

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA MINERA Y**  
**METALURGICA**



**EXCAVACIÓN DE TUNELES CON T.B.M.**  
**TUNNEL BORING MACHINE**

**INFORME DE INGENIERIA PARA OPTAR EL TITULO DE :**  
**INGENIERO DE MINAS**

**VICTOR ANDRES ESPINOZA HORNA**

2002

**DEDICO ESTE TRABAJO  
A DIOS, POR GUIARME SIEMPRE  
A MI ESPOSA, POR SU GRAN APOYO  
A MIS PADRES, POR SU BUEN EJEMPLO**

# INDICE GENERAL

<b>CAPITULO I</b>	<b>Pagina</b>
1.1.Introducción.	1
1.1.1. Generalidades.	1
1.1.2. Presentación de la Empresa Misicuni.	1
1.1.3. Antecedentes del Proyecto Misicuni.	2
1.1.4. Objeto del Trabajo.	3
1.2. Descripción del Área del Proyecto	4
1.2.1. Localización y Acceso.	4
<b>CAPITULO II</b>	
2.1. Generalidades.	6
2.1.1. Resumen y Conclusiones.	6
2.1.2. Base de la oferta del contratista.	7
2.2. Organización del Proyecto.	8
2.2.1. Descripción de la Alternativa Propuesta.	8
2.2.2. Generalidades.	8
2.2.3. Descripción de la TBM.	9
2.2.3.1. Medidas de Afianzamiento.	10
2.2.3.2. Ventilación.	10
2.2.4. Sistema de bombeo de Agua de Infiltración.	11
2.3. Programa y Metodología de Construcción.	11
2.3.1. Excavación con TBM.	12
2.3.1.1. Perforación	12
2.3.1.2. Carguío de Escombros y Transporte hasta Botadero.	12
2.3.1.3. Ventilación.	13
2.3.2. Rendimientos por tipo de terreno.	13

2.3.3. Excavación con método de Voladura	13
2.3.4. Naturaleza y consistencia de la Roca	15

### **CAPITULO III**

3.1. Introducción.	17
3.2. Descripción de los Trabajos	18
3.2.1. Alineación Topográfica.	18
3.2.2. Excavación.	19
3.2.3. Ventilación.	20
3.2.4. Sostenimiento Provisional.	20
3.2.5. Sostenimiento Sistemático.	23
3.3. Perforaciones Exploratorias.	24
3.3.1. Perforaciones Piloto para detectar acumulaciones de agua.	25
3.3.2. Perforaciones Piloto para alivio de agua a presión.	25
3.3.3. Perforaciones de Drenaje.	26
3.3.4. Inyecciones de Consolidación.	26
3.3.5. Sistema de eliminación de agua infiltrada al túnel	27
3.4. Organización del área de Trabajo.	27
3.4.1. Plataforma en Superficie.	27
3.5. Túnel.	28
3.6. Organización del Contratista.	28
3.6.1. Personal Interior Túnel.	29
3.6.2. Personal Superficie.	30
3.6.3. Turno de Trabajo.	30
3.7. Recursos a ser Utilizados.	30
3.7.1. Equipo.	30
3.7.1.1. Descripción dela TBM utilizado en el portal Bocatoma.	31
3.7.1.2. Equipo Auxiliar.	32

3.7.1.3.	Descripción de la plataforma de apoyo (Back up).	32
3.7.1.4.	Equipo de Apoyo Túnel.	33
3.7.1.5.	Equipo de apoyo Superficie	33
3.7.1.6.	Servicios en Interior Túnel	34
3.8.	Materiales para el sostenimiento	35
3.8.1.	Fabricación de Cerchas	35
3.8.2.	Pernos de Anclaje Swellex	36
3.8.3.	Pernos de Anclaje con Resina.	37
3.8.4.	Placas Ademe	38
3.8.5.	Hormigón Lanzado (Shotcrete)	38
3.8.6.	Hormigón Lanzado con Fibra Metálica	39
3.9.	Reportes de Trabajo.	41

## **CAPITULO IV**

4.1.	Introducción	42
4.2.	Generalidades	44
4.3.	Objetivo	45
4.4.	Geología	46
4.4.1	Geología Estructural.	46
4.4.2	Estratigrafía	47
4.4.3	Geotecnia	47
4.4.3.1.	Clasificación de tipo de terreno	49
4.4.4.	Descripción de tipos de terreno de acuerdo a licitación	50
4.5.	Ubicación.	52
4.6.	Metodología	52
4.7.	Método de voladura	53
4.7.1	Selección del tipo de corte.	53
4.7.2	Diseño de perforación y voladura	53
4.7.2.1.	Tipo de arranque.	53
4.7.2.1.1	Avance factible de acuerdo a las dimensiones del frente.	54

4.7.2.1.2	Cantidad de taladros	54
4.7.2.1.3	Distancia entre taladros	56
4.7.2.1.4	Tolerancias	57
4.7.2.2	Ventajas	58
4.7.2.3	Desventajas	58
4.7.2.4	Conclusiones	58
4.8	Parte operativa de excavación en Bocatoma	59
4.8.1	Perforación portal Bocatoma	59
4.8.2	Cargado de explosivos y voladura	60
4.8.3	Sostenimiento	61
4.8.4	Desmonte	61
4.8.5	Avance	62
4.9	Ventilación de Túneles	62
4.9.1	Introducción	62
4.9.2	Esquemas de ventilación	63
4.9.3	Diseño de instalaciones para el sistema de ventilación	64
4.9.4	Elección de instalación de ventiladores	66
4.9.5	Cálculo del diseño de ventilación	68
4.10	Seguridad	70
4.10.1	Equipo de protección personal	70
4.10.2	Brigadas de salvamento	71
4.10.3	Posta sanitaria	71
4.10.4	Normas de seguridad	71

## **CAPITULO V**

5.1.	Introducción	72
5.2.	Elección del método mecanizado TBM	74
5.2.1	Escala de utilización de TBM en función del tipo de roca	75
5.2.2	Comparación de rendimientos de excavación	75
5.2.3	Cantidades contractuales	75

5.2.4	Rendimientos en días calendario	en la Excavación con TBM	76
5.2.5	Operatividad		76
5.3.	Descripción de la TBM		76
5.3.1.	Cabeza		76
5.3.1.1.	Descripción general de la cabeza		76
5.3.1.2.	Cilindro de empuje		78
5.3.1.3.	Motores eléctricos		79
5.3.1.4.	Elevador de cerchas		79
5.3.1.5.	Coraza		79
5.3.1.6.	Zapatas laterales o Grippers		80
5.3.1.7.	Cangilones o cucharas		80
5.3.1.8.	Ventanilla de servicio		80
5.3.1.9.	Discos		80
5.3.1.10.	Soporte hidráulico de la cabeza		81
5.3.1.11.	Cilindros de arrastre		82
5.3.1.12.	Conductos de ventilación		82
5.3.1.13.	Cinta o faja transportadora		82
5.4.	Especificación general		82
5.5.	Ensamblaje general		83
5.5.1.	Back up		84
5.5.1.1.	Descripción general		84
5.5.1.2.	Alineamiento de la máquina		85
5.5.1.3.	Sistema de ventilación		87
5.5.1.4.	Transporte		87
5.6.	Sostenimiento		88
5.6.1.	Pernos de anclaje		88
5.6.2.	Hormigón lanzado o Shotcrete		89
5.6.2.1.	Dosificación de Hormigón proyectado por vía seca		89
5.6.2.2.	Dosaje completo para 1 m <sup>3</sup> de Hormigón		90
5.6.2.3.	Dosificación de Hormigón proyectado vía húmeda		90
5.6.2.4.	Dosaje completo para 1 m <sup>3</sup> de Hormigón		91

5.6.3.	Cercha	91
5.6.4.	Spilling	92
5.6.5.	Placas Ademe	92
5.6.6.	Malla Metálica	92
5.7.	Ventilación	93
5.8.	Rendimientos de la TBM	94
5.9.	Limitaciones de utilización	98
5.10.	Costos	98
5.10.1.	Costos en método de Perforación y Voladura	98
5.10.2.	Costos del método mecanizado TBM	99
5.11.	Comparación de métodos	99
5.12.	Conclusiones y recomendaciones	101
5.12.1.	Conclusiones	101
5.12.2.	Recomendaciones	102



## **CAPITULO I**

### **PROYECTO MISICUNI**

#### **1.1. INTRODUCCION**

##### **1.1.1.- Generalidades**

Descripción de aspectos técnicos generales de diseño del túnel, que tienen influencia en el proceso constructivo del túnel, (geología, geotecnia, topografía, clima e hidrología), Los que nos proporcionan una información general, para determinar el equipo logístico a utilizar.

##### **1.1.2.- Presentación de la Empresa Misicuni**

La Empresa Misicuni, es una institución de derecho público con autonomía de gestión técnica, financiera y administrativa, creada para la ejecución y administración del Proyecto Misicuni mediante Ley de la República N° 351 de 22 de octubre de 1987 del Honorable Congreso Nacional.

El directorio está conformado por representantes de las siguientes instituciones:

ENDE	Empresa Nacional de Electricidad
CORDECO:	Corporación Regional de Desarrollo de Cochabamba
SEMAPA:	Servicio de agua potable y Alcantarillado
MACA:	Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios

### **1.1.3. Antecedentes del Proyecto Misicuni**

El Proyecto Múltiple Misicuni es un proyecto de aprovechamiento de recursos hídricos de la Cordillera del Tunari. Para el suministro de agua potable y riego a la ciudad de Cochabamba, valles circundantes y para la generación de energía hidroeléctrica.

El Proyecto pretende al aprovechamiento de un caudal firme de  $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$ . a través de la construcción de una presa de 120 m de altura. El embalse de un volumen útil de  $150 \text{ Hm}^3$ , será alimentado por aguas de cuencas del río Misicuni y con aguas trasvasadas de los ríos Vizcachas y Putucuni, estas aguas deben ser trasvasadas hacia el embalse por medio de un túnel de 18 Km. de largo.

Las aguas del embalse conducidas hacia el valle de Cochabamba a través de un túnel de 20 Km. de longitud deben conectar el río Misicuni con el valle. La proyección de este túnel cruza el río Titiri en la progresiva 7+500. En este punto el Proyecto contempla un acceso denominado Ventana Intermedia de 1245 m de longitud. Finalmente el tramo final debe comunicarse con el valle a través de la ventana Calio (de 310 m de longitud).

En el sector de la Ventana Calio se contempla la construcción de una chimenea de equilibrio, de un pozo inclinado, un túnel de media presión, un conducto forzado y una casa de máquinas con una potencia de instalada de 120 Kw/h. que aprovecharía una caída neta de más de 1000 m.

Las aguas después de ser utilizadas en las turbinas ingresarán luego a un embalse de compensación, parte de ellas serán conducidas hacia la ciudad de Cochabamba para su uso, mientras que el remanente será utilizado en los valles para el riego de alrededor de 10.000 Ha.

#### **1.1.4. Objeto del Trabajo.-**

El proyecto tiene por objeto la construcción de la ventana Intermedia, la ventana Calio y el túnel que conecta la Ventana intermedia con la Ventana Calio haciendo un total de 13.307 m de excavación subterránea. Las características geométricas particulares de cada uno de los tramos se presentan a continuación

- **Ventana Intermedia**
  - Sección de excavación            26 m<sup>2</sup>
  - Longitud                                1.245 m
  - Pendiente                                +12 % (por ciento)
  
- **Túnel : Ventana Intermedia – Ventana Calio**
  - Sección de excavación            8.13 m<sup>2</sup>
  - Longitud                                11752 m
  - Pendiente                                -4.4 ‰ (por mil)
  
- **Ventana Calio**
  - Sección de excavación            8.13 m<sup>2</sup>
  - Longitud                                310 m
  - Pendiente                                +0.5 % ( por ciento)

## **1.2. Descripción del Area del Proyecto**

### **1.2.1. Localización y acceso**

El área del proyecto se encuentra ubicada en la cordillera del Tunari aproximadamente a 50 Km. al Noroeste de la ciudad de Cochabamba.

La construcción del túnel contempla dos frentes de trabajo (Bocatoma de embalse y Ventana Calio). Estos caminos fueron construidos y mejorados recientemente por instituciones locales.

#### **Frente de trabajo Bocatoma de embalse.-**

Existen dos posibilidades para llegar desde la ciudad de Cochabamba al lugar de ubicación de la Bocatoma de embalse.

La primera parte de Cochabamba, pasa por Quillacollo (Km. 18+600) y sigue el camino a Morochata atravesando la Cordillera del Tunari. En el Km. 40+000 se efectúa un viraje a la derecha en dirección al río Titiri y Serkheta. El camino descendente pasa por un segundo cruce a Cotapata en el Km. 57+000 y continúa por la derecha hasta llegar a la estancia de Misicuni lugar de ubicación de la Bocatoma. La longitud de recorrido es de aproximadamente 70 Km.

El segundo camino también parte de Cochabamba pasa por las localidades de Colcapirua y Tiquipaya continúa en tramo ascendente por la abrupta ladera Este de la cordillera del

Tunari, hasta llegar a la localidad de Escalerani. A partir de esta se sigue paralelamente al río Titiri en dirección Noroeste, se pasa por el Pozo Intermedio y finalmente se llega a la localidad de Misicuni. La longitud aproximada de este recorrido es de 45 Km.

### **Frente de trabajo Ventana Calio**

Para llegar a la ventana Calio, se parte de Cochabamba se pasa por Quillacollo y se continua por el camino a Morochata hasta el cruce Liriuni Km. 26+200, luego se desvía a la derecha hacia el balneario Liriuni. A partir de este punto se asciende por la ladera de la cordillera por el único camino vecinal hasta llegar a la ventana Calio, localidad muy cercana a la Estancia Caluyo. La longitud del recorrido es de aproximadamente 40 Km.

## **CAPITULO II**

### **PROPUESTA TECNICA PARA LA CONSTRUCCION DEL TRAMO ENTRE TUNEL TRASVASE Y BOCATOMA DE EMBALSE**

#### **2.1.- Generalidades.-**

##### **2.1.1.- Resumen y Conclusiones.-**

En el estudio efectuado con el fin de realizar las obras se han tomado en cuenta dos factores fundamentales que deben considerarse como base de cualquier evaluación:

- La necesidad de completar lo más pronto posible el Proyecto ya que la Ciudad de Cochabamba presenta una necesidad urgente de agua destinada al riego y al uso domestico.

La necesidad de contener el costo del proyecto por medio de la mejor evaluación posible de la relación “Tiempo/Costo”.

Partiendo de esta base, han sido determinados los tipos de equipos, instalaciones necesarias y así mismo el sistema de construcción adoptado.

Además para optimizar el trabajo se ha optado el empleo de una maquina para túneles (TBM : Túnel Boring Machine) que permitirá una consistente reducción del tiempo de ejecución del trabajo.

El tiempo total para ejecutar las obras ha sido previsto con la presente alternativa en 44 meses incluyendo el tiempo de movilización.

### **2.1.2.- Documentos – base de la oferta del Contratista.**

El estudio técnico – económico que el Contratista ha llevado a cabo para formular su propuesta de ejecución del Proyecto se basa en la documentación anexa, la cuál se en lista a continuación:

#### a) Documentos de la Licitación de Abril 1993 :

Tomo 1 .	Pliego de Documentos legales.
Tomo 2.	Invitación y pliego de Propuestas.
Tomo 3.	Detalle de cantidades de Obra y Precios.
Tomo 4.	Condiciones contractuales.
Tomo 5.	Especificaciones Técnicas
Tomo 6.	Planos de licitación.
Tomo 7.	Información para los Proponentes.

#### b) Documentos entregados durante la negociación de septiembre –Octubre de 1997:

Aclaraciones y Modificaciones a los Tomos 1 y 6.

## **2.2.- Organización del Proyecto.-**

### **2.2.1.- Descripción de la Alternativa Propuesta.-**

La alternativa se basa en la ejecución de los trabajos siguientes:

- Construcción de un tramo inicial en la Bocatoma del Embalse por medio del método perforación y voladura de aproximadamente 200 metros de 12,98 m<sup>2</sup> de sección de manera a preparar adecuadamente el frente para la excavación de la TBM.
- Construcción del Túnel de Media Presión desde el frente Bocatoma por medio de una TBM de 3.5 metros de diámetro según el trazado indicados en los planos del contrato.

### **2.2.2.- Generalidades.-**

La excavación del Túnel, salvo aproximadamente los primeros 200 metros desde la Bocatoma de Embalse, será efectuado por medio de TBM a sección plena, especialmente adaptando para este trabajo y llevará las siguientes características y ventajas:

- a.- Reducción de los tiempos de ejecución previstos con el método de perforación y voladura.
- b.- Producción constante y menor importancia del grado de fracturación de las rocas ( con exclusión de eventuales tramos denominados IGE “Incidentes Geológicos Extraordinarios”).



- c.- Medidas de afianzamiento y/o revestimiento, y perfil de excavación de mejor calidad con relación al método de Voladura
- d.- Riesgo nulo de eventuales derrumbes derivados del uso de explosivo.
- e.- Mejor distribución de las cargas que gravan sobre el túnel con respecto a la que deriva de la forma de la sección tradicional de herradura y de las modalidades de excavación de la misma.
- f.- Mejor y más seguro ambiente de trabajo.

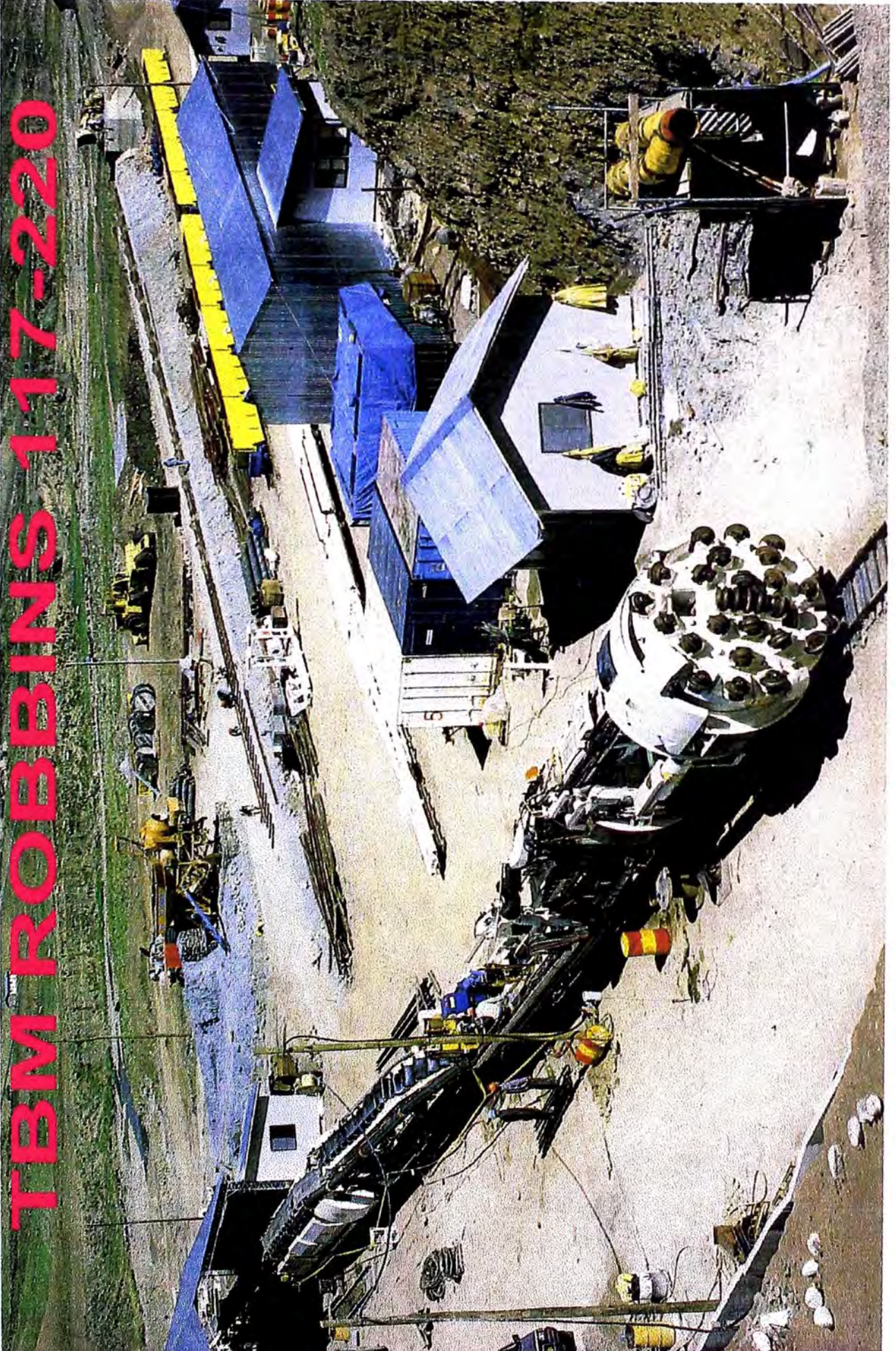
### **2.2.3. Descripción de la TBM.**

El esquema general de la maquina tipo se presenta en el gráfico a continuación anexo.

Se trata de una TBM abierta (sin escudos) con una cabeza perforadora de 3.500 m de diámetro. Diseñado para poder cruzar los tipos de roca que se prevén en el informe geológico.

Debido a la eventual posibilidad de fenómenos de convergencia en roca del tipo IV, es recomendable el uso de los escudos ya que el mismo puede evitar atrapar el equipo (Motores) y personal; esto debido a los importantes esfuerzos de fricción que podrán desarrollarse en la superficie de los mismos por efecto del terreno. Para nuestro caso se incorporó los escudos.

TBM ROBBINS 117-220



Por lo que se refiere al método de perforación y voladura el equipo a utilizarse será del tipo sobre ruedas para todo el movimiento de escombros (Cargador frontal y Scoops) y perforadoras manuales a aire comprimido para la perforación del túnel.

#### **2.2.3.1. Medidas de afianzamiento.-**

En función del tipo de roca encontrada seguirá la colocación programada de los diferentes sistemas de afianzamiento previstos, que consisten en el uso de pernos de anclajes Swellex en el frente, pernos Swellex y Normales detrás del frente, hormigón lanzado (Shotcrete), malla electrosoldada de 1,4 Kg/m<sup>2</sup> (15x15 cm<sup>2</sup>), cerchas o cimbras metálicas de perfil TH21 y placas de ademe.

#### **2.2.3.2. Ventilación.**

La instalación correspondiente a la ventilación tiene como fin, proporcionar aire puro para el cambio normal en el frente de avance.

En el frente de avance está previsto un flujo de aire puro de 0.3 m/seg.

Todo el equipo de construcción dentro el túnel no es antideflagrante ya que no se espera presencia eventual de gases en este tramo.

#### **2.2.4. Sistema de bombeo de agua de infiltración.-**

Para la cantidad adicional de agua que se encontrará será necesario bombearla e instalar tuberías de 30 cm de diámetro.

Se ha considerado para la tubería de 30 cm un caudal máximo de agua de 150 lts/seg con una variación a lo largo del túnel a medida que avance la excavación.

Se instalarán estaciones de bombeo para captar y evacuar el agua durante la construcción del túnel y se transportará la misma hacia la zona donde correrá naturalmente hasta alcanzar la salida del túnel y no perjudicar las diferentes actividades de construcción.

De superarse las cantidades de agua previstas en el Tomo 7 se considerará condición física adversa y se concordará con el ingeniero las medidas necesarias, nuevos tiempos de construcción y eventualmente costos adicionales correspondientes.

#### **2.3. Programa y Metodología de construcción.-**

El programa de construcción que se anexa a la presente propuesta se basa en lo siguiente:

### **2.3.1. Excavación con TBM :**

#### **2.3.1.1. Perforación.-**

Se utilizara una TBM de 3.5 m de diámetro con Backup para alojamiento de los equipos de control y mantenimiento y carguío de escombros sobre los vagones por medio de una cinta transportadora.

También serán disponibles en el frente de trabajo equipos de perforación hidráulicos y neumáticos instalados sobre la TBM que permitan la perforación de taladros de sondeo, la perforación de taladros para la instalación de pernos de anclaje; así como también equipos portátiles para la aplicación de shotcrete.

La TBM será guiada durante su avance por equipo láser.

#### **2.3.1.2. Carguío de escombros y transporte hasta el botadero.-**

El Carguío de los escombros sobre vagones se efectuará mediante una cinta transportadora instalada en el backup de la TBM, y los vagones serán acarreados por locomotoras de 20 ton. hasta el área del botadero. Un equipo hidráulico volteador de vagones, instalado en el área del portal permitirá descargar los vagones. En las secciones de túnel donde se excavará con el método de perforación y voladura, se aprovechará los espacios anchos para instalar californianos (cambios de riel) que permitan el cruce de

trenes durante la fase de excavación y de esta manera agilizar el proceso productivo.

### **2.3.1.3. Ventilación.-**

El equipo de ventilación consiste en un grupo de ventiladores adecuadamente espaciados, según el avance; estos ventiladores son de 27 kw hasta 40 kw. La manguera o ducto de ventilación será de 90.0 cm de diámetro.

### **2.3.2. Rendimientos por tipo de terreno.-**

Los siguientes rendimientos son asumidos de acuerdo a los diferentes tipos de terrenos:

Terreno Tipo I	24 m/día calendario
Terreno Tipo II	18 m/día calendario
Terreno tipo III	6 m/día calendario
Terreno Tipo IV	3 m/día calendario

Estos rendimientos están también en función de las calidades de tipo de afianzamiento necesarios en el frente.

### **2.3.3. Excavación con Método de Voladura.-**

Se ejecutarán las excavaciones del túnel que atraviesa la falla Misicuni desde Pozo Intermedio y de aproximadamente 200 metros de galería desde la ventana Calio con métodos convencionales sobre ruedas como se describe a continuación

### **- Perforación**

Equipos por frente de trabajo.-

Tres perforadoras manuales con pie de avance a aire comprimido.

Un compresora de 750 pcm.

### **- Carguío de escombros y transporte hasta botadero**

Un cargador sobre llantas de bajo perfil tipo CAT 930 .

Dos volquetes y tractor con tiempo compartido para organizar de los escombros en el botadero

### **- Ventilación**

Un grupo de ventilador de 30 kw.

Mangas de ventilación flexibles de 60 cm de diámetro (estas mangas serán reemplazadas con mangas previstas para la excavación con TBM de 90 cm).

### **- Avances promedios con este método de excavación**

Avance en terreno Tipo I	4,00 m/día calendario
Avance en terreno Tipo II	3,18 m/día calendario
Avance en terreno Tipo III	2,6 m/día calendario
Avance en terreno tipo IV	2,0 m/día calendario

#### **2.3.4. Naturaleza y consistencia de la roca.-**

Se asumen las indicadas en los documentos de Licitación y sus anexos (Tomo V) y por lo tanto:

- En el precio cotizado por el ofertante se excluyen la presencia de tipos diferentes de roca y diferentes condiciones geológicas previstas en los documentos de licitación y en particular el IGE.

En caso de que se encontraran condiciones diferentes a las previstas el contratista tendrá derecho a negociar con el mandante una justa compensación económica y plazo para cada caso extraordinario.

El precio promedio de excavación para la metodología con TBM y el plazo ofrecido ha sido calculado de acuerdo a los tipos y cantidades de terreno previstos en los documentos del contrato y en la eventualidad que las longitudes previstas por cada tipo de terreno difieren de lo indicado en los documentos del contrato, con aumento consiguiente de tiempos totales de ejecución se ajustara el nuevo plazo total para la finalización de los trabajos y además de aplicarse lo establecido en los documentos de licitación, en cuanto a compensación económica (que se refiere, en esta oferta, solamente a gastos generales) se recálculara el precio promedio de excavación de acuerdo a los porcentajes siguientes de costos unitarios relativos a cada tipo de terreno:



Terreno Tipo I	100 %
Terreno Tipo II	104 %
Terreno Tipo III	126 %
Terreno Tipo IV	167 %.

