

La Moderna Tecnología “EPBS” en la Construcción de los Túneles de gran diámetro de la Línea 1 del “Metro de Valencia”

gianfranco perri

Los túneles de la línea 1 del Metro de Valencia actualmente en construcción, se están excavando con una maquina escudada **TBM** (*Túnel Boring Machine*) de gran diámetro (9.5 metros), en terrenos constituidos por suelos arcillosos y arenosos, bajo nivel freático y bajo coberturas que varían dentro de un rango aproximado de 7 a 20 metros.

La obra se está excavando aceleradamente (rendimientos de hasta 30 metros por días) con seguridad para el personal técnico y obrero y para las infraestructuras adyacentes sub-superficiales y en superficie, gracias al empleo de la mas avanzada tecnología actualmente disponible para la excavación mecanizada de túneles de gran diámetro en ambiente urbano y en condiciones geotécnicas difíciles. Se trata de la tecnología:

EPBS (*Earth Pressure Balanced Shield*)

Proyecto y Construcción de Túneles con "EPBS" para el "Metro de Valencia - Venezuela"

gianfranco perri

Los túneles de la línea 1 del Metro de Valencia actualmente en construcción, se están excavando con una maquina escudada **TBM** (*Túnel Boring Machine*) de gran diámetro (9.5 metros), en terrenos constituidos por suelos arcillosos y arenosos, bajo nivel freático y bajo coberturas que varían dentro de un rango de 7 a 20 metros.

La obra se está excavando aceleradamente (rendimientos de hasta 30 metros por días) con seguridad para el personal técnico y obrero y para las infraestructuras adyacentes sub-superficiales y en superficie, gracias al empleo de la mas avanzada tecnología actualmente disponible para la excavación mecanizada de túneles de gran diámetro en ambiente urbano y en condiciones geotécnicas difíciles. Se trata de la tecnología:

EPBS (*Earth Pressure Balanced Shield*)

Túneles del “Metro de Valencia” - Venezuela

gianfranco perri – giuseppe siciliano

The construction of the “Metro de Valencia” Line 1 tunnels is currently in progress. A large diameter (9.5 meter) **TBM** (*Tunnel Boring Machine*) is performing the excavation in clayey and sandy soils (under the water levels) which coverures varying approximately from 7 to 20 meters.

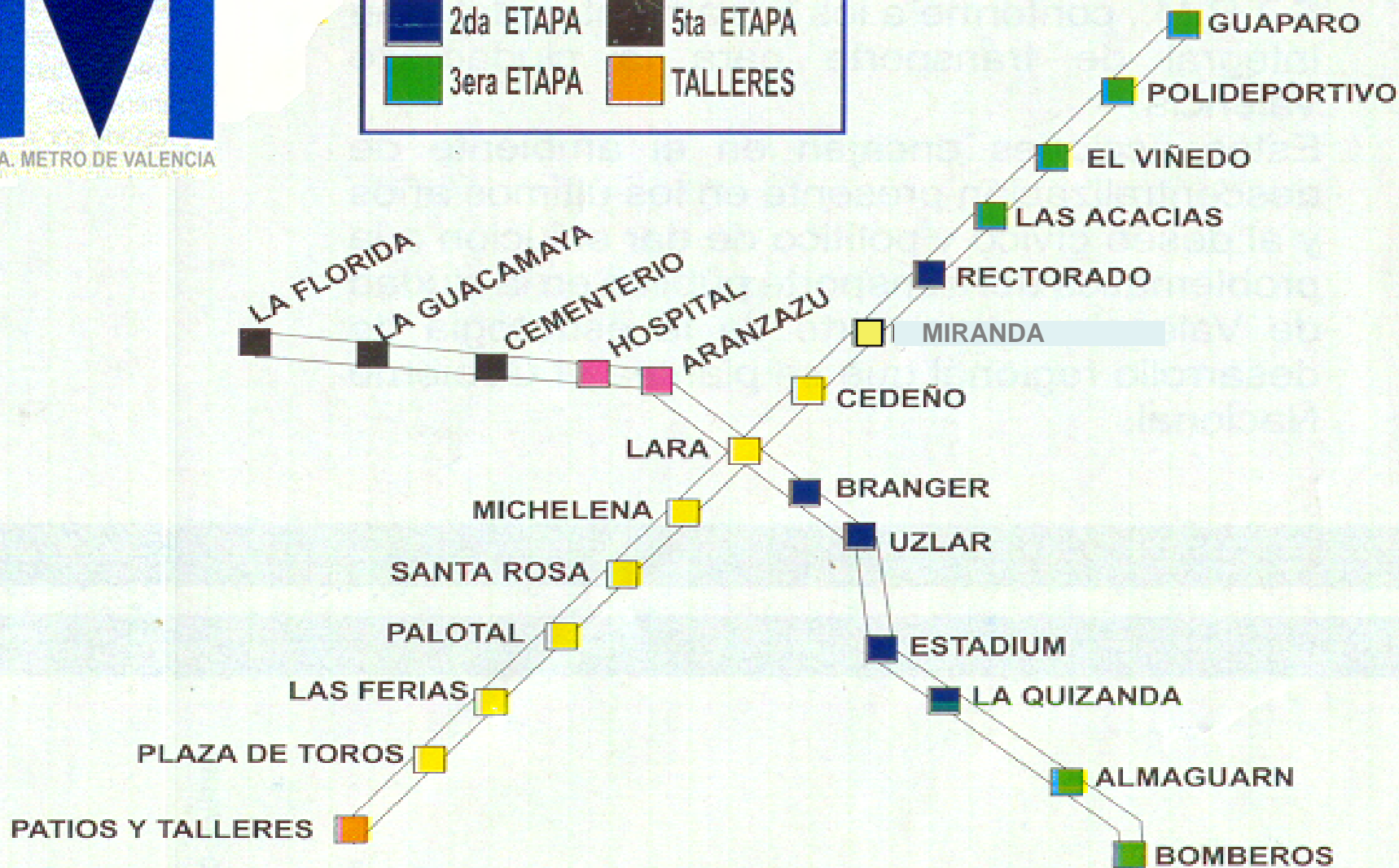
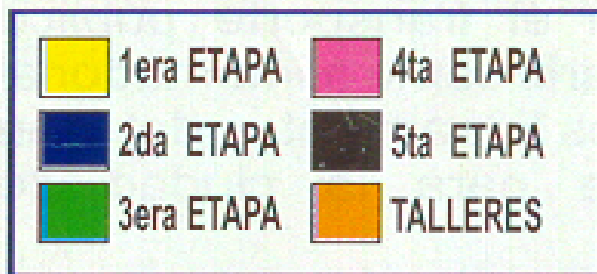
The high construction performance is achieving fast excavation (up to 30 meters per day) offering security to workers and technical personnel, as well as for the surrounding underground and superficial infrastructures.

It is being achieved thanks to the implementation of state-of-the-art technology for the construction of large diameter mechanically excavated tunnels in urban environment and under challenging geotechnical conditions. This technology is known as

EPBS (*Earth Pressure Balanced Shield*)



C.A. METRO DE VALENCIA

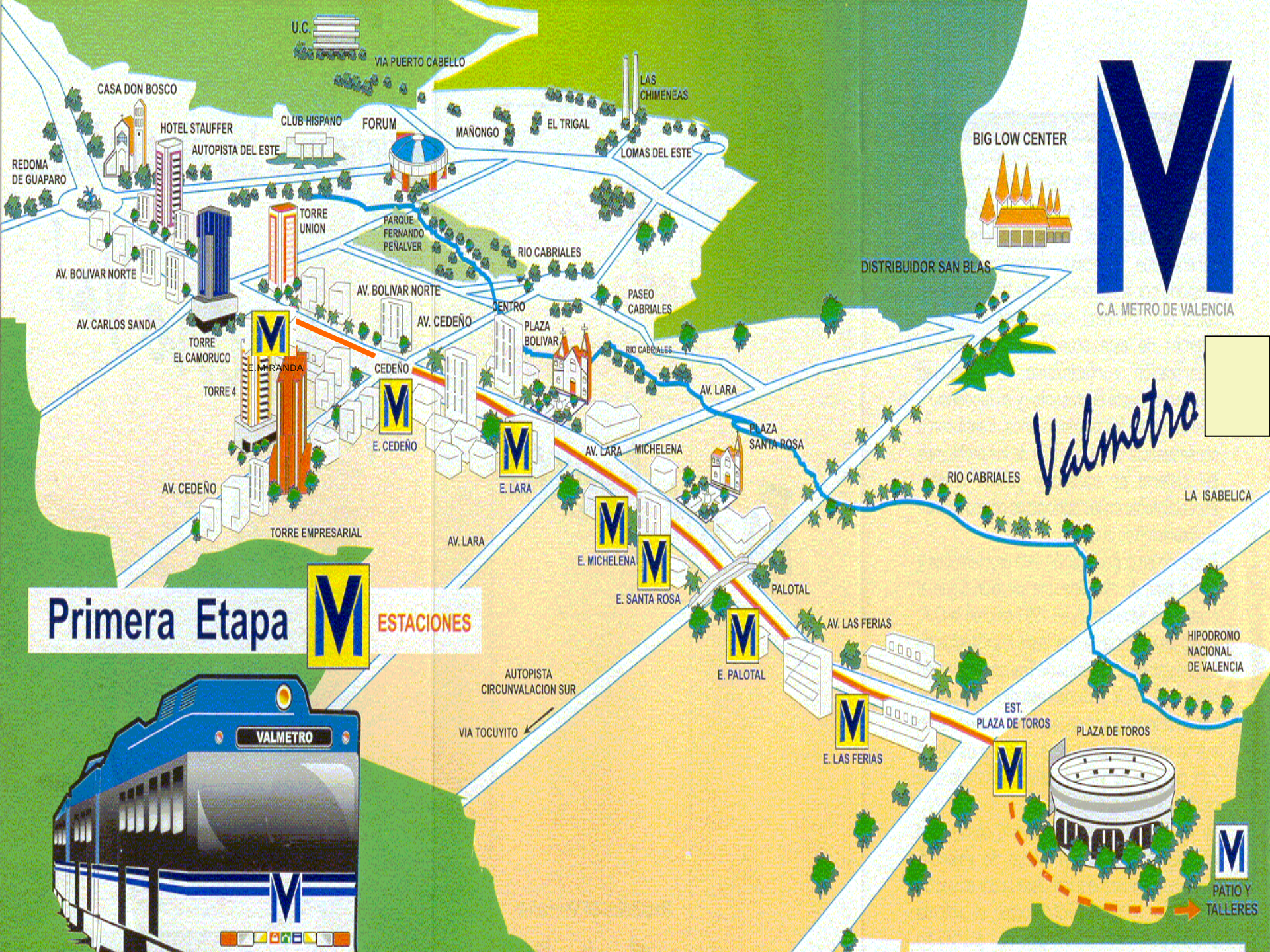




C.A. METRO DE VALENCIA

Valmetro

Primera Etapa ESTACIONES



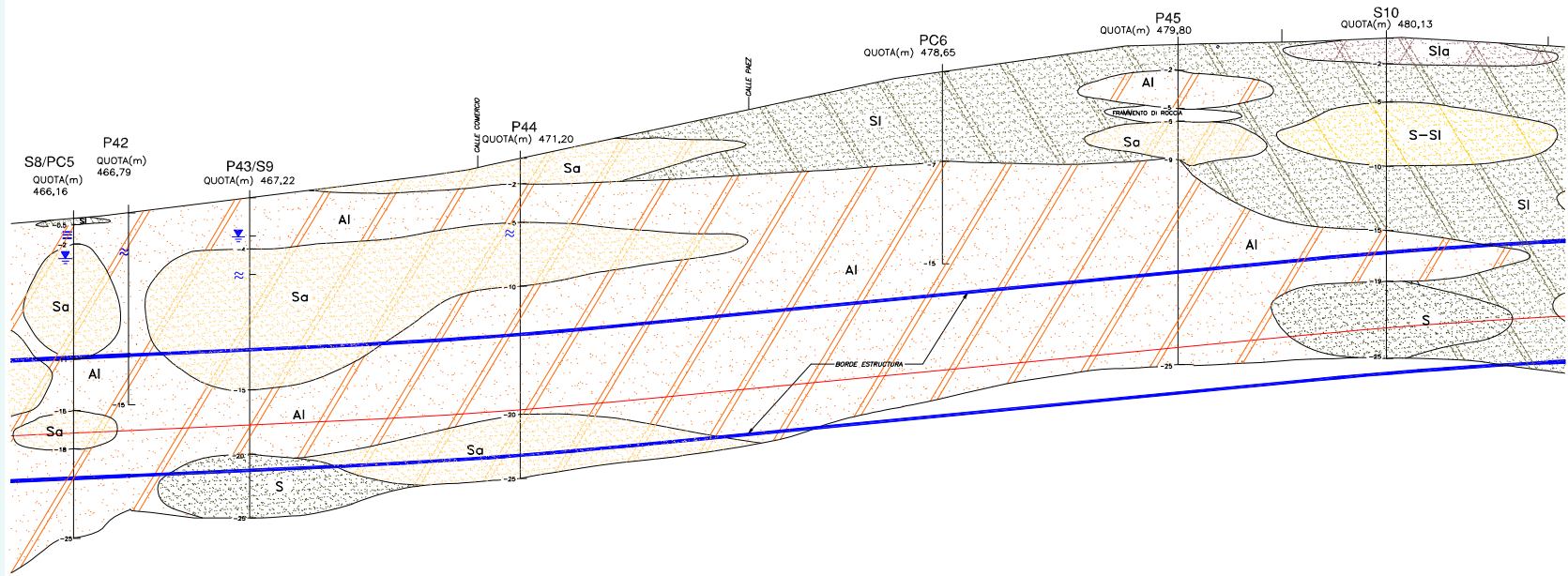
EL SUBSUELO

- La ciudad de Valencia se desarrolla en la llanura del lago que lleva su mismo nombre y en general, los terrenos interceptados por la excavación del túnel están constituidos por **sedimentos cuaternarios de granulometría fina y media, compuestos por intercalaciones de arcillas, arcillas limosas, arenas de arcillosas a limosas, con esporádicos niveles de arenas limpias**. Los niveles arcillo-limosos son los más representativos a lo largo del trazado, mientras que las otras unidades están presentes en geometría a lentes.
- El nivel freático de los acuíferos superficiales presentes en los depósitos cuaternarios a lo largo del alineamiento, es recargado en parte por las lluvias y en parte por los cursos de agua presentes en el área y los datos deducidos de piezómetros instalados a lo largo del trazado muestran que **la tabla de agua se encuentra a una profundidad entre 2 y 10 m** a lo largo de los tramos de línea en construcción .

SUBSOIL CONDITIONS

- The city of Valencia extends over the plain of the similarly named lake. The tunnels generally encounter soils which can be described as **quaternary fine to medium sediments composed by clay, silty clays, silty sands and clayey sands strata with erratic levels of clean sands.** The most common component encountered by the trace of the tunnel is the silty clay, while the other components are encountered in localized geometries and lenses.
- The water level of the superficial aquifers present in the quaternary deposits, is partially recharged by the rain and partly by hydrologic configuration (common water flows) of the area. Data gathered from piezometric records along the path, show that **the water level varies from a depth of 2 to 10 meters** through the construction path.

