

# Máster Universitario en Túneles y Obras Subterráneas



**ÁREA: C8**  
**MÓDULO: CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES**

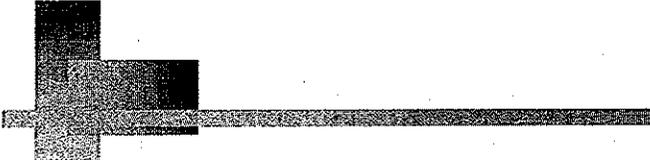
## SISTEMAS DE ARRANQUE

**PONENTES: Enrique Fernández**

I.C.C.P.  
DRAGADOS

**Día:** 04/06/07

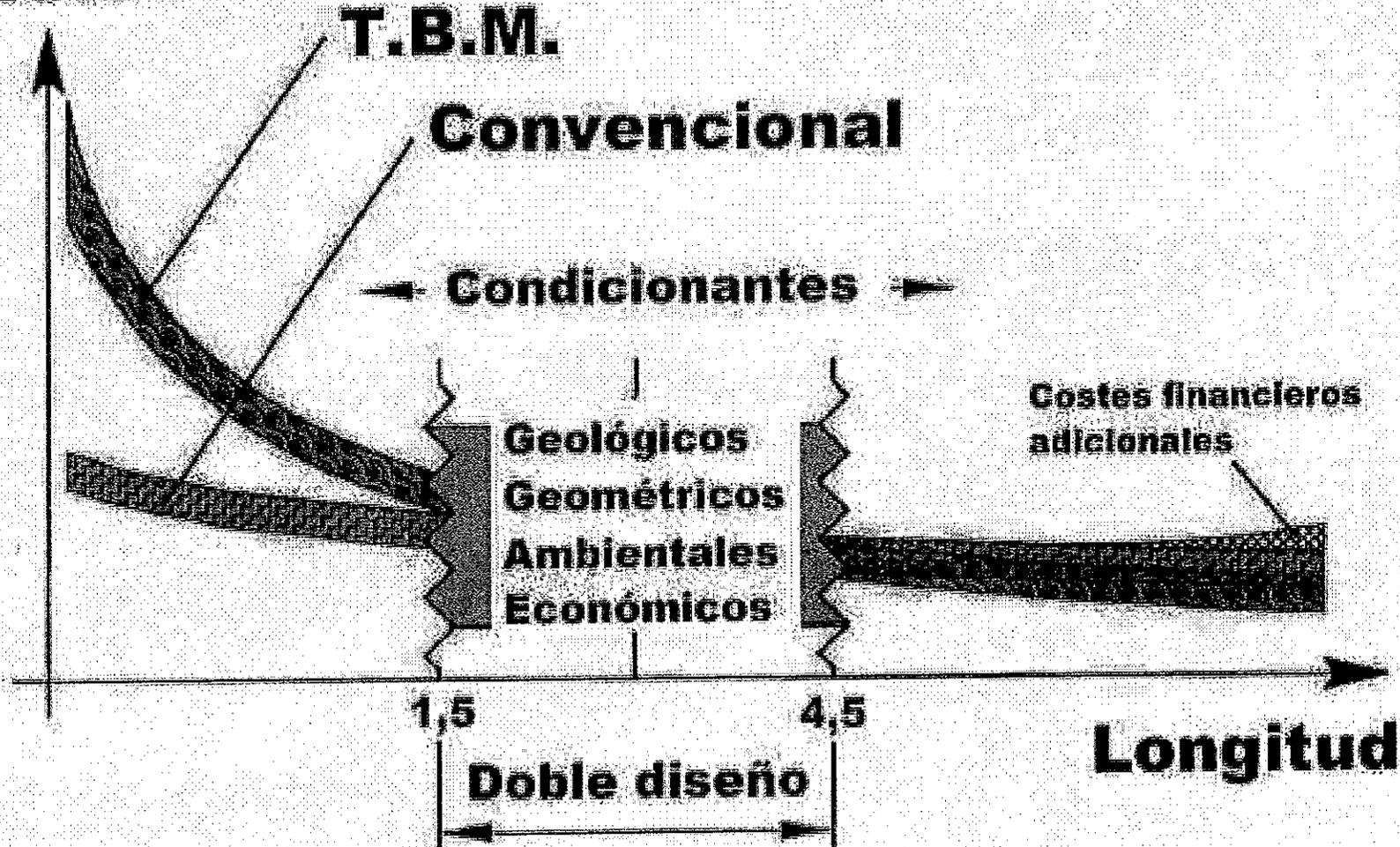
**Hora:** 18:15 a 20:15



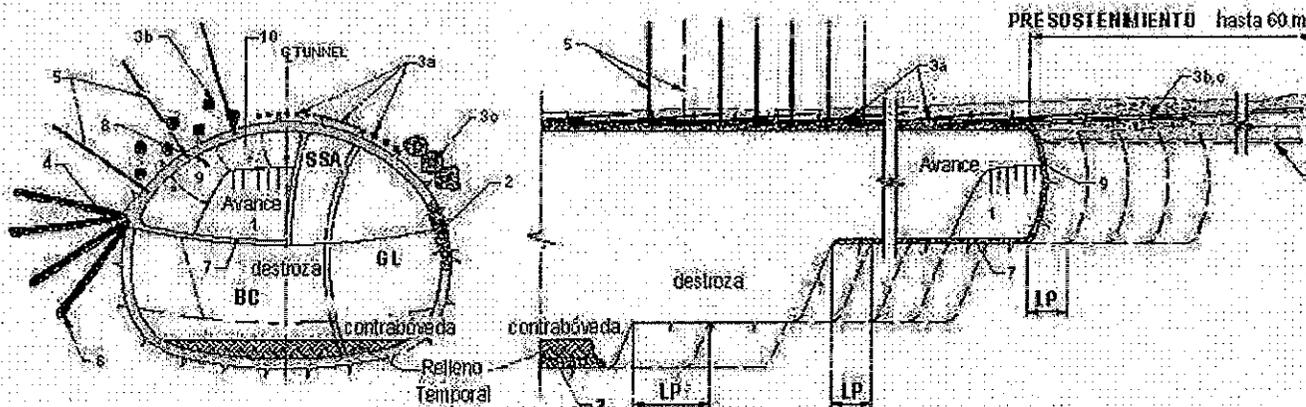
**SISTEMAS DE ARRANQUE  
EN  
TÚNELES CONVENCIONALES  
“EL CASO LTK”**

# SELECCIÓN DEL MÉTODO

**Coste**



# CAJA DE HERRAMIENTAS



## GEOMETRÍA & AVANCE

Métodos de fases múltiples (reducción del área excavada):

- Avance, destraza y contraboveda
- Semisección de avance (SSA), destraza y contraboveda
- Método de las galerías laterales

Sostenimiento de hormigón proyectado en solera de las diversas fases

Reducción de la distancia al frente de la sección completa

Reducción de la longitud de pase (LP):

Subdivisión de la sección de avance

- Avance de las galerías laterales (GL)
- Avance del banco central (BC)
- Avance en múltiples fases

Excavación y sostenimiento sin interrupción 24 horas al día

## OTROS MÉTODOS ESPECIALES

Excavación bajo aire comprimido, congelación del terreno, pódico de sostenimiento, microtúneles, etc.

## PRE SOSTENIMIENTO

Rebaje del nivel freático en el frente de excavación (con lanzas de vacío si fuese necesario) (8)

Paraguas de protección mediante barras de acero corrugado, acero corrugado inyectado (SSA), tubería hincada, chanas de anclaje, etc. (3a)

Paraguas de micropilotes inyectados con longitudes de hasta 60 m (3b)

Jet grouting horizontal, longitud máxima de 20 m (3c)

Inyecciones del terreno al frente de la excavación

## SOSTENIMIENTO DEL FRENTE

Estabilización mediante machón central (1)

Estabilización del frente con 6 cm de hormigón proyectado (9)

Excavaciones parciales de reducidas dimensiones (10)

## MEJORAS EN LOS HASTIALES

Ejecución de la pata de elefante en la base de la fase de avance si es posible (4)

Mejora la capacidad portante en los hastiales mediante inyecciones, bulonado o micropilotes (6)

## SOSTENIMIENTO

Incremento de espesor de hormigón proyectado (2)

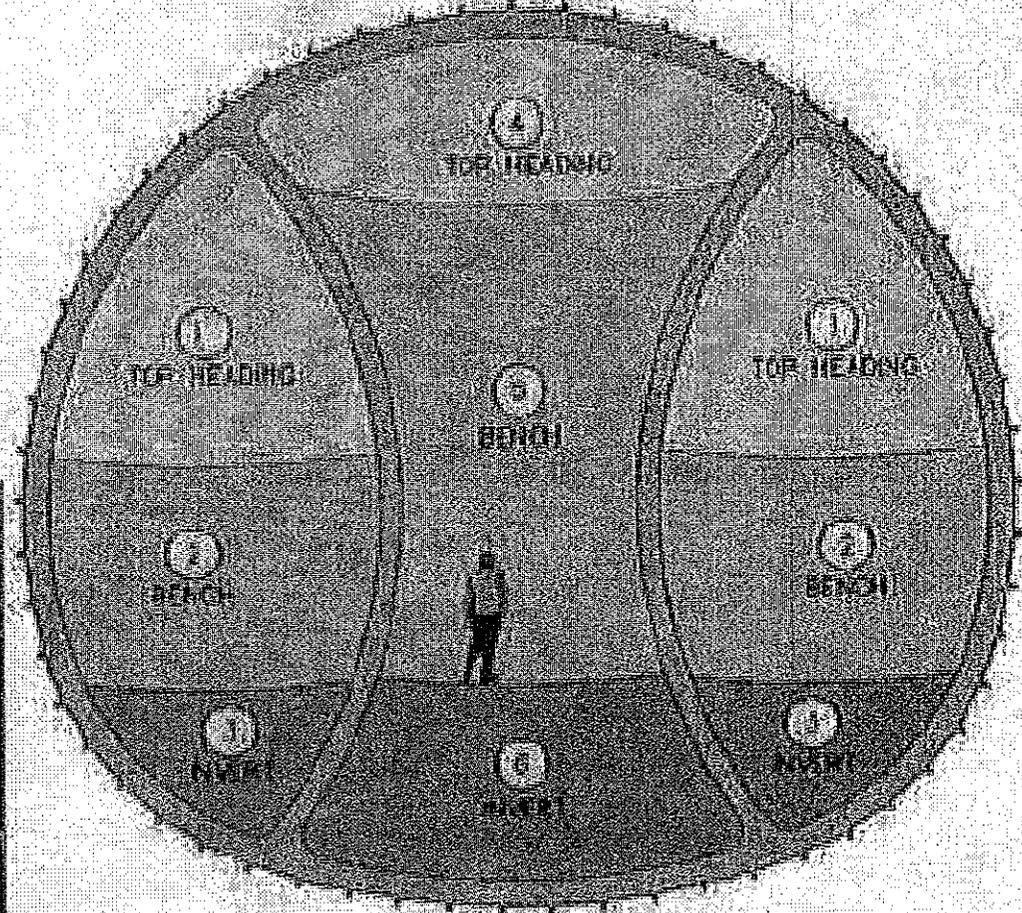
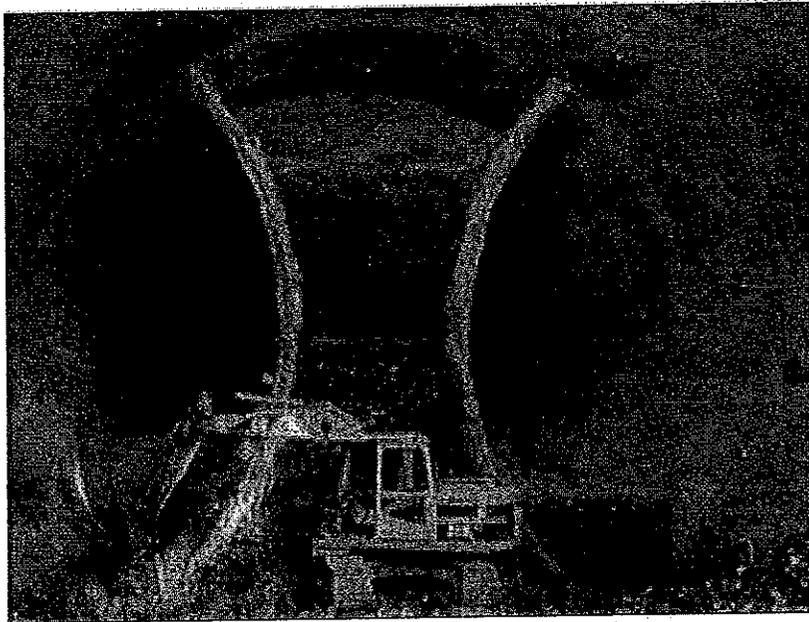
Aumento del número de bulones y/o su longitud (5)

Aplicación de hormigón proyectado provisional en la solera de la fase de avance (7)

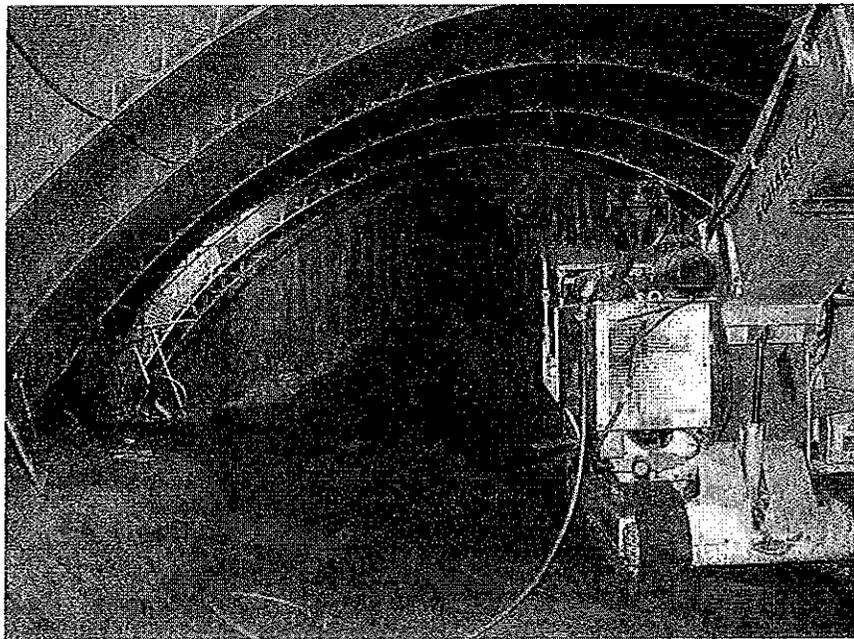
Inyección del terreno en toda la periferia

Fig.4 La caja de herramientas

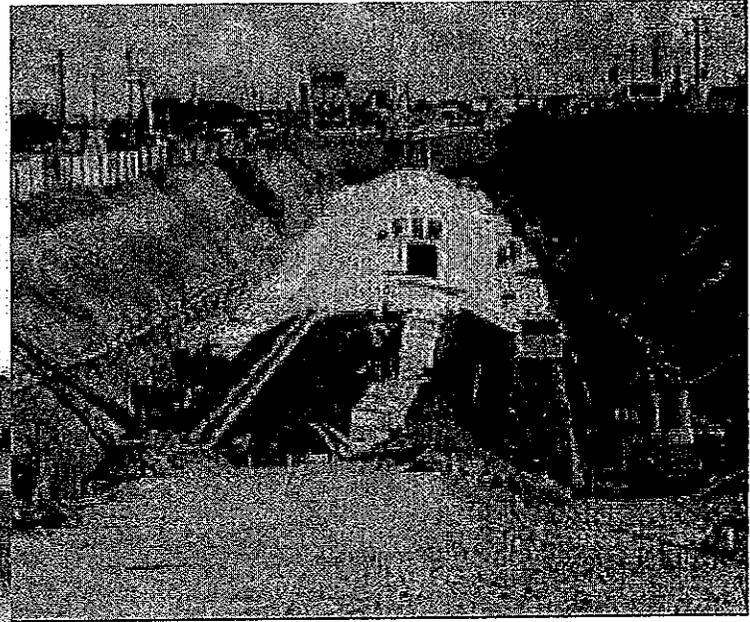
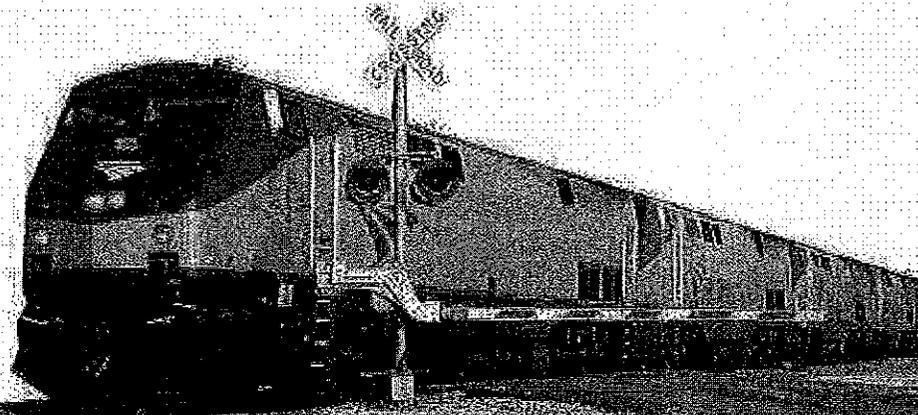
# EXCAVACIÓN POR FASES



