.
- Evitar que un brazo trabaje en la vertical de otro, para eliminar el riesgo de caída de rocas.

Los Jumbos robotizados pueden excavar fácilmente túneles con curvas. Cuando el equipo está situado en el frente, en el sistema de control se programan los valores de compensación de las direcciones, ajustándose éstas automáticamente. Durante la operación, el sistema de control actualiza continuamente el esquema de perforación mostrando en el monitor el estado de los barrenos:

- Sin perforar.
- A perforar a continuación.
- perforando.

Los barrenos del cuele se muestran actuando en un menú específico, ya que los taladros se encuentran a distancias muy pequeñas. Por otro lado, se puede disponer de un completo conjunto de datos de cada barreno para su posterior análisis:

- Velocidad de penetración.
- Presión de percusión.
- Presión de avance.
- Presión de rotación.
- Presión de barrido.

Estas curvas, procedentes del registro continuo de los parámetros, proporcionan valiosa información acerca de las condiciones geológicas del terreno, así como de la propia máquina, por ejemplo los tiempos muertos de parada, cambios de material fungible, etc.

También se puede archivar la función real en que se ha perforado cada barreno y compararla con la teórica. Como se registra la hora de comienzo y fin de la perforación, es posible conocer de una forma exacta la duración del ciclo completo de trabajo en el frente. Una vez hecha la voladura, el equipo de topografía procederá a obtener el perfil del túnel mediante un perfilómetro, ayudando así a corregir los ángulos de los barrenos de contorno para conseguir una sobre perforación mínima.

**3.4.2 Perforadoras manuales.** Las perforadoras manuales de interior y de cielo abierto son, conceptualmente y forma de trabajo, similares, y sólo se diferencian en pequeños detalles. La empuñadura de las de exterior es abierta, para sujetar el martillo con las dos manos, mientras que en las de interior, con el fin de adaptarlas al barrenado horizontal, la empuñadura es cerrada y para una sola mano. En las primeras, el accionamiento y barrido es totalmente neumático, mientras que en las que se utilizan en trabajos subterráneos el barrido puede realizarse con agua y/o aire. La presión del agua debe ser siempre inferior a la del aire para evitar inundar al martillo. Las barrenas se fijan a las perforadoras por medio de retenedores en forma de aldaba. Son de tipo integral con diámetros de perforación de 22 a 45 mm y longitudes de 400 a 6.400 mm. Los diseños se diferencian en:

- Sistema de válvula, oscilante o tubular.
- Mecanismo de rotación, barra estriada o rueda de trinquetes.

Los consumos de aire oscilan entre los 50 y 100 l/s y las dimensiones de los pistones y carreras de los mismos varían entre 65 a 80 mm y 45 a 70 mm, con frecuencias de impactos entre 30 y 50 golpes por segundo. Para amortiguar el ruido del escape pueden colocarse silenciadores que rodeen a las camisas de los cilindros, los silenciadores apenas afectan a las velocidades de perforación y

reducen el nivel de ruido en unos 7 dB. Las aplicaciones más importantes en los trabajos a cielo abierto son:

- Perforación para obras de pequeña envergadura, demoliciones, etc. Las aplicaciones más importantes en los proyectos subterráneos:
- Perforación secundaria.
- Equipos de producción.

En el caso de Túneles y galerías, la aplicación se da en éstas estructuras de pequeña sección y longitud, donde no se justifica la Inversión en equipos mecanizados. En estos casos suele trabajarse con empujadores para la realización de barrenos horizontales y columnas o cilindros de avance cuando la perforación es vertical.

**3.4.3 Tuneladoras a sección completa o TMB's (Tunnel Boring Machine):** también se conocen con el nombre de "topos". Como su nombre lo indica la excavación se realiza a plena sección, generalmente en 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. 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 (Fronz y Valdés, 2009)

El primer TBM fue desarrollado en Italia en 1846. El mejor resultado conseguido por esa época fue en el año 1984 a cargo del Coronel Beamaunt's, donde se consiguió un avance 2,1 metros por día máquina. Otros constructores en el túnel Nursey en Inglaterra llegaron a conseguir hasta 24 metros por semana. En general, el TBM ha sido usado pocas veces en minería debido principalmente al alto costo de inversión, operación y por las dificultades de movilización, accesos deficientes, alto costo de la infraestructura asociada y la poca flexibilidad en el sistema constructivo. La única excepción fueron las minas de carbón alemanas pero hoy más a menudo se están empleando TBM para el desarrollo de túneles largos en otros campos.

El principio de las tuneladoras, es un equipo electro hidráulico formado por una cabeza rotatoria, una estructura principal y un sistema de correas transportadoras para evacuar el material desde el frente del túnel. La cabeza rotatoria posee una serie de discos cortadores, los que al ser presionados y rotados producen el corte de la roca. La estructura principal posee unos "gatos" hidráulicos que son presionados contra las paredes del túnel durante la perforación y retirados durante el ciclo de avance. La dirección es dada a través de los "gatos" hidráulicos con un sistema de rayo láser. El desgaste del disco y el tiempo necesario para



inspeccionar y cambiarlos es una de las consideraciones más importantes al usar TBM, particularmente en rocas muy duras como gneis y granito.

El número de los discos depende de muchos factores, pero en general la regla es como lo muestra la siguiente fórmula:

$$\text{Número de cortadores} = (\text{Radio de cabeza} + 3) \text{ Espacio del disco}$$

Donde, los espacios del disco normal son de 75 mm.

El disco moderno simple es de 16½ - 17 pulgadas, que trabaja bajo cargas de hasta 25 toneladas, nos asegura un rango adecuado de corte en casi cualquiera situación posible.

A comienzos de los años 80, se usaban discos todavía más pequeños de 13-15 pulgadas. Los problemas surgieron en situaciones en las que el diámetro del TBM, excede los 9 metros; la velocidad de la cabeza de rotación del corte debió reducirse para evitar el exceso en la velocidad permitida de los discos exteriores. Para trabajar en rocas duras como gneis y granito, se requiere una gran fuerza de empuje y un bajo rpm. Mientras que para el tipo de rocas más blandas, se requiere poca fuerza de empuje y un alto rpm.

El rendimiento total del avance, depende de la penetración neta y del número de perforaciones/horas durante el período de trabajo. La utilización total es el tiempo neto de perforación expresado en porcentaje del total del tiempo túnelaje que incluye:

- Perforación.
- Reposicionamiento de patas de fijación.
- Cambio e inspección del disco.
- Mantenición y servicio del TBM.
- Mantenición y servicio de equipo de apoyo.
- Misceláneos.

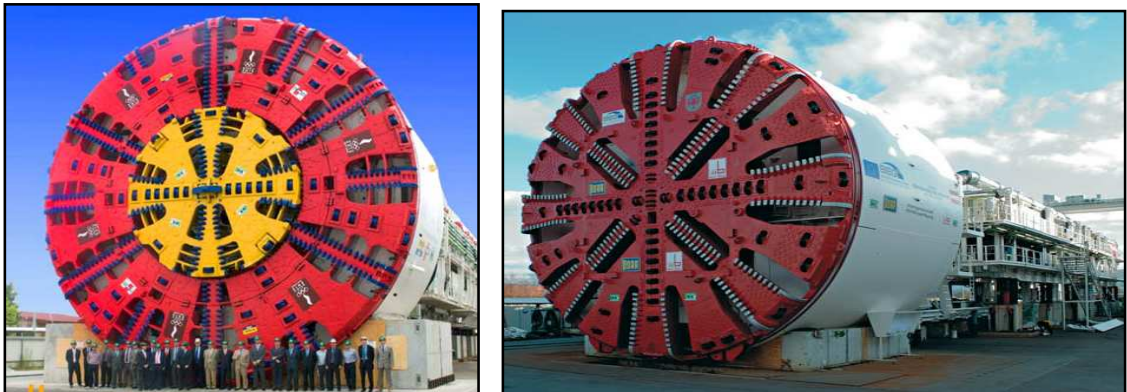
El éxito económico y operacional de una tuneladora es en gran medida dependiente de una buena planificación y apoyo al equipo. El avance de una tuneladora además de lo mencionado anteriormente depende en gran medida del método usado para evacuar el material del frente a la velocidad en que éste es producido.

El costo del túnel se puede dividir en los siguientes ítems:

- Montaje
- Perforación
- TBM
- Discos

- Equipo de apoyo.
- Transporte
- Transporte
- Rieles/ Camiones
- Descargadero
- Costos Adicionales
- Ventilación
- Instalaciones eléctricas
- Costos Misceláneos
- Costos de Personal

Figura 14. TBM. Tunnel Boring Machines (imágenes tomadas de <http://www.theblogbelow.com/2008/07/tbm-tunnel-boring-machines.html>).



**3.4.4 Tuneadora con brazo y cabezal cortador (Roadheader):** Máquina de ataque puntual, consta de un brazo desplazable que bate la sección de excavación y que lleva en su extremo un cabezal provisto de las herramientas de corte "picas". El par de rotación del cabezal, el empuje de los cilindros hidráulicos del brazo y las fuerzas de reacción de la máquina, se concentran en las puntas de las picas iniciadoras del rozado resultando el material excavado en forma de lascas de roca. (Fronz y Valdés, 2009).

Se emplean en materiales de resistencia baja a media, en obras de longitudes pequeñas donde no es rentable el sistema a sección completa y en zonas de rocas media a duras cuando no es viable la voladura por restricciones ambientales (Fronz y Valdés, 2009).

Desde la aparición de los Roadheader, durante la última década de los años 40 en Hungría, y en los años 60, en el este de Europa, se produjo un gran desarrollo en cuanto al desempeño de las maquinarias y la adaptación a una variedad de

condiciones locales geológicas y técnicas. Los Roadheader, son principalmente usados para tunelería o en construcción civil, y en las empresas mineras.

Diseños de formas y clasificación. Un Roadheader, consiste básicamente de componentes individuales, aunque operan simultáneamente. Esto incluye el corte, carga, y transportadores los cuales generalmente se combinan con cualquier tipo de chasis sobre orugas o a veces sobre neumáticos. Las características de los diseños, están actualmente sistematizados o clasificados de acuerdo con el siguiente criterio:

- Peso de la máquina.
- Electricidad instalada en el cabezal del corte/ capacidad de corte.
- Alcance de corte/corte de contorno.

Las siguientes características son muy importantes para lograr una ejecución óptima:

- Bajo centro de gravedad.
- Óptima relación entre la energía de la cabeza del cortador y el peso.
- Diseño modular.
- Bajo perfil de la máquina.
- Diseño compacto.
- Posición segura del operador.
- Adaptabilidad a variadas condiciones geológicas y operacionales.

Figura 15. Máquina rozadora (imagen tomada de <http://ecomovilidad.net/madrid/tuneles-madrid-metodos-clasicos>).



**3.4.5 Martillo hidráulico:** 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. La roca es quebrantada mediante la energía de impacto generada, y el material rocoso excavado se desprende en forma de pequeños bloques o esquirlas (Fronz y Valdés, 2009)

Figura 16. Martillo hidráulico.



### 3.5 TUNELES EN COLOMBIA

Colombia es un país de diversas características que lo hacen especial en América, desde poseer puertos en ambos océanos (Atlántico y Pacífico), hasta ser el único país que presenta la división de la cordillera de los Andes en tres ramales. Esta característica ha derivado en que el modo de transporte terrestre del país presente un alto grado de complejidad, haciendo los desplazamientos largos y costosos. Por otro lado la presencia de terrenos inestables que, combinados con la alta pluviosidad en largos periodos del año, hacen que el tránsito por las carreteras sea muy vulnerable; para mitigar estos inconvenientes se ha venido incrementando en los últimos años el diseño y la construcción de túneles carreteros (Dávila 2009, Gil y Yarce 2010)

Para el año 2002, en Colombia existían 33 túneles construidos y en operación, cuyos trabajos habían sido desarrollados en su mayoría por empresas extranjeras,

con acompañamiento de empresas locales que aprendieron sobre este tipo de obras subterráneas. En el año 2004 la ingeniería nacional decidió participar en proyectos más importantes de túneles del país (Gil y Yarce 2010). Según el gerente de Estructuración de Negocios del Grupo Odinsa, Héctor Salazar “Colombia, en los últimos 15 años, se ha convertido en una potencia latinoamericana de túneles carreteros. En estos momentos, se han construido los ductos más largos de América Latina, como son el túnel de Buenavista, de 4.500 metros; y el de San Jerónimo en Antioquia, de 4.600 metros” (Caicedo, 2009).

De los túneles en operación más destacados de la red vial, está el túnel Fernando Gómez Martínez de 4,6 kilómetros (el más largo a la fecha), en donde fue necesario remover 10 millones de metros cúbicos de tierra. La obra fue inaugurada en 2005 y conecta los valles de Aburrá y del río Cauca, en el occidente de Antioquia y recibió en 2007 el Premio Nacional de Ingeniería. No obstante, el primer túnel que se construyó en Colombia con especificaciones internacionales fue el del Boquerón (2.325 metros), en la vía Bogotá – Villavicencio. La obra, que estaba proyectada desde hace 240 años, permitió mejorar la comunicación vial entre el principal centro de consumo y producción y las más prolíficas zonas agrícolas del país (Caicedo, 2009).

El Ministerio del Transporte afirmó que en túneles carreteros construidos, o en ejecución, el país acumula 25 kilómetros. “Al terminar el periodo gubernamental, el siete de agosto de 2010, se debe estar por encima de 50 kilómetros de túneles carreteros contratados, que para el tamaño fiscal del país y la historia en temas de carreteras representa un esfuerzo económico y técnico muy grande” afirmó el jefe de la cartera, Andrés Uriel Gallego (Caicedo, 2009)

En la figura 17, se señalan la ubicación de los túneles en Colombia, considerando los construidos, en construcción y los túneles proyectados, Incluyendo en ese entonces al Túnel de Daza como proyectado.

A continuación se mencionan una serie de túneles y su estado actual según los documentos de Salazar (2010) y Caicedo (2009):

### **3.5.1 Túneles construidos y en operación**

- **CARRETERA BOGOTA – VILLAVICENCIO**  
Túnel de Boqueron  
Túneles de Quebrada blanca  
Túnel de Bijagual  
Túnel de Buenavista
- **CARRETERA MEDELLIN – OCCIDENTE**  
Túnel de San Jerónimo

Figura 17. Túneles de Colombia (Tomado de Salazar, 2010)



### 3.5.2 Túneles en construcción

- CARRETERA BOGOTA – GIRARDOT  
Túnel de Sumapaz (opera desde 2010)
- CARRETERA GIRARDOT - ARMENIA  
Túnel de La Línea (del II Centenario, opera desde 2012)
- CARRETERA BUGA – BUENAVENTURA  
Túneles Cisneros Loboguerrero
- CARRETERA PASTO – CHACHAGUI  
Túnel de Daza

### 3.5.3 Túneles en diseño y futura construcción

- CARRETERA GIRARDOT - IBAGUE

Túnel de Gualanday

- AUTOPISTA URBANA DE MEDELLIN

Túneles Laterales Al Rio

- AUTOPISTAS URBANAS DE BOGOTA

Túneles Cerros Orientales

- CARRETERA BOGOTA – HONDA

Túnel De Cocoló

- CARRETERA MEDELLÍN-RIONEGRO

Túnel de Santa Elena (8.200 m)

- CARRETERA MEDELLÍN-URABÁ

Túnel de Toyo (4.900 m)

- CARRETERA BOGOTÁ-PUERTO SALGAR

Túneles Ruta del Sol (2 X 2.100 m)

- CARRETERA BOGOTÁ-LA CALERA

Túnel de la Aurora (1.210 m)

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 GESTIÓN HUMANA, SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

Para el desarrollo de los objetivos uno y dos, se obtuvo la autorización para el acceso a algunos de los documentos de la empresa que permitieron conocer, comprender y describir el funcionamiento interno en relación a la gestión humana, salud ocupacional y seguridad Industrial, que procuran la eficiencia y eficacia del proyecto. Además se desarrollaron charlas sobre seguridad industrial, como apoyo a estos procesos.

### 4.2 CONSTRUCCION DEL TÚNEL DE DAZA

En esta sección se identifican dos tipos de procesos, técnicos y constructivos que permiten la construcción del Túnel de Daza. Para la descripción de estos procesos se recurrió a los textos oficiales del proyecto.

**4.2.1 Procesos técnicos.** Para la identificación de los procesos técnicos empleados en la construcción del Túnel de daza se recurrió a textos oficiales del proyecto (DEVINAR, 2009) y aportes del autor.

Algunas de las actividades relacionadas al desarrollo de estos procesos estuvieron a cargo de pasante quien con previo conocimiento en el uso de programas de diseño asistido por computador como Autodesk AutoCAD versión 2010 para modelados en dos y tres dimensiones y AutoCAD Civil 3D Land versión 2008, realizo las siguientes tareas:

- Revisión, modificación y realización de los planos de diseño del Túnel e instalaciones adicionales.
- Desarrollo de geometrías de los diferentes arcos para cada tipo de terreno que se ha tenido en cuenta para el diseño de este túnel.
- Dibujo de las secciones de excavación y concreto lanzado; utilizado en el cálculo de volúmenes de movimiento de tierra.



- Cálculo de coordenadas para ubicación de arcos, límites teóricos de excavación y de radios, longitudes y ángulos necesarios para realizar el plan de voladura.
- Despiece de cada elemento del arco para así llevar a cabo su fabricación.
- Digitalización y modelación de la información topográfica de las secciones del túnel para modelos en 3D de la construcción Túnel.
- Digitalización de la topografía que se utiliza para el diseño y cálculo de volúmenes del movimiento de tierra a realizar en el sector del Portal Norte ubicado en el sector de Daza.
- Revisión concerniente a las secciones de terreno, instalación de planta de concreto, instalación de la planta de trituración, diseño de zona de depósito.

**4.2.2 Procesos constructivos.** Para la identificación de los métodos constructivos empleados en la construcción del Túnel de daza se recurrió a la experiencia adquirida en la pasantía y apoyada en textos oficiales del proyecto “CONSORCIO CONSTRUCTORES VIALES DE NARIÑO-TÚNEL DE DAZA. 2010. Túnel de Daza, Especificaciones técnicas.

### **4.3 DIAGRAMAS DE PERFORACION Y REPORTES DE VOLADURAS**

El Consorcio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza, recibió una capacitación por parte de Atlas Copco, apoyo técnico a operadores mecánicos y eléctricos, sobre la correcta operación y mantenimiento del equipo perforador Boomer E2C lo que permitió optimizar su uso; además brinda capacitación a la oficina técnica, dirección de frente y dirección del proyecto, en el manejo de software drill plan designer 1.3 y tunnel manager.

El software drill plan designer 1.3, es un software creado para el diseño de voladuras, que fue adquirido por Atlas Copco Rock Drills AB y adaptado a todos sus equipos perforadores (Boomer) por medio de su integración al software tunnel manager.

Tunnel Manager es un software de planificación para ser usado junto al RCS de los Boomer. El software se instaló en el computador asignado por el consorcio con una llave de hardware para prevenir copias ilegales. Tunnel manager se usa para

supervisar todos los datos de perforación en los proyectos de túnel, es un administrador de archivos para proyectos de túnel.

El Tunnel manager permitió realizar:

- Diagramas de perforación
- Proyectos de túnel
- Registros de perforación

#### **4.4 MANEJO DE LA INFORMACION**

Corresponde al uso, manejo y recopilación de la información generada por el proyecto. De la información que se genera en construcción del túnel a lo largo de la pasantía y bajo el cargo del auxiliar de ingeniería están el control de consumos de acero y de la fabricación de arcos.

**4.4.1 Control de consumos de aceros.** Quincenalmente se realizo un control del consumo de aceros empleando formatos ya establecidos para esta tarea, lo que permitió tener control sobre el material usado, gastos y rendimientos. Adicionalmente para este control se llevo un registro fotográfico del material para constatar el desarrollo de esta tarea.

**4.4.2 Fabricación de arcos.** Como uno de los aportes realizados en cuanto al manejo de la información, se propuso y empleo un formato para el control de calidad en la fabricación de arcos que permitió consignar información sobre cada elemento del arco y del arco completo.

**4.4.3 Copias de seguridad.** Como medida de seguridad la información generada a lo largo del proyecto se almaceno en una memoria de propiedad del consorcio, con el fin de evitar su pérdida bien sea por virus o por hurto de computadores y como herramienta para mejorar eficiencia en el almacenamiento y procesamiento de la información.

#### **4.5 INFORMACION TEORICA Y TECNICA**

Parte de la información teórica y técnica necesaria para la construcción del Túnel de Daza se encuentra descrita y citada en este documento, sin embargo se adjunta en Anexos o en documentos en PDF (en DVD) textos que fueron

empleados para el desarrollo del proyecto general y en el presente trabajo y que permitieron la realización de los mismos.

#### **4.6 RECEPCION A CONFORMIDAD POR LA EMPRESA**

Cumplir con las actividades a realizar como pasante mencionadas en el ítem 1.2 ALCANCE Y DELIMITACIÓN DEL PROYECTO con el fin de ejecutar el objeto de la presente pasantía a conformidad de la oficina técnica del proyecto.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 GESTIÓN HUMANA

Como desarrollo de esta pasantía se realiza la identificación de los procesos necesarios para dirigir a las personas dentro de una empresa, partiendo del reclutamiento, la selección, la capacitación, la evaluación del desempeño, las recompensas, la salud ocupacional y el bienestar general de los trabajadores.

Procesos que el Consorcio Constructores Viales de Nariño como empresa que ofrece servicios de construcción realiza, buscando cambiar el entorno y generar progreso para la comunidad, los empleados, los clientes, proveedores y accionistas.

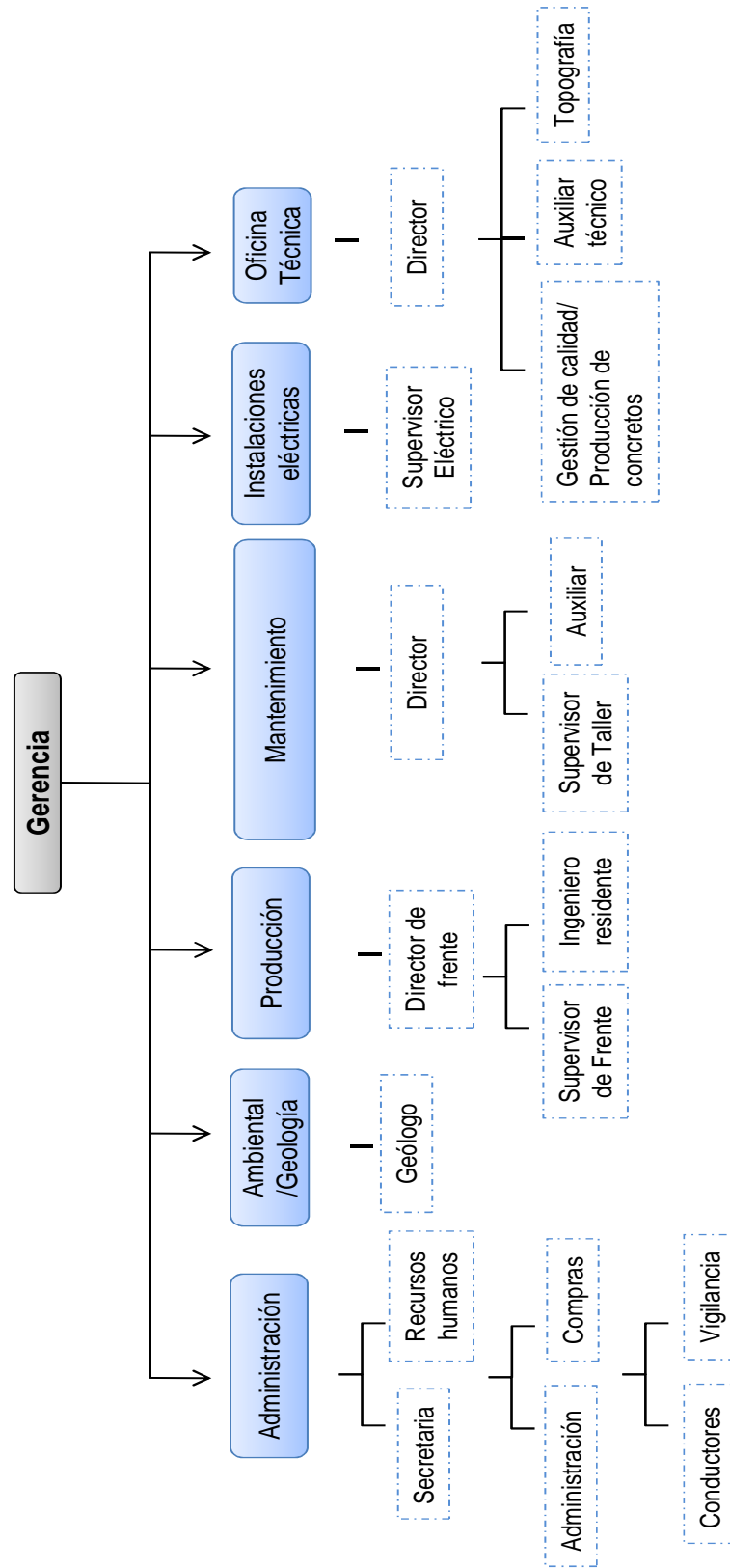
Para el desarrollo eficiente del proyecto, el consorcio cuenta con una serie de áreas que tienen bajo su cargo la realización de actividades puntuales, y que permiten el adecuado funcionamiento, control y seguimiento de los procesos que el proyecto lleva a cabo.