## **CAPITULO III**

### **DESCRIPCION DE LA PROPUESTA**

#### **3.1. INTRODUCCION**

La propuesta cubre los alcances de los trabajos que el Consorcio Astaldi-ICE, ejecutará para lograr la excavación y el sostenimiento del Túnel de Tránsito del Proyecto Múltiple Misicuni, desde la progresiva 00+265 a la progresiva 06+960, con el empleo de la máquina perforadora de túneles, TBM - Robbins 117-220-1.

El documento, por razones de su organización, ha sido dividido en cinco partes:

- 1) Descripción de los trabajos
- 2) Organización del área de trabajo
- 3) Organización del Contratista
- 4) Recursos a ser utilizados
- 5) Reportes de Trabajo

En la primera parte se describen los procedimientos que serán empleados para cada una de las etapas de avance de túnel según los tipos de terreno que se excavan.

La segunda parte, trata de la organización del área de trabajo que será utilizada para cada una de las actividades que en conjunto componen los requerimientos de servicios y suministros necesarios para la excavación del túnel y su

correspondiente sostenimiento.

La tercera parte esta dedicada a mostrar los recursos humanos que serán empleados durante los trabajos, así como la línea de mando y responsabilidad existente en la organización de este frente de trabajo. También se cubre lo relativo a la organización del tiempo.

La cuarta parte corresponde a equipos, materiales y servicios a ser empleados en la ejecución de la excavación del túnel.

La quinta parte presenta los modelos de los Reportes de Trabajo de cada guardia que se utilizarán para el control de la excavación del túnel.

Además de lo anterior, se ha visto por conveniente adicionar las propuestas del Contratista, relativas a las necesidades y modificaciones que deben hacerse a las especificaciones técnicas, las que fueron realizadas para una excavación de túneles con el método de perforación y voladura de tal modo adecuarlas a excavaciones con TBM.

## **3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS**

### **3.2.1. ALINEACION TOPOGRAFICA**

La alineación topográfica consistirá en mantener y conducir la posición de la cabeza cortadora del TBM en el eje y niveles de túnel que especifican los planos respectivos mediante el uso de equipo LASER, el cuál es ubicado y controlado en

cada una de sus ubicaciones con ayuda de equipos topográficos de ESTACION TOTAL.

El equipo LASER, requiere que se deje libre de instalaciones u otras interferencias un sector del túnel; para este caso se ha decidido ubicar este sector en el lado superior izquierdo del túnel.

En esta parte también se incluyen los trabajos de identificación de progresivas, ubicación de puntos de control de niveles (BM) y materialización de los puntos de inflexión que contiene el trazo del túnel.

### **3.2.2. EXCAVACION**

La excavación del túnel, propiamente dicha, consiste en lograr los avances programados para cada tipo de roca mediante el uso de la Máquina Perforadora de Túneles - TBM, máquina que logra realizar la excavación mediante el corte de la roca como producto del cizallamiento que hacen los cortadores ubicados en el frente de la cabeza del TBM por la presión que esta aplica contra la roca y su rotación en el sentido horario.

La excavación incluye el trabajo de acarreo del material roto hasta la zona de descarga y de allí a su ubicación final en los denominados "botaderos", que para el presente caso se sitúa en una zona próxima al cauce del Río Misicuni, por debajo de una cota de 3,717 msnm.

Para el acarreo de material roto, la TBM, se complementa con dos sistemas, uno de fajas transportadoras desde el punto de colección de la cabeza cortadora hasta el punto de carga a los carros de transporte y otro para las maniobras de posicionamientos de los carros, una vez cargados los carros se conforma un tren que es trasladado hasta la zona de descarga por una locomotora. De la zona de descarga con apoyo de equipo de movimiento de tierras los escombros se llevan a su ubicación final en el botadero.

### **3.2.3. VENTILACION**

En el equipo de la TBM se incluyen los sistemas para evitar el polvo, producto de la excavación que llegue al ambiente, sistemas que además dotan al túnel de un sistema de ventilación impelente el mismo que tiene por objetivo proporcionar aire fresco en los volúmenes necesarios (2.89 m<sup>3</sup>/seg. mínimo), para el confort del personal que labora dentro el túnel y la operación de los equipos con motores diesel.

### **3.2.4. SOSTENIMIENTO PROVISIONAL**

El sostenimiento aplicado a la longitud inicialmente excavada, es provisional, emergente de la capacidad de autoaporte de la roca en función del tiempo que transcurriría desde su excavación hasta que dicha zona este accesible a los equipos de la plataforma de trabajo del TBM, donde se aplicará el sostenimiento sistemático. El sostenimiento

provisional a ejecutarse comprende únicamente el tramo excavado entre la cabeza de corte y las zapatas de apoyo de la TBM, sostenimiento que se describe a continuación :

### **TERRENO TIPO I**

Normalmente no se realiza ningún trabajo de sostenimiento provisional por cuanto la capacidad de soporte de este tipo de roca no lo requiere, sin embargo, eventualmente podría ser necesaria la colocación de pernos swellex de anclaje rápidos de instalar para detener bloques de roca. En este tipo de roca no se detiene la TBM en su avance.

### **TERRENO TIPO II**

En este tipo de roca, como sostenimiento provisional se colocarán hasta dos (2) pernos de anclaje tipo swellex inmediatamente después del avance de la cabeza cortadora, distribuidos según los requerimientos del sostenimiento de la porción excavada. El trabajo de empernado se hace sin detener el avance del TBM.

### **TERRENO TIPO III**

En estas rocas poco competentes, inmediatamente después de completado el avance de la cabeza cortadora, como sostenimiento provisional se colocarán hasta cuatro (4) pernos de anclaje tipo swellex, distribuidos según los requerimientos del sostenimiento de la porción excavada. El trabajo de

empernado se hace sin detener el avance del TBM.

El claro máximo sostenido por pernos swellex será igual a la distancia que existe entre la cabeza de corte y el erector de cerchas, que es de 6 metros, lo que equivale a cinco avances, cuyo tiempo de ejecución será de aproximadamente 2.50 horas.

Transcurrida la ejecución del quinto avance, el equipo TBM mediante el erector de cerchas colocará la correspondiente cercha, que se espaciarán a 1.50 metros.

#### **TERRENO TIPO IV**

En este tipo de terreno, que por definición, no permite simultáneamente el avance de la TBM y los trabajos del sostenimiento provisional, inicialmente este trabajo se realiza mediante la colocación de hasta (6) pernos swellex, una cercha metálica espaciada a cada metro y planchas metálicas de ademe. Excavación de desquinche en la solera de un volumen de roca suficiente para conformar una presolera de hormigón H-20 o H-25 que aloje el perfil TH21 de continuidad de la cercha metálica. Si la calidad de la roca exigiese un sostenimiento provisional de mayor capacidad a la anterior se adicionará la aplicación de hormigón lanzado, con fibra metálica en su mezcla, con un espesor de hasta 15 centímetros. El siguiente avance de la cabeza de corte se efectuará una vez culminado todo el sostenimiento provisional.

## **ROCAS NO PREVISTAS EN EL EXPEDIENTE TÉCNICO**

En casos de que la excavación deba ejecutarse en partes del macizo rocoso cuyo tiempo de autosoporte sea cercano a cero o en zonas de arcilla expansiva, el macizo deberá ser previamente tratado según procedimientos que se acordarán para cada caso en especial. Ejemplo, familias de diaclasas de diferente orientación y longitud, con relleno de material triturado, con arcilla expansiva y agua.

### **3.2.5. SOSTENIMIENTO SISTEMÁTICO**

Entendemos por Sostenimiento Sistemático, al sostenimiento que debe ser ejecutado según lo indicado en los planos respectivos para determinados tipos de terreno. Estos trabajos se ejecutarán desde la plataforma de trabajo, simultáneamente con el avance de la TBM, labores que se deben aplicar según las características de cada tipo de terreno.

#### **TERRENO TIPO I**

Colocación de pernos de anclaje puntuales con resina (a requerimiento del sector) y aplicación de hormigón lanzado con o sin fibra metálica en su mezcla, en los lugares que se requiera sostener.



## **TERRENO TIPO II**

Colocación de pernos de anclaje con resina (sistemáticos) en una cantidad de 6 – 5, ubicados según lo estipulado en los planos, hormigón lanzado con fibra metálica en su mezcla, en un perímetro igual a 180 grados del perímetro cortado y con espesor entre 5 y 10 centímetros, dato obtenido del ábaco de Clasificación del Macizo Rocosó.

## **TERRENO TIPO III**

Colocación de pernos de anclaje con resina (sistemáticos) en un número de 8 – 7, ubicados según lo estipulado en los planos aplicados de hormigón lanzado con fibra metálica en su mezcla, en un perímetro igual a 276 grados del perímetro cortado y con espesor entre 10 y 15 centímetros, dato obtenido del ábaco de Clasificación del Macizo Rocosó.

## **TERRENO TIPO IV**

Desde la plataforma de trabajo se colocará hormigón proyectado con fibra metálica en su mezcla con espesores adicionales hasta completar los 20 centímetros, dato obtenido del ábaco de Clasificación del Macizo Rocosó.

### **3.3. PERFORACIONES EXPLORATORIAS**

Las perforaciones cuya ubicación, dirección y longitud deben ser coordinadas con el Ingeniero(supervisión), se ejecutará

con la TBM detenida y para ello se empleará equipo de perforación rotatoria con diámetro NQ. Estas perforaciones se ejecutarán en sectores recomendados por el estudio geológico, para fines de verificación de discontinuidades y calidad de terreno.

### **3.3.1. PERFORACIONES PILOTO PARA DETECTAR ACUMULACIONES DE AGUA A PRESION**

Cuando sea necesario determinar la presencia de acumulaciones de agua a presión en el macizo rocoso delante de lo excavado, se realizará la perforación de taladros pilotos con 51 milímetros de diámetro y longitudes mayores a 6 metros. Estas perforaciones se ejecutarán siguiendo los estudios y recomendaciones geológicas realizadas. Estas perforaciones se ejecutarán con la TBM detenida.

### **3.3.2. PERFORACIONES PILOTO PARA ALIVIAR LA PRESION DEL AGUA SUBTERRANEA**

De acuerdo al resultado obtenido por la perforación piloto, se ejecutarán taladros con el propósito de aliviar la presión del agua subterránea de 76 milímetros de diámetro con longitudes igual o menores a 100 metros, en las zonas donde el macizo permite taladros de paredes estables. Si las zonas seleccionadas corresponden a rocas donde las paredes de los taladros de alivio pueden colapsar, este deberá ser revestido con tubería metálica de 80 milímetros de diámetro en un tramo no menor a 6 metros y que además deberá instalarse un

manómetro y su correspondiente válvula de control. La perforación de estos taladros se ejecutarán con la TBM detenida.

### **3.3.3. PERFORACIONES DE DRENAJE**

Si durante la excavación del túnel fuese necesario, se ejecutarán perforaciones de drenaje en los lugares definidos, con la dirección y longitud que indique el Ingeniero Geólogo, estas deberán ser de 76 milímetros de diámetro y una longitud hasta alcanzar los lugares de acumulación de agua.

### **3.3.4. INYECCIONES DE CONSOLIDACION**

Si los resultados de la perforación exploratoria determinan la mala calidad del macizo rocoso, una alternativa, es la de inyectar lechada de cemento, para la consolidación del macizo rocoso, este trabajo se ejecutará con el TBM detenida. Estas inyecciones se realiza por medio de perforaciones (6 taladros) en la bóveda hasta que lleguen a la zona conflictiva, luego se instala dos mangueras, una para inyectar mezcla de cemento u hormigón preparado, hasta rellenar todos los espacios vacíos; la otra manguera nos dará la señal que esta llena cuando rebalse la mezcla de esta, luego de que se encuentre seca la mezcla, continuará la excavación con la máquina.

### **3.3.5. SISTEMA DE ELIMINACION DE AGUA INFILTRADA AL TUNEL**

La eliminación de agua infiltrada del túnel como la del uso para la excavación y perforación con máquinas neumáticas, se realiza por medio de bombeo, en estaciones definitivas cada 1000 m. y provisionales que se van construyendo a medida que avanza la excavación. Las bombas de agua utilizadas tienen una capacidad de 60 lt/seg.

Durante el avance se hace necesaria la instalación de una bomba detrás de la cabeza del TBM y otra delante de la cabina de control (sector de armado de línea).

Estas son conectadas a tuberías de 12” de diámetro, instaladas a lo largo del túnel.

### **3.4. ORGANIZACION DEL AREA DE TRABAJO**

#### **3.4.1. PLATAFORMA EN SUPERFICIE**

En el plano, se indica la ubicación de cada uno de los servicios necesarios para la operación de la TBM, sus sistemas accesorios y complementarios que son las siguientes:

1. - Almacén de cemento
2. - Almacén de obra
3. - Almacén de materiales para líneas férreas y tubería metálica
4. - Botaderos
5. - Estación de compresoras de 1,000 pcm
6. - Laboratorio
7. - Oficinas
8. - Patio de maniobra del equipo de transporte sobre rieles

9. - Planta de hormigón y de agregados
10. - Sistemas de decantación de aguas eliminadas del túnel.
11. - Subestación eléctrica local de 3Mw.
12. - Taller de mantenimiento de cortadores de la TBM.
13. - Taller eléctrico
14. - Taller mecánico
15. - Ventiladores del túnel
16. - Zona de descarga de material de excavación

### **3.5. TUNEL**

En el plano, se indica la ubicación de cada uno de los servicios necesarios para la operación de la TBM, con sus sistemas complementarios para operación y son los siguientes:

1. - Ventilación
2. - Sistema de tubería de bombeo
3. - Tubería para agua industrial
4. - Sistema de iluminación
5. - Sistema de comunicación
6. - Línea de alta tensión
7. - Sistema láser

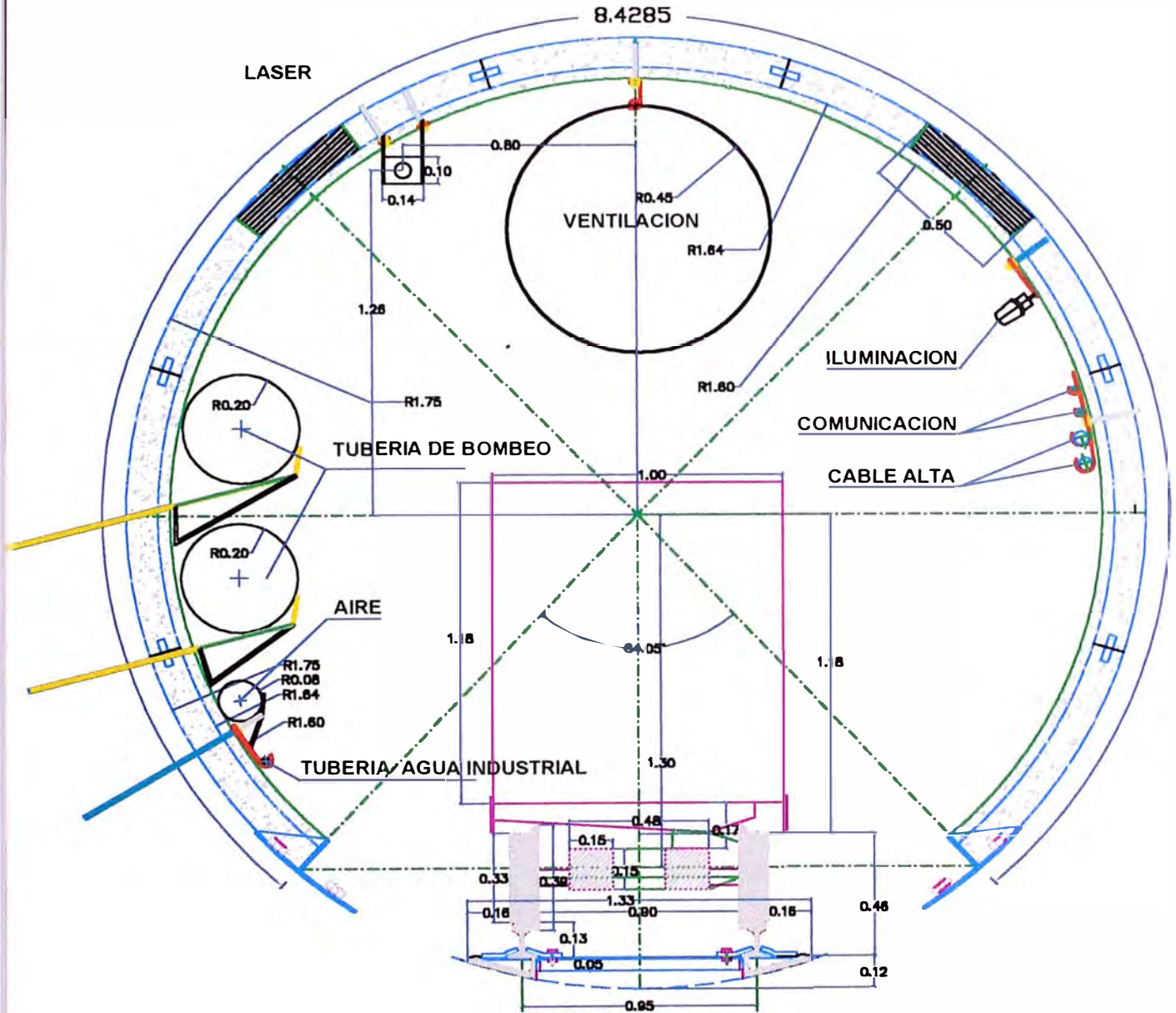
### **3.6. ORGANIZACION DEL CONTRATISTA**

La organización del contratista estará conformada de acuerdo al organigrama en hoja adjunta.

El personal para la operación, mantenimiento de la TBM y el sostenimiento del túnel será el siguiente:



# ORGANIZACION AREA DE TRABAJO BOCATOMA



<b>Consortio Astaldi - ICE</b>			
PROYECTO MULTIPLE MEDIO - TUNEL DE TRASVASE			
TUNEL TRASVASE Y BOCATOMA DE EMBALSE			
<b>ORGANIZACION AREA DE TRABAJO</b>		Escala	F. CTA
GERENCIA TECNICA		NUMERO	
ESCALA	PROYECTO	DIBUJO	<b>MB - 0087</b>

### 3.6.1 PERSONAL INTERIOR TUNEL

CARGO	GUARDIA " A "	GUARDIA " B "
Capataz de turno	1	1
Operador de TBM	1	1
Mecánico de TBM	1	1
Eléctrico de TBM	1	1
Ayudante de TBM	3	3
Perforistas	2	2
Ayudante Perforista	2	2
Shocretero	1	1
Ayudante Shocretero	1	1
Operador de Shocretera	1	1
Operador Locomotora	2	2
Ayudante Locomotora	2	2
Carrilano	1	1
Ayudante Carrilano	3	3
Tubero	1	1
Ayudante Tubero	1	1
Electricista	1	1
Ayudante Electricista	1	1
Anotador de Incidencias	1	1
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>27</b>



### 3.6.2. PERSONAL SUPERFICIE

CARGO	GUARDIA " A "	GUARDIA " B "
Control de transito	1	1
Operador zona de descarga	1	1
Operador tractor	1	1
Operador Moto trailla	1	1
Operador Planta Hormigón	1	1
Ayudante Planta Hormigón	1	1
Operador Cargador Frontal	1	1
Mecánico de discos	1	1
Ayudante mecánico de Discos	1	
Encargado de Patio	1	1
Ayudante Patio	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	<b>10</b>

### 3.6.3. TURNO DE TRABAJO

Se trabajarán en 2 turnos de 12 horas cada uno, con dos equipos de personal que rotarán en periodos de seis días de trabajo por uno de descanso, el trabajo será continuo incluso domingos y feriados, en casos de encontrar terreno tipo III a IV.

## 3.7. RECURSOS A SER UTILIZADOS

### 3.7.1. EQUIPO

Adjuntamos el anexo, el historial de la Maquina Perforadora de Túneles que ha sido reconstruida para su trabajo en el frente de Bocatoma.

El equipo principal considerado para la ejecución de los trabajos de excavación y sostenimiento de las galerías descritas, se indica en el cuadro adjunto:

### 3.7.1.1. DESCRIPCION DE LA TBM UTILIZADO EN EL PORTAL DE BOCATOMA

Marca	Robbins
Modelo	117 – 220 –1
Diámetro de la maquina	3.53 m.
Tipo de rodamiento principal	Rodillos cónicos Capacidad dinámica 900 Ton.
<b>CORTADORES</b>	
Tipo	Discos Robbins
Cantidad	27 discos de 17 pulgadas
Empuje de cabeza	552 Ton.
Motores	4x200HP (149 w) 1500 RPM cada motor, refrigerados por agua.
Velocidad cabeza de corte	12 RPM
Presión sistema hidráulico máximo	323 Mpa.
Presión máxima operación gripers	281 Mpa.
<b>SISTEMA ELECTRICO</b>	
Circuito motores	380 V tres fases 50 Hz
Controles iluminación	
Transformadores	2 x 500 Kva.
Poder requerido	570 Kw al 75 % de carga máx.
Peso maquina	136 Ton. Aproximada

### **3.7.1.2. EQUIPO AUXILIAR**

- Erector de cimbra ubicada a 6.20 metros del frente.
- 2 perforadoras BBD 70 para colocación de pernos de anclaje en la bóveda ubicados a 7 metros del frente.
- Perforadora para taladros piloto marca Diamec Atlas Copco, ubicado a 25 metros del frente.
- Plataforma de trabajo con el robot para la aplicación de hormigón proyectado y el equipo de entrega de hormigón.
- Perforadoras BBD 70 para la colocación de los pernos de anclaje en forma sistemática.

### **3.7.1.3. DESCRIPCION DE LA PLATAFORMA DE APOYO (BACK Up).**

Deck	1	Correa transportadora
Deck	2	Cabina operador y comedor
Deck	3	Generador de emergencia bodega, taller de emergencia, central hidráulica
Deck	4	2 transformadores y 2 cabinas eléctricas
Deck	5	1 transformador, circuito de interruptores, baño, cable, TBM.
Deck	6	Tanque de agua, ventilador aspirador
Deck	7	Empalme manga de ventilación.
Deck	8	Pulmón de aire
Deck	9	Compresora de aire.
Deck	10 al 16	Carga de material de excavación
Deck	17 al 33	California

#### **3.7.1.4. EQUIPO DE APOYO**

- Locomotora de 20 toneladas
- 1 locomotora de 14 toneladas
- 15 vagones (8 m<sup>3</sup> de capacidad) con descarga de fondo
- Carro para personal
- Plataforma para servicio
- Camión mezclador de hormigón de 4 m<sup>3</sup> de capacidad.

#### **3.7.1.5. EQUIPO DE APOYO EN SUPERFICIE**

Se cuenta con el siguiente equipo:

- Planta termoeléctrica con capacidad instalada, de 6 Mva. ubicada en la localidad de Marquina.
- Subestación de maniobra en Calio con posibilidad de interconexión con la línea de ELFEC que permitirá trabajar en casos de emergencia.
- 34 kilómetros de línea de media tensión de 25 Kv.
- Grupo eléctrico de emergencia 225 Kw.
- Subestación eléctrica con transformador de 25 Kv. a 6 Kv. y 380/220 v.
- Compresora eléctrica Atlas Copco GA – 200, con una capacidad de 1000 pcm.
- Taller para mantenimiento de discos cortadores
- Taller completo para el mantenimiento de los equipos subterráneos y de superficie.
- Ventiladores axiales, de superficie. GIA SwedVent Tunnelling Ventilation, tipo axial con potencia de 35Hp
- Planta mezcladora Betonmac

- Almacén Bocatoma
- Almacén central en Puntiti (Cbba) y Calio
- Equipo de descarga de fondo para vagones
- Mototrailla
- Cargador Frontal

### **3.7.1.6. SERVICIOS EN INTERIOR TUNEL**

- Sistema de distribución de agua industrial a través de tubería de 3 pulgadas de diámetro.
- Línea de media tensión de 6 Kv.
- Línea 380/220 v. para iluminación y bombeo
- Sistema de bombeo de aguas infiltradas en túnel.

Para la operación de excavación y sostenimiento del túnel de modo continuo con los niveles de eficiencia que requiere el contratista se tienen previstos servicios permanentes de:

Abastecimiento de Agua Industrial, para:

- El sistema de enfriamiento de los cuatro motores principales.
- El sistema de rociado (spray) de agua al frontón para evitar el sobre calentamiento de los discos y eliminación de polvo.
- El sistema mitigación de polvo y las actividades de perforación para pernos de anclaje.
- Perforaciones piloto.

El agua industrial se provee desde un tanque de 1000 m<sup>3</sup> de capacidad, ubicada a 20 m. sobre el nivel del portal,

conectada a una tubería de 3 pulgadas de diámetro instaladas a lo largo del túnel y empalmada a una manguera flexible de entrada a la máquina en una longitud de 40 metros.

El suministro de Energía eléctrica, se efectúa con una línea de 6000 voltios la que es empalmada con cables y conexiones especiales a la máquina, este cable tiene una longitud de 400 metros y esta en una bobina que va montada en un carro (cable reel), cuando el límite máximo permitido es alcanzado se realizan los empalmes mediante conexiones vulcanizadas. Para bombeo e iluminación se cuentan con líneas 220/380v.

Para la ventilación y dilución de los gases emanados por los equipos de perforación, locomotoras y el polvo proveniente de la actividad propia de la excavación con TBM, es realizado con ventiladores instalados en el portal del túnel, el ingreso de aire fresco al túnel mediante mangas flexibles de 90.0 cm de diámetro, que son instalados en tramos de 100 metros, estas mangas están enrolladas en tubos llamados magazine y se van desenrollando a medida que avanza la máquina.

El aire comprimido, para las actividades del sostenimiento, colocación de pernos de anclajes y perforaciones auxiliares, se suministra por medio de una compresora eléctrica estacionaria Atlas Copco de 1000 pcm y llevada al túnel mediante la instalación de tubería de 6 pulgadas de diámetro.

Para la preparación de Mezcla de Hormigón, se cuenta con una planta dosificadora de hormigón de una capacidad de  $Q=10 \text{ m}^3/\text{Hr}$ , suficiente para realizar el avance sistemático,

El preparado de agregados, se realiza con el material del Río Titiri mediante el uso de una planta clasificadora Parker.

### **3.8. MATERIALES PARA EL SOSTENIMIENTO**

#### **3.8.1. FABRICACION DE CERCHAS**

Por las características de las excavaciones con máquinas TBMs. el soporte de costillas metálicas que se requiere es mucho menor al solicitado en la excavación por voladura, es decir, al realizar un corte más sano a la roca y no ser alterada esta por la onda expansiva de los explosivos reduce en gran medida el requerimiento de sostenimiento primario permitiendo un ahorro sustancial en sostenimiento.

Se adjunta al presente, las dimensiones y geometría de las cerchas para rocas tipo III y IV con los respectivos pesos de todos los componentes de la estructura y los anclajes. Los perfiles usados son TH 21.

Los elementos componentes de las cerchas para los frentes Bocatoma, Calio y Pozo Intermedio son fabricados en nuestro taller central de Calio, donde también se realizarán la curvatura de los perfiles TH-21.

#### **3.8.2. PERNOS DE ANCLAJE SWELLEX**

Debido a que no siempre es posible determinar las condiciones exactas de la roca que requiere sostenimiento preventivo detrás de la cabeza de la máquina, se utilizan los pernos de anclaje swellex.

Es un perno de anclaje patentado por Atlas Copco- Suecia, los que tienen óptimos resultados, se trata de una bolsa metálica de acero especialmente tratado para efectos corrosivos, que luego de introducirse en el taladro, se procede a inflar con aire y agua a una presión de  $300 \text{ Kg/cm}^2$ , generando fuerzas friccionantes por compresión de las paredes del taladro.