# MACHÓN CENTRAL

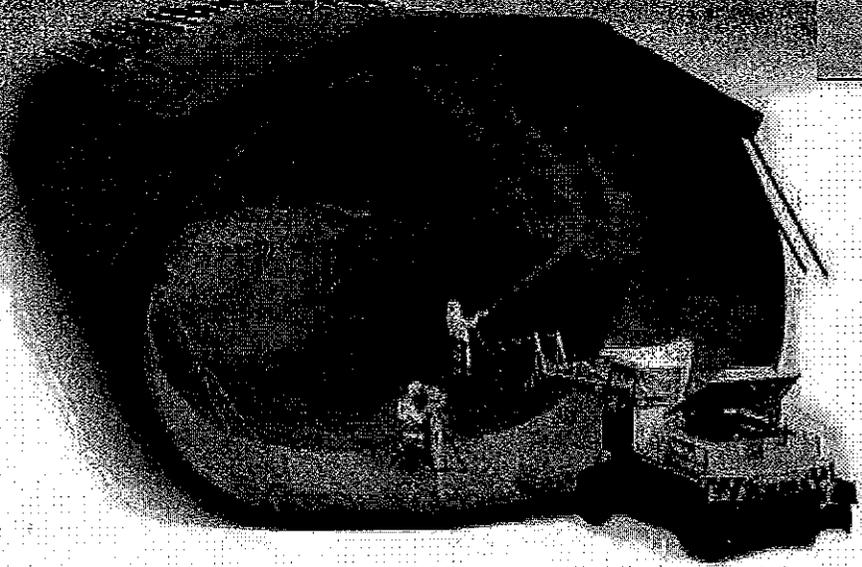


# PÓRTICO PREBÓVEDA

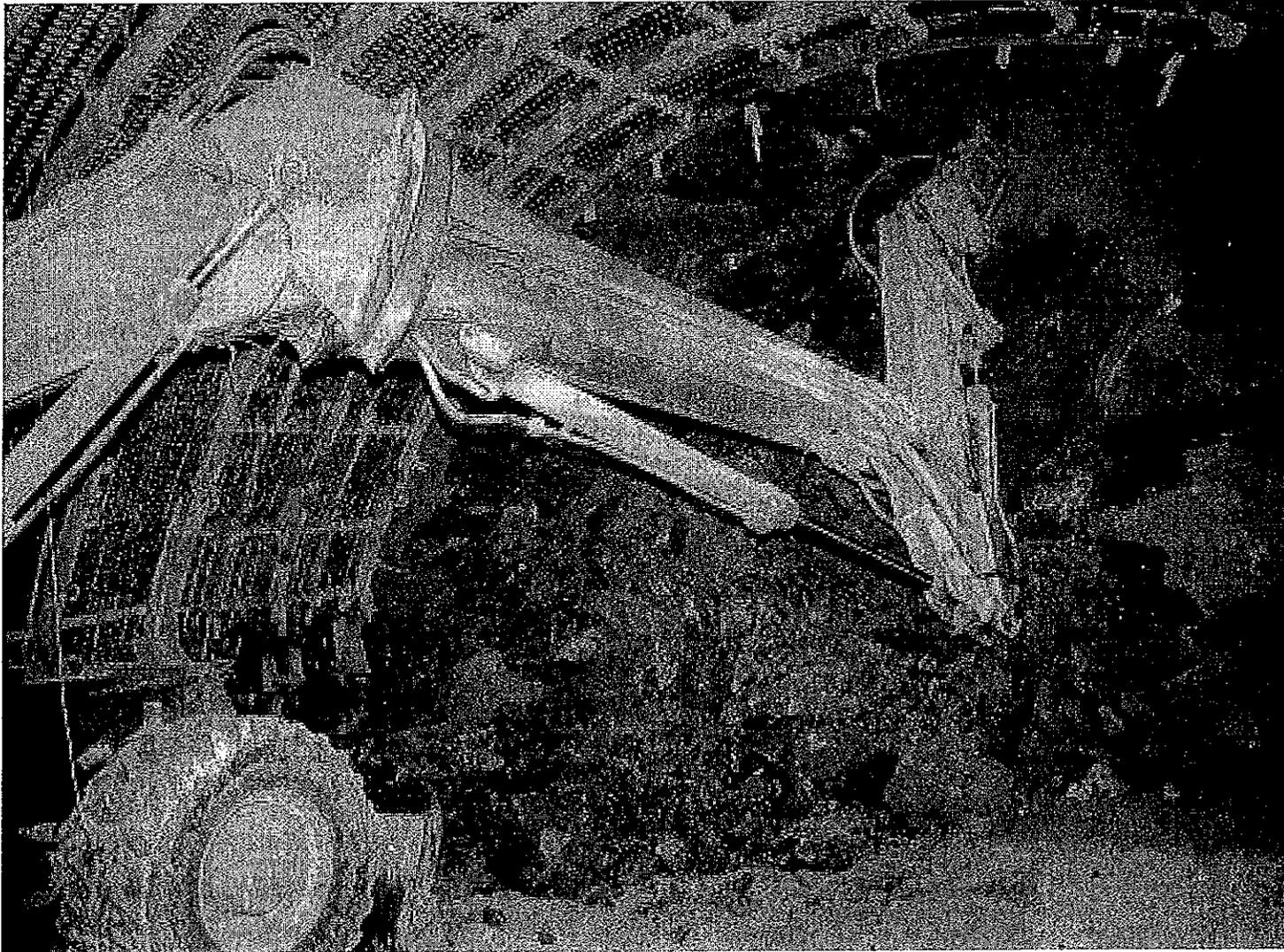


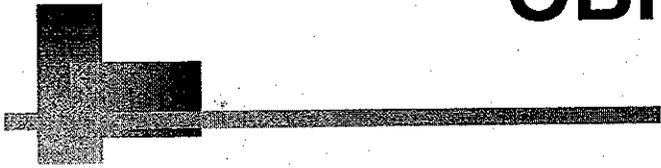
Micropilotes

Pórtico prebóveda



**Martillo hidráulico s/retro.  
Montaje especial en el Túnel  
de L'Ollería (Valencia)**

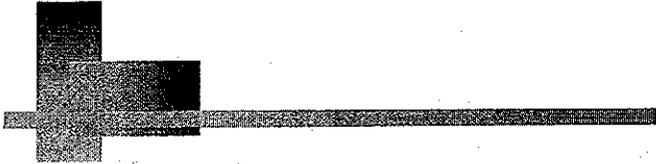




# OBRAS REALIZADAS POR DRAGADOS

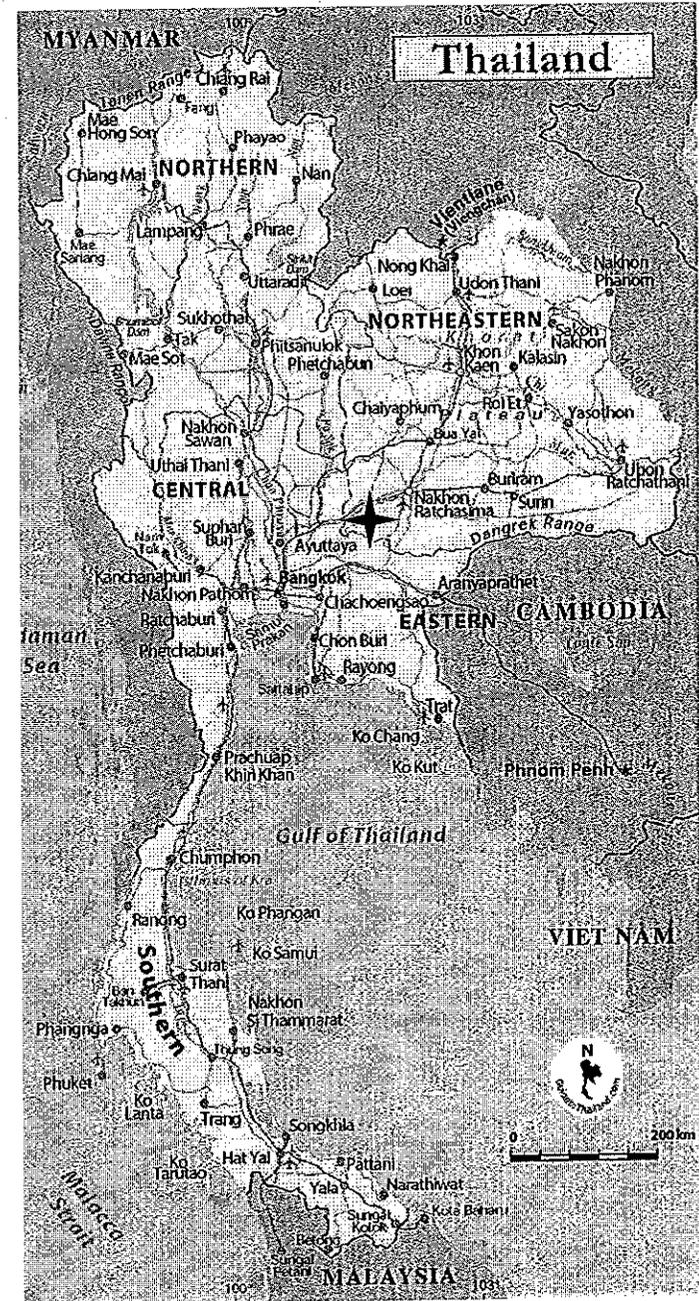
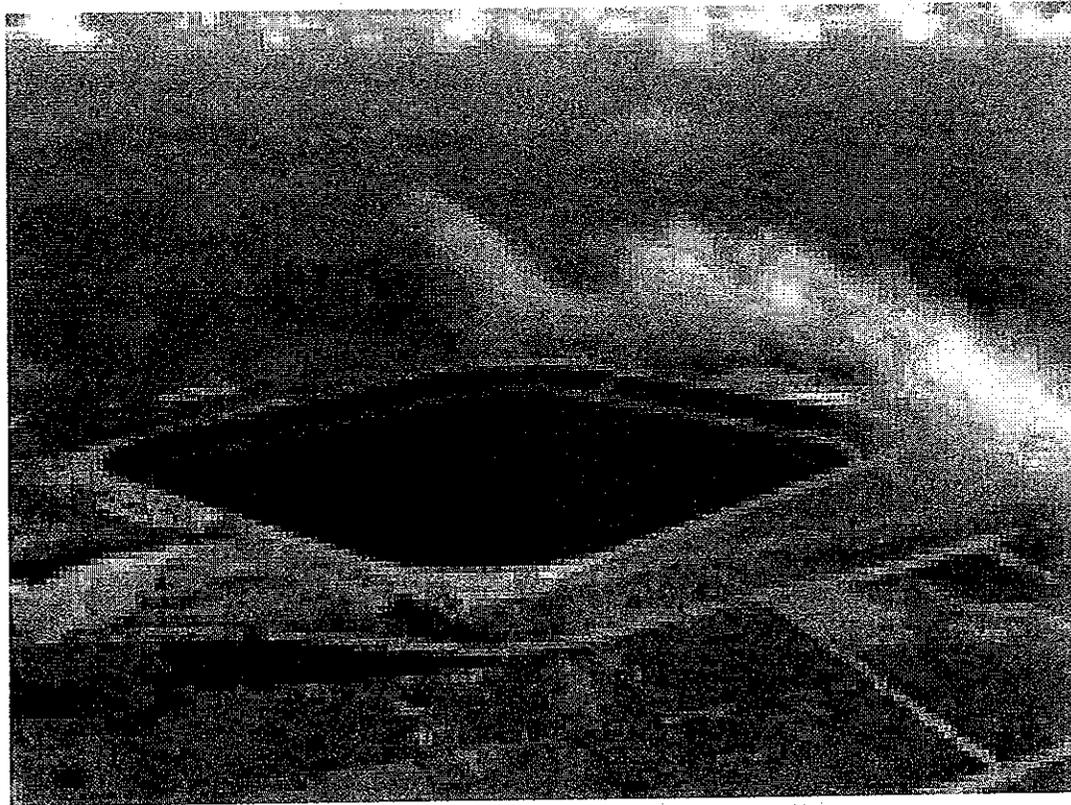
- Túneles hidráulicos.....806 km
- Túneles de Metro.....170 km
- Túneles carreteros.....155 km
- Túneles ferroviarios.....128 km
- Otros túneles.....31 km

**TOTAL 1.290 km**



# EL CASO “LTK”

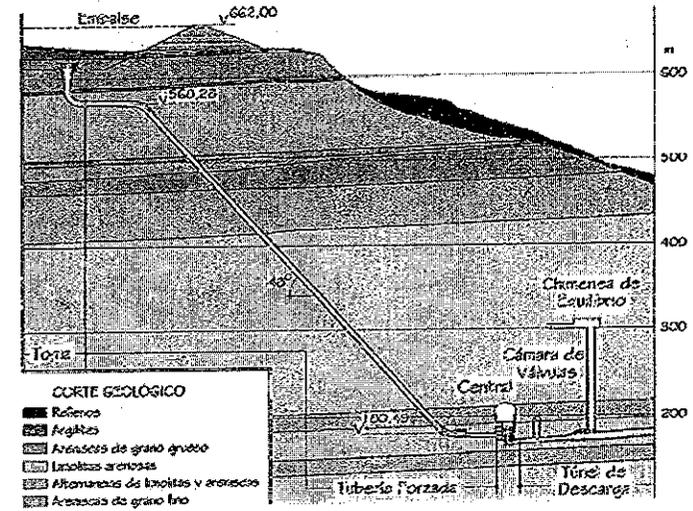
# Lam Ta Khong



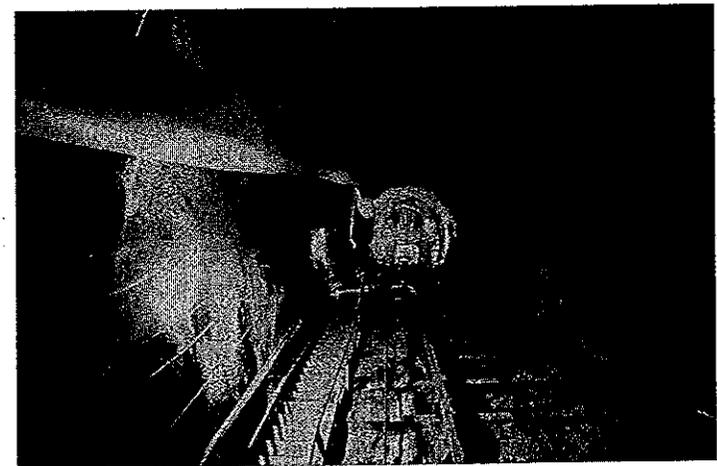


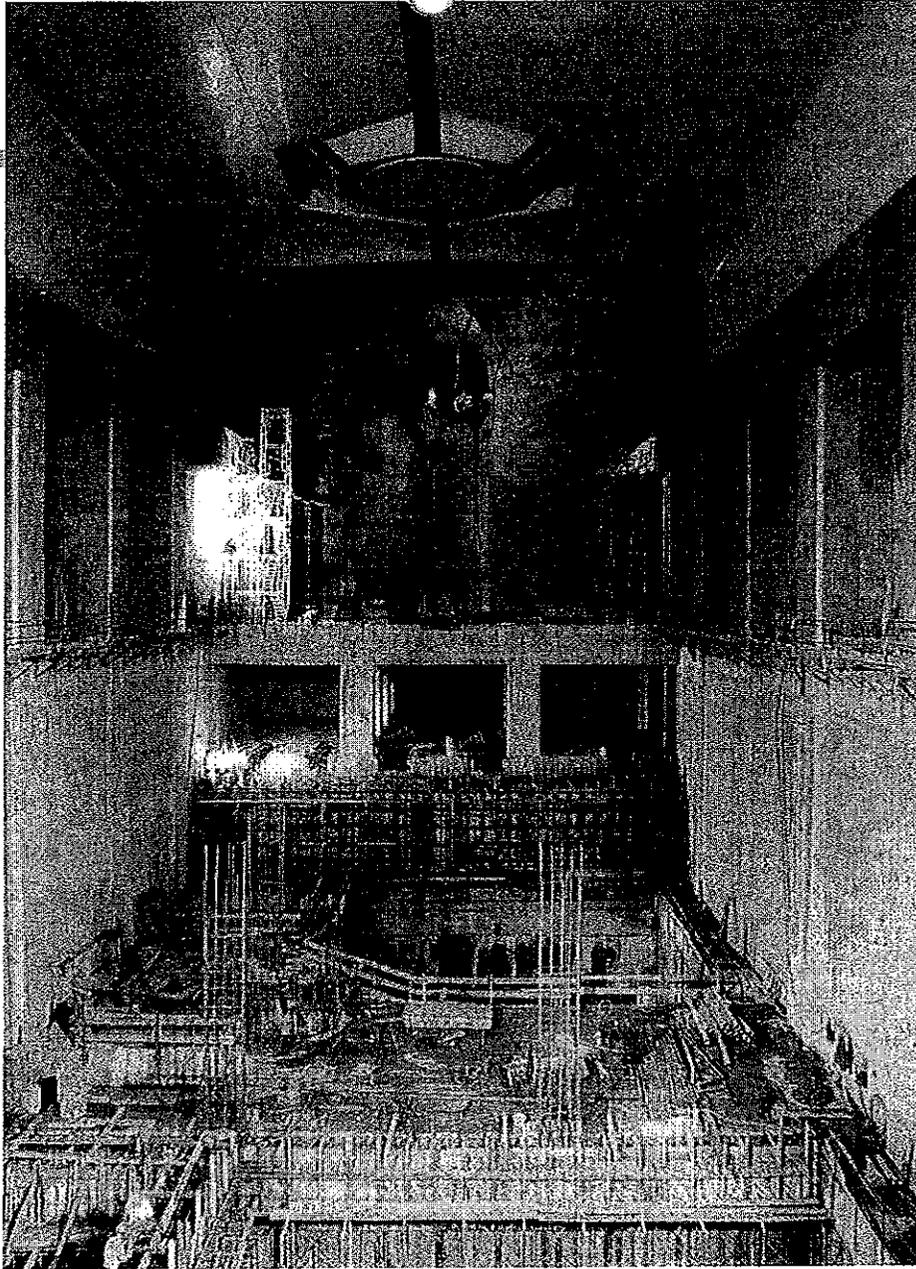
# Lam Ta Khong

- **Central hidroeléctrica reversible de 4 x 250 MW**
- **Valor de las obras 130 MM\$**
- **Plazo de ejecución 4 años**
- **Contrato según normas FIDIC**
- **Financiación del banco mundial**
- **Dirección de obra EPDC (Japón)**



## Lam Ta Khong





# Central de Lam Ta Khong

Cliente  
Electricity  
Generating  
Authority of  
Thailand  
(EGAT)

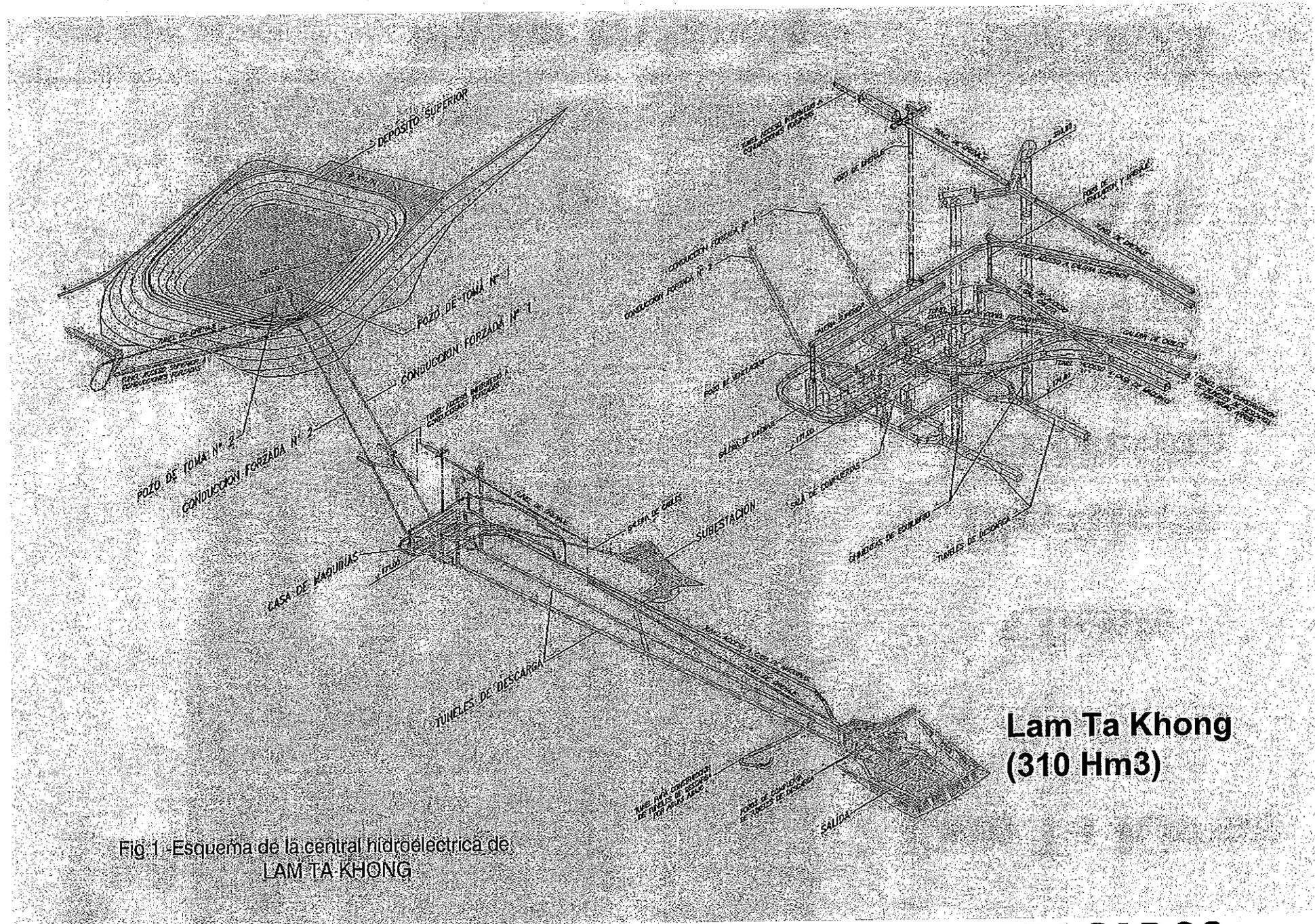
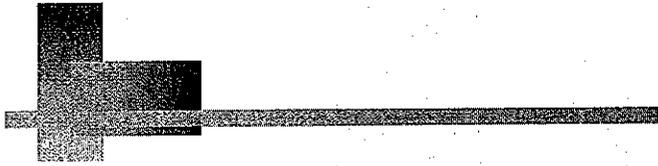


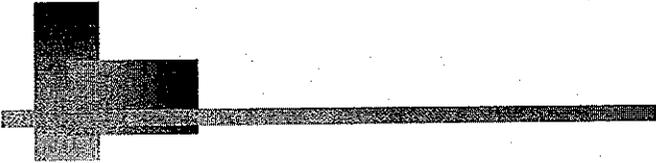
Fig.1 - Esquema de la central hidroeléctrica de LAM TA KHONG

Lam Ta Khong  
(310 Hm3)



# MEDICIÓN

- **530.000 m<sup>3</sup> de excavación**
- **19,345 m<sup>3</sup> de hormigón proyectado**
- **157.000 m<sup>3</sup> de hormigón estructural**
- **107.600 m de bulonado**
- **66.000 m de anclajes**



# GEOLOGIA

- Areniscas gruesas que forman la parte alta (cotas 580 a 660) con intercalaciones de lutitas y un nivel base, asimismo de lutitas.
- Alternancia de areniscas de grano fino y limolitas entre las cotas 400 y 580, con dos niveles de areniscas gruesas entre las cotas 460 y 500 aproximadamente.
- Limolitas con intercalaciones de areniscas finas y alternancias de areniscas finas y limolitas.