En la figura 18, se presenta el organigrama de la empresa. En los cuadros azules se mencionan las áreas que permiten el funcionamiento de la construcción y en los cuadros punteados los cargos del personal. Adicionalmente se encuentran los oficiales y obreros a quienes son asignadas tareas como construcciones y excavaciones varias, movimiento de herramienta, manipulación de equipos, limpieza de las zonas de trabajo y equipos, entre otros. A continuación se mencionan algunas de las funciones del personal, según el documento del consorcio constructores viales de Nariño, 2009.

Gerente de obra. Tiene como funciones habituales:

- Definir el programa de Control de pérdida aplicable en el proyecto, y liderar su implementación.
- Liderar la administración del Recurso Humano.
- Definir los programas de Salud Ocupacional aplicables en el proyecto, de acuerdo a las políticas corporativas.
- Liderar las actividades de Bienestar Social, Desarrollo Humano y otros aspectos laborales, legales como beneficio extralegales aplicables en el proyecto, de acuerdo a las políticas corporativas.
- Conocer y liderar la implementación de la política de calidad de la empresa.
- Conocer y liderar la aplicación del Plan de Manejo Ambiental

Figura 18. Organigrama del trabajo del CONSORCIO CONSTRUCTORES VIALES DE NARIÑO TUNEL DE DAZA



- Mantener comunicación y relaciones fluidas con el cliente.
- Definir las funciones de los empleados, calificar sus resultados, dar la retroalimentación necesaria, y tomar los correctivos que sean del caso para mejorar los resultados.
- Definir e implementar acciones para mejorar la productividad en general.
- Liderar y dirigir las Relaciones Públicas del proyecto.
- Definir y liderar las actividades con las comunidades en las zonas aledañas al proyecto.
- Mantener estrecha relaciones con las autoridades civiles, cívicas y militares en la zona de influencia del proyecto.
- Controlar la construcción de las diferentes obras del túnel, velando por el cumplimiento del programa, las especificaciones técnicas exigidas, los requerimientos del cliente y la rentabilidad de la obra.
- Analizar las desviaciones a planes y pronósticos y liderar las acciones correctivas para mejorar el cumplimiento.
- Asegurarse de que los distintos frentes mantienen los recursos necesarios para la ejecución de los trabajos.
- Tomar las acciones necesarias para detectar y eliminar los desperdicios en el uso de recursos en el proyecto.
- Dentro del nivel de delegación de autoridad que posea, autoriza contratos y compras requeridos para la marcha del proyecto.
- Reportar al Comité de Gerencia el estado de las obras, las desviaciones y presenta para su aprobación los planes correspondientes.
- Estudiar en forma permanente el contrato y sus especificaciones con miras a poder detectar en cualquier momento cambios que puedan llevar a un desequilibrio.
- Tomar las acciones pertinentes para mitigar los riesgos que se puedan darse en la marcha del proyecto.
- Analizar los resultados financieros del proyecto, informar a la Dirección Corporativa de estos, y tomar las acciones necesarias para mejorar estos resultados.

Jefe administrativo tiene como funciones habituales:

- Liderar en su frente la aplicación del programa Cero Accidentes.
- Liderar la investigación de todos los accidentes que ocurran en su área.
- Velar por el cumplimiento de los programas de Salud Ocupacional, Bienestar Social, Desarrollo Humano y otros aspectos laborales, legales como beneficio extralegales, que pueda tener instituidos la empresa.

- Conocer y desarrollar la política de calidad de la empresa.
  - Velar por que se definan, se conozcan y se pongan en práctica los controles debidos en su área (Gestión Humana, Servicios a los Empleado, Tesorería, Contabilidad, Almacén y Proveeduría, además de coordinación en servicios de Asistencia Legal, Contralorías, Impuestos, Seguros y Contratos que necesiten las distintas áreas del proyecto). Hacer el seguimiento a la aplicación de dichos controles.
  - Analizar las desviaciones a planes y pronósticos y diseñar e implementar acciones correctivas para mejorar el cumplimiento.
  - Gerenciar el recurso humano de su área, asegurándose de que exista un continuo desarrollo de las potencialidades de las personas.
  - Implementar actividades de bienestar entre nuestros empleados
  - Coordinar servicios médicos, de primeros auxilios y preventivos entre nuestros empleados
  - Coordinar entrenamientos en nuestros empleados según necesidades de las distintas áreas.
  - Coordinar actividades de recreación entre nuestros empleados.
  - Asegurarse de mantener los recursos necesarios para la ejecución de los trabajos
  - Liquidación de la nómina
  - Pago de proveedores y parafiscales.
  - Soporte administrativo a los distintos frentes en la administración de contratos (vencimientos, pólizas, pagos, controles de pagos legales hechos por los contratistas etc.)
  - Tomar las acciones necesarias para detectar y eliminar los desperdicios en el uso de recursos en el frente (uso de materiales, horas extras innecesarias, etc.).
  - Administrar los contratos que se ejecuten en su frente.
  - Soporte a la Gerencia de Obra en el manejo de las relaciones Laborales.
  - Soporte a la Gerencia de Obra en el manejo de las relaciones con la comunidad.
  - Soporte a la Gerencia de Obra en el manejo de las relaciones públicas y en la imagen de la empresa.
- 
- Ingeniero de seguridad y medio ambiente, tiene como funciones habituales:
    - Participar en las caminatas de seguridad. Dar apoyo a los frentes en el programa de Inspección de Áreas y reportar a la Dirección de Obra su estado.
    - Conocer el Plan de Manejo Ambiental, coordinar actividades de difusión y cumplimiento entre los empleados vinculados al proyecto, subcontratistas y moradores en la zona de influencia del proyecto.

- Coordinar la elaboración del Plan de Emergencia. Coordinar su difusión, dar apoyo a los frentes en el programa Cero Accidentes.
- Conocer el Plan de Calidad y aplicarlo en su área.
- Coordinar las relaciones con las entidades del estado responsables de los permisos ambientales y riesgos profesionales (ARP) y su cumplimiento.
- Dar apoyo a los frentes en el Control de Pérdidas, Elaborar informes de accidente para la ARP.
- Monitorear los parámetros, presentar los informes respectivos y coordinar acciones correctivas, de las corrientes naturales de agua en la zona de influencia del proyecto. Asesorar a los frentes en todo lo referente a la medición de gases, efluentes y afluentes líquidos.
- Monitorear la concentración, presentar los informes respectivos y coordinar acciones correctivas, de gases en el túnel, de acuerdo con las especificaciones y normas internacionales.
- Mantenerse informado sobre las normas oficiales que competan al área ambiental y seguridad del proyecto.
- Trabajar con las comunidades vecinas en asuntos relacionados a la protección y educación ambiental.
- Coordinar actividades para disponer en forma responsable los residuos, tanto ordinarios como industriales, resultantes de la construcción del proyecto.
- Registrar el índice pluviométrico en ambos frentes.
- Reportar a la Gerencia de Obra el estado del programa de Observación de Tareas.
- Elaborar planes y coordinar los simulacros de evacuación.
- Dar soporte a los frentes en las investigaciones de accidentes.
- Reportar a la Gerencia de Obra la utilización de los implementos de protección personal.
- Reportar semanalmente a la Gerencia de Obra los indicadores de seguridad (índices de frecuencia y severidad, descripción de los accidentes e incidentes, actividades llevadas a cabo para prevenir riesgos, estado de los programas de Observación de Tareas, Inspección de Áreas y Cero Accidentes).
- Coordinar Entrenamientos sobre la Detección y Control de Riesgos.
- Coordinar las Actividades de los Analistas de Seguridad.
- Hacer revisiones periódicas a los vehículos de los subcontratistas y proveedores que operen con nuestros empleados o dentro de las instalaciones del proyecto.
- Registrar actividades y procedimientos que soporten acciones correctivas y preventivas en el control de riesgos.
- Llevar control de los extintores, enviarlos para su carga y recibirlos conforme.
- Enviar los informes que el área de Gestión Humana corporativa requiera.



- Elaborar un informe mensual de Seguridad que forma parte del Informe Mensual de obra.
- Administrar el recurso humano, velando porque los Analistas de Seguridad puedan desarrollar su trabajo con sentido de pertenencia y progresar, reconociendo logros y haciendo críticas constructivas.
- Conocer y aplicar el Reglamento Interno de Trabajo.

Las funciones de Director de frente son:

- Liderar en su frente la aplicación del programa Cero Accidentes.
- Conocer, difundir y aplicar el Plan de Manejo Ambiental.
- Conocer los riesgos del frente y tomar las acciones para mitigarlos.
- Liderar la Charla diaria de "5 minutos".
- Liderar la investigación de todos los accidentes que ocurran en su área.
- Velar por el cumplimiento de los programas de Salud Ocupacional, Bienestar Social, Desarrollo Humano y otros aspectos laborales, legales como beneficio extralegales, que pueda tener instituidos la empresa.
- Conocer y desarrollar la política de calidad de la empresa.
- Coordinar, planear y dirigir la construcción de las diferentes obras del túnel, velando por el cumplimiento del programa, las especificaciones técnicas exigidas, los requerimientos del cliente y la rentabilidad de la obra.
- Analizar las desviaciones a planes y pronósticos y diseñar e implementar acciones correctivas para mejorar el cumplimiento.
- Asegurarse de mantener los recursos necesarios para la ejecución de los trabajos.
- Gerenciar el recurso humano del frente, asegurándose de que exista un continuo desarrollo de las potencialidades de las personas.
- Tomar las acciones necesarias para detectar y eliminar los desperdicios en el uso de recursos en el frente (uso de materiales, horas extras innecesarias, maquinaria alquilada sin uso eficiente, etc.).
- Administrar los contratos que se ejecuten en su frente.
- Reportar a la Gerencia de Obra el uso de recursos, consumos, rendimientos y avances de las distintas actividades.
- En coordinación con la Oficina Técnica, evaluar las características del túnel y elaborar la planeación total del mismo, en términos de programa y control de costos.
- Estudiar en forma permanente el contrato y sus especificaciones con miras a poder detectar en cualquier momento cambios que puedan llevar a un desequilibrio y notificar a la Gerencia de Obra.

Las funciones del director de mantenimiento son:

- Liderar en su frente la aplicación del programa Cero Accidentes.
- Llevar a cabo un programa formal y periódico de inspección de todos los equipos, asegurándose que tengan todos los elementos de seguridad requeridos, que se encuentren en condiciones seguras de operación y detectando con anticipación los trabajos requeridos.
- Liderar la Charla diaria de “5 minutos”.
- Liderar la investigación de todos los accidentes que ocurran en su área.
- Velar por el cumplimiento de los programas de Salud Ocupacional, Bienestar Social, Desarrollo Humano y otros aspectos laborales, legales y beneficios extralegales, que pueda tener instituidos la empresa.
- Conocer y desarrollar la Política de Calidad de la empresa.
- Conocer y liderar el Plan de Manejo Ambiental en su área.
- Coordinar, planear y dirigir el mantenimiento de los equipos de la obra, velando por el cumplimiento de planes y programas, especificaciones técnicas exigidas, requerimientos de los clientes y rentabilidad de la obra.
- Crear y mantener programas competentes de mantenimientos predictivos, preventivos y correctivos para asegurar la disponibilidad de los equipos cuando estos se requieran y que el mantenimiento de los equipos sea una función planeada.
- De acuerdo con los resultados de las inspecciones de equipos, llevar un listado de actividades pendientes a realizar, determinando las prioridades de acuerdo a criterios de seguridad, integridad de los equipos y necesidades de la operación.
- Analizar las desviaciones a planes y pronósticos y diseñar e implementar acciones correctivas para mejorar el cumplimiento.
- Recolectar la información necesaria, y procesarla, para hacer análisis continuos de causalidad de fallas, diagnósticos y pérdidas de tiempo de los equipos.
- Asegurarse de mantener los recursos necesarios para la ejecución de los trabajos. Para ello debe planear la requisición de materiales y recursos necesarios, solicitarlos y hacerles el seguimiento hasta que lleguen para que se dispongan de ellos en el tiempo apropiado.
- Gerenciar el recurso humano del frente, asegurándose de que exista un continuo desarrollo de las potencialidades de las personas.
- Tomar las acciones necesarias para detectar y eliminar los desperdicios en el uso de recursos en el frente (uso de materiales, horas extras innecesarias, maquinaria alquilada sin uso eficiente, pedidos de materiales injustificados por exceso o a destiempo, órdenes de trabajo injustificadas, etc.).
- Administrar los contratos que se ejecuten en su frente.
- Reportar a la Gerencia de Obra, con periodicidad acordada con esta, el uso de recursos, consumos, rendimientos, indicadores de proceso y de desempeño y avances de las distintas actividades.

- Estar al frente de los talleres de soldadura que realizan la producción de arcos de refuerzo.

Supervisor eléctrico tiene como funciones habituales:

- Liderar en su frente la aplicación del programa Cero Accidentes.
- Llevar a cabo un programa formal y periódico de inspección de todos los equipos, asegurándose que tengan todos los elementos de seguridad requeridos, que se encuentren en condiciones seguras de operación y detectando con anticipación los trabajos requeridos.
- Liderar la Charla diaria de “5 minutos”
- Participar la investigación de todos los accidentes que ocurran en su área.
- Conocer y desarrollar la política de calidad del consorcio.
- Dirigir el mantenimiento de los equipos eléctricos de la obra, velando por el cumplimiento de planes y programas, especificaciones técnicas exigidas, requerimientos de los frentes y rentabilidad de la obra.
- Mantener en ejecución programas competentes de mantenimientos predictivos, preventivos y correctivos para asegurar la disponibilidad de los equipos.
- Recolectar la información necesaria, para hacer análisis continuos de causalidad de fallas, diagnósticos y pérdidas de tiempo de los equipos.
- Asegurarse de mantener los recursos necesarios para la ejecución de los trabajos. Para ello debe planear la requisición de materiales y recursos necesarios
- Dirigir el recurso humano del frente, asegurándose de que exista un continuo desarrollo de las potencialidades de las personas.
- Evitar los desperdicios en el uso de recursos en el frente (uso de materiales, horas extras innecesarias, maquinaria alquilada sin uso eficiente, pedidos de materiales injustificados por exceso o a destiempo, órdenes de trabajo injustificadas, etc.).

El director de la Oficina técnica, tiene como funciones habituales:

- Conocer el Sistema de Calidad, aplicarlo en su área y difundirlo.
- Conocer el Plan de Manejo Ambiental, aplicarlo y difundirlo en su área.
- Conocer las normas de seguridad y aplicar el control de pérdidas en sus funciones.
- Conocer los documentos del contrato.
- Dar apoyo técnico a los frentes
- Procurar por el cumplimiento de las especificaciones generales del proyecto y el análisis y seguimiento a los planos de construcción. Informar a la Dirección cuando detecte desviaciones.
- Planear, programar y hacer seguimiento de la obra, de acuerdo a plazos contractuales, parámetros geológicos, rendimientos y costos esperados.

- Coordinar, realizar y supervisar la recolección y procesamiento de la información para llevar un control de producción que serán la base para elaborar los cobros al cliente de acuerdo a parámetros establecidos en las especificaciones y contrato del proyecto
- Estudiar y analizar rendimientos, consumos de materiales, suministros en los frentes, utilización de equipos y métodos constructivos alternativos o mejorados que optimicen la seguridad y eficiencia de la obra. (entre ellos el uso optimo de material de perforación y explosivos)
- Administrar, dirigir, impulsar el desarrollo y liderar al personal bajo su cargo.
- Control y coordinación de las medidas geotécnicas; programar y hacer seguimiento a la toma de lecturas para el cálculo de convergencias, procesar y analizar dicha información.
- Administración del contrato de topografía y control del procesamiento de los datos de las comisiones de manera que se garantice el cumplimiento de las especificaciones de obra en cuanto a la geometría del túnel y de su alineamiento. Además del cálculo de volúmenes a partir de las secciones del túnel.
- Análisis y presentación de precios unitarios no previstos.
- Dar apoyo técnico en eventualidades a los frentes de trabajo y producción bajo la supervisión del director de obra.
- Análisis y estudio de planos de construcción.
- Elaboración de la programación interna de la obra, incluyendo proyección de avance mensual y calculando las cantidades de obra mensual a facturar al igual que las necesidades de los principales recursos a usar.
- Hacer soportes para modificaciones al contrato tales como reprogramaciones de la obra y adiciones en plazo y valor.
- Hacer proyecciones de consumo de aceros de perforación y explosivos de acuerdo con la programación interna de obra.
- Coordinar y controlar la ejecución de los planos finales de obra (As Built).
- Coordinar que los diseños requeridos en la obra se produzcan de acuerdo con estándares reconocidos.
- Elaborar el Control Presupuestal Mensual.
- Elaborar los Diagramas de perforación.
- Llevar el registro de los reportes de perforación realizado en el frente de trabajo.
- Control de aceros de perforación.

El área de recursos humanos, entre las funciones habituales:

- Conocer, aplicar y difundir el Plan de Calidad.
- Facilitar y llevar a cabo los procesos de contratación y vinculación de Mano de Obra, bajo las políticas que para tal efecto tiene establecida la empresa.

- Elaborar afiliaciones a la Seguridad Social. (EPS, ARP, AFP).
- Revisión de los requisitos de vinculación de personal.
- Revisión de papeles y afiliaciones a la Caja de Compensación.
- Actualización permanente del personal en obra. (Trabajadores y Subcontratistas).
- Ejecutar los procesos de nomina, utilizando para ello normas, procedimientos y programas que se convierten en la herramienta que la empresas utiliza para dar cabal cumplimiento a la compensación, generando desarrollo y bienestar al personal contratado.
- Establecer con los jefes de las diferentes áreas, los mecanismos de evaluación de desempeño del personal, para posibles ascensos y/o desvinculación.
- Actualización permanente del personal activo en el proyecto, con sus respectivos vencimientos de contratos.
- Revisar los reportes de tiempo de mano de obra del personal, tanto operativo como administrativo.
- Atender las inquietudes de los trabajadores con respecto a la liquidación de tiempo de nomina.
- Actualizar los contratos de trabajo, realizando las respectivas adiciones o terminaciones según sea el caso.
- Apoyar a la operación en los procesos disciplinarios que se requieran, velando por el cumplimiento del reglamento interno de trabajo de la empresa, así como los reglamentos de higiene y seguridad industrial.
- Registrar los diferentes permisos, haciendo el seguimiento respectivo.
- Coordinar con los jefes de cada área, seguridad industrial, ambiental y calidad, los procesos de inducción y entrenamiento del personal.
- Expedir los diferentes certificados que sean solicitados por los trabajadores.
- Llevar a cabo los procesos de liquidación de personal retirado.
- Coordinar la liquidación parcial o total de las vacaciones del personal.
- Revisar la liquidación anual de cesantías, consignaciones a los fondos y pago de los respectivos intereses.
- Gestionar el retiro parcial de cesantías ante el Ministerio de Trabajo y de la Protección Social y los fondos de cesantías.
- Verificar los aportes a la Seguridad Social, tanto del personal del Consorcio como de los subcontratistas.
- Coordinar transporte de personal a los frentes. (recorridos)
- Coordinar transporte de alimentación a los frentes.

Funciones de jefe de materiales:

- Liderar en su frente la aplicación del programa Cero Accidentes.
- Liderar la investigación de todos los accidentes que ocurran en su área.

- Conocer y desarrollar la política de calidad de la empresa.
- Liderar la charla diaria de “5 minutos”.
- Velar por que se definan, se conozcan y se pongan en práctica los controles debidos en su área. Hacer el seguimiento a la aplicación de dichos controles.
- Analizar las desviaciones a planes y pronósticos y diseñar e implementar acciones correctivas para mejorar el cumplimiento.
- Gerenciar el recurso humano de su área asegurándose que exista un continuo desarrollo de las potencialidades de las personas.
- Conocer y cumplir los procedimientos en los procesos de recepción y almacenamiento materiales; disposición de sobrantes y excedentes; control de stock de materiales e insumos; oportunidad en el suministro a los frentes y abastecimiento de stocks.
- Oportunidad y rapidez en el despacho de materiales a sus clientes internos.
- Oportunidad y rapidez en el abastecimiento de los distintos almacenes del proyecto.
- Coordinar el transporte de materiales según las necesidades y recursos disponibles.
- Hacer inscripción de proveedores nuevos y sus evaluaciones de acuerdo al Plan de Calidad.
- Minimizar compras no programadas.
- Verificar la existencia de materiales en el almacén antes de pasar a compras.
- Verificar que ingresos y salidas de almacén se codifiquen de acuerdo con el código establecido.
- Asegurar la correcta codificación en el proceso de facturas.
- Revisar la facturación, recibos de almacén e informes de recepción (condiciones, requisitos legales, codificación, precio, plazo, etc., asegurando el correcto ingreso de cantidades al kardes)
- Hacer seguimiento especial a los grandes ítems de los subcontratos de suministros de materiales y servicios.
- Llevar control de explosivos (compra, transporte, almacenamiento, disposición, cantidades recibidas, saldos y costos de los mismos); mantener los libros solicitados por la brigada, los cuales debe conciliar con el kardes de la obra.
- Preparar los cobros de suministros a subcontratistas.
- Coordinar con los auxiliares el Analista de Almacén la ejecución de inventarios físicos rotativos diarios, analizando las diferencias e inconsistencias en el kardes. Informar inmediatamente a la Dirección Administrativa discrepancias y anomalías para tomar acciones inmediatas y corregirlas.
- Controlar los inventarios por grupo para que no se excedan las necesidades de la obra.
- Realizar análisis de movimientos de inventario, para identificar obsoletos y defectuosos.
- Sugerir puntos máximos y mínimos de reposición.

- Identificar e informar de los inventarios con baja rotación, para su disposición y cancelación de futuras compras.
- Verificar el cumplimiento de estándar de calidad en las recepciones de almacén.

Cada área tiene como finalidad el apoyo al Frente de avance que se encarga de la construcción como tal del túnel.

## 5.2 SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

En busca de asegurar la integridad de los procesos y facilidades en cualquier momento y lugar, se establece puntualmente dentro de la empresa:

- Cumplir con todas las leyes, instrucciones y normativas nacionales e internacionales a implementar programas y procedimientos para asegurar su cumplimiento.
- Minimizar los factores de riesgo y proteger a los empleados y las comunidades en donde se opere ampliando tecnologías seguras y procedimientos de operación adecuados.
- Emplear sistemas y procedimientos de manejo específicamente para prevenir eventos indeseados que pongan en peligro la vida humana, el medio ambiente o la propiedad
- Velar porque los estándares ambientales se cumplan como ingrediente clave en el entrenamiento y evaluación de desempeño e incentivos de todos los empleados.
- Proponer por minimizar la cantidad de sustancias tóxicas generadas y asegurar el tratamiento y disposición segura de los residuos.
- Comunicar nuestro compromiso en Salud Ocupacional, Seguridad Industrial y medio ambiente a los empleados, contratistas proveedores y clientes, solicitando su participación en la consecución de las metas propuestas.
- Buscar oportunidades para mejorar nuestro desempeño y reportar el progreso de los objetivos propuestos.
- Proporcionar para el desarrollo de esta política el tiempo y los recursos económicos que sean necesarios.

**Riesgos de los trabajadores.** Dentro de la programación de la Salud Ocupacional es indispensable presentar una metodología que permita el reconocimiento y la evaluación de los factores de riesgo. De esta manera, como parte del proceso de construcción del túnel se evaluó el panorama de riesgo de los trabajadores como se muestra en la tabla 6 y 7.

Tabla 6. Panorama de riesgo - Frente civil.

<b>FACTOR DE RIESGO</b>	<b>TIPO DE RIESGO</b>	<b>TIEMPO (Exposición diaria)</b>	<b>No. TRABAJADORES ESTIMADOS</b>
Equipos o herramientas que intervienen en la operación, como buldócer, retroexcavadora, volquetas, generadores, moto niveladoras y otras	Ruido: originado por las operaciones que puede generar Hipoacusia neurosensorial.	8 - 12 horas	58
Excavaciones, movimientos de máquinas, manejo de materiales, herramientas manuales.	Caídas, atrapamientos, lesiones menores, accidentes, muerte.	8-12 horas	58

<b>FACTOR DE RIESGO</b>	<b>TIPO DE RIESGO</b>	<b>TIEMPO (Exposición diaria)</b>	<b>No. TRABAJADORES ESTIMADOS</b>
Compresores, movimiento de equipos, operación de herramientas manuales, abrasivos, trabajos de soldadura, oxicorte, manejo de herramientas rotatorias, manejo de cargas forma mecánica y manual.	Ruido, vibraciones, ergonómicos, caídas, humos, metálicos, gases, inflamables y tóxicos, temperaturas extremas, explosiones, incendios, derrumbes, muerte.	8-12 horas	22

Tabla 7 Panorama de riesgo – Frente eléctrico.

<b>FACTOR DE RIESGO</b>	<b>TIPO DE RIESGO</b>	<b>TIEMPO (Exposición diaria)</b>	<b>No. TRABAJADORES ESTIMADOS</b>
Generadores, compresores, pulidoras, operaciones de cableado, ductos eléctricos, trabajos de altura, atmósfera inflamables.	Exposición a ruido, ergonómicos, choques eléctricos, caídas, traumatismos, explosiones, incendios.	8-12 horas	28



De acuerdo al factor de riesgo se emitieron las acciones correctivas y preventivas que permiten mejorar la calidad de vida laboral. Entre las recomendaciones y/ o normas de seguridad, se incluye el manejo de los equipos y uso obligatorio de elementos de protección personal (tabla 8), manejo adecuado de sustancias tóxicas y combustibles, entre otros.

Tabla 8. Elementos de protección personal.