La importancia de realizar el sostenimiento primario tan pronto y cerca del frente como sea posible, se hace uso de los pernos Swellex por la facilidad en su instalación e inmediato trabajo del mismo, detrás de la cabeza de la máquina perforadora de túneles en una cantidad que esta de acuerdo al tipo de roca encontrado.

Las pruebas de los pernos Swellex se realizan en obra, por medio de un gato hidráulico exclusivo para este fin. De acuerdo a los procedimientos indicados por el fabricante. El perno tiene que soportar una carga de tracción mayor a 10 Tn.

### **3.8.3. PERNOS DE ANCLAJE CON RESINA**

Cumpliendo las especificaciones, los Pernos de Anclaje con resina se fabrican con fierro de construcción marca Dedini de CA 50-A de 1 pulgada de diámetro, Tuerca de 7/8" Grado 8 (ASTM A-354) Arandela tipo cuña, calidad ASTM A-36 de platino de asiento 150 mm x 150 mm. Calidad ASTM A-36

Se utilizan resinas de fraguado rápido marca Sika y resinas R y M de industria peruana de las mismas características que se usan en los frentes de Calio y Bocatoma siendo probadas ampliamente en obra en coordinación con la supervisión. Las



pruebas se realizan en diferentes tipos de terreno por medio de un gato hidráulico siguiendo las instrucciones del fabricante.

Estos pernos se colocan en forma sistemática de acuerdo al tipo de terreno, desde la plataforma de trabajo que tiene el TBM.

#### **3.8.4. PLACAS ADEME**

Las placas Ademe son construidas con planchas de acero de 3 mm. de espesor en acero que cumpla la norma ASTM A 36 de las dimensiones y forma aprobadas, utilizadas durante la excavación en los frentes Calio y Bocatoma.

#### **3.8.5. HORMIGON LANZADO**

La dosificación de Hormigón Lanzado que se utiliza en el sostenimiento del túnel entre la Bocatoma de embalse y el túnel de trasvase de los Ríos Titiri Serketa se realiza con materiales obtenidos del Río Titiri, en las proporciones que una vez concluidas las pruebas internas realizadas en laboratorio, serán entregadas para su aprobación al ingeniero, se cuenta en obra con dos alternativas de hormigón lanzado, vía húmeda y vía seca de acuerdo a las circunstancias del terreno se utiliza el sostenimiento especificado.

El corte realizado por los discos de la máquina perforadora de túneles en la roca excavada, nos deja una superficie bastante regular que permite optimizar los volúmenes de hormigón

lanzado aplicado en obra, por otra parte el robot con el que se realizará la aplicación del hormigón lanzado en obra, distribuye el hormigón en una superficie uniforme lográndose los espesores requeridos sin dificultad, además del uso de hormigón lanzado vía húmeda que tiene un alto rendimiento en cuanto a volúmenes aplicados en relación a rebote, nos permite manifestar que desperdicios por sobre excavación y rebote se reducen al orden del 5 a 10% del volumen producido en planta.

Estas consideraciones nos permiten proponer y modificar la tediosa metodología de medición para determinar los volúmenes de pago del hormigón lanzado, la que sin lugar a dudas estaba concebida para la excavación con el método de perforación y voladura, ya que las perforaciones de control y las mediciones conjuntas no siempre han sido concensuadas y se han presentado a largas discusiones sobre la medida final de estas.

En el lanzado de hormigón se ve que se desperdicia un volumen por el porcentaje de rebote que según nuestros ensayos está en el orden de 20%.

### **3.8.6.HORMIGON LANZADO CON FIBRA METALICA**

Con los grandes avances tecnológicos en el sostenimiento y el revestimiento de las obras subterráneas, los nuevos equipos y productos nos permiten proponer el empleo de fibra metálica en reemplazo de la malla metálica.

Si se desea un hormigón proyectado capaz de soportar

grandes deformaciones, el uso de fibra de acero como refuerzo es la mejor solución, ensayos realizados han demostrado la gran capacidad del hormigón proyectado reforzado con fibra de acero en combinación con pernos de anclaje, para suministrar estabilidad en el contorno total del túnel.

Se ha verificado para dimensiones de mallas y contenidos de fibra de acero normales (1 por ciento del peso de la mezcla), que el hormigón lanzado con fibra de acero tiene mejor comportamiento que la malla, con respecto a ductilidad y durabilidad. La distribución pareja de la fibra de acero permite una resistencia mayor en lo que se refiere a carga final, resistencia a la tensión y energía de ruptura con relación al paquete estructural formado por el hormigón lanzado y malla electrosoldada.

Estas consideraciones nos permiten proponer el empleo de fibra metálica Dramix ZP 30/50 en un porcentaje de 1 % en lugar de la malla electrosoldada de 15x15 cm. x 4.2 mm. especificada, las experiencias realizadas en otros proyectos e investigaciones realizadas por instituciones especializadas garantizan que se obtienen mejores resultados a los obtenidos con el uso de malla electrosoldada.

Por otra parte, la utilización de hormigón lanzado con fibra metálica elimina riesgos de exposición de los trabajadores en el frente de trabajo.

### **3.9. REPORTES DE TRABAJO**

Con el objeto de tener un registro de las actividades de excavación y sostenimiento en interior túnel y evitar discrepancias posteriores entre supervisión y contratista sobre volúmenes y cantidades ejecutadas, sugerimos el llenado en cada guardia de formularios, para cada tipo de actividad y especialidad, donde se especifiquen todas las actividades y volúmenes de obra realizada y observaciones del estado de ellas, estos formularios son firmados por el contratista y el ingeniero al final de cada guardia.

## **CAPITULO IV**

### **DESCRIPCION DE LA EXCAVACION POR EL METODO DE VOLADURA**

#### **4.1. INTRODUCCION.-**

“El túnel no es un agujero más en la tierra”, en términos estrictamente prácticos se trata de una obra de ingeniería extraordinariamente sofisticada y que nunca fue sencilla ni segura.

Si retrocedemos en el tiempo podemos ver como los hombres primitivos por la necesidad de cobijarse, esconderse y almacenar sus alimentos construían cuevas y que según crecía la familia iban ampliando estas, en este propósito accidentalmente se descubrieron agua y minerales, es ahí donde nació la necesidad de perforación inducido por propósitos de tener las riquezas que encontraban a su paso.

El túnel crea a menudo inquietud, misterio claustrofobia y enigma, por el contraste de luz y sombra. Sensación extraña la que se siente, entrar a lo oscuro de las entrañas mismas de la tierra para salir a la luz radiante del sol, es por esta razón que los que trabajan los relacionan con lugares infernales y tenebrosos asociados con la muerte.

El hombre siempre a demostrado interés de conocer el interior de la tierra, la minería y los túneles nos dan esa oportunidad de ir mas allá de lo que uno pueda imaginar y regresar de

nuevo a la realidad para muchos son sueños que nunca olvidarán.

(Extracto de Mito y Leyenda entorno al Túnel del texto Manual de Túneles y Obras Subterráneas edición española)

El arte de túnel tiene su origen en el arte de la minería, si bien el principio de la tunelería es distinto al principio y contrapuesto de la minería, es por que la primera desprecia lo que extrae y la otra valora su riqueza de la mena sacada a superficie, pero se llega a la conclusión que la técnica de tunelería y la excavación minera son similares.

El trabajo de minería y tunelería va avanzando de acuerdo al terreno en la cual se va trabajando hasta llegar al éxito deseado.

En los trabajos subterráneos se aprende la variedad de técnicas para adaptarse y acomodarse a la excavación, empezando por lo rudimentario disponible y el inteligente uso de las manos y elementos útiles, sin olvidar la habilidad de cuidarse de los peligros de los derrumbes o desprendimientos mediante sostenimientos adecuados.

El primer, método de perforación que se empleó, es la técnica del fuego, que consiste en provocar un incendio en el frente de la galería para luego apagarla bruscamente con agua fría, produciendo un brusco cambio de temperatura dando lugar a fracturar la roca. Este método como podemos imaginar ocasiona un ambiente viciado y venenoso por

desprendimiento de gases convirtiéndose en una trampa mortal para los que trabajan en ella.

(Extracto de Historia de los Túneles y su evolución Tecnológica del Libro Manual de Túneles y Obras Subterráneas edición Española)

Así va evolucionando la técnica de perforación llegando al uso de maquinas accionadas por aire, electricidad y el accionamiento con líquidos hidráulicos (perforación con equipos hidráulicos) que es la más importante actualmente.

En los últimos años se ve el auge de la ingeniería subterránea tanto minera como la tunelera donde las construcciones se van haciendo en diferentes escalas, de grandes a pequeños túneles o construcciones subterráneas de múltiples propósitos y de grandes dimensiones para los que se utilizan equipos modernos como las máquinas de perforación circular y a sección completa.

#### **4.2. GENERALIDADES.-**

El proyecto Múltiple Misicuni nace de una necesidad de proveer agua, riego y energía eléctrica a la ciudad de Cochabamba.

Este proyecto se origina con la consultora Misicuni el año 1989 en la ciudad de Cochabamba y la licitación para la realización de este proyecto el año 1992. Iniciándose obras por sectores. Túnel trasvase y otros para la construcción de la represa. El Consorcio Astaldi – ICE es la que se adjudica la

construcción del Túnel trasvase Bocatoma-Pozo intermedio y Portal Calio dando inicio de trabajos de perforación el año 1998.

El proyecto del Túnel contempla la excavación de una longitud de 19.2 Km. dividido en dos sectores, una boca de entrada denominada portal Bocatoma y otra boca salida denominada portal Calio.

En las cercanías de la localidad de Misicuni se inicia el túnel trasvase Bocatoma que debe llegar al Pozo Intermedio, excavando una longitud promedio de 7 Km. punto de encuentro entre los dos frentes de perforación.

#### **4.3. OBJETIVO.-**

El objetivo principal es mostrar, alternativas de perforación; una conocida y muy practicada, es la de perforación y voladura y otra nueva en el medio Boliviano es la perforación a sección completa con máquinas TBM más conocidas como topos.

Los trabajos de perforación en el frente Bocatoma hacia el Pozo Intermedio, tienen las siguientes características:

Los 7 Km. de distancia promedio deben ser terminados en un tiempo de 2 años.

Para llegar a esta meta inicialmente se hizo uso del método de perforación y voladura; actualmente se utilizan máquinas de



perforación a sección completa de avance relativamente rápido.

Se consideran también, no solo la utilización de maquinaria moderna sino los costos que generan cada una de los métodos a utilizar en la construcción de túneles.

#### **4.4. GEOLOGIA.-**

El estudio de la geología fue realizado por la empresa extranjera Electrowatt, la misma que realizó estudios fotogramétricos y de geología de superficie. Realizándose algunos sondeos de diamantina para establecer la calidad de terreno y definir la utilización de las máquinas TBM en la construcción del túnel.

Paralelamente se realizó el estudio geotécnico del túnel como de superficie para la elección del tipo de sostenimiento que se realizará durante la excavación de este.

El estudio geológico proporciona información y datos que definen el método de excavación a realizar y los equipos adecuados para poder excavar la roca, por esta razón no solo se basa en la geología estructural y otras ramas, sino antes en el estudio geotécnico del macizo rocoso en la dirección del túnel.

##### **4.4.1. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.-**

El análisis de los planos preliminares de informes geológicos anteriores indican, una gran cantidad de fallas y lineamientos en su mayor parte transversales a la dirección del túnel, datos

de estudios regionales establecen que la zona por donde va atravesar el túnel se encuentra en una zona distensiva con prioridad de presencia de fallas normales.

El resultado del análisis in situ de la parte estructural verifican esta aseveración, la frecuencia de presencia de fallas normales es mayor que al de las fallas inversas.

La dirección preestablecida del eje del túnel es atravesando diagonalmente el flanco Este de un gran anticlinal buzante de vergencia Noreste.

#### **4.4.2. ESTRATIGRAFIA.-**

El portal del túnel Bocatoma se encuentra ubicada en la formación Anzaldo del ordovisico medio, esta formación esta compuesta en esencia por una alternancia de limolita y arenisca cuarcítica.

Según estudios, a una cuarta parte del recorrido del túnel encontraremos el paso transicional, de la formación Anzaldo a una unidad superior del ordovisico, a la formación San Benito compuesta por una alternancia de bancos arenosos cuarcíticos potentes alternados con horizontes limolíticos arenosos.

#### **4.4.3. GEOTECNIA.-**

El estudio geotécnico del túnel es importante, para la definición del tipo de terreno, se hacen uso de parámetros insitu, cada determinado tramo con características similares

del macizo rocoso, para su determinación se toman los siguientes datos de campo:

- Calidad de la roca (RQD).
- Número y direcciones de discontinuidades.
- Rugosidad del contacto en las discontinuidades.
- Alteración entre juntas.
- Presencia de agua.
- El esfuerzo que actúa en el punto estudiado (SRF).

Estos parámetros sirven para definir la clasificación de terreno y elegir el soporte adecuado.

Para determinar la clasificación de terreno, nos basamos en la experiencia y estudios realizados por varios investigadores, uno de los principales el Ing. Burton, autor de clasificación de terreno por la calidad de roca Q, más conocido por Q de Burton.

Los parámetros de estudios y recopilación de información de campo son transformados en números según las siguientes formulas para aplicar el criterio establecido por Burton.

$$Q = (RQD/Jn)*(Jr/Ja)*(Jw/SRF)$$

Donde:

Q – Calidad de terreno

RQD – Calidad de roca (Suma de testigos iguales o mayores a 10 cm entre la longitud total de la muestra).

Jn = Número de juntas

Jr = Número de juntas rugosas

Ja = Número de alteración de juntas  
 Jw = Factor de reducción de agua en las juntas  
 SRF = Factor de reducción por esfuerzos

Valores de los parámetros utilizados:

RQD	0	-	100
Jn	0.5	-	20
Jr	0.5	-	4
Ja	0.75		
SRF	0.5	-	20

#### 4.4.3.1 CLASIFICACIÓN DE TIPO DE TERRENO.-

Tabla elaborada sobre la base de la Propuesta de clasificación Noruega de Geotecnia (basada en la clasificación del Q de Burton).

Rock Mass Classification, Water Tunnel in Bolivia.

$$Q = (RQD/J_n) * (J_r/J_a) * (J_w/SRF)$$

TIPO TERRENO	RANGO
I	$Q > 4$
II	$Q = (0.1 - 4)$
III	$Q = (0.01 - 0.1)$
IV	$Q < 0.01$

La siguiente clasificación es una adaptación al terreno del eje del túnel:

Ejemplo:

PROGRESIVA	LONG. (m)	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	VALUACION	TIPO TERRENO
0+987-0+988	1.0	30.0	9.0	1.0	8.0	1.00	5.0	0.083	III
0+988-1+010	22.0	60.0	6.0	3.0	3.0	0.66	2.5	2.640	II
1+010-1+025	15.0	65.0	6.0	3.0	3.0	0.66	2.6	2.750	II
1+025-1+028	3.0	10.0	20.0	1.0	9.0	0.66	2.5	0.015	III
1+028-1+032	4.0	38.0	6.0	3.0	3.0	0.66	2.5	1.672	II
1+032-1+049	17.0	20.0	12.0	1.5	4.0	0.66	5.0	0.083	III
1+049-1+059	10.0	20.0	12.0	1.0	4.0	0.66	5.0	0.055	III
1+059-1+075	24.0	50.0	6.0	3.0	3.0	0.66	2.5	2.200	II
1+075-1+080.8	5.8	20.0	12.0	1.0	4.0	0.66	5.0	0.055	III
1+80.8-1+084	3.2	40.0	6.0	3.0	3.0	0.66	2.5	1.760	II
1+084-1+094	10.0	20.0	15.0	1.0	4.0	0.66	5.0	0.044	III
1+094-1+111	17.0	60.0	6.0	3.0	3.0	0.66	5.0	1.320	II
1+111-1+115	4.0	10.0	20.0	1.5	4.0	0.66	10.0	0.012	III
1+115-1+125	10.0	10.0	20.0	1.0	8.0	0.66	10.0	0.004	III

#### 4.4.4. DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE TERRENO DE ACUERDO A LICITACIÓN DEL TUNEL TRASVASE MISICUNI.-

##### Terreno Tipo I.-

Corresponde a esta clasificación a macizos rocosos con roca sana poco fracturada y estable donde se puede realizar la excavación sin necesidad de colocar soporte en el frente.

En este tipo de terreno las infiltraciones en el frente pueden llegar a ser muy altas, pero concentradas a lo largo de las fracturas abiertas sin que produzca inestabilidad. Después de realizar los trabajos de agotamiento y limpieza de superficie

excavada no se requiere soporte excepto la colocación de pernos de anclaje esporádicos.

### **Terreno Tipo II.-**

Corresponde a esta clasificación a macizos rocosos con rocas duras estratificadas, fracturadas o moderadamente fracturadas.

Pueden existir trazas de meteorización en algunos planos de discontinuidad por lo que existe la tendencia a que se produzcan desprendimientos con el tiempo.

Las infiltraciones pueden llegar a ser altas sin afectar la estabilidad del túnel limitándose a producir pequeños desprendimientos locales. En este tipo de terreno el túnel podrá ser excavado en una sola etapa.

### **Terreno Tipo III.-**

Corresponde a esta clasificación a macizo rocoso, formado por rocas estratificadas y muy fracturadas donde los planos de discontinuidad se presentan alterados. Las infiltraciones si bien son de magnitud moderada aumentan apreciablemente los desprendimientos y deben controlarse inmediatamente.

### **Terreno Tipo IV.-**

Corresponde a esta clasificación a macizos rocosos con rocas blandas o alteradas que por su baja resistencia con relación a cobertura en el lugar producen empujes del terreno que en

presencia de un afianzamiento inadecuado causan derrumbes en los costados así como en la clave del túnel, agrietamientos intensos en el revestimiento y en ciertos casos levantamiento de la solera, es posible que se presenten empujes en el frente.

#### **4.5. - UBICACION.-**

La localidad Misicuni donde se encuentra la Bocatoma, está ubicada en la provincia Quillacollo del Departamento de Cochabamba, a una distancia aproximada de 78 Km. de la ciudad. El único camino de acceso para llegar es por vía carretera Quillacollo –Liriuni- Misicuni.

La entrada del túnel trasvase Bocatoma distante a 500 m. al Sur de la localidad de Misicuni, se encuentra con una elevación de 3714.077 m.s.n.m. sus coordenadas geográficas son:

Latitud Norte 8105327.623

Longitud Este 783099.347.

En invierno la temperatura reinante es de  $-13^{\circ}$  C y en verano alcanza una temperatura de  $21^{\circ}$  C.

#### **4.6. - METODOLOGÍA.-**

Los métodos utilizados en la perforación del túnel son:

- Método de perforación y voladura
- Método de corte a sección completa con TBM.

#### **4.7. - METODO DE VOLADURA.-**

En la construcción del túnel de bocatoma, la preparación del portal y parte del túnel fueron realizadas por el método de perforación y voladura; también se realizó este método en los 2 túneles desde Pozo Intermedio a Bocatoma y Pozo Intermedio a Calio, siendo esto lo mas adecuado para preparar el frente para ingreso de la máquina TBM (Anexo).

##### **4.7.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE CORTE.-**

El corte cilíndrico o en paralelo ofrece todas las condiciones más favorables para efectuar la perforación mecanizada mediante empleo de Jumbos hidráulicos, como de perforadoras manuales que permiten al perforista suministrarse plantillas ligeras. En general la eficiencia en el empleo de estos cortes dependen del grado de desviación de la perforación generada en la profundidad del taladro.

Se utilizó para la perforación de los túneles un Jumbo electrohidráulico de un brazo (Jumbo Secoma /Tamrock), otro de dos brazos (Jumbo Boomer H-128 /Atlas Copco para los túneles de Pozo Intermedio) con barras de 3.5 m. de longitud, además de máquinas neumáticas Jackleg manuales de apoyo, para la perforación se utilizó el siguiente diseño.

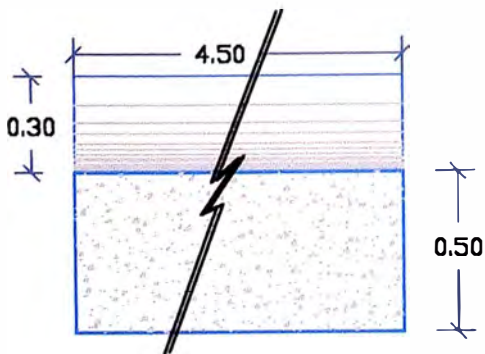
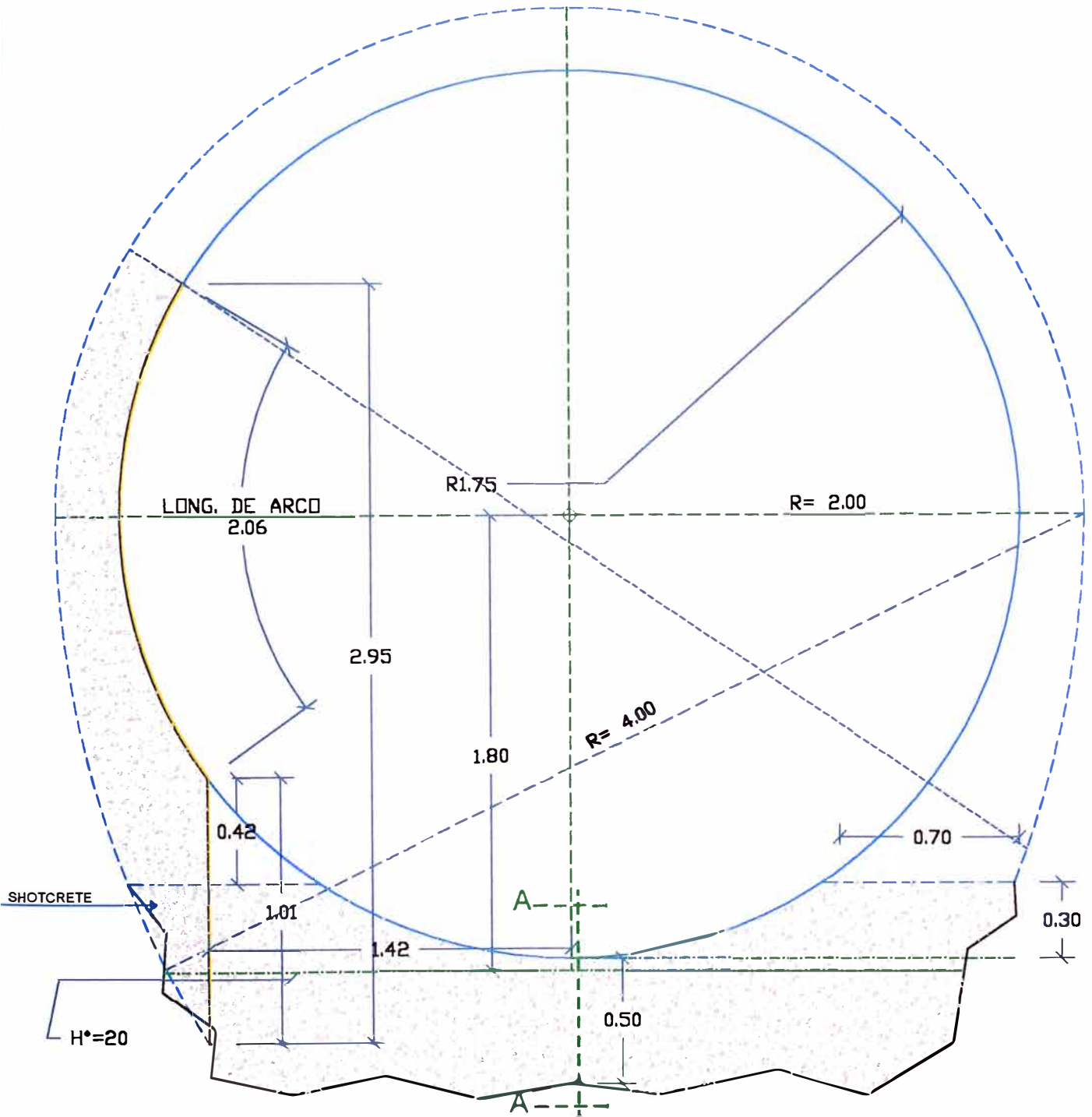
##### **4.7.2. DISEÑO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.-**

###### **4.7.2.1. TIPO DE ARRANQUE.-**

Para la elección de este corte se define lo siguiente:



# DETALLE LOSA DE SOSTENIMIENTO PARA TBM

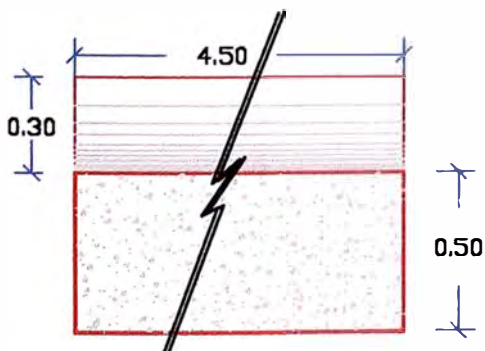
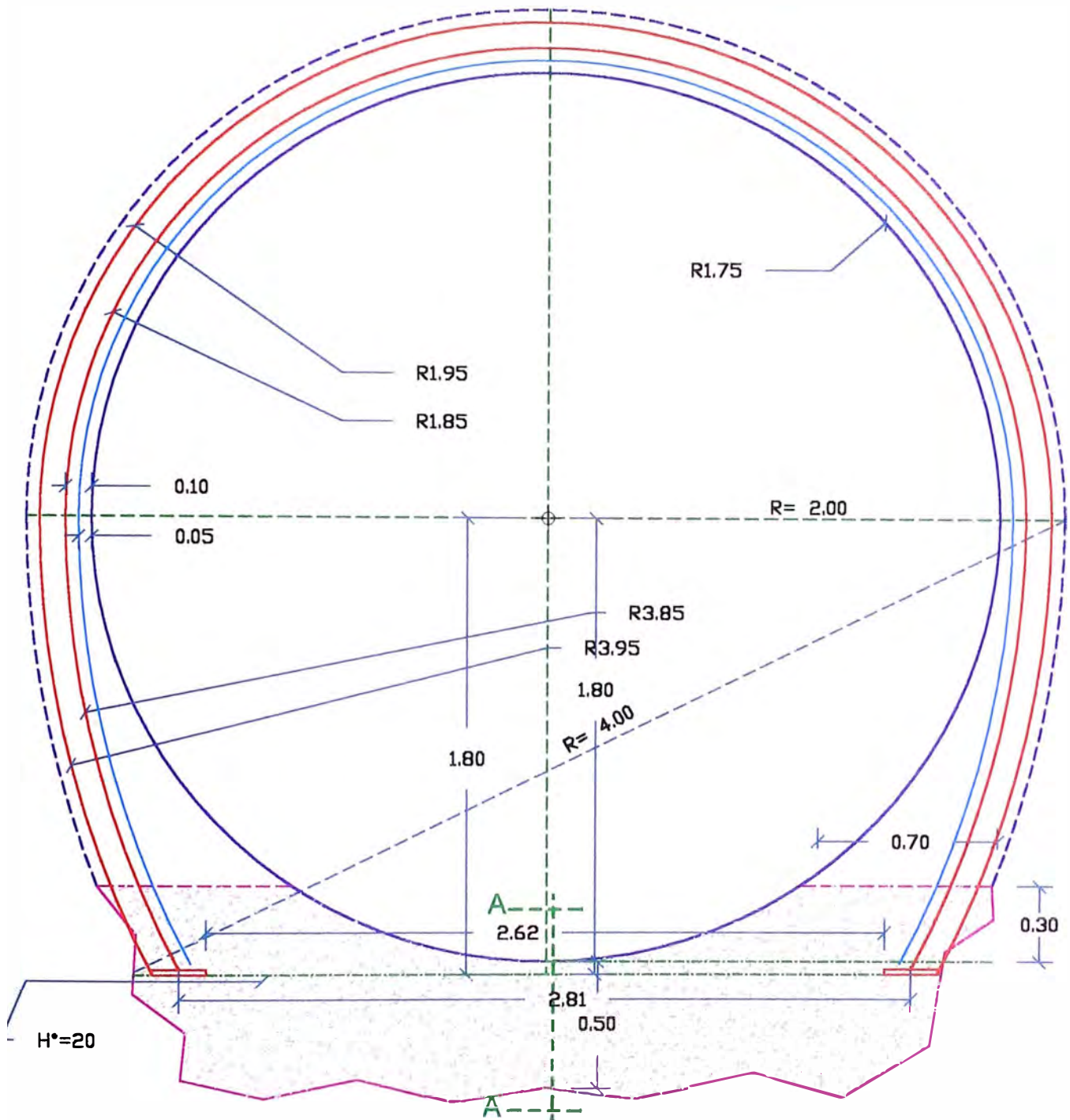