# Sostenimiento para tuneles y pozos

con diametro  $\geq 6$  m

Clase de roca	SS1	SS2	SS3	ST1	ST2	ST3	Coluvial
<b>Hormigón Proyectado</b>							
Tipo	I	I	II	I	II	IV	IV
<b>Bulones</b>							
Tipo	-	I	I	I	I	II	II
Piezas/Sección	-	6	6	6	6	8	8
Separación (m)	-	1.8	1.5	1.8	1.5	1.2	1.0
<b>Cerchas</b>							
Tipo	-	-	-	-	-	H125	H150
Separación (m)	-	-	-	-	-	1.2	1.0

# Sostenimiento para tuneles y pozos con diametro < 6 m

Clase de roca	SS1	SS2	SS3	ST1	ST2	ST3	Coluvial
<b>Hormigón Projectado</b>							
Tipo	I	I	II	I	II	III	IV
<b>Bulones</b>							
Tipo	-	I	I	I	I	I	II
Piezas/Sección	-	4	4	4	4	4	6
Separación (m)	-	1.8	1.5	1.8	1.5	1.2	1.2
<b>Cerchas</b>							
Tipo	-	-	-	-	-	H100	H100
Separación (m)	-	-	-	-	-	1.0	1.0

# HORMIGÓN PROYECTADO

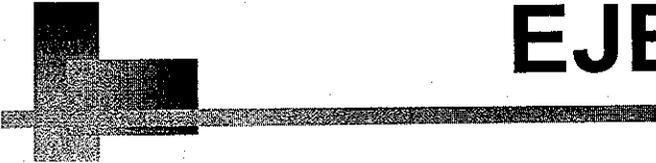
Aplicación	Exterior	Túnel y Pozo					Caverna de Central		
Tipo	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VII
Espesor (cm)	7	7	10	10	15	20	8	16	24
Refuerzo	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Malla	Malla	Malla	Fibra de acero	Fibra de acero	Fibra de acero

# BULONADO

<b>TIPO</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
<b>LONGITUD (m.)</b>	<b>2.0</b>	<b>3.0</b>	<b>4.0</b>	<b>5.0</b>
<b>DIAMETRO (mm.)</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>



# POZOS

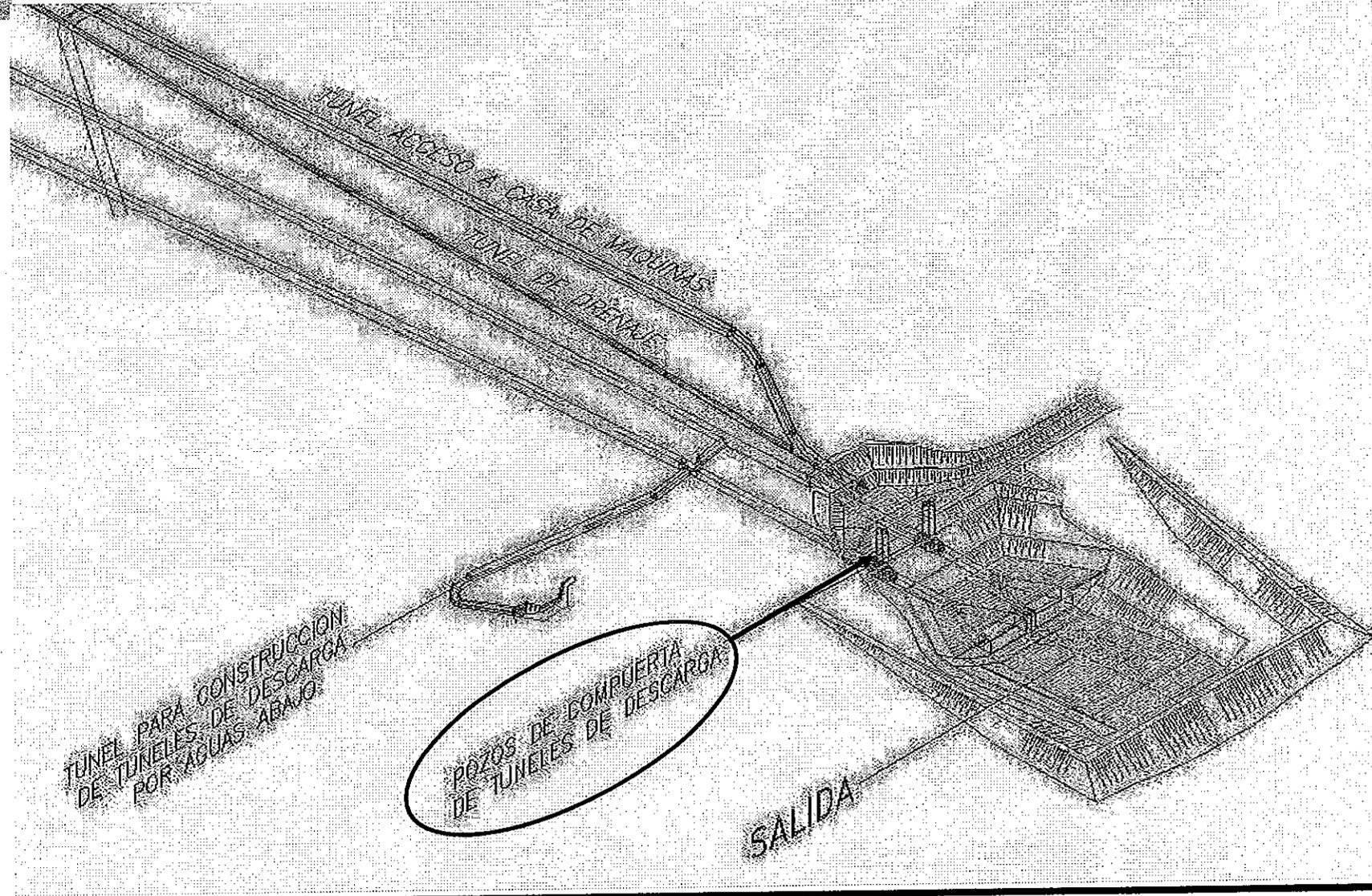


# EJECUCIÓN DE POZOS

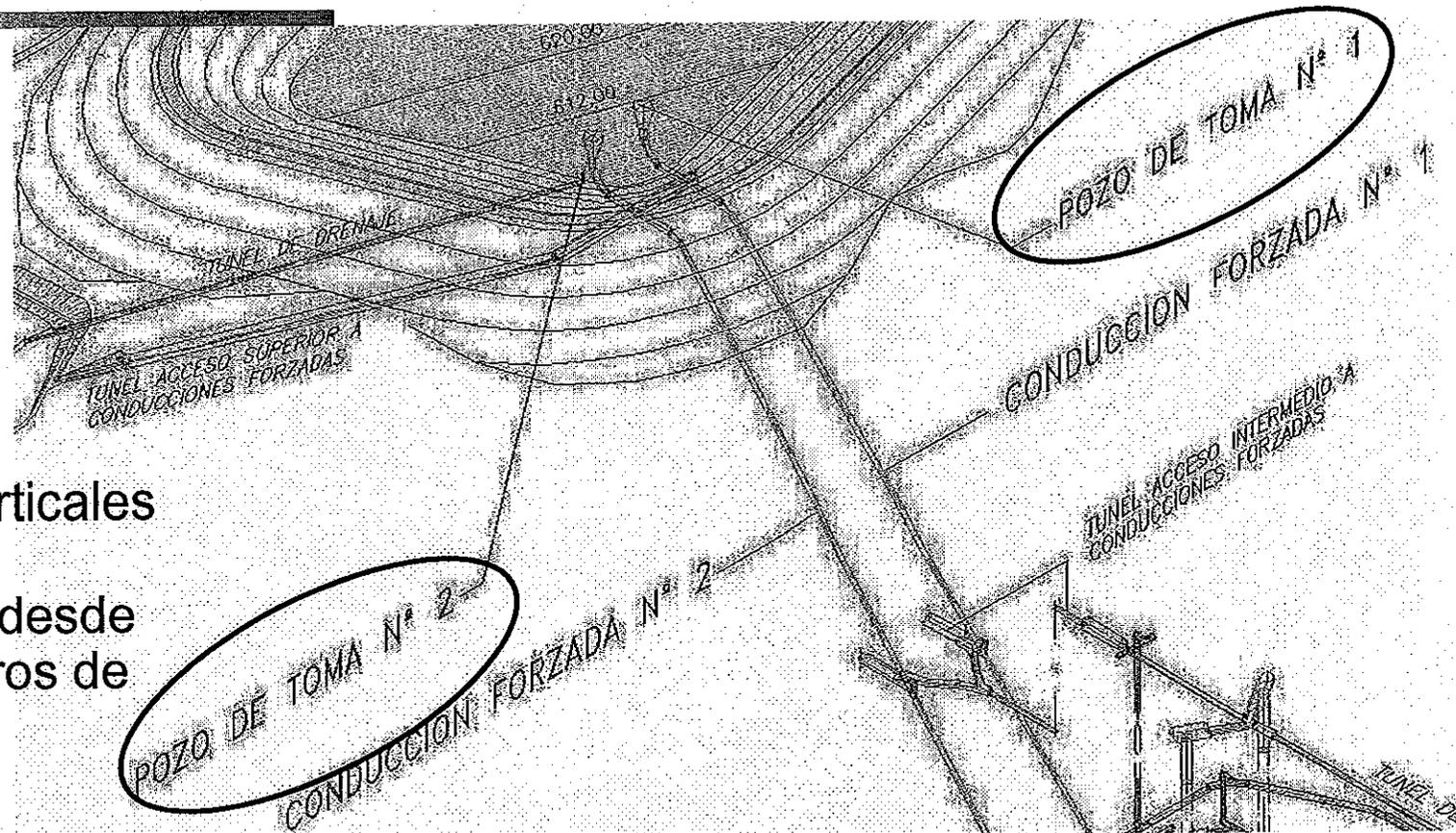
- **Hasta 25 m: Cargas colgadas**
  - 4 Pozos de compuertas en central
  - 2 Pozos de compuertas en desagüe
  - 2 Pozos de ventilación y drenaje
  
- **Más de 25 m: R.B.M.**
  - 2 Pozos de toma
  - 2 Chimeneas de equilibrio
  - 1 Pozo de drenaje



# POZOS DE COMPUERTAS



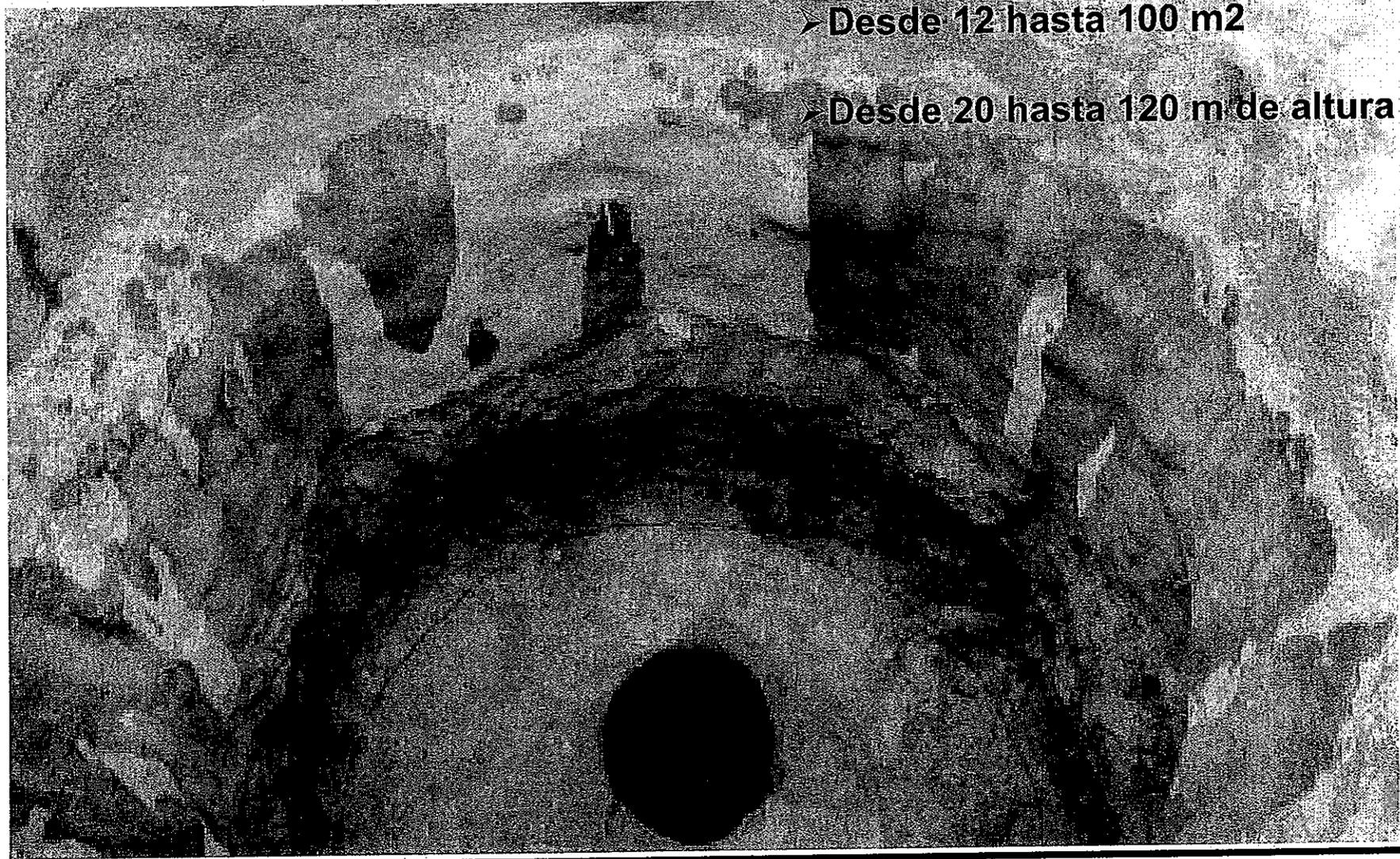
# Pozos de toma



2 pozos verticales de forma abocinada desde 15 a 8 metros de diámetro.

Mediante acuerdo circular conectan con la zona horizontal superior de forzadas.