Caracterización Geotécnica del Subsuelo de la Línea 1 del Metro de Valencia



Al argille limose Sl sabbie limose Sa sabbie argillose S sabbie assortite Su sabbie uniformi

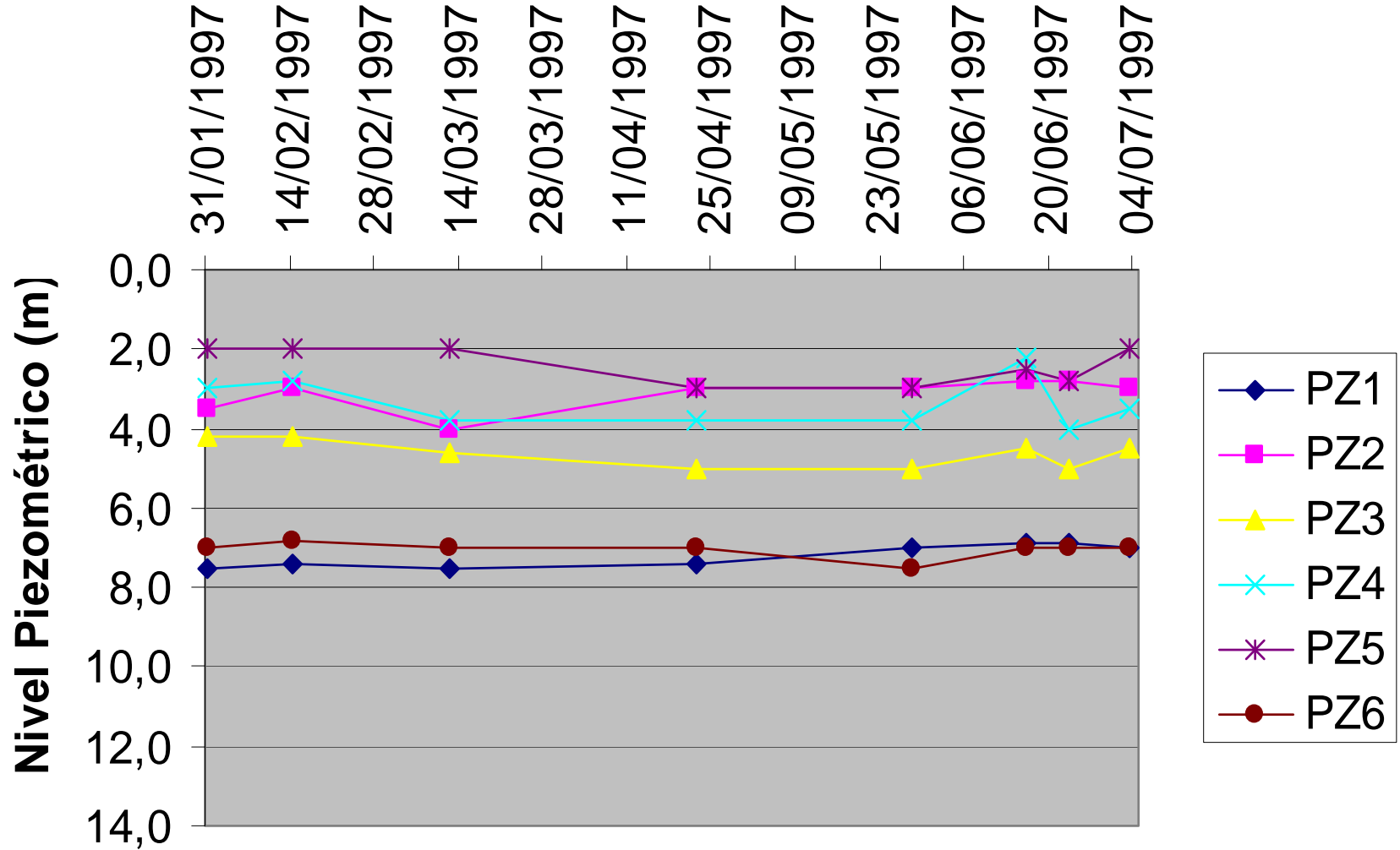
Terreni	γ (kN/m ³)	C' (kPa)	ϕ' (°)	C _u (kPa)	E' (MPa)	ν	k (m/s)
Al	19	0	15 - 20	60 - 80	30 - 50	0,4	10 ⁻¹¹ - 10 ⁻⁸
Sa	20	0	25 - 30	20 - 40	30 - 90	0,33	10 ⁻⁹ - 10 ⁻⁶
Sl	19	0	25	-	30 - 50	0,30	10 ⁻⁸ - 10 ⁻⁵
S/Su	19	0	30 - 35	-	70 - 90	0,30	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁵

CARACTERIZACION GEOTECNICA DEL SUBSUELO

Unidad geotécnica	γ_n	ϕ'	c_u	E'	ν
	KN/m ³	[°]	[kPa]	[MPa]	-
CL	19	15-20	60-80	30-50	0.4
SC	20	25-30	20-40	30-90	0.33
SM	19	25	-	30-50	0.30
SW/SP	19	30-35	-	70-90	0.30

γ_n : Peso de volumen unitario - ϕ : Ángulo de fricción - c_u : Cohesión
 E : Módulo de deformabilidad - ν : Coeficiente de Poisson

NIVEL FREATICO

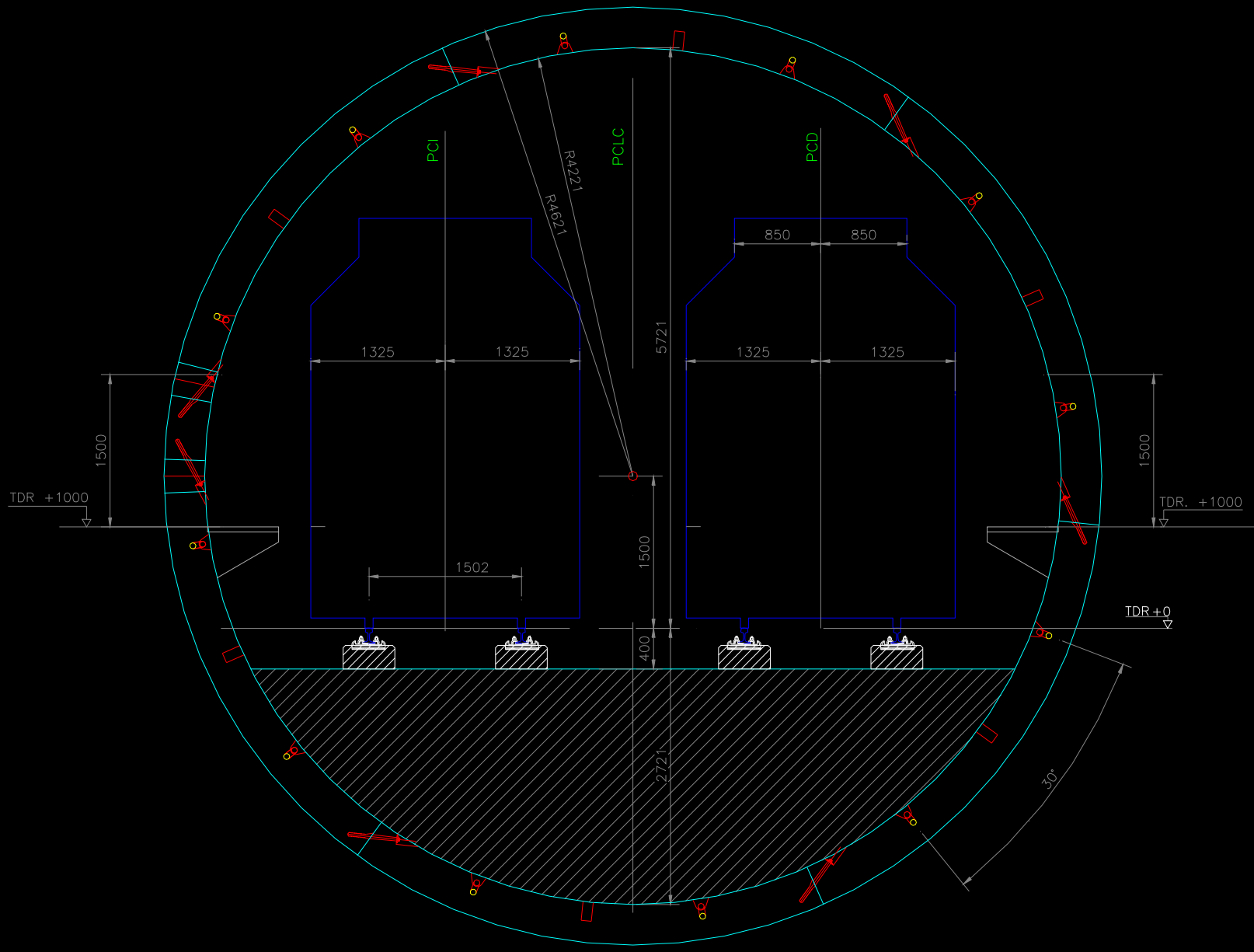


EL TÚNEL

- El túnel de 4221 mm de radio interno neto (8,442 m de diámetro) está siendo construido de manera totalmente mecanizada, mediante el uso de una maquina **TBM** de fabricación **LOVAT**, escudada y con la posibilidad de controlar las presiones en el frente de excavación mediante la adecuada aplicación de presiones de estabilización y control (**EPBS**).
- El túnel esta siendo soportado y revestido mediante secuencia continua integrada a la excavación, con anillos prefabricados en concreto armado largos 1.5 m, compuestos de 7 (6+1 clave) elementos de espesor uniforme igual a 40 cm y diámetro interno igual a 8,442 m (el externo será 9,242 m).
- El confinamiento del terreno circundante la excavación está garantizado por el escudo de acero de la **TBM**, luego al frente por la presión ejercida en la cabeza de la TBM en una cámara de presión de tierra balanceada (**EPB**) y en la cola, por medio de una inyección a presión de mezcla de cemento que se ejecuta contemporáneamente con el avance de la máquina a la salida de cada anillo con el propósito de garantizar el llenado del vacío anular existente entre la parte externa del anillo de revestimiento y el perfil de excavación logrando al mismo tiempo el confinamiento total del anillo de revestimiento.
- La impermeabilidad del revestimiento se garantiza mediante sellos plásticos ubicados en los alojamientos dispuestos para este fin sobre el contorno, en proximidad de la cara externa, de cada elemento de los anillos.

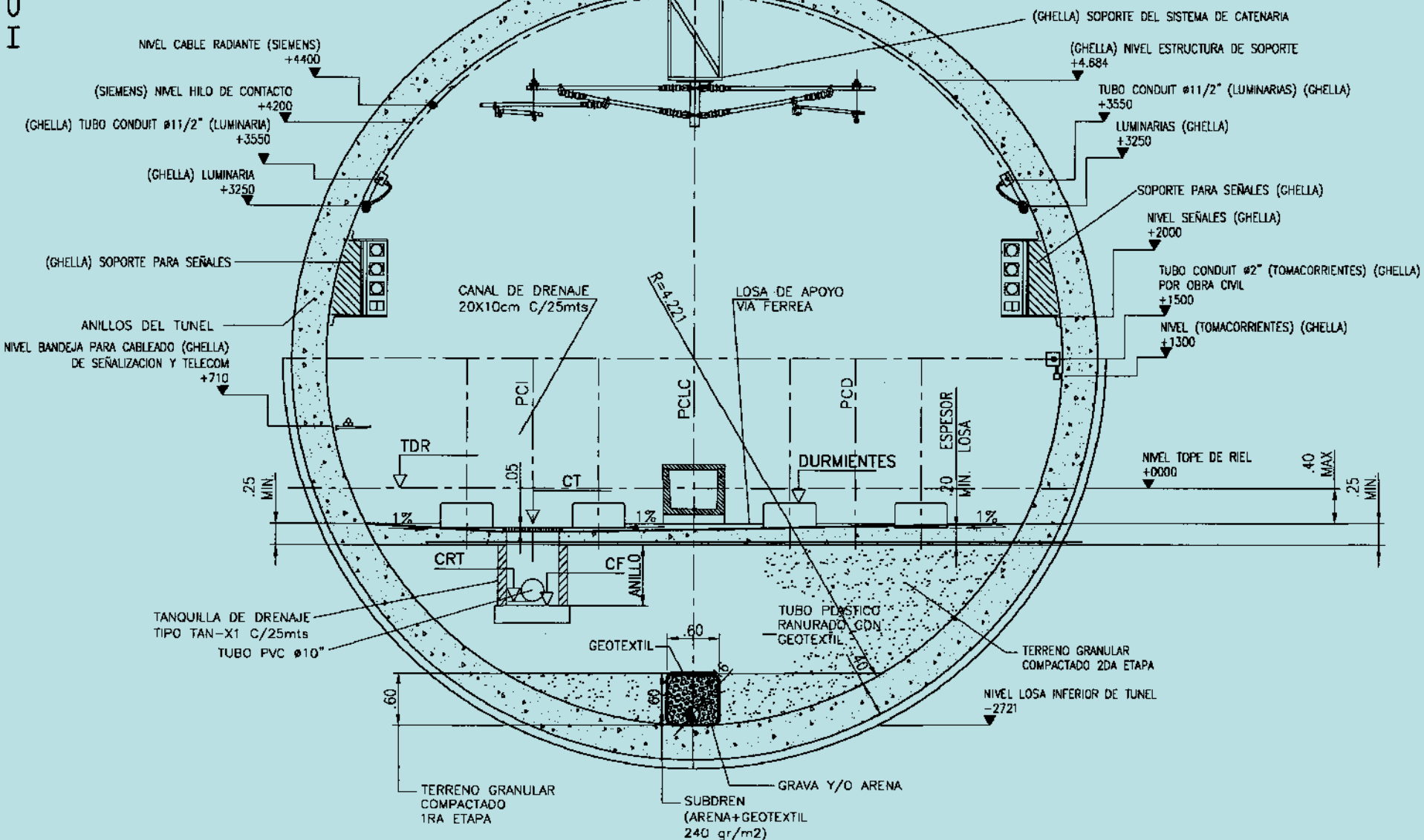
THE TUNNEL

- The 4,221 m internal radius tunnel (8,442 m diameter) is being constructed in a entirely mechanized manner. It is being done with the use of a shielded LOVAT TBM machine which is able to control the excavation front pressures thru adequate application of stabilization pressures and control (EPBS).
- The tunnel is being supported and lining by prefabricated 1.5 m long reinforced concrete rings which are being installed by a continuous sequencing excavation method. The rings are composed of 7 (6+1 key) 40cm thick elements which internal diameter measures 8,442 m (9,242 m external).
- The necessary soil confinement surrounding the excavation is guaranteed by the TBM's steel shield. The front confinement is guaranteed by the pressure imposed by the TBM's head in a pressure confined chamber (EPB) and in the back, by the injection of a pressurized cement mix which is injected after each ring's placement. As the machine advances the cement mix guarantees the fill up of the annular voids that exist between the rings and the excavated profile. This allows for the complete confinement of the support ring.
- The support's impermeability is guaranteed by plastic sealing placed in their predisposed locations near the external face of the ring's perimeter.



LADO OESTE

LADO ESTE

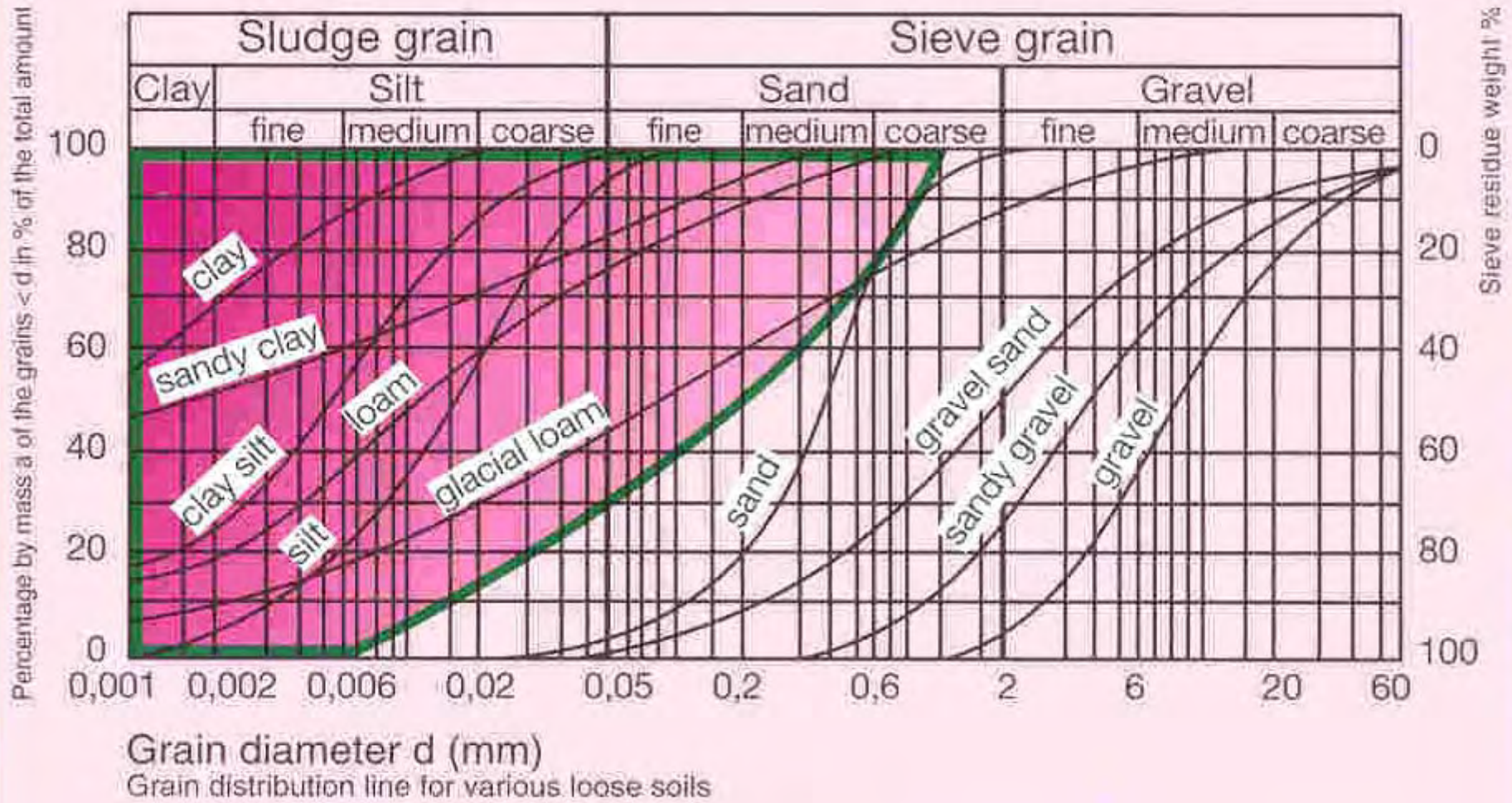


SECCION TRANSVERSAL TIPICA DEL TUNEL S/F

LA TECNOLOGÍA EPBS

- La tecnología **EPBS**, estabiliza el frente de excavación con la contrapresión transmitida por parte de la tierra ya excavada, previamente acondicionada y mezclada en el mismo frente de la excavación en una cámara de presión, desde la cual se va evacuando por medio de un tornillo sin fin, solo en la misma cantidad que se excava, manteniendo dentro de la cámara de tierra al frente un volumen prácticamente constante.
- La tecnología **EPBS** permite además que mantener la estabilidad del frente de excavación, minimizar los asentamientos que se pueden producir en superficie durante la excavación.
- Para evitar los asentamientos en la cola del escudo, esta tecnología está además complementada con un sistema continuo de inyección a presión del espacio anular que se forma durante el avance, entre la excavación y el revestimiento prefabricado instalado en la cola misma del escudo.

