

2^{das} Jornadas sobre Tunelería y Espacios Subterráneos
“Nuevos Proyectos y Avances Tecnológicos”

Organiza



6 y 7 de septiembre 2012

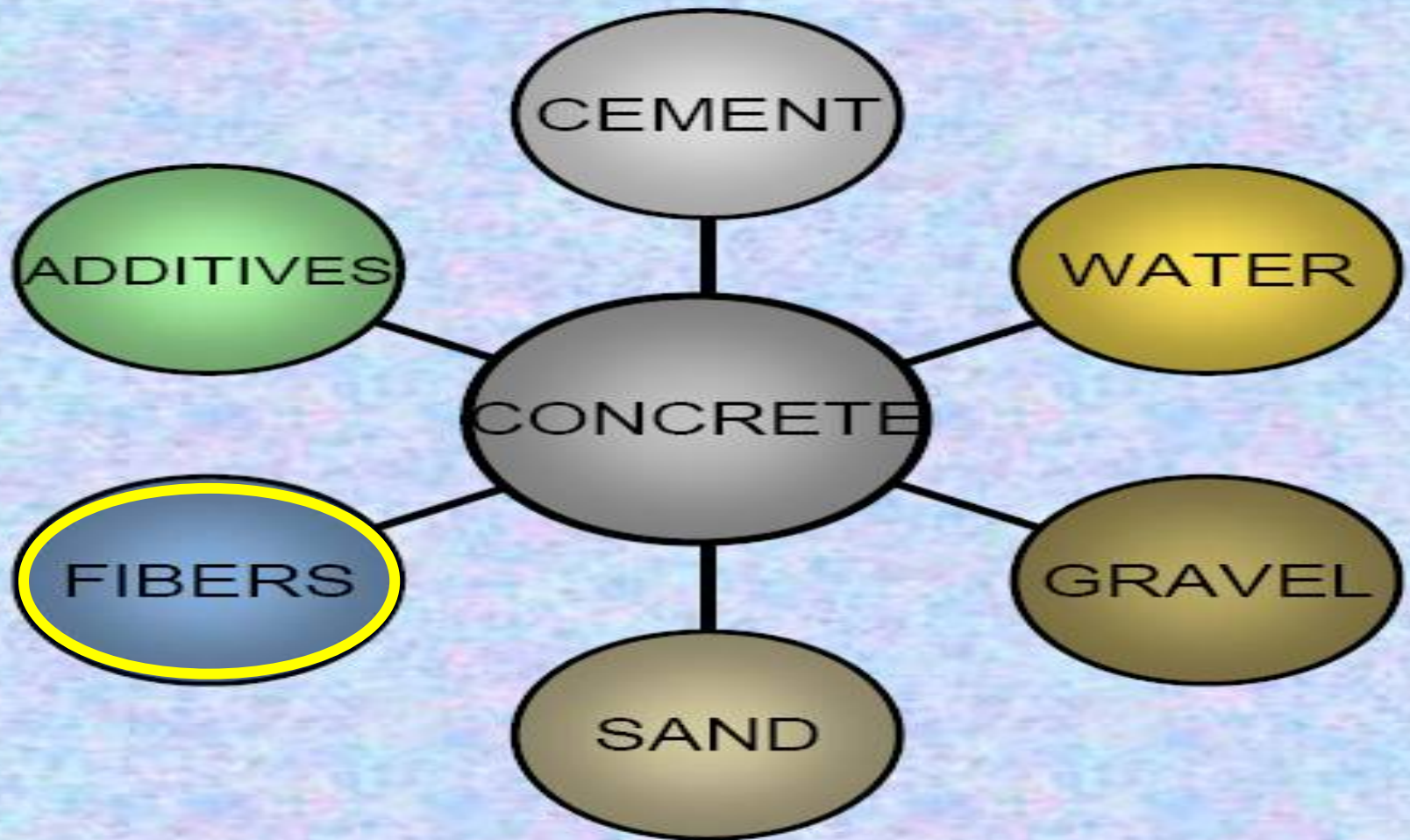
Centro Argentino de Ingenieros CAI - Buenos Aires - Argentina

INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN TUNELERÍA:
**FIBRAS METÁLICAS EN LOS REVESTIMIENTOS PREFABRICADOS
y VITRORESINAS EN LAS EXCAVACIONES CONVENCIONALES**

Gianfranco Perri

Ingeniero Consultor y Proyectista - Profesor de Diseño de Túneles en la Universidad Central de Venezuela
www.gianfrancoperri.com

COMPONENTES DEL CONCRETO PREFABRICADO



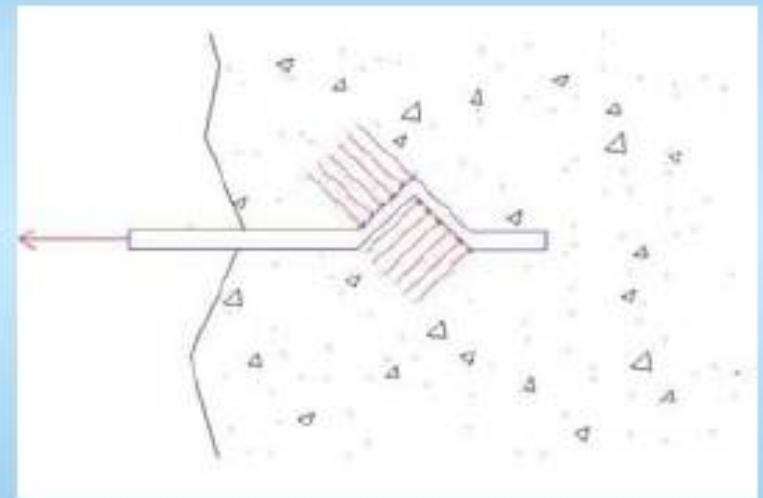
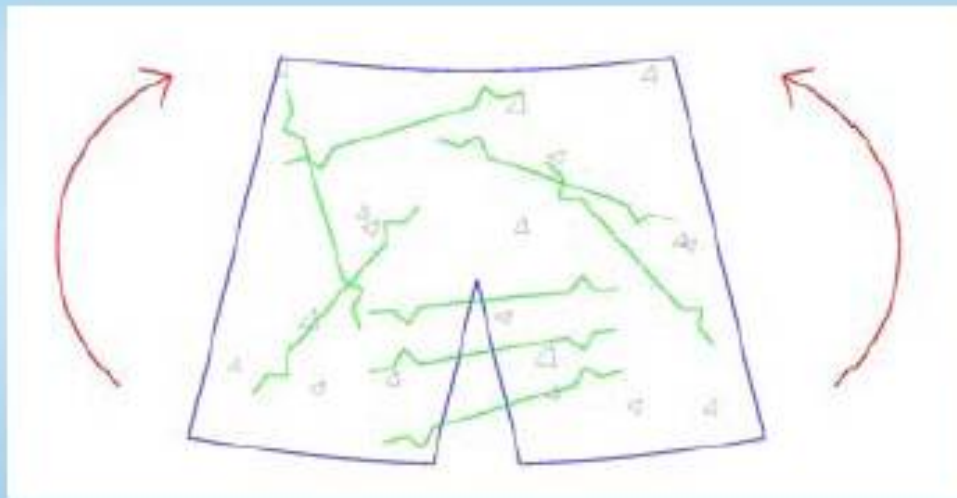
FIBRAS METÁLICAS PARA EL REFUERZO DEL CONCRETO