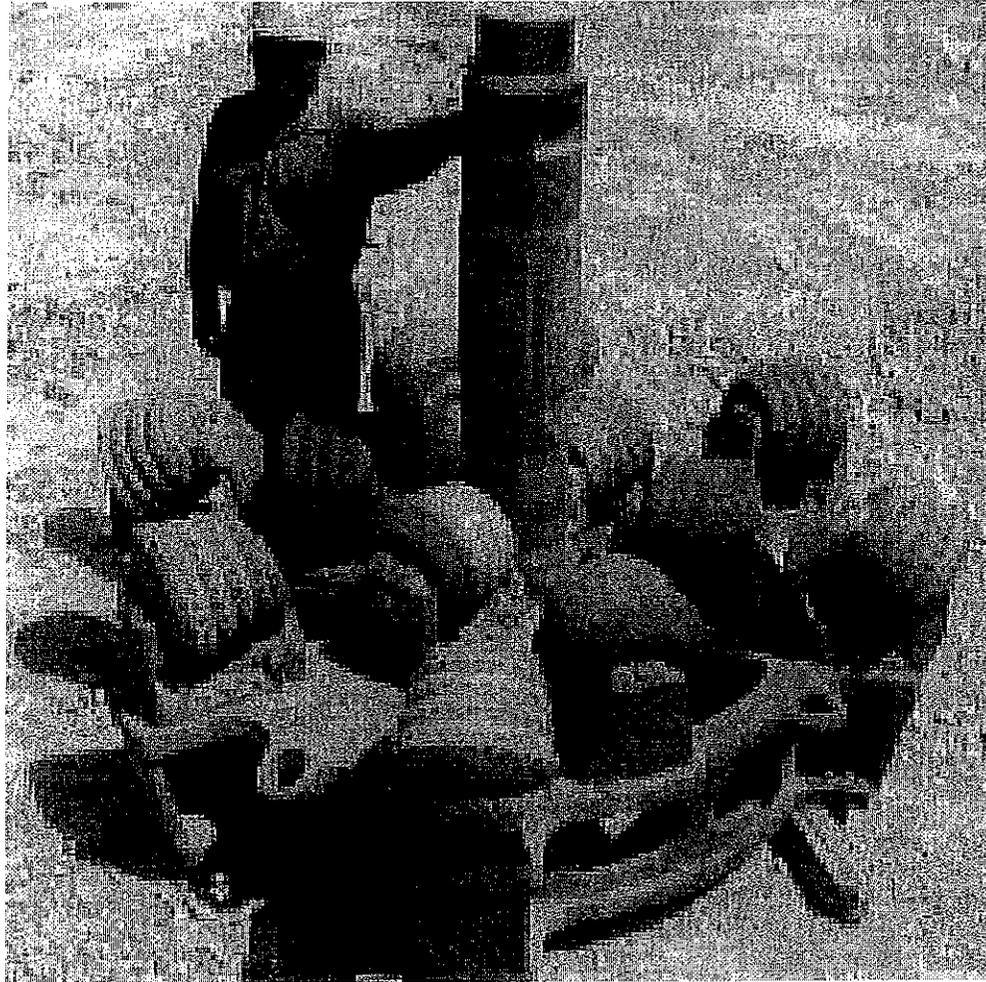
# EJECUCIÓN DE POZOS



➤ Desde 12 hasta 100 m<sup>2</sup>

➤ Desde 20 hasta 120 m de altura

# RAISE BORING MACHINE



**RENDIMIENTO OBTENIDO EN  
PERFORACIÓN CON TRICONO  
DE 280 MM:**

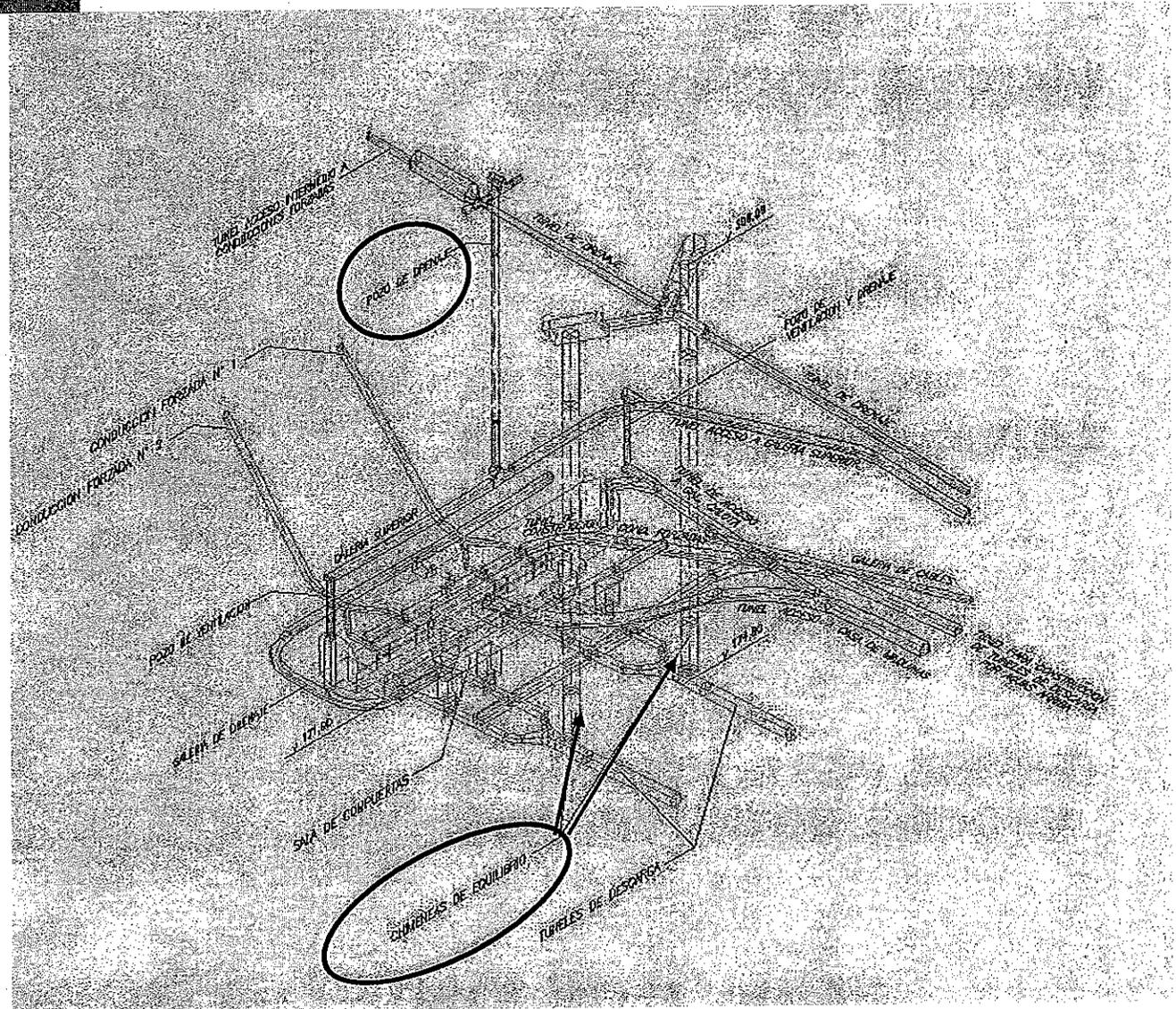
**0,95 m/hora**

**EN ESCARIADO CON REAMER  
DE 2,1 M DE DIAMETRO:**

**1,1 m/hora**

**DESVIACIÓN MÁXIMA  
0,4%**

# POZOS VERTICALES con R.B.M.



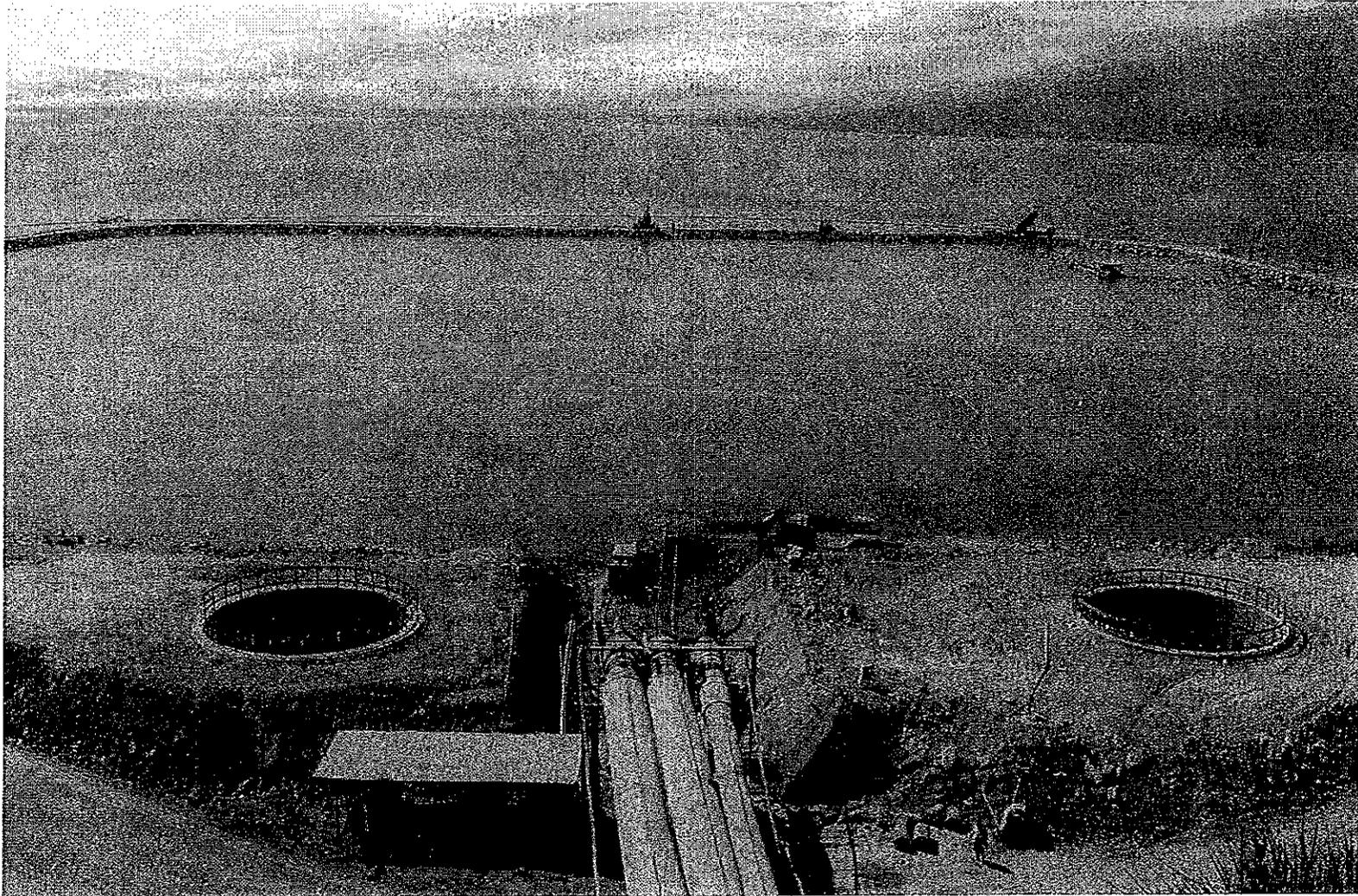
# POZOS VERTICALES

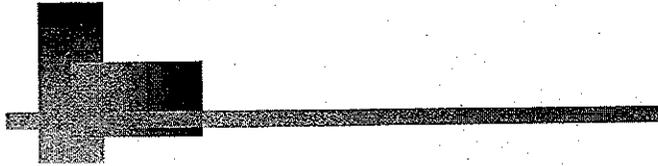


# POZOS VERTICALES



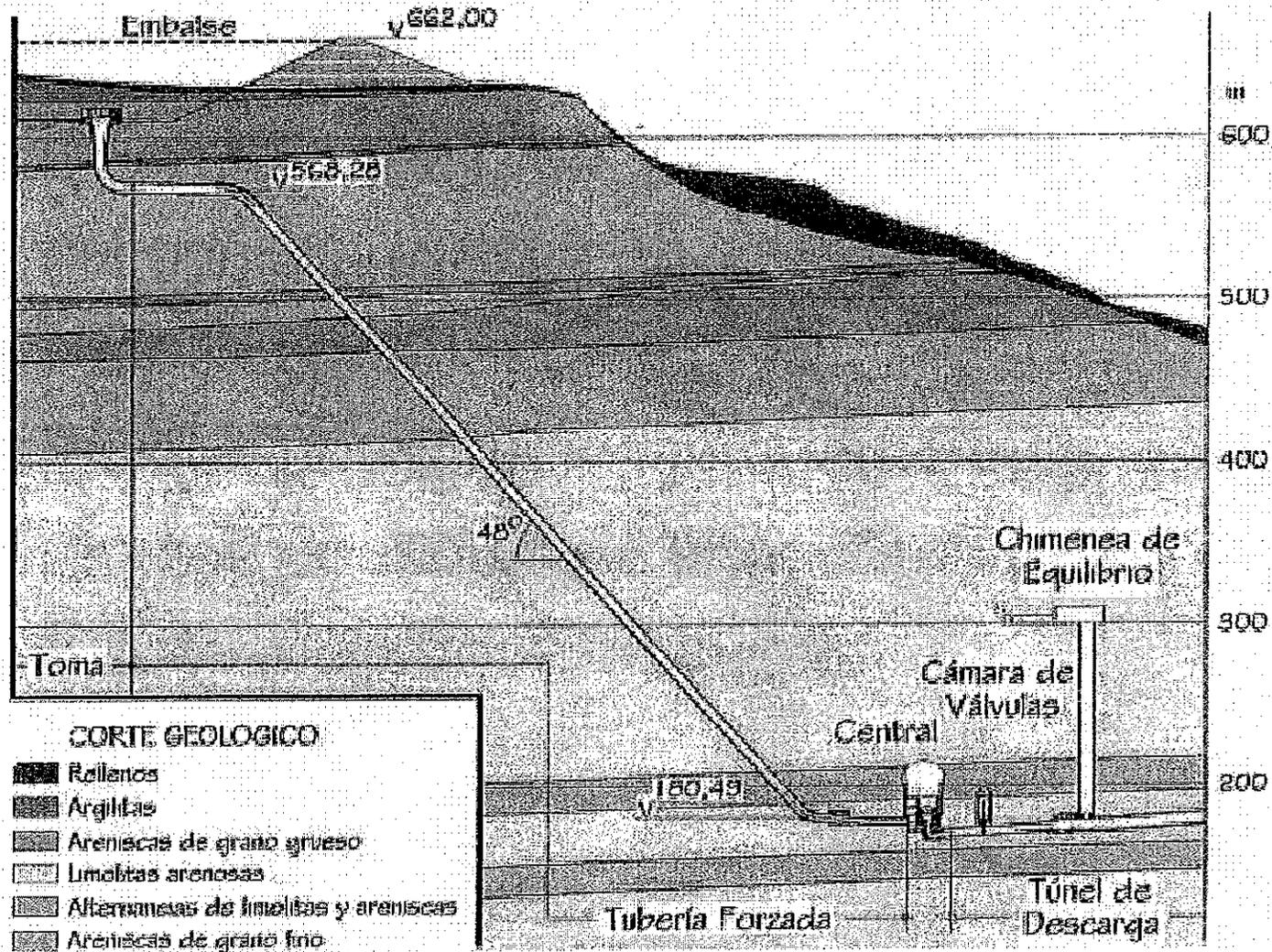
# POZOS DE COMPUERTAS

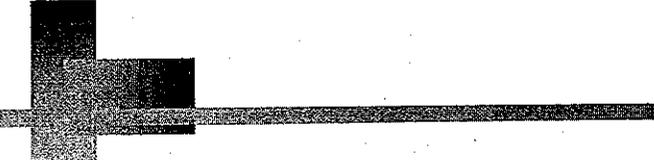




# TÚNELES DE FORZADAS

# FORZADAS

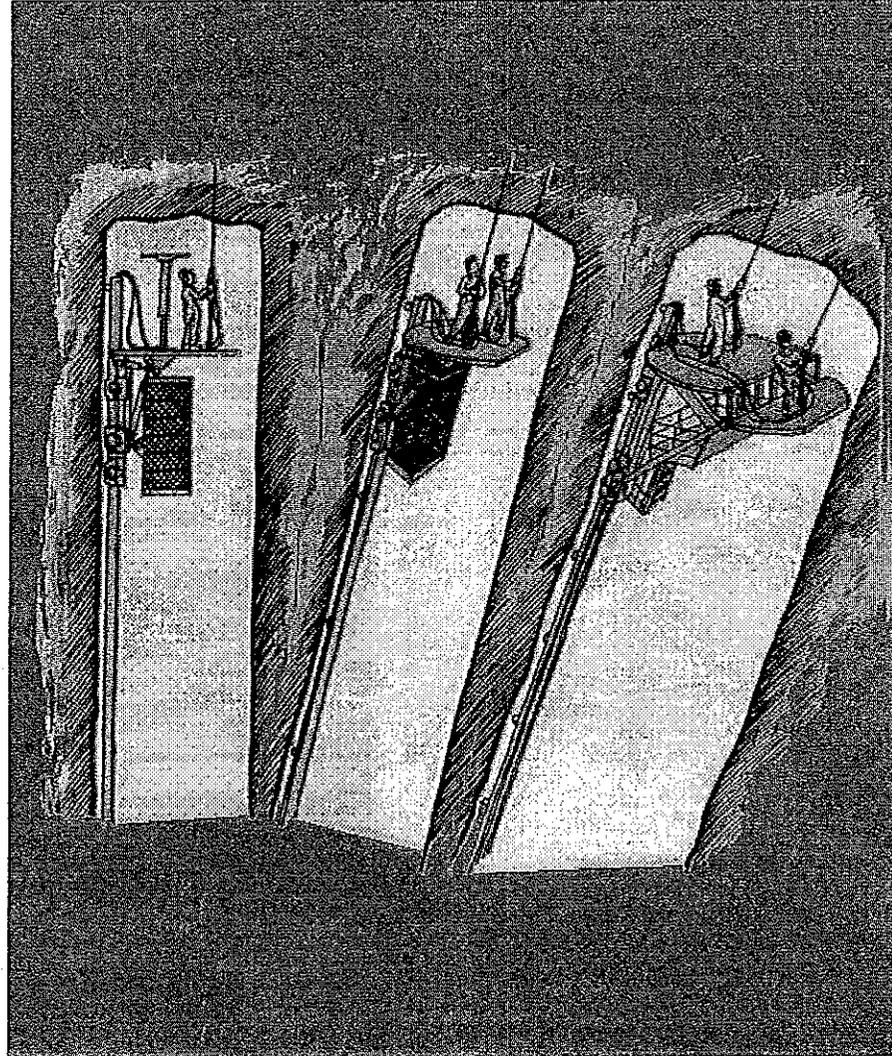




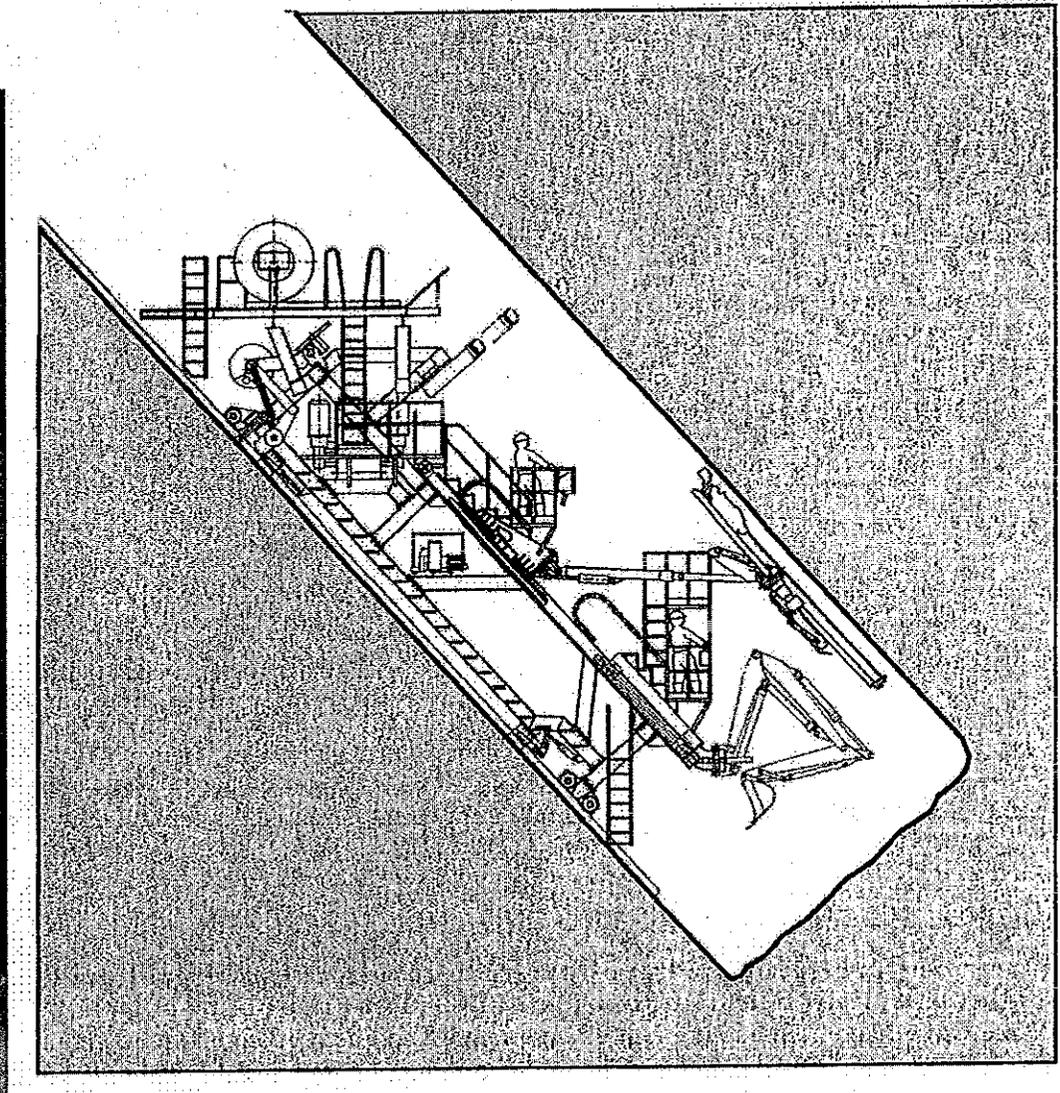
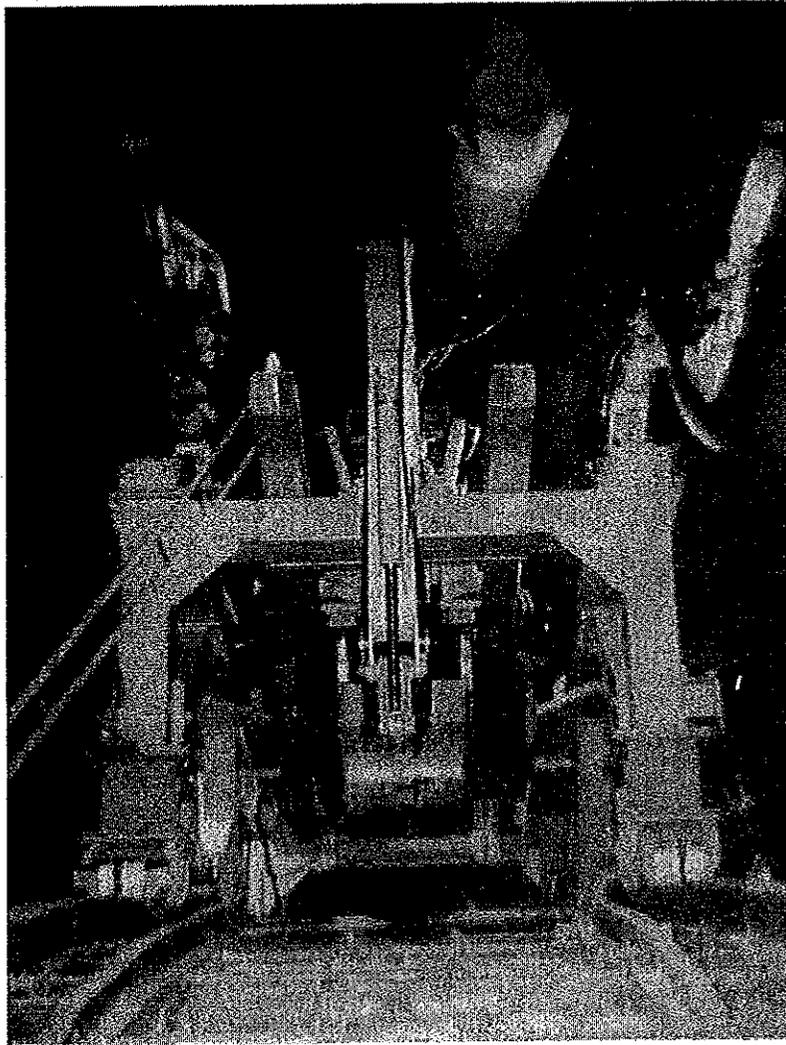
# FORZADAS

- 2 planos inclinados de 545 m.
- 2 túneles horizontales superiores de 58.5 m.
- 2 túneles horizontales inferiores en Y de 45 m.
- 1 acceso superior de 477 m.
- 1 acceso intermedio en Y de 170 m.
- 1 túnel de trabajo en zona inferior de 225 m.