**CORTE.- A - A**

**ESC.- 1 : 25**



 Consorcio Astaldi - ICE				
				PROYECTO MULTIPLE MISICUNI - TUNEL DE TRASVASE TUNEL TRASVASE Y BOCATOMA DE EMBALSE
DETALLE LOSA DE SOSTENIMIENTO PARA TBM			A PROB	FECHA
GERENCIA TECNICA		NUMERO		
ESCALA	PROYECTO	DIBUJO	R. MUJICA	
1:25			MB - 0072	

# DETALLE CERCHA Y LOSA DE SOSTENIMIENTO

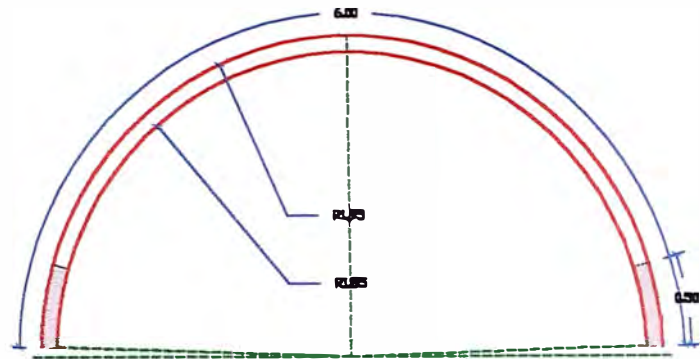


**CORTE.- A - A**

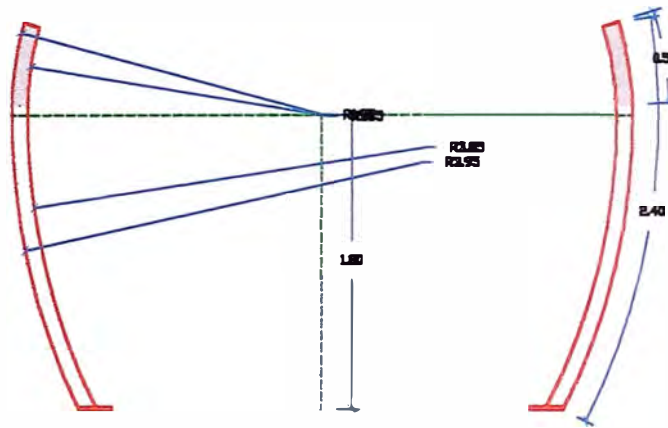
**ESC.- 1 : 25**

		Consorcio Astaldi - ICE			
PROYECTO MULTIPLE MISICUNI - TUNEL DE TRASVASE					
TUNEL TRASVASE Y BOCATOMA DE EMBALSE					
DETALLE CERCHA Y LOSA DE SOSTENIMIENTO				APROB	FECHA
GERENCIA TECNICA				NUMERO	
ESCALA	PROYECTO	DIBUJO		MB- 0071	
1: 25		R. MUJICA			

# CERCHA TIPO III - EN EXPLOSIVA

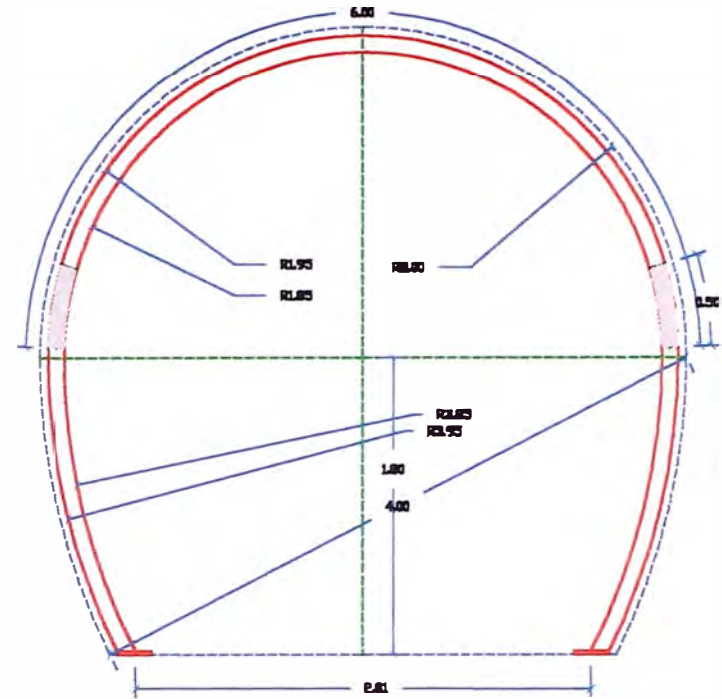


Traslape Traslape



Traslape

# CERCHA TIPO III



ESC.- 1 : 50

 Consorcio Astaldi - ICE 				
<b>PROYECTO MULTIPLE MIXIQUINI - TUNEL DE TRAVASE</b> TRAVASE DE LOS RIOS TITIRI Y SERKHETA				
<b>CERCHA TIPO " III "</b>				
GERENCIA TECNICA				
NUMERO				
ESCALA	PROYECTO	DIBUJO	APROB	FECHA
1: 50				
			<b>MC - 0057-A</b>	

**Corte Cilíndrico** .- Es una voladura con perforación de uno o más taladros de diámetro grande (taladros sin carga), los taladros de menor diámetro (taladros con carga) son perforados alrededor de los taladros de mayor diámetro distribuidos estratégicamente.

La concentración de explosivos debe ser en una cantidad justa y suficiente como para romper la roca y liberar los gases de la explosión en los taladros de mayor diámetro.

La experiencia demuestra que es necesario perforar un taladro de por lo menos 100 mm de diámetro para poder lograr el avance planificado con toda seguridad. En el gráfico anexo se pueden distinguir las variaciones del corte cilíndrico.

#### **4.7.2.1.1. AVANCE FACTIBLE DE ACUERDO A LAS DIMENSIONES DEL FRENTE DE AVANCE.-**

Para tener el éxito esperado en la voladura de labores subterráneas se deben considerar dos condiciones importantes:

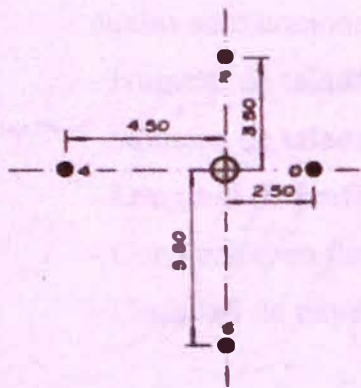
- Granulometría.- Los bloques de rocas obtenidas en los escombros tengan en lo posible el tamaño y uniformidad planeado de manera que el equipo de limpieza y transporte trabaje eficientemente.

- Perfil de Corte.- Que la superficie de excavación quede con el mínimo daño posible para que el tiempo y costos de sostenimiento tengan las ventajas deseadas.

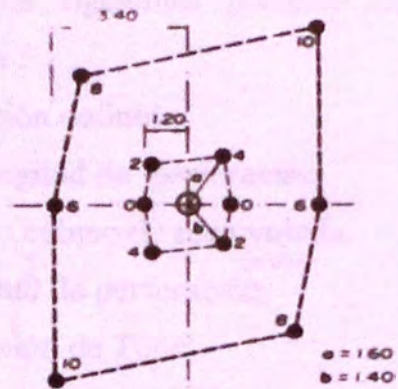
#### **4.7.2.1.2 CANTIDAD DE TALADROS.-**

Elegir la cantidad de taladros a perforar, hoy en día se facilita con la utilización de ábacos. Encontrar el diseño más

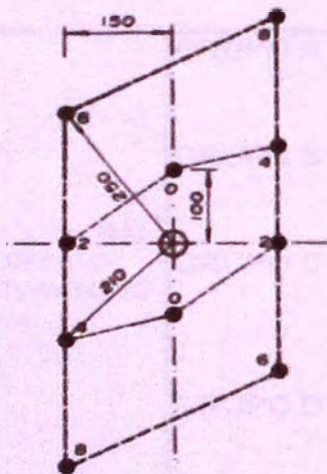
# Diferentes Tipos de Corte Cilíndrico



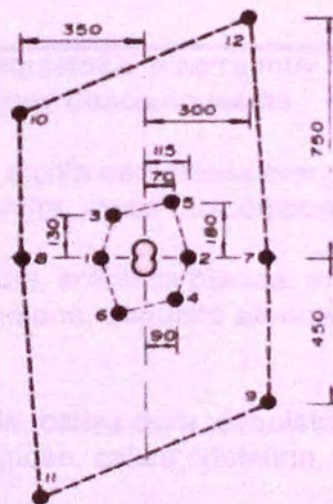
**CORTE EN ESPIRAL** ( $\phi = 75 \text{ mm}$ )



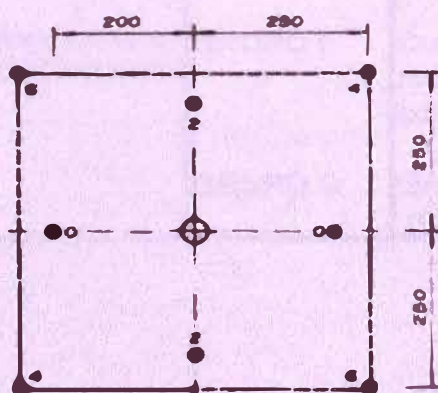
**CORTE DOBLE ESPIRAL** ( $\phi = 75 \text{ mm}$ )



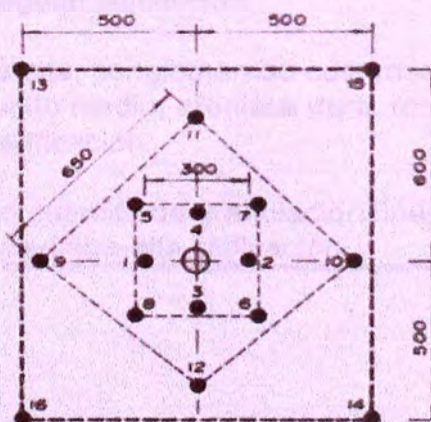
**CORTE FAGERSTA** ( $\phi = 75 \text{ mm}$ )



**CORTE COROMANT** ( $\phi = 57 \text{ mm}$ )



**CORTE MORGAN** ( $\phi = 75 \text{ mm}$ )



**CORTE DE CUATRO SECCIONES** ( $\phi = 110 \text{ mm}$ )

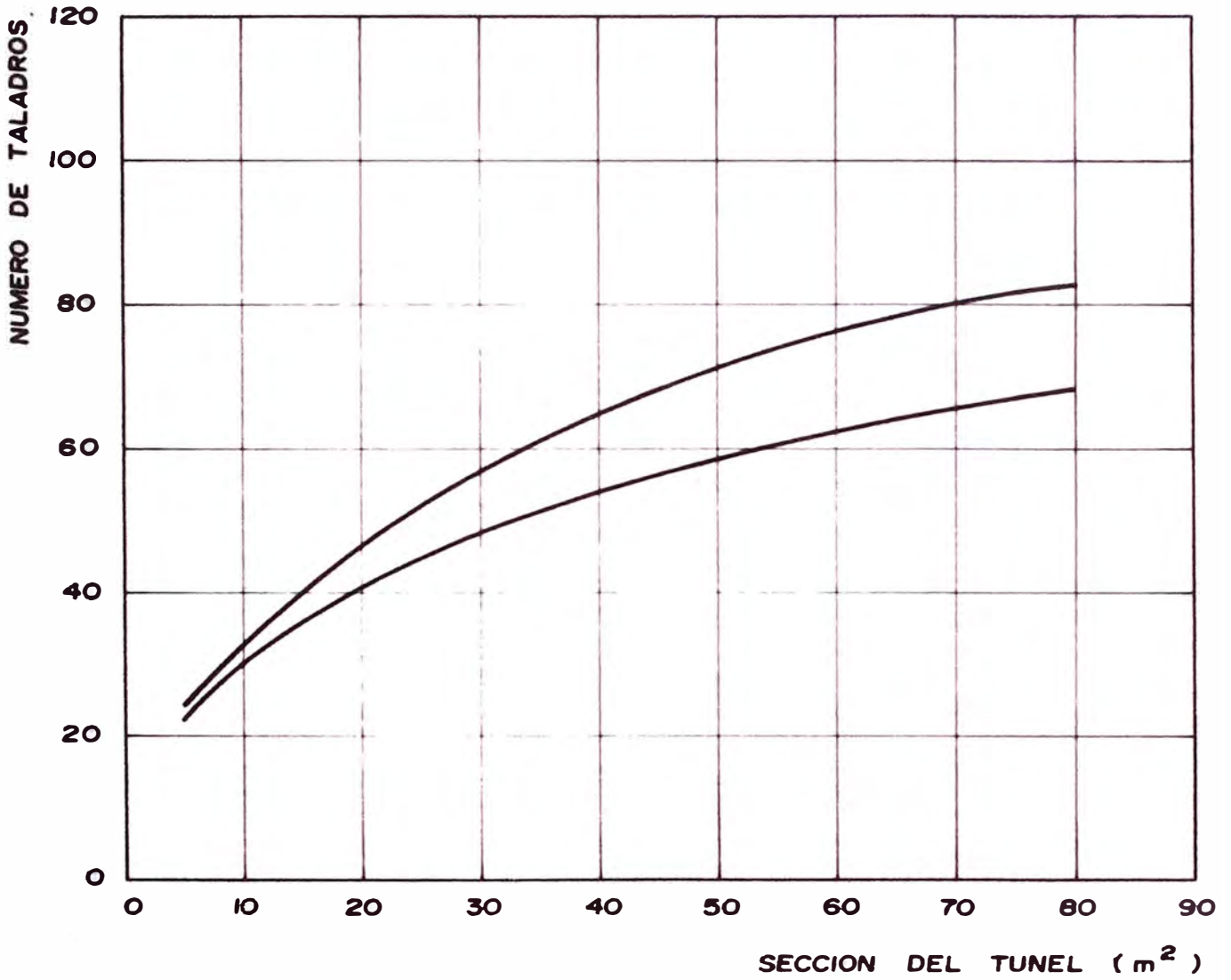
adecuado es posible mediante los siguientes gráficos los cuales se mencionan a continuación

- Número de taladros para una sección definida.
- Número de taladros vacíos Vs. longitud de perforación.
- Longitud de perforación por metro cúbico de roca volada.
- Corrección en función de la longitud de perforación.
- Cantidad de explosivo en una sección de Túnel.

**Tipos de roca en orden de consistencia plástica a quebradiza**

<b>I</b> <b>MAL</b> <b>EFEECTO</b> <b>DETONATORIO</b>	GRUPO A	Yeso, arcilla esquistosa, pizarra muy blanda, arcillas, rocas muy descompuestas
	GRUPO B	Caliza blanda, arcilla esquistosa blanda, caliza carbonífera, calcita, rocas descompuestas.
	GRUPO C	Caliza intermedia, arenisca blanda, arcilla esquistosa mediana, esquisto arenosa y caliza. semisilíceas.
	GRUPO D	Arenisca blanda, caliza dura, esquisto duro esquisto bituminoso, caliza cristalina, caliza silícea.
<b>II</b> <b>BUEN EFECTO</b> <b>DETONATORIO</b>	GRUPO E	Granito blando, hematitas, arenisca dura, micas, conglomerado arcilloso, silicatos rocas con regular silificación.
	GRUPO F	Cuarzo, cuarcita, conglomerado cuarzoso, mármol, granito medio, arenisca dura, rocas con media silificación.
	GRUPO G	Granito duro cuarcita de granulación fina, silice, rocas con mediana-alta silificación.

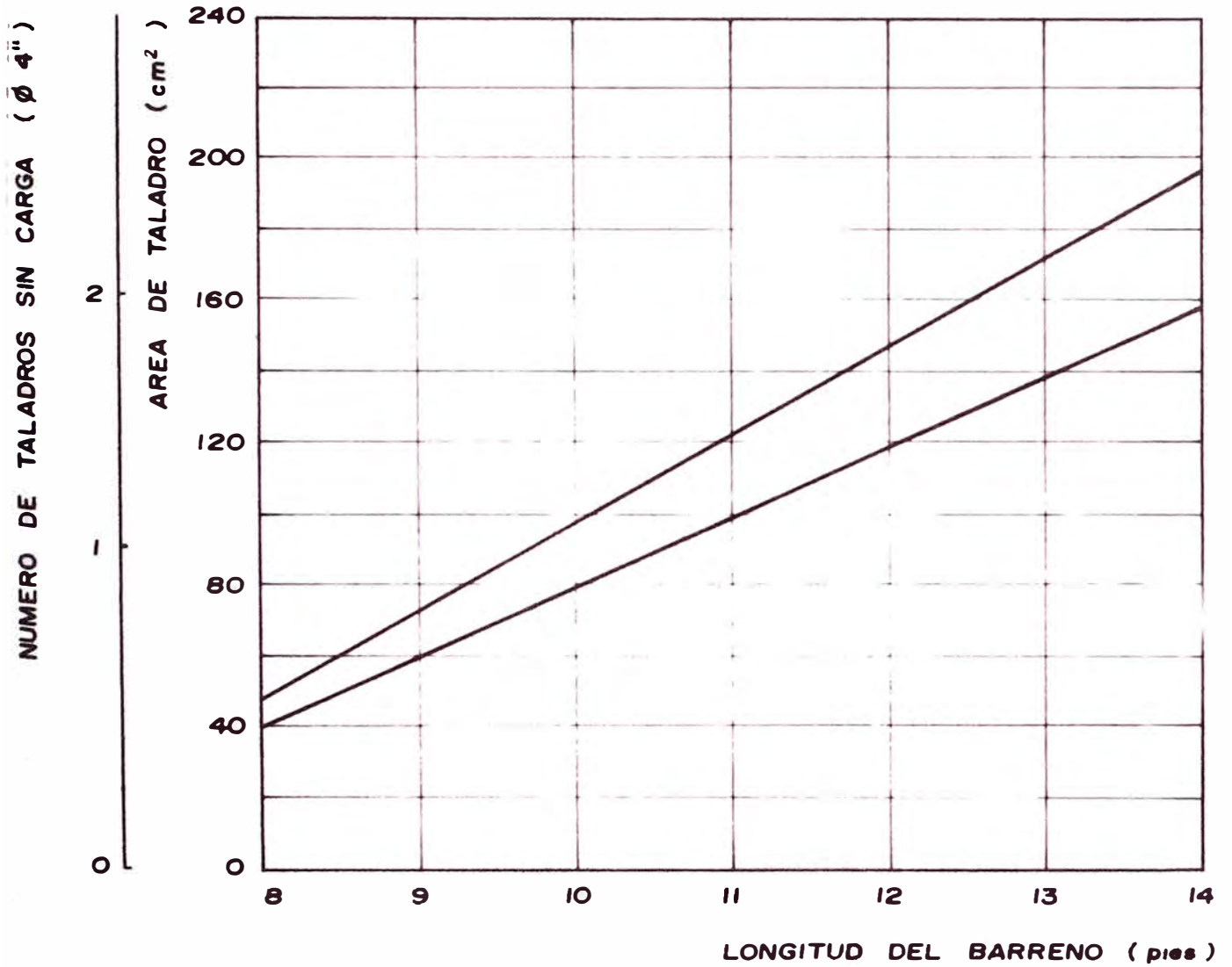
## Número de Taladros para una Sección de Túnel



Diámetro de Perforación	45 mm, sin contar con el barreno vacío de diámetro grande
Arranque	Paralelo con taladro vacío de diámetro grande
Eficiencia de Disparo	95%
Curva Superior	Mal efecto detonatorio
Curva Inferior	Buen efecto detonatorio

Nota: Considerar el factor de corrección por longitud de perforación.

## Número de Taladros en Vacío en Relación con la Longitud de Perforación

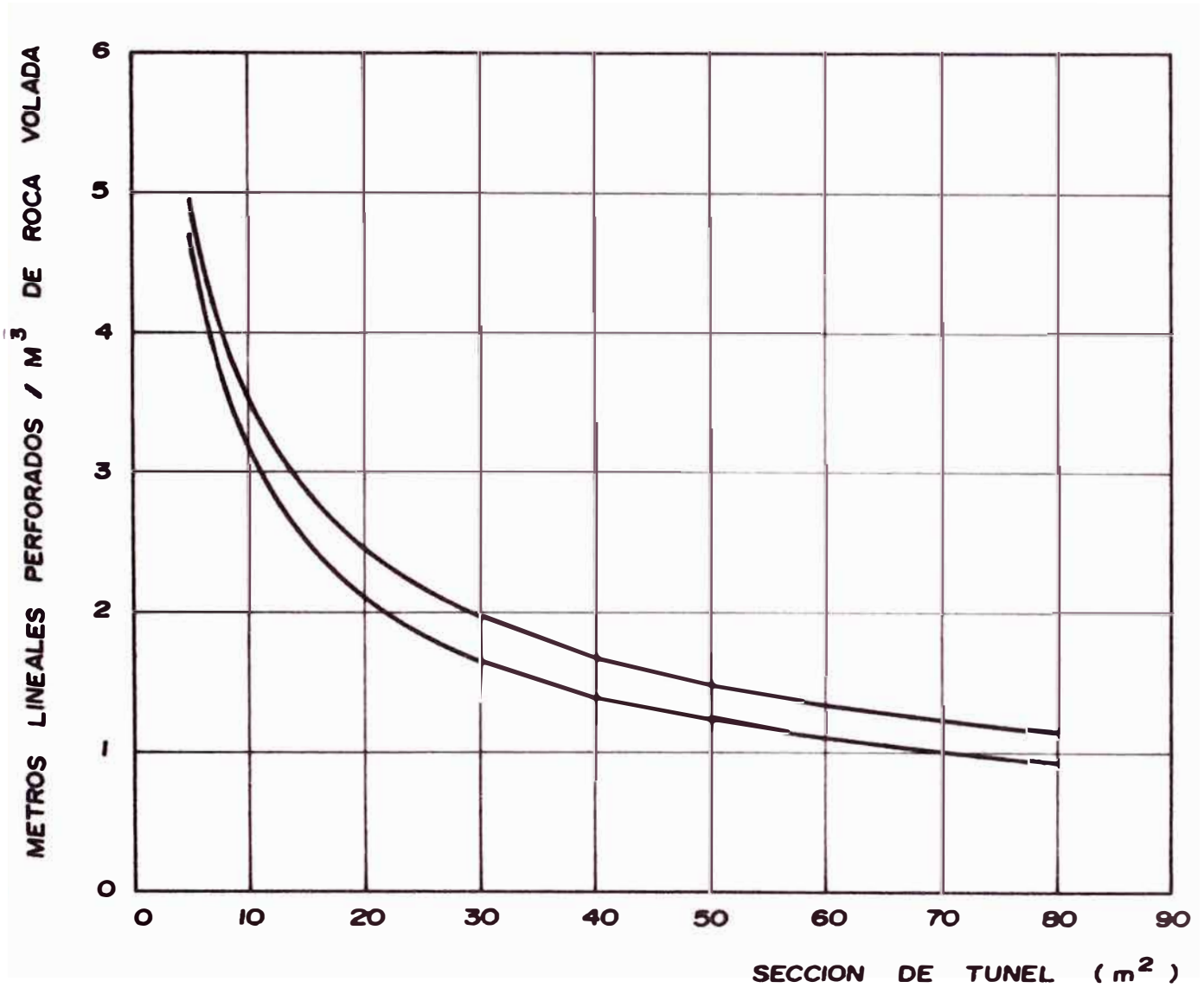


Diámetro de Perforación  
 Arranque  
 Taladros con Carga Explosiva  
 Curva Superior  
 Curva Inferior

4"  
 Paraleto  
 ø 34 mm  
 Mal efecto detonatorio  
 Buen efecto detonatorio



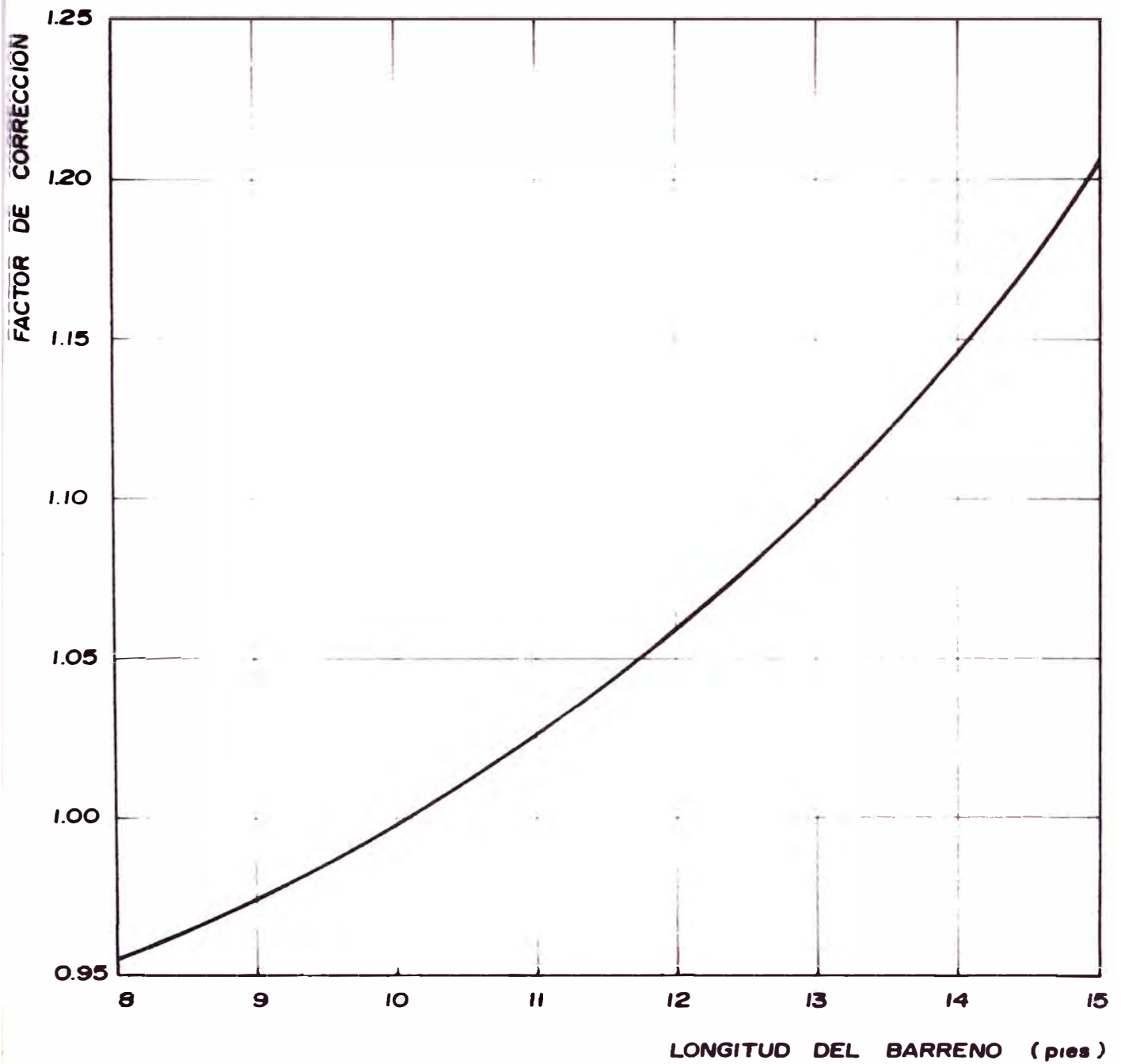
## Longitud de Perforación por Metro Cúbico de Roca Volada