<b>CASCO</b>	Protegerá a los trabajadores de los objetos que caen, descargas eléctricas, del choque con salientes o con los mismos equipos o estructuras de construcción, su empleo es de uso OBLIGATORIO en todos los frentes de la obra
<b>GAFAS DE SEGURIDAD</b>	Protegen los ojos de partículas proyectadas en trabajos como: pintura, polvos, humos, etc. Son de uso OBLIGATORIO.
<b>CALZADO DE SEGURIDAD</b>	Los zapatos de protección deberán tener las suelas antideslizantes y una puntera o platina de acero, para proteger los pies de impactos y caídas de objetos sobre estos. Son de uso OBLIGATORIO.
<b>PROTECCIÓN AUDITIVA</b>	Protegerán al trabajador evitando que disminuya su capacidad auditiva, estos protectores serán de inserción y sobre estos irán lo de copa cubriendo todo el oído, en trabajos específicos. Serán de uso OBLIGATORIO en la zona de compresores.
<b>CARETAS</b>	Se encargan de cubrir la cara del empleado en trabajos donde se proyecten partículas a altas velocidades, como en los trabajos de esmeril, soldadura o manejo de ácidos, también se utilizarán cuando se realice pintura con compresor.
<b>GUANTES</b>	Cubrirán la manos y serán de varios tipos de acuerdo al tipo de trabajo
<b>CINTURON DE SEGURIDAD</b>	En todos los trabajos de altura serán de uso OBLIGATORIO y sean en andamios. Adicionalmente irán acompañados de líneas de vida sujetas a las estructuras sólidas, no a los andamios
<b>OVEROL DE TRABAJO</b>	Para todos los trabajadores en obra serán necesarios, el conjunto en dril, camisa y pantalón, también estarán dotados de impermeables y chalecos reflectivos para los trabajadores nocturnos si se requiere, es de uso OBLIGATORIO el chaleco reflectivo para todos los trabajos en la vías para todo el personal involucrado en esta actividad.

Cuentan con normas adicionales relacionadas a permisos de trabajo, regulaciones de transito, consumo de sustancias alucinógenas, relaciones personales, uso de documentos (carnet y cedula), señalización de la obra y campamentos.

Para el desarrollo de las capacitaciones, se realizan jornadas para el personal tratando temas tales como:

- Cumplimiento de políticas establecidas
- Procedimientos y normas de seguridad: abordando temas del adecuado uso y manejo de elementos, instalaciones, maquinaria, dotación y equipo.
- Manejo adecuado de sustancias toxicas y combustibles.
- Normas y procedimientos seguros de trabajo (capacitaciones permanentes)

Teniendo en cuenta estos aspectos la principal actividad, enfocada a la seguridad industrial y salud ocupacional, es la realización charlas diarias por parte de los ingenieros encargados del personal designado para cada actividad ejecutada en la construcción del túnel de Daza; En donde se da a conocer las políticas de la empresa a los trabajadores y las normas de seguridad que se deben llevar a cabo en las diferentes actividades.

Además los ingenieros de la empresa llevan cabo un monitoreo, seguimiento y verificación, de que los empleados cumplan con las normas de seguridad exigidas con la utilización de los elementos de protección personal y la realización de procedimientos seguros para cada actividad requerida en la construcción del túnel.

La oficina técnica estuvo a cargo de la seguridad industrial del personal que realizo las actividades de:

- Construcción del acueducto de Juanoy.
- Instalaciones planta trituradora.
- Construcción del Portal Sur.

Figura 19. Fotografía de personal de la empresa empleando sus dotaciones y los elementos de protección personal.



### 5.3 CONSTRUCCION DEL TÚNEL DE DAZA

A continuación se describen los procesos que el Consorcio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza escogió para la realización de esta construcción.

**5.3.1 Procesos técnicos.** Los procesos técnicos se refieren al conjunto de procedimientos y recursos empleados para la construcción del Túnel. Estos se resumen a continuación describiendo actividades realizadas durante el desarrollo de los objetivos planteados por este proyecto de grado en la oficina técnica del proyecto.

**5.3.1.1 Rasante.** Se identifica y realiza el diseño de la línea del proyecto por parte de la concesión, el que es entregado a la oficina técnica del proyecto donde se especifica línea rasante, coordenadas, cotas, peraltes y pendientes, información con la cual se da la localización de la zona donde se construye el proyecto. Se localizan como actividades validas para esta pasantía los portales, accesos y campamentos. Con lo cual se dio inicio al diseño de taludes, manejo de agua, diseño de emboquillado y accesos.

Esta información es manejada por la oficina técnica quien realiza el procesamiento de la información verificando los datos recibidos, digitalizando las coordenadas recibidas y entregando información correspondiente a la comisión de topografía encargada de llevar la información a campo.

**5.3.1.2 Topografía.** Previo y durante la etapa de construcción se lleva a cabo un reconocimiento del terreno realizado por la oficina técnica de la empresa, que inicia con comisión de topografía quien se encarga de la toma de puntos en terreno.

Como se explica a continuación en desarrollo de uno de los objetivos planteados por este proyecto donde se plantea la digitalización de la construcción del portal de ingreso, Portal sur ubicado en el sector la Merced de Aranda de la ciudad de Pasto, que inicio su construcción en el mes Noviembre de 2010 con la actividad de descapote y terminó con el inicio de la excavación subterránea el día 19 de Diciembre de 2010.

Con la finalización de la excavación del portal se realiza el levantamiento topográfico, por parte de la comisión encargada del portal sur, quienes suministran las coordenadas este, norte y cota, a la oficina técnica quien realiza la digitalización de la información.

Se reciben 229 puntos topográficos tomados el 27 de diciembre de 2010, con los cuales se digitaliza la topografía resultante de la excavación y se realiza el

modelamiento de las curvas de nivel por medio de la herramienta de AutoCAD Civil 3D Land Deskopt 2009; el cual queda consignado en el plano de movimiento de tierra bajo el nombre del archivo TD-MT-PS-001 realizado el 15 de enero de 2011.

**5.3.1.3 Diseño de portales y de excavación a cielo abierto.** Teniendo en cuenta la topografía de la zona y líneas de pendiente de la rasante se realiza el diseño de portales y taludes, y se dan los límites de cortes a la comisión de topografía para ser llevados a terreno y se determina volúmenes de movimiento de tierra por medio del procesamiento de los datos en Autocad Civil 3d Land como parte de las actividades planteadas por esta pasantía.

**5.3.1.4 Instalaciones.** Se diseña por parte de la oficina técnica, dirección del frente y la residencia las instalaciones para oficinas, casino, almacén, subestación eléctrica, taller de mantenimiento y taller de producción de arcos y soldadura, además del diseño de la servidumbre eléctrica, bocatoma y conducción de agua.

**5.3.1.5 Zona de depósito.** Se realiza por parte de la oficina técnica el diseño y ubicación de una zona de depósito, donde se dispone el material procedente de excavaciones en corte abierto, así como también los materiales procedentes de excavaciones subterráneas. El diseño tuvo en cuenta el manejo de aguas, conformación con taludes exteriores, protecciones superficiales y obras para el manejo de aguas superficiales, de acuerdo con el Plan el de Manejo Ambiental de la concesión.

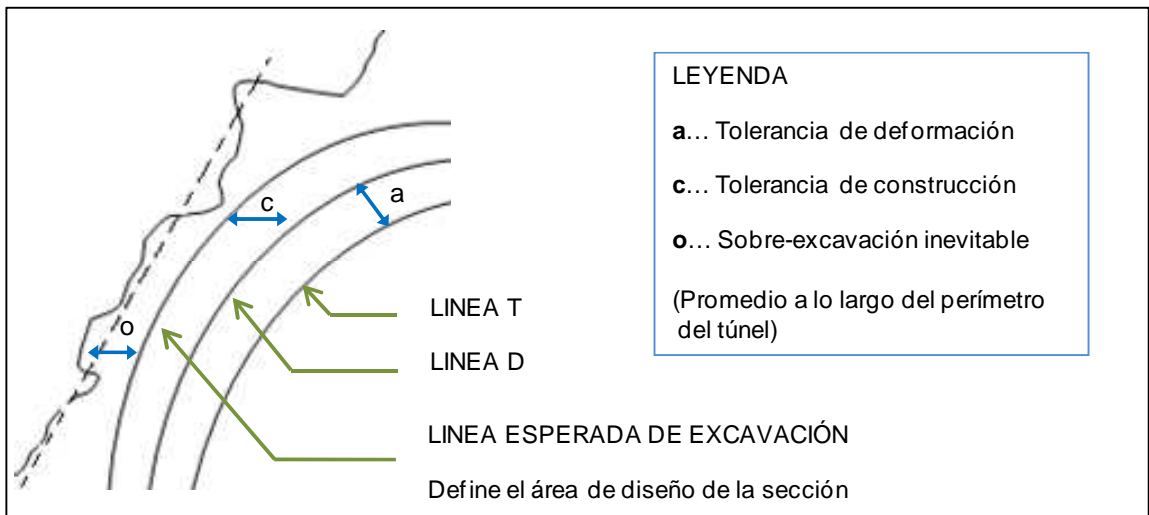
#### **5.3.1.6 Definición del Perfil de excavación.**

Los siguientes pasos y procedimientos son descritos basados en las especificaciones técnicas del proyecto y la experiencia vivida en el proyecto en la realización, modificación y distribución de planos utilizados para la construcción.

- a. El perfil de excavación indicado en los planos (sección transversal del túnel) se refiere al perfil teórico definida como Línea T (ver Fig. 20)
- b. Dependiendo de la calidad de la masa rocosa, se hace una ampliación apropiada del perfil teórico de excavación, para proveer suficiente espacio para las deformaciones radiales y las tolerancias de construcción.
- c. La línea de excavación definida como línea D (ver Fig. 20), considera las tolerancias para compensar la deformación radial "a" para las diversas clases de masas rocosas. Los valores consignados en los planos se ajustan para adaptarse a las deformaciones reales a medida que se obtiene experiencia durante la excavación.

- d. La línea D representa el perfil mínimo de excavación. En general, la roca no sobresale de esta línea en el momento de la excavación.
- e. Se garantiza el perfil definido por la línea D, ejerciendo un cuidadoso control de las perforaciones y variando los diferentes elementos de las voladuras.
- f. Para mantener el perfil de la excavación definido por la línea D, se tiene en cuenta una tolerancia constructiva para la excavación distancia determinada por la gerencia previo diseño de arcos en celosía, y la instalación del sistema de soporte (montaje de los arcos de acero y colocación del concreto lanzado con malla electrosoldada), como la muestra la siguiente figura:

Figura 20. Definición de tolerancias para la deformación



**5.3.1.7 Sección transversal proyecto.** Uno de los procesos técnicos más importantes en la oficina técnica es la definición de sección trasversal del túnel que delimita los perfiles de excavación, además de los diferentes tipos de soporte, como metálicos, concreto lanzado y pernos.

Esta sección transversal se realiza teniendo en cuenta los requerimientos de la vía compuesta por dos carriles de 3.65, dos bermas de 0.35 m, dos andenes de 1 m y galibo de 4,90 m.

Información que junto a la distancia de deformación permiten formar geoméricamente la sección requerida para este túnel.

**5.3.1.8 Clasificación de terreno.** La secuencia de los trabajos de excavación, de colocación de soporte y revestimiento depende de las condiciones del terreno que se encuentre, razón por la cual se realizó una clasificación de los diversos tipos de terreno con base en los siguientes parámetros tomados de las especificaciones técnicas del proyecto:

- Descripción del terreno incluyendo litología, grado de fracturamiento y estratificación.
- Descripción del comportamiento del terreno bajo las condiciones de excavación y soporte.
- Influencia del agua de infiltración en el comportamiento del terreno.
- Descripción de la secuencia de excavación y soporte.

A continuación se describen los tipos de terreno de acuerdo a los parámetros anteriores:

#### ***Terreno Tipo I***

Esta clasificación corresponde a macizos estables, poco fracturados, bien cementados, donde se avanza la excavación del túnel sin necesidad de colocar ningún tipo de soporte en el frente de excavación, diferente al que se pueda requerir por seguridad y para estabilizar bloques aislados. Las filtraciones se pueden concentrar a lo largo de facturas abiertas, que aún cuando no afectan significativamente la estabilidad de la excavación, se controlan para minimizar los empujes hidrostáticos sobre bloques de roca potencialmente inestables. (Consortio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza, 2009)

#### ***Terreno Tipo II***

Esta clasificación corresponde a macizos modernamente fracturados a fracturados y sanos. En este tipo de terreno tienden a presentarse, con el tiempo, desprendimientos al abrirse discontinuidades por efecto de la redistribución de esfuerzos o por alteración de los materiales de relleno a lo largo de las discontinuidades, también la roca al meteorizarse o al perder cementación más rápidamente o al entrar en contacto con el aire o el agua, por lo cual se requiere la protección oportuna de las superficies expuestas. (Consortio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza, 2009)

#### ***Terreno Tipo III***

Este tipo de terreno corresponde a macizos meteorizados o de baja resistencia. Por el carácter no consolidado de estos terrenos y por su baja resistencia en relación con los esfuerzos actuantes, se genera una zona de desconfinamiento alrededor de la excavación pudiendo producir empujes ligeros a moderados del terreno. (Consortio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza, 2009)

Las infiltraciones, aun siendo de caudal moderado, aumentan significativamente la magnitud y frecuencia de los desprendimientos y en el caso de lutitas y limolitas podrían desencadenar presión de expansión, por lo cual deben ser controladas inmediatamente. (Consortio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza, 2009)

#### ***Terreno Tipo IV***

Este tipo de terreno corresponde a macizo muy fracturado y meteorizado de consistencia media a blanda. Por el carácter no consolidado de estos terrenos y por su baja resistencia en relación con los esfuerzos actuantes, se genera una zona de desconfinamiento de ancho considerable alrededor de la excavación, llegando a producir empujes importantes del terreno con deformaciones de magnitud significativa, que deben ser minimizadas mediante el empleo de un soporte flexible, ocasionalmente complementando con la instalación de sistemas de soporte especiales y la implementación de solera curva, para evitar el desconfinamiento de la masa. (Consortio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza, 2009)

Las infiltraciones, aún siendo de baja magnitud, pueden tener un efecto desfavorable e importante sobre el comportamiento de la excavación, pues intensifican la frecuencia y el volumen de los desprendimientos al promover el arrastre de material en presencia de estratos friables, por lo tanto deben controlarse inmediatamente. (Consortio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza, 2009)

#### ***Terreno Tipo V***

Este tipo de terreno corresponde a zonas altamente sobre esforzadas y a macizos presionantes (squeezing). Por el carácter no consolidado de estos terrenos y por su baja resistencia en relación con los esfuerzos actuantes, se genera una zona de desconfinamiento de ancho considerable alrededor de la excavación, y se pueden llegar a producir empujes importantes del terreno con deformaciones de magnitud significativa, que deben ser minimizadas mediante el empleo de un soporte rígido implementando una solera curva para evitar el desconfinamiento de la masa. Por los desprendimientos de volumen considerable que se podrían presentar debido al bajo tiempo de auto soporte, en este tipo de terreno se requiere de un presoposte antes de avanzar con la excavación. (Consortio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza, 2009)

Las infiltraciones, aún siendo de caudal bajo pueden tener un efecto desfavorable e importante sobre el comportamiento de la excavación, pues intensifican la frecuencia y el volumen de los desprendimientos al promover el arrastre de material, y por lo tanto deben controlarse inmediatamente. (Consortio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza, 2009)

### **Terreno Tipo VI – Portales**

Este tipo de terreno corresponde a depósitos de coluvión y suelos residuales de consistencia blanda a muy blanda. Por el carácter no consolidado de estos terrenos y por su baja resistencia en relación con los esfuerzos actuantes, se genera una zona de desconfinamiento de ancho considerable alrededor de la excavación y se pueden llegar a producir empujes del terreno, con deformaciones de magnitud significativa, que deben ser minimizadas mediante el empleo de un soporte rígido, para evitar el desconfinamiento de la masa. Por los desprendimientos de volumen considerable que se podrían presentar debido al bajo tiempo de autosoporte, en este tipo de terreno se requiere de un pre-soporte para avanzar con la excavación. (Consortio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza, 2009)

Las infiltraciones, aún siendo de baja magnitud, pueden tener un efecto desfavorable e importante sobre el comportamiento de la excavación, pues intensifican la frecuencia y el volumen de los desprendimientos al promover el arrastre de material, y por lo tanto deben controlarse inmediatamente. (Consortio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza, 2009)

**5.3.1.9 Excavación.** Existen dos métodos de excavación que fueron realizados en la construcción del túnel.

- **Excavación manual o mecánica.** Cuando las condiciones del terreno así lo requiera, se emplea métodos manuales o mecánicos de excavación, para esta obra la excavación mecánica se lleva a cabo por medio de una excavadora Doosan S225LCCV que hace uso de la pala y el martillo hidráulico realiza este trabajo en el frente, estos avances son utilizados para terrenos tipo IV, V y VI. Básicamente este proceso se llevo a cabo en la parte inicial de la excavación subterránea donde se encuentra material con baja resistencia y en zonas esporádicas donde el material se presentaba arcilloso o zonas de falla.

Para este tipo de excavación la topografía orienta la excavación respetando la línea de excavación deseada.

~ **Perforación y voladura.** Este tipo de excavación se llevó a cabo con el equipo de perforación denominado Jumbo (rocket boomer E2C de Atlas Copco) equipo que es el encargado de realizar la barrenación.

Esta barrenación es programada desde oficina técnica, incluyendo en el equipo datos de posición, longitud, orientación y diámetro de cada barreno requerido para realizar la voladura; Actividad realizada por el pasante en desarrollo de uno de los objetivos de esta pasantía, actividad que se explica en el numeral 9.4 de este trabajo.



Los diseños de los diagramas de perforación son realizados de acuerdo a los requerimientos dados por la dirección del proyecto y atendiendo las necesidades del frente. Con apoyo de los reportes de perforación realizados por la oficina técnica, y teniendo en cuenta el tipo de terreno, se optimizaron los diagramas y por ende, los tiempos de barrenación y las voladuras realizadas en el túnel.

Previa realización del diagrama de perforación, se realiza un diagrama de carga por parte de la dirección de frente y la residencia del proyecto, quienes son los encargados realizar el cálculo de la densidad, distribución y de la secuencia de carga.

**5.3.1.10 Secuencia de excavación e instalación de soporte.** Esta secuencia depende del tipo de terreno que se encuentre en el túnel, a continuación se describen los métodos teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del proyecto en la clase de terreno que podría encontrarse al momento de la excavación; cabe recordar que todos los procedimientos realizados dentro de la construcción del túnel dependerán del terreno y las características que presenten lo que puede llevar a modificaciones en las generalidades que se exponen a continuación:

#### ***Terreno Tipo I***

- ~ Excavación a sección completa en avances superiores a 3m. Aplicación de una capa de concreto lanzado hasta de 0.03 m de espesor, donde se requiera.
- ~ Instalación de pernos localizados, donde se requiera. Los pernos se instalan con resina en caso de que se presenten infiltraciones por las perforaciones o se requiera que trabajen inmediatamente para el estabilizar bloques aislados.
- ~ Se deben colocar dos pares de puntos para instrumentación cada 25 m.

#### ***Terreno Tipo II***

- ~ Excavación a sección completa en avances comprendidos entre 2.51 y 3 m, sin exceder el límite superior indicado.
- ~ Inmediatamente después de cada avance, se procede con la aplicación de una primera capa de concreto lanzado con fibra de 0.05 m de espesor. Se deben colocar dos pares de puntos para instrumentación cada 20 m, tal como se muestra en los planos.
- ~ Después de excavados tres avances, se procede con la instalación de los pernos localizados o siguiendo la distribución mostrada en los planos. Los pernos

deben ser instados con resina en caso de que se presenten infiltraciones por las perforaciones o se requiera que trabajen inmediatamente para estabilizar bloques aislados.

### ***Terreno Tipo III***

- ~ En caso de que el pre-soporte se haga necesario, se instalan pernos hacia delante de 4 de longitud, o mayor, con mortero o lechada empleando acelerantes de fraguado.
- ~ Los pernos deben instalarse con resina en caso de que se presenten infiltraciones por las perforaciones o se requiera que trabajen inmediatamente para estabilizar bloques aislados.
- ~ Ocasionalmente se aplica una capa de concreto lanzado sin fibra en el frente de excavación para minimizar el deterioro de la superficie por efectos de la alteración al estar en contacto con el agua o en aire.
- ~ En caso de que se evidencie desprendimiento de bloques que comprometan la seguridad en el frente de excavación, se realiza instalación localizada de malla electrosoldada después de cada avance, seguida de la aplicación de una primera capa de concreto lanzado reforzado con fibra de 0.05 m de espesor.
- ~ Colocación de los arcos de acero en celosía según se muestra en los planos. Aplicación de una segunda capa de concreto lanzado reforzado con fibra de 0.05 m de espesor o superior hasta cubrir los arcos metálicos.
- ~ Instalación de los pernos radiales en la clave del túnel, siguiendo la distribución mostrada en los planos.
- ~ Se colocan un par de puntos para instrumentación cada 10 m.
- ~ Excavación de la segunda inferior en avances máximos de 6 m. En la sección inferior el soporte es colocado siguiendo la misma secuencia anteriormente descrita para la succión superior. En caso de encontrar material instalable esta distancia y/o los tiempos de instalación del soporte podrán ser modificados.
- ~ En caso de que se requiera se construirá solera curva.

### ***Terreno Tipo IV***

En esta clasificación de terreno, se debe emplear el soporte Tipo IV. La excavación en este tipo de terreno se realiza probablemente en tres etapas: sección superior, sección inferior y sección solera si se requiere. La sección superior tendrá una altura máxima de 5.5 m y se excavará en avances

comprendidos entre 1 y 1.2 m, sin exceder el límite superior indicado. La excavación de la sección solera se hará en los avances no mayores de 5 m.

Dependiendo del grado de estabilidad observado durante construcción, podrá ser necesario realizar la excavación de las diferentes secciones en sub etapas.

Por los desprendimientos que se pueden presentar debido al bajo tiempo de auto soporte, el avance de la excavación en este tipo de terreno puede requerir de un pre-soporte con pernos.

La secuencia de excavación e instalación del soporte deberá ser como sigue:

- ~ En caso de que el pre-soporte se haga necesario, se instalaran pernos hacia adelante de 4 m de longitud, o superior, con mortero o lechada empleando acelerantes de fraguado. No se permitirá que los pernos hacia adelante tengan una longitud menor de 1 m dentro de la roca en proyección horizontal desde el frente de excavación, con el fin de lograr un traslapo de esta magnitud entre abanicos consecutivos. El número y localización definitivos de este tipo de pernos se dará según las condiciones del sitio.
- ~ Los pernos radiales se deberán instalar con resina en caso de que se presenten infiltraciones por las perforaciones o se requiera que trabajen inmediatamente para estabilizar bloques aislados.
- ~ El avance por ciclo en la sección superior podrá variar entre 1.0 y 1.2 m dependiendo del comportamiento del terreno y su auto-soporte, siempre y cuando el arco a instalar quede en el frente de excavación.
- ~ Ocasionalmente se deberá aplicar una capa de concreto lanzado sin fibra en el frente de excavación para minimizar el deterioro de la superficie por efectos de alteración al estar en contacto con el agua o al aire.
- ~ En caso de que se evidencie el desprendimiento de bloques que comprometan la seguridad en el frente de excavación, se ordena la instalación localizada de malla electrosoldada después de cada avance.
- ~ Inmediatamente después de cada avance, se procederá con la aplicación de una primera capa de concreto lanzado reforzado con fibra de 0,05 de espesor y colocación de arcos de acero en celosía según se muestra en los planos.
- ~ Aplicación de una segunda capa de concreto lanzado reforzado con fibra de 0.05 m de espesor o superior hasta cubrir los arcos metálicos.

- ~ Instalación de los pernos radiales en la clave del túnel, siguiendo la distribución mostrada en los planos.
- ~ Se debe colocar un par de puntos para instrumentación cada 6 m, tal como se muestra en los planos.
- ~ Excavación de la sección inferior en avances máximos de 4 m, en esta sección el soporte deberá ser colocado siguiendo la misma secuencia anteriormente descrita para la sección superior.
- ~ Si se requiere, después de instalada la totalidad del soporte en las secciones superior e inferior, una tercera capa de concreto lanzado sin fibra de 0.03 m de espesor.
- ~ Se debe tener en cuenta que la capa que quedara en contacto con la membrana impermeabilizante no deberá ser forzada con fibra metálica; por lo tanto, de no requerirse la ultima capa de concreto lanzado.
- ~ Construcción de la solera curva en concreto convencional.
- ~ Si los desplazamientos de las paredes y los levantamientos de la solera lo requieren se instalan pernos localizados en dicha solera y/o reducir el tiempo. Esa operación deberá hacerse por tramos cuya longitud no podrá exceder los 10.0 metros.

### ***Terreno Tipo V***

La secuencia de la excavación e instalación del soporte deberá ser como sigue:

- ~ Instalación de un abanico pernos hacia adelante de 4 m de longitud con mortero o lechada. No se permitirá que los pernos hacia adelante tengan longitud menor de 1 m dentro de la roca en proyección horizontal desde el frente de excavación con el fin de lograr un traslapo de esa magnitud entre abanicos consecutivos. El número y localización definitivos de este tipo de pernos será según las condiciones del sitio.
- ~ Los pernos radiales se instalan con resina en caso de que se presenten infiltraciones por las perforaciones o se requiera que trabajen inmediatamente para estabilizar bloques aislados.
- ~ En caso de que se requiera se instala un abanico de micropilotes (en reemplazo de los pernos) en las zonas horarias 10 a 2, pudiendo o no estar, inyectados a manera de pre-soporte, podrán tener hasta 12m de longitud y una separación radial será de 0.4 a 0.45 m. Los micropilotes podrán tener una menor longitud pero

siempre deberán tener como mínimo 1.5 m más que la longitud por excavar. Así mismo cuando los micropilotes solo tengan 1.5 m por delante del frente de excavación se deberá instalar un nuevo abanico con el fin de que exista un traslape longitudinal de esta magnitud entre abanicos consecutivos.