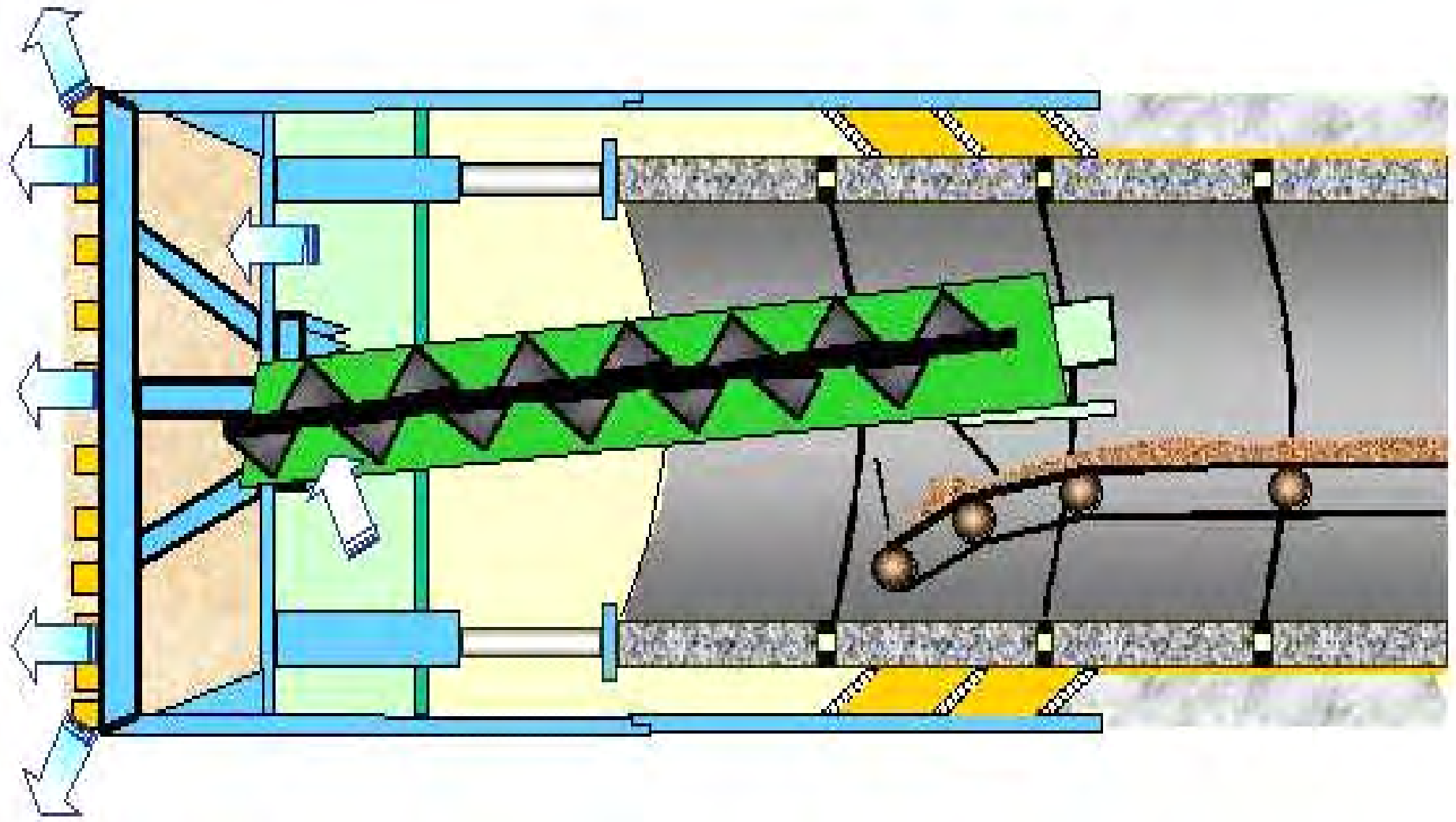
Distribuciones granulométricas ideales para la tecnología EPB



Red zone: classic conditions for EPB-machines

LA TECNOLOGÍA EPBS

- Si en el frente de excavación está presente un terreno que contiene un porcentaje mayor o igual a aproximadamente un 30% de “finos” (pasantes al tamiz 200), es suficiente añadir solo la cantidad de aguas, si hiciera falta, necesaria para obtener una mezcla de suelo excavado que sea: suficientemente impermeable y suficientemente viscosa, y por ende capaz de transmitir la presión al frente sin pérdidas por excesiva penetración en los estratos más permeables y/o por filtración de agua en presión hacia el tornillo sin fin de la salida.
- Para terrenos mas granulares, se emplean aditivos especiales (espumas)
- En la práctica siempre se utilizan aditivos para acondicionamiento y para así corregir los cambios en la humedad y en la granulometría del terreno excavado en el frente y a tales efectos, se utilizan espumas para sustituir los finos faltantes y el agua intersticial, mientras que, en los casos de frentes con predominio absoluto de arenas y/o gravas, se añadirán polímeros para aumentar la viscosidad del agua intersticial y así disminuir la permeabilidad en el frente y en la cámara.



Earth Pressure Balance Shield

CONDITIONING AGENTS

FOAMING AGENT

FOAMEX TR (extra high properties, liquid form)
FOAMEX EC (foaming agent and polymer mixture, liquid form)

POLYMER

DRILLAM MV (synthetic polymer, liquid form)
CARBOCEL C190 (natural polymer, powder form)
CARBOCEL K190 (natural polymer with high shale inhibition properties, powder form)
LAMSEAL G (superabsorbent polymer, granular form)

DEFOAMER

DEFOMEX (liquid form)

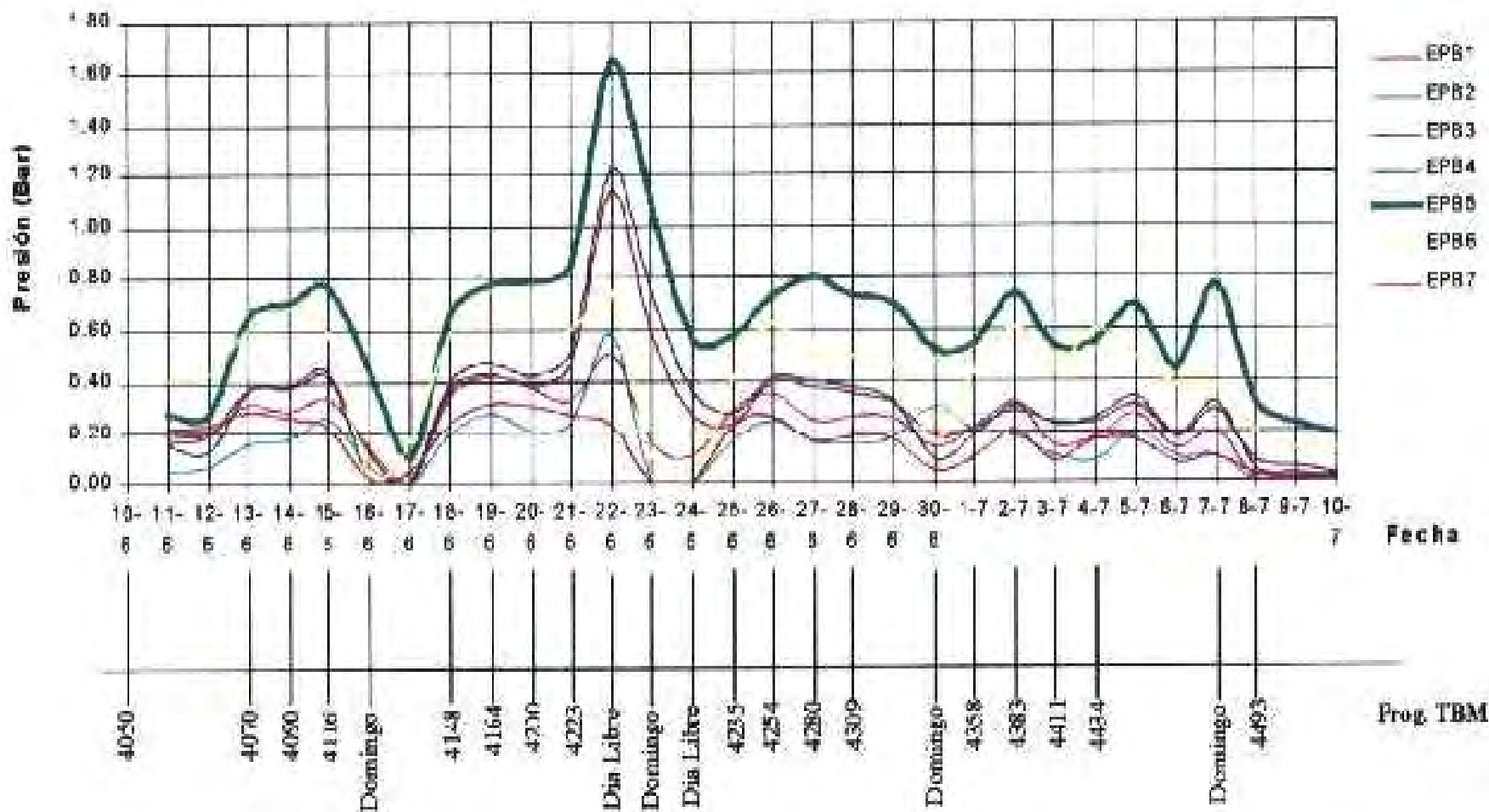
LUBRICANT

LUBRICANT L 102 (liquid form)

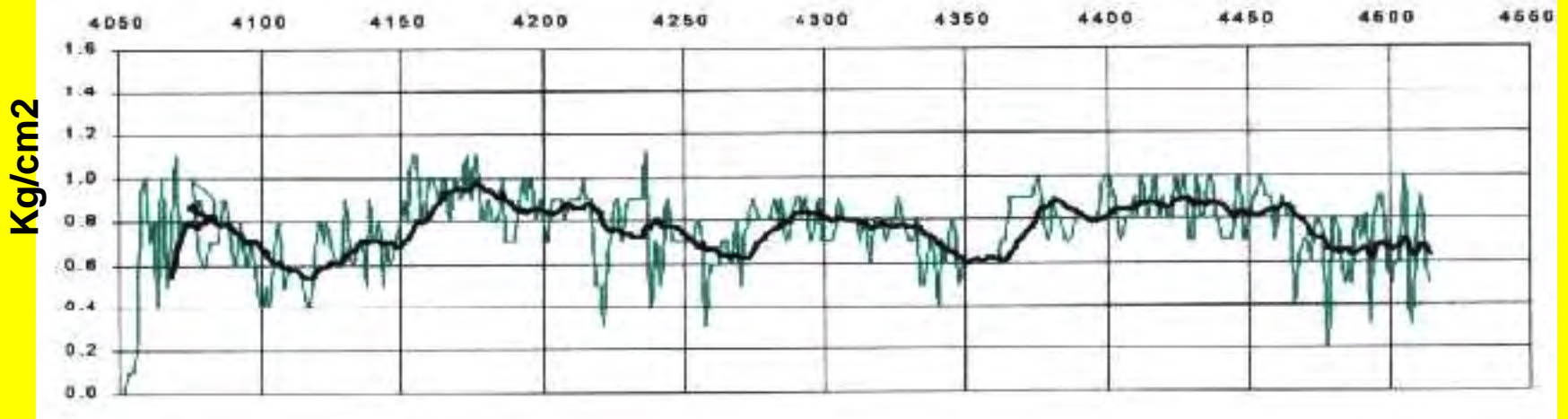
DISPERSANT

LAMSPERSE HS (liquid form)

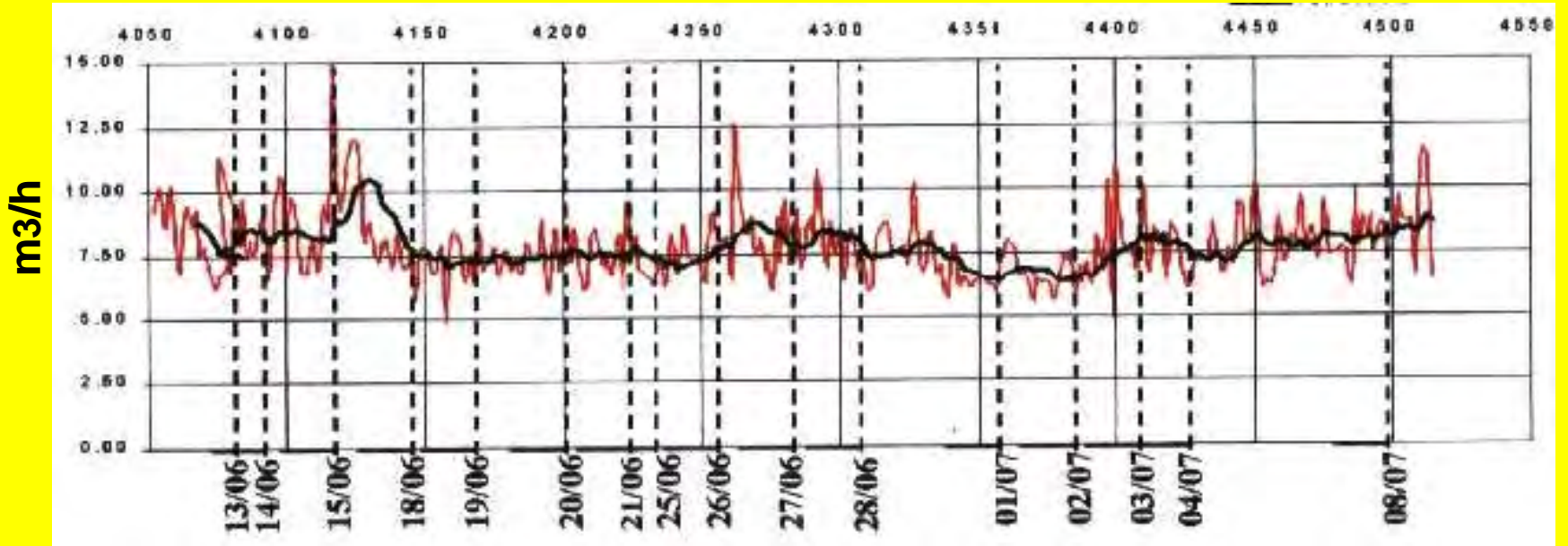
Presiones en la cámara EPB: promedios del día



Presion de inyeccion del mortero de relleno en la cola del escudo



Volumen de inyeccion del mortero de relleno en la cola del escudo



Diámetro excavación	9.519m
Longitud del escudo + Backup	180 m
Peso de la TBM + Backup	990 ton est.
Velocidad de avance de diseño	8 cm/min
Mínimo radio de curvatura	300 m
Conicidad del escudo	13 mm
Potencia total instalada	5100 kw
Torque de la cabeza	1022 t.m @ 1,97 rpm
Torque máximo	2043 t.m @ 0,98 rpm
Torque pico	2 452 t.m
Presión de diseño sello estático	8Kg/cm ²
Potencia de la cabeza cortadora	2700 kw
Diámetro de tornillo sin fin	1,1 m
Potencia del tornillo sin fin	300 kw
Numero gatos de empuje	30
Empuje por gato a 340 Kg/cm ²	180 t/gato
Empuje máximo total a 340 Kg/cm ²	5400 t
Empuje por gato a 408 Kg/cm ²	215 t/gato
Empuje máximo total a 408 Kg/cm ²	6450 t
Carrera de los gatos	2.250 m
Zapatas de empuje	813 mm * 311 mm
Área zapatas de empuje	2445 cm ²
Radio cilindro de empuje	4437 mm

Especificaciones Básicas De la EPBS (LOVAT)





LOVAT



Ghella Sogene, C.A.