Diámetro de Taladro	45 mm, serie 11
Arranque	En paralelo
Curva Superior	Mal efecto detonatorio
Curva inferior	Buen efecto detonatorio

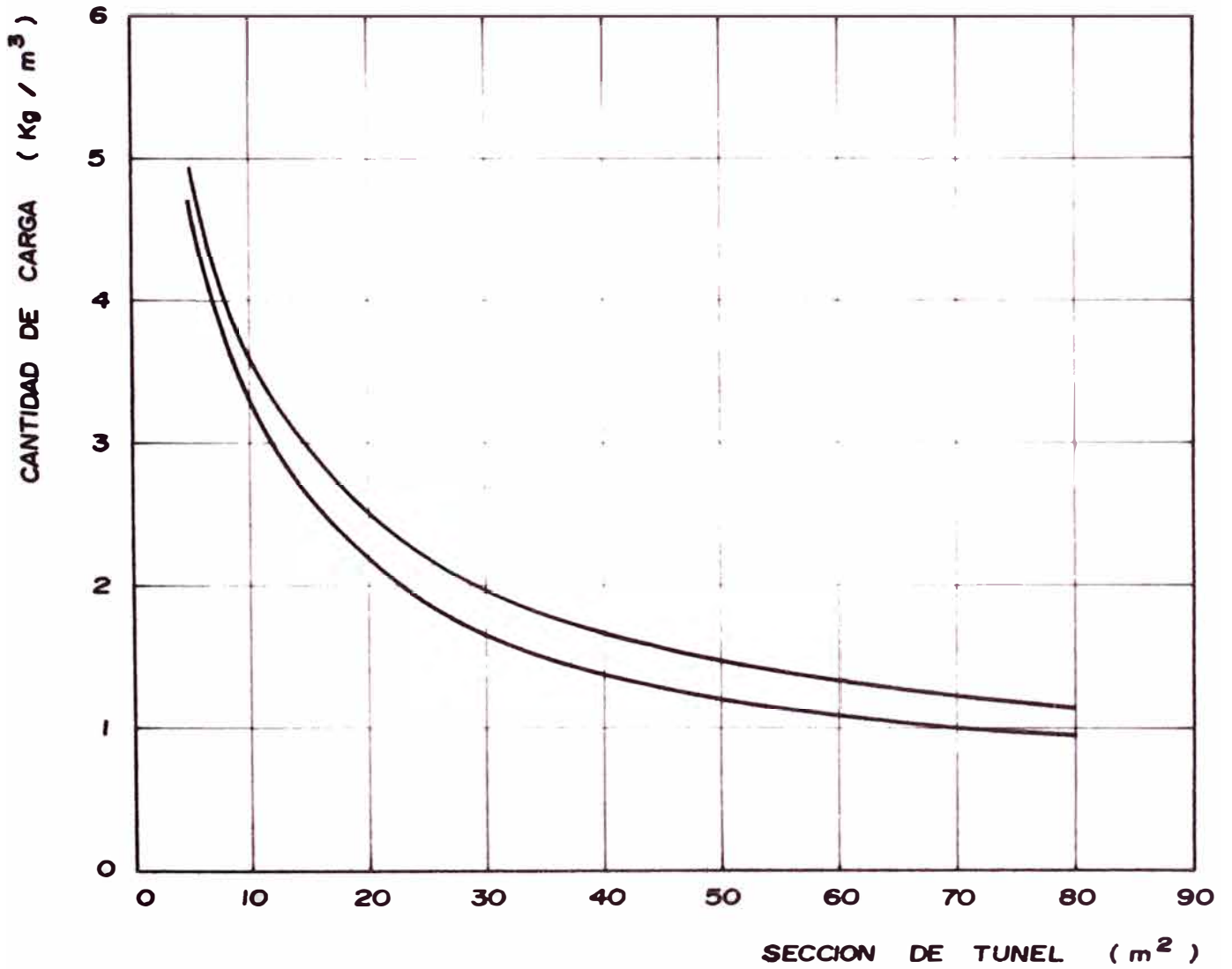
Nota: El resultado debe afectarse del factor de corrección por longitud de taladro.

## Factor de Corrección en Función de la Longitud de Perforación



Diámetro de Perforación 45 mm

## Cantidad de Explosivos en una Sección de Túnel



Perforación Longitud Básica	2.40 m
Diámetro de Perforación	45 mm
Arranque	Paralelo
Factor de Corrección	De acuerdo a la longitud del taladro
Curva Superior	Mal efecto detonatorio
Curva Inferior	Buen efecto detonatorio

#### 4.7.2.1.3. Distancia entre taladros.-

Debe existir una correlación entre el espacio de los taladros (E), que se perforan en la periferia de la excavación y el espesor de roca hasta la cara libre (V) denominada línea de resistencia, es decir no debe existir un pronunciado cuerpo de roca para la voladura final de contorno, porque induciría a sobrecargar las cantidades de explosivos en los taladros de periferia, hecho que se manifiesta en que los gases de la explosión penetren en las rajaduras o costuras de la roca provocando contornos desiguales y grietas o sobre perfiles. Se debe conservar el siguiente estándar

$$E/V < 0.8$$

Consideramos referencial el siguiente cuadro:

Diámetro del taladro (mm)	Espaciamiento (E) entre taladros(m)	Línea (V) de resistencia (m)	Estándar (E/V)
30	0.5	0.7	0.70
34	0.6	0.9	0.66
37	0.8	1.1	0.73
44	0.9	1.3	0.71

La distancia entre el barreno central y los barrenos de la primera sección (arranque) no debe exceder de 1.7 D para la obtención de una fragmentación como la salida satisfactoria de la roca, es recomendable que el cálculo de la piedra sea en base a 1.5 D. Siendo D el diámetro del barreno vacío.

Para un cálculo más rápido en voladura de túneles con arranque en paralelo de cuatro secciones se pueden aplicar las fórmulas en la tabla siguiente:

SECCION DEL ARRANQUE	VALOR DE LA PIEDRA	LADO DE SECCION APROX.
PRIMERA	$B1 = 1.5 D1$	$1.5 B1 2^{1/2}$
SEGUNDA	$B2 = 1.5 B1 / 2$	$1.5 B2 2^{1/2}$
TERCERA	$B3 = 1.5 B2 / 2$	$1.5 B3 2^{1/2}$
CUARTA	$B4 = 1.5 B3 / 2$	$1.5 B4 2^{1/2}$

#### 4.7.2.1.4. Tolerancias.-

La siguiente tabla muestra las tolerancias que actualmente sirven de base a lo establecido en descripciones y formulaciones de exigencias en contratos de excavación en túneles:

Tolerancia de perforación	Colocación de barrenos en relación con la plantilla de perforación	Divergencia absoluta permisible (5 de 6 casos)	Emergencias relativas (5 de 6 casos)
1	Como máximo 10 cm fuera del contorno  Como máximo 20 cm de divergencia de alineamiento en el fondo del taladro	Como máximo: - 4cm.en el ataque - 2cm/m de barreno	
2	Fuera de la línea de contorno teórico 20 cm de divergencia de alineación máximo en el fondo del taladro		Con un máximo de 10 cm en el fondo del taladro y 5 cm/m de barreno

#### **4.7.2.2. Ventajas.-**

Las ventajas que se obtienen con una voladura controlada de perfiles son:

- Superficies de excavación más lisas.
- Mayor resistencia en las rocas circundantes.
- Menor volumen de sobre excavación.
- Disminución en el requerimiento de sostenimiento.
- Menor volumen de concreto de revestimiento.
- Menor agrietamiento en la roca circundante.
- Alcance de un perfil cercano al teórico.
- Producto final de mejor calidad.
- Rendimientos 90 a 95 %.

#### **4.7.2.3. Desventajas.-**

- Mayor demora en perforación.
- En algunos tipos de terreno no se logran los resultados esperados ( terrenos tipos III, IV).
- El costo de mano de obra, materiales y equipo es alto.

#### **4.7.2.4. Conclusiones.-**

- De acuerdo a la calidad exigida en la voladura se debe tener el mayor cuidado durante el proceso, con el único fin de lograr los resultados esperados. Dependiendo principalmente del planeamiento de la voladura, ejecución de la perforación y de carga del explosivo.
- Conocer los efectos que se consiguen variando los distintos parámetros y aprovechando los productos disponibles.

- Las medidas tomadas para mejorar la calidad de las voladuras inciden favorablemente en el costo final de la obra.

- Este método se adecua perfectamente a trabajos subterráneos con pendientes positivas o negativas.

#### **4.8. Parte operativa de excavación en Bocatoma**

##### **4.8.1. Perforación Portal Bocatoma.-**

Realizada por medio de un Jumbo electrohidráulico de un brazo y otras máquinas neumáticas jackleg de apoyo.

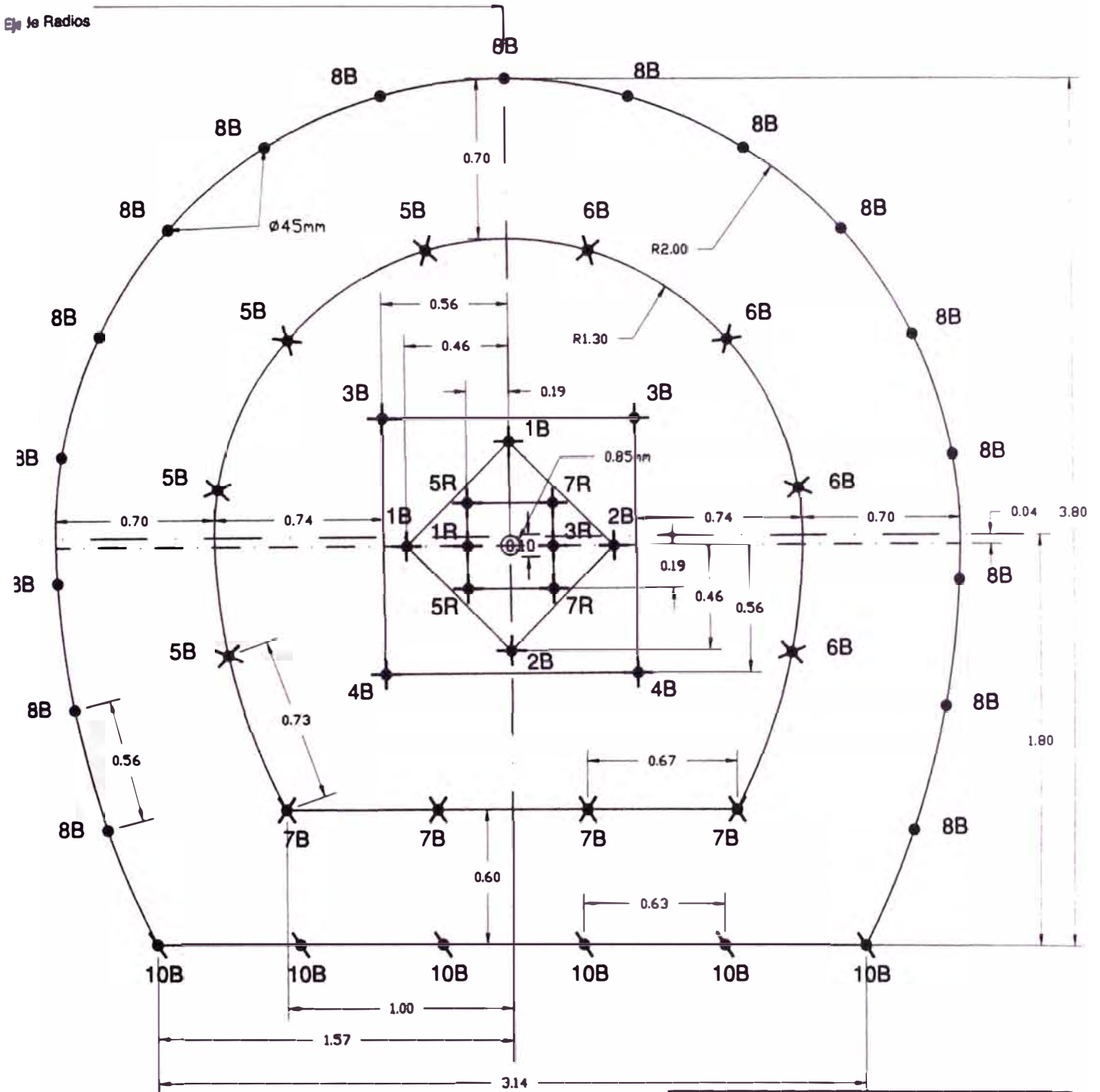
El número de taladros perforados se basa principalmente en el tipo de roca y la forma del túnel para evitar sobre excavaciones. Los diseños de perforación utilizados se muestran en los gráficos anexos.

La cantidad de taladros y longitudes perforadas, se detallan en el siguiente cuadro:

<b>TIPO ROCA</b>	<b>Nº TALADROS</b>	<b>LONGITUD PERFORADA (m)</b>
I	49	3
II	47	1.8 - 2.4
III	43	1.5 - 1.8

Los tiempos de perforación registrados por taladro de acuerdo a la longitud perforada son los siguientes:

# ROCA TIPO I



ESC.: 1 : 25

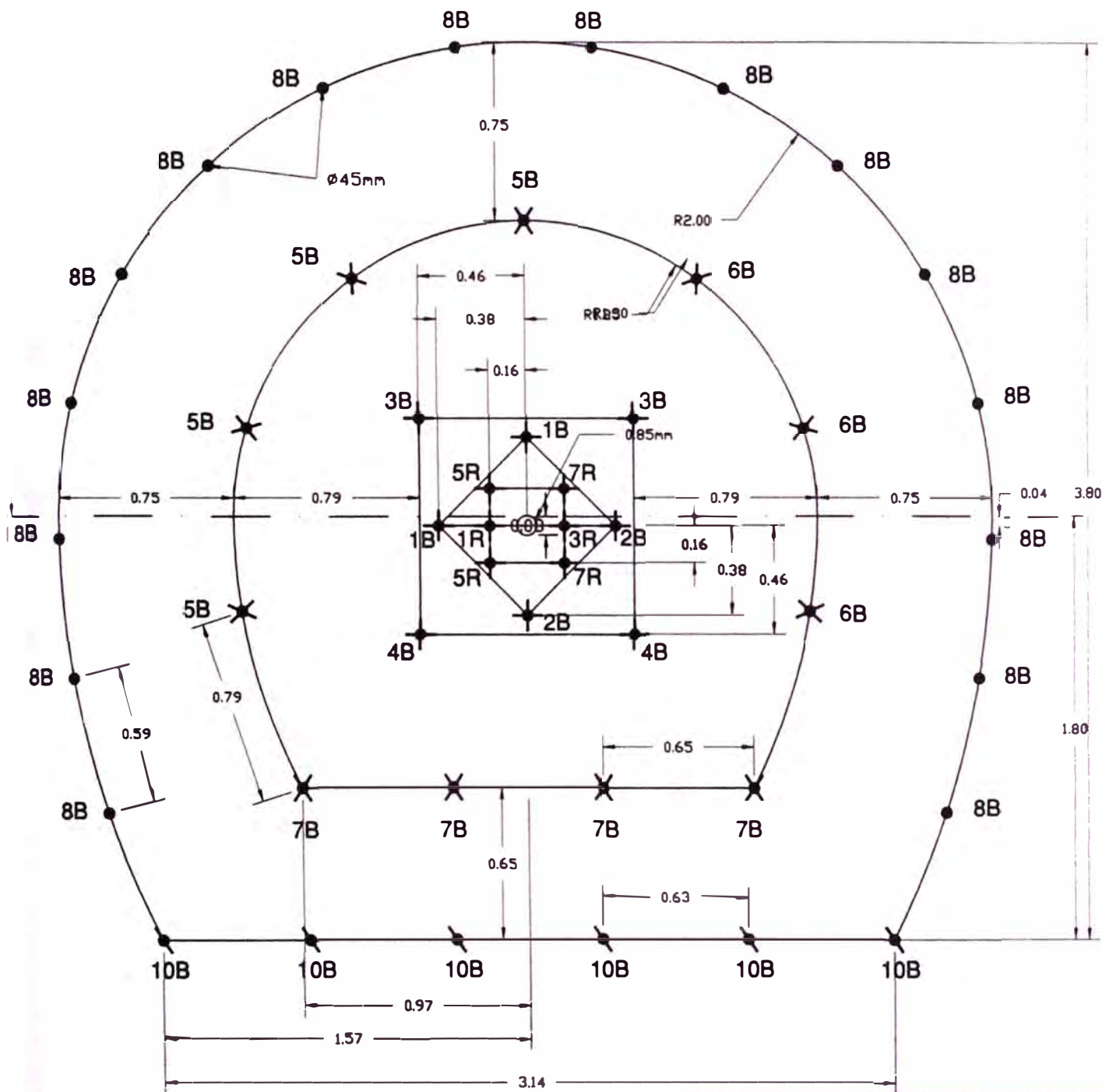
DESCRIPCIÓN	CTD.
⚡ Taladros de Arrastre	06
✕ Taladros Auxiliares	12
● Taladros de Contorno	17
✦ Taladros de Arranque y Ayudas de Arranque	14

<b>Consortio Astaldi - ICE</b>		ICE						
PROYECTO MULTIPLE MASCARIN - TUNEL DE TRASVASE								
TUNEL TRASVASE Y BOCATOMA DE EMBALSE								
DIAGRAMA DE PERFORACION SECUENCIA DE VOLADURA ROCA TIPO "I"		<table border="1"> <tr> <td>APRUB.</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	APRUB.	FECHA				
APRUB.	FECHA							
GERENCIA TECNICA		NUMERO						
ESCALA	PROYECTO	DIBUJO						
1 : 25								
		MB - 0062						




# ROCA TIPO II

as de Radios



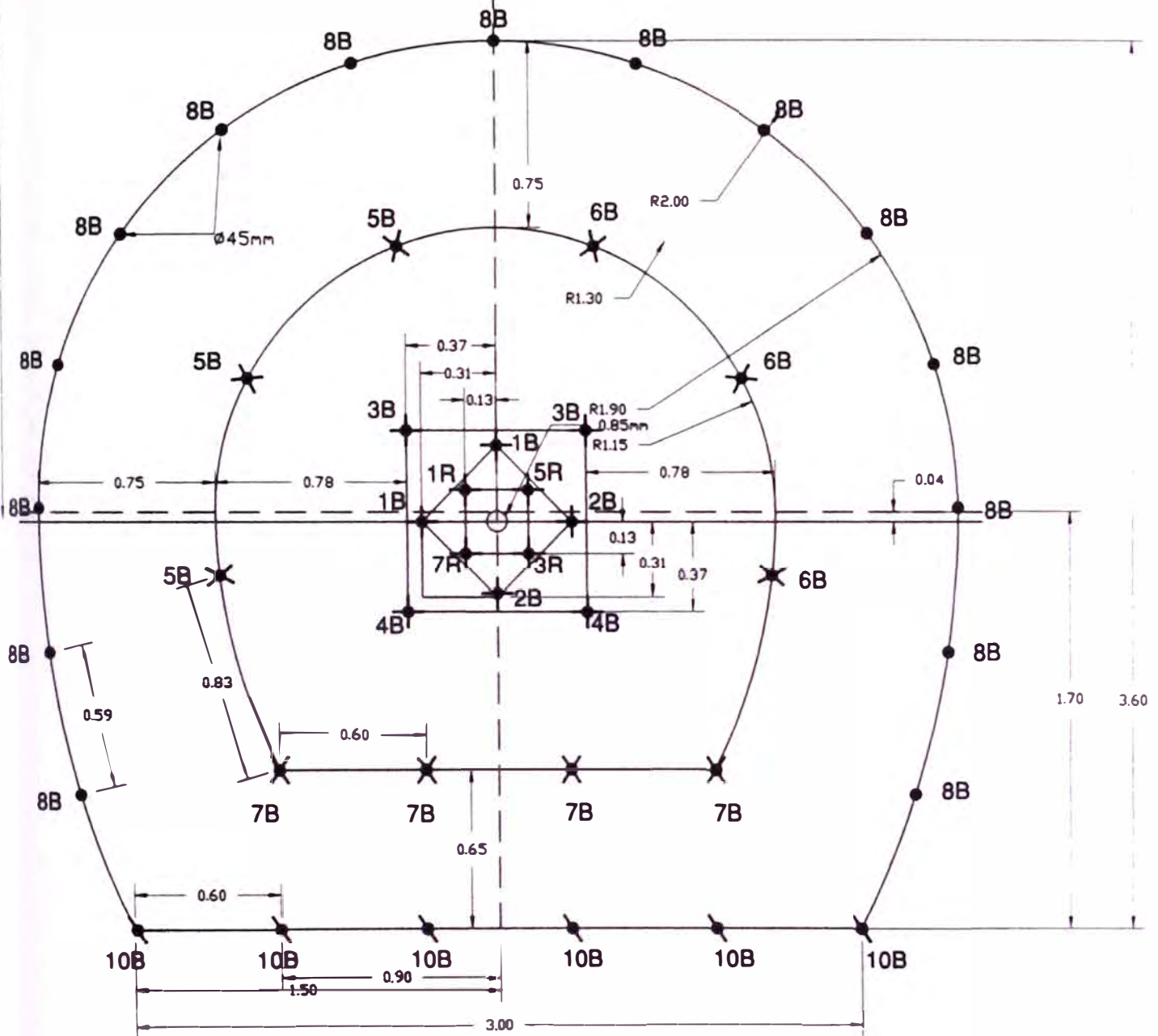
ESC.: 1 : 25

DESCRIPCIÓN	CTD.
☞ Taladros de Arrastre	06
✕ Taladros Auxiliares	11
● Taladros de Contorno	16
✦ Taladros de Arranque y Ayudas de Arranque	14

 <b>Consorcio Astaldi - ICE</b>				
		PROYECTO MULTIPLE OBRAS - TUNEL DE TRASFASE		
TUNEL TRASFASE Y BOCATOMA DE EMBALSE				
DIAGRAMA DE PERFORACION SECUENCIA DE VOLADURA ROCA TIPO "II"			APROB.	FECHA
GERENCIA TECNICA			NUMERO	
ESCALA	PROYECTO	DIBUJO	MB - 0063	
1 : 25				



# ROCA TIPO III

Ejes de Radios



ESC.: 1 : 25

DESCRIPCIÓN	CTD.
↘ Taladros de Arrastre	06
✕ Taladros Auxiliares	10
● Taladros de Contorno	15
✦ Taladros de Arranque y Ayudas de Arranque	12

 <b>Consorcio Astaldi - ICE</b>			
		PROYECTO MULTIPLE MERCURIO - TUNEL DE TRASVASE	
TUNEL TRASVASE Y BOCATOMA DE EMBALSE			
DIAGRAMA DE PERFORACION SECUENCIA DE VOLADURA ROCA TIPO " III "			AÑO: FECHA:
GERENCIA TECNICA		NUMERO	
ESCALA	PROYECTO	DIBUJO	MB - 0064
1 : 25			

<b>TIPO ROCA</b>	<b>TIEMPO (min.)</b>	<b>LONGITUD (m)</b>
I	3.5	3
II	2.0	1.8 - 2.4
III	1.8	1.5 - 1.8

Los ciclos de perforación de acuerdo al tipo de terreno son:

<b>Tipo Roca</b>	<b>Tiempo(min.)</b>	<b>Longitud (m.)</b>	<b>Tiempo Total</b>
I	4.5	3	3 H 36 min.
II	3.5	2	2 H 44 min.
III	2.8	1.5	1 H 47 min.

#### **4.8.2. CARGADO DE EXPLOSIVOS Y VOLADURA.-**

Las características de voladura correspondientes a las longitudes de taladro son las siguientes:

<b>DESCRIPCION</b>	<b>EXPLOSIVO</b>
Arranque	Dinamita de 80 %, 65 % y fulminante 1-3-5-7 periodo corto
Ayudas arranque	Dinamita de 80 %, 65 % y fulminante 1-2-3-4-5 periodo Largo
Cuadradores	Dinamita de 45 % y fulminante 8 periodo largo
Arrastres	Dinamita de 80 %, 65 % y fulminante 10 periodo largo

Los tiempos registrados durante el cargado para cada tipo de terreno son:

En terreno tipo I el ciclo total dura 1 hora a 1 hora y 30 min.

En terreno tipo II el ciclo total dura 1 hora a 1 hora y 20 min.

En terreno tipo III el ciclo total dura 1 a 2 horas.

#### **4.8.3. SOSTENIMIENTO.-**

La colocación de tipo de sostenimiento, se realiza de acuerdo al tipo de terreno, detallado en la tabla siguiente:

<b>TIPO DE ROCA</b>	<b>SOSTENIMIENTO</b>
I	Pernos de anclaje
II	Shotcrete – pernos de anclaje Sist.
III	Cerchas – Shotcrete – pernos de anclaje Sistemátic. y Placas ademe

El tiempo utilizado en instalar todo lo necesario para cada sostenimiento es:

Terreno tipo I	1 hora
Terreno tipo II	1 – 2 horas
Terreno tipo III	2 – 3 horas

#### **4.8.4. - DESMONTE.-**

La limpieza de escombros en el frente portal Bocatoma se realizó por medio de un scoop (equipo LHD) de una capacidad de 2.5 yardas cúbicas y el transporte de carga hasta

la superficie mediante, un convoy de 6 a 7 carros (8m<sup>3</sup> de capacidad) transportados por una locomotora diesel de 14 Ton. de capacidad.

El tiempo promedio de cargado, transporte y descarga es de 4.5 min. El tiempo de estas actividades suma un total de 3 horas.

#### **4.8.5. AVANCE.-**

El avance promedio diario de acuerdo al tipo de terreno es:

Roca tipo I	9 m/día
Roca tipo II	6 m/día
Roca tipo III	3 m/día

Teniendo un promedio general de 6 m/día.

#### **4.9. - VENTILACIÓN EN TUNELES.-**

##### **4.9.1. INTRODUCCIÓN.-**

La necesidad de mantener durante la construcción y explotación una atmósfera respirable no tóxica y en condiciones ambientales optimas, exige remover el aire mediante los sistemas de ventilación, para impedir que los gases y humos generados por vehículos, motores y las distintas labores de construcción alcancen los limites preestablecidos.

En las diferentes etapas de construcción de túneles como es la de explotación y construcción es inminente la menor ó mayor emisión de contaminantes especialmente en la pequeña zona concentrada en el frente de avance que además es donde se concentran la mayor parte de los trabajadores durante toda una jornada, mientras que el usuario casual está presente solo unos minutos en dicho sector.

El sistema de ventilación en un túnel se instalará en forma permanente mientras dure su construcción el que además se adaptará a los cambios que se vayan produciendo a medida que este avance, así como a los cambios dentro de cada jornada. Siendo entre otras causas la existencia de contaminantes como el gas de un disparo, gases de los motores a diesel, polvo producido por el lanzado de hormigón, etc.

#### **4.9.2. ESQUEMAS DE VENTILACIÓN.-**

En la elección de un sistema de ventilación a ser aplicado se toman en cuenta los siguientes aspectos:

- 1.- Determinar las características de ventilación que debe tener el frente de avance
  - Caudal de aire necesario.
  - El tipo de ventilación aspirante, impelente o combinada.
  - Distancia del ducto de ventilación hacia el frente.
  