- ~ El avance por ciclo en la sección superior podrá variar entre 0.5 m y 1.0 m dependiendo del comportamiento del terreno y su auto-soporte, siempre y cuando el arco a instalar quede en el frente de excavación.
- ~ Se aplica, si se requiere, una primera capa de concreto lanzado sin fibra en el frente de excavación inmediatamente después de cada avance, para minimizar el deterioro de la superficie por efectos de alteración al estar en contacto con el agua o el aire.
- ~ En caso de que se evidencie el desprendimiento de bloques que comprometan la seguridad del frente de excavación, se instala malla electrosoldada después de cada avance.
- ~ Inmediatamente después de cada avance, se procederá con la aplicación de una primera capa de concreto lanzado reforzado con fibra de 0,12 m de espesor.
- ~ Colocación de arcos de acero en celosía según se muestra en los planos.
- ~ Aplicación de una segunda capa de concreto lanzado reforzado con fibra de 0.1 m de espesor o superior hasta cubrir los arcos metálicos.
- ~ Instalación de los pernos en la clave del túnel, siguiendo la distribución mostrada en los planos.
- ~ Se coloca un par de puntos para instrumentación cada 6 m, tal como se muestra en los planos.
- ~ Excavación de la sección inferior en avances máximos de 4m.
- ~ En la sección inferior el soporte es colocado siguiendo la misma secuencia anteriormente descrita para la sección superior.
- ~ Si se requiere, después de instalada la totalidad del soporte en las secciones superior e inferior, se aplicara una tercera capa de concreto lanzado sin fibra de 0.05 m de espesor.
- ~ Se debe tener en cuenta que la capa quedara en contacto con la membrana impermeabilizante no deberá ser reforzada con fibra metálica; por lo tanto, de no requerirse la última capa de concreto lanzado.

- ~ Construcción de la solera curva en concreto convencional entre los 20 y 60 días después de realizar la excavación de la sección superior. Si los desplazamientos de las paredes y los levantamientos de la solera lo requieren se instalan pernos localizados en dicha solera y/o reducir el tiempo para su construcción. Esta operación se hace por tramos cuya longitud no exceda los 10.0 m.

### ***Terreno Tipo VI – Portales***

Para los emportalamientos se emplea el Soporte Tipo VI- Portales, la excavación en este tipo de terreno se realiza al menos en dos etapas: sección superior e inferior. La sección superior con una altura no inferior a 5.5 m y se excava en avances máximos de 1m.

Por los desprendimientos de volumen considerable que se puedan presentar debido al bajo tiempo de auto-soporte, en este tipo de terreno se requiere de un pre-soporte con micropilotes para avanzar con la excavación.

La secuencia de excavación e instalación del soporte como sigue:

- ~ Instalación de un abanico de micropilotes a manera de pre-soporte según lo indicado en los planos. Los micropilotes podrán tener hasta 12 m de longitud y una separación radial de 0.3 m y 0.45 m, así mismo los abanicos con una separación de 0.25 m entre sí. Los micropilotes podrán tener una menor longitud pero siempre como mínimo 1.5 m más que la longitud por excavar. Adicionalmente cuando los micropilotes solo tengan 1.5 m por delante del frente de excavación instalan nuevos abanicos con el fin de que exista un traslapo longitudinal de esta magnitud entre abanicos consecutivos.
- ~ En caso de que se requiera se instala un segundo abanico de micropilotes intercalado y dispuesto a una distancia transversal de máximo 0.25 m del anterior.
- ~ El avance por ciclo en la sección superior puede variar entre 0.5 y 1.0 m dependiendo del comportamiento del terreno de su auto-soporte, siempre y cuando el arco a instalar quede en el frente de excavación.
- ~ En caso de que se evidencie el desprendimiento de bloques que comprometan la seguridad en el frente de excavación, se instala malla electrosoldada y después de cada avance.
- ~ Aplicación de una primera capa de concreto lanzado reforzado con fibra de 0,05 a 0.10 de espesor.
- ~ Colocación de arcos de acero en celosía.

- ~ Después de la colocación de los arcos, se procede con la aplicación de una segunda capa de concreto lanzado reforzado con la fibra de 0.10 m de espesor o superior hasta cubrir los arcos metálicos.
- ~ Se debe colocar un par de puntos para la instrumentación de cada 5 m, tal como se muestra en los planos.
- ~ Excavación de la sección inferior en avances máximos de 4 m.
- ~ En la sección inferior el soporte es colocado siguiendo la misma secuencia anteriormente descrita para la sección superior.

**5.3.1.11 Secciones del túnel.** Una de las principales funciones diarias de la oficina técnica fue la realización de secciones del túnel, en donde se efectúa la excavación, concreto lanzado, arcos y chequeos.

La información recibida por la oficina técnica por parte del equipo de topografía consiste en distancia y ángulos (ver tabla 9).

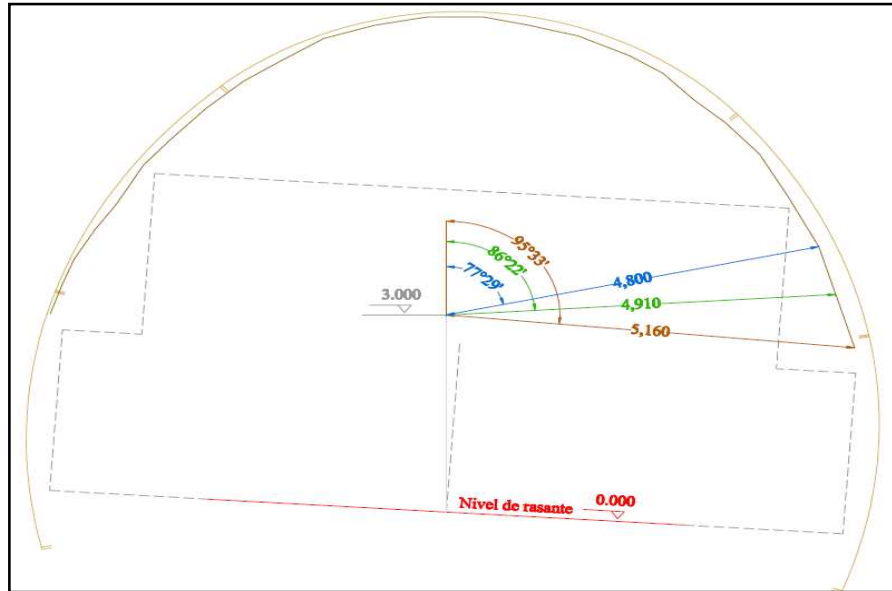
Tabla 9. Información topográfica de la sección.

Abscisa	Arco	Fecha	Tipo arco	Terreno	observación			1		2		3	
						X	Y	dist	ang	dist	ang	dist	ang
20140.60	1	21/10/2009	0	suelo	Enfilaje 1	0	3	5.16	95.33	4.91	86.22	4.80	77.29
20140.00	2	05/11/2009	0	suelo	Enfilaje 1	0	3	5.1	92.26	4.95	85.57	4.73	72.13
20139.30	3	21/10/2009	1	suelo	Enfilaje 1	0	3	5.05	86.28	5.05	86.28	4.82	70.47

En la tabla 9 se encuentra información que identifica la sección inicialmente por la abscisa correspondiente, así como también por el número secuencial de arcos instalados, la fecha de excavación, tipo de terreno y observaciones realizadas a la sección.

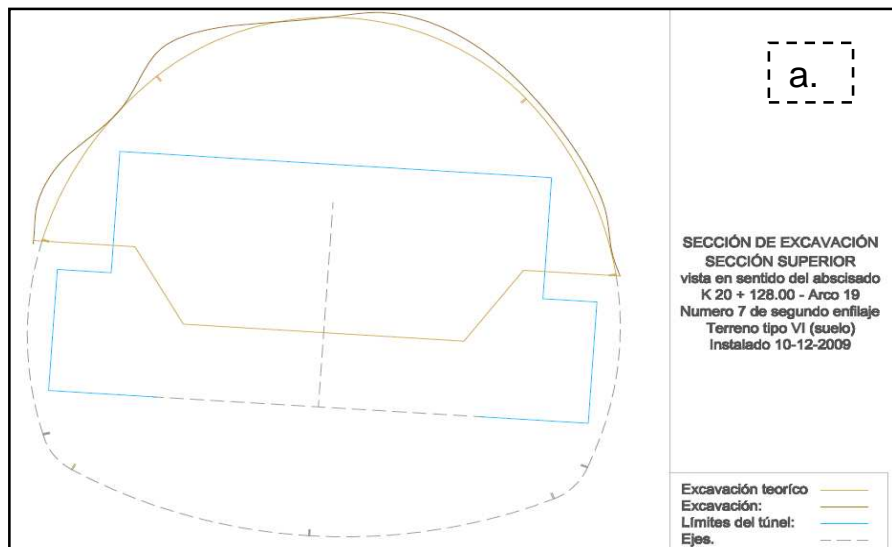
Adicionalmente se da referencia a un punto, con coordenadas X y Y, que sirven para la digitalización, estos datos fueron digitalizados en AutoCAD teniendo como punto de origen de la digitalización, 3 metros sobre el eje de la rasante; además en esta tabla se encuentran los puntos que forman la sección por medio de ángulos y distancias. Como se muestra a continuación con los datos del arco numero 1 tomados de la tabla 9.

Figura 21. Digitalización en AutoCAD del arco numero 1.

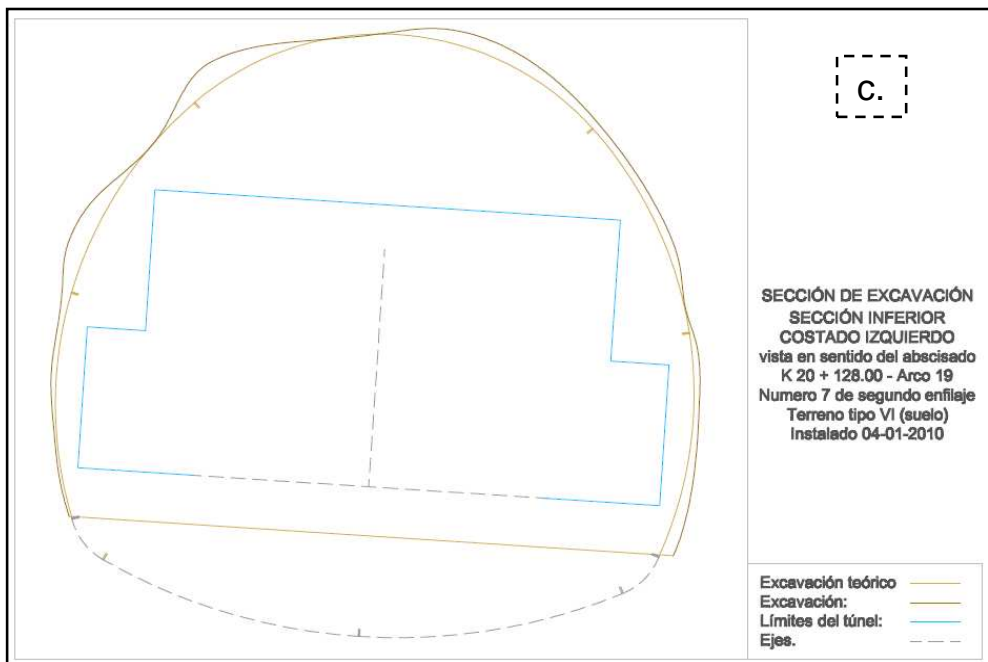
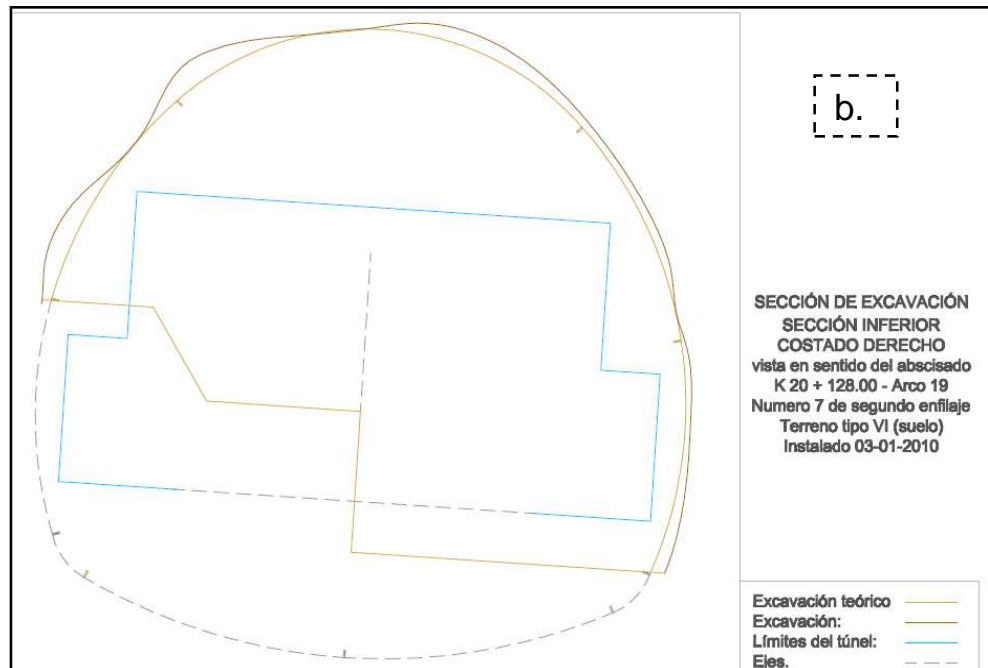


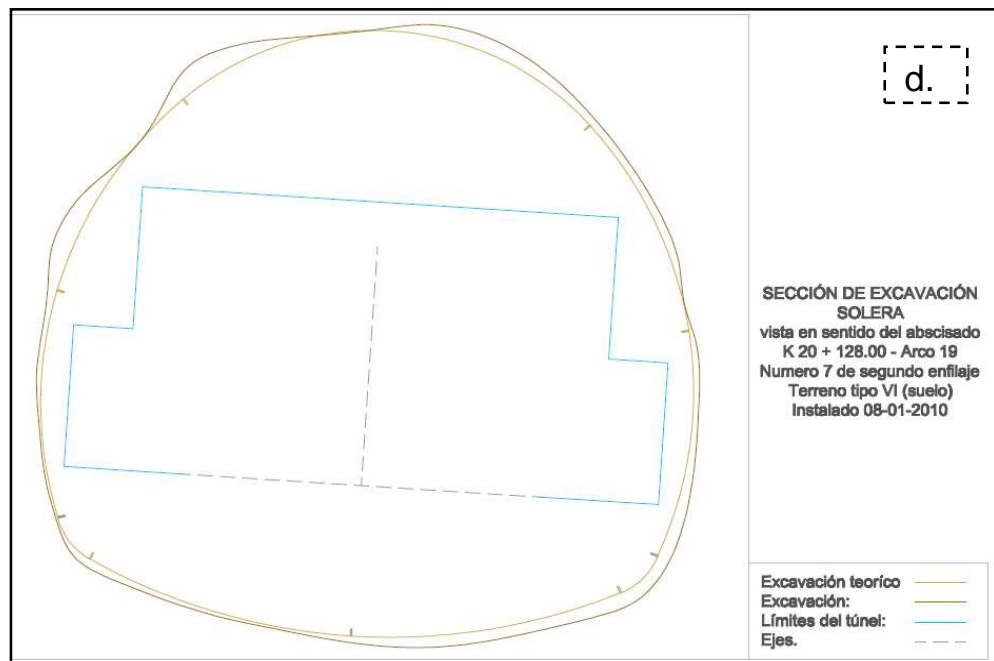
**Secciones de excavación:** Muestran el resultado de la excavación realizada por el frente de trabajo antes de la aplicación del concreto lanzado. Teniendo en cuenta el ciclo de excavación (como se muestra en la figura 22), la sección superior se excavo primero figura 22.a, seguida de la sección inferior por el costado derecho figura 22.b, luego con la excavación del costado izquierdo figura 22.c y finalmente con la construcción de la solera curva figura 22.d.

Figura 22. Ciclo de excavacion.



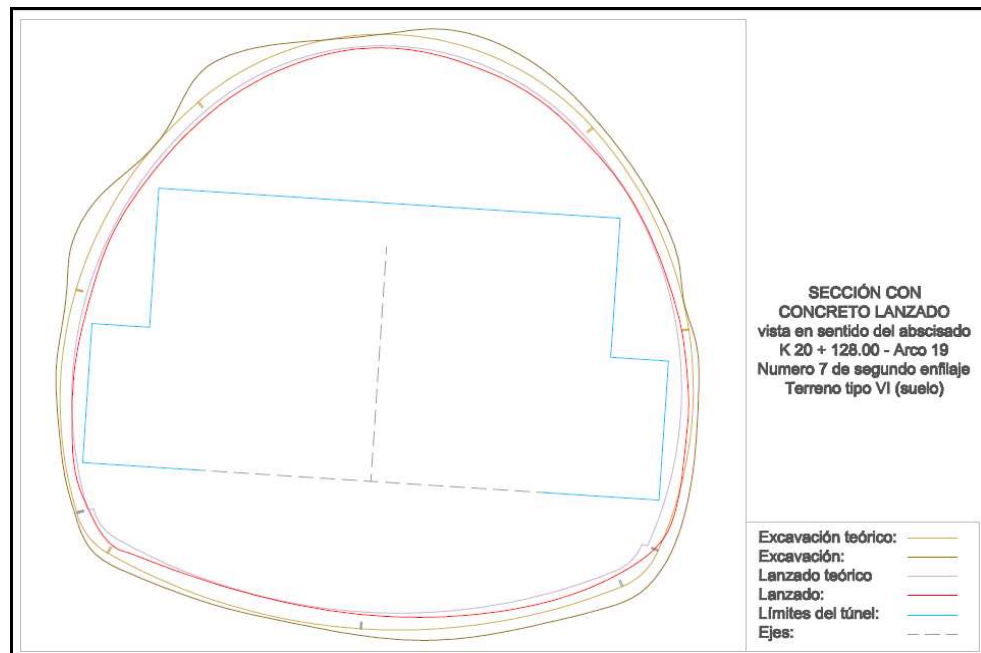






**Secciones de lanzado:** Muestran el resultado de la sección posterior a la instalación del arco y aplicación del concreto lanzado.

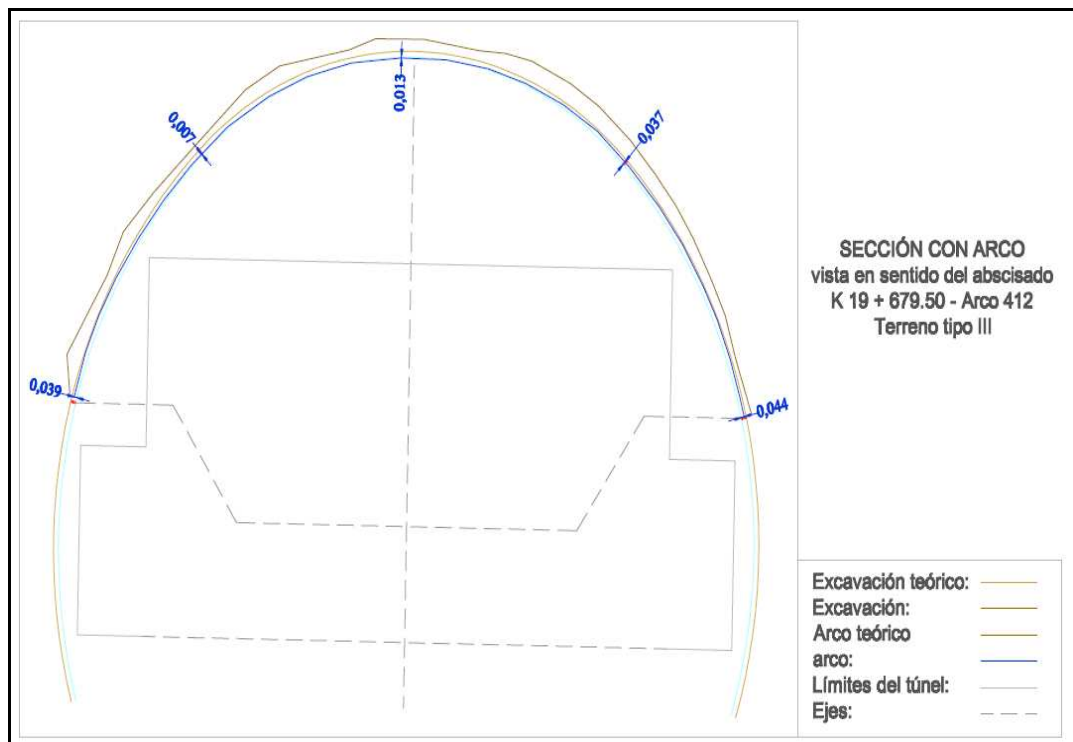
Figura 23. Sección con concreto lanzado.



**Secciones de arcos:**

Como parte del proceso de fabricación e instalación de arcos se realizó un seguimiento al comportamiento de los arcos tanto en producción como al instalarse, estas Secciones de chequeo tomadas por la topografía muestran el comportamiento final de los arcos, en estas secciones se acota las diferencias existentes entre la ubicación real del arco y la posición teórica del arco en metros, teniendo en cuenta que los arcos al instalarse dependen de la excavación realizada.

Figura 24. Sección con arco

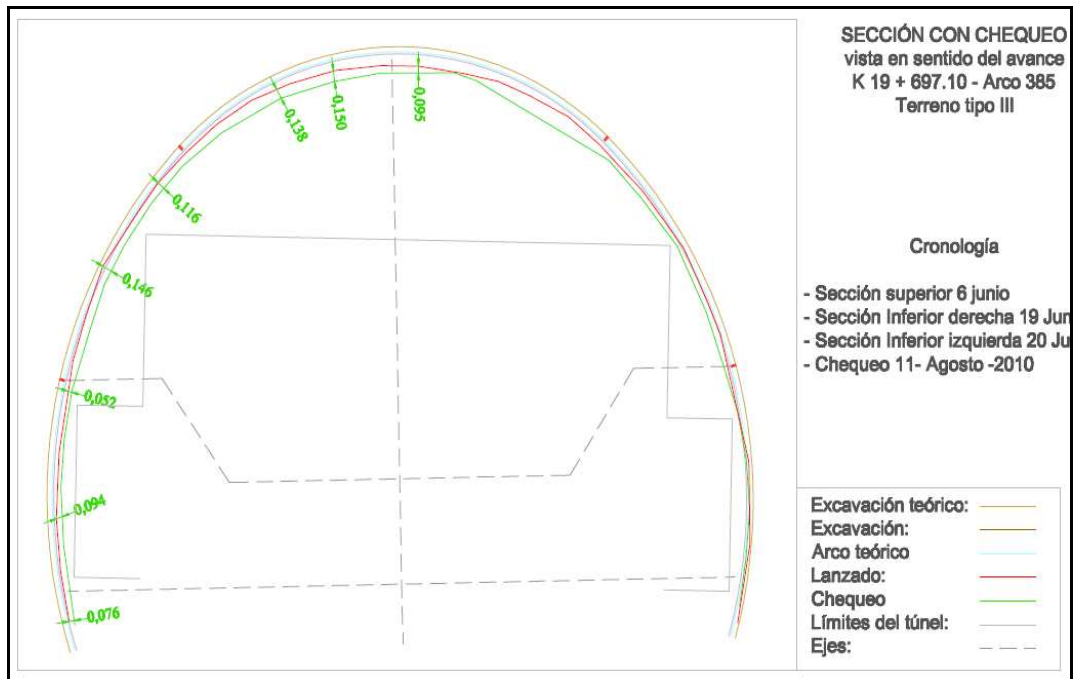


**Secciones de chequeo:**

Son secciones que nos permitieron observar posibles movimientos del terreno que siendo registrados por las estaciones de convergencia ubicadas dentro del túnel. En estas secciones se acota el desplazamiento que ha tenido el terreno posterior al lanzado.

Las secciones fueron realizadas para todos los avances y fueron entregadas a la dirección de la oficina técnica para su revisión y posteriormente entregadas a la dirección del frente. (Ver anexo 2).

Figura 25. Secciones de chequeo



**5.3.1.12 Arcos.** Como se describió anteriormente, Para cada avance realizado en el frente de trabajo, es requerido un arco en celosía como elemento de soporte, fabricado por el área de mantenimiento encargado de la producción de arcos.

A continuación se describen los procedimientos para su diseño.

**Definición de sección.** El primer paso es la definición de la sección, como se explicó anteriormente en donde se tiene en cuenta el margen de deformación que se le da a los arcos, se define según las características del diseño del túnel se define los radios de curvatura requeridos y las coordenadas de cada centro para así definir su diseño geométrico.