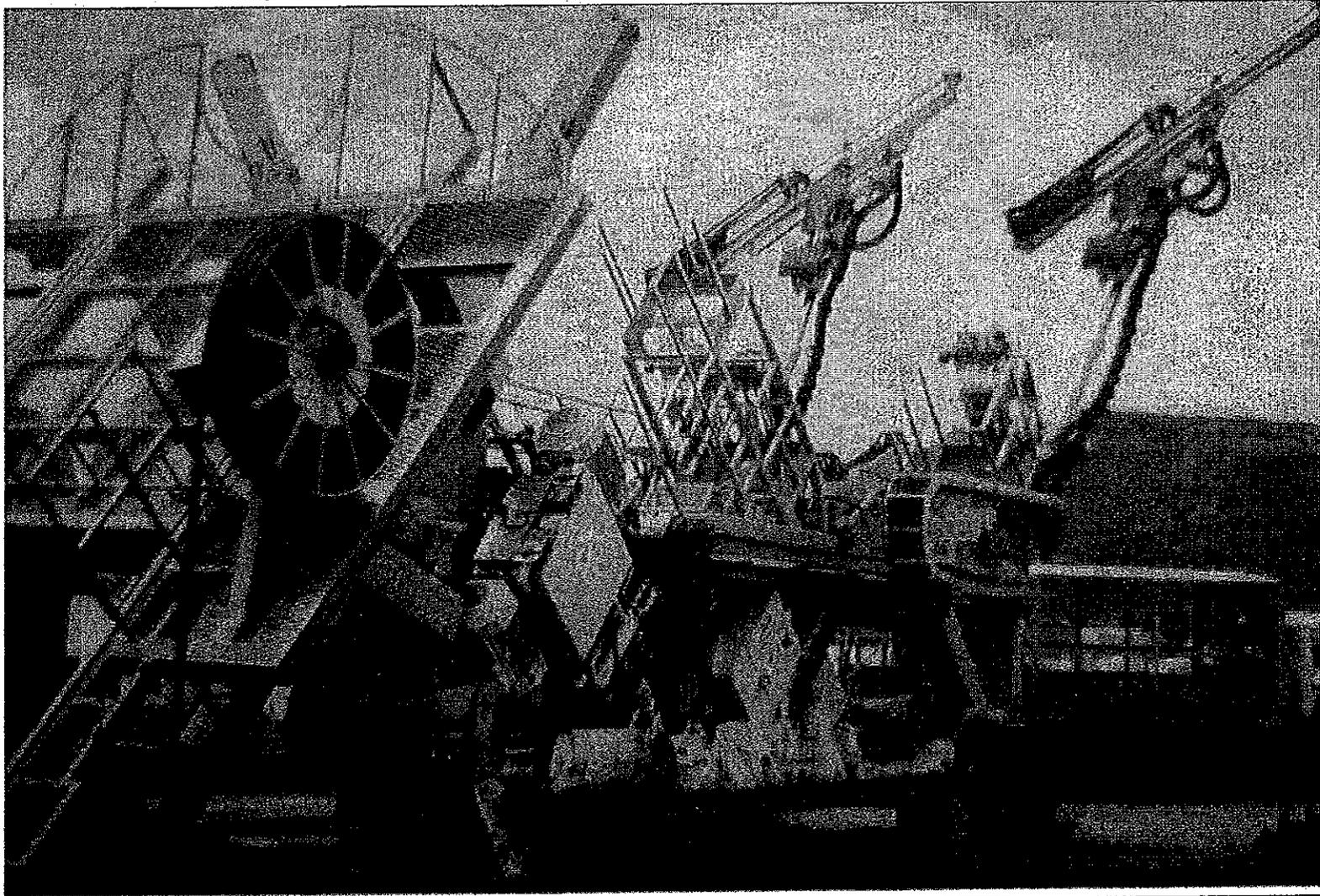
# SISTEMA ALIMAK



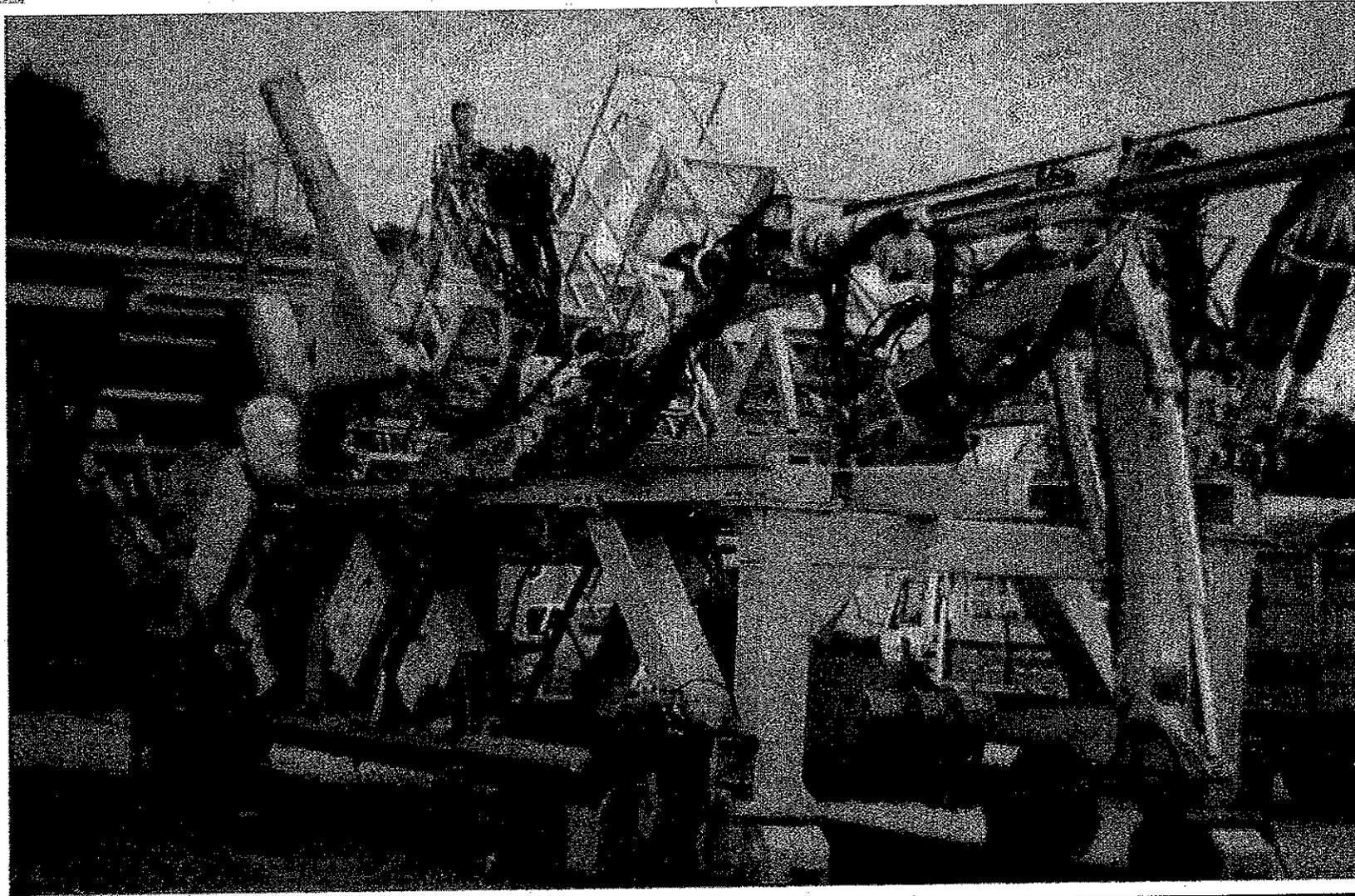
# FORZADAS



# FORZADAS



# FORZADAS

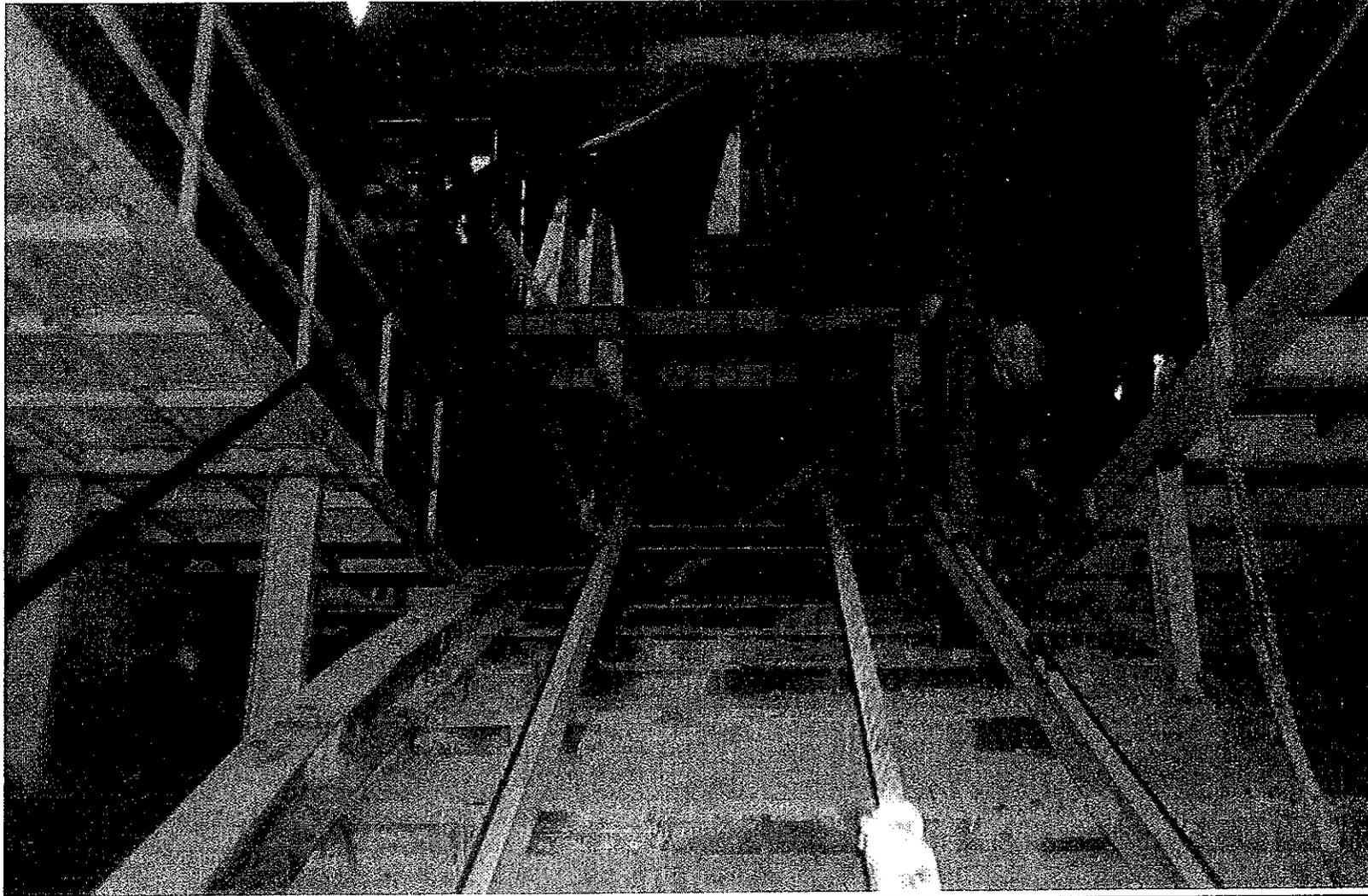


Madrid, Junio. 06

Master en túneles

DRAGADOS

# FORZADAS



Madrid, Junio. 06

**Master en túneles**

**DRAGADOS**

39

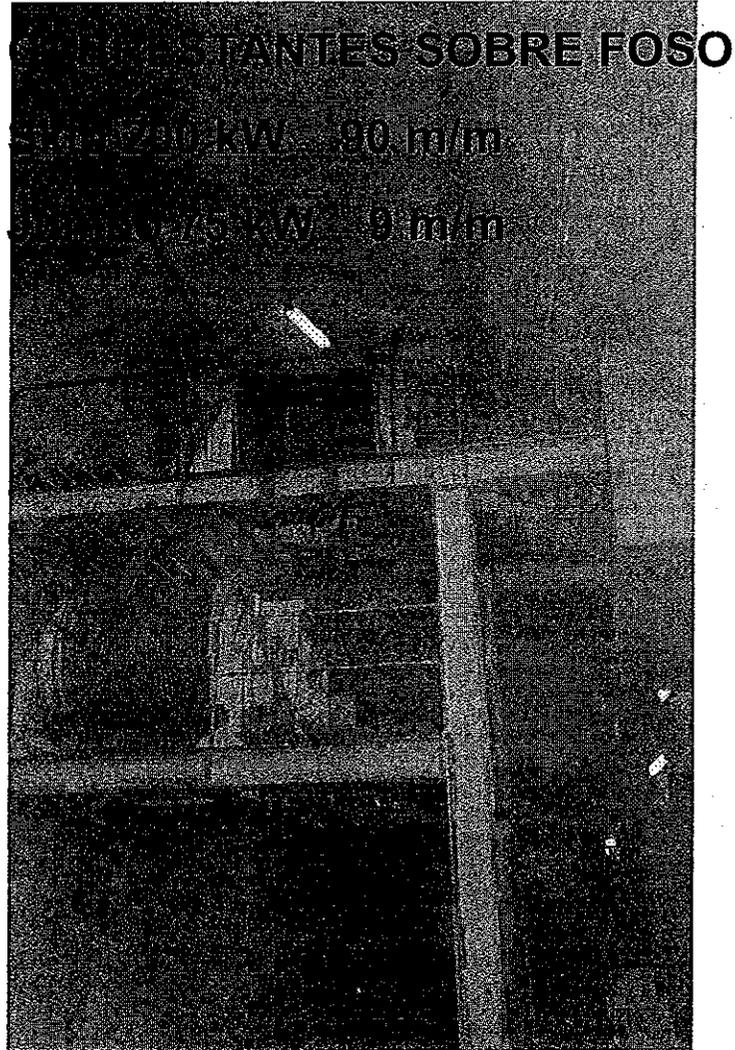
# FORZADAS



DESCARGA DEL SKIP  
EN FOSO DE VERTIDO



# FORZADAS

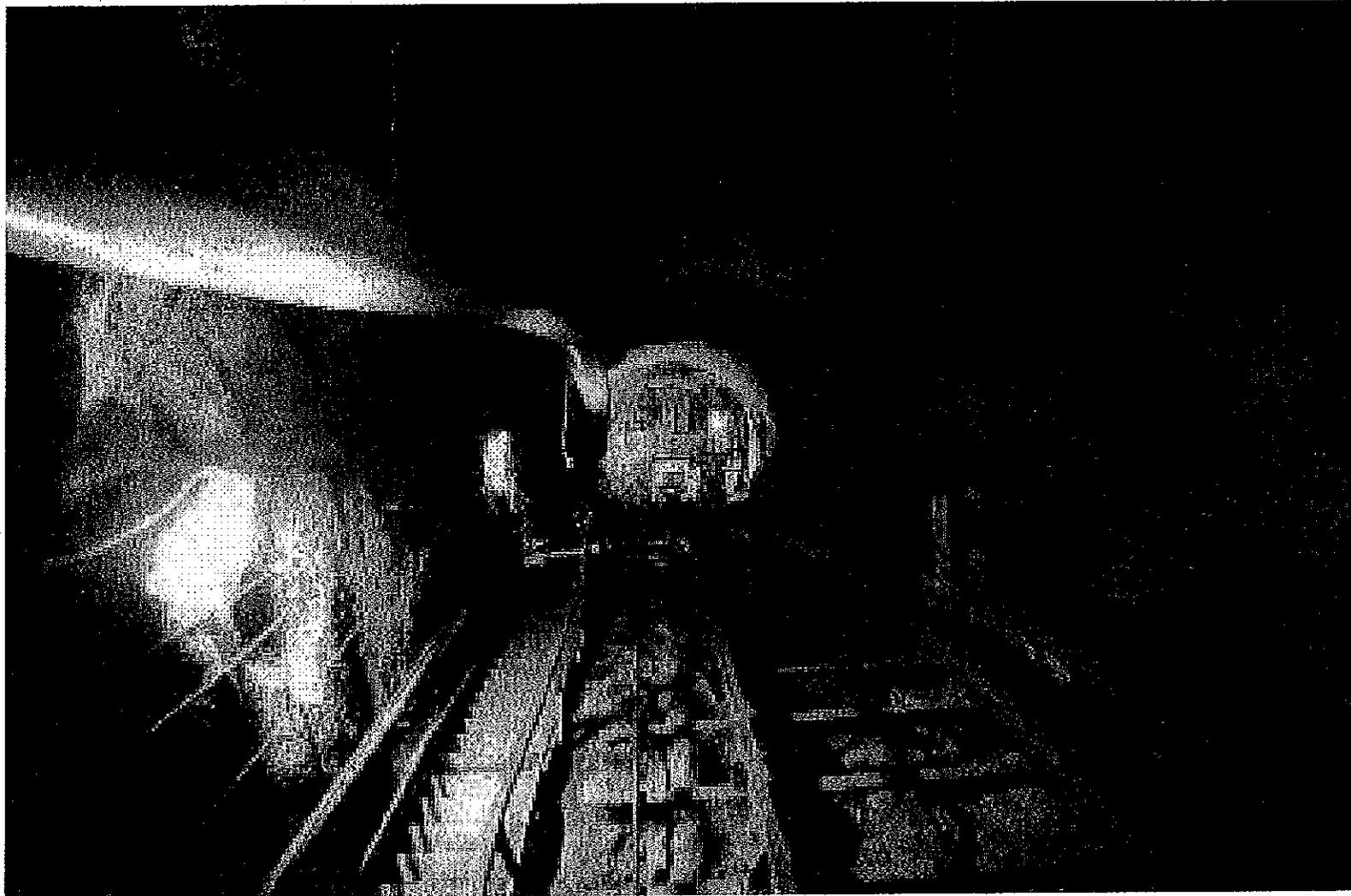


# FORZADAS

AIRE  
AGUA  
DESA



# FORZADAS



# FORZADAS



**RENDIMIENTO OBTENIDO**

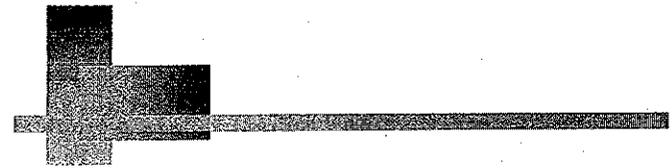
**60 m/mes y frente**

8

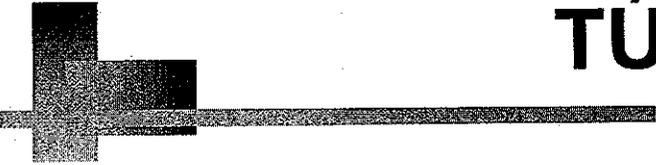
8

8

3



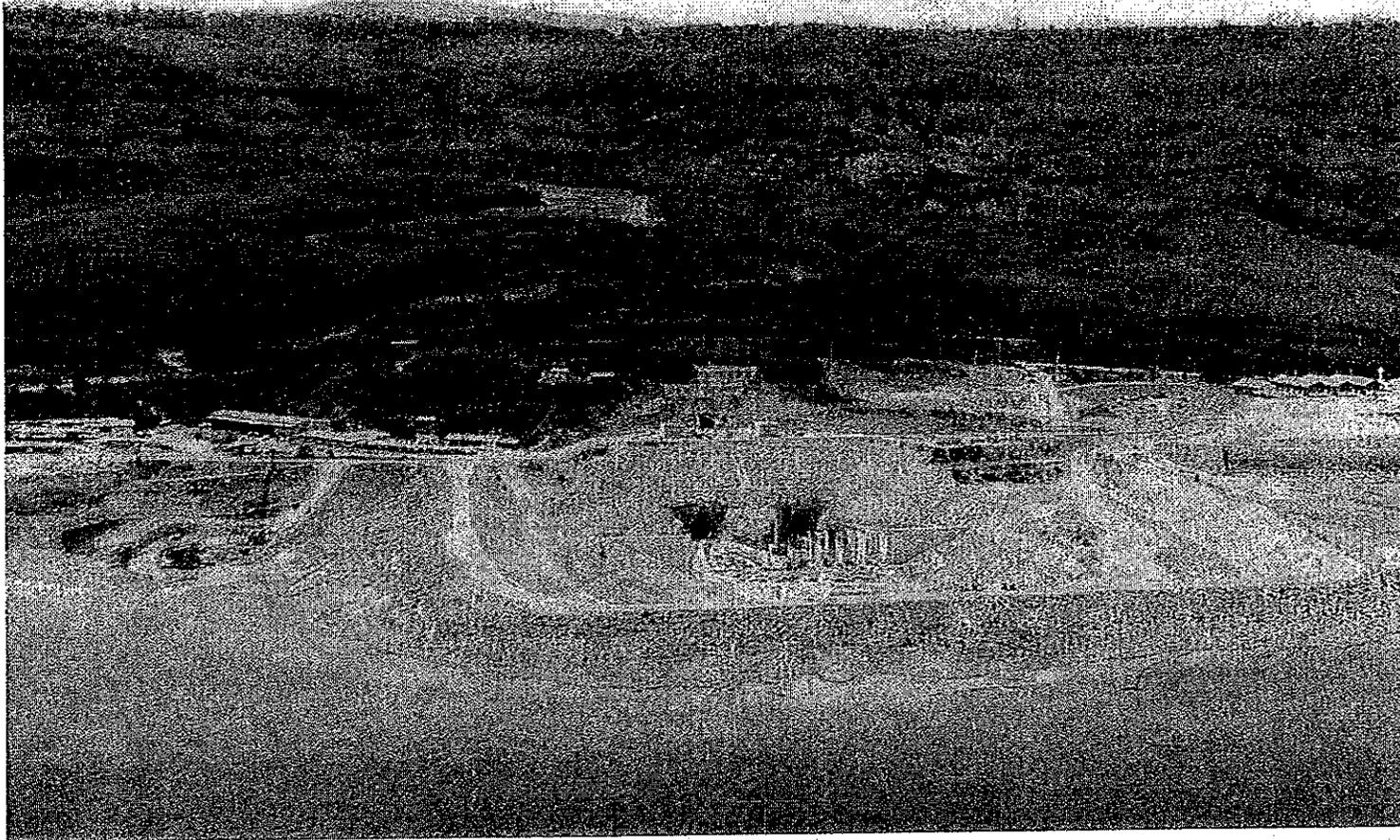
# TÚNELES DE DESAGÜE



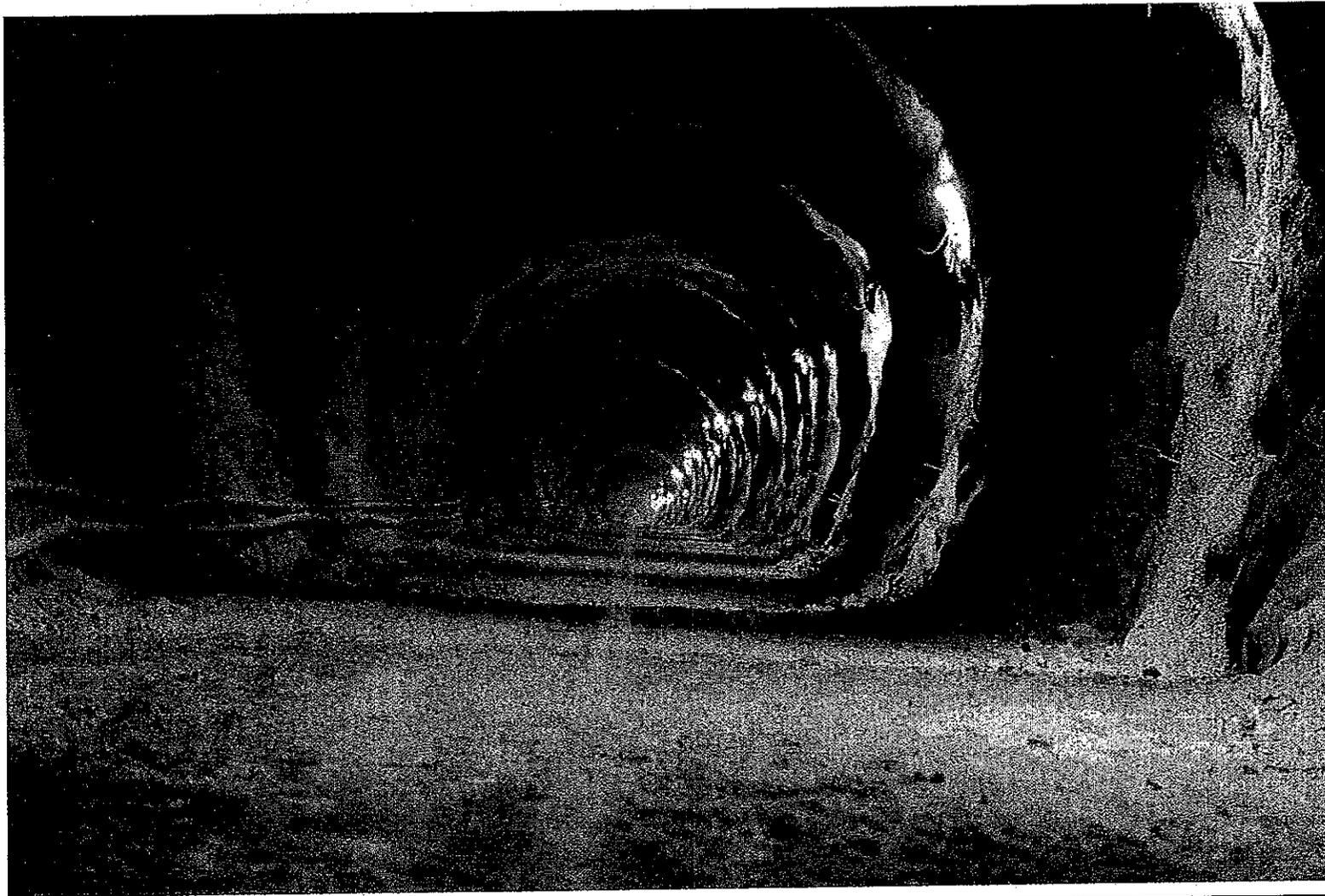
# TÚNELES DE DESAGÜE

- 2 túneles de desagüe de 1321 m.
- 2 bifurcaciones a 4 ramas de 106 m.
- 1 túnel de trabajo aguas arriba de 417 m.
- 1 túnel de trabajo aguas abajo de 423 m.
- 1 sala de compuertas de 102 m.
- 4 pozos de compuertas aguas arriba de 17 m.
- 1 túnel de acceso superior a chimeneas de equilibrio en Y de 138 m.
- 2 chimeneas de equilibrio de 120 m.
- 2 pozos de compuertas aguas abajo de 25 m.