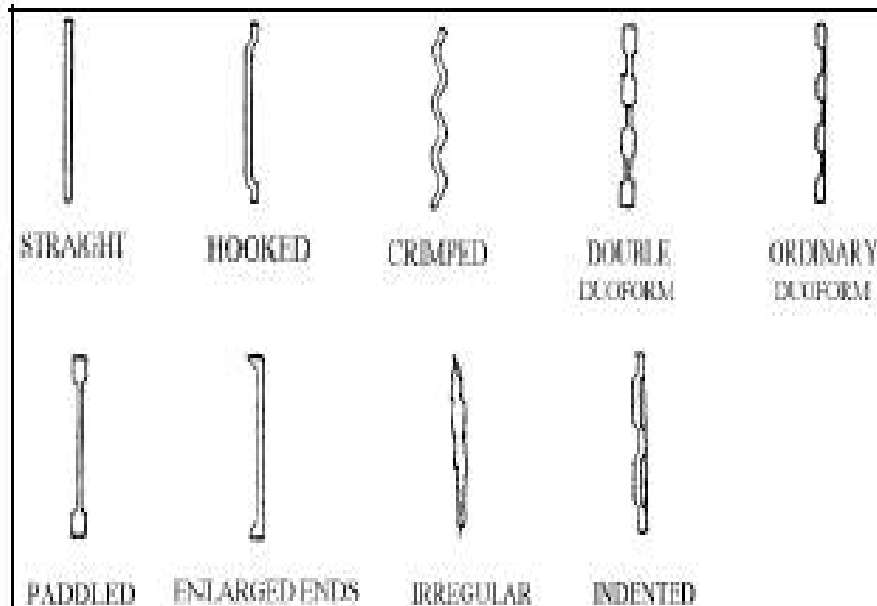
FIBRAS METÁLICAS PARA EL REFUERZO DEL CONCRETO

EFFECTO DE LAS FIBRAS EN EL CONCRETO



Las fibras se activan después de la fisuración del concreto

Tipologías y Características Básicas de las Fibras Metálicas



(a) Varie forme di fibre di acciaio.



(b) Tipi di sezioni trasversali.

(c) Fibre di acciaio incollate

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS FIBRAS METÁLICAS

LONGITUD (L)	5 - 70 mm
DIÁMETRO EQUIVALENTE (De)	0,1 - 1,5 mm
RELACION DE ESBELTEZ (L/De)	30 - 60
FORMA	Recta - Otra
RESISTENCIA A TRACCIÓN	1000 - 1500 MPa

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS FIBRAS METÁLICAS

ESPEJOR MÍNIMO DE LA ESTRUCTURA (e) $1.5 L < e$
DIMENSIÓN MAX. DE LOS AGREGADOS (a) $0,5 L > a$
DIMENSIÓN MAX. DE LOS AGREGADOS (a) $a < 0,3 e$
DOSIFICACIÓN MÍNIMA 25 Kg/m³

Ductilidad

es la capacidad de un material de poder soportar apreciables deformaciones conservando buena resistencia

Tenacidad

es la capacidad de un material de disipar energía deformatoria oponiéndose a la propagación de la fisuración