**Composición geométrica:** Para todos los arcos se inicia con una composición geométrica similar, teniendo como base que es una sección compuesta por segmentos de círculos unidos en puntos tangentes, para la realización de cada arco en determinado tipo de terreno se dan lineamientos para la construcción entre los que están los siguientes:

- El diseño geométrico está compuesto por cinco segmentos de círculo

- El primero con su centro sobre 3 metros del eje, forman la corona con un ángulo  $89^{\circ}07'40''$ .
- Los hastiales son segmentos de círculo simétricos al eje entre sí, segmento de círculo que es tangente al segmento que forma la corona, el centro de este segmento se encuentra a 2,50 metros.

Este segmento de círculo inicia en el punto tangente con la corona y termina 0,85 m bajo el eje de la rasante.

Esta sección es fraccionada sobre los tres metros para formar un elemento hastial (B) en la sección superior y un elemento hastial (C) que es la sección inferior.

- Para formar la solera se inicia con un segmento de círculo con radio de 1 metro, el que inicia en el punto tangente al segmento de círculo de los hastiales y finaliza en el punto tangente con el segmento de círculo de solera de la sección E.
- Este último elemento es formado por un segmento que debe ser tangente a los segmentos de círculo de radio que forman el elemento D- solera y que en el eje vertical llegue hasta 2,605 m bajo el eje de rasante.
- Los radios para cada segmento dependerán del tipo de terreno y del margen de deformación que se dé por parte de la gerencia.
- Para los arcos del terreno tipo VI que son los de enfilaje, compuestos por 11 arcos que inician desde el 0 y van hasta el número 10; se sigue el mismo procedimiento anterior para generar el arco número 0.

Para los siguientes arcos se tienen en cuenta los siguientes lineamientos.

- Cada arco debe ser 4 cm más alto que el anterior en la sección superior con la finalidad que al finalizar la instalación de la serie de arcos de enfilaje, exista el espacio suficiente entre arcos para una nueva instalación de tubos de enfilaje.

Figura 26. Vista perfil de arcos de enfilajes en celosía Tipo MAT-16 No. 0-10

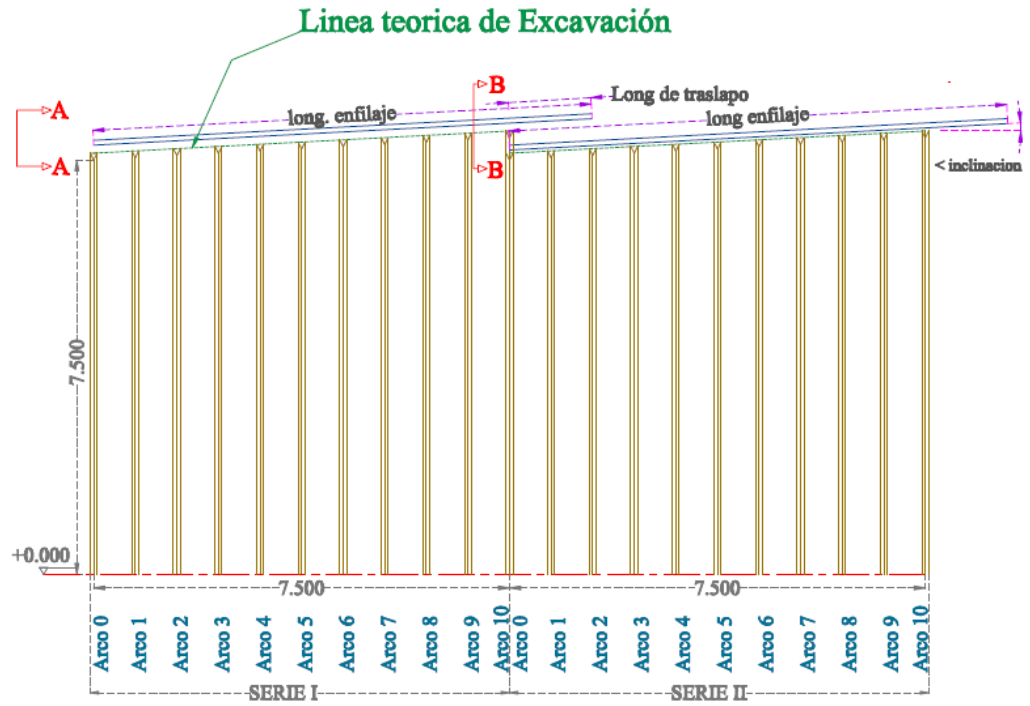
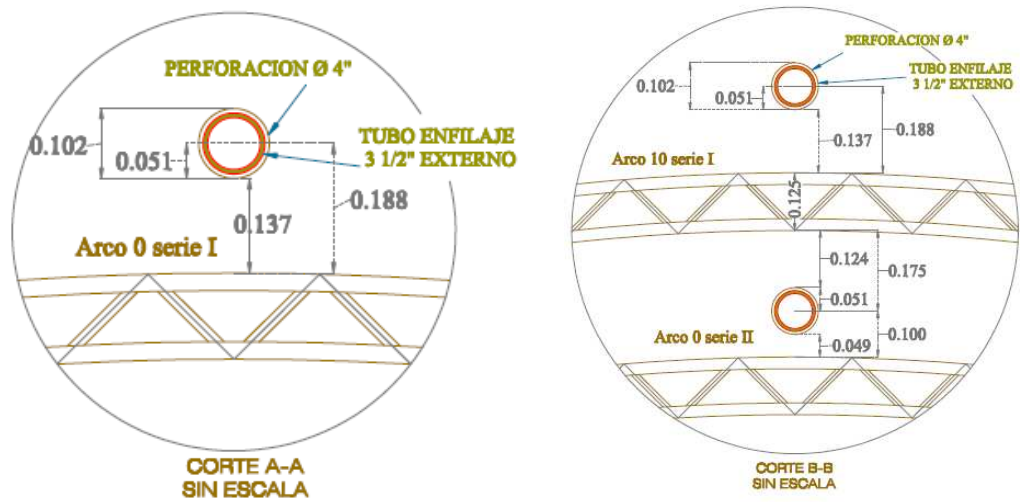
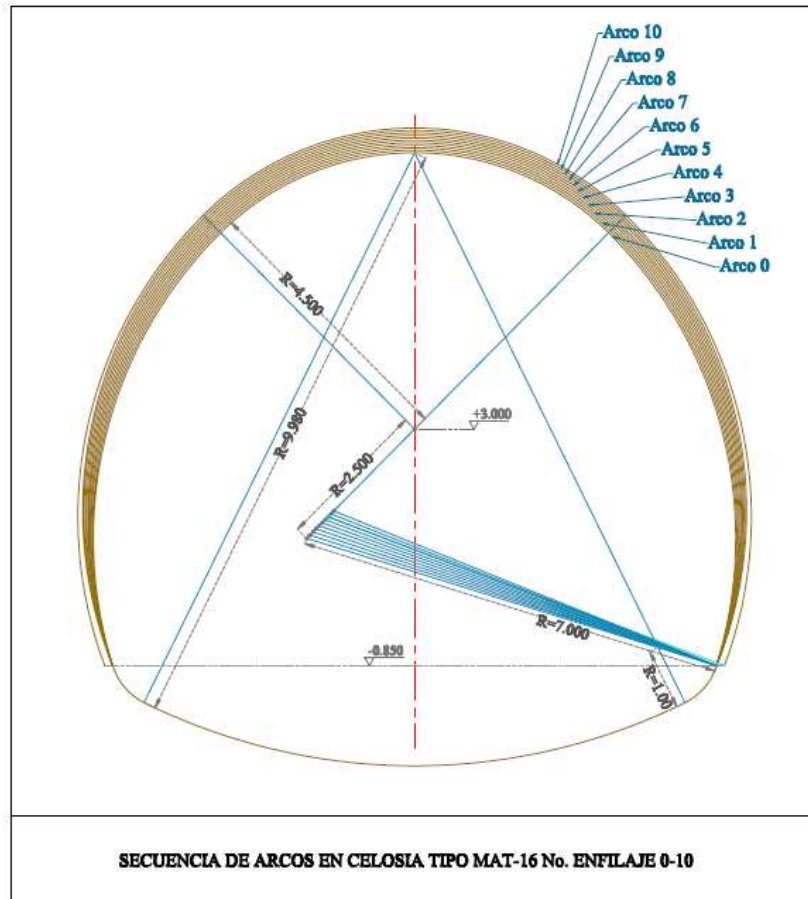


Figura 27. Distribucion arcos y tubos de enfilaje



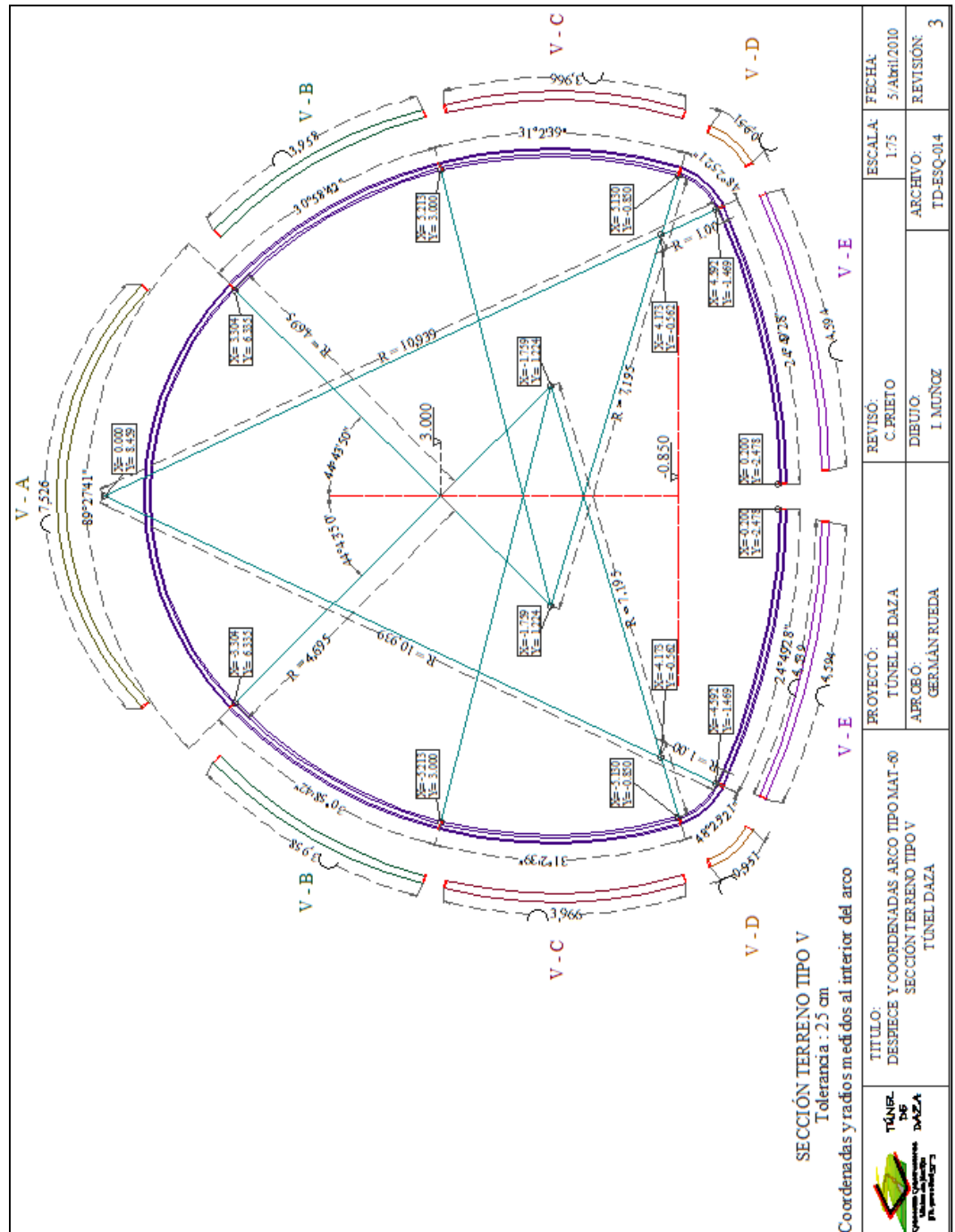
- Los hastiales de todos los arcos deben terminar con las mismas coordenadas; objetivo que se cumple desplazando el centro del segmento de círculo que compone los hastiales.

Figura 28. Secuencia de arcos en celosía Tipo MAT- 16 No 0-10



**Clasificación.** Se identifica cada arco teniendo en cuenta en el tipo de terreno para el se va a instalar III, IV, V o VI (también identificados como arcos de enfilaje, que van desde 0-10 de enfilaje. Además de la identificación de los arcos, se realiza la clasificación de los diferentes elementos que componen cada arco: A–corona, B–Hastial, C–Hastial, D–solera y E–solera, como se puede apreciar en la figura 29.

Figura 29. Despiece y Coordenadas arco tipo MAT-16. Sección terreno tipo V.

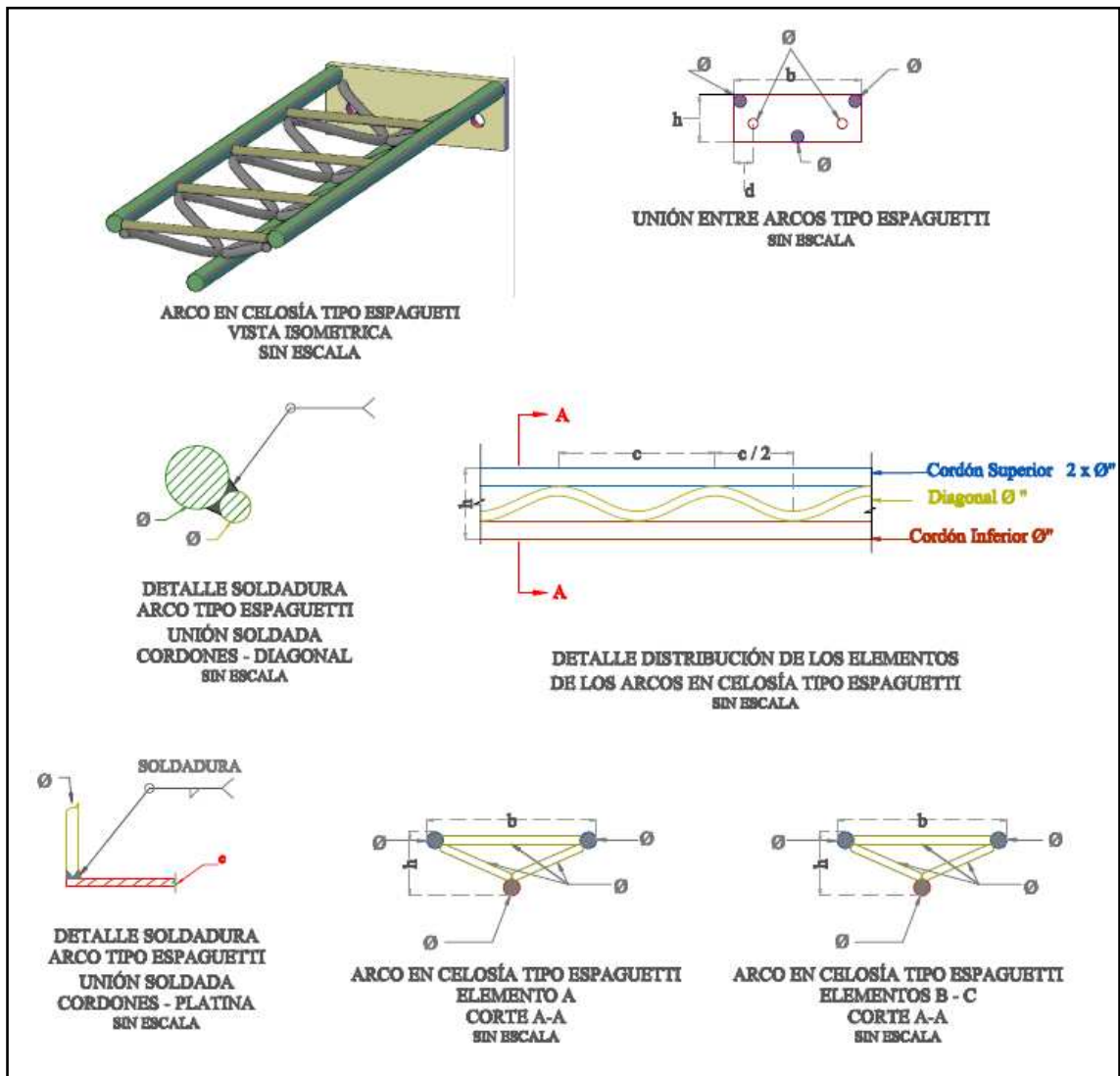


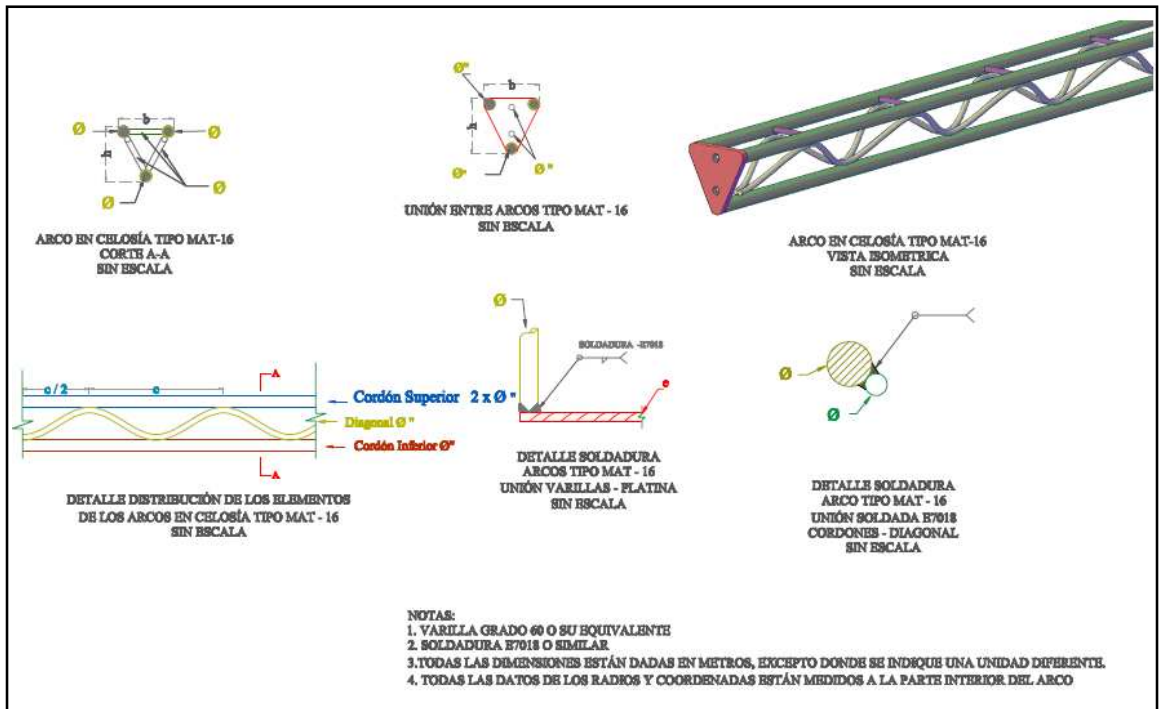


**Diseño:** Se define el diseño de los arcos en celosía con sus respectivas dimensiones y composición estructural, diferenciando dos tipos de arcos: el mat-16 y el espagueti.

Para cada tipo de arco se realiza un plano que es elaborado por la Oficina Técnica, que contiene la información de diseño, este es entregado al área de mantenimiento encargado de la fabricación de los arcos, al área de producción y a la comisión de topografía que requiere esta información para servir de apoyo en la excavación e instalación del arco.

Figura 30. Diseño de arcos

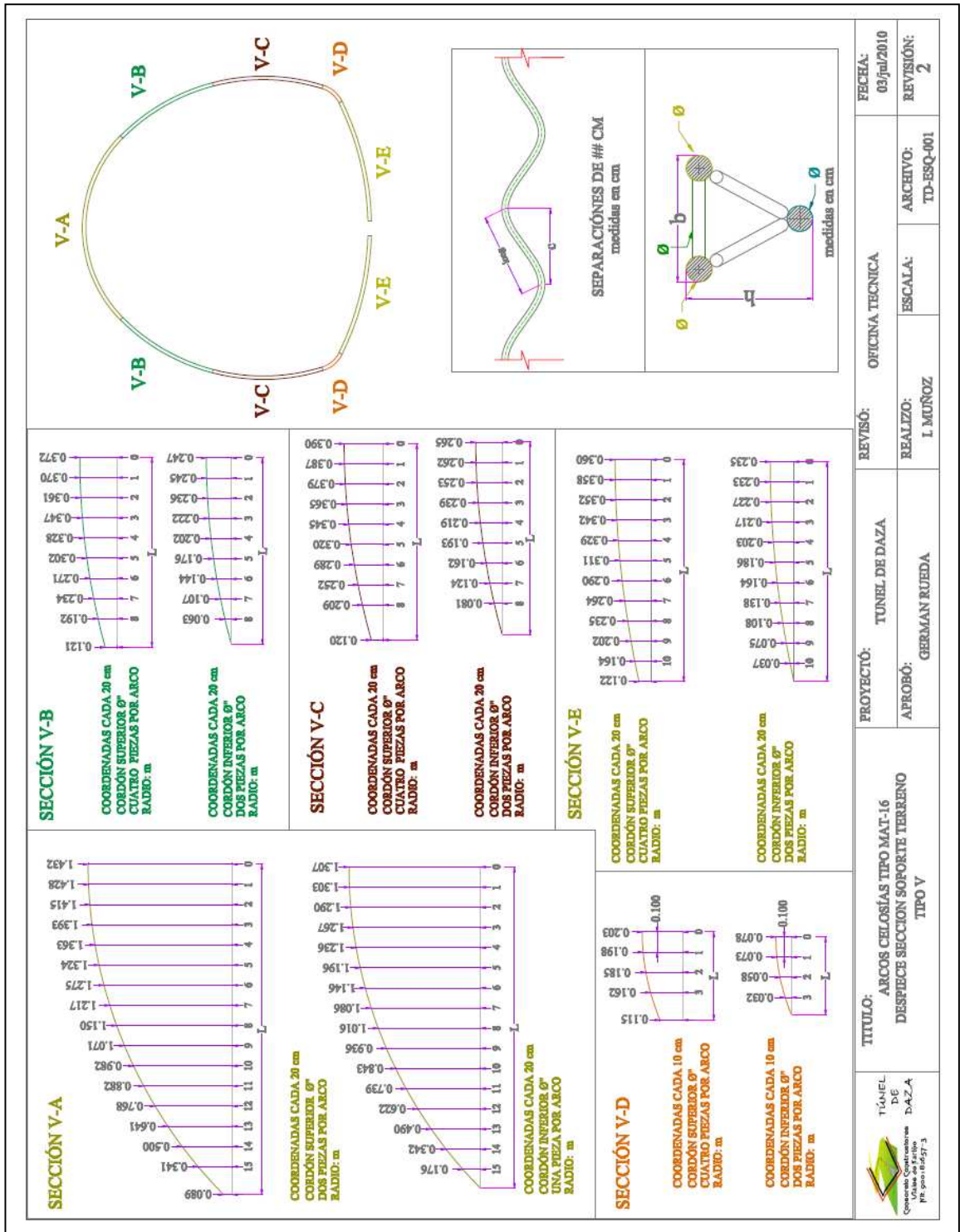




**Despiece:** Cada tipo de terreno tiene un arco diferente y un esquema propio de despiece, que incluye las radios de los elementos, coordenadas, dimensiones y especificaciones, información indispensable para su identificación y fabricación.

En la figura 31, se muestra cada elemento a fabricar identificando con su nombre donde se incluye el tipo de terreno, si es el elemento A, B, C, D ó E, si es el contorno del cordón superior o inferior, radio de curvatura de cada elemento, y las distancias que deben medirse perpendicularmente desde un eje horizontal cada 20 cm o 10 cm según lo indique el acotado del plano, distancias que se necesitan para formar la curva del arco en la plantilla para su fabricación, El esquema del despiece fue elaborado por la Oficina Técnica y entregado a producción para su fabricación.

Figura 31. Esquema de despiece de arco MAT-16



### **Fabricación**

- Plantillas:

Por medio de coordenadas de fabricación contenidas en los esquemas, se realizan plantillas para fabricación (figura 32). Una es trazada para verificar la curvatura de las varillas en el momento en que se flejan el cordón superior y el inferior.

Figura 32. Plantillas para la fabricación de arcos.



Adicionalmente otra plantilla es trazada y armada sobre una mesa de soldadura, empleando las mismas coordenadas para evitar posibles deformaciones provocadas por la temperatura de soldadura.

- Flejado:

*Cordón superior e inferior.* Se da la curvatura a las varillas por medio de una maquina flejadora. Mientras que las *diagonales* son medidas y cortadas en la cizalla de banco y luego flejadas.

Figura 33. Proceso de flejado para el cordón superior e inferior del arco (izquierda) y para las diagonales (derecha).



- Soldadura:

Los elementos de cordón superior, cordón inferior y diagonales son unidos y armados entre sí por medio de puntos de soldadura para formar la celosía.

*Refuerzo de soldadura.* Posterior a unir los elementos, se realiza un refuerzo a los cordones de soldadura con la aplicación de un nuevo cordón de soldadura que mejore el funcionamiento en servicio de los arcos.

*Separadores.* Son instalados tubos para instalar los separadores de los arcos en el frente de trabajo

*Identificación.* Cada elemento es marcado con pintura, identificando el tipo de terreno y el tipo de elemento; además de ser necesario el sentido en que deben ser instalados.