- 2.- Elegir el ventilador y el ducto que permitan obtener el caudal necesario en el frente.

### 4.9.3. DISEÑO DE INSTALACIONES PARA EL SISTEMA DE VENTILACIÓN.-

Para diseñar las instalaciones en un determinado sistema de ventilación se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros:

#### A. Longitud del túnel

Longitud túnel 7000 m.

#### B. Requerimiento de aire.

$$Q_e = (A/t) * L_v$$

Donde :

$Q_e$  = Necesidad de aire en el frente del túnel ( $m^3/seg.$ )

$A$  = Area del túnel ( $m^2$ )

$t$  = Tiempo de ventilación en segundos (30 minutos)

$L_v$  = Longitud del túnel ventilado (m).

#### C. Volumen de aire absorbido por el ventilador

La fuga de aire debe ser añadida cuando se dimensiona la ventilación. El volumen se puede estimar empleando la siguiente formula:

$$Q_t = Q_e * (1 - F/100)$$

Donde:

$Q_t$  = Volumen de aire absorbido por el ventilador ( $m^3/seg.$ )

$Q_e$  = Volumen de aire real en el frente del Túnel ( $m^3/seg.$ )

$F$  = Fuga en porcentaje por 100 m de longitud de ducto (%)

L = Longitud total del ducto (m)

La fuga depende completamente de la calidad del ducto y de las uniones.

#### **D. Dimensionamiento del ducto de Ventilación.-**

Un ducto de ventilación no debe ser dimensionado para velocidades de aire mayores a 20 m/seg. Con ductos de diámetro menor que 0.5 m. la velocidad del aire no deberá ser mayor a 15 m/seg. Teniendo velocidades de aire mas elevadas que las mencionadas, las perdidas de presión aumentan en forma rápida debido a las turbulencias y las perdidas por fugas que aumentan debido a la alta presión dentro de los ductos de ventilación.

$$d = 2 * (Qt/(V*pi))^{1/2}$$

Donde :

d = Diámetro del ducto (m)

Qt = Volumen de aire absorbido (m<sup>3</sup>/seg.)

V = Velocidad del aire (m/seg)

#### **E. Cálculo de Resistencia.-**

Para la resistencia total del ventilador en un sistema de ventilación, se debe considerar la suma de la resistencia de fricción y la resistencia de arranque.

La resistencia de fricción para ductos de ventilación rectos con área circular es la siguiente:



$$R = (l * V^2 * m) / 2 * d$$

Donde :

R = Resistencia de fricción, se mide en Pascales (Pa) por cada 100 de Ducto.

$$(1 \text{ Pa} = 0.1 \text{ Kg./m}^2 = 0.1 \text{ mm de agua})$$

l = La densidad del aire ( $1.27 \text{ Kg/m}^3$ ) a 1 bar y  $0^\circ \text{ C}$

d = Diámetro del ducto de ventilación (m)

m = Coeficiente que depende del material del ducto de ventilación y diámetro

Para ductos de metal y plásticos

$$m = 0.008 * (3 - d)$$

Para ductos de plásticos suaves

$$m = 0.007 * (4.3 - d)$$

V = Velocidad de aire en el ducto (m/seg.)

A = Area del ducto ( $\text{m}^2$ )

#### **4.9.4. ELECCIÓN DE INSTALACIÓN DE VENTILADORES.-**

En la construcción de túneles la instalación de ventiladores en serie es la más favorable y su instalación es como sigue:

Dos o más ventiladores instalados en un solo ducto son utilizados para controlar la presión de trabajo de un sistema manteniendo un mismo caudal, en estas condiciones el ventilador trabaja con una alta eficiencia, nivel de ruido

relativamente bajo y sobre todo con un consumo reducido de energía eléctrica. Es comprobado que para alcanzar altas eficiencias es necesario instalar los ventiladores con sus rodetes uno al frente de otro de modo que cuando son accionados por sus respectivos motores estos tengan movimiento en direcciones opuestas con el objeto de reducir la pérdida de presión por turbulencia del aire en la admisión del ventilador, para eliminar estas deficiencias de instalación se puede disponer hoy en día ventiladores de dos o más etapas de ensamblaje directo para trabajar en serie.

Al inicio del túnel, cuando se realicé la instalación de ventiladores y el ducto, estos no deben disminuir el rendimiento debiendo intercalarse rectificadores de corriente de aire cada dos ventiladores teniendo la ventaja de llevarse la conducción eléctrica hasta la boca del túnel. Este sistema de instalación tiene la siguiente dificultad; en el comienzo del ducto o tubería se alcanzan grandes presiones que ocasionan una gran cantidad de fugas.

En túneles circulares la sección no permite contar con mayor número de ductos que una, la que se instala al centro del túnel por contar con la mayor altura y no perjudicar el transporte e instalaciones de servicio. Además que el ducto de ventilación en su instalación es rápida y segura hasta al frente de trabajo.

En el caso específico del Proyecto Múltiple Misicuni se tienen los siguientes datos

Longitud del túnel	7.000 m
Cantidad de trabajadores	25

Cantidad de aire para trabajadores 3 m<sup>3</sup>/seg.  
 Locomotora a diesel equivalente a 10 personas  
 Polvo originado por la máquina equivalente a 10 personas  
 Gases por la correa transportadora equivalente a 5 personas  
 Velocidad de aire requerido mínimo 0.3 m/seg.  
 Velocidad de aire requerido máximo 0.5 m/seg.

#### 4.9.5. CALCULO DEL DISEÑO DE VENTILACIÓN.-

A.- Longitud del túnel 7000 m.  
 B.- Requerimiento de aire  
 Qe = Caudal requerido  
 A = Area del túnel 12.98 m<sup>2</sup>  
 t = Tiempo de ventilación 30 min Por normas mineras  
 Lv = Longitud a ser ventilada 50 -100 m.

El caudal necesario en el frente de trabajo será:

$$Q_e = (A/t) * L_v$$

$$Q_e = (12.98 \text{ m}^2./1800 \text{ seg.}) * 100 \text{ m.}$$

$$Q_e = 0.7 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

C.- Volumen de aire absorbido por el ventilador es:

$$Q_t = Q_e * (1 - F/100)^{-(L/100)}$$

$$Q_t = 0.7 \text{ m}^3/\text{seg.} * (1 - 2/100)^{-(6950\text{m}/100)}$$

$$Q_t = 0.7 \text{ m}^3/\text{seg.} * (0.98)^{-(69.5)}$$

relativamente bajo y sobre todo con un consumo reducido de energía eléctrica. Es comprobado que para alcanzar altas eficiencias es necesario instalar los ventiladores con sus rodetes uno al frente de otro de modo que cuando son accionados por sus respectivos motores estos tengan movimiento en direcciones opuestas con el objeto de reducir la pérdida de presión por turbulencia del aire en la admisión del ventilador, para eliminar estas deficiencias de instalación se puede disponer hoy en día ventiladores de dos o más etapas de ensamblaje directo para trabajar en serie.

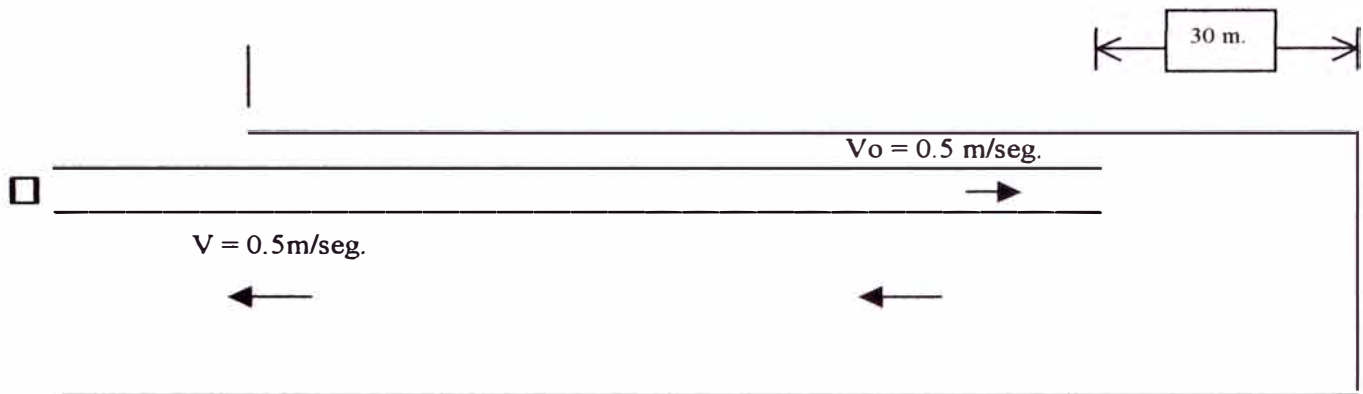
Al inicio del túnel, cuando se realicé la instalación de ventiladores y el ducto, estos no deben disminuir el rendimiento debiendo intercalarse rectificadores de corriente de aire cada dos ventiladores teniendo la ventaja de llevarse la conducción eléctrica hasta la boca del túnel. Este sistema de instalación tiene la siguiente dificultad; en el comienzo del ducto o tubería se alcanzan grandes presiones que ocasionan una gran cantidad de fugas.

En túneles circulares la sección no permite contar con mayor número de ductos que una, la que se instala al centro del túnel por contar con la mayor altura y no perjudicar el transporte e instalaciones de servicio. Además que el ducto de ventilación en su instalación es rápida y segura hasta al frente de trabajo.

En el caso específico del Proyecto Múltiple Misicuni se tienen los siguientes datos

Longitud del túnel	7.000 m
Cantidad de trabajadores	25

## ESQUEMA DE VENTILACIÓN



### 4.10. Seguridad.-

El programa de seguridad del proyecto comprende los siguientes acápites:

- Labores en superficie y subterráneas:
- Equipo de protección personal.
- Formación de brigada de salvamento.
- Ventilación.
- Postas sanitarias
- Normas de Seguridad.

#### 4.10.1.- Equipo de protección personal.-

A todos los trabajadores, se les dota de implementos de seguridad de acuerdo a la labor que realizan los que deben ser usados, cuidados y mantenidos por el mismo trabajador.

Implementos suministrados.

- a.- Botas de Goma
- b.- Casco de protección.

- c.- Guantes de cuero, manga corta o larga.
- d.- Saco impermeable.
- e.- Pantalón impermeable.
- f.- Respirador.
- g.- Protector auditivo.
- h.- Guantes de neoprene o de goma.
- i.- Lentes de protección.
- j.- Mascara facial, para mecánicos y soldadores.
- k.- Mascara para soldadores.
- l.- Ropa de trabajo (overoles, etc.).
- m.- Zapatos de seguridad.

#### **4.10.2.- Brigadas de salvamento.-**

Las brigadas de salvamento están formadas por el personal de túnel, entrenados por el médico, paramédico y el Departamento de Seguridad.

#### **4.10.3.- Posta Sanitaria.-**

Cuenta con una posta sanitaria con atención permanente de un médico de campamento, un paramédico de emergencia y de equipo de emergencia y apoyo con una ambulancia en el portal.

#### **4.10.4.- Normas de seguridad.-**

La empresa cuenta con las normas respectivas a nivel general y por cada actividad a realizarse en el trabajo.

## **CAPITULO V**

### **EXCAVACION POR METODO MECANIZADO – TBM**

#### **5.1.- INTRODUCCIÓN.-**

Las máquinas integrales para excavación de túneles se conocen habitualmente por las siglas T.B.M. que significan Tunnel Boring Machine (Perforación de Túnel con máquina) comúnmente llamada topos y se refiere a una serie de máquinas capaces de excavar un túnel a sección completa.

La máquina que realiza la excavación en el frente Bocatoma es de marca Robbins modelo 170 – 220 de industria Norteamericana.

Esta máquina TBM inicialmente diseñada para trabajos en roca dura y semidura, a un principio tenía dificultades para trabajar en terreno blando (fallas) motivo por el cual se realizaron modificaciones adecuándolo a las condiciones exigidas. Estas modificaciones fueron las siguientes:

- Aumento del tamaño de la coraza con el fin de dar protección a los cuatro motores.
- Aumento de sección de los grippers o zapatas laterales.

Modificaciones realizadas con el fin ofrecer mayor área de resistencia al desprendimiento de roca suelta de la bóveda, mayor área de empuje lateral de las zapatas en los hastiales del túnel. Objetivo de modificaciones al encontrar terreno tipo III o IV.

Implementación de una diamantina de marca DIAMEC 252 electrohidráulica, instalada en la parte lateral derecha detrás de la cabeza para realizar sondeos subhorizontales, con el fin de prevenir, fallas, diaclasas, agua y otros, que pudieran dificultar la excavación. Actualmente se va excavando en terrenos tipos I, II, con buenos resultados, y no así en terreno tipo III que se tiene dificultades y retrasos.

Con las modificaciones realizadas se quiere conseguir avances aceptables de excavación y mayor operabilidad optimizando los rendimientos de la TBM.

La falta de experiencia de los trabajadores con este sistema de excavación, al principio no se dio los resultados programados; a medida que paso el tiempo, el acomodo y comprensión del trabajo, se adaptaron en tareas específicas, reflejando un desempeño y conocimiento de la máquina, dando como resultado avances diarios cada vez mejores.

Uno de los factores principales para tener en buen estado a la máquina y evitar contratiempos es el mantenimiento preventivo y planificado en forma diaria, semanal o mensual.

Los trabajos auxiliares que se realizan en la excavación son de gran importancia para el avance de la máquina, siendo los siguientes:

- Instalación eléctrica, para alumbrado y bombeo.
- Instalación eléctrica de alta tensión para el funcionamiento de la máquina.
- Instalación de mangas de ventilación.



- Instalación de aire comprimido, agua para la perforación y desagüe.

La dirección, buzamiento de la máquina, es verificada por equipo de topografía , mediante rayo láser, instalado en la parte izquierda de la bóveda, teniendo un alcance de 200 m. disparando a dos tableros cuadriculados, que se encuentran en la cabeza.

El mapeo geológico y geotécnico se realiza en forma diaria para la clasificación de tipo de terreno, y su inmediato sostenimiento.

Por el constante trabajo que se va realizando en la máquina como detrás de ella, por normas de seguridad todos los trabajadores deben ingresar con los implementos de seguridad requeridos para cada trabajo a realizar.

El equipo de trabajadores, cuenta con ingenieros de distintas especialidades para el control y verificación de las labores.

## **5.2.- ELECCIÓN DEL METODO MECANIZADO TBM**

Para la elección de excavación por el presente método, según la clasificación de Bienawski, toma como parámetros principales la geología y la geotécnica, clasificando el tipo de terreno para la utilización de los topos.

### 5.2.1.- ESCALA DE UTILIZACIÓN DE TBM EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ROCA

RMR		RQD	CONDICIONES DE UTILIZACION DE TBM EN FUNCION DE LA CALIDAD DE ROCA Y TIPO DE TERRENO
VALOR	CLASE		
81 - 100	I	> 90	Excelente. Rendimientos extraordinarios
61 - 80	II	70 - 90	Buenos. Rendimientos altos
50 - 60	IIIa	50 - 70	Adecuados. Rendimientos reducidos
41 - 50	IIIb	40 - 50	Poco adecuados
21 - 40	IV	25 - 40	Tolerables sólo en tramos muy cortos

### 5.2.2.- COMPARACIÓN DE RENDIMIENTOS DE EXCAVACION.-

Los rendimientos proporcionados por el Proyecto Múltiple Misicuni Son:

TIPO DE TERRENO	PORCENTAJE %	ESCALA DE UTILIZACION
I	45	Excelente, rendimiento extraordinario
II	39	Buenos rendimientos altos
IIIa	6	Adecuados rendimientos reducidos
IIIb	4	Poco adecuados
IV	6	Tolerables solo en tramos muy cortos
V	0	Totalmente inadecuados
TOTAL	100	

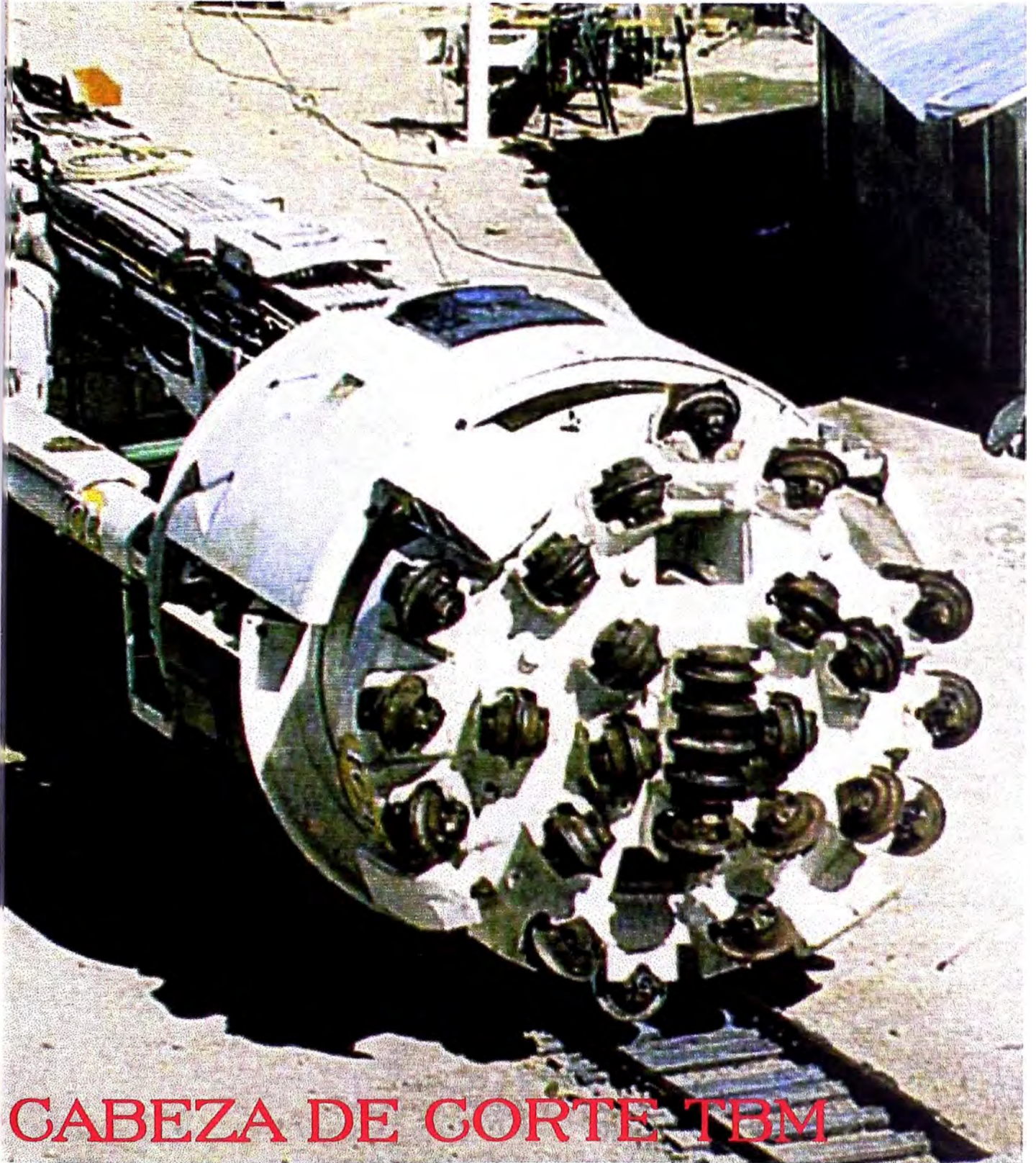
Tiempo calculado

823	Tiempo, solo excavación en días
27	Tiempo, solo excavación en meses

### 5.2.3.- CANTIDADES CONTRACTUALES.-

Datos obtenidos del Proyecto Múltiple Misicuni:

TIPO DE TERRENO	CANTIDAD DE TERRENO (%)	CANTIDAD DE TERRENO ( m)
I	41.68	2872.69
II	47.79	3293.81
III	10.53	725.75
IV	0	0



**CABEZA DE CORTE TBM**

### 5.2.4.- RENDIMIENTOS EN DIAS CALENDARIO EN LA EXCAVACION CON TBM.-

TIPO DE TERRENO	I	II	III	IV
<b>Túnel Principal</b>				
Longitud (m)	2872.69	3293.61	725.75	0
rendimiento (m/día)	24	18	6	3
Tiempo contractual (días)	120	183	121	0
TOTAL (meses)	10	15	10	
TOTAL (años)	2.9			

### 5.2.5.- OPERATIVIDAD.-

En la excavación del túnel trasvase Bocatoma a Pozo Intermedio se esta utilizando una TBM o topo de un diámetro de 3.5 m. de marca ROBBINS de industria Estadounidense. Para terrenos de tipos I , II y III.

### 5.3.- DESCRIPCIÓN DE LA TBM.-

#### 5.3.1.- CABEZA.-

##### 5.3.1.1.-Descripción General de la cabeza.-

Es la parte móvil que realiza la excavación de la roca (Grafico Anexo), esta dotada de cortadores que normalmente son discos de metal duro que gira libremente sobre su eje y cuya carcaza se fija a la cabeza. El desgaste de los cortadores varían de acuerdo a la dureza de la roca.

La cabeza giratoria de la T.B.M. es la que realiza la excavación por medio de discos que se encuentran en la parte delantera con un número de 27, los que se encuentran ubicados en forma espiral que al girar describen círculos concéntricos prácticamente equidistantes, habiendo una concentración de discos en la parte central. Para forzar la rotura de la roca, normalmente tienen un diámetro de 432 mm (17”).

El mecanismo de rotura de la roca, forzando en la zona central de la manera indicada, progresa en los círculos siguientes hacia el espacio ya excavado y para facilitar este trabajo la cabeza esta dotada de una ligera conicidad.

El proceso de este corte mecánico produce inicialmente mediante un proceso de rotura frontal originado por la presión que el cortador ejerce sobre el terreno y posteriormente en el resto de la sección, la rotura entre los círculos concéntricos anteriormente aludidos se produce por IDENTACION, con la formación de un escombros LAJOSO típico de este tipo de máquinas.

Para la evacuación de escombros producidos por la cabeza incorpora una serie de cangilones o cucharas situados en su periferia que recogen el material triturado y lo eleva para descargar a una cinta primaria.

### 5.3.1.2.- Cilindro de empuje.-

Son dos cilindros hidráulicos que proporciona a la maquina el empuje necesario contra el frente para realizar la excavación, al agotarse su carrera de avance es necesario soltar los grippers. Y retraer los cilindros de empuje para conseguir el avance de la parte fija de la máquina.

El avance que realiza es la extensión del cilindro de empuje que tiene una longitud de 1,2 m. Están ubicadas en los costados por detrás de la cabeza.

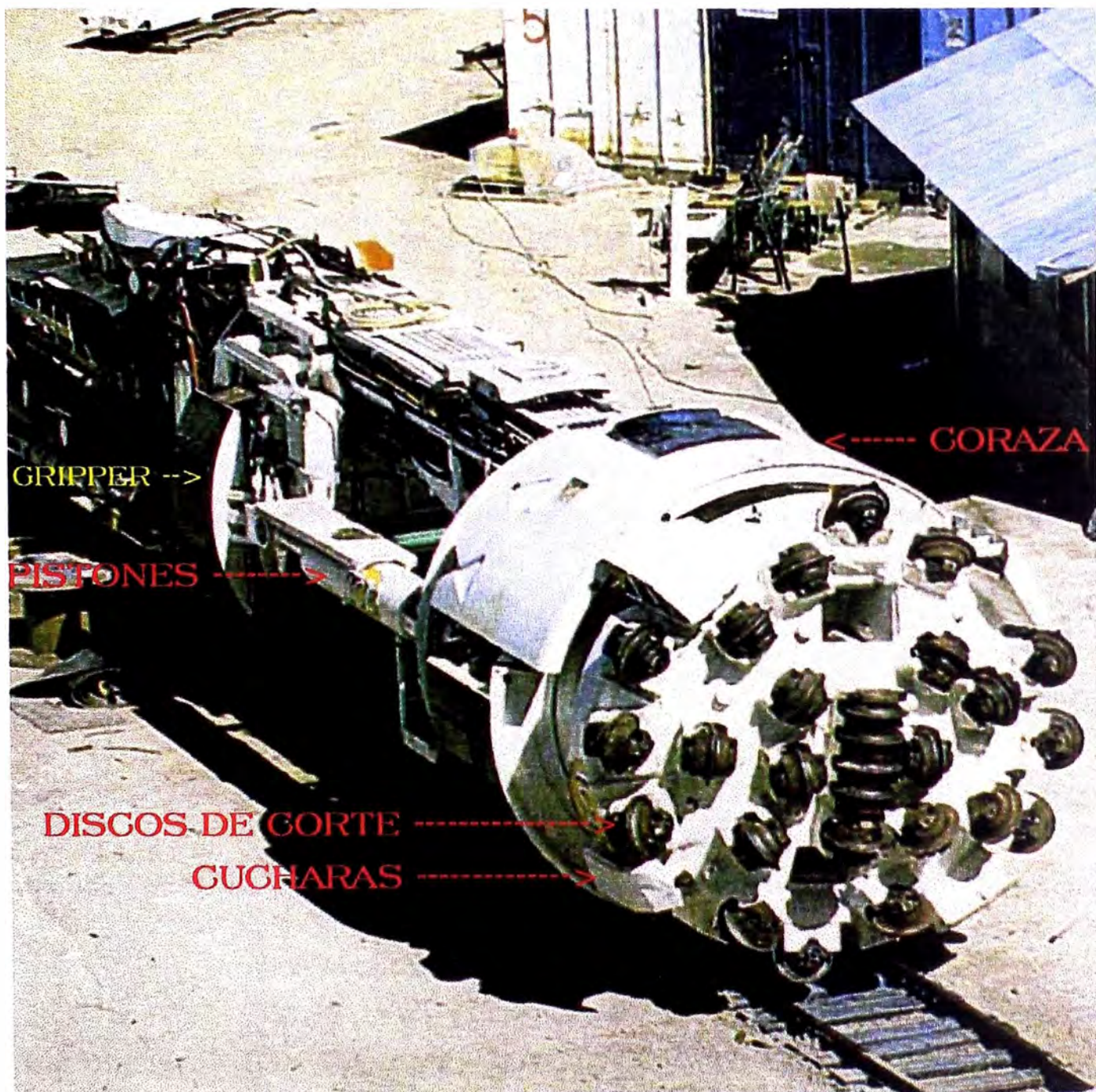
Tiene las siguientes dimensiones:

Diámetro	13”
Diámetro pistón	9”
Carrera	48”
Presión	4000 psi (Máximo)

La velocidad de excavación se regula por medio de la presión de los cilindros de avance de acuerdo a la siguiente tabla:

<b>TIPO DE ROCA</b>	<b>PRESION REQUERIDA</b>
I	1800 – 3000 psi
II	1200 – 1800 psi
III	800 - 1200 psi

La presión ideal para la perforación es de 2000 a 2500 psi.



A esta presión la máquina trabaja sin mucho esfuerzo, y no malogra los discos de corte.

#### **5.3.1.3.- Motores eléctricos.-**

Son cuatro motores eléctricos de 380 V - 200 HP , con cuatro embragues neumáticos y cuatro reductores de rotación, los que se encargan del accionamiento y rotación de la cabeza de 11 RPM.

#### **5.3.1.4.- Elevador de cerchas.-**

Se encuentra sobre la cabeza, accionadas por energía eléctrica e hidráulica , para el colocado inmediato de cimbras cuando son requeridas.

#### **5.3.1.5.- Corazas.-**

En la parte posterior y superior de la cabeza se encuentra una coraza fija que sirve de protección a los embragues y motores eléctricos de posibles derrumbes de la bóveda.