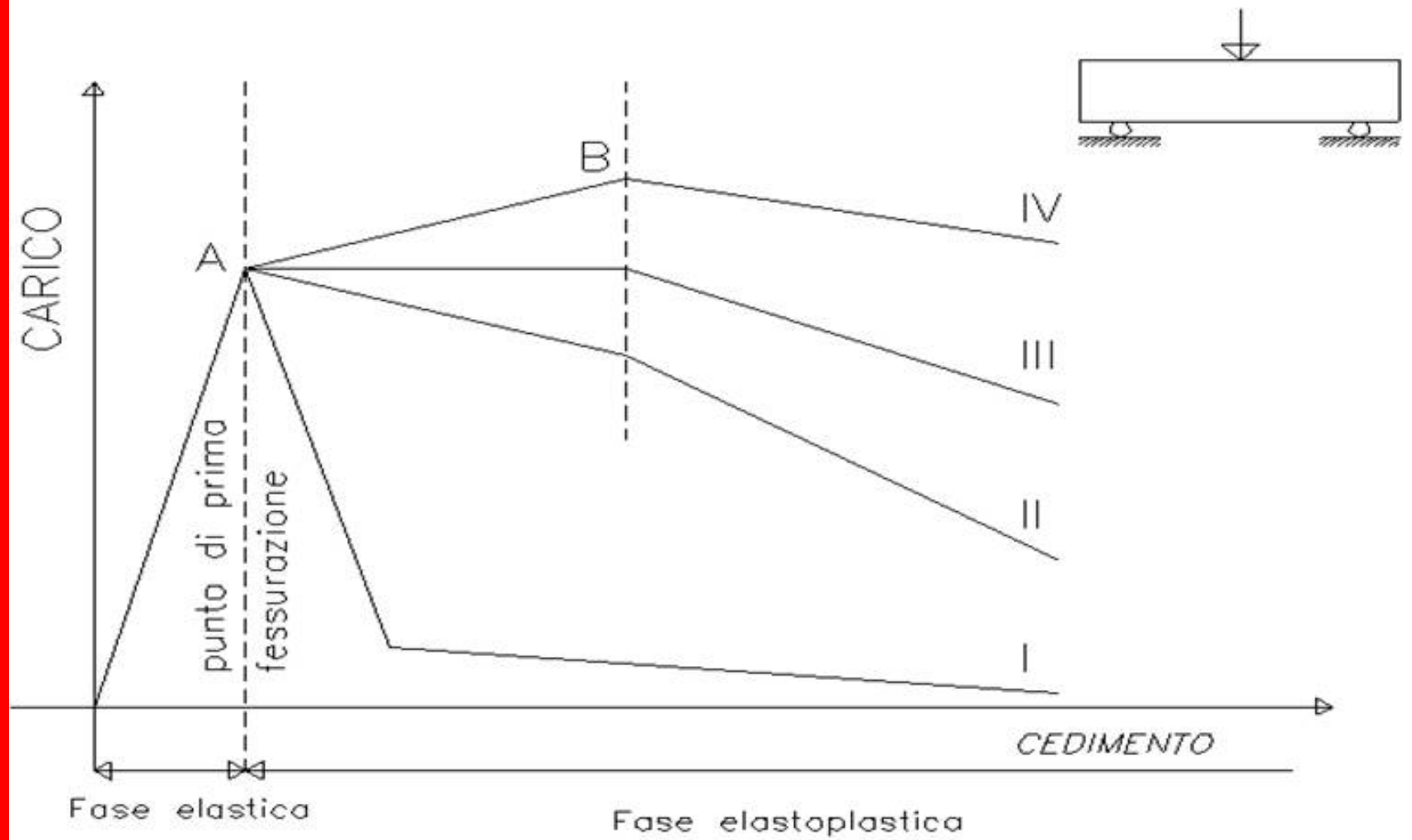


FIGURA 1 – Ensayos de flexión

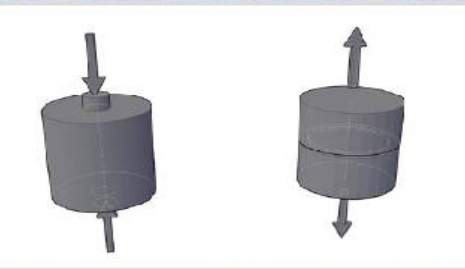
- Panel tests (usual for shotcrete)

- Round panel (EFNARC, ASTM C1550)
The cracks are determinate for the test configuration.
- Squared panel (EFNARC)
The constraints are along the perimeter, the cracking are not pre-determinate



- Others:

- BCN test (double punching test, DPT)
- Uni-axial tensile test

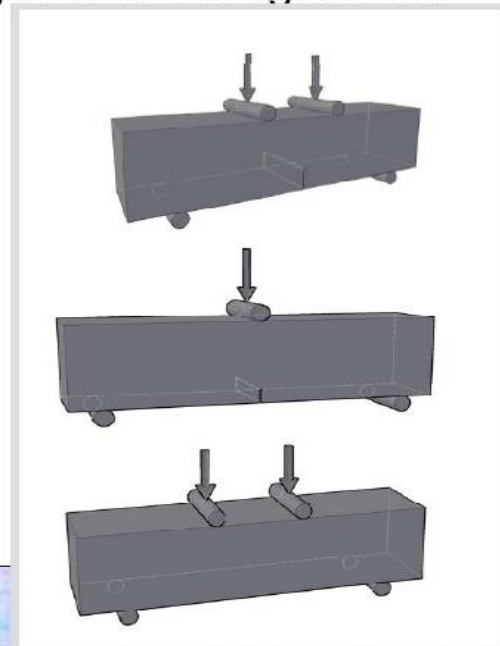


Prueba de TENACIDAD

- How is evaluated the SFRC strength or the toughness?