Figura 34. Elementos terminados e identificados del arco.



- Almacenaje

El almacenaje se realizo en sitios diferentes dependiendo del elemento y el tipo de terreno listos para ser distribuidos al frente.

- Distribución

La salida de la zona de almacenaje hacia el frente de trabajo se realiza bajo la solicitud del ingeniero residente o del encargado del frente, en la orden de salida se especifica el elemento solicitado para ser instalado en el frente. Cada elemento fue cargado a un vehículo puesto a disposición para este trabajo y adecuado para evitar la deformación de la curvatura de los arcos.

### 5.3.1.13 Planos campamento daza

#### *Planos y esquemas de construcción*

Dentro de las labores de la oficina técnica está la recepción, modificación y realización de archivos técnicos como planos y esquemas concernientes de campamentos ubicados en el sector de daza.

Información que se trasmite a la dirección de frente, la supervisión eléctrica y director de mecánica; documentos que contienen la distribución, límites prediales, detalles constructivos de oficinas, tanques sedimentadores, pozo séptico, casino,

taller de soldadura, planta dosificadora de concreto, planta trituradora, cárcamo y taller de mecánica.

Ver anexo de listado de documentos

**5.3.2 Procesos constructivos.** En los procesos constructivos del túnel se identificaron diferentes etapas realizadas hasta el momento:

- **Construcción de accesos e instalaciones**
- **Construcción Portal**
- **Excavación subterránea**

**5.3.2.1 Construcción de accesos e instalaciones.** Una vez identificadas las diferentes áreas, se realizó la revisión de los diseños correspondientes a la vía, sección del túnel, zonas de campamento e instalaciones requeridas para la construcción del túnel de daza y se efectuó el replanteo topográfico en el sitio, determinando geográficamente la ubicación del portal y de las zonas a intervenir (chaflanes, taludes e instalaciones). La construcción incluye mano de obra, planta, equipo y materiales, y la ejecución del trabajo necesario para llevar a cabo las excavaciones en corte abierto requeridas para la obra.

El proceso de construcción inicia con la *limpieza* (remoción de vegetación u otro material hasta en nivel de la superficie del terreno) y *descapote* (remoción del material orgánico y materiales de la sobrecapa del terreno) en los sitios que vayan a ser ocupados por las estructuras permanentes de la obra, o de cualquier otra área de trabajo como para la construcción de campamentos fijos y de servicios eléctricos y de agua (figura 35a).

Inicialmente la planta eléctrica de la obra funcionaba a base de combustible (figura 35b), mientras se realizaba la construcción de campamentos necesarios para ubicar la subestación eléctrica. Esta planta suministró la energía necesaria para la construcción de talleres y oficinas, además de la iluminación requerida para funcionamiento de equipos de soldadura, compresores, perforación e iluminación.

Figura 35. (a) Acceso a la zona de trabajo. (b) Planta electrica. (c) Adecuación zona de oficina dirección de frente. (d) Taller de soldadura y fabricación de arcos. (e) Construcción zona de oficinas, almacén y casino. (f) Adecuación taller y subestación eléctrica.



Posteriormente el servicio eléctrico del proyecto fue suministrado por CEDENAR, empresa que suministra la energía eléctrica a la zona, por medio de una línea



eléctrica aérea de alta tensión hacia la subestación del proyecto que transforma y distribuye el servicio eléctrico al proyecto.

De igual forma el servicio de agua es suministrado por medio de un acueducto construido para el proyecto (ver plano conducción de agua Anexo 4) que consta en una bocatoma que capta 3.0 lts/seg de una fuente natural sobre los 2911 metros de altura sobre el nivel del mar, con una conducción en manguera 2" de 2530 metros hacia el tanque de almacenamiento de 10000 litros ubicado a los 2740 metros de altura sobre el nivel del mar, a 30 metros del ingreso al túnel en el portal Sur.

Figura 36. Subestación eléctrica y acueducto del proyecto.

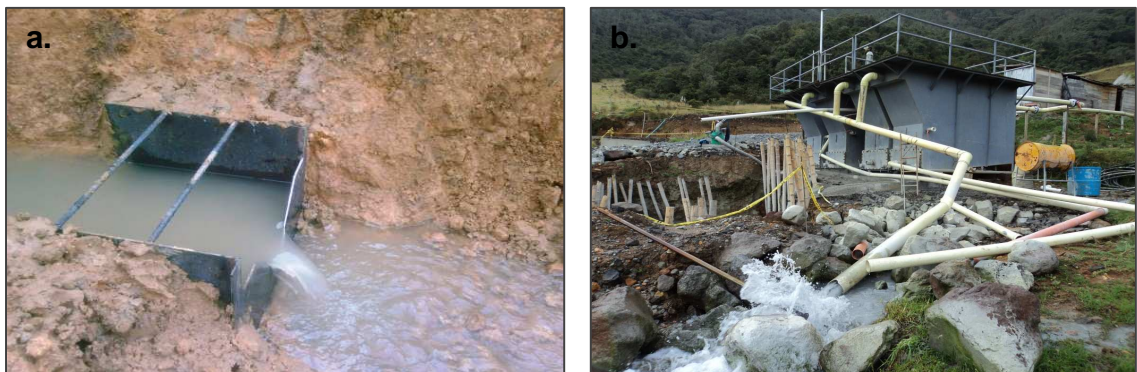


Uno de los servicios adicionales requeridos para la construcción es el aire, suministrado por el compresor Atlas Copco perteneciente a la empresa, el cual es utilizado principalmente para el lanzamiento del concreto y para el empleo del martillo de fondo de la diamec en la instalación de los enfilajes o en la realización de drenajes.

Adicionalmente se realizó una instalación para el manejo de aguas industriales, zona donde se realiza el tratamiento al agua previa a ser vertida. El tratamiento consiste en un proceso de aforo, coagulación, sedimentación y estabilización del

pH. El aforo se lleva a cabo por medio de un vertedero triangular, el cual permite determinar los caudales y su variación, información utilizada para determinar la cantidad del coagulante a utilizar que facilita la sedimentación dentro de los tanques sedimentadores de placas inclinadas instalados en el portal.

Figura 37. Instalaciones para el manejo de aguas residuales. (a) vertedero. (b) tanque sedimentador.



Adicionalmente se estableció la oficina Central en la cual funcionan las dependencias de Gerencia, Administración y Compras, ubicadas actualmente en la Ciudad de Pasto en la Carrera 40 N °19-20 Paler mo.

**5.3.2.2 Construcción del Portal Norte** Las *excavaciones* para el portal Norte y mejoramiento de la via con material seleccionado se llevaron a cabo con la excavadora DOOSAN S225LCV y volquetas para el transporte del material.

Figura 38. Excavaciones del Portal Norte (en la figura la excavadora DOOSAN S225LCV).



Se efectuó la *remoción de materiales* sueltos e inestables como rocas, masas desprendidas o semidesprendidas u otros elementos como quebradas (figura 39), localizados por fuera de los límites de excavación que pudieran afectar las operaciones de construcción permitiendo la correcta y segura ejecución de la obra.

Figura 39. Canalización de quebrada adyacente a los taludes del Portal Norte.



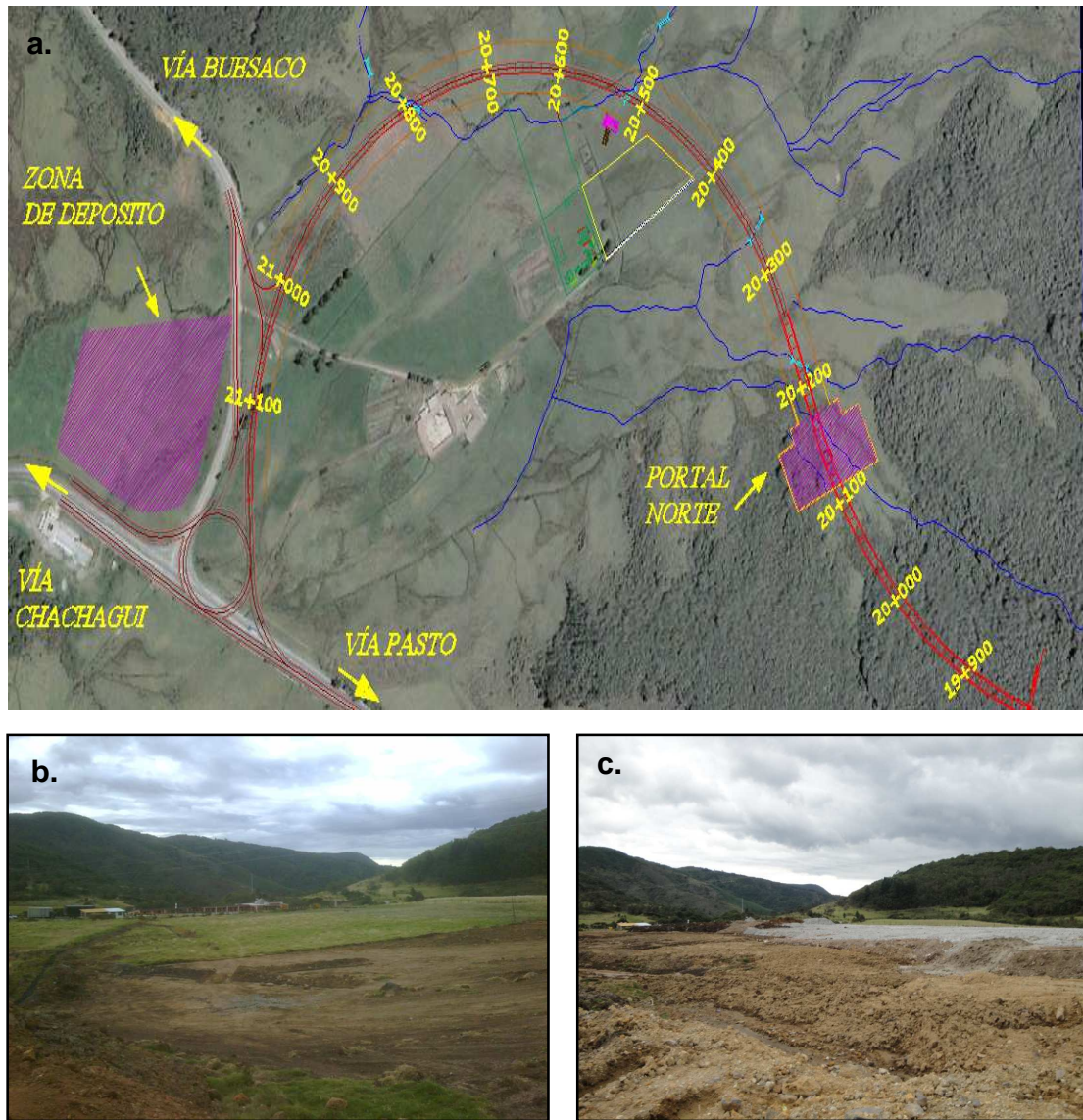
La remoción de derrumbes que ocurrían en el área de la obra fueron retirados y el talud de la zona inestable se reconfirmando con una inclinación que garantizo su estabilidad posterior.

Figura 40. Talud del Portal Norte.



Todo el material procedente de excavaciones en corte abierto, así como también los materiales procedentes de excavaciones subterráneas, fueron dispuestos en los sitios de depósito autorizados establecidos en los planos del proyecto.

Figura 41. (a) Localización general de la zona de depósito. (b) Antes y (c) después de depositar el material de excavación.



Otro procedimiento que se lleva a cabo durante la obra y hasta la terminación de esta es la *estabilización del terreno*, realizado monitoreos sobre puntos de control de asentamientos en los taludes naturales, temporales y permanentes de las excavaciones con el fin de proteger todas las superficies expuestas. La protección y estabilización del terreno se describe en la figura 42.

Figura 42. Proceso de estabilización del terreno. (a) Aplicación de una primera capa de concreto lanzado, Colocación de malla de acero electrosoldada, si se

requiere. Instalación de pernos. (d, e) Aplicación de una segunda capa de concreto lanzado de 3cm. (fig.) Instalación de drenajes, si se requiere.



La protección con Concreto lanzado, la instalación con pernos en roca y malla metálica se realizaron de acuerdo a los planos y se emplearon en conjunto. De

manera adicionalmente se realizo la empradización en las bermas superiores del Portal Norte y el Manejo de agua tanto superficial como subterránea para la protección de superficies excavadas comprendió la construcción de zanjas de coronamiento, cunetas, canales y huecos de drenaje y de suministro, instalación, mantenimiento y operación de todo el equipo de bombeo, así como cualquier otro elemento necesario para desviar el agua superficial y evacuar el agua que aparezca dentro de los límites de excavación (Devinar, marzo 2009)

**5.3.2.3 Excavación subterránea.** La instalación de pre-soporte consistente en los micropilotes de enfilaje, fue la primera actividad realizada en la excavación subterránea; los enfilajes fueron instalados en el terreno tipo VI en donde se pueden presentar desprendimientos de material debido al bajo auto-soporte.

La excavación requerida para la instalación de los enfilajes fue realizada por empleando dos métodos diferentes, uno instalado por medio de la Sonda Diamec, utilizando el martillo de fondo o el tricono orientado por topografía y el segundo fue por medio del Jumbo orientado por navegación.

Figura 43. Perforación e instalación con Sonda Diamec.

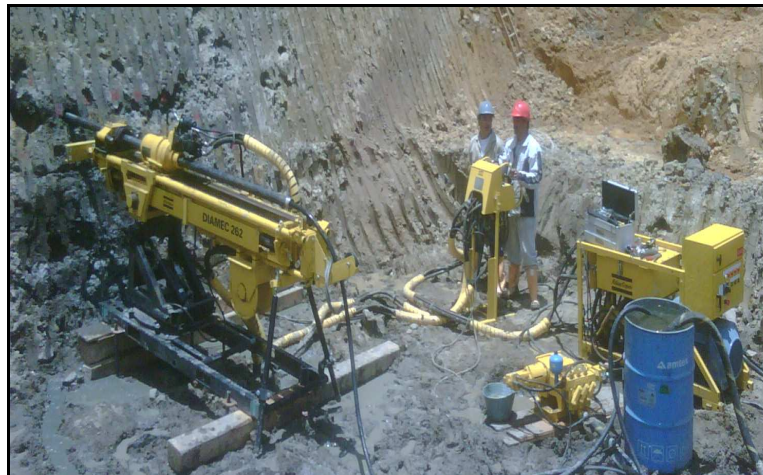


Figura 44. Instalación de enfilajes con Rocker Boomer e2c.

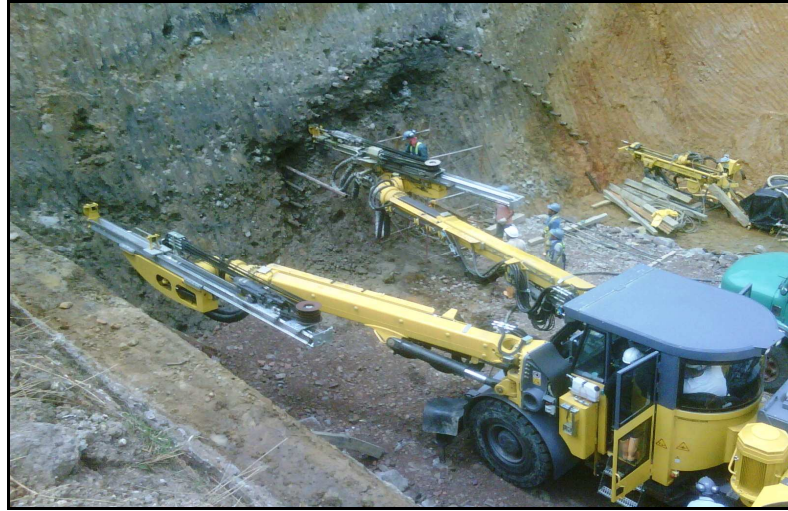
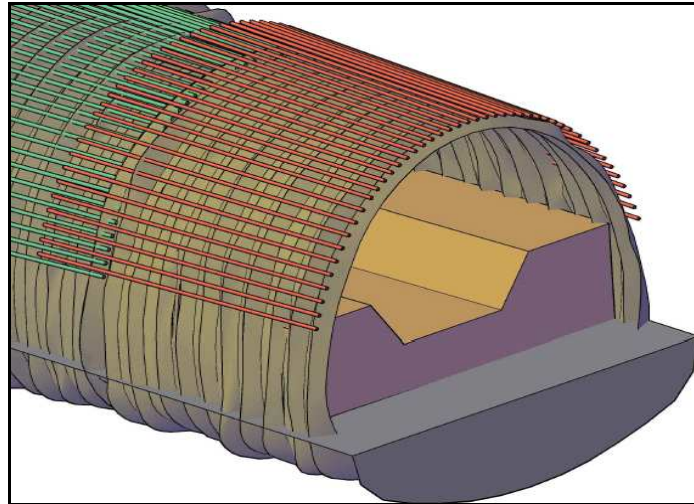


Figura 45. Enfilajes instalados



Posterior instalación de los tubos de enfilaje se iniciaron los ciclos de excavación, que consisten básicamente en excavación, limpieza e instalación de soporte.

Figura 46. Esquema del ciclo de excavación del túnel.



- **Excavación:** El Proceso de excavación se llevo a cabo empleando de dos métodos: excavación mecánica y por perforación y voladura; dependiendo las condiciones del terreno.

Figura 47. Excavadora hidráulica empleada en excavación mecánica.



Cuando el material presentaba baja resistencia se realizó la excavación con la cuchara de la excavadora hidráulica Doosan S225LCCV (ver características en el



catalogo en documentos anexos, sin embargo cuando el terreno presentó resistencia media se empleo el martillo hidráulico.

Figura 48. Martillo hidráulico empleado en la excavación mecánica.



Por otro lado, el método de perforación y voladura emplea explosivos y el equipo denominado Jumbo, un Rocket Boomer E2C de Atlas Copco.

Figura 49. Jumbo empleado para la excavación por perforación y voladura.



El rocket boomer fue el encargado de perforar el frente de voladura realizando los barrenos indicados en el diagrama de perforación. Para la barrenación fue necesaria la instalación de los servicios que requiere el equipo tales como energía y agua, está instalación fue realizada por personal capacitado por Atlas Copco.

Para iniciar la perforación se hace necesario establecer la navegación del equipo, que incluye la información suministrada por topografía como el cálculo de coordenadas, abscisa del frente y abscisa de dos puntos por donde pasa el láser instalado.

Una vez establecido el plan de navegación, el equipo se posiciona de tal forma que pueda perforar el frente desde esa ubicación de forma adecuada y eficaz, quedando posicionado sobre los gatos hidráulicos que soportan el peso del Jumbo.

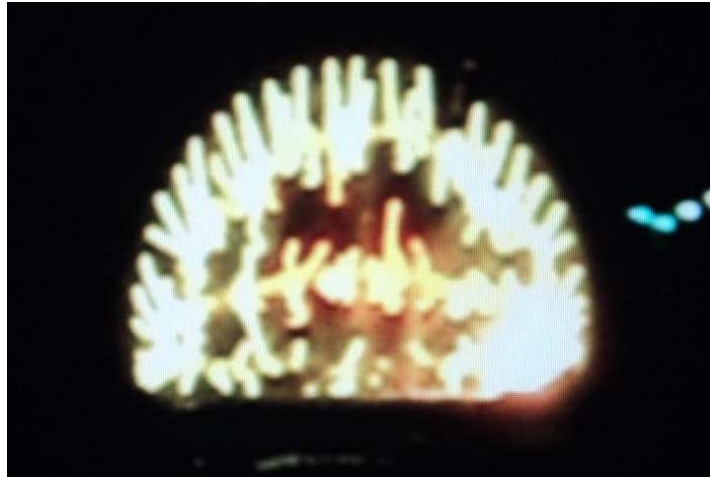
Figura 50. Proceso de perforación realizada por el Jumbo.



Ubicado el equipo se procedió a realizar movimientos con uno de los brazos del equipo hasta lograr que el laser pase por dos puntos y se dio la opción de navegar en el programa del equipo, se escogió el diagrama de perforación a utilizar y se inició la perforación de barrenos iniciando por los barrenos de 45 mm y finalizando con los barrenos de la cuña de 101 mm; cada vez que se terminaba el proceso de barrenación se dio la opción finalizar y guardar en el RSC del equipo, lo que generó el reporte de perforación.

El paso siguiente fue realizar el cargue con explosivos, siguiendo el diagrama entregado por el ingeniero residente. Cada cargue fue realizado por el supervisor de frente quien posee la capacitación necesaria para esta labor.

Figura 51. Fotografía tomada al momento de la voladura con explosivos.



Los barrenos cargados con explosivos detonan y generan una energía en forma de presión de gases y energía de vibración que quebranta la roca.

- **Limpieza:** La roca fragmentada resultante de la voladura fue retirada empleando el cargador mega 400 V de Doosan que transporta la rezaga hasta las volquetas de la empresa que llevan este material a la zona de depósito.

Figura 52. Remoción de roca fragmentada resultante de la voladura.



Una vez limpia la zona de trabajo se realizó la reperfilación y desambombe con el martillo hidráulico de la excavadora, esta actividad fue orientada por la comisión de topografía realizando el chequeo de la sección de excavación.

- **Instalación De Soporte:** Dependiendo del tipo de terreno se realizó la instalación de soporte, siendo para los terrenos con menor autosoporte, un lanzado primario de concreto de 3 cm (si lo requiere) y la posterior la instalación un de arco metálico.

*Instalación de arcos.* Los elementos de cada arco fueron llevados hasta el frente e instalados con ayuda de la excavadora; los elementos del arco fueron unidos por medio de tornillos tuercas y arandelas, y chequeados por la comisión de topografía verificando que cada arco se instalara de forma correcta en la sección.

Figura 53. Instalación de arcos y separadores.



Una vez armado y chequeado el arco se instalaron los separadores entre los arcos que permiten la ubicación paralela entre el arco a instalar y el arco previamente instalado.

*Lanzamiento de concreto.* El otro elemento de soporte instalado corresponde al concreto lanzado reforzado con fibras de polipropileno, que se preparo en la planta dosificadora de la empresa, y transportado por la mixer a la bomba de lanzado ubicada en el frente de trabajo.

Figura 54. Proceso de preparación para el concreto lanzado. (a) Planta dosificadora. (b) revisión del lanzador. (c) lanzamiento de concreto.

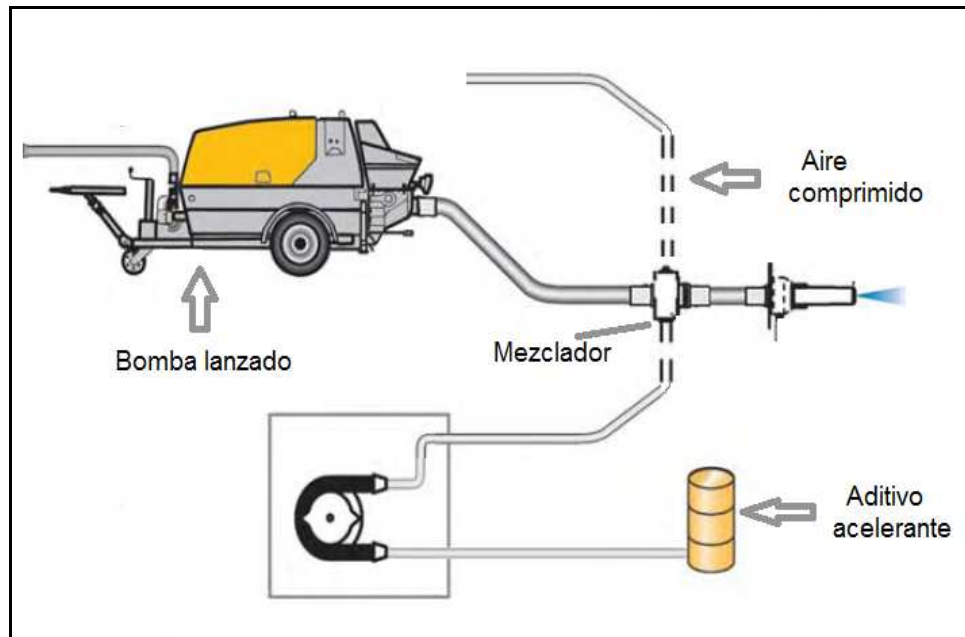


En la bomba se carga el material desde una tolva alimentadora, el concreto es impulsado hasta el cuerpo de lanzado, en donde llega a la conexión de aire procedente del compresor y el aditivo acelerante de la bomba de aditivo del equipo de lanzado.

El concreto se reparte en el arco y en la zona excavada, por medio de movimientos circulares de las mangueras y la boquilla de lanzado dirigido por un operario, logrando que el concreto quede adherido al macizo brindando el soporte requerido.

Una vez terminado este proceso inicio nuevamente el ciclo de avance.

Figura 55. Esquema del proceso realizado por la bomba para el lanzamiento de concreto.



La instalación de pernos de soporte es una actividad que no se realiza siempre dentro de un ciclo de avance, sin embargo fueron instalados pernos con resina después de la perforación permitiendo un mayor rendimiento en cuanto al tiempo.

La perforación de los pernos se realizó utilizando el equipo Jumbo, que perfora la cavidad en la que se introduce el perno; si es instalado con resina primero realiza la perforación con una broca de 45 mm, se introduce resina dentro de esta cavidad y posteriormente se instala un acople al brazo del Jumbo que consiste en una copa adaptada con rosca para los pernos que permite entrar el perno y mezclado de las resinas para lograr el soporte deseado, para finalizar la instalación se instaló la platina, la tuerca y el soporte es finalizado.