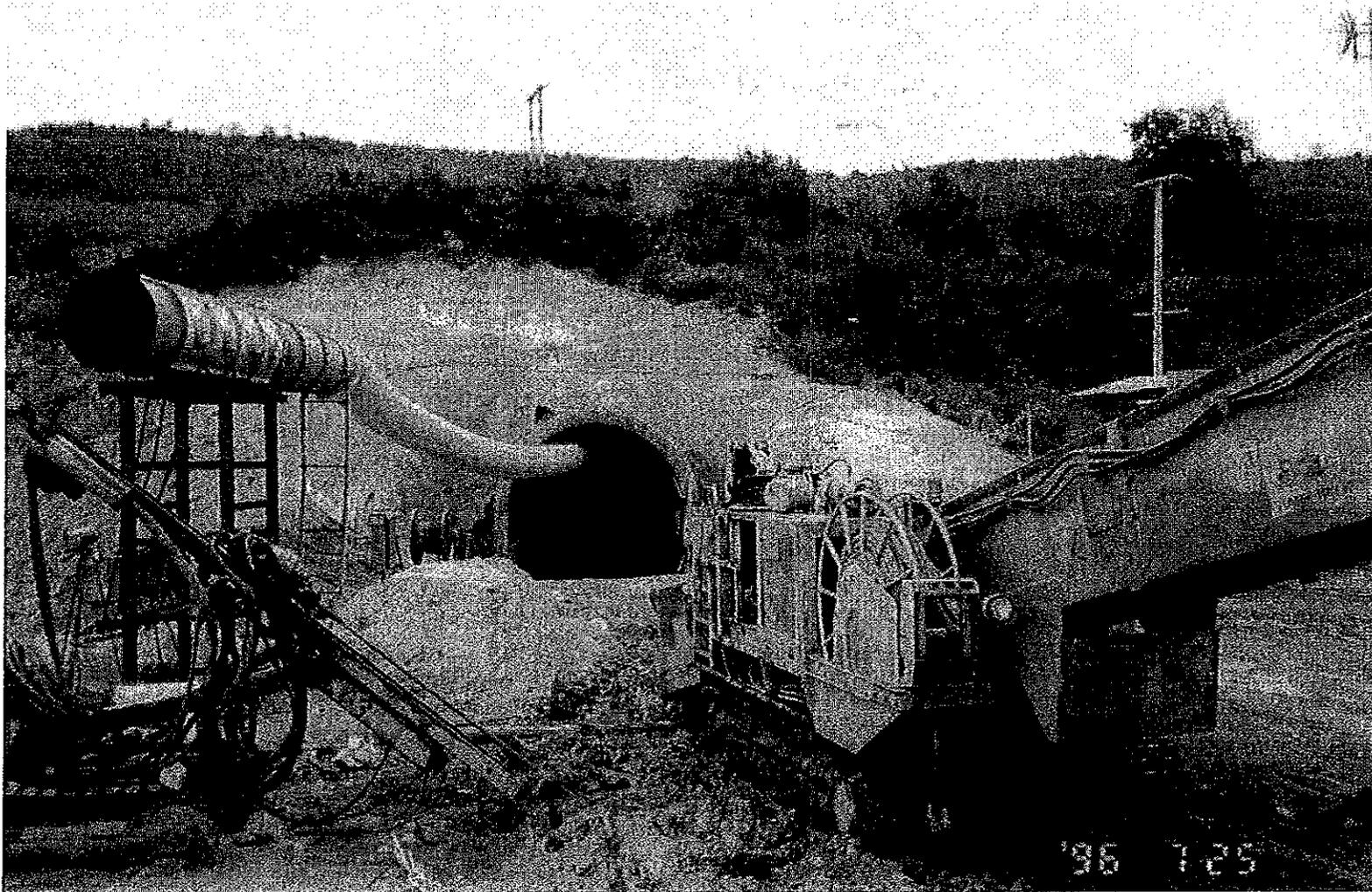
# TÚNELES DE DESAGÜE



# TÚNELES DE DESAGÜE



# ACCESO INFERIOR A DESAGÜES





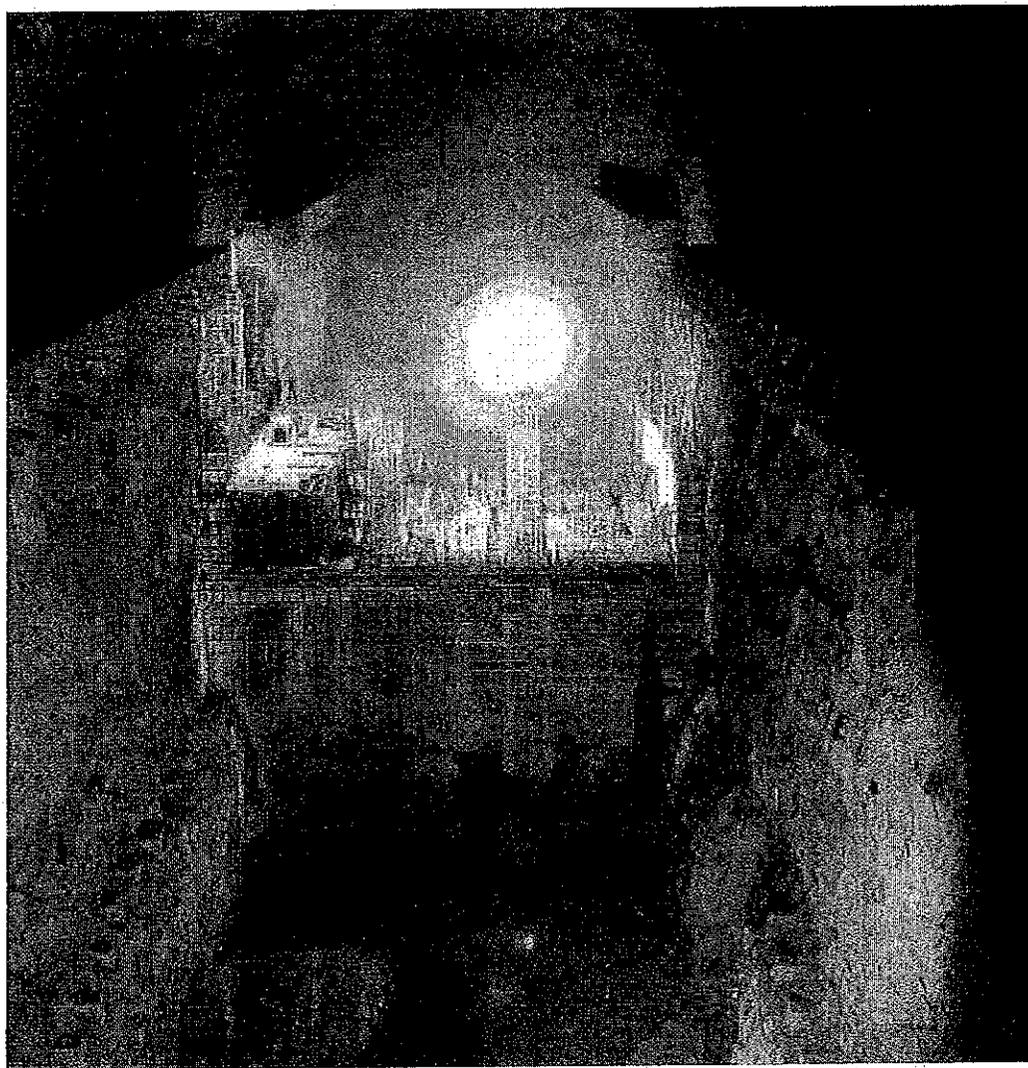
# CAVERNA DE CENTRAL

## Central

- 1 caverna de Central de 175 x 25 x 49 m.
- 1 túnel de acceso a galería superior de 223 m.
- 1 galería superior de 178 m.
- 1 túnel de acceso a calota de 132 m.
- 1 acceso intermedio a Central de 325 m.
- 1 sala de aire acondicionado de 21 m.
- 1 galería de drenaje de 317 m.
- 1 acceso al pozo de drenaje y ventilación de 9,5 m.
- 1 túnel de conexión inferior de 25 m.
- 1 pozo de drenaje de 66 m.
- 1 pozo de ventilación de 17 m.
- 1 pozo de drenaje y ventilación de 21 m.
- 1 túnel de cables de 558 m.