Metro de Valencia

Beatriz

LOVAT

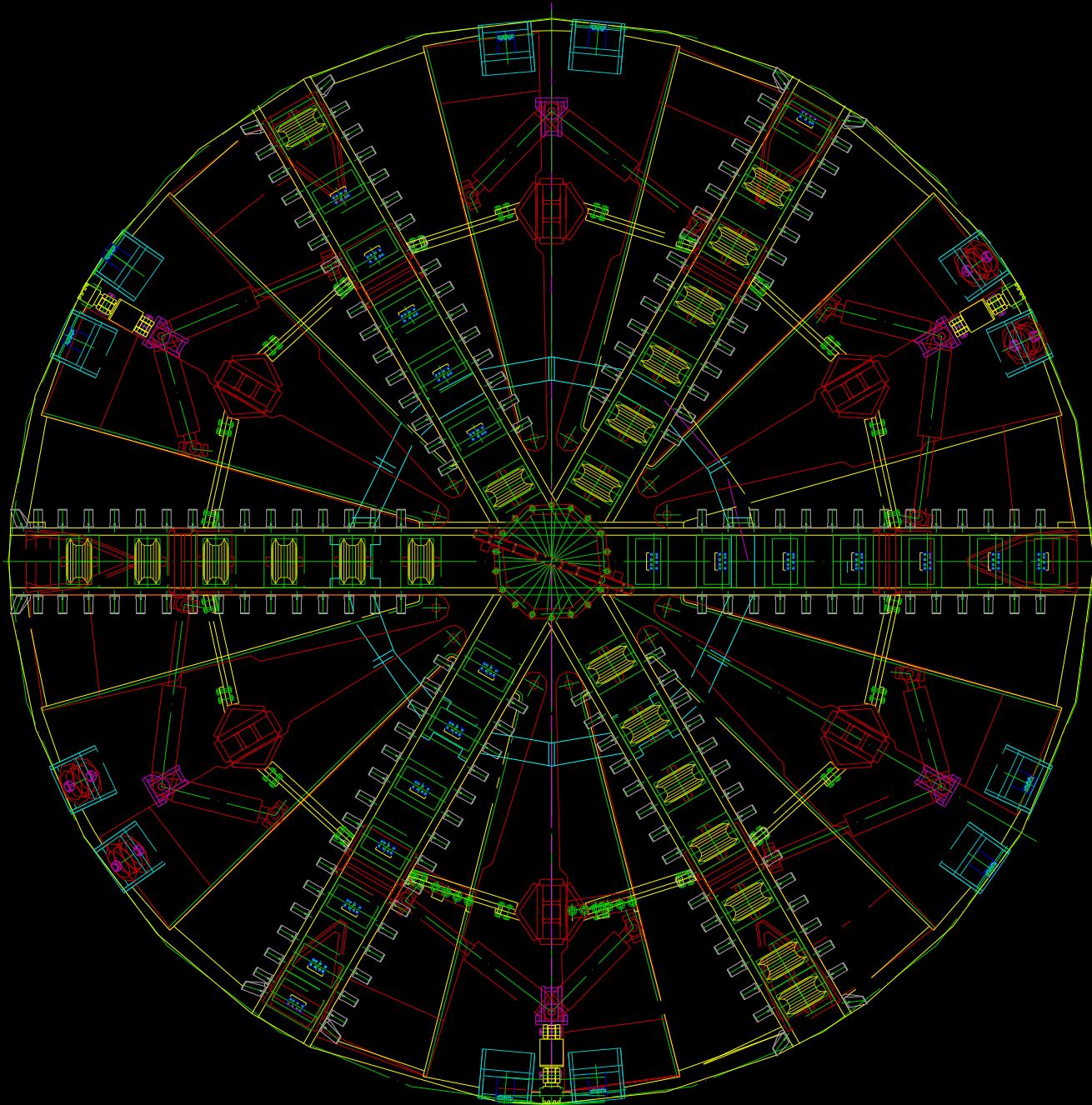
LOVAT

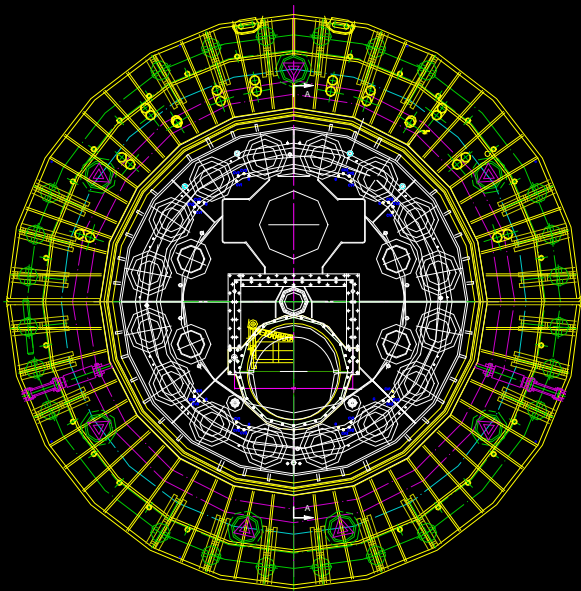
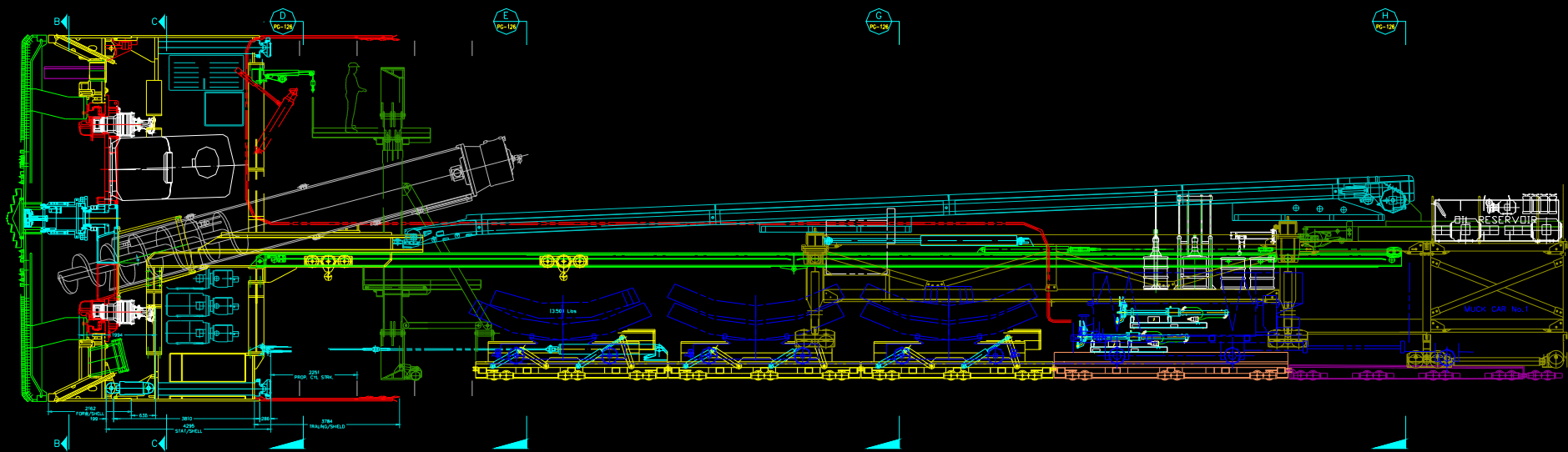
LOVAT

LOVAT

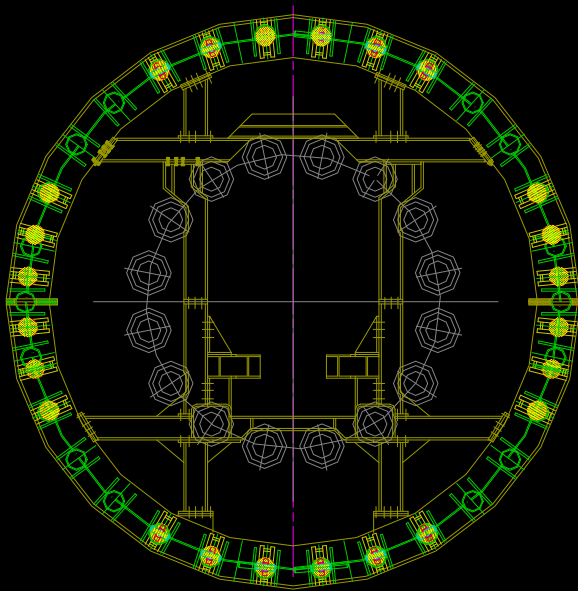
LOVAT

LOVAT

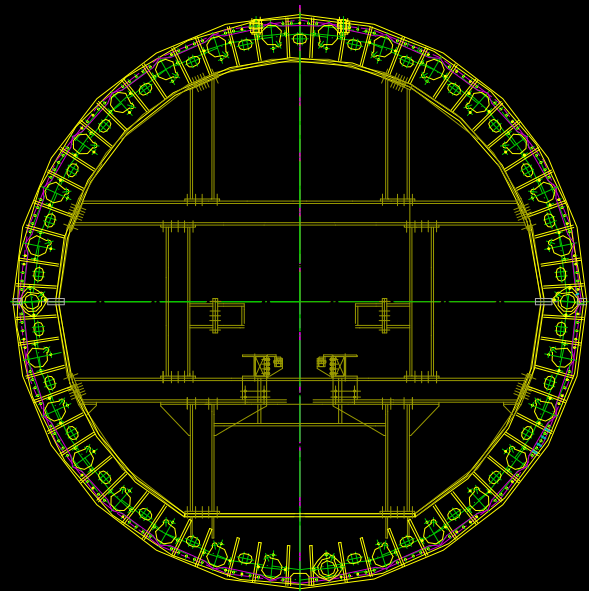




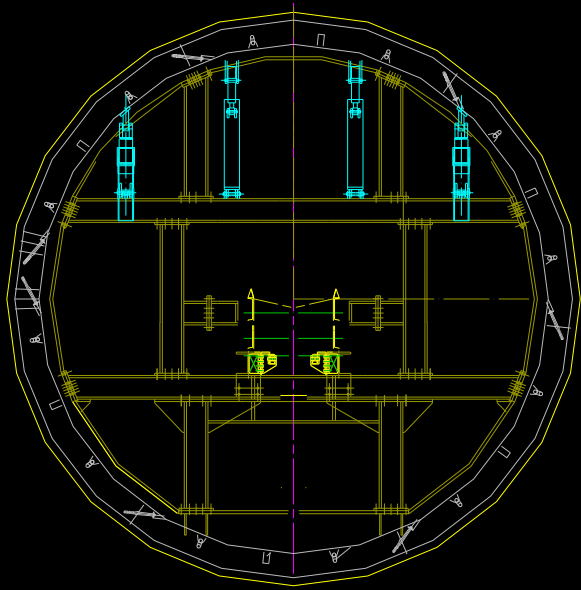
SECCION B-B 1:500



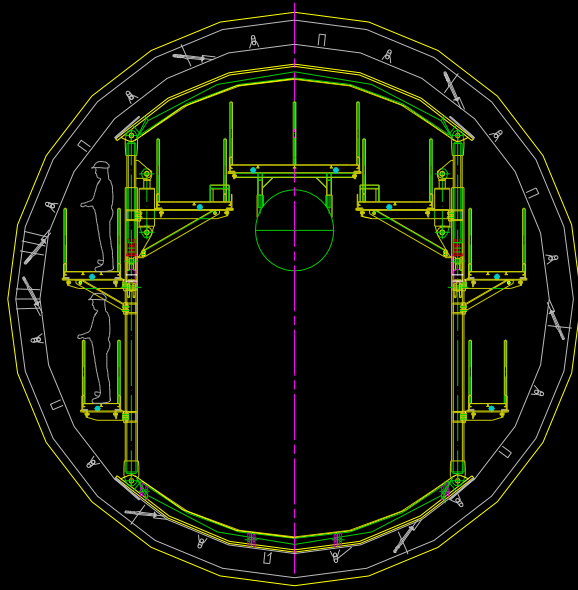
SECCION C-C 1:500



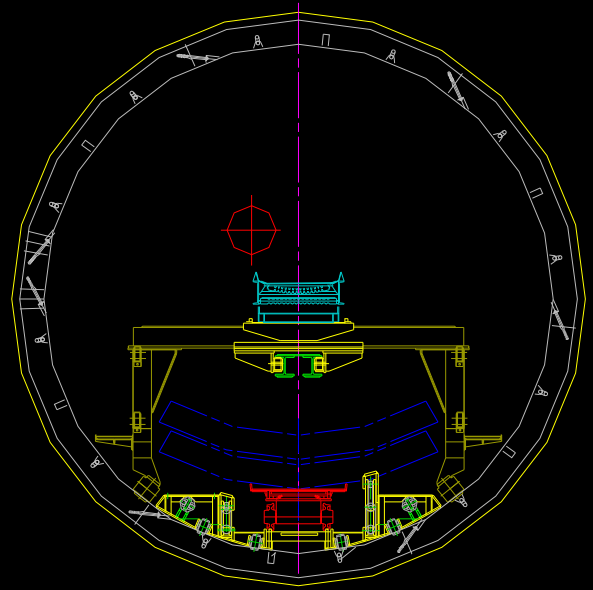
SECCION D-D 1:500
PG-126 PG-125



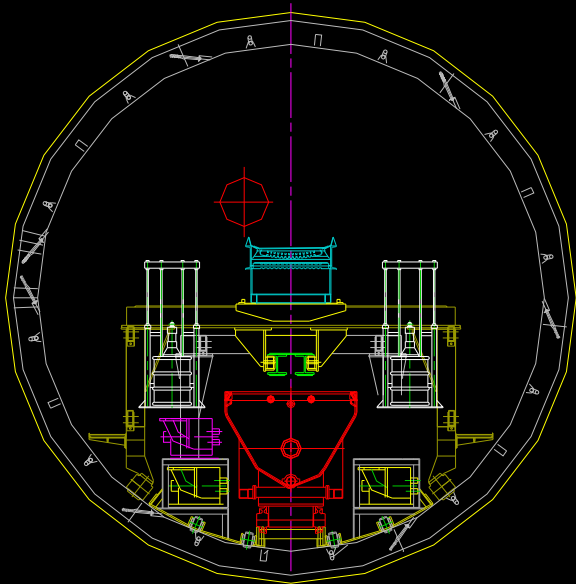
SECCION E
PG-126 PG-125 1:50



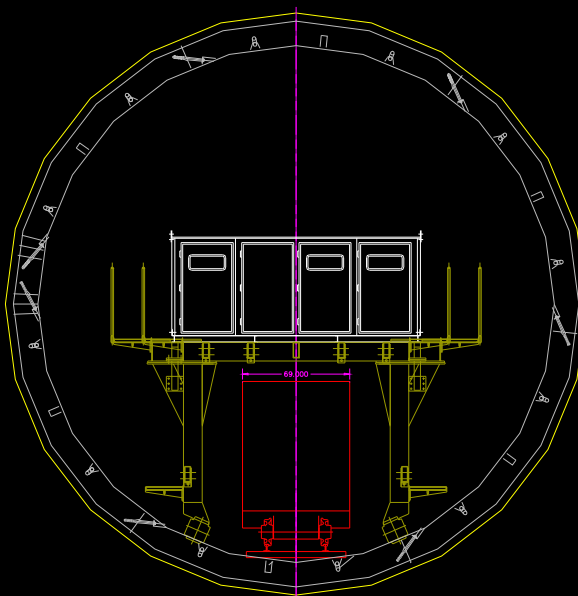
SECCION F
PG-126 PG-125 1:50



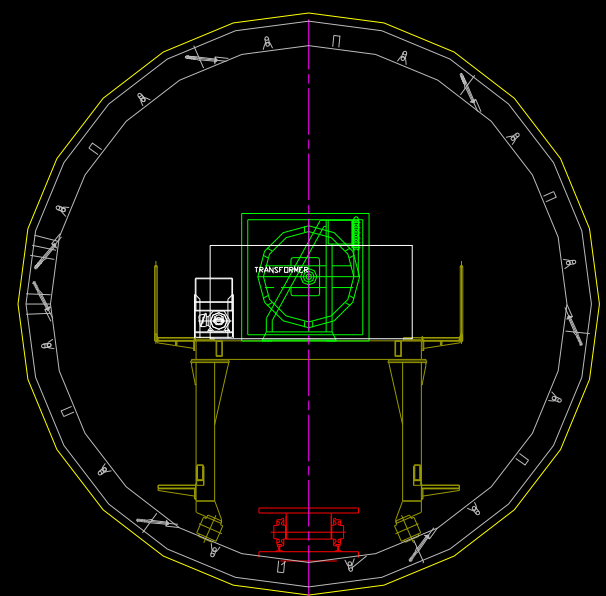
SECCION G
PG-126 PG-125 1:50



SECCION H
PG-126 PG-125 1:50



SECCION K
PG-126 PG-125 1:50



SECCION L
PG-126 PG-125 1:50

MEZCLA MORTERO INYECCIÓN (1 m³)