Para la instalación de pernos con inyección posterior a la perforación para el perno, se introduce el mismo con dos mangueras de polipropileno; una corta de aproximadamente 50 cm y una larga de la longitud del perno, por la primera permitirá ver cuando el perno este lleno y la segunda servirá para llevar la lechada de inyección dentro del terreno.

Posterior instalación del perno se llevó a cabo el calafateo que consiste en sellar la entrada de la excavación con cemento y así evitar la salida de la lechada en el momento de la inyección.

Una vez calafateado el perno, se mezcló una lechada de cemento, agua y acelerante, la que fue vertida dentro de un depósito metálico denominado “marrana”; que tiene un orificio con tapa roscada en la parte superior para el ingreso de la lechada, una entrada de aire procedente del compresor y una salida que permitió junto con la presión de aire, que la lechada vaya dentro de las mangueras hacia el perno.

Una vez vaciada la lechada dentro de la marrana, se cierra la tapa roscada, se conecta la manguera que conduce el aire presurizado desde el compresor, además de la manguera de salida que lleva la lechada hacia la manguera del perno; se inyecta hasta que la lechada salga por la manguera corta que es el indicador de que el perno está lleno, para finalizar la instalación se instala la platina y la tuerca y el soporte es finalizado.

#### **5.4 DIAGRAMAS DE PERFORACION Y REGISTROS DE VOLADURA**

La elaboración de los diagramas de perforación y registros de voladura hacen parte de los procesos técnicos, sin embargo fueron desarrollados como un ítem separado a la identificación de este proceso, dado que corresponde a un objetivo diferente e hizo parte de las tareas asignadas por la oficina técnica desarrollado por parte del pasante.

Los diagramas se realizan inicialmente uno para cada tipo de terreno y para cada distancia de avance pero se van realizando mejoras de acuerdo al comportamiento de las voladuras y las diferentes necesidades del frente; se realizaron hasta el 30 de noviembre 154 diagramas de perforación dentro del periodo que comprende la pasantía desde el 6 de marzo de 2010, diagramas realizados con supervisión de la dirección de la oficina técnica y aprobados para ser utilizados en campo.

A continuación se describe el procedimiento realizado para la elaboración de los diagramas y registros:

##### **5.4.1 Administración de un proyecto de túnel.**

**Instalación e iniciación** La instalación del software del **Tunnel Manager** se realizó de forma automática empleando el CD del programa.

Una vez instalado el programa se identificaron la barra de herramientas, de menú y dos ventanas, la del lado izquierdo contiene la información sobre el proyecto del túnel y la del lado derecho de la ventana principal contiene los datos y características del túnel, láseres, planos de perforación e informes.

La barra de menús incluye los siguientes menús:

- Menú Archivo
- Menú Editar
- Menú Ver
- Menú Proyecto
- Menú Línea de túnel
- Menú Láser
- Menú Ventana
- Menú Ayuda

**5.4.2 Proyecto de túnel.** El “proyecto de túnel” simboliza la obra con uno o varios túneles, en nuestro caso Túnel de Daza. Cada proyecto se identificó por su nombre en el árbol de proyecto.

Toda la información sobre el proyecto se almacenó en un archivo .tsp correspondiente.

#### **Crear un proyecto nuevo**

a. Para crear un proyecto nuevo en Tunnel Manager, se utilizó el mandato “Proyecto nuevo” (menú Archivo).

b. Información sobre el proyecto: En la ventana Proyecto se introdujeron las características del proyecto en su totalidad, tales como:

*Nombre:* Nombre del proyecto  
TUNEL DE DAZA.

El valor de este campo se utiliza también para sugerir un nombre de archivo en el cuadro de diálogo Guardar y para identificar el proyecto en el árbol.

*Fecha:* De creación  
23-ABRIL-2010

*Firma:* La firma del creador del proyecto.  
IVAN JAVIER MUÑOZ

*Comentarios:* Comentarios para guardarse con el proyecto.  
CAMBIO DE RASANTE



**5.4.3 Diseño línea túnel.** Las líneas de túnel son los puntos de referencia con el sistema de cuadrículas geográficas exteriores; datos obtenidos de la cartera de rasante del proyecto.

Figura 56. Línea túnel.

Section	X - North	Y - East	Z - Height	Camber
18430.000	629945.272	979183.478	2756.500	2.710
18440.000	629955.254	979184.066	2756.549	2.185
18450.000	629965.237	979184.654	2756.598	1.660
18460.000	629975.220	979185.242	2756.647	1.146
18470.000	629985.203	979185.829	2756.696	1.146
18480.000	629995.185	979186.417	2756.745	1.146
18490.000	630005.168	979187.005	2756.794	1.146
18500.000	630015.151	979187.593	2756.843	1.146
18510.000	630025.133	979188.181	2756.892	1.146
18520.000	630035.116	979188.768	2756.941	1.146
18530.000	630045.099	979189.356	2756.990	1.146
18540.000	630055.082	979189.944	2757.039	1.146

### **Línea túnel**

Una vez creado el proyecto, se generó una ventana en el árbol de líneas túnel donde aparecen unas casillas donde se consigno la información que permitió la ubicación espacial del equipo.

En la primera casilla se llenó la abscisa del túnel, en las siguientes tres casillas las coordenadas Norte, Este y cota correspondientes a la abscisa y en la quinta casilla el peralte el decimales (figura 56).

**Informe línea túnel** El informe se elaboró usando el mandato “Generar informe línea túnel” (menú Archivo). A continuación, se creó un informe en formato \*.doc de Microsoft Word 97.

**Exportar línea túnel** Se empleó el mandato Exportar línea de túnel del menú proyecto en archivo \*.tln para guardarlo en la carpeta creada para los archivos del Jumbo DATA JUMBO en la computadora de la oficina técnica del proyecto.

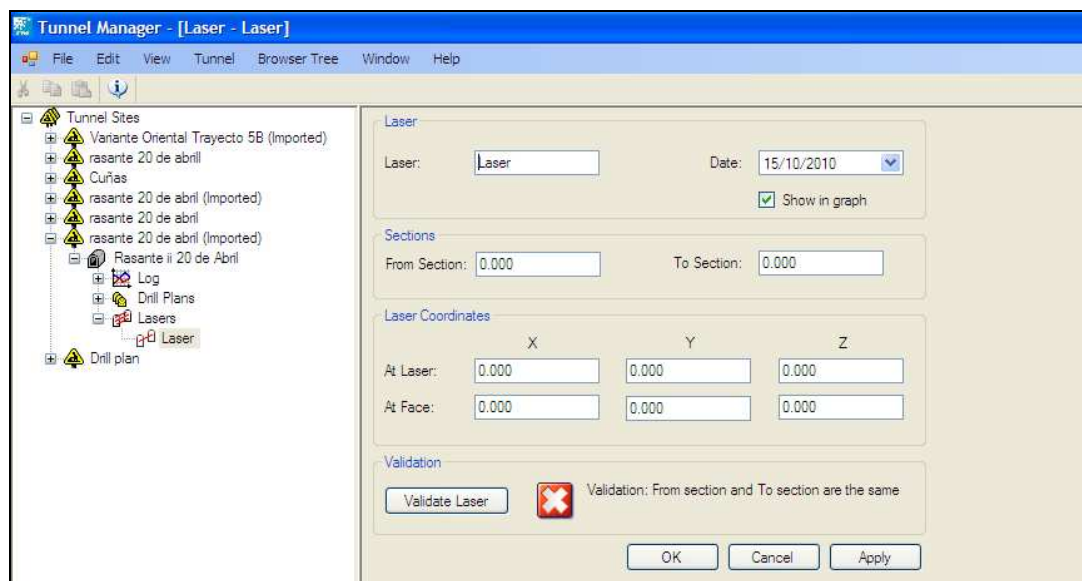
Además se creó una copia de este archivo en la USB de LOGS, la fue llevada físicamente al equipo y cargada dentro del sistema del Jumbo.

**5.4.4 Diseño línea laser.** Para crear una línea laser se utilizó el mandato nuevo laser del menú proyecto. La ventana láser lleva un formulario para editar líneas de láser. Los campos del formulario son (ver figura 57):

- Laser:* Es el nombre que permite identificarlo.
- Fecha:* Fecha en la cual es creado.
- De sección: A sección:* El intervalo de secciones en las que se utiliza la línea láser; la abscisa correspondiente.
- En láser (X, Y, Z):* Coordenadas del punto inicial del láser.
- En frente (X, Y, Z):* Coordenadas del punto final del láser.

En el formulario hay también una casilla de verificación denominada "Mostrar láser en gráfico" para determinar si ha de verse la línea de láser en la ventana del diagrama.

Figura 57. Formato laser.



### **Exportar láser**

Se selecciono la línea laser a utilizar en el árbol de proyecto empleando el mandato "exportar laser" del menú proyecto que crea el archivo \*.LAS, el cual se guardó en la carpeta creada para los archivos del Jumbo DATA JUMBO en la computadora de la oficina técnica del proyecto.

Además se creó una copia de este archivo en la USB de LOGS, la que fue llevada físicamente al equipo y cargada dentro del sistema del Jumbo.

**5.4.5 Diseño plano de perforación.** Para cada túnel (es decir la línea de túnel), se generan y guardan todos los planos de perforación diseñados para el túnel. También se pueden vincular estos planos a los números de sección correspondientes.

Cada línea de túnel tiene un nodo en el Árbol de proyecto denominado "Drill plans". Bajo este nodo se guarda una selección de planos de perforación que pueden elegirse al vincular planos de perforación a una línea de túnel.

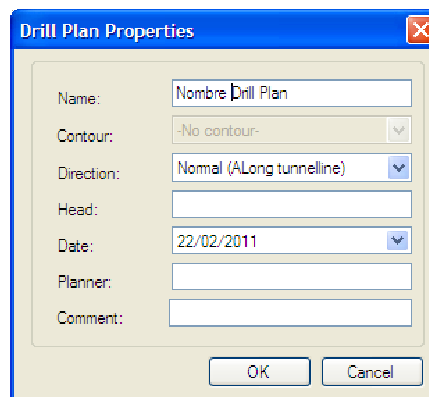
#### ***Añadir planos de perforación***

Para añadir planos de perforación debajo del nodo de plano de perforación se puede:

- crear un nuevo plan de perforación con el mandato "Plano perforación nuevo" (menú Proyecto)
- arrastrar archivos \*.dpt o .dpc desde el Explorador de Windows y soltarlos en el nodo del "Drill Plans".

Posteriormente se introdujeron las características del plano de perforación creado:

Figura 58. Propiedades del Drill Plan.



*Ejemplo:*

Nombre (Name): Drill plan TT- III-R30

Lo que significa que es el diagrama de perforación para terreno tipo III, R que es el consecutivo alfabético creado y para un avance de 3 metros. Además se incluyen fecha de creación, diseñador y comentarios u observación que se uso básicamente para establecer la razón de la creación del diagrama de perforación.

**Diseño de sección** Existen cinco iconos que aparecen después de creado y seleccionado el diagrama de perforación en el árbol de diagramas.

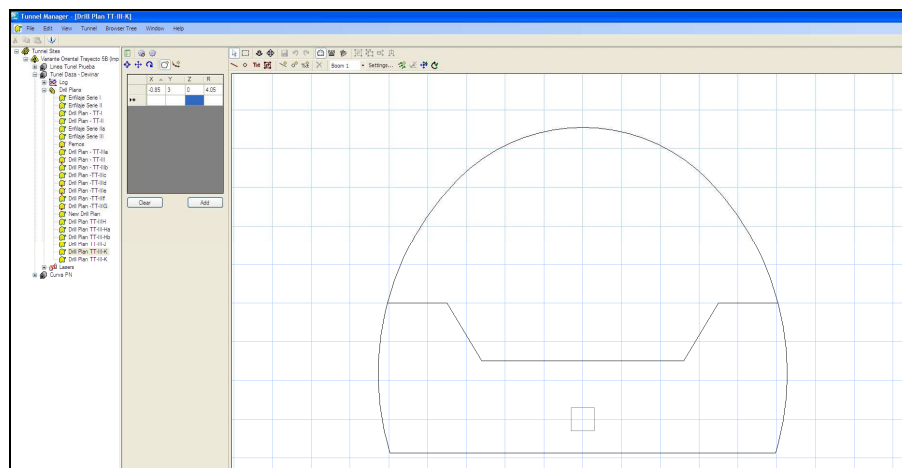
Los tres primeros iconos *object properties*, *hole settings* y *miscellaneous settings*, permiten ver las propiedades de los elementos ya sean barrenos o contornos, configurar la visualización de que barrenos se quiere mostrar, su color, la inclinación, la escala de presentación y el número que corresponde a cada barreno

El *add contour from table* permitió crear los barrenos con su diámetro, descripción, Angulo de inclinación y longitud de perforación.

El quinto icono, el *add holes along line* permitió crear los contornos de la sección utilizando coordenadas de la sección, que consisten en punto de inicio de la sección, punto que finaliza la sección y el radio.

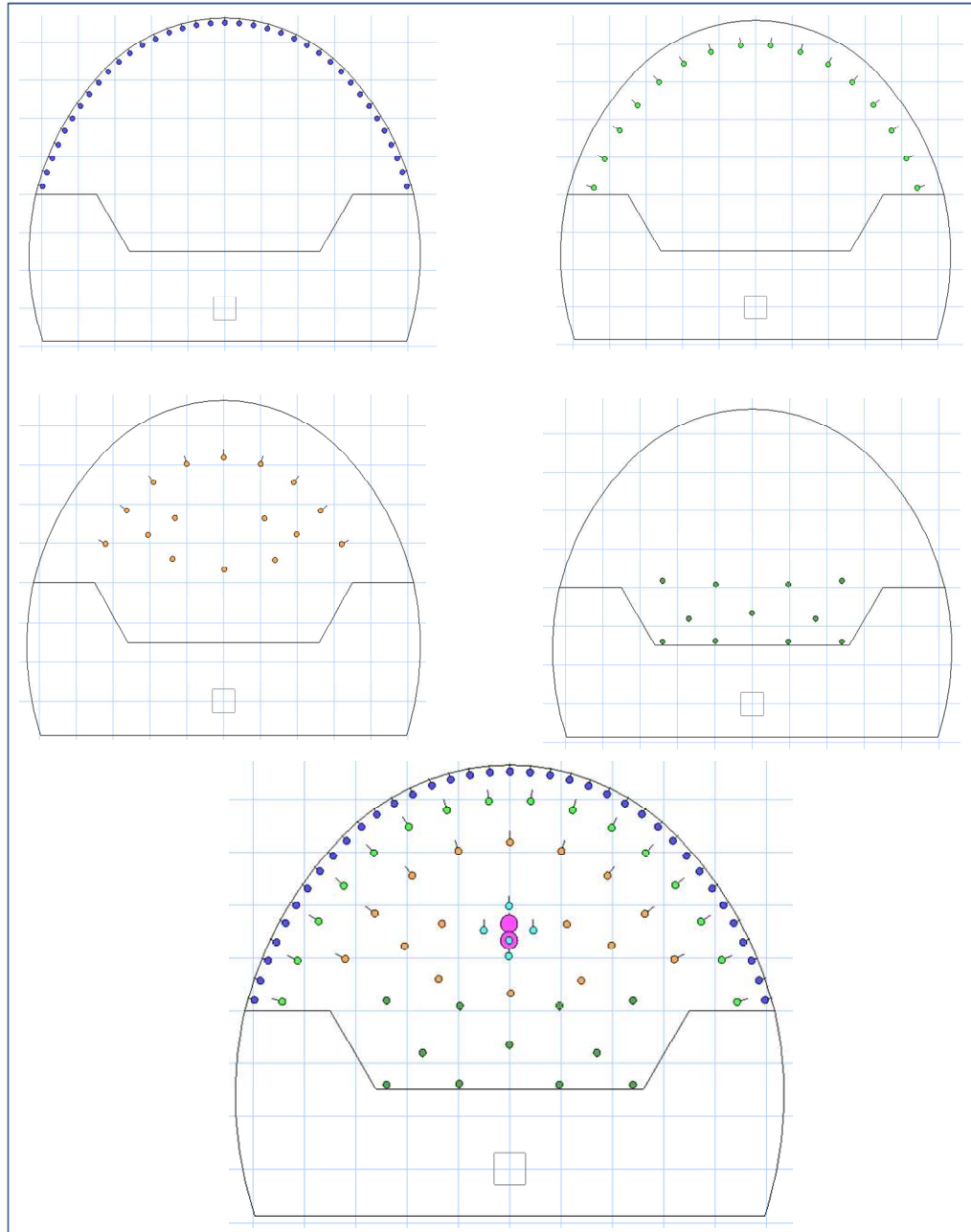
El primer paso que se realizó en la creación del diagrama de perforación, es la creación de la sección, este paso se realiza en la opción *add contour from table* donde por medio de las coordenadas polares de inicio, coordenadas polares finales y el radio de los segmentos de círculos, permitieron crear el contorno de la sección del túnel.

Figura 59. Menu *add contour from table*



El paso siguiente consistió en la distribución de barrenos empleando la opción *add holes along line* teniendo en cuenta la separación que se necesita entre ellos, longitud de avance y ángulo de inclinación.

Figura 60. Distribución de barrenos en diagrama de perforación.



Cada diagrama de perforación se realizó teniendo en cuenta los requerimientos del terreno, como la profundidad de avance, separación entre barrenos, diseño de cuña e inclinación, permitiendo la eficiencia en el trabajo del frente.

### ***Exportar diagrama de perforación***

La exportación se realizó seleccionando el diagrama de perforación a utilizado en el árbol de diagramas; seleccionando “*Export drill plan*” del menú proyecto que crea el archivo \*.DPC; Se guardo en la carpeta creada para los archivos del Jumbo DATA JUMBO en la computadora de la oficina técnica del proyecto.

Además se creó una copia de este archivo en la USB de LOGS, la que fue llevada físicamente al equipo y cargada dentro del sistema del Jumbo.

**5.4.6 Reportes de perforación.** Para esta actividad donde se requiere transferir reportes de los diagramas de perforación, fue necesario tener conectada al puerto usb del equipo en donde al dar la opción guardar, dentro del menú sistema del equipo guardó todas las perforaciones realizadas y almacenadas mientras la usb se encontraba conectada al equipo.

Todos los archivos fueron guardados dentro de la usb en un archivo \*.txt; Estos archivos se almacenaron dentro de la carpeta DATA JUMBO, e importados en el software túnel manager desde el menú proyecto, con la opción “import logs”.

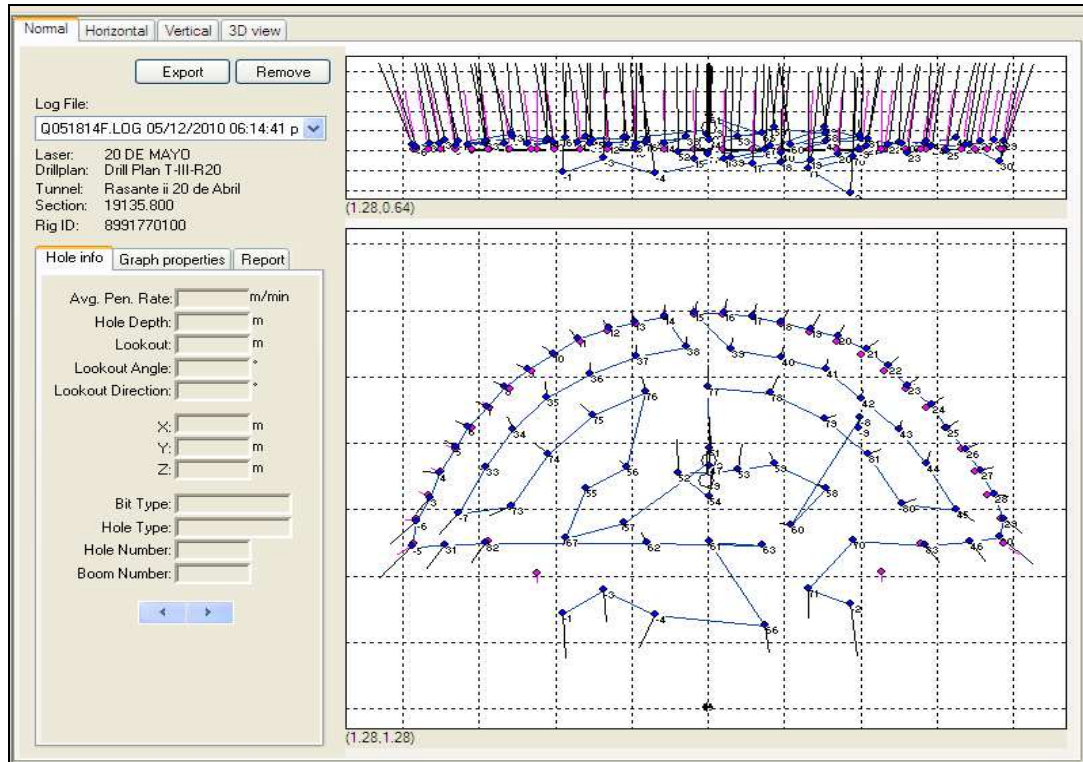
Cada reporte aparece en el proyecto correspondiente, es decir en la línea túnel correspondiente, identificado con la abscisa de la sección o de avance. Si el diagrama de perforación se encuentra en el árbol de diagramas aparecerá el diagrama diseñado y los barrenos como se perforaron.

Si se selecciona la pestaña “Hole info”, puede verse una serie de datos cuando se marca un barreno en la representación gráfica.

El cuadro de diálogo ofrece la siguiente información: promedio de excentricidad, profundidad del barreno, excentricidad del fondo del barreno en metros y grados, ángulo de excentricidad, coordenadas X, Y e Z, tipo de broca, tipo de barreno, número de barreno y brazo utilizado para la perforación.

Si se selecciona la pestaña “Graph properties”, puede accederse a una serie de opciones sobre lo que debe mostrarse en el gráfico.

Figura 61. Reporte perforación software túnel manager.



- **Mostrar líneas de extensión:** Mostrar u ocultar una línea en el fondo del barreno.
- **Mostrar líneas secuenciales:** Trazar o no trazar una línea entre los barrenos por orden de perforación.
- **Secuencia brazo:** Con los botones “Secuencia brazo”, puede desplazarse por la secuencia de perforación. En la ventana situada a la derecha, se marca el primer barreno de cada secuencia con un símbolo del brazo. Para desplazarse por la secuencia, utilice los dos botones.
- **Contorno o proyección X-Z:** Con la proyección X-Z, la mayoría de los gráficos muestran una proyección recta desde arriba. Con proyección de contorno, la superficie del perfil del túnel se aplanan, de manera que puede verse al mismo tiempo todo el techo del túnel. Esta proyección es útil para el empernado.

La pestaña “Report” muestra el área calculada de:

- Barrenos

- Líneas (Área definida por el plano de perforación)

Al Pulsar el botón “Mostrar informe serie barrenos” en la ventana de registro, se generó el siguiente informe (ver figura 62):

Figura 62. Informe serie barrenos.

Informe serie barrenos							
Plano perf.	572.DPT	Perf. total [núm., m]	112	567			
Nr. sección	1362.000	Barrenos vol. [núm., m]	112	567			
Iniciar perforación	1999/11/16 14:06:47	Barrenos emperrados [núm., m]	0	0			
Terminar perf.	1999/11/16 17:48:23	Barreno inyecc. [núm., m]	0	0			
Tiempo perf.	03 h, 41 min	Barreno no espec. [núm., m]	0	0			
ID Equipo perf.	8991221000	Barreno no válido [núm.]	0				
					Cerrar		
	Barreno Vol.	Barreno Perno	Barreno Iny.	Barreno Sin espec.	Total Perf. [m]	Medio despl. perf. [m/min]	Tiempo perf. neto
Brazo	43	0	0	0	222	1.63	02:16
Brazo	30	0	0	0	148	1.3	01:54
Brazo	39	0	0	0	195	1.44	02:15

- **Plano perf:** Nombre de archivo del plan de perforación utilizado por el equipo Boomer.
- **Número sección:** El número de sección generado por el equipo perforador. Cada serie de barrenos finalizada obtiene un número de sección de parte del operador del equipo perforador. Una serie se finaliza normalmente abriendo un nuevo plan de perforación en el Jumbo de perforación. El nombre de archivo se crea a partir del número de sección.
- **Iniciar perforación:** La fecha y la hora se registran al abrir, esto es, al iniciar el primer barreno de un plan de perforación en el equipo de perforación. El formato es YY/MM/DD HH:MM:SS.
- **Final:** La fecha y la hora se registran al cerrar, esto es finalizar el último barreno del plan de perforación en el equipo de perforación. El formato es YY/MM/DD HH:MM:SS.
- **Tiempo perf:** Diferencia en horas y minutos entre el “final” y el “inicio de la perforación”.



- **Perforación total:** Perforación total en número de barrenos y metros. Se incluyen todos los barrenos registrados.
- **Barrenos voladura:** Barrenos de voladura en número y metros. Se cuentan todos los barrenos a excepción de los barrenos empernados, barrenos de inyección, barrenos no especificados y barrenos no válidos.
- **Barreno empernado:** Barrenos empernados en número y metros.
- **Barreno inyección:** Barrenos de inyección en número y metros.
- **Barrenos no especificados:** Barrenos no especificados en número de barrenos y metros. Se trata de los barrenos para los que el equipo perforador no ha determinado coordenadas. Los barrenos han sido perforados antes de la navegación del equipo perforador. Los barrenos no especificados no pueden verse en la casilla de gráfico, pero se incluyen en todos los cálculos.
- **Barrenos no válidos:** El número de barrenos en los que han sido alterados los datos de registro.
- **Barreno Vol:** Número de barrenos de voladura para cada brazo individual.
- **Barreno Perno:** Número de barrenos empernados para cada brazo individual.
- **Barreno Iny:** Número de barrenos de inyección para cada brazo individual.
- **Barreno Sin espec:** Número de barrenos no especificados para cada brazo individual.
- **Perforación total:** Total de perforaciones por brazo, en metros. Se incluyen todos los barrenos.
- **Penetración perforación media:** Penetración perforación media por brazo. Se incluyen todos los barrenos.
- **Tiempo perf. Neto:** El tiempo de perforación neto se calcula basándose en la “perforación total” dividida por la “Penetración perforación media”.