Existe otra móvil en la parte posterior e inferior de la cabeza que sirve de sostenimiento la cual es accionada y presionada a voluntad contra la pared del túnel, para estabilizar la cabeza y mantenerla sobre su eje en el momento de la perforación.



#### **5.3.1.6.- Zapatas laterales (Grippers).-**

Las zapatas o grippers se encuentran a los costados y detrás de la cabeza, los que están conectados a cilindros hidráulicos transversales, que presionan a las paredes.

La presión de trabajo de los cilindros depende del tipo de terreno al cual serán fijadas las zapatas, así mismo las presiones obtenidas determinarán la presión de los cilindros de avance.

#### **5.3.1.7.- Cangilones o cucharas.-**

La cabeza tiene cuatro cangilones o cucharas para el recojo de roca triturada la que deposita en una cinta transportadora de 16m de longitud, trasladando el material a otra cinta denominada cinta N° 03 del Back up de una longitud de 6m.

#### **5.3.1.8.- Ventanilla de servicio.-**

Constituida por dos ventanas para el tránsito del personal con el fin de inspeccionar el estado de los discos de corte.

#### **5.3.1.9.- Discos.-**

Los discos se encuentran en la parte delantera de la cabeza en un número de 27.

La disposición de los discos se encuentran forma espiral, que al girar las mismas puedan describir círculos concéntricos equidistantes (8 cm. de espaciamento aprox.), habiendo una concentración de discos en el centro de la cabeza para forzar la rotura de la roca.

El peso de los discos es de 170 Kg. 23 de ellos, los restantes pesan 250 Kg. Los que se encuentran en la parte central de la cabeza.

El peso total de la cabeza es de 136 Ton. Con la adaptación realizada en la coraza.

El diámetro de los discos utilizados son de 432 mm (17”).

De acuerdo a la calidad de roca y tiempo de trabajo se realiza una inspección de los discos cortadores, los que son calibrados para saber el desgaste y determinar su cambio o continuar la excavación con estos mismos; de acuerdo al desgaste que tenga los discos se determina el cambio según el siguiente detalle:

Discos Perimetrales ( 21 – 27 )	=	09 mm de desgaste
Discos intermedios ( 5 – 20 )	–	45 mm de desgaste
Discos centrales ( 1 - 4 )		38 mm de desgaste

El problema principal que atraviesa en terreno de tipo III y IV es que la arcilla que contienen esta clase de terreno, hace que los discos no giren, gastando solo una parte del disco el que tiene que ser cambiado por perder su forma circular.

#### **5.3.1.10.- Soportes hidráulico de la cabeza.-**

Son dos que se encuentran detrás de las zapatas (gripper) (también denominadas gatas de apoyo), las cuáles bajan cuando las zapatas (grippers) son contraídos, así como el

cilindro de avance de la cabeza. También al extender las patas, se puede accionar el sistema de arrastre del Back Up.

#### **5.3.1.11.- Cilindros de arrastre.-**

Son dos cilindros que se encargan de jalar el back up, después de avanzar la perforación de la cabeza o sea cada 1.20 m. las que tienen las siguientes dimensiones:

Diámetro	4''
Avance	60''
Diámetro pistón	3 3/8''
Presión	3000 psi (máxima)

#### **5.3.1.12.- Conductos de ventilación.-**

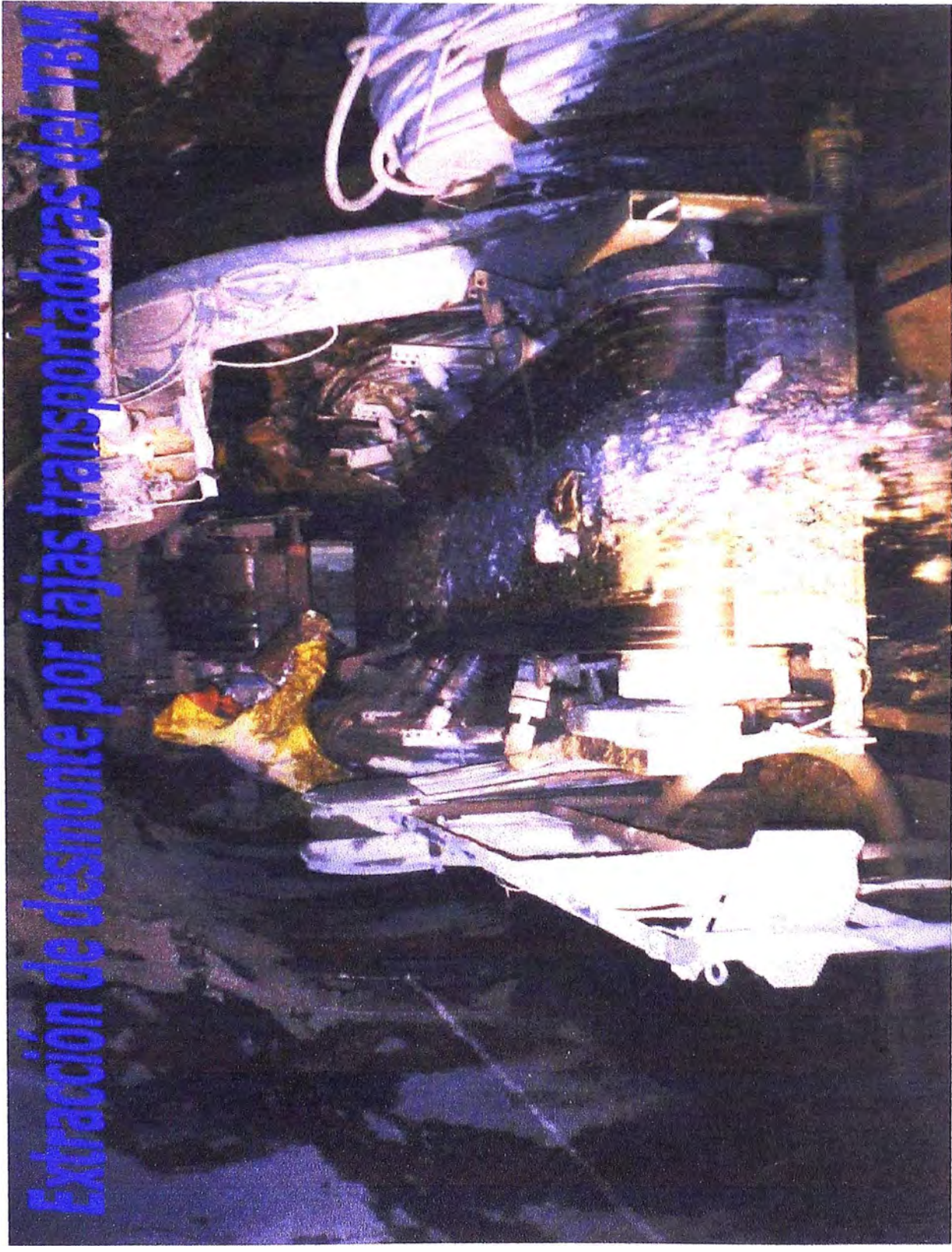
Se encuentran en la parte superior de la cabeza los que se encargan de extraer el polvo creado en la perforación.

#### **5.3.1.13.- Cinta transportadora.-**

Se encarga de extraer la roca triturada, accionada por un motor elctrohidráulico, su medida es de 0.60m.x 5/16''x 27.3 m.

#### **5.4.- Especificación general.-**

Podemos indicar que la cabeza del TBM (topo) consta de las siguientes partes:



Extracción de desmonte por fajas transportadoras del TBM

- a.- Cabeza giratoria.
- b.- Discos
- c.- Cangilones para el recojo de roca triturada
- d.- Ventanillas para el paso de personal.
- e.- Cilindros hidráulicos para el avance de la cabeza.
- f.- Gripper o zapatas.
- g.- Cilindros hidráulicos para accionar los gripper.
- h.- Cinta transportadora.
- i.- Motores eléctricos
- j.- Tarjetas cuadrículadas para indicar la dirección, con rayos láser.
- k.- Circuito cerrado de televisión.
- l.- Soportes en la parte inferior atrás de la cabeza.
- m.- Coraza fija y móvil en la parte posterior de la cabeza.

### **5.5.- Ensamblaje General.-**

El ensamblaje de la cabeza se realizo por partes los que a continuación se va describiendo:

La cabeza de la TBM o topo se ensamblo primero la parte mecánica de esta, la estructura donde va montada el eje de la cabeza móvil y un conducto de forma rectangular por donde se conecta la correa transportadora, luego los soportes de la cabeza, luego los cilindros hidráulicos de las zapatas laterales (grippers) , las zapatas, la cabeza móvil, los cilindros de avance, los discos y los motores eléctricos.

Para terminar la instalación, con la conexión de mangueras hidráulicas como las conexiones eléctricas, y las cámaras de

Televisión. en los siguientes puntos : dos para las zapatas laterales (grippers), uno en el tablero de dirección, otra en la salida de la correa transportadora de la cabeza.

### **5.5.1.- Back-up.-**

#### **5.5.1.1.- Descripción General.-**

Se denomina al conjunto de plataformas posteriores que arrastra la máquina en su avance y que normalmente incorpora los siguientes equipos:

- Plataforma de perforación y hormigón (shotcrete).
- Cabina de mando, donde se encuentra el operador accionando desde ella toda la máquina mediante un tablero de control de cada una de las partes, y cuatro pantallas de televisión.
- Transformadores y carrete de cable de alta tensión.
- Recolector de polvo constituido por una cortina de agua que capta el polvo en un tanque por medio de una aspiradora y permite su evacuación en forma de lodo.
- Cinta transportadora de roca triturada hasta los carros, en tres partes que se encuentran en el back up.
- El sistema de evacuación de escombros de gran rapidez para grandes cantidades de material.
- Tren de carga que se encuentra al final de la última faja o cinta transportadora, el cargado de los vagones es de manera semiautomáticas accionado por medio de cadenas que acomodan los vagones hasta su llenado

# Plataforma TBM



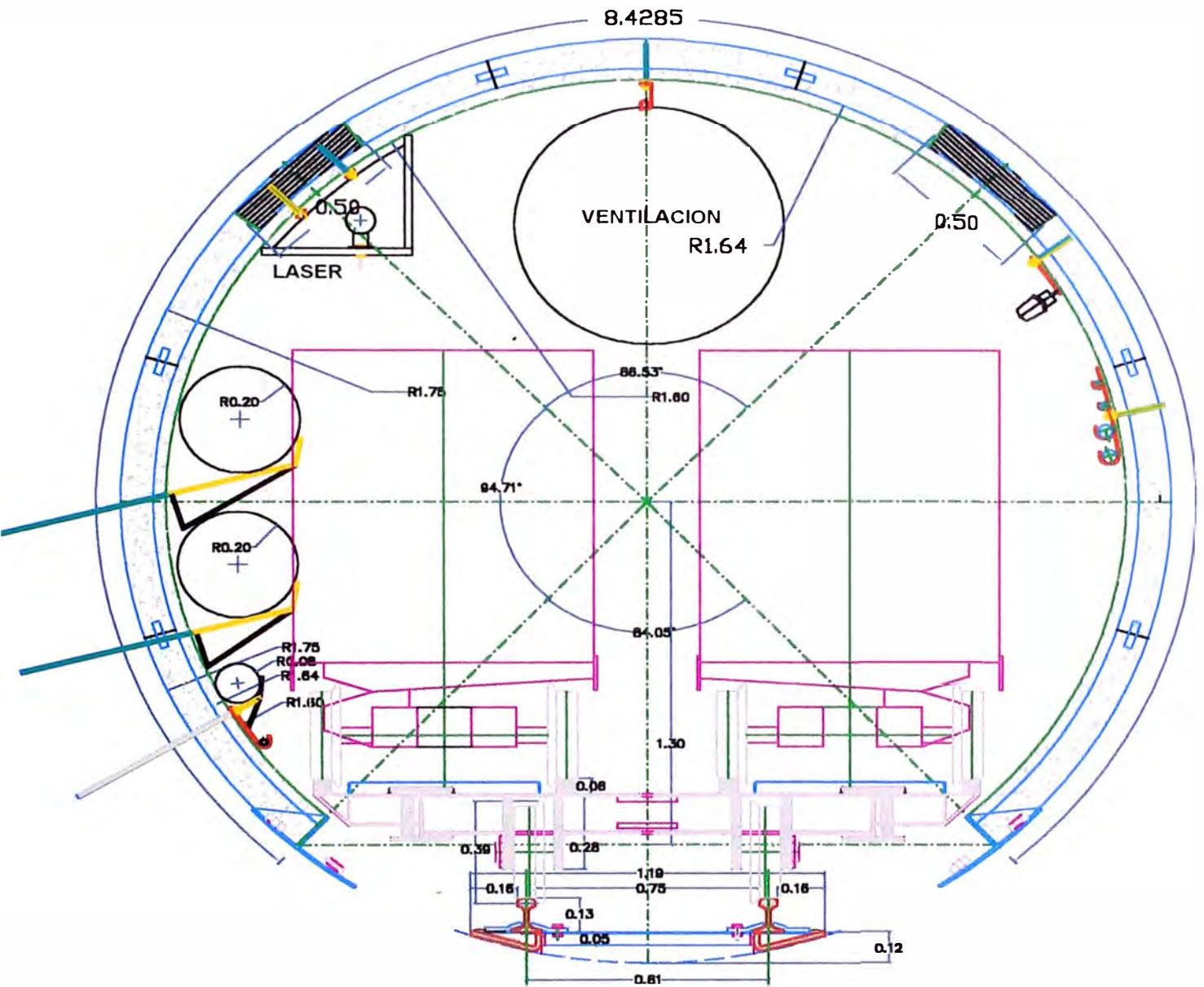
- Cinta puente esta ubicada encima de un convoy completo mientras este va llenando esta esperando otro en un cambio sobre el californiano.
- Sistema Rowa conocido por plataforma **californiano** consiste de dos vías paralelas, una para vagones vacíos y otra para la evacuación de vagones cargados, los vagones se mueven sin la locomotora mediante cadenas de arrastre y el cambio de vías se efectúa mediante un sistema hidráulico, controlándose todo el sistema por un operador (sistema instalado dentro de la TBM).
- En la parte posterior de la cabeza existe una rampa de la cinta transportadora y dos cables de una pulgada de diámetro que sirve para jalar todo el Back-up.
- En el espacio debajo de la rampa es utilizada para el armado de rieles con sus respectivos durmientes.
- El desagüe se realiza por medio de una bomba sumergible instalada detrás de la cabeza hasta la parte trasera de la máquina para luego ser bombeada por otra a superficie.
- Cámaras de Televisión. En los siguientes lugares: uno en la descarga de la correa transportadora a los carros, dos en el pasillo de entrada como de salida, y en plataforma de trabajo. Completando a un total de 4 cámaras.

#### **5.5.1.2.- Alineamiento de la Máquina (dirección).-**

Se realiza materializando un rayo láser un eje paralelo al del túnel, viendo constantemente el operador la señal en una diana cuadrículada que facilita el guiado manual de la máquina.



# AREA CALIFORNIA



## CERCHA TBM TIPO III

 <b>Consorcio Astaldi - ICE</b> 	
<b>PROYECTO MULTIPLE MBOJIN - TUNEL DE TRASVASE</b> TRASVASE DE LOS RIOS TITIRI Y SERKHETA	
<b>AREA CALIFORNIA CALIO</b>	
<b>GERENCIA TECNICA</b>	
<b>NUMERO</b>	
ESCALA	PROYECTO
DIBUJO	<b>MC - 0141-A</b>

La cabina de mando es la más importante, por que de ella se controla toda la máquina, por medio de cámaras de televisión cuatro, cada una de ellas capta dos imágenes, las zapatas (grippers), tarjetas de dirección, el cilindro hidráulico de la cabeza, la cinta transportadora número uno, el pasillo del back-up de entrada, pasillo del back-up salida, descargue de la cinta transportadora.

Al terminar el californiano comienza el back-up donde comienza una pasarela al lado izquierdo por donde se circula al entrar y salir de la máquina.

El cable de alta tensión se encuentra en un carrete a medida que avanza la cabeza esta va soltando cable, tiene una capacidad de almacenamiento de 400 m.

Tres transformadores los que reducen la entrada de 6000 V a 380 V, dos son para el funcionamiento de la máquina y una para el servicio auxiliar de la máquina.

El extractor de polvo consta de tres ventiladores instalados en serie los que se encargan de absorber todo el aire contaminado para sacarlos hacia afuera por medio de una manga de ventilación de 40 cm. de diámetro. Los motores de los extractores trabajan con energía de 380 V.

Un tanque de agua de  $1\text{m}^3$  la que es bombeada para su utilización en la perforación , enfriamiento de la cabeza, eliminar el polvo que se crea al pasar de una cinta a otra y para las máquinas perforadoras neumáticas.

### **5.5.1.3.- Sistema de Ventilación.-**

La máquina tiene su propio sistema de ventilación la que consta de dos ventiladores que se encuentran en la parte final del sistema Rowa o Californiano la que distribuye por medio de mangas de 40 cm. de diámetro a plataforma de trabajo y cabina de mando.

Y tres ventiladores que sirven de extractores con un recolector de polvo que esta situado en el Back up, los que absorben el polvo de la cabeza ( salida de escombros) por medio de una manga con anillos rígidas de 20 cm. de diámetro.

### **5.5.1.4.- TRANSPORTE.-**

El sistema de transporte es combinada, por cintas transportadoras luego por convoy jalado por una locomotora a diesel hasta la superficie.

El sistema de transporte por cintas transportadoras o conocidas por correas transportadoras son cuatro una en la cabeza hacia el Back up y tres en este.

En el sistema de transporte por rieles la que consta de:

Un convoy compuesto por 7 carros de 14 Ton. cada uno.

El descargue de material se realiza por la parte inferior de los carros, al llegar estos al puente de descarga son accionados por un mecanismo neumático que abre la compuerta inferior del carro para vaciar todo el material, luego elevadas automáticamente cerrando y asegurando estas a medida que avanza el convoy.

Los carros tienen una dimensión de 6 m. de largo, 1.0 m de ancho y 1.6 m de alto.

Las rieles instaladas son de 80 lb/pie.

La trocha entre rieles es de 0.90 m.

El tiempo de llenado del convoy es mucho más rápido cuando se trata de terreno tipo I y II, Siendo más largo en terreno de tipo III

El ciclo de transporte (En el TBM) es el siguiente:

1. Entrada	5 min.
2. Espera (californiano)	10 min.
3. Salida	10 min.
4. Carga	10 min.
T O T A L	35 min.

## **5.6.- SOSTENIMIENTO.-**

### **5.6.1.- PERNOS DE ANCLAJE.-**

Son de dos tipos preventivos y sistemáticos.

Los primeros son colocados una vez visado el espacio libre detrás de la cabeza en los lugares más críticos ( bóveda).

Los segundos son colocados posteriormente en la plataforma en forma sistemática completando secuencias preestablecidas de acuerdo al tipo de roca.

Se utilizan dos tipos de pernos

Pernos swellex colocados y asegurados a la roca por medio de agua a alta presión (300 kg/cm<sup>2</sup>). Que insufla dilatando y acomodando toda la sección del perno a las paredes del taladro. La longitud del perno es de 1.8 m.

Pernos de anclaje con resina, contruidos de fierro corrugado de 1” de diámetro, se aseguran a la roca mediante resina sintética introducida previamente, mezclando su acelerante de fragua mediante la acción de giro del perno al ser introducido por una pistola neumática, la longitud del perno es de 1.7 m.

#### **5.6.2.- HORMIGON LANZADO O SHOTCRETE.-**

Hormigón lanzado o shotcrete, existe dos formas de aplicación, una de vía seca y la otra por vía húmeda.

##### **5.6.2.1.- Dosificación, Hormigón proyectado por Vía Seca.-**

Materiales.-

- Cemento
  - Pórtland tipo IP-40 (NB-011)
  - Marca Viacha
  - Peso específico 3.150 gr/cc
  - Procedencia La Paz – Bolivia
  
- Aditivo.-
  - Acelerador de fraguado
  - Marca SIGUNIT L-22
  - Dosis 2.5 % en peso
  - Peso específico 1.500 gr/cc

- Procedencia                      SIKA S.A. – Chile
- Agua.-
- Procedencia                      Río Misicuni

#### **5.6.2.2.- Dosaje completo para 1m<sup>3</sup> de hormigón**

Cemento	=	500 Kg.
Agua	=	182 Lt.
Arena 0 – 5 mm.	=	884 Kg.
Gravilla ½”	=	728 Kg.
Aditivo acelerante	=	8.33 Lt.
Fibras de acero (Dramix)	=	30.0 Kg.

#### **5.6.2.3.- Dosificación de Hormigón proyectado por Vía Húmeda.-**

##### **Materiales.-**

- Cemento.-
  - Pórtland tipo IP-40 (NB-011)
  - Marca                      Viacha
  - Peso específico        3.150 gr/cc
  - Procedencia            La Paz – Bolivia
- Aditivos.-
  - Acelerador del fraguado
  - Marca                      SA – 160
  - Dosis                      9.0 % en peso
  - Peso específico        1.360 gr/cc
  - Procedencia            M.B.T. – Chile

- Agua.-
- Procedencia                      Río Misicuni

#### **5.6.2.4.- Dosaje Completo para 1 m<sup>3</sup> de hormigón**

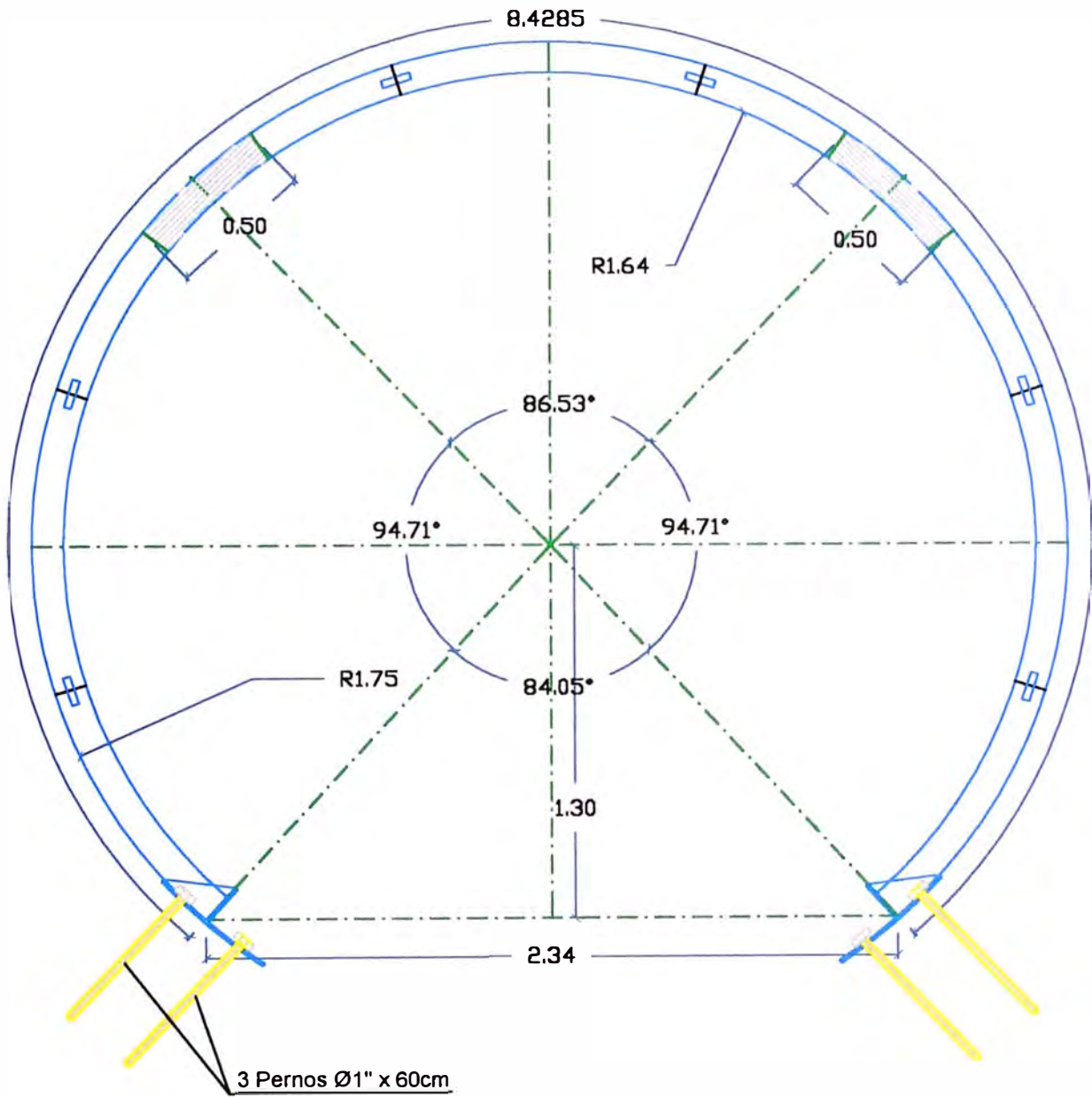
Cemento	=	500 Kg.
Agua	=	190 Lt.
Aditivo Plastificante	=	8.4 Lt.
Aditivo estabilizador	=	2.5 Lt.
Arena natural 0 –10 mm	=	1265 Kg.
Gravilla 5 –15 mm	=	224 Kg.
Aditivo acelerante	=	33.09 Lt.
Fibras de acero (Dramix)	=	30.0 Kg.

#### **5.6.3.- CERCHA.-**

Las cerchas es otro sistema de sostenimiento los que son utilizadas en terreno tipo III y IV, conformada por fragmentos de roca triturada, arcilla y brecha, que consta de las siguientes partes, un cabezal y dos laterales las que son unidas por medio de grapas, la distancia entre cerchas es de 1.5 m; esta distancia puede variar a menor separación especialmente en terrenos tipo IV. Estas están unidas entre ellas por medio de separadores o distanciadores en un número de 8, cuatro en el cabezal y dos en cada costado.

Las cerchas son de dos tipos, una tipo herradura las que tienen un peso de 265.4 Kg. (para perforación y voladura) y la otra tipo circular la que pesa 182.44 Kg. utilizadas en la excavación de la TBM. Siendo esta más corta que la anterior.