<i>Materiales</i>	<i>Cantidades</i>
<i>Cemento</i>	200 Kgs
<i>Arena Extra Fina (Máx. N° 8)</i>	1010 Kgs
<i>Polvillo (Máx. 1/4")</i>	433 Kgs
<i>Aditivo</i>	1,60 Lts
<i>Agua</i>	380 Lts

<i>agua / cemento</i>	1,90
<i>Densidad (Kgs/m³)</i>	2025

Equipo de inyección
PUTZMEISTER WERK
D 72629 AICHTAL 2 / STUTTGART
TIPO KOV 1020 DUO
PRESION MÁXIMA: 95 bar

MEZCLA CONCRETO ANILLOS (1 m³)

<i>Materiales</i>	<i>Cantidades</i>
<i>Cemento</i>	360 Kgs
<i>Arena (Máx. 3/8")</i>	953 Kgs
<i>Piedra (Máx. 1")</i>	1075 Kgs
<i>Aditivo</i>	3,60 Lts
<i>Agua</i>	135 Lts

<i>agua / cemento</i>	0,38
<i>Densidad (Kgs/m³)</i>	2526

Consumos de Excavación

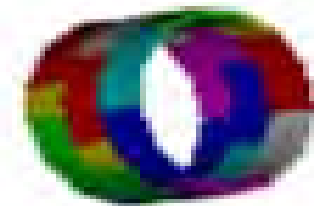
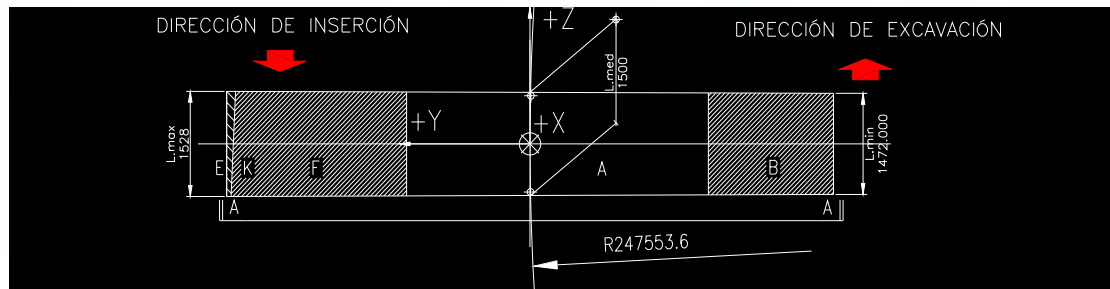
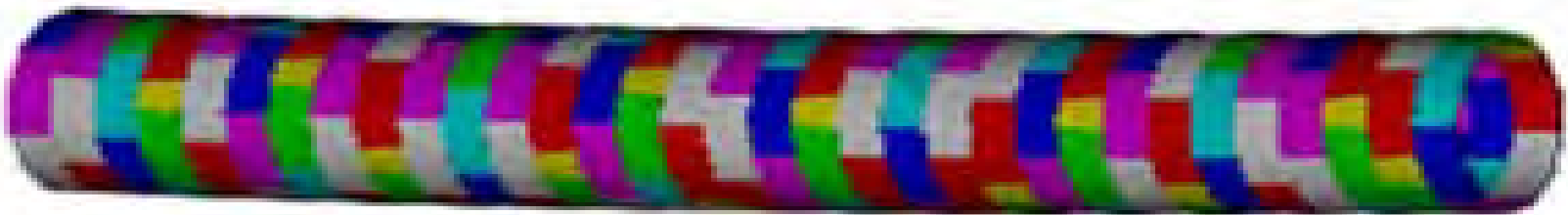
	<i>Longitud Excavacion (ml)</i>	<i>Volumen Excavacion (m3)</i>	<i>Consumo medio de Jabon Tipo CONDAT (CLBF4/TM) (lt/m3)</i>	<i>Total Consumo de Jabon Tipo CONDAT (CLBF4/TM) (lt)</i>
<i>Tramo 1</i>	541.71	38,551.05	1.26	48,574.32
<i>Tramo 2</i>	475.97	33,872.81	1.17	39,631.19
<i>Tramo 3</i>	544.65	38,760.28	1.22	47,287.54
<i>Tramo 4</i>	555.33	39,520.40	1.07	42,286.83
<i>Tramo 5</i>	981.18	69,826.37	1.02	71,222.90

EL REVESTIMIENTO

- El revestimiento del túnel del Metro de Valencia está constituido por un anillo de concreto armado de espesor igual a 40 cm, compuesto por 7 elementos prefabricados (segmentos, o dovelas) ensamblados para configurar anillos de longitud 1.5 metros.
- Ya que la TBM avanza y excava apoyándose en la secuencia de anillo ya montada, el dimensionado y la verificación de los segmentos que conforman los anillos, dependen en gran parte de las condiciones de interacción con el sistema de empuje de la máquina (gatos).
- El anillo diseñado es de tipo universal, es decir idóneo ya sea para seguir el curso de las curvas verticales y horizontales presentes a lo largo del trazado (hasta con un radio = 300 m), ya sea para continuar la excavación en línea recta, con la posibilidad también de corregir eventuales desviaciones propias de la máquina.
- Una secuencia de anillos universales en efectos, cada uno de los cuales rotado oportunamente en torno al propio eje respecto al anillo precedente ya instalado y sin incluir ningún anillo especial, permite seguir cualquier trazado manteniendo sobre una única superficie plana la zona de contacto entre anillos sucesivos.

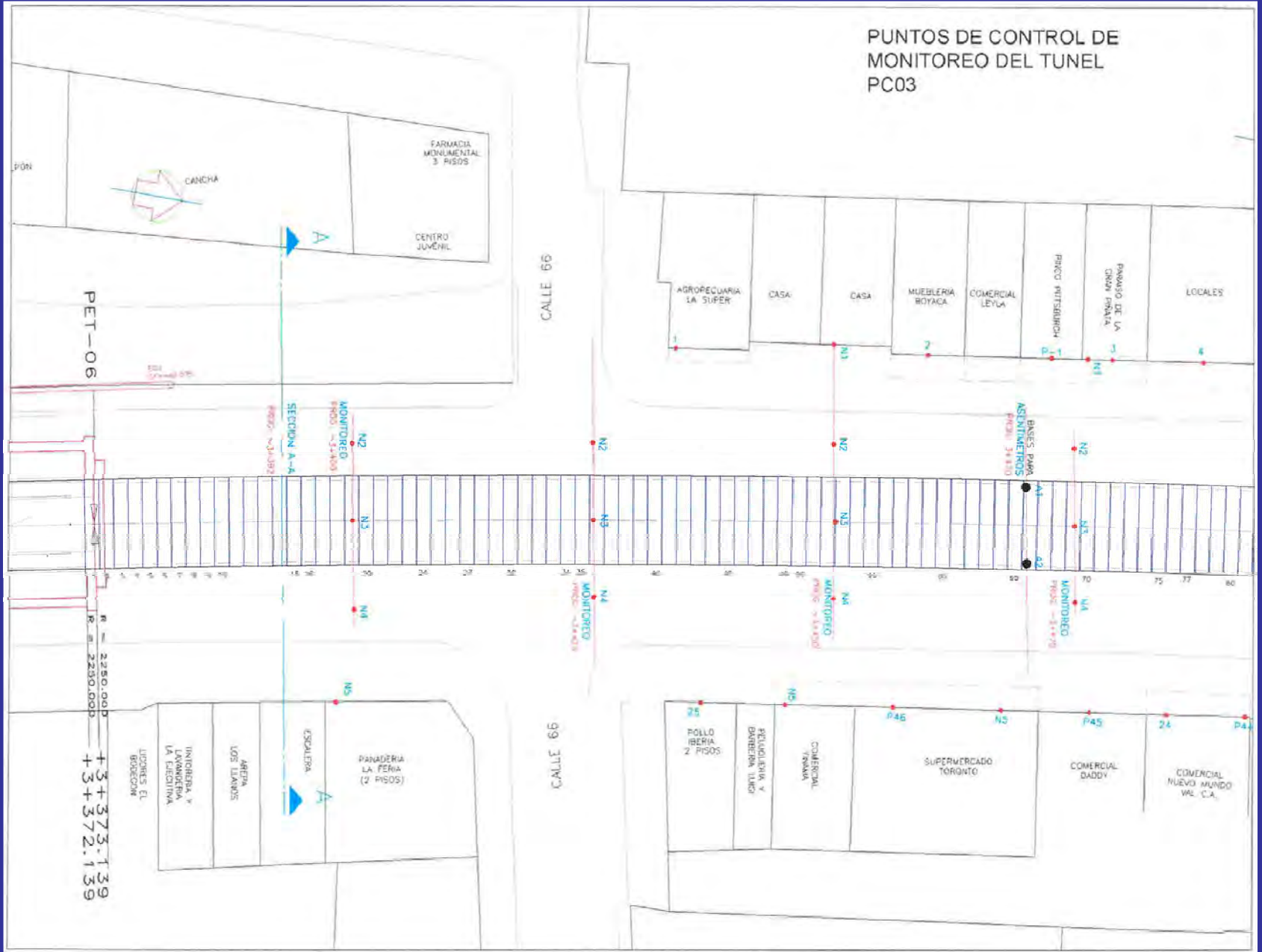
El Anillo Universal

La característica geométrica fundamental de un anillo universal se basa en el hecho que las dos secciones terminales del mismo no son paralelas; en consecuencia los segmentos que componen el anillo tienen longitudes diferentes entre ellos, variables a lo largo del perímetro. La propiedad geométrica es su conicidad, o sea la diferencia entre su longitud máxima y su longitud mínima



MEDICIONES DE ASENTAMIENTOS

PUNTOS DE CONTROL DE MONITOREO DEL TUNEL PC03



PET-06
 R = 2250.000
 R = 2250.000
 +3+373.139
 +3+372.139

CALLE 66
 CALLE 65

PON
 CANCHA
 FARUACIA MONUMENTAL 3 PISOS
 CENTRO JUVENIL

AGROPECUARIA LA SUPER
 CASA
 CASA
 MUEBLERIA BOYACA
 COMERCIAL LEYLA
 PASADISO DE LA GRAN FRASA
 LOCALES

ESCALERA
 PANADERIA LA FERIA (2 PISOS)
 AREA LOS LIANOS
 INGENIERIA Y LAVANDERIA LA ELECTRICA
 LOSBRES EL BODEGON

POLLO LIBERIA 2 PISOS
 COMERCIAL TRAMPA
 SUPERMERCADO TORONTO
 COMERCIAL DADDY
 COMERCIAL NUEVO MUNDO VAL. C.A.

BASES PARA ASENTAMIENTOS
 PC03 31.139

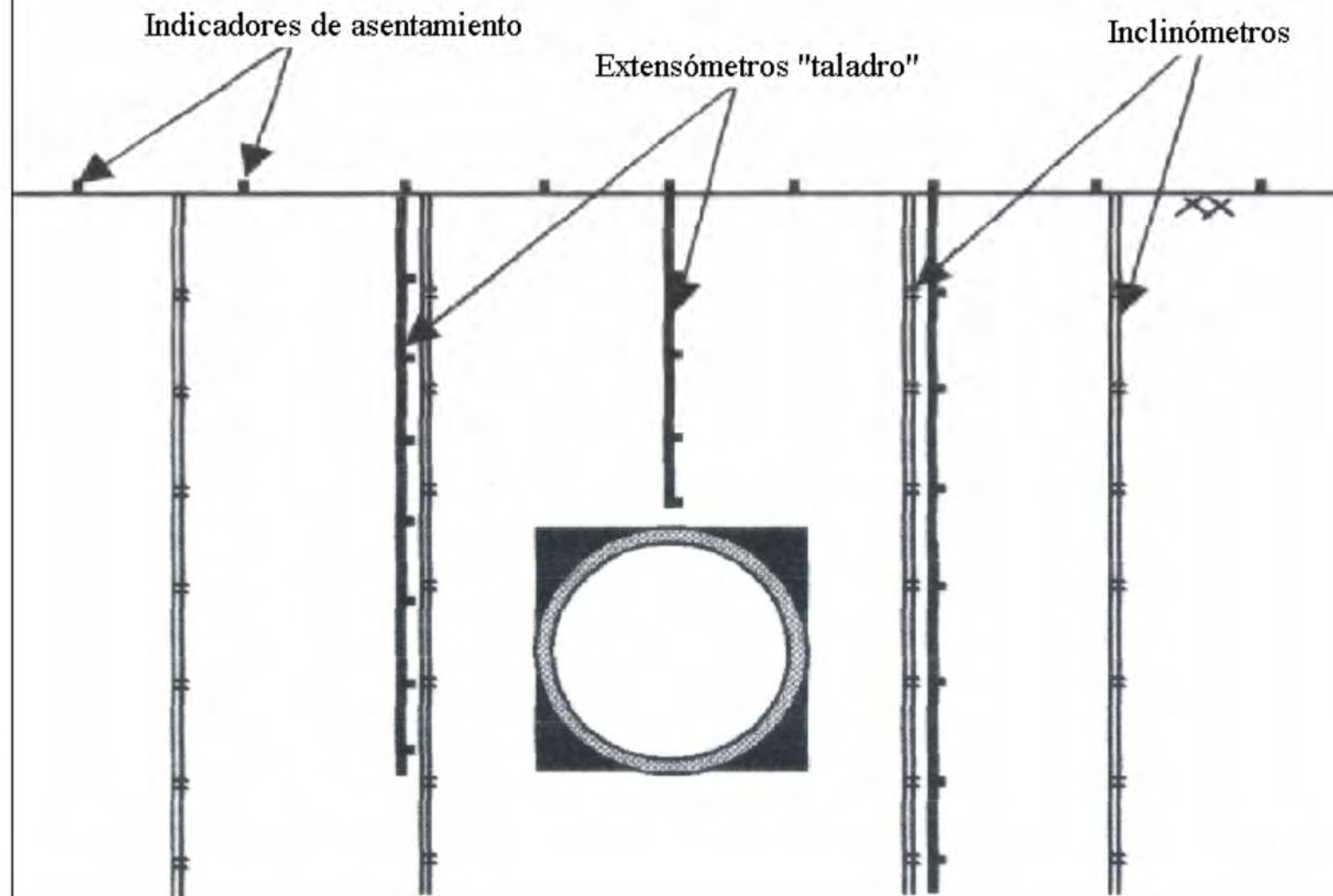
SECCION A-A

MONITOREO
 PC03 31.139

MONITOREO
 PC03 31.139

MONITOREO
 PC03 31.139

MEDICIONES DE ASENTAMIENTOS



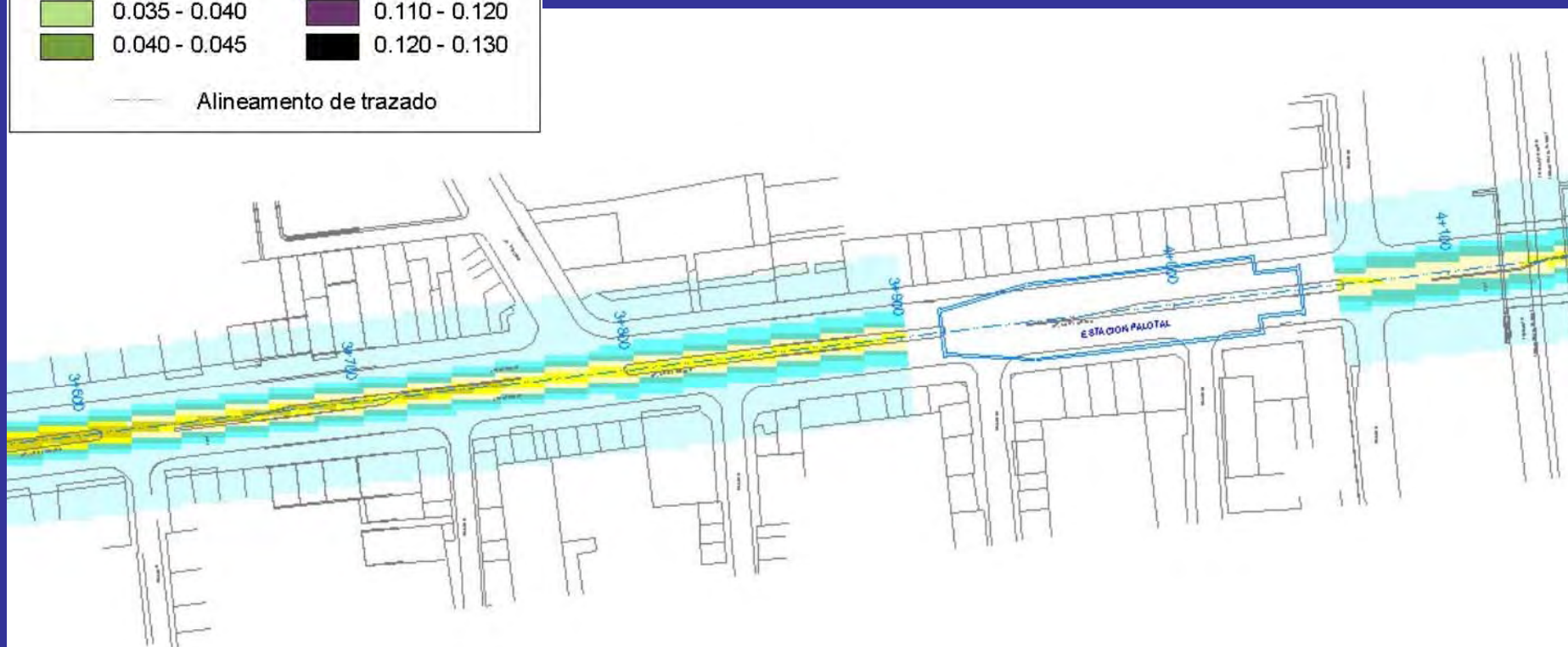
LEGENDA

Asentamientos (m)