Se generó un documento en Microsoft Word con el informe de serie de barrenos y con las vistas en planta y frente, pulsando el botón “Generate Word Report”. Este documento se almacenó en la carpeta DATA JUMBO del computador de la oficina técnica.

## 5.5 MANEJO DE LA INFORMACION

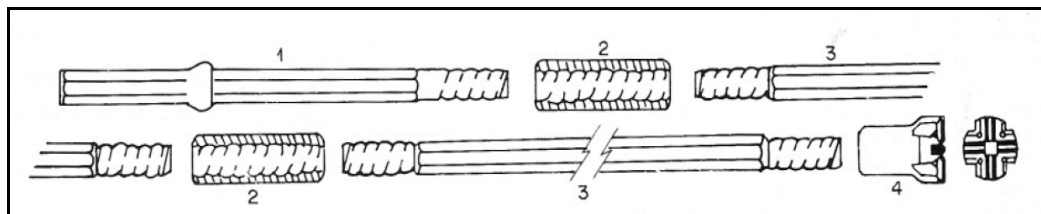
### 5.5.1 Control de consumos de aceros.

#### 5.5.1.1 Identificación aceros de perforación:

Los aceros de perforación utilizados en la construcción del túnel por equipo perforador Rooket boomer E2C llamados tren de varillaje son:

1. Adaptador de culata – Shank
2. Acople o manguitos
3. Varillas de extensión
4. Brocas

Figura 63. Tren de varillaje o sarta de perforación



- **Adaptador de culata – Shank:** son los elementos que se fijan a las perforadoras para transmitir la energía de impacto, rotación del varillaje y empuje.

Figura 64. Fotografía de un Shank.



- **Acoples o manguitos:** son los elementos que sirven para unir el shank a las varillas y a unir a varillas entres si para lograr la longitud deseada con ajuste suficiente para asegurar los extremos y que la transmisión de energía sea efectiva.

Figura 65. Fotografía de acoples



- **Varillas:** Son los elementos hexagonales de 4 metros de longitud la que sirven de prolongación , además de elemento de trasmisión la rotación y percusión a las brocas; son varillas con rosca en sus dos extremos, acopladas de un extremo a un manguito que lo acopla al shank y del otro extremo unido a la broca,
- **Brocas:** las brocas utilizadas para el proyecto son brocas de botones que son insertos cilíndricos de carburo tugsteno distribuidos sobre la superficie de la misma.

Figura 66. Broca con botones balísticos de 45 mm



Para el proyecto se utilizaron brocas: de botones y balísticas de 45 mm y una broca escariadora de 102 mm. Están van atornilladas a las varillas hasta el fin de su rosca con el fin de que la transmisión de energía de impacto sea directa

**5.5.1.2 Reportes.** Teniendo en cuenta la importancia del costo de aceros de perforación en la construcción del túnel, la gerencia vio la necesidad de realizar un control de aceros que permitiera estimar los gastos generados por el consumo de los mismos y sus rendimientos.

Esta tarea consistió en conocer cada uno de los elementos que componen los aceros, y llevar el control de rendimientos y causas por las cuales se cambia el elemento ya sea por desgaste normal por uso, mala operación o defectos en fabricación; además de verificar si se llevaron a cabo los procesos adecuados con el manejo de los mismos como:

- El afilado de los botones de las brocas.
- La marcación de cada elemento previa salida de almacén.
- Evitar que roscas gastadas disminuyan los rendimientos de los aceros.
- Evitar perdida de elementos de perforación.
- Evitar rotura de elementos de perforación que causen pérdida de tiempo.

Este informe se llevo a cabo quincenalmente mediante el formato de la figura 67. Estos formatos fueron llenados diariamente con el metraje perforado por cada brazo del equipo por el operador del Jumbo, Los informes se entregaron a la dirección de la oficina técnica y a la gerencia.

Figura 67. Formato para el control de aceros de perforación.


 <b>TÚNEL DE DAZA</b> <small>Operación Construcción</small> <small>Vías de Ferrocarril</small> <small>PK 0+000 a 0+573</small>																
<b>CONTROL DE ACEROS DE PERFORACION</b>																
Turno: Noche																
Henry Alvares																
Fecha	REPORTE DIARIO						UNICAMENTE PARA CAMBIOS BRAZO 1					UNICAMENTE PARA CAMBIOS BRAZO 2				
	Brazo N° 1			Brazo N° 2			N° de elemento que se cambia					N° de elemento que se cambia				
	N°de Broca	Metraje inicial	Metraje Final	N°de Broca	Metraje inicial	Metraje Final	Shank	Barrena	Acople	Broca	Metraje	Shank	Barrena	Acople	Broca	Metraje



Figura 69. Formato del control de calidad arcos armados.

		SECCION SUPERIOR		ELEMENTOS					
		ENTRE HASTIALES EXTERNA	ENTRE HASTIALES INTERNA	Corona			Hastial		
#	MEDIDA TEORICA	10,178	10,323	Externo	Interno	Altura borde extreno	Externo	Interno	Altura borde extreno
	Fecha:								
	Chequeo:								
	Fecha:								
	Chequeo:								
	Fecha:								
	Chequeo:								
	Fecha:								
	Chequeo:								
	Fecha:								
	Chequeo:								

**5.5.3 Copias de seguridad.** Se realizaron copias de seguridad mensuales con la información de las diferentes dependencias del Consorcio Constructores Viales de Nariño Túnel de Daza, por medio de una copia en un disco duro extraíble marca Samsung de 500 Gb de capacidad y con registro en formato diligenciado.

Dentro de la información incluida están la de recursos humanos, Planos, informes geológicos, formatos, licencias, literatura técnica, archivos fotográficos, diseños, entre otros, además de información confidencial.

## 5.6 CONSIDERACIONES FINALES

La información recolectada y los resultados obtenidos lo largo del trabajo de pasantía, permitieron llevar a cabo en conformidad las tareas asignadas al auxiliar de ingeniería (ver **anexo 6**), además proporcionaron una experiencia tanto en las relaciones laborales como en la aplicación de los conocimientos obtenidos en la carrera de pregrado así como los obtenidos durante la práctica institucional. Como consecuencia de la realización de la pasantía, actualmente el auxiliar de ingeniería está vinculado al proyecto por un contrato de obra ejecutada con una duración aproximada de 2 años siendo una grata experiencia para su desarrollo profesional.

Como logros puntuales está la capacidad de autoaprendizaje que permitió el manejo de software enfocado al diseño geométrico de vías como lo es el AutoCAD

Civil 3D Land, que además tiene funciones de modelado de topografía y funciones que facilitan el cálculo en grandes movimientos de tierra.

El manejo de software de diseño de diagramas de voladura, que no solo estuvo enfocado a la programación y distribución de los barrenos, sino también al diseño y análisis de las voladuras como también al conocimiento del comportamiento del equipo perforador en diferentes condiciones de navegación.

## **6 MERITOS ADICIONALES**

Aquellas tareas asignadas por merito ganado del pasante y que no se encontraban en los alcances propuestos por el proyecto.

### **6.1 COORDINACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DEL ACUEDUCTO DE JUANOY.**

Durante el proceso de construcción del túnel se realizó la instalación de servicios requeridos para el funcionamiento de la construcción, para conseguir el servicio de agua se realizó un compromiso con la comunidad de Juanoy quien brido el apoyo al consorcio para este servicio; compromiso que consistía en aumentar el caudal de la quebrada el pailón 2 de donde se realiza la captación del agua por medio de la conducción de 1.1 lts. Por segundo de la quebrada el pailón 1 ubicada en el cerro Morasurco.

Dentro de esta actividad se realizó la construcción de la bocatoma para captar 1.1 litros por segundo, un tanque de almacenamiento de 1 metro cubico, la conducción de 700 metros lineales y la instalación de 3 válvulas de purga.

El seguimiento de estas obras fue realizado por el auxiliar de la oficina técnica quien estuvo a cargo de verificar:

- Los deberes del contratista con el personal contratado se cumplieran de forma adecuada.
- Que el personal cumpla con las normas de seguridad de la empresa.
- Dar la charla de seguridad diaria al personal contratado.
- Verificar que la obra ejecutada vaya de acuerdo a los planos entregados por parte de la empresa.
- Entregar los materiales requeridos para la ejecución de esta obra al contratista.



Figura 70. Fotografía construcción bocatoma, tanque de almacenamiento y conducción de acueducto Juanoy



La entrega de esta obra fue realizada y verificada por la directora de la Oficina Técnica la ingeniera Catalina Prieto y el director de frente el ingeniero Fernando Rodríguez.

## **6.2 COORDINACIÓN EN LA FABRICACIÓN, UBICACIÓN Y REVISIÓN DE ARCOS.**

Dos de las funciones de la oficina técnica que sirven de complemento en pro de mejorar los procesos de calidad en la construcción del túnel son el diseño de los arcos en celosía utilizados como soporte y el chequeo de las secciones de excavación e instalación de arcos.

Por ende y teniendo en cuenta el buen desempeño como pasante se deja a cargo del control de fabricación de arcos de soporte en donde se verifica las dimensiones de todos los elementos fabricados por los talleres de soldadura.

## **6.3 CONSTRUCCIÓN DEL PORTAL SUR**

En el mes de noviembre de 2010 se inician trabajos en el portal de acceso denominado portal sur, ubicado en el sector Aranda de la ciudad de Pasto.

Esta obra se deja a cargo de la oficina técnica a cargo de la ingeniera Catalina Prieto en donde se realiza:

- Instalación de la tubería de enfilaje con la sonda Diamec. (Ver Figura 71 a)
- Excavación y movimiento de tierra requeridos para realizar taludes y bermas. (Ver Figura 71 b)
- Construcción de campamentos e instalaciones. (Ver Figura 71 c)
- Estabilización de taludes:
  - Instalación drenajes taludes
  - Instalación de malla electrosoldada en taludes de poco autoapoye.
  - Lanzado de concreto reforzado con fibra de polipropileno.

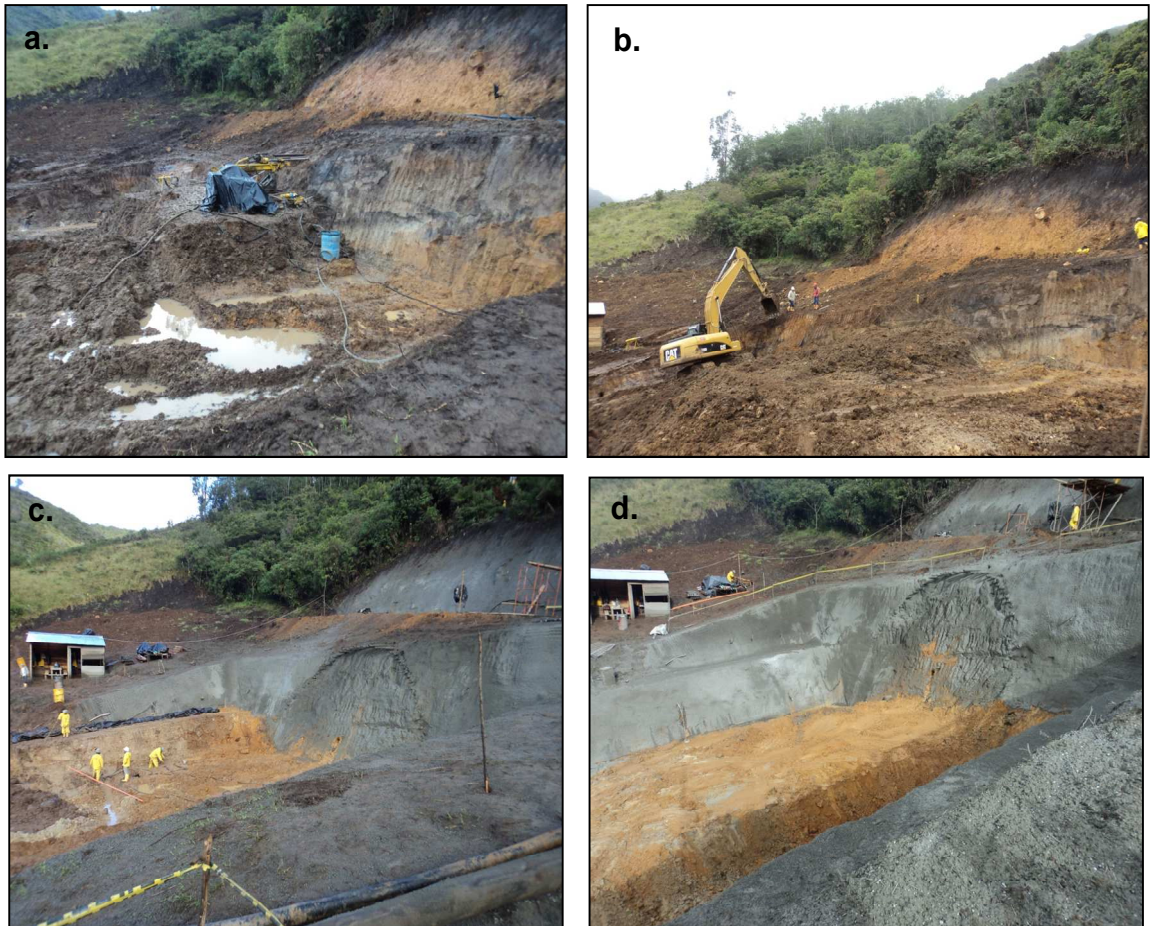
Figura 71. Fotografías de trabajos realizados en el Portal Sur.



Para las anteriores actividades se cumplió el rol de ingeniero residente actividades que se describen a continuación:

- Supervisar que antes de cada actividad se identifiquen los riesgos y se tomen las medidas para mitigarlos o suprimirlos.
- Participar en las caminatas de seguridad.
- Conocer, difundir y aplicar el Plan de Manejo Ambiental
- Conocer los riesgos del frente y tomar las acciones para mitigarlos
- Liderar las investigaciones de accidentes.
- Asegurar que se utilicen los implementos de protección personal.
- Planear las actividades de su turno
- Conocer y difundir el Plan de Calidad y la Política de Gestión Integral del consorcio.
- Apoyar al Jefe de Frente en la planeación semanal y mensual de actividades.
- Supervisar las actividades constructivas con el fin de que se cumplan las especificaciones.
- Supervisar las actividades para garantizar el uso óptimo de recursos.
- Analizar los tiempos de cada una de las actividades repetitivas con el fin de tomar las medidas necesarias para optimizar los ciclos.
- Estudiar planos y especificaciones técnicas para coordinar recursos a tiempo y suficientes.
- Interactuar con los supervisores de frente para la adecuada distribución y supervisión de recursos. Tomar acciones para detectar y minimizar los desperdicios en los recursos.
- Administrar a los subcontratistas que ejecuten trabajos durante su turno.
- Hacer el empalme de actividades con el Ingeniero Residente que le recibe o entrega en el otro turno.
- Reunión diaria con el supervisor de Frente para revisar el análisis de tiempos del ciclo.
- Registrar actividades y procedimientos para soportar acciones correctivas y preventivas que respondan y corrijan no conformidades en los procesos.
- Efectuar el pedido de los materiales requeridos para las voladuras.
- Elaborar informe diario de: actividades, voladura, producción y recursos utilizados (insumos consumidos, uso y estadísticas de aceros de perforación, etc.)
- Codificar salidas de almacén
- Controlar el suministro de concreto
- Administrar el recurso humano, velando porque la gente pueda desarrollar su trabajo con sentido de pertenencia y progresar, reconociendo logros y haciendo críticas constructivas.
- Conocer y aplicar el Reglamento Interno de Trabajo.

Figura 72. Registro fotográfico del avance en el Portal Sur. a.2/12/2010  
b.9/12/2010 c.12/12/2010 d.16/12/2010



#### 6.4 EXCAVACIÓN SUBTERRÁNEA PORTAL SUR

Teniendo en cuenta el buen resultado logrado por parte de la oficina Técnica en la construcción del aportalamiento del portal sur y la excavación subterránea ejecutada durante el mes de Diciembre y Enero, la gerencia toma la determinación de modificar el rol del auxiliar de la oficina técnica para asumir el de ingeniero residente del túnel con el apoyo de las demás áreas de la empresa. Esto fue un logro a nivel profesional que permite ver el cumplimiento de forma exitosa de los objetivos planteados por esta pasantía.

Figura 73. Fotografía de Excavación subterránea Portal Sur



## **7 ESTADO ACTUAL DE LA CONSTRUCCION DEL TÚNEL DE DAZA**

La construcción del túnel inicio el mes septiembre, con la ejecución de los trabajos de intervención de taludes en la zona del Portal Norte (Alto de Daza), La excavación, los trabajos de excavación Subterránea se iniciaron el 26 de Noviembre de 2009, con avances que se encuentran entre 0.75 a 1.0 m por ciclo. El avance acumulado es de 1115.90 metros finalizado el mes de febrero de 2011; Los que se realizaron entre el 3% y 5% en terreno tipo VI correspondiente a la zona instalada con las tres series de arcos en enfilaje, entre el 22% y 27 % en terreno tipo V, entre 8% y 13% en terreno tipo IV, 27% y 30 % en terreno tipo III, 9% y 13% en terreno tipo II y entre 25% y 29% en terreno tipo I de la excavación total realizada hasta el momento.

En el mes de noviembre de 2010 inicio la intervención de taludes en el frente del Portal Sur (Aranda), el 26 de diciembre de 2011 inicio la excavación subterránea con avances que se encuentran entre 0.75 a 1.0 m por ciclo para la instalación de arcos de enfilaje; El avance acumulado es de 40.25 metros finalizado el mes de febrero de 2011; en los cuales se han excavado entre 15% y 20% en terreno tipo VI correspondiente a la serie de enfilaje, 65% y 80% en terreno tipo V y entre 5% y 15 % en terreno tipo IV.

En total se han construido 1156.15 metros lineales de los 1708.60 de la longitud total del túnel, además de las construcciones e instalaciones requeridas como: campamentos, taller de mecánica, soldadura, acueducto de abastecimiento túnel de Daza, Acueducto perteneciente a la comunidad de Juanoy, planta dosificadora de concreto, planta trituradora y sistema de tratamiento de aguas industriales

## CONCLUSIONES

La identificación de los diferentes procesos constructivos en la construcción del túnel de Daza permite la apropiación de conocimientos prácticos en la construcción de portales, sistema de tratamiento de aguas residuales, construcción de acueductos, fabricación y aplicación de concreto lanzado, movimiento de tierra, fabricación e instalación de arcos en celosía y excavaciones subterráneas

Identificar y formar parte en el desarrollo de los procesos técnicos requeridos para la construcción del Túnel, aportan a la formación integral del pasante requerida para desempeñarse como profesional en la construcción de túneles.

El desarrollo de la pasantía junto a capacitación en la realización de diagramas de perforación y reportes de voladura, permite la aprensión del método de perforación y voladura realizado en la construcción de túneles.

La Experiencia adquirida en campo en conjunto con las capacitaciones y la recolección de información teórica, relacionados al manejo de software como el Autocad Civil 3d Land, Autocad Versión 2010, Tunnel Manager y Drill Plan Designer se convierten en herramientas que dan aportes al desarrollo del proyecto.

Las políticas que se manejan en la construcción del Túnel de Daza en relación a la calidad, gestión humana, salud ocupacional y seguridad industrial enfocada a la cotidianidad o mejor expresada a la apropiación de normas y reglas dan resultados de eficacia y calidad.

Por otro lado el desarrollo de proyectos como este, son importantes para el desarrollo social y económico de una región ya representan una gran oportunidad de aprendizaje para los estudiantes de la facultad de ingeniería civil de la Universidad de Nariño, generando oportunidades de empleo a los graduados.

## RECOMENDACIONES

- + Recordar que al efectuar su pasantía en una empresa o institución es un representante de la universidad de Nariño. Consecuentemente se requiere que se conduzca, tanto dentro como fuera de su trabajo de forma ejemplar.
- + Desempeñar las tareas asignadas con dedicación poniendo toda su capacidad y atención al desarrollo del trabajo encomendado.
- + Observar cuidadosamente todos los problemas que existan en la empresa, procurando aplicar sus conocimientos a la solución de aquellos.
- + Guardar discreción sobre asuntos confidenciales relacionados con su trabajo.
- + Sensibilizar al trabajador para que adquiera en sentido de responsabilidad y autocuidado y así disminuir el número de accidentes laborales.
- + Ofrecer por parte de la universidad perspectivas más amplias a los estudiantes acerca del campo laboral por medio de presentación de los proyectos de construcción realizados en el ámbito local.
- + Fomentar la participación por parte de la universidad en pasantías para importantes obras en la ciudad y el departamento a través de gestión con las empresas constructoras.
- + Brindar mayor cantidad de conocimientos tecnológicos a los estudiantes para que se mantengan a la vanguardia en cuanto a las nuevas metodologías, en digitalización de topografías y modelamiento de terrenos.



## BIBLIOGRAFIA

CAICEDO, J. Túneles para el Sector de la Industria En: Revista Infraestructura y Desarrollo. Cámara Colombiana de Infraestructura. Revista N°. 31. Bogotá, D.C. Septiembre - Octubre 2009. ISSN 1794-3213

CACERES, V. Aplicación de la mecánica de rocas en el diseño de túneles según Barton y Bieniawski. 2010

CONSORCIO CONSTRUCTORES VIALES DE NARIÑO. Funciones del personal. Proyecto vial Rumichaca-Pasto-Chachagüí Túnel de Daza. 2009

CONSORCIO CONSTRUCTORES VIALES DE NARIÑO. Especificaciones Técnicas, Túnel de Daza. Marzo 2009.

CORPORACIÓN UNIFICADA NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR. Pasantías (en línea). [http://www.cun.edu.co/index.php?option=com\\_content&task=view&id=289](http://www.cun.edu.co/index.php?option=com_content&task=view&id=289). (Consulta: 5 Junio 2008)

DÁVILA, H. Vías y túneles van de la mano. En: Caicedo, J. Revista Infraestructura y Desarrollo. CAMARA Colombiana De Infraestructura. REVISTA N°. 31. BOGOTÁ, D.C. Septiembre - Octubre 2009. ISSN 1794-3213

DE SANTOS, R., PEREZ, E Y DELLA, N. Deformaciones del revestimiento y asientos producidos por la construcción de un túnel mediante tuneladora. 2007

DEERE, D.U., PECK, R.B., PARKER, H.W., MONSEES, J.E., Y SCHMIDT, B., "Design of Tunnel Support Systems", Highway Research Record, No. 339, 1970.

DOCUMENTO CONPES 339 CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL IMPORTANCIA ESTRATÉGICA PROYECTO VIAL RUMICHACA – PASTO – CHACHAGÜÍ DNP: DIES MINISTERIO DE TRANSPORTE INSTITUTO NACIONAL DE CONCESIONES (en línea). [http://www.dnp.gov.co/.../documentos/.../Documentos/Documento\\_Infraestructura\\_1.pdf](http://www.dnp.gov.co/.../documentos/.../Documentos/Documento_Infraestructura_1.pdf) (Consulta: 8 Octubre 2009)

EMPRESA DESARROLLO VIAL DE NARIÑO S.A. – DEVINAR S.A (en línea). <http://www.devinar.com/> (Consulta: 13 de Marzo 2010)

FRONZ, I Y VALDÉS, M. Desarrollo de un procedimiento de auscultación para obras subterráneas urbanas. Tesis de especialidad. 2009 en:

<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8504/1/00.pdf>.K (Consulta 12 agosto 2010).

GIL, J Y YARCE, A. Los túneles carreteros en Colombia. Impresol Ediciones Ltda. 2010.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. TESIS Y OTROS TRABAJOS DE GRADO. Bogotá. ICONTEC. 1996.

INSTITUTO NACIONAL DE CONCESIONES REPÚBLICA DE COLOMBIA – INCO (en línea) [http://www.inco.gov.co/concesiones/filtros/ficharesumen/frm\\_ficha.Concesión=441](http://www.inco.gov.co/concesiones/filtros/ficharesumen/frm_ficha.Concesión=441) (Consulta 13 de marzo 2010)

OTEO, C. Algunas ideas para seleccionar el proceso constructivo en túneles En: Revista Obras urbanas. Revista N°. 19. España. Enero - Febrero 2010.

OTEO, C. Nuevo método austriaco y su filosofía real. En: LOPEZ, C. INGEO TUNELES, serie: ingeniería de túneles. Graficas Arias Montano, S.A. Mostoles (Madrid) 1998.

PLAN DE ESTABLECIMIENTO Y MANTENIMIENTO FORESTAL PROYECTO TÚNEL DE DAZA. San Juan de Pasto, noviembre de 2009.

SALAZAR, H. Desarrollo de la Ingeniería de Túneles en Colombia. 2010.

SANCHEZ, M. El sostenimiento de túneles basado en las clasificaciones geomecánicas, Serie Ingeniería Geológica. Excavaciones Subterráneas. 2009

Sáenz, I. Estimación de coste y plazo de ejecución en proyectos de túneles mecanizados. 2008