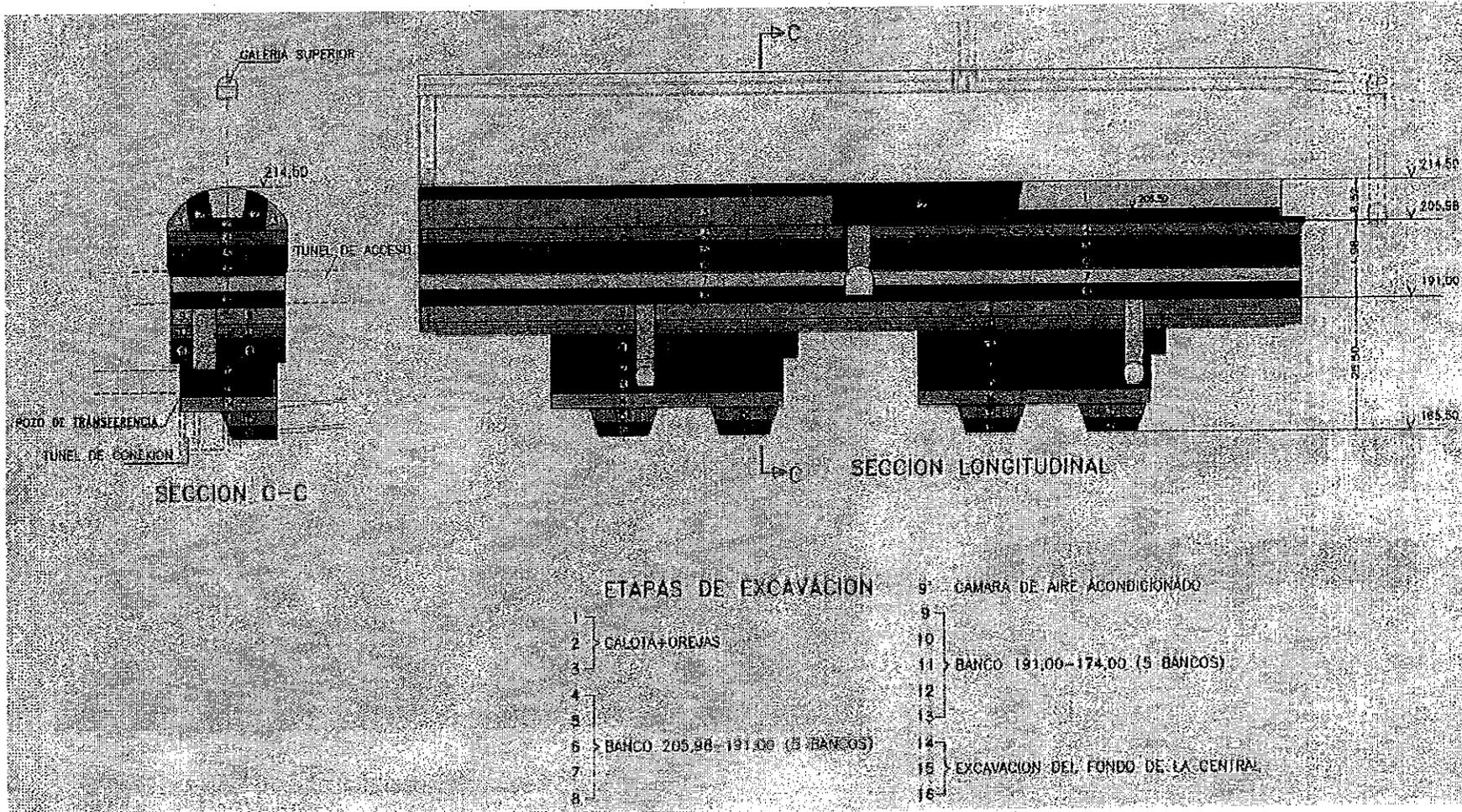
# CAVERNA DE CENTRAL



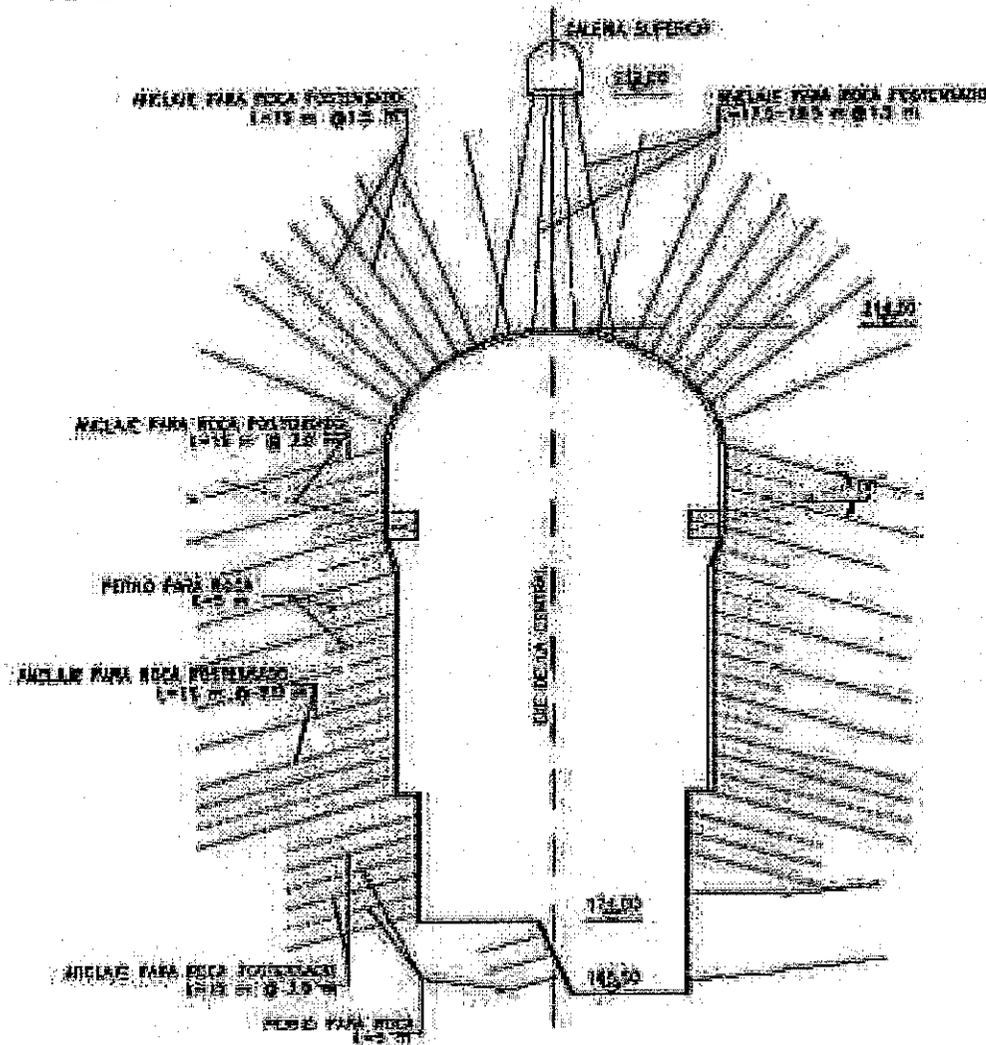
## DIMENSIONES

175 m x 25m x 49 m

# FASES DE EXCAVACIÓN



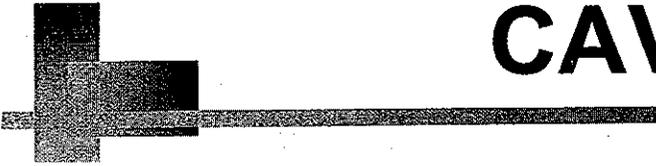
# CAVERNA DE CENTRAL



**4.657 ANCLAJES**

**De 18, 15 y 10 m de longitud**

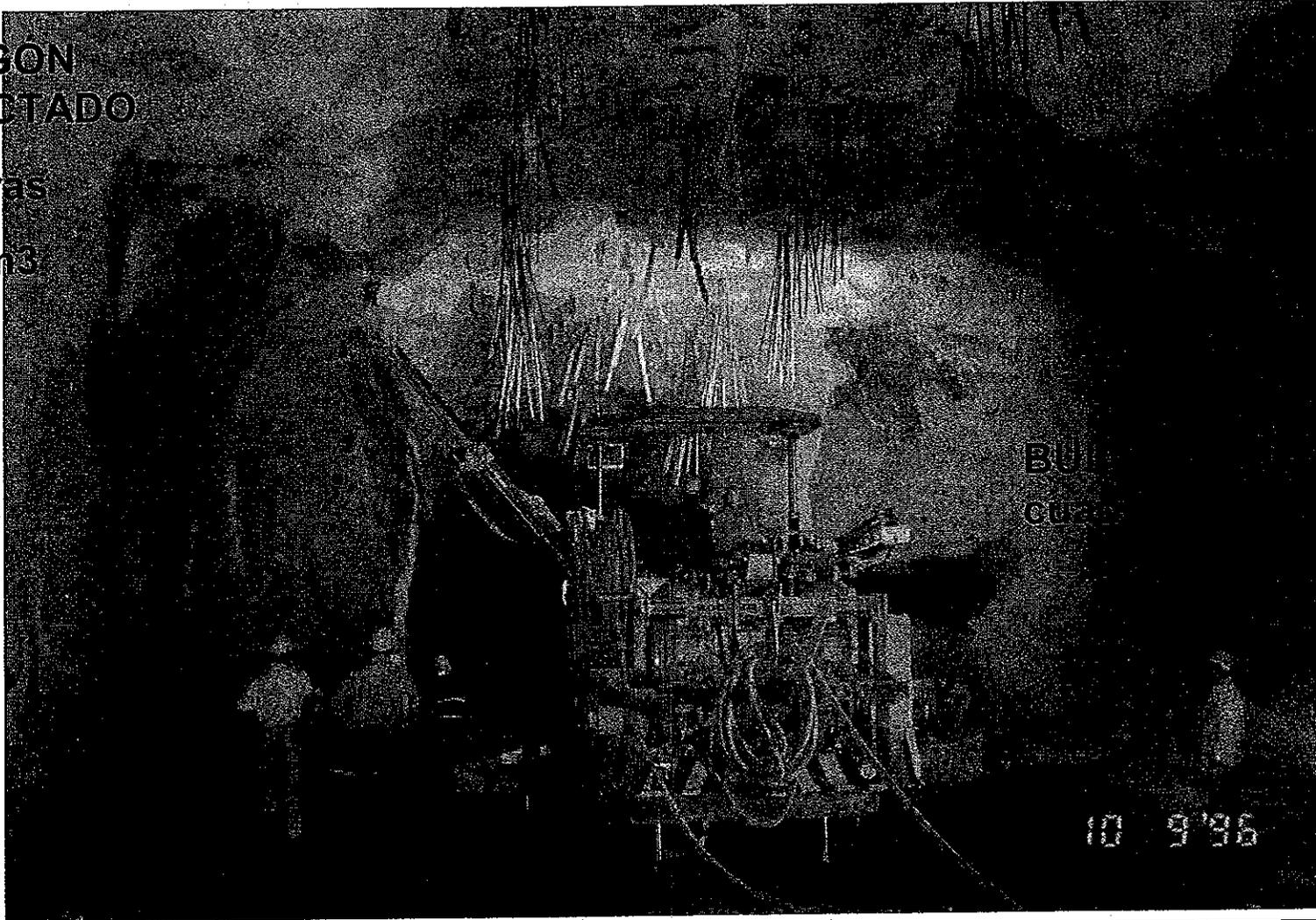
**Tensados a 75 t y acuñados a 50 t.**



# CAVERNA DE CENTRAL

HORMIGÓN  
PROYECTADO

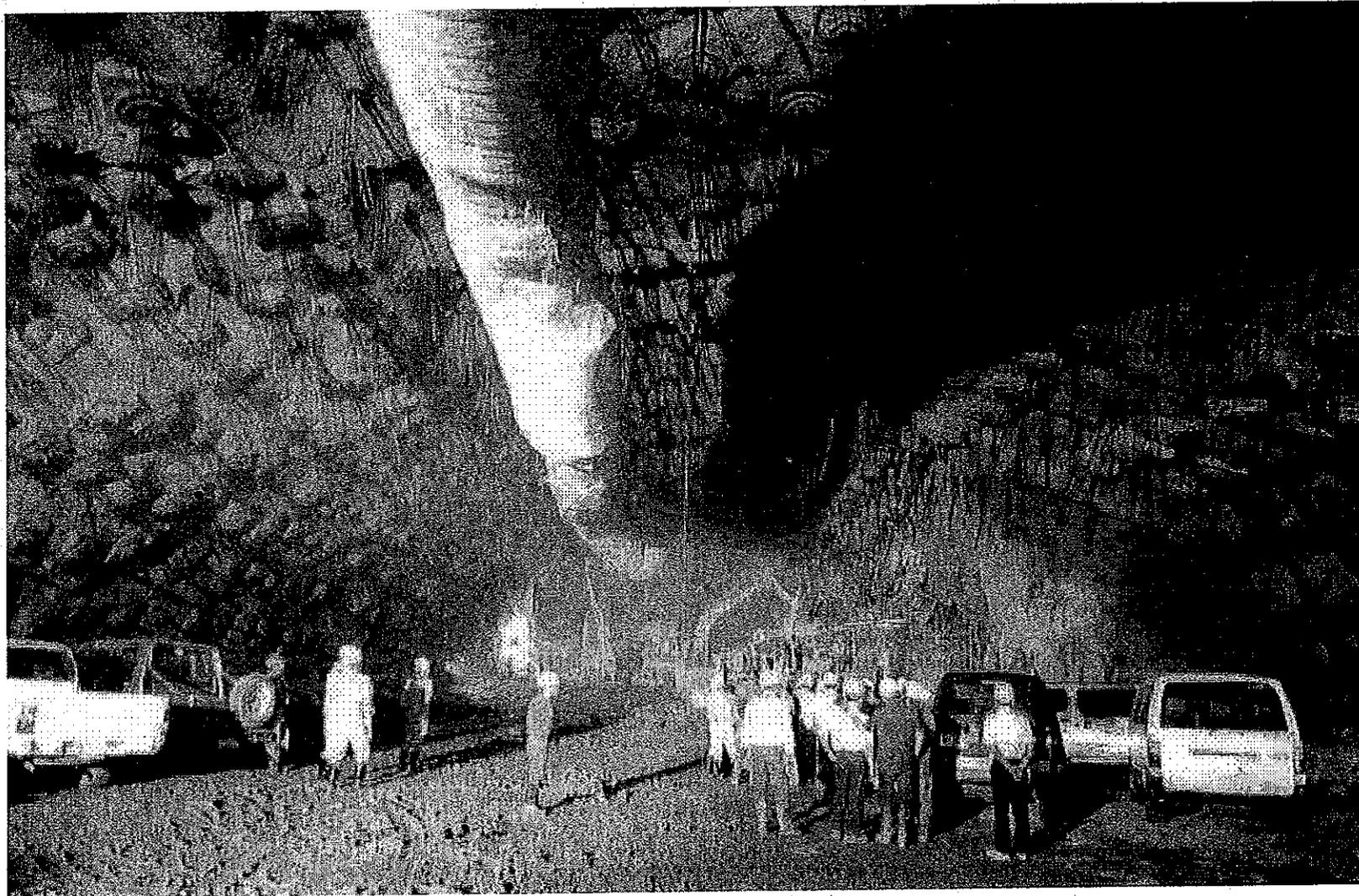
Con fibras  
100Kg/m<sup>3</sup>



BUL... 5 m  
cu... x 1,5 m

10 9'96

# CAVERNA DE CENTRAL



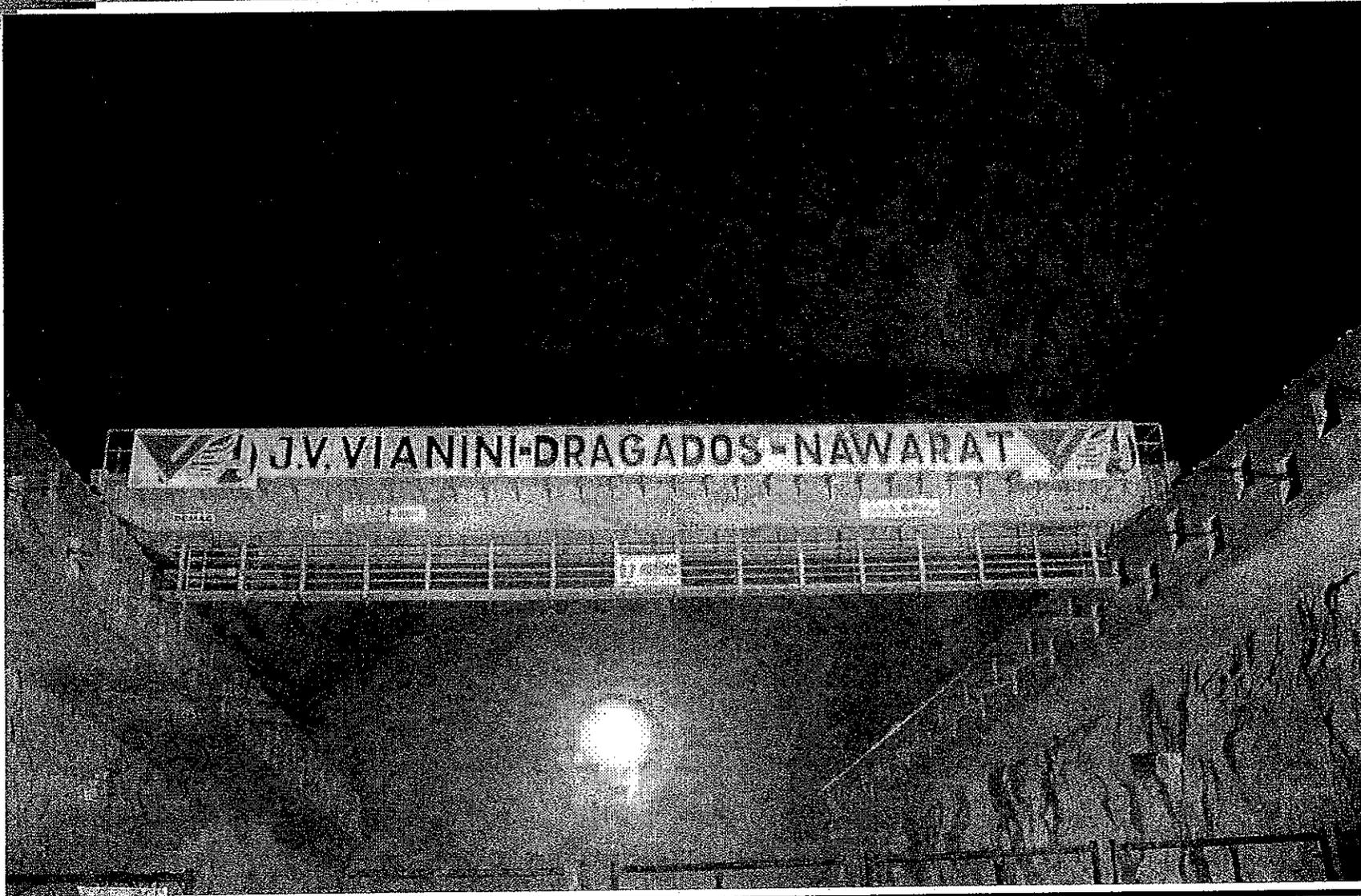
Madrid, Junio. 06

**Master en túneles**

**DRAGADOS**

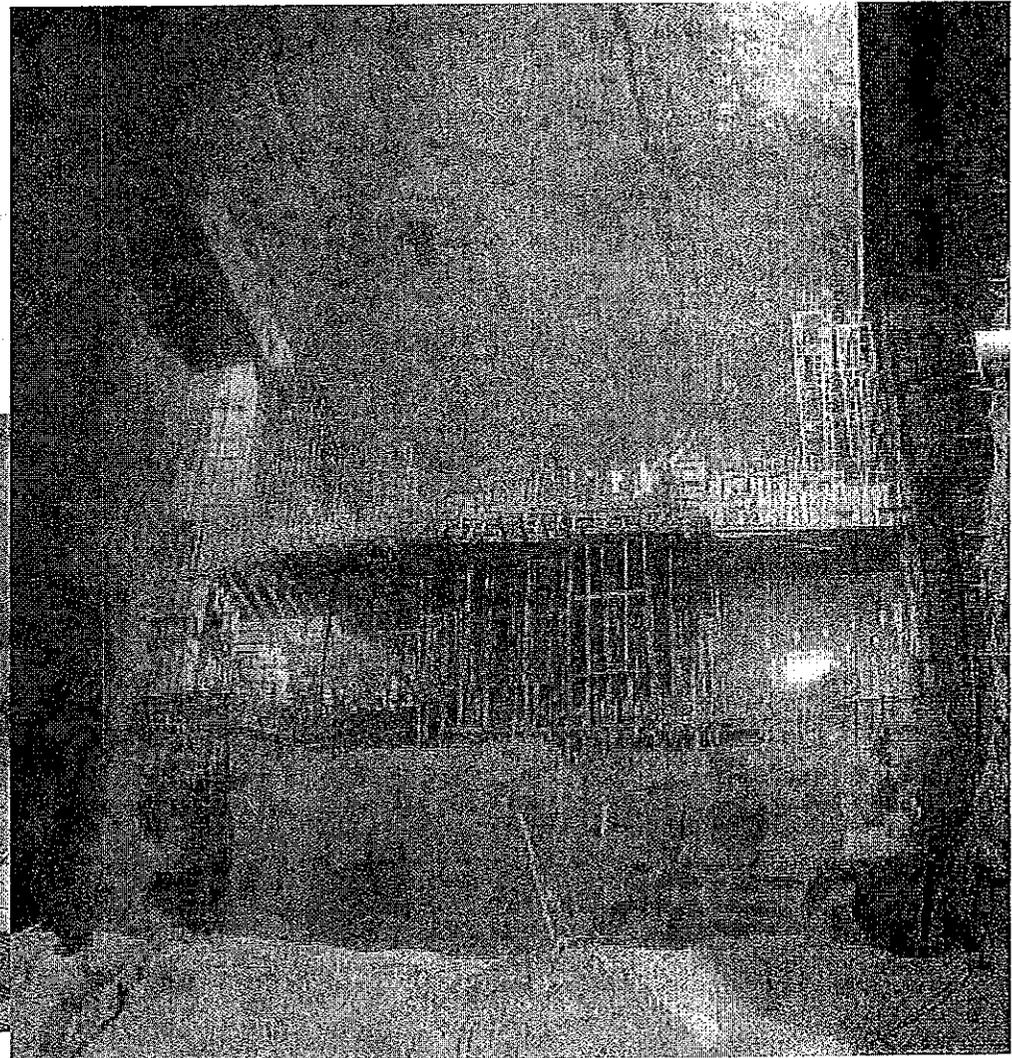
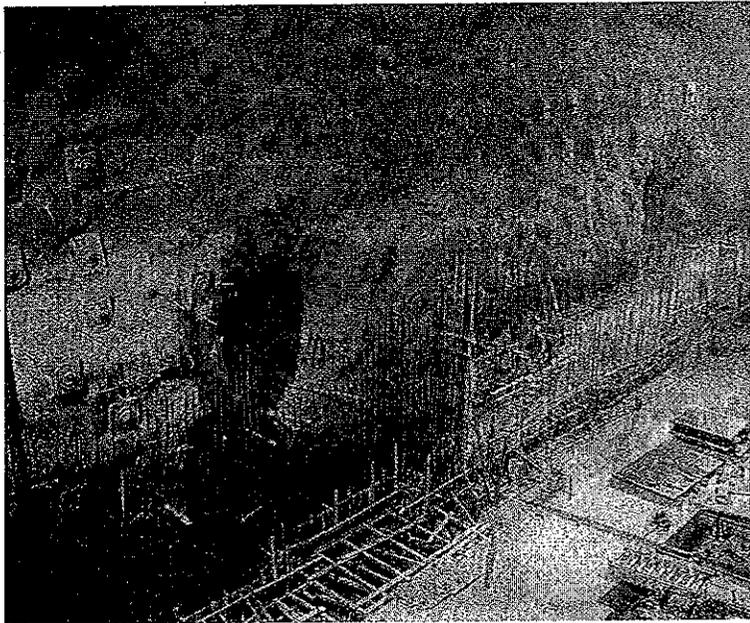
57

# CAVERNA DE CENTRAL



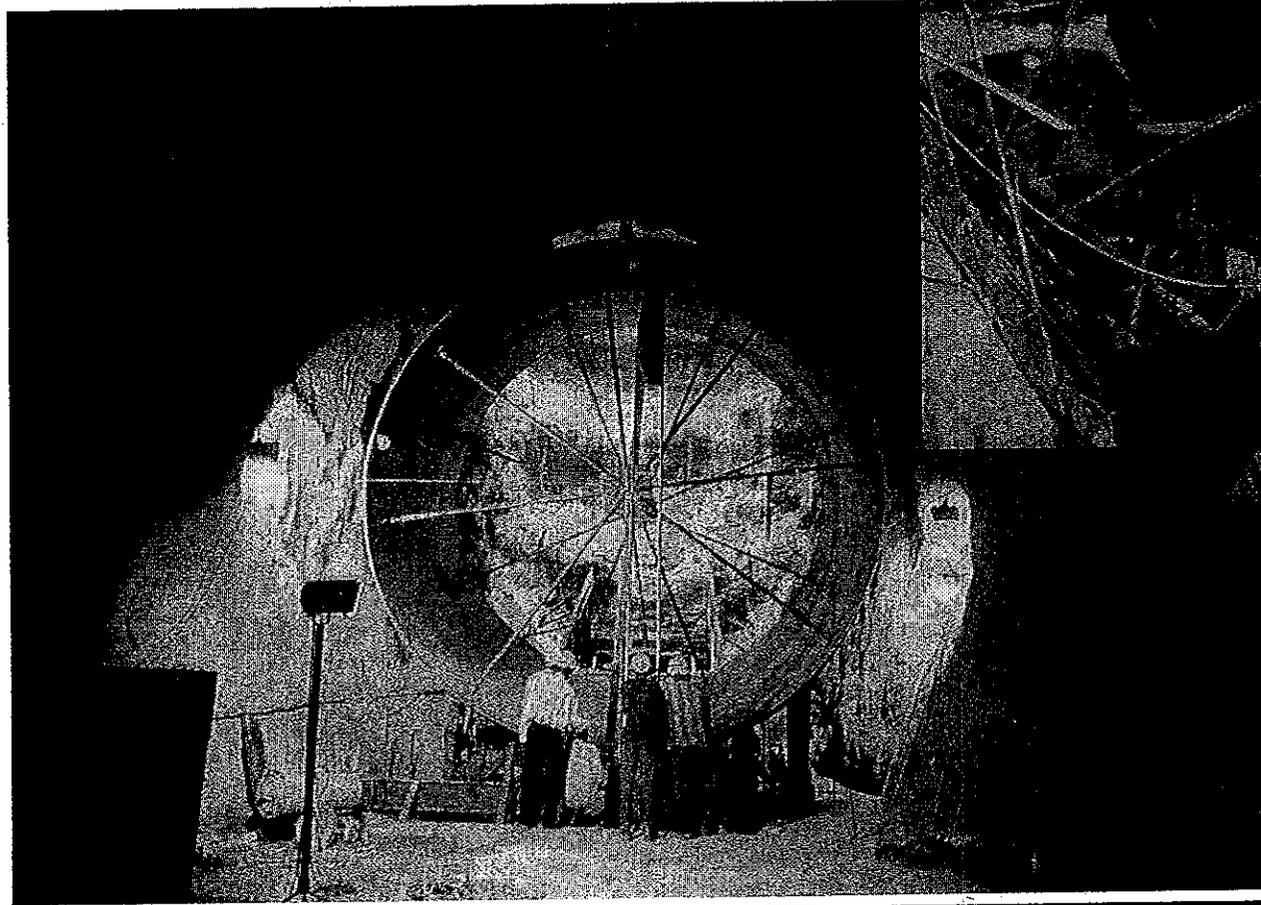
# CAVERNA DE CENTRAL

VISTA DESDE FOSOS  
DE TURBINAS



# CAVERNA DE CENTRAL

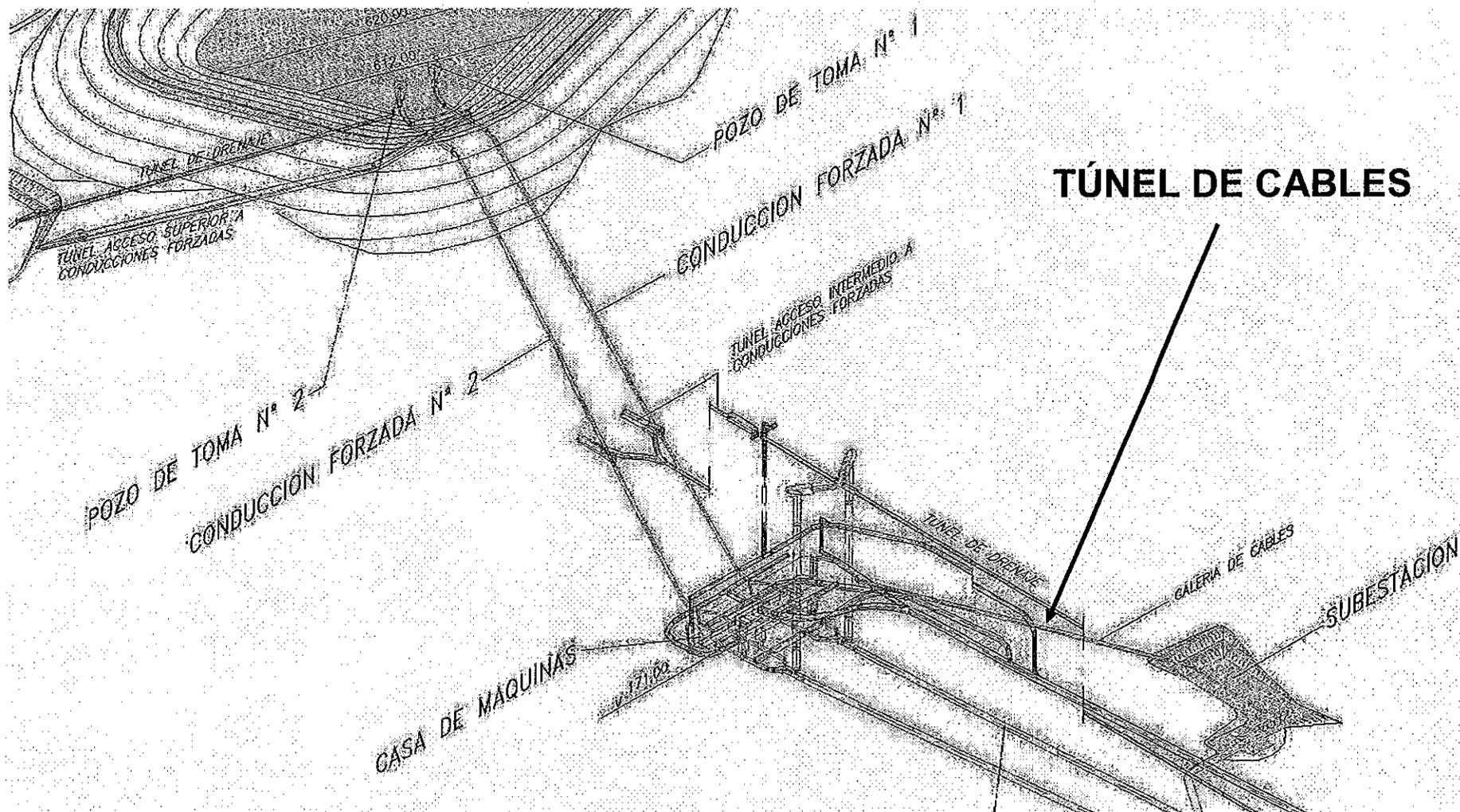
COLOCACIÓN DE BLINDAJES



CENTRAL

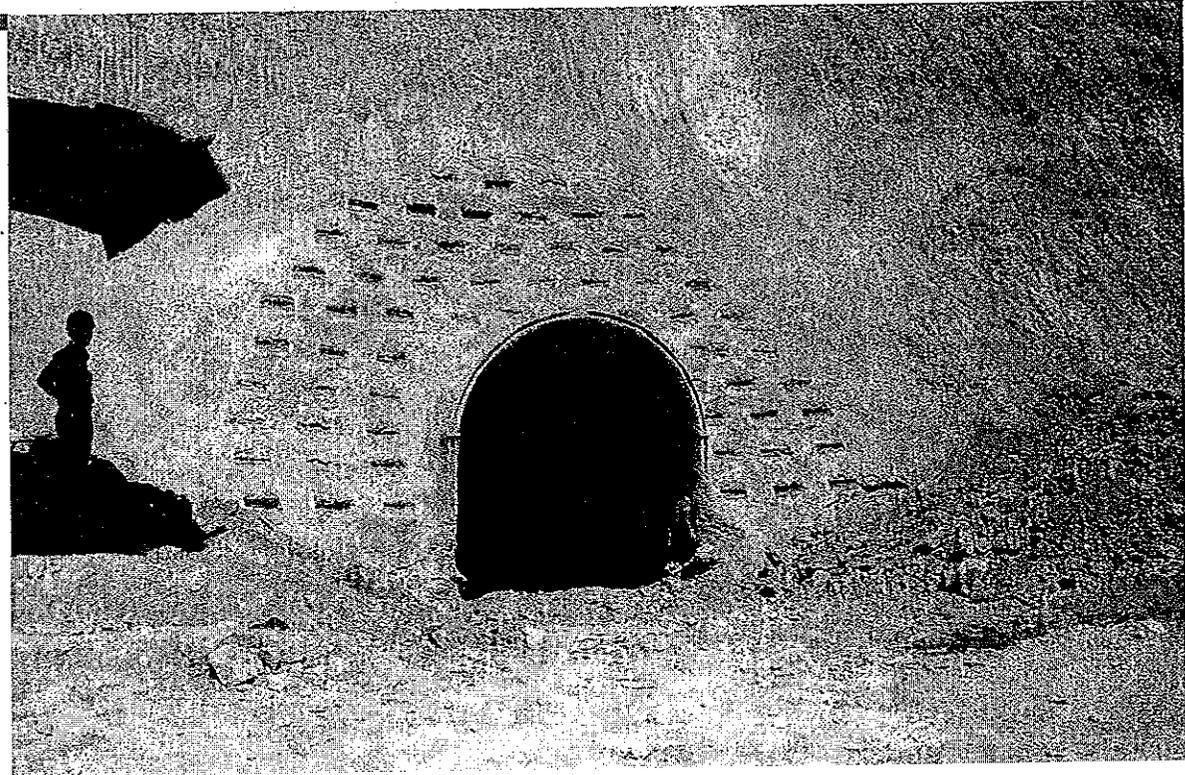
TOMA

# TÚNEL DE CABLES



# TÚNEL DE CABLES

- 558 m de longitud
- 30,48% de pendiente
- 3,6 m de diámetro



- EXCAVACIÓN EN SENTIDO DESCENDENTE DURANTE 450 m CON 2 NICHOS DE RETOMA
- 118 m EN SENTIDO ASCENDENTE DESDE LA GALERÍA DE ACCESO A CALOTA DE CENTRAL

# RENDIMIENTOS

Descripción	Diámetro	Excavación	Producción Diaria (m/día)	
			media	máxima
GALERÍAS	$F = 3$	ROZADORA	2.13	7.5
GALERÍAS	$2.6 < F < 4$	VOLADURA	3.97	5.25
TÚNELES	$4 < F < 6$	VOLADURA	3.59	6.63
TÚNELES	$6 < F < 9$	VOLADURA	3.88	4.20
POZOS VERT.	$F = 4.20$	VOLADURA	1.87	2.65
POZOS VERT.	$4 < F < 11$	VOLADURA	1.17	1.85
PLANO INCL. 17°	$F = 3.8$	VOLADURA	4.20	6.00
PLANO INCL. 48°	$6.10 < F < 6.40$	VOLADURA	1.95	3.00
BÓVEDA CENTRAL	4 FASES	VOLADURA	3.52	5.65
DESTROZA CENTRAL	3 m alt/banco	VOLADURA	366.65 m <sup>3</sup>	500 m <sup>3</sup>

# Proceso constructivo

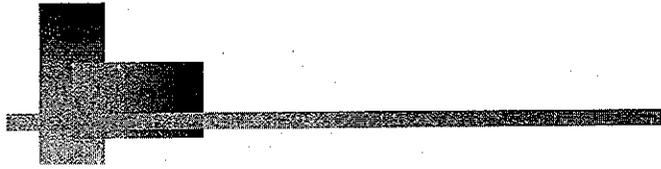
## Dificultades técnicas en margas

- Reducción de la longitud de pase
- Sobreconsumo de explosivos y varillaje
- Incremento del número de ciclos
- Dificultad en la carga de explosivos
- Microcolapsos por exposición de la roca al aire (Slacking)
- Mal recorte



**MAQUINARIA  
E  
INSTALACIONES**

# Perforación



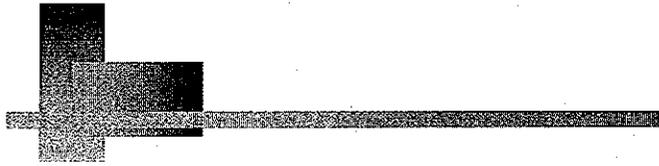
- Jumbo Atlas Copco H-175 3 brazos + cesta
- Jumbo Atlas Copco H-174 2 brazos + cesta
- Jumbo Atlas Copco H-282 2 brazos
- Promec Atlas Copco (2 ud.) 2 brazos + retro
- Carro perforador I.Rand CM350
- Jumbo Tamrock 2 brazos
- Carro perforador Toyo 2 brazos

8

8

8

3



## Perforación

En la zona de Central, 2 jumbos atendían hasta 7 frentes de trabajo de forma simultánea



# Excavación mecánica

- Rozadora de ataque puntual
- Retroexcavadora KOMATSU PC 120+  
martillo hidraulico KRUPP 400
- Raise Boring Machine RAISE 90-H

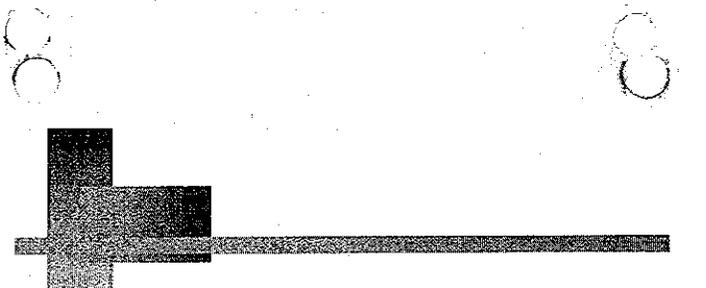
# Desescombro

- Pala cargadora CATERPILLAR 950 F con cazo descarga lateral (2ud.)
- Pala cargadora CATERPILLAR 926
- Pala cargadora WAGNER ST-8A SCOOPTRAM
- Pala cargadora WAGNER ST-8B SCOOPTRAM
- Pala cargadora WAGNER ST-6C SCOOPTRAM (2 ud.)
- PROMEC ATLAS COPCO + SKIP (2 ud.)
- Camión NISSAN CWN350 (12 ud.)
- SHAEFFLOADER
- HAGGLOADER + HAGGLUNDS Atlas Copco c/locomotora



## Saneamiento + labores auxiliares

- Retroexcavadora mixta FAI 894
- Retroexcavadora KOBELCO SK100 W + martillo hidráulico KRUPP 400
- Mini-Retroexcavadora KOMATSU PC 20 (3 ud.)