0 - 0.005	0.045 - 0.050
0.005 - 0.010	0.050 - 0.060
0.010 - 0.015	0.060 - 0.070
0.015 - 0.020	0.070 - 0.080
0.020 - 0.025	0.080 - 0.090
0.025 - 0.030	0.090 - 0.100
0.030 - 0.035	0.100 - 0.110
0.035 - 0.040	0.110 - 0.120
0.040 - 0.045	0.120 - 0.130

— Alineamiento de trazado

ANALISIS DE ASENTAMIENTOS



ESCENARIO CON PERDIDA DE VOLUMEN DEL 0.5%

LEGENDA

Asentamientos (m)

0 - 0.005	0.045 - 0.050
0.005 - 0.010	0.050 - 0.060
0.010 - 0.015	0.060 - 0.070
0.015 - 0.020	0.070 - 0.080
0.020 - 0.025	0.080 - 0.090
0.025 - 0.030	0.090 - 0.100
0.030 - 0.035	0.100 - 0.110
0.035 - 0.040	0.110 - 0.120
0.040 - 0.045	0.120 - 0.130

— Alineamiento de trazado

ANALISIS DE ASENTAMIENTOS



ESCENARIO CON PERDIDA DE VOLUMEN DEL 1%

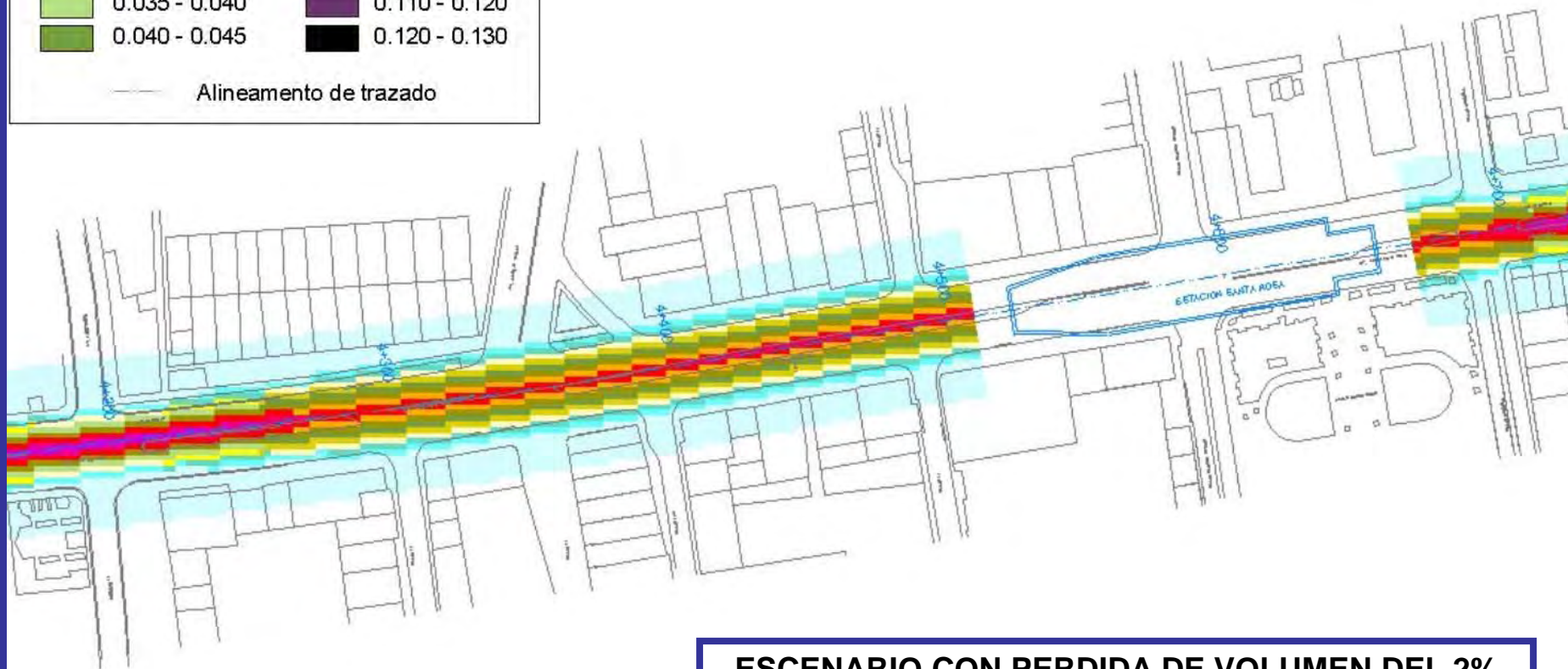
LEGENDA

Asentamientos (m)

0 - 0.005	0.045 - 0.050
0.005 - 0.010	0.050 - 0.060
0.010 - 0.015	0.060 - 0.070
0.015 - 0.020	0.070 - 0.080
0.020 - 0.025	0.080 - 0.090
0.025 - 0.030	0.090 - 0.100
0.030 - 0.035	0.100 - 0.110
0.035 - 0.040	0.110 - 0.120
0.040 - 0.045	0.120 - 0.130

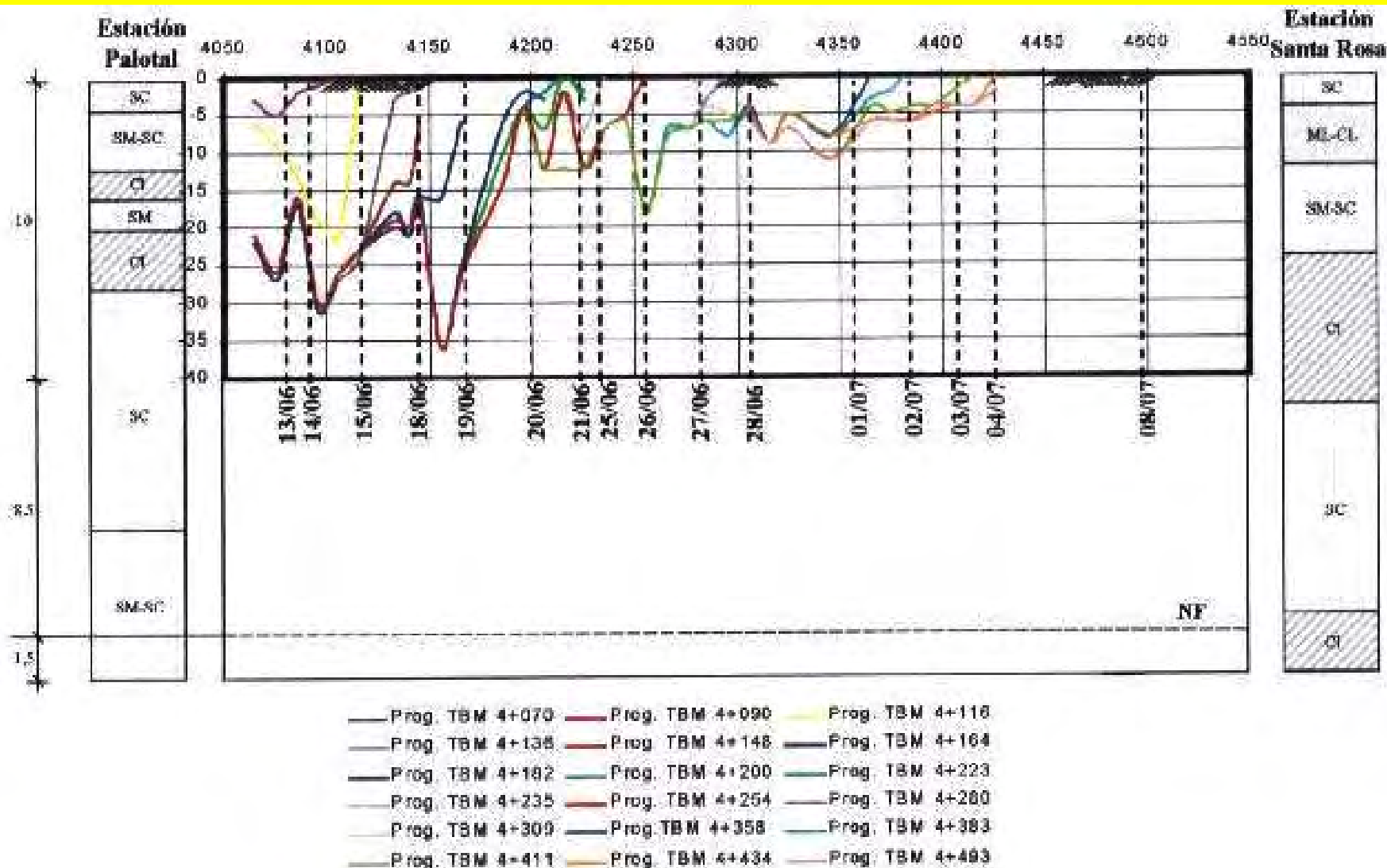
— Alineamiento de trazado

ANALISIS DE ASENTAMIENTOS

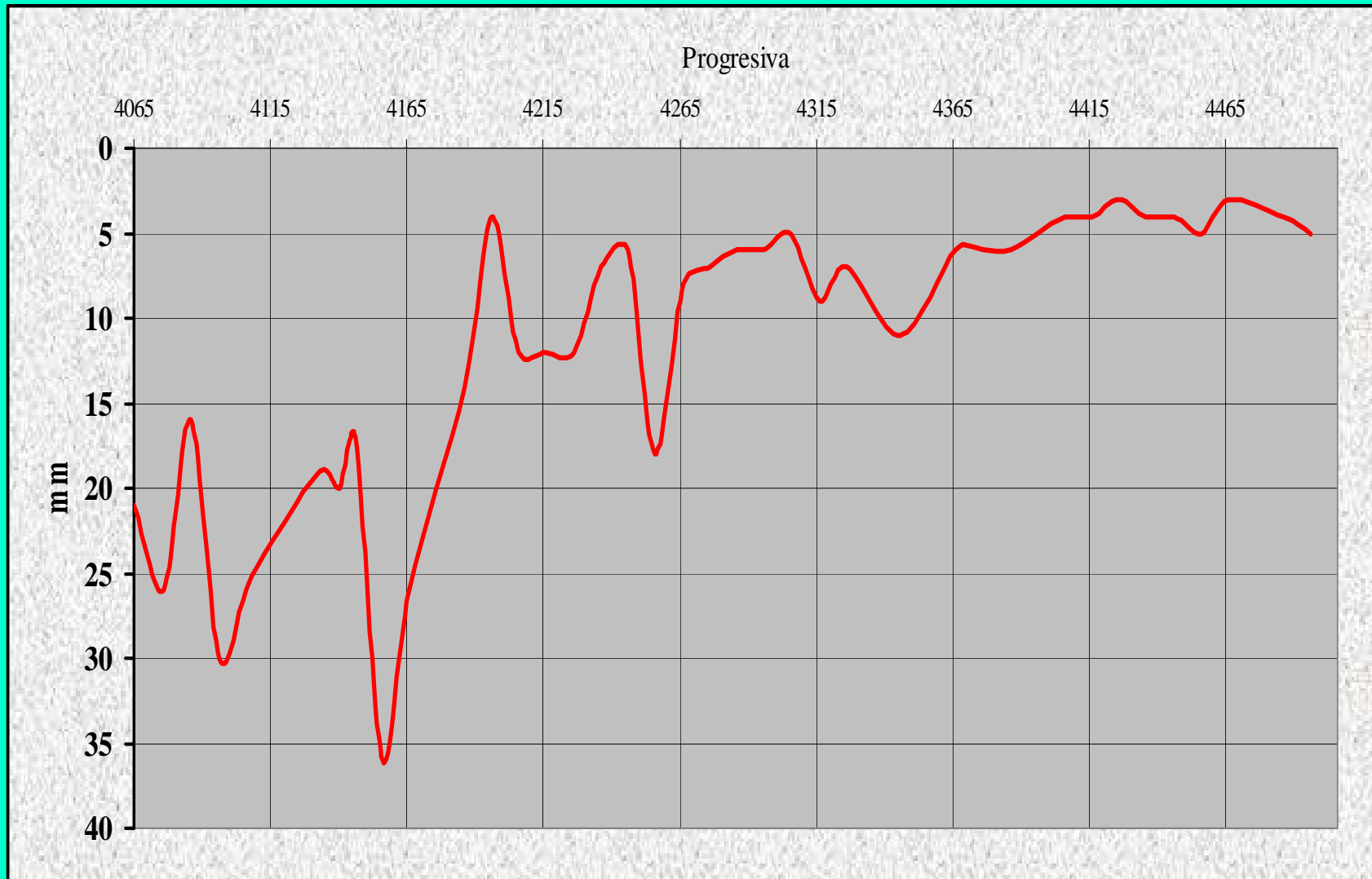


ESCENARIO CON PERDIDA DE VOLUMEN DEL 2%

ASENTAMIENTOS TRAMO PALOTAL – SANTA ROSA



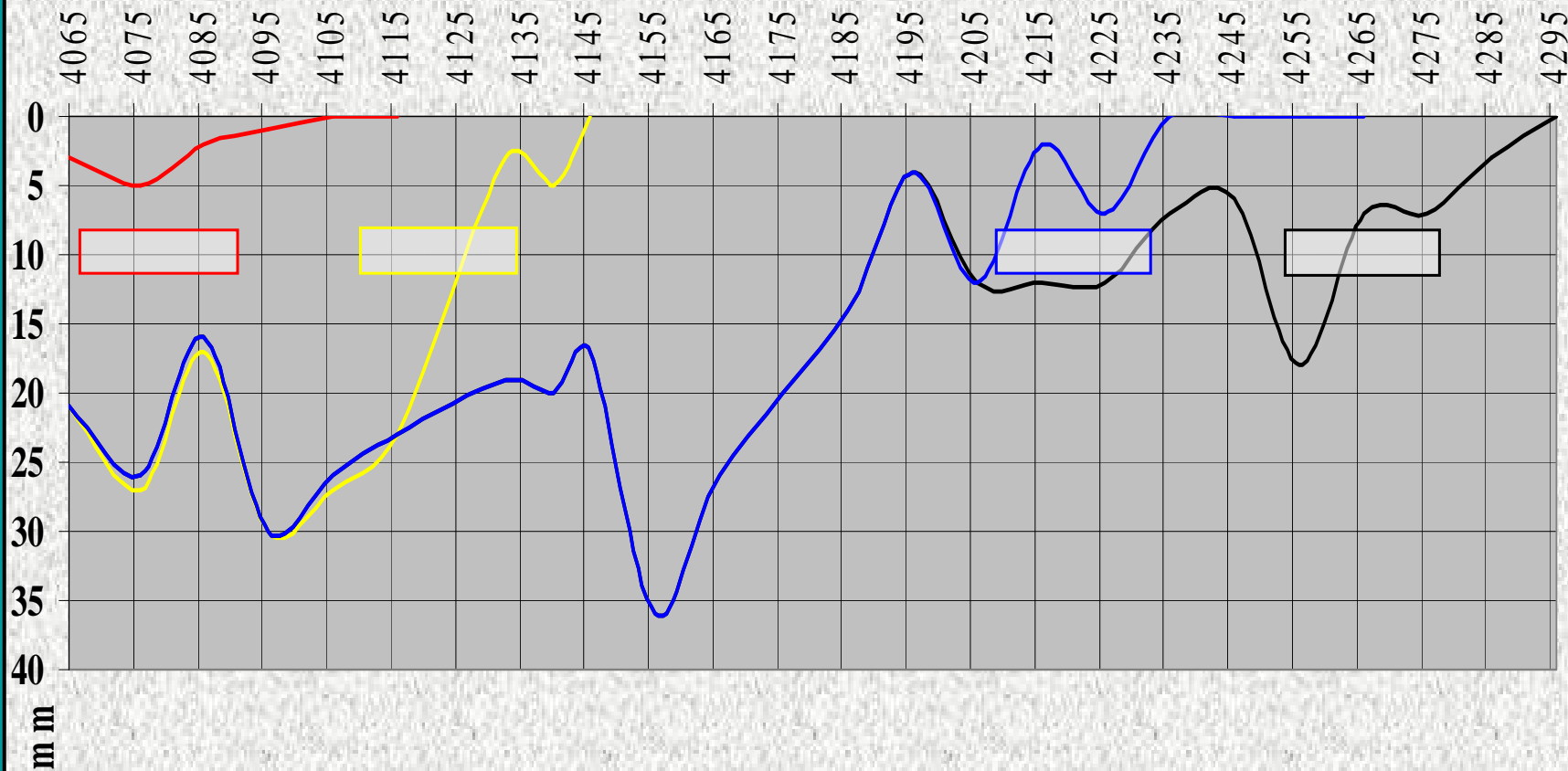
ASENTAMIENTOS TRAMO PALOTAL – SANTA ROSA