# CERCHA TBM TIPO III

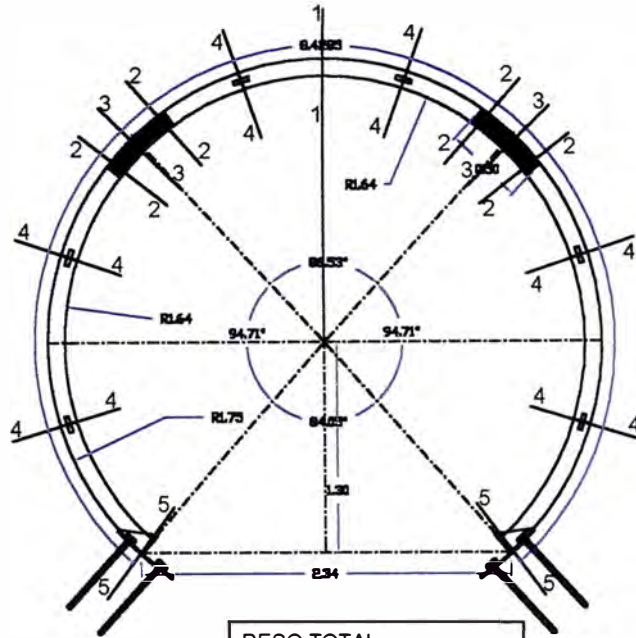


ESC.- 1 : 25

 <b>Consorcio Astaldi - ICE</b>				
				<b>PROYECTO MULTIPLE MISICUNI - TUNEL PRINCIPAL</b> TUNEL TRASVASE Y BOCATOMA DE EMBALSE
<b>DETALLE DE CERCHA TBM. TIPO III</b>			APROB	FECHA
GERENCIA TECNICA			NUMERO	
ESCALA	PROYECTO	DIBUJO	<b>MB - 0088</b>	



# CERCHA TBM - SECCIONES TRANSVERSALES Y LONGITUD TEÓRICA TIPO - III



**PESO TOTAL**  
 Peso Cercha = 299.038 Kg  
 3 Pernos Ø1" x L=60 cm

**PERFIL TH21**

Long = 3.1428 m  
 Peso = 3.1428 m x 21 Kg = 65.998 Kg  
 Cantidad = 3 Pzas  
**Peso subtotal = 197.994 Kg**

**Grapas**

Pza. Prefabricada  
 Peso = 5.5225 Kg  
 Cantidad = 4 Pzas  
**Peso subtotal = 22.09 Kg**

**Tubo p/ fijacion distanciador**

Long. = 0.10 m  
 Peso = 0.1471 Kg  
 Cantidad = 12 Pzas  
**Peso subtotal = 1.7652 Kg**

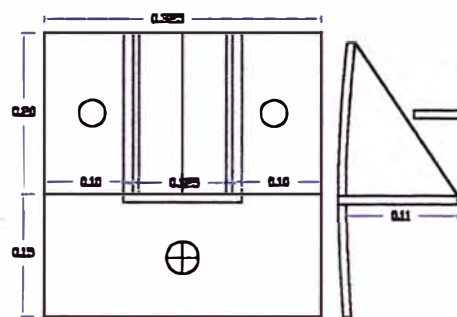
**Distanciador L = 1.50 m**

Long. = 1.58 m  
 Peso = 6.1198 Kg  
 Cantidad = 6 Pzas  
**Peso subtotal = 36.7188 Kg**

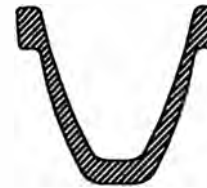
**Placa de apoyo**

Espesor. = 0.020  
 Superficie. = 0.1289 m<sup>2</sup> ( 0.002578 m<sup>3</sup>)  
 Cantidad = 2 Pzas  
**Peso subtotal = 0.005156 x 7.85 = 40.47 Kg**

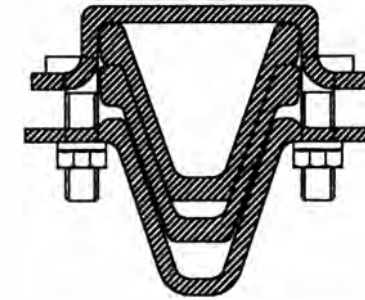
**ESC.- 1 : 50**



sección 5-5



sección 1-1



sección 2-2

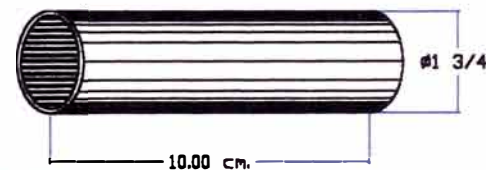


sección 3-3



sección 4-4

**TUBO PARA FIJACION DISTANCIADOR**

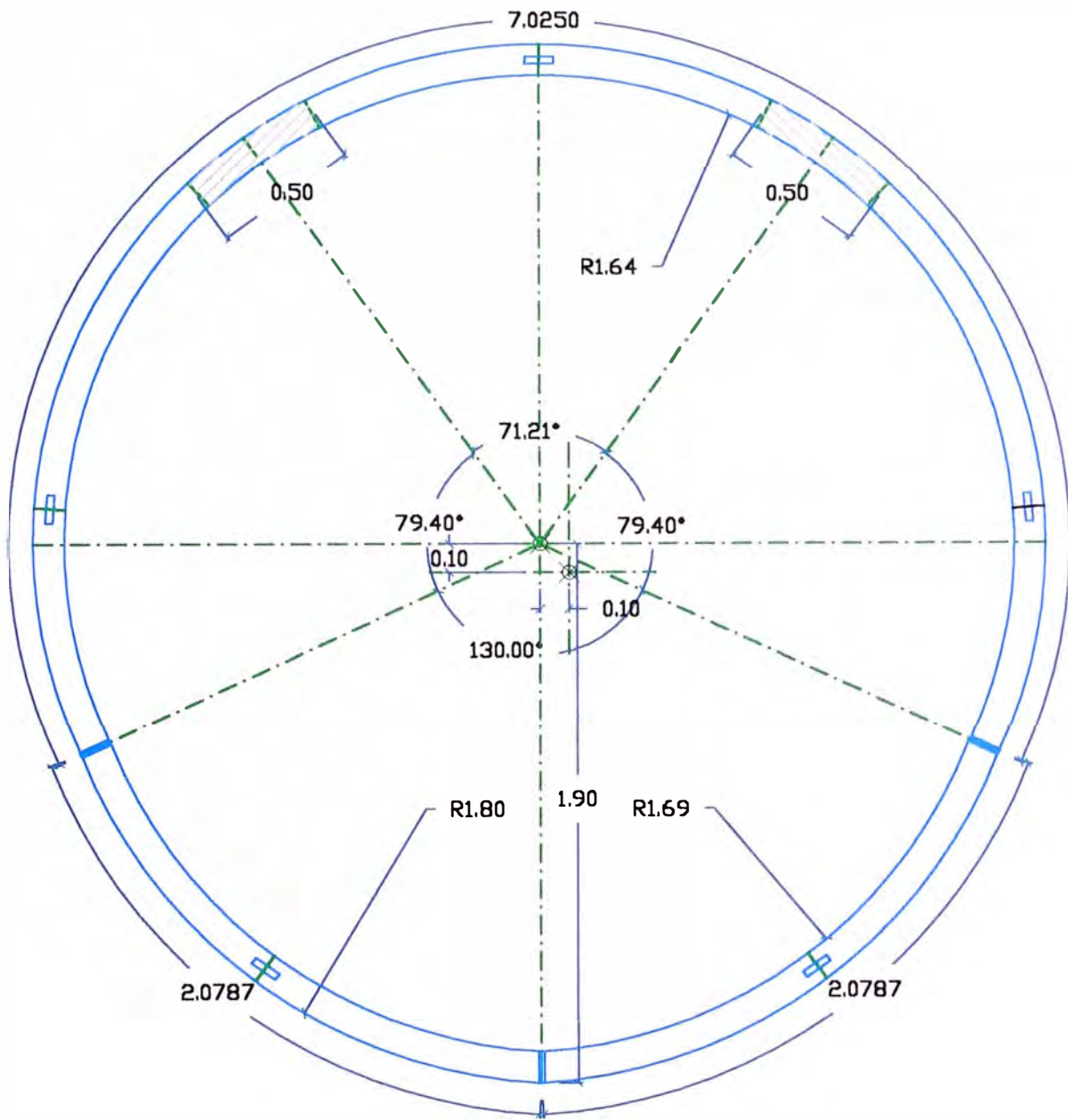


DISTANCIADOR L=1.50 m.



<b>PROYECTO MULTIPLE USQUIN - TUNEL DE TRAVASE</b>						
TUNEL TRASVASE Y BOCATOMA DE EMBALSE						
SECCIONES TRANSVERSALES Y LONGITUD TEÓRICA DE LA CERCHA TBM		<table border="1"> <tr> <td>APROB.</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	APROB.	FECHA		
APROB.	FECHA					
GERENCIA TÉCNICA		NUMERO				
ESCALA	PROYECTO	DIBUJO				
1 : 50		<b>MB - 0088-B</b>				

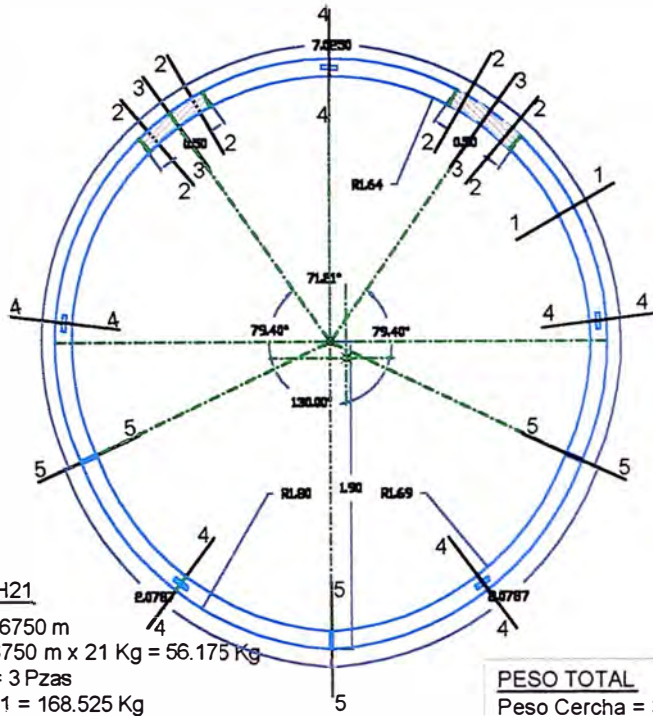
# CERCHA TBM TIPO IV



ESC.- 1 : 25

 <b>Consorcio Astaldi - ICE</b>			
TUNEL TRASVASE Y BOCATOMA DE EMBALSE			
<b>DETALLE DE CERCHA TBM. TIPO IV</b>			
GERENCIA TECNICA		NUMERO	
ESCALA	PROYECTO	DELLJO	MB - 0089

# CERCHA TBM - SECCIONES TRANSVERSALES y LONGITUD TEÓRICA TIPO - IV



**PERFIL TH21**

Long.1 = 2.6750 m  
 Peso = 2.6750 m x 21 Kg = 56.175 Kg  
 Cantidad = 3 Pzas  
 Peso total.1 = 168.525 Kg  
 Long.2 = 2.0787 m  
 Peso = 2.0787 m x 21 Kg = 43.6527 Kg  
 Cantidad = 2 Pzas  
 Peso total.2 = 87.3054 Kg

**PESO TOTAL**  
 Peso Cercha = 321.3984 Kg

Peso subtotal = 255.8304 Kg

**Placa de apoyo**

Espesor. = 0.0125  
 Superficie. = 0.03575 m<sup>2</sup> ( 0.000447 m<sup>3</sup> )  
 Cantidad = 6 Pzas  
 Peso subtotal = 0.00268 x 7.85 = 21.048 kg

**Grapas**

Pza. Prefabricada  
 Peso = 5.5225 Kg  
 Cantidad = 4 Pzas  
 Peso subtotal = 22.09 Kg

**Tubo p/ fijacion distanciador**

Long. = 0.10 m  
 Peso = 0.1471 Kg  
 Cantidad = 10 Pzas  
 Peso subtotal = 1.471 Kg

**Distanciador L = 1.00 m**

Long. = 1.08 m  
 Peso = 4.1918 Kg  
 Cantidad = 5 Pzas  
 Peso subtotal = 20.959 Kg

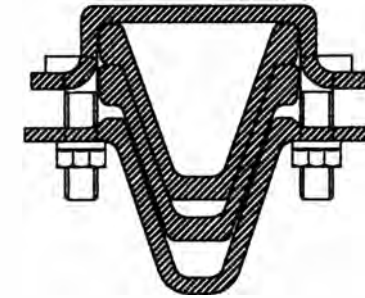


sección 5-5

**ESC.- 1 : 50**



sección 1-1



sección 2-2

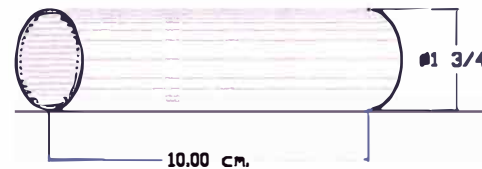


sección 3-3

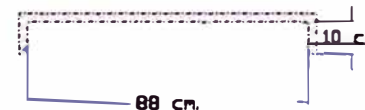


sección 4-4

**TUBO PARA FIJACION DISTANCIADOR**



DISTANCIADOR L=1.00 m.



		PROYECTO MULTIPLE MISQUNI - TUNEL DE TRAVASE	
		TUNEL TRASVASE Y BOCATOMA DE EMBALSE	
SECCIONES TRANSVERSALES Y LONGITUD TEÓRICA DE LA CERCHA TBM		APROB.	FECHA
		NUMERO	
ESCALA 1 : 50	PROYECTO	DIBUJO	MB - 0089-B

Las cerchas son preparadas en obra.

#### **5.6.4.- SPILLING.-**

Son barras de fierro corrugado de 1" de una longitud de 1.8 m. los que son instaladas sobre el cabezal de la TBM y fijadas sobre la cercha. Dejando un techo seguro para evitar posibles derrumbes. Este sostenimiento es utilizada en terreno tipo III.

#### **5.6.5.- PLACAS ADEME.-**

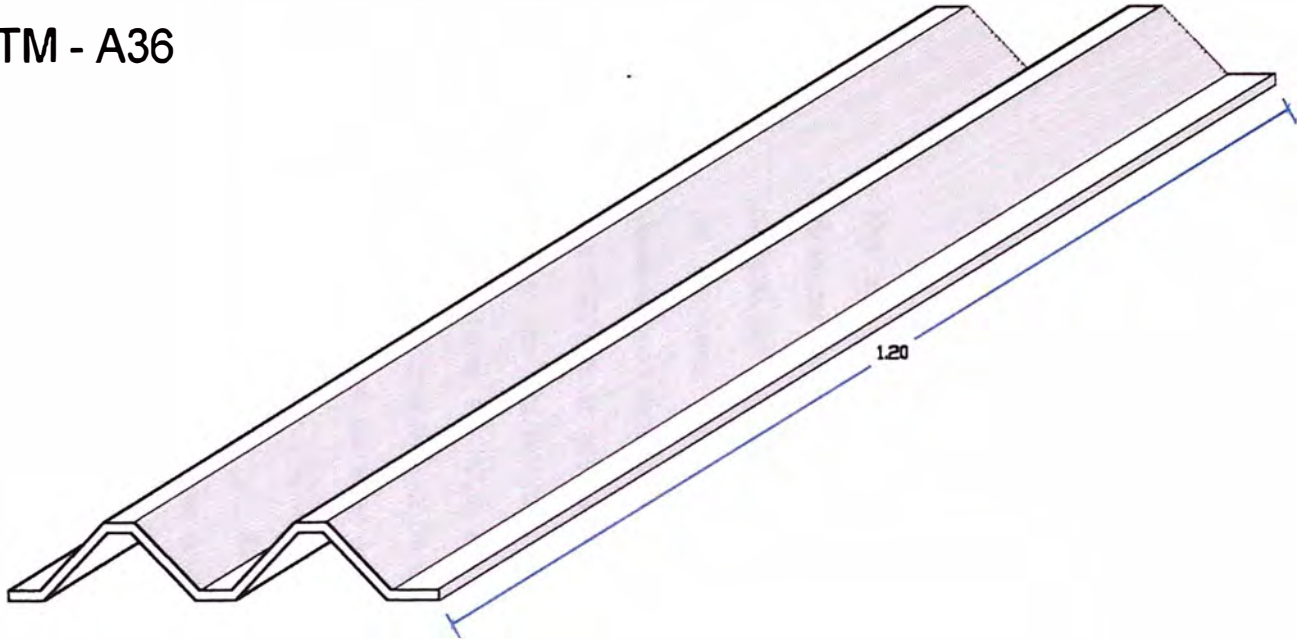
Como su nombre indica son placas tipo calamina de un ancho de 0.5 y largo de 1.6 m (también de 1.20 m para terrenos mas inestables) las que son instaladas sobre las cerchas, en zonas de sobreexcavaciones naturales mayores a 1,5m de alto, en terrenos de tipos III y IV.

Para evitar el derrumbe en primer lugar se va provocando la caída de roca suelta (desate de material suelto) y luego se lanza el hormigón (shotcrete) rellenándose posteriormente con bolsas de hormigón sin fibra hasta el techo de bóveda todo esto sobre la placa ADEME las que van fijadas sobre las cerchas.

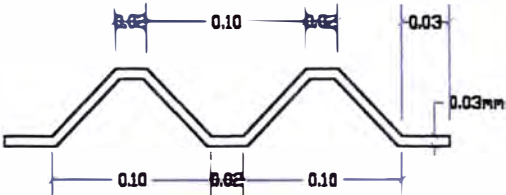
#### **5.6.6.- MALLA METALICA.-**

Colocadas junto con los pernos de anclaje para mejorar el sostenimiento y evitar posibles derrumbes, el lanzamiento de shotcrete y la malla metálica es tanto en la bóveda como en los hastiales, en roca tipo III. Su empleo es exclusivo para absorber las deformaciones debidas a la contracción, elevando

ACERO.- ASTM - A36



ISOMETRICA



ELEVACION

ESC.- 1 : 50

Consortio Astaldi - ICE			
PROYECTO MULTIPLE MEXICANI - TUNEL PRINCIPAL			
TUNEL TRASVASE Y BOCATOMA DE EMBALSE			
DETALLE PLANCHA ADEME		ARTICULO	FECHA
GERENCIA TECNICA		NUMERO	
ESCALA	PROYECTO	DIBUJO	MB - 0083

la resistencia a la tracción, corte y repartir las cargas concentradas.

Su instalación se realiza una vez lanzado el hormigón de 5 cm de espesor, para luego ser completado a 10 cm de espesor quedando la malla entre ambas capas del hormigón lanzado.

### **5.7.- VENTILACIÓN.-**

Por ser una labor horizontal y extensa donde es imposible alcanzar a crear, un circuito por medio de la ventilación natural por ser un solo ducto, se incrementa la ventilación por un proceso mecánico, para ello se cuenta con cuatro ventiladores centrífugos en superficie instalados en serie con una sección de salida de 0.9 m. de diámetro los que llevan aire limpio por medio de mangas de la misma dimensión, cada manga tiene un largo de 100 m. y están unidas entre sí por cierres de cremallera para una rápida y hermética instalación, las mangas se unen de acuerdo al requerimiento del avance de la máquina, en plataforma este conducto único es repartido para conectarse a dos ventiladores y sus respectivos conductos, que llegan uno hasta la plataforma de trabajo y el otro hasta el sector de la cabina y transformadores.

Para tener un ambiente limpio y ventilado es necesario contar con una velocidad de aire de 0.3m/s y una máxima de 0.5 m/s.

Con estas velocidades podemos alcanzar un caudal mínima requerida de  $Q = A \times V$

$$Q = 3.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

y la máxima de

$$Q = 4.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

De acuerdo a los cálculos para ventilar en la cabeza y plataforma para 15 personas trabajando se requiere un caudal de  $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$  de aire.

Caudal requerido para eliminar polvo es de  $1.156 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El caudal requerido para eliminar gases es de  $0.9 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El caudal que se pierde por cada 100 m. es de 2%.

Teniendo un caudal requerido total de aire de  **$2.74 \text{ m}^3/\text{s}$** .

### **VENTILACIÓN IMPELENTE TBM**



#### **5.8.- RENDIMIENTOS DE LA TBM.-**

Los datos obtenidos del 20 de agosto al 10 de septiembre de 1999 de la TBM son:

<b>AVANCE DIARIO DE LA TBM</b>	
<b>DIA</b>	<b>AVANCE (m.)</b>
20-8-99	18.4
21-8-99	6.2
22-8-99	14.6
23-8-99	10.4
24-8-99	20.0
25-8-99	5.0
26-8-99	34.3
27-8-99	23.2
28-8-99	25.3
29-8-99	15.7
30-8-99	23.0
31-8-99	16.2
01-9-99	7.0
02-9-99	0.0
03-9-99	0.0
04-9-99	0.0
05-9-99	1.2
06-9-99	8.7
07-9-99	3.6
08-9-99	24.2
09-9-99	0.0
10-09-99	10.1
<b>TOTAL</b>	<b>267.5</b>



### DESGLOSE DEL AVANCE POR EL TIPO DE ROCA.-

TIPO ROCA	AVANCE
I	47.70
II	22.00
I	58.00
II	83.00
III	7.00
II	49.80
<b>TOTAL</b>	<b>267.5</b>

### RESUMEN DE AVANCE POR TIPO DE ROCA.-

Roca I	105.7 m.	39.5 %
Roca II	154.8 m.	57.9 %
Roca III	7.0 m.	2.6 %
<b>Total</b>	<b>267.5 m.</b>	<b>100 %</b>

El promedio de avance por día es de 12.16 m/día

La distribución de tiempos en porcentaje:

DESCRIPCION	I	II	III
Excavación	29.0	19.7	9.0
Desescombro	1.2	4.7	
Instalación	12.6	3.9	
Discos	13.8	5.7	
Demoras	24.0	15.7	71.5
Reparación	6.7	7.1	

Sostenimiento	6.4	39.1	18.0
Ajuste grippers	6.3	4.1	1.5
<b>T O T A L</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

## **RESUMEN DEMORAS POR TIPO DE TERRENO.-**

### **TERRENO TIPO I.-**

Problemas eléctricos en tableros de control.

Cambio de discos.

Descarrilamientos.

Limpieza correa transportadora.

Limpieza de cucharas.

Corte de energía eléctrica.

Instalación cable de alta.

### **TERRENO TIPO II.-**

Arreglo de la correa transportadora.

Problemas en el embriague.

Limpieza en las cucharas.

Descarrilamiento.

Condiciones geológicas de terreno.

### **TERRENO TIPO III.-**

Caída de roca suelta sobre la máquina.

Limpieza de cucharas de la cabeza.

Limpieza de escombros de piso.

Corte de energía eléctrica.

### **5.9.- Limitaciones de utilización.-**

La utilización de esta maquinaria es limitada por los siguientes detalles:

- La sección debe ser circular, y la longitud del túnel tal que permita asumir una inversión elevada y unos gastos igualmente importantes de transporte y montaje en obra.
- El radio de curvatura mínima requerida es de 300 m. y aconsejable de 500 m.
- La pendiente máxima debe ser tal que permita la circulación fluida de trenes y se encuentre en un entorno máximo de 3.5 – 4 %.
- Problemas geológicos y la geotecnia del terreno. Como se indica en la tabla para el uso de la TBM tipos de terreno III, IV y V. Fallas, diaclazas, etc
- La alta abrasividad de algunas rocas así como los contenidos elevados de sílice producen elevados desgastes de los discos o cortadores y cangilones de la cabeza.

### **5.10.- COSTOS.- (Tabla adjunta).-**

#### **5.10.1.- Costos en método Perforación y Voladura.**

Los costos en el método de voladura es el siguiente:

### Resumen de Costos:

Costo total	=	494,123.20	\$us
Costo unit.	=	1,138.79	\$us/m.
Tiempo trabajado	=	75.0	Días
Avance total	=	433.9	m.

### 5.10.2 Costos del método mecanizado TBM.-

Costo total	=	271909.10	\$us
Costo unit.	=	1016.38	\$us/m.
Tiempo trabajado	=	22.0	Días
Avance total	=	267.53	m.

### 5.11.- Comparación de métodos.-

#### Método de voladura.-

Para una longitud de 5.700 m. Esto se realizará en un tiempo aproximado de 3 años con tres mes (de acuerdo al rendimiento actual).

Si un metro lineal de túnel                    1 138.79 \$us

En 5700 m    6'491103.00 \$us

#### Método T.B.M.

Para una longitud de 5.700 m. Esto se realizará en un tiempo aproximado de 1 año con 6 mes (de acuerdo al rendimiento actual).

Si un metro de túnel

1016.38 \$us

En 5700 m

5'793.366 \$us

Cuadro comparativo

	<b>METODO POR VOLADURA</b>	<b>METODO T . B . M .</b>
<b>Ventajas</b>	<p>Excavación</p> <p>1.- Aplicable en todos los tipos de terreno y longitudes de túneles. En el caso de un túnel bastante largo (como es el caso), se crean mas ventanas para poder atacar por mas frentes. Si se crean mas accesos entonces la distancias entre frente y frente se hacen mas cortas; se tendrían mejores rendimientos si se trabajara con Hagloader en el carguío de desmonte.</p> <p>2.- Aplicable en labores con pendientes positivas y negativas.</p>	<p>1.-Menor tiempo en el avance por realizar varias labores simultáneamente.</p> <p>a.- Avance en la excavación con reagripado constante.</p> <p>b.- Desescombros continuo por correas transportadoras y carros.</p> <p>c.- Sostenimiento aplicado detrás de la cabeza y en plataforma de trabajo.</p> <p>2.- Costos.-</p> <p>a.- Menores según planilla de costos unitarios.</p> <p>3.- Sección del túnel</p> <p>a.- Geometría de sección uniforme aproximándose al planificado en terrenos tipo I y II.</p> <p>4.-Sostenimiento.-</p> <p>a.- Aplicación de hormigón uniforme y que se aproxima al planificado.</p> <p>5.- Medio ambiente de trabajo.-</p> <p>a.- Excavación sin gases tóxicos.</p>
<b>Desventajas</b>	<p>Excavación</p> <p>Mayor tiempo por trabajos:</p> <p>a.- Perforación</p> <p>b.- Voladura</p> <p>c.- Ventilación, limpieza y transporte.</p> <p>d.- Sostenimiento</p> <p>Tienen tiempo de espera (Tiempo muerto)</p> <p>2.- Costos</p> <p>a.- Mayores por lo establecido en la suma de costos unitarios</p> <p>3.- Sección del túnel.-</p>	<p>a.- Excavación con polvo en terreno seco.</p> <p>b.- Instalación de energía eléctrica de alta tensión.</p> <p>c.- No apta para gradiente negativa.</p> <p>d.- Posible inundación de la cabeza, deteriorando los rodamientos y engranaje principal de la cabeza.</p>

	<p>a.- Secciones irregulares con algunas sobrexcauciones ocasionadas por la voladura.</p> <p>4.- Sostenimiento.-</p> <p>a.- Aplicación desigual del hormigón lanzado por lo mencionado antes, en terreno tipo II y IV.</p> <p>5.- Gran cantidad de gases tóxicos procedentes de la voladura(dinamita), equipos diesel y polvo.</p> <p>Tiempo de excavación, ventilación y limpieza largos.</p> <p>b.- Costos elevados por metro de avance.</p> <p>c.- Genera desprendimientos de rocas fracturadas por las vibraciones generadas por la voladura.</p> <p>d.- Mayor riesgo para el personal por el uso de explosivos.</p>	
--	--	--

## **5.12.- Conclusiones y recomendaciones.-**

### **5.12.1.- Conclusiones:**

1. El método mecanizado con TBM es conveniente por el reducido tiempo de ejecución de túneles o galerías y en este caso especial por la longitud del túnel(19.2 Km.).
2. Los costos del método mecanizado con T.B.M. son menores en comparación a los del método por voladura (especialmente en rocas I y II).
3. Los trabajos de sostenimiento, transporte de escombros, instalación de servicios (tubería de desagüe, ventilación, etc), se realizan en forma simultanea, en conclusión la operación es bastante flexible.
4. Las secciones del túnel trabajadas con TBM son ideales por su geometría para los fines del proyecto (menor costo en el revestimiento posterior).

5. Dificultad de instalación de cerchas y aplicación de hormigón lanzado en el terreno tipo III, por la incomodidad del espacio reducido (En este tipo de terreno es recomendable elegir una TBM para roca buena y mala) .
6. El conocimiento de un nuevo equipo crea beneficios de conocimiento en varias áreas para los profesionales y trabajadores.

#### **5.12.2.- Recomendaciones.-**

1. La utilización de máquinas TBM son recomendables para la excavación de túneles y galerías de grandes secciones uniformes y grandes longitudes especialmente (de lo contrario no se justifica la inversión).
2. Realizar estudios geológicos a detalle y con máximo de seguridad en la calidad del macizo rocoso en sus características geomecánicas y detalles geológicos estructurales con el fin de elegir una máquina de acuerdo a lo establecido en los estudios mencionados.
3. Cuando se excava con una TBM hay que dimensionar muy bien los sistemas de bombeo, tuberías de desagüe, aire comprimido, abastecimiento de agua, sistemas eléctricos y sistemas de ventilación para no tener problemas graves en el futuro.