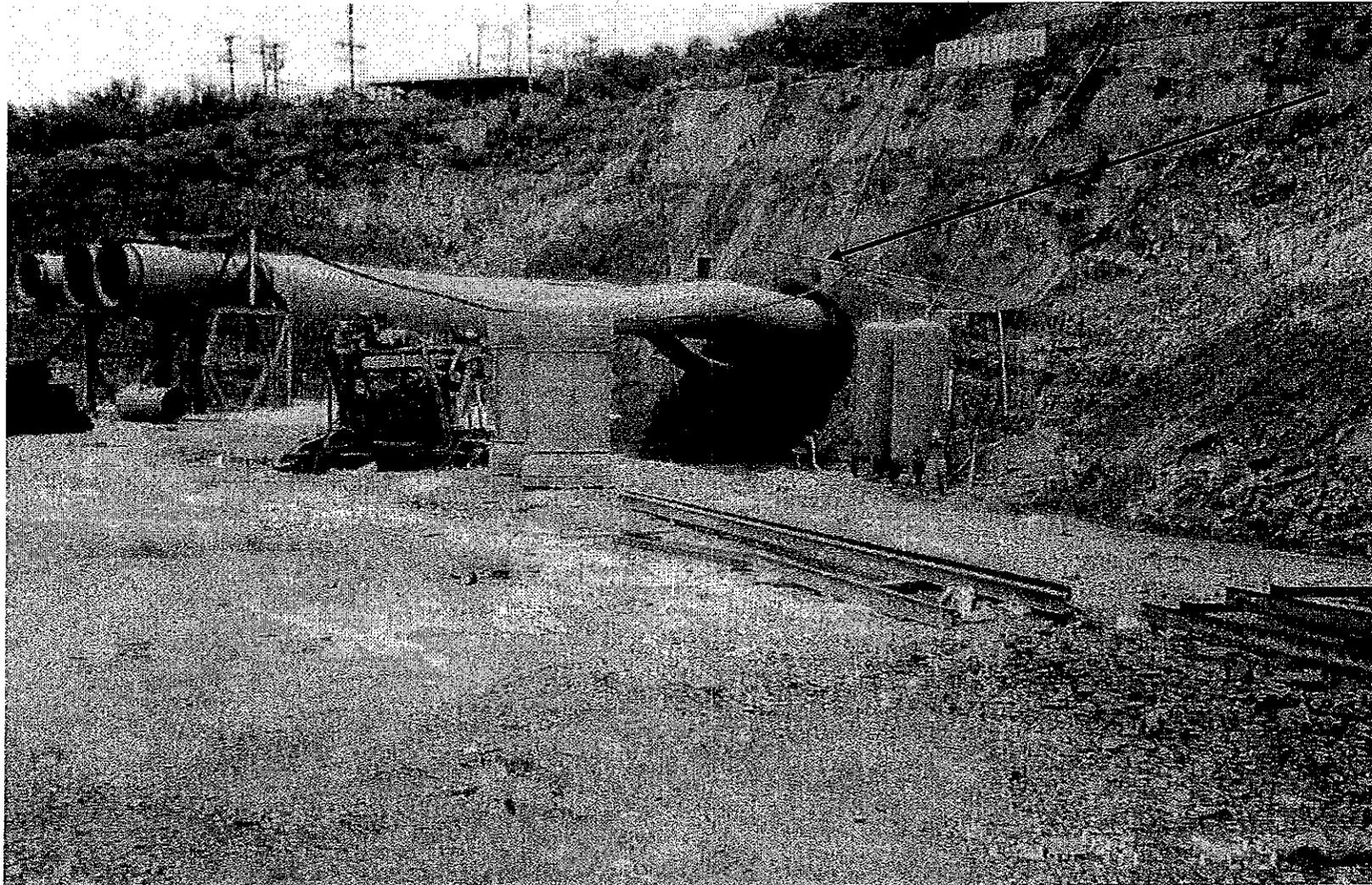
## Sostenimiento

- Robot gunitador c/ ALIVA 285 vía seca/húmeda (2 ud.)
- Robot gunitador c/ ALIVA 262 vía seca
- Gunitadora ALIVA 262 vía seca (2 ud.)

# Mantenimiento

- Camión c/ plataforma elevadora SIMON SKYHAWK
- Camión mantenimiento c/ TALLER

# Instalaciones en portal



# Instalación eléctrica en portal

- Acceso superior a forzadas  
TR 22/10 KV 1250 KVA  
TR 22/0.4 KV 250 KVA
- Acceso a Central  
TR 22/10 KV 1250 KVA  
TR 22/0.4 KV 500 KVA  
TR 22/0.4 KV 250 KVA
- Túnel de trabajo en desagües aguas abajo  
TR 22/10KV 630 KVA  
TR 22/0.4 KV 500 KVA
- Túnel de cables  
TR 22/0.4 KV 250 KVA

# Instalación eléctrica en interior

- Forzadas
  - No 1 TR 10/0.4 KV 630 KVA
  - No 2 TR 10/0.4 KV 630 KVA
- Acceso intermedio a forzadas TR 10/0.4 KV 500 KVA
- Acceso a Central
  - TR 10/0.4 KV 250 KVA
  - TR 10/0.4 KV 250 KVA
- Acceso superior a calota TR 10/0.4 KV 250 KVA
- Túnel de trabajo en desagües aguas arriba TR 10/0.4 KV 250 KVA
- Desagües
  - No 1 TR 10/0.4 KV 315 KVA
  - No 2 TR 10/0.4 KV 315 KVA



**DEPOSITO**

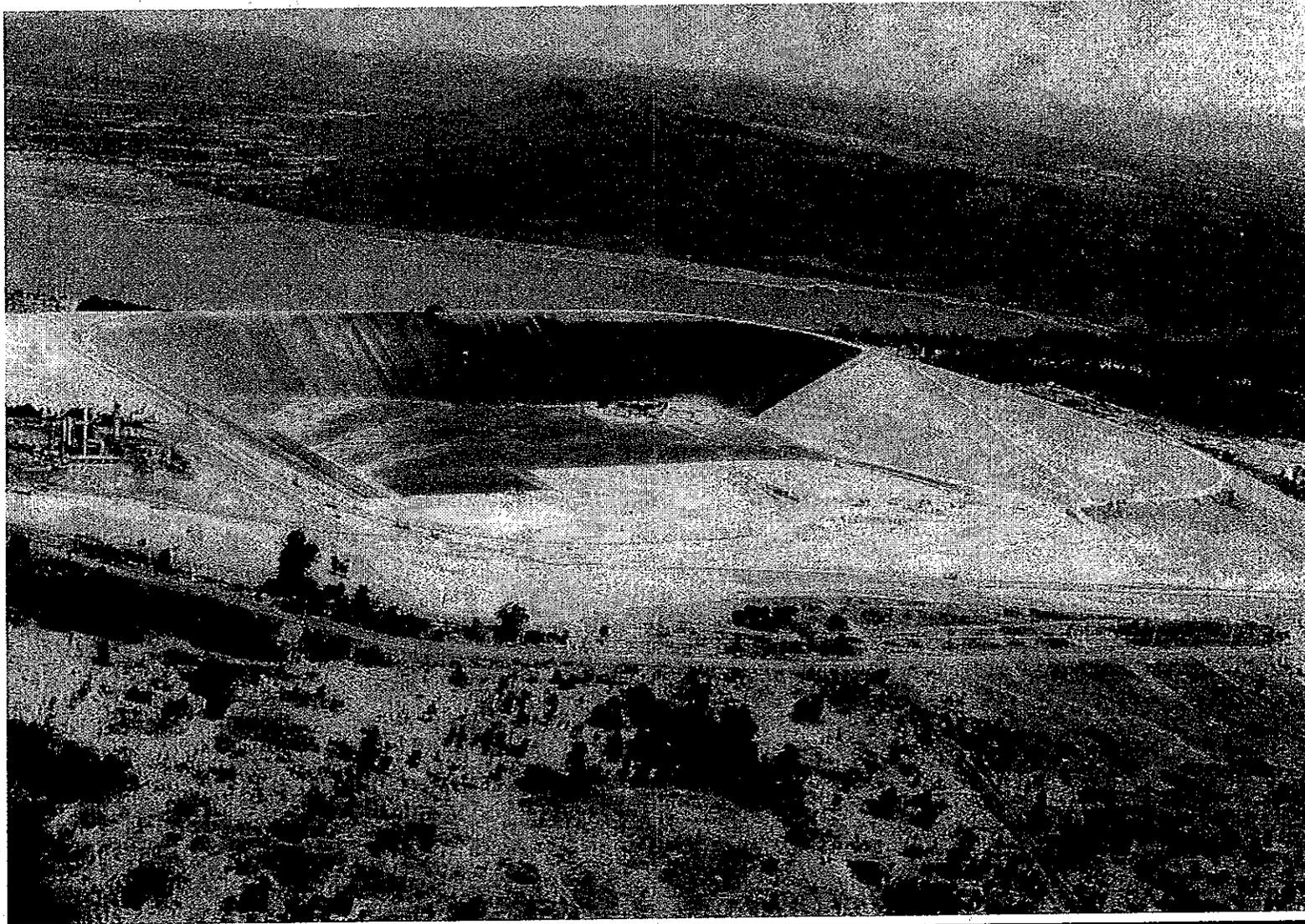
**SUPERIOR**



# DEPOSITO SUPERIOR

- **3.100.000 m<sup>3</sup> de excavación en suelo**
- **3.110.000 m<sup>3</sup> de excavación en roca**
- **5.385.000 m<sup>3</sup> de terraplén**
- **175.000 ton. de pantalla asfáltica**

# DEPOSITO SUPERIOR

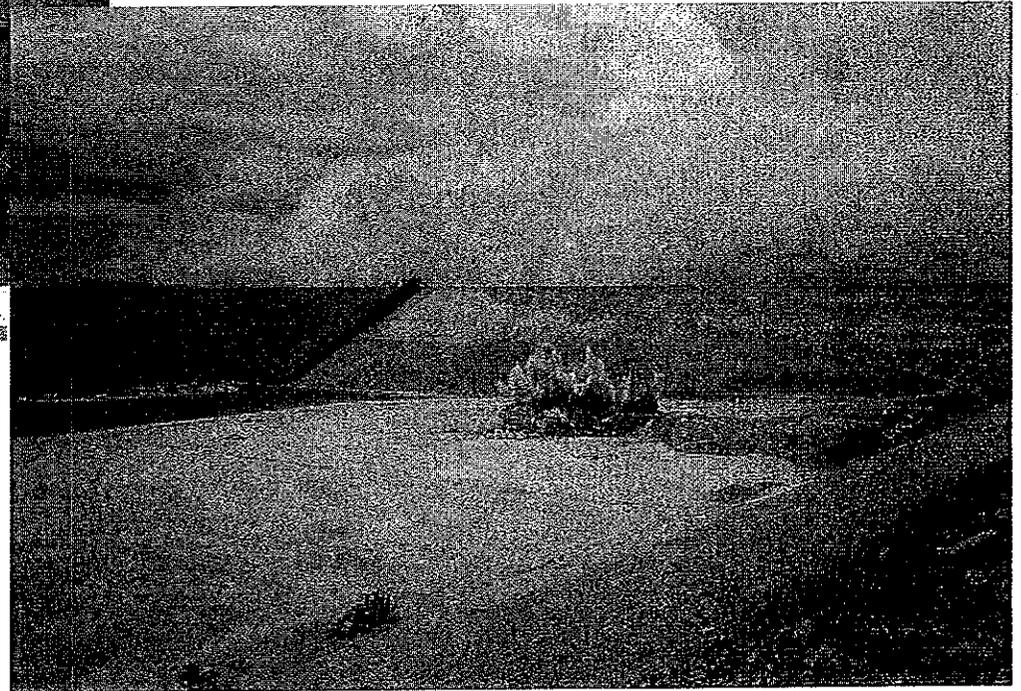


# DEPOSITO SUPERIOR

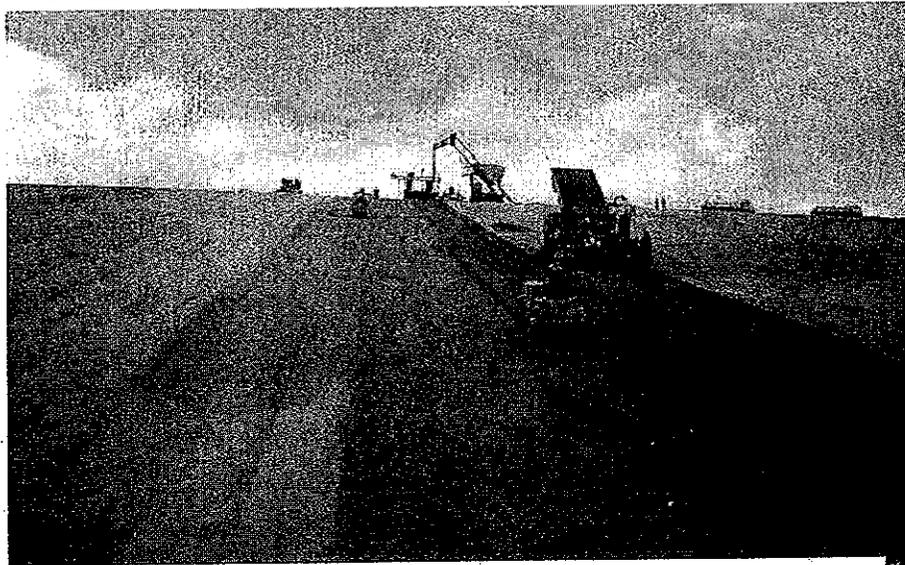


**Dimensiones**

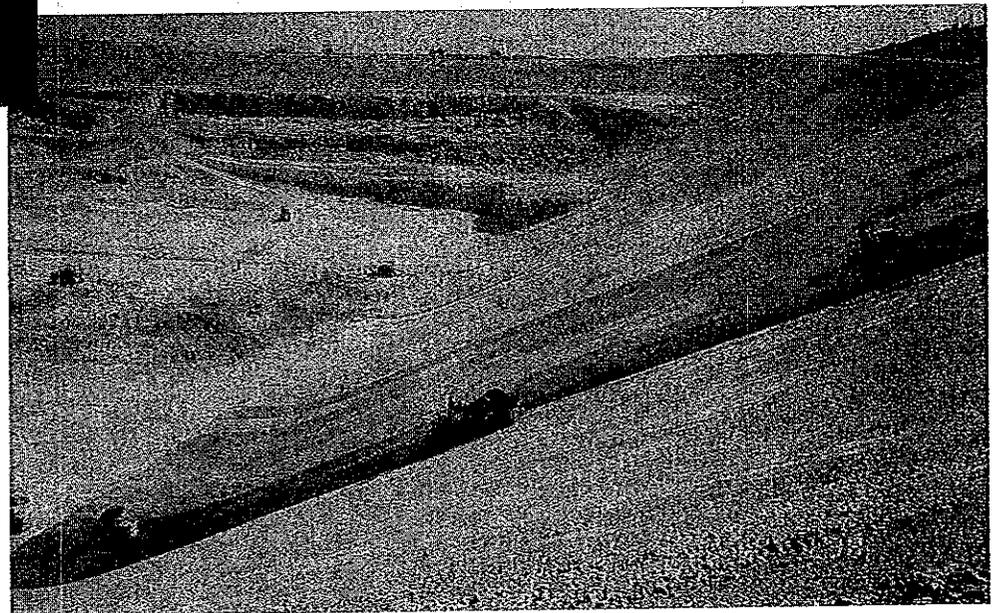
**540 x 540 x 50 m**



# DEPOSITO SUPERIOR



**APLICACIÓN DE LA CAPA DE  
BASE CON MATERIAL  
SELECCIONADO**

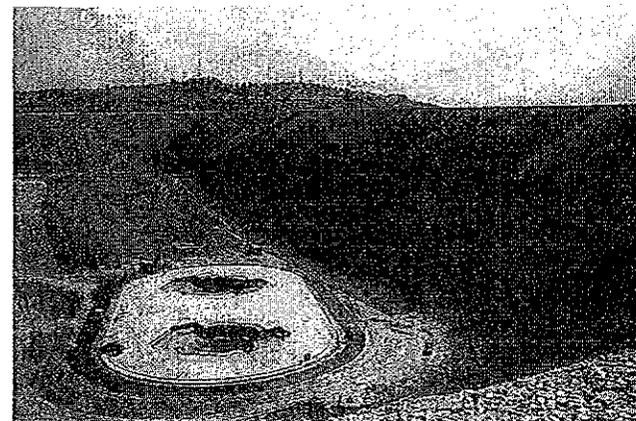
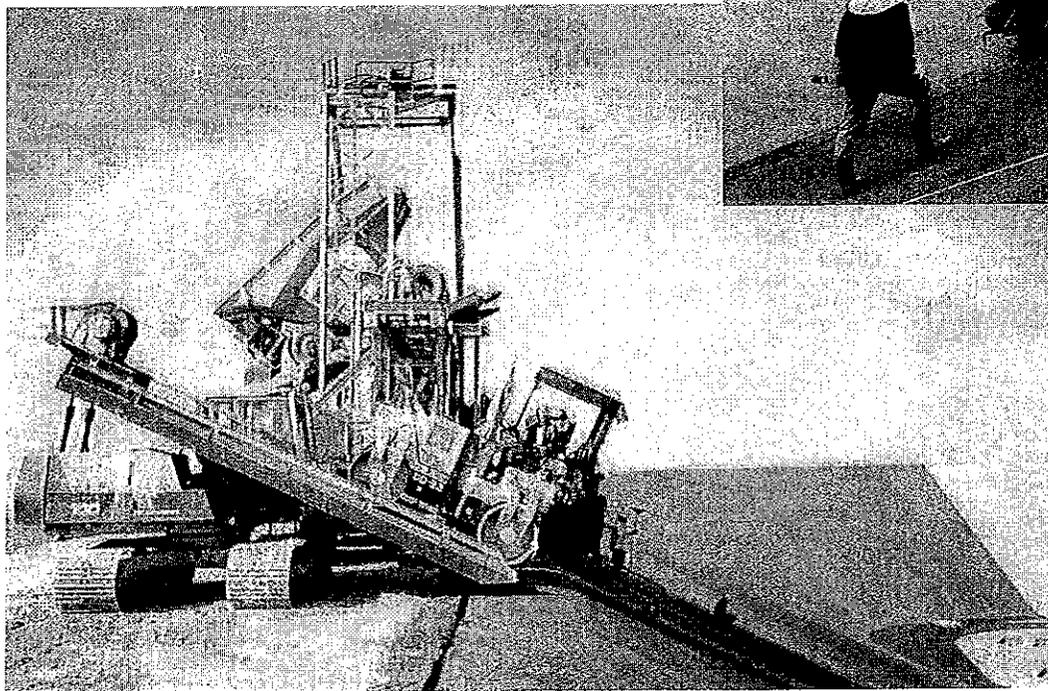
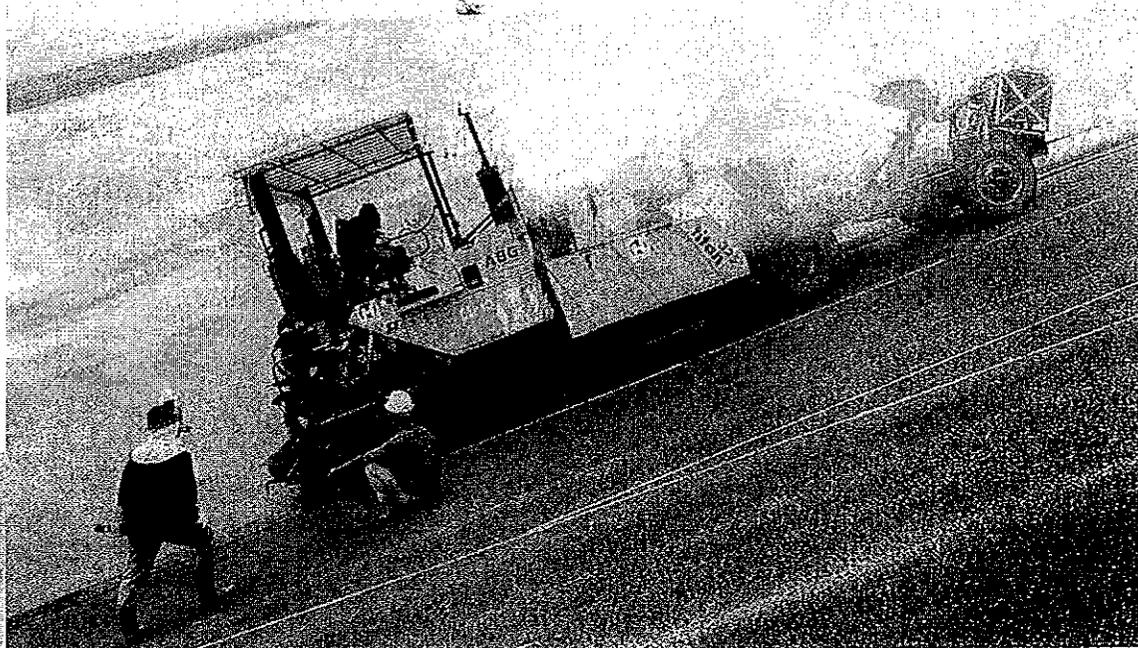


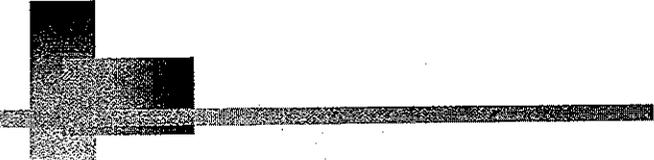
# DEPOSITO SUPERIOR

PANTALLA ASFALTICA

3 X 8 CM

APLICACIÓN DE LA  
CAPA BITUMINOSA





# CONCLUSIONES

- Ejecución de las obras en el plazo previsto
- Buen resultado económico final
- Necesidad de un buen conocimiento del país
- Adopción de usos y costumbres locales