ASENTAMIENTOS TRAMO PALOTAL – SANTA ROSA



Progresivas



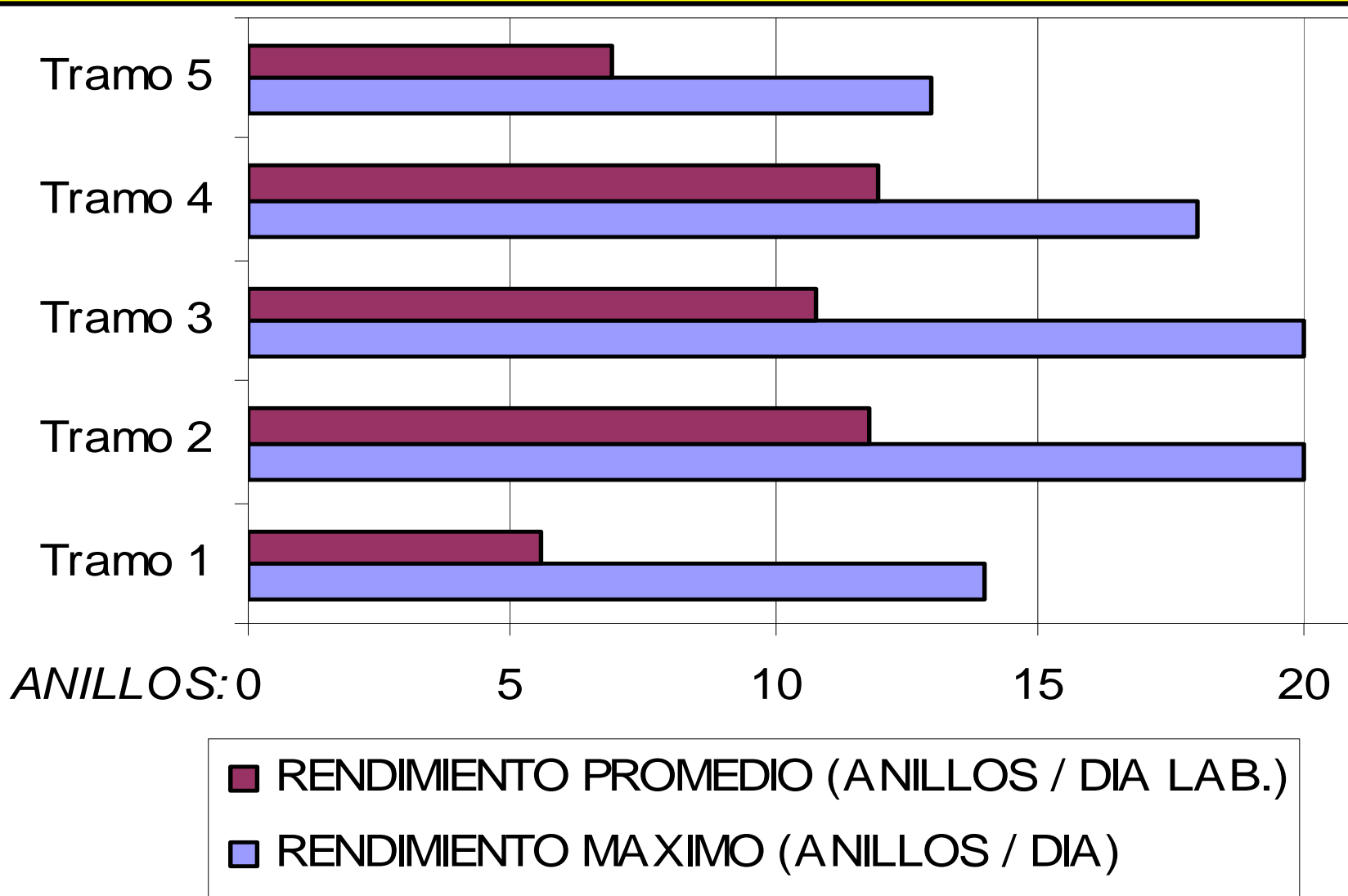




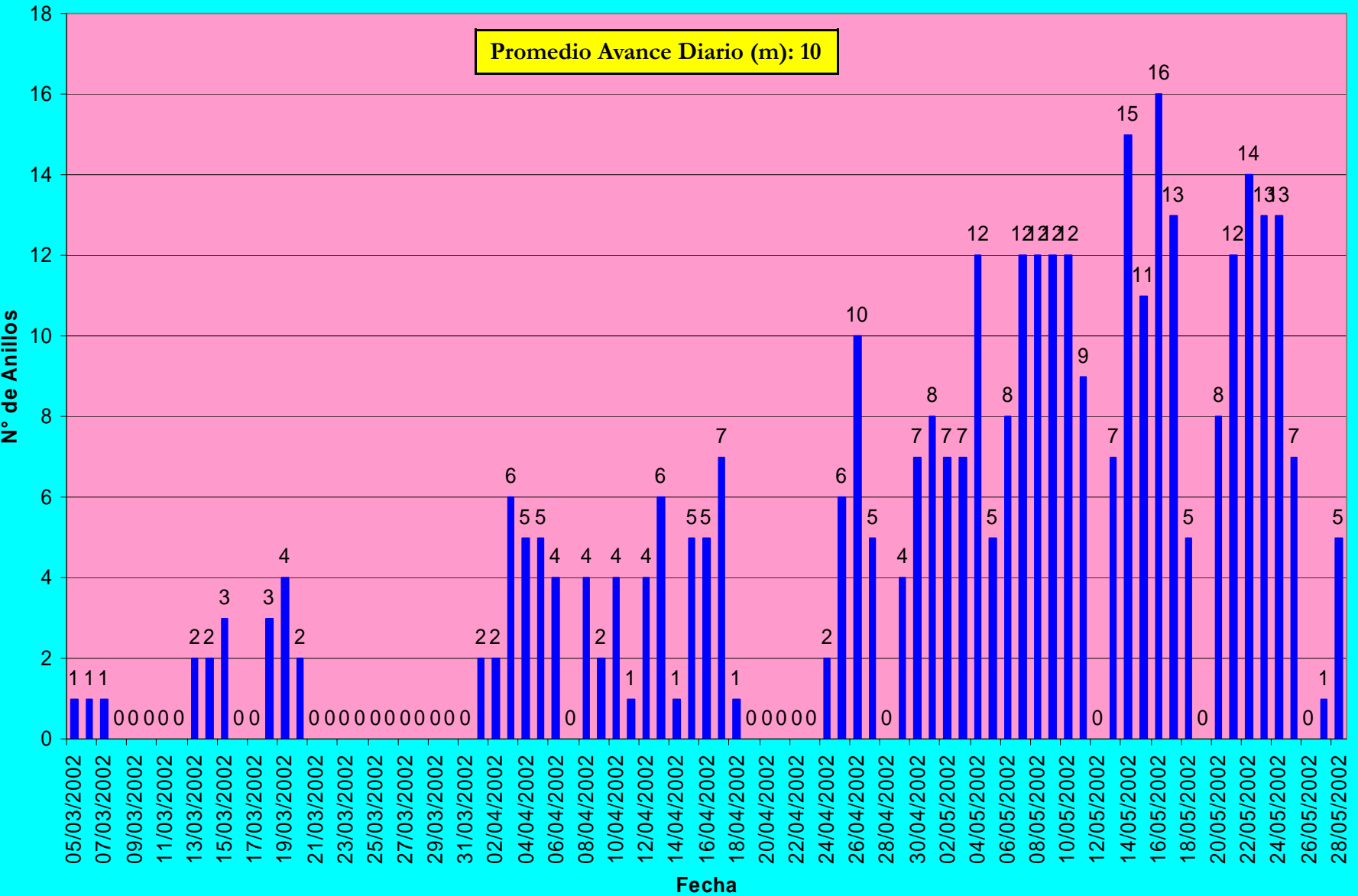




Rendimientos de Excavación

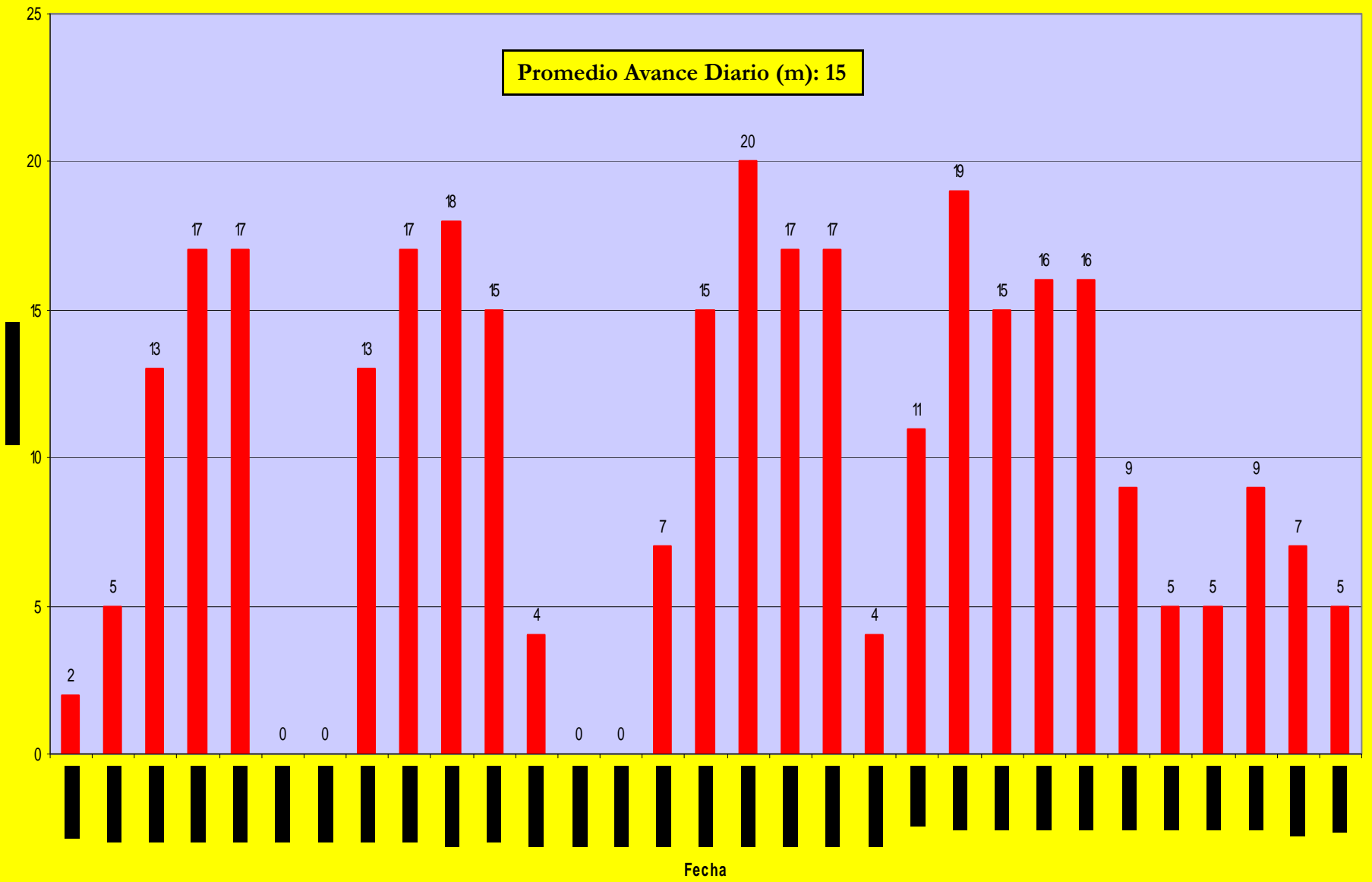


Colocación de Anillos Las Ferias - Palota

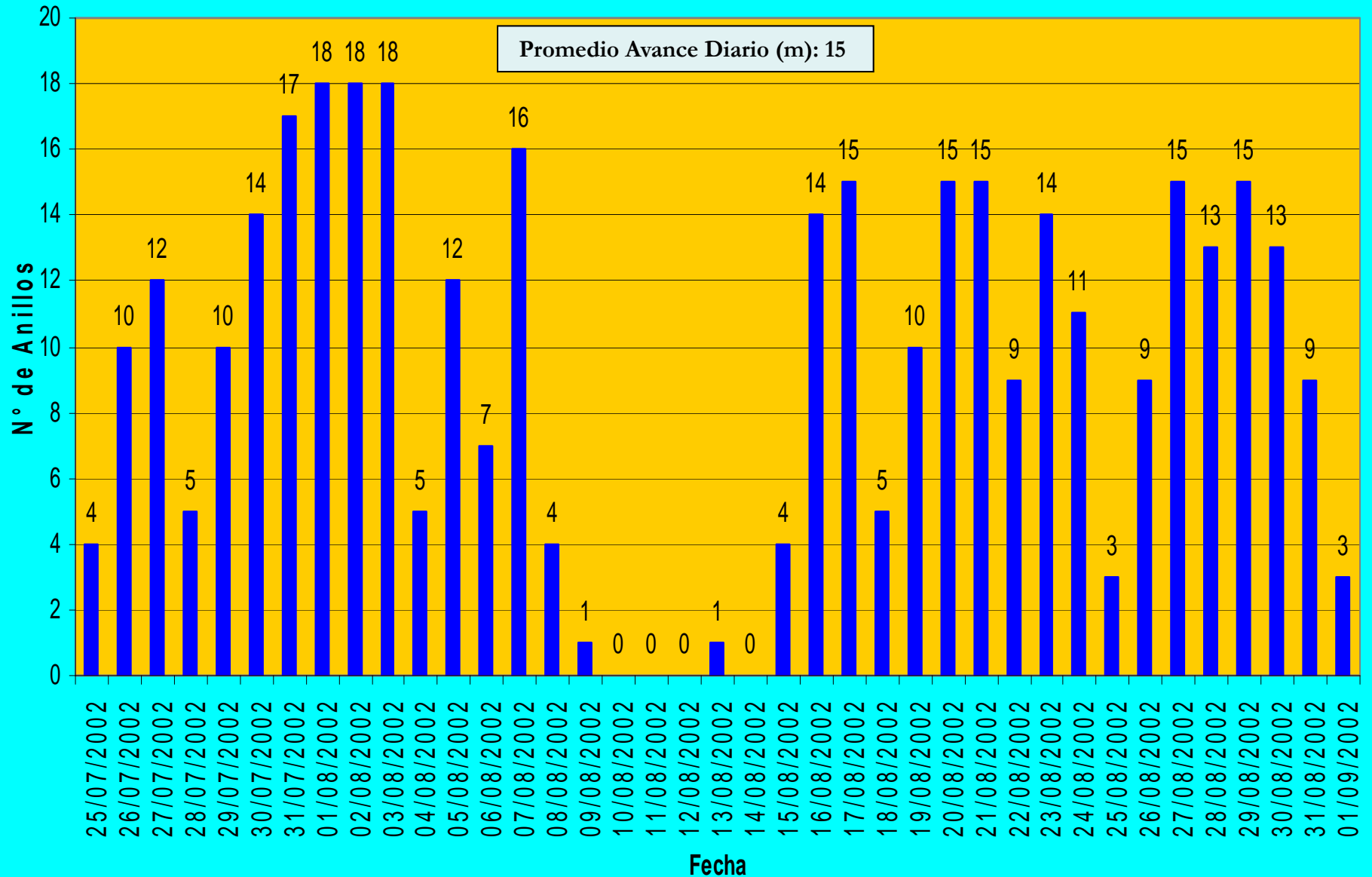


Colocación Anillos Palotal - Sta Rosa

Promedio Avance Diario (m): 15



Colocación de Anillos Sta. Rosa - Michelena



Promedio de Anillos Según Día de la Semana Palotal-Sta. Rosa





15

17

19

21

23

25

27

28

30

28

26

24

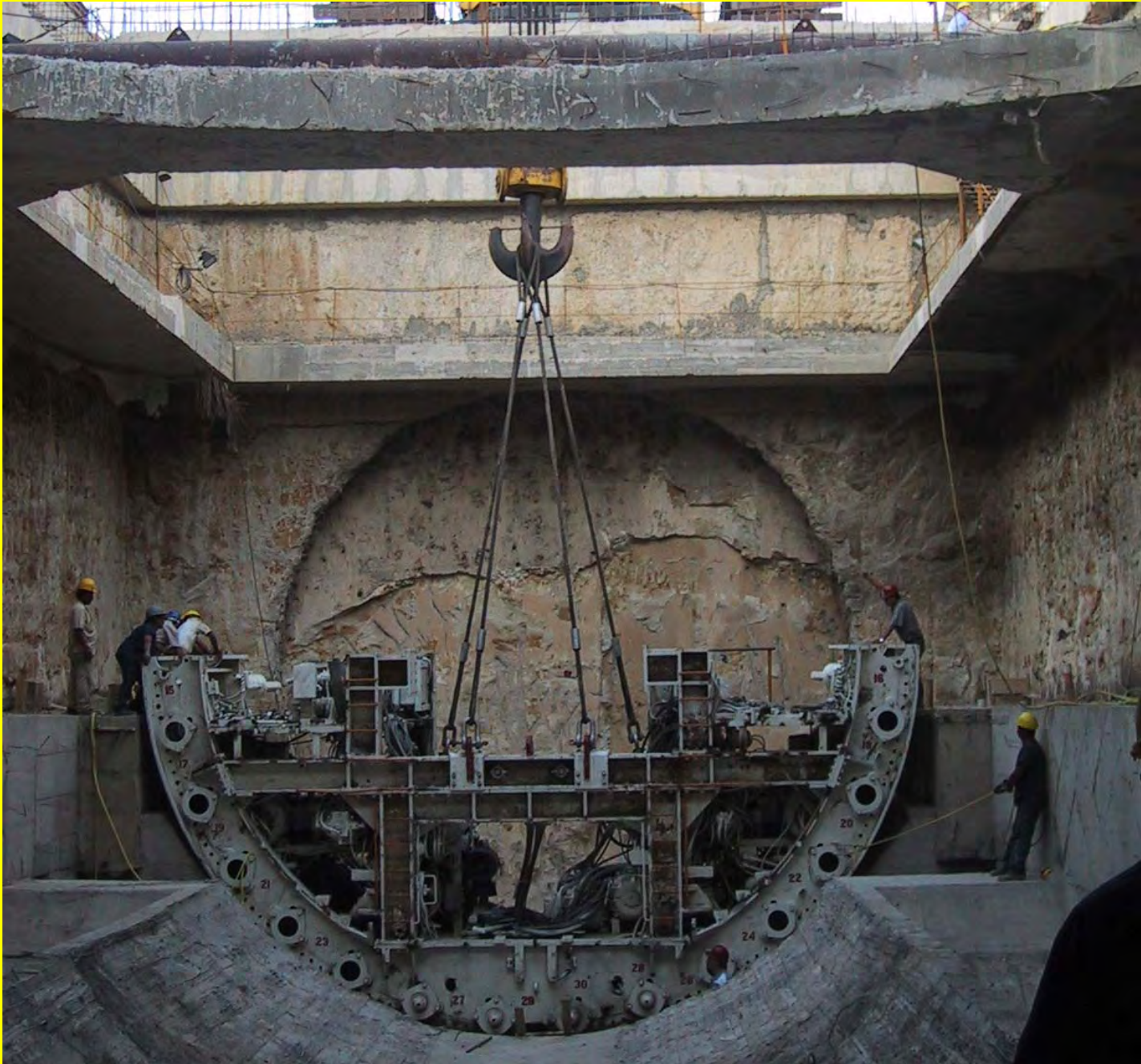
22

20

18

16

LOWE



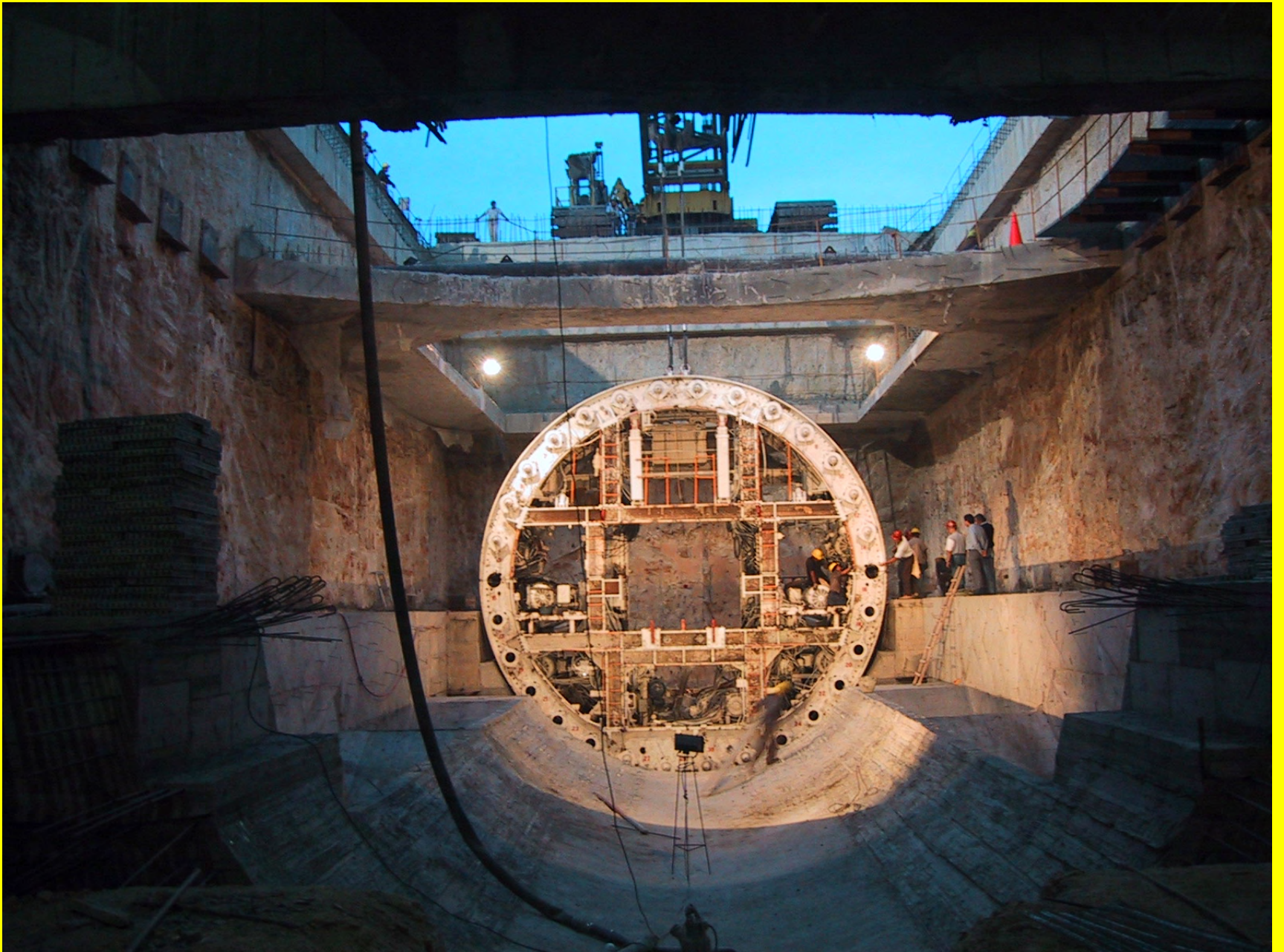


LOVAT

C.A.
DO NOT LIFT

Sogene, C.A.

M





































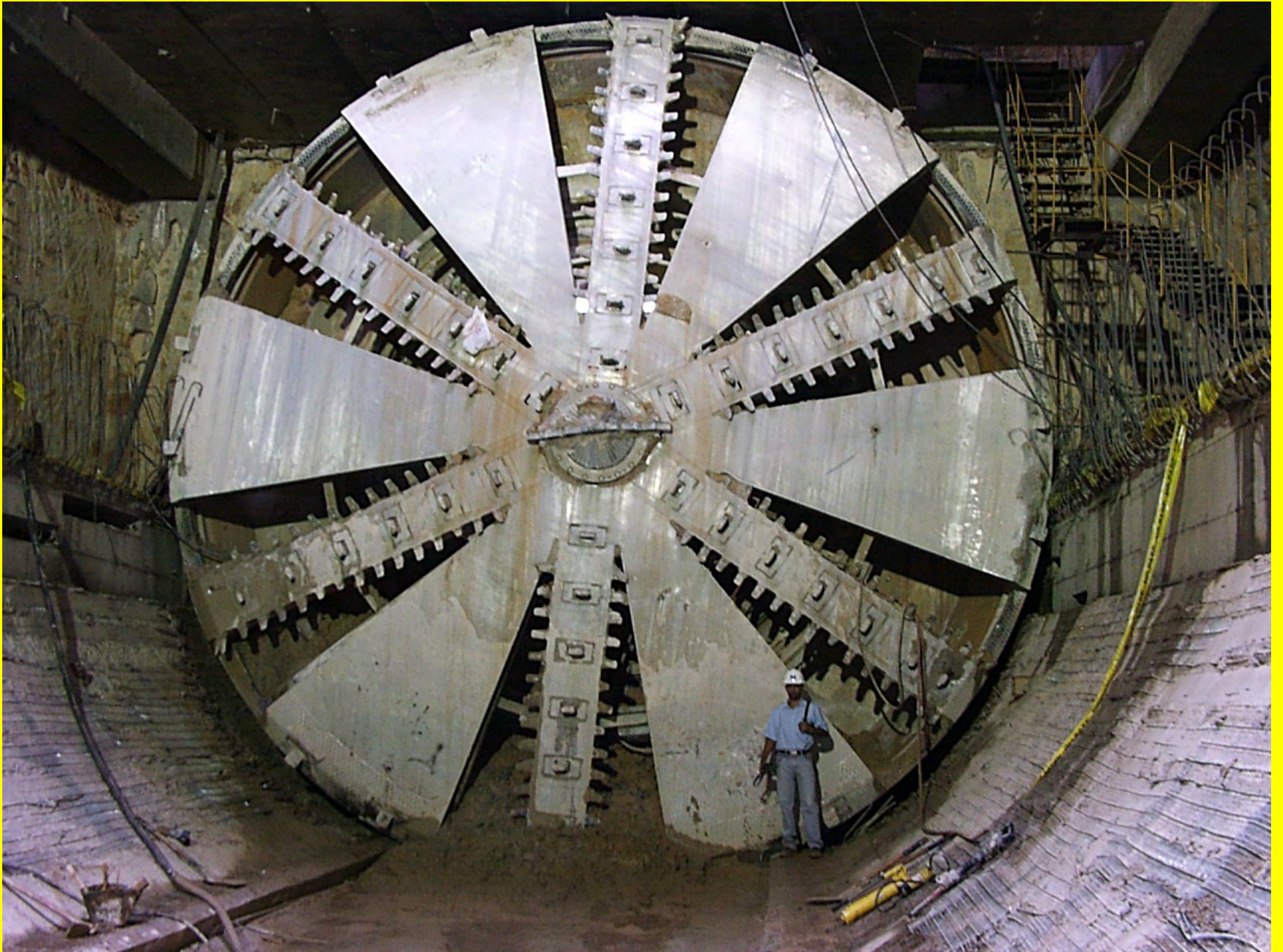














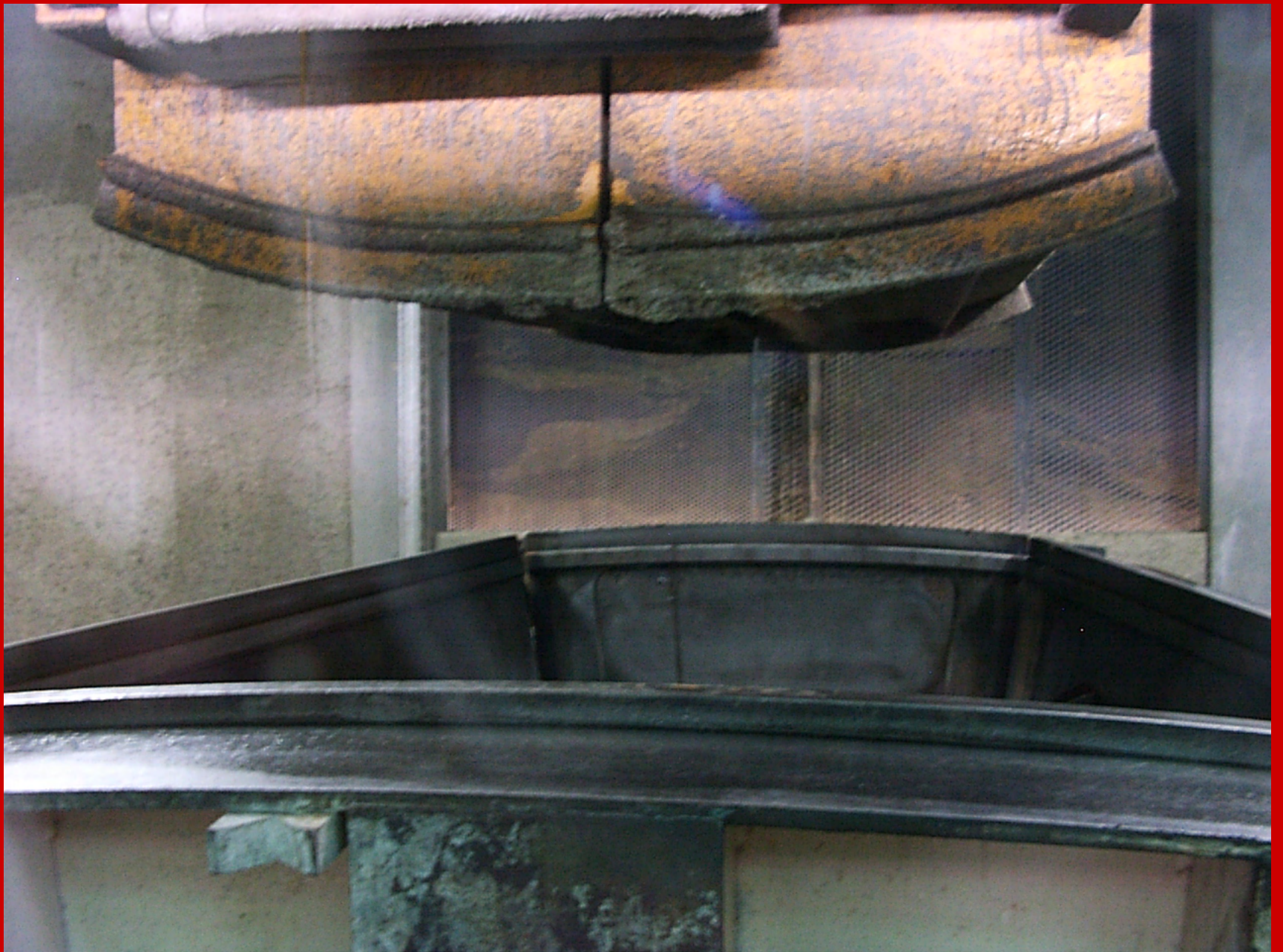
























SE PROHIBE QUE DARSE DEBAJO DE LA CARGA
CAPACIDAD DE LEVANTAMIENTO 7.000 kg/15.400 lbs

Tipo 70ES



SE PROHIBE QUE DARSE DEBAJO DE LA CARGA
CAPACIDAD DE LEVANTAMIENTO 7.000 kg/15.400 lbs

Modelo Tipo 70ES

Sogene, C.A.