- Beam tests

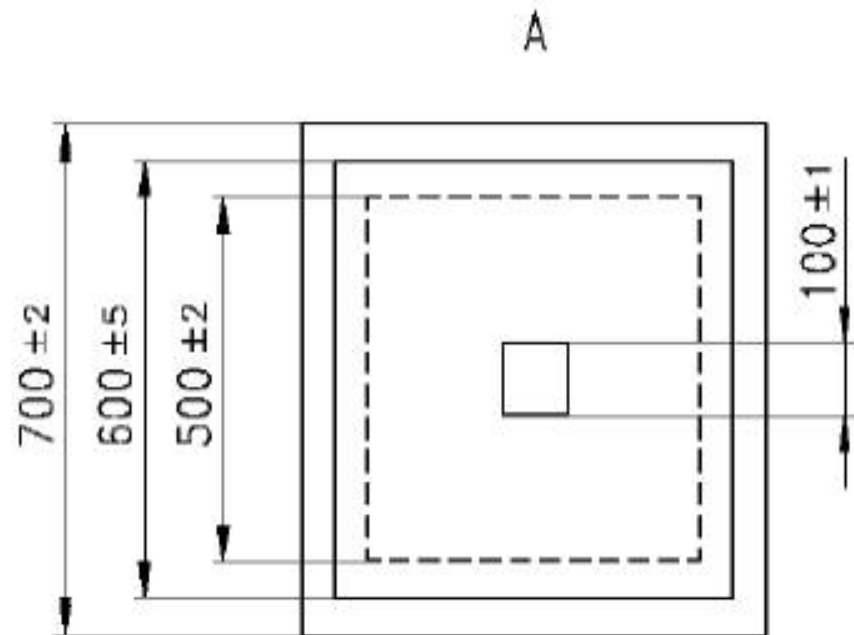
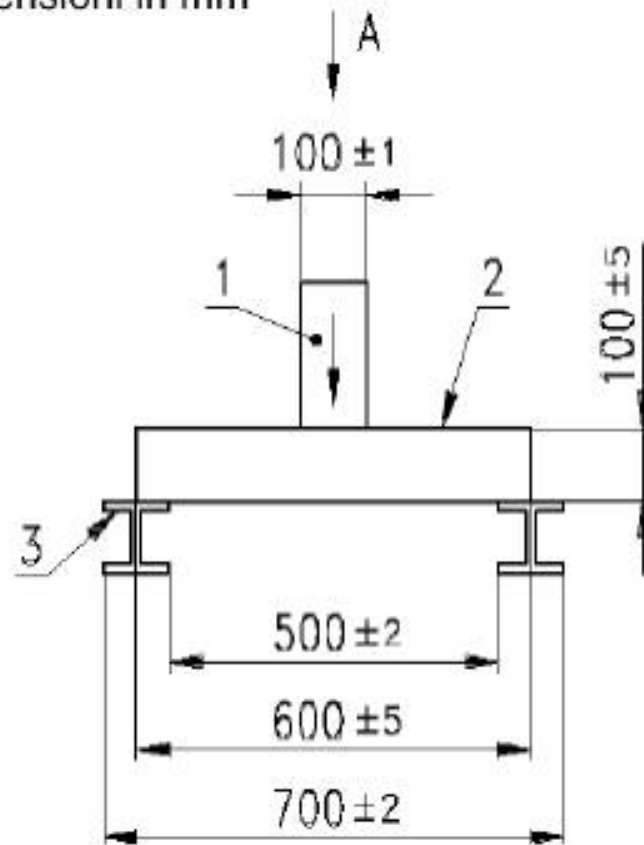
- Italian standard:
UNI 11039, third-point loading with notch
- European standard:
EN 14651, 3 point bending test with notch
- Belgian standard:
NBN B15-238, third-point loading
- American standard:
ASTM C-1018, third-point loading



Prueba de DUCTILIDAD

DETERMINACIÓN DE LA TENACIDAD DEL CONCRETO FIBRO-REFORZADO

Dimensioni in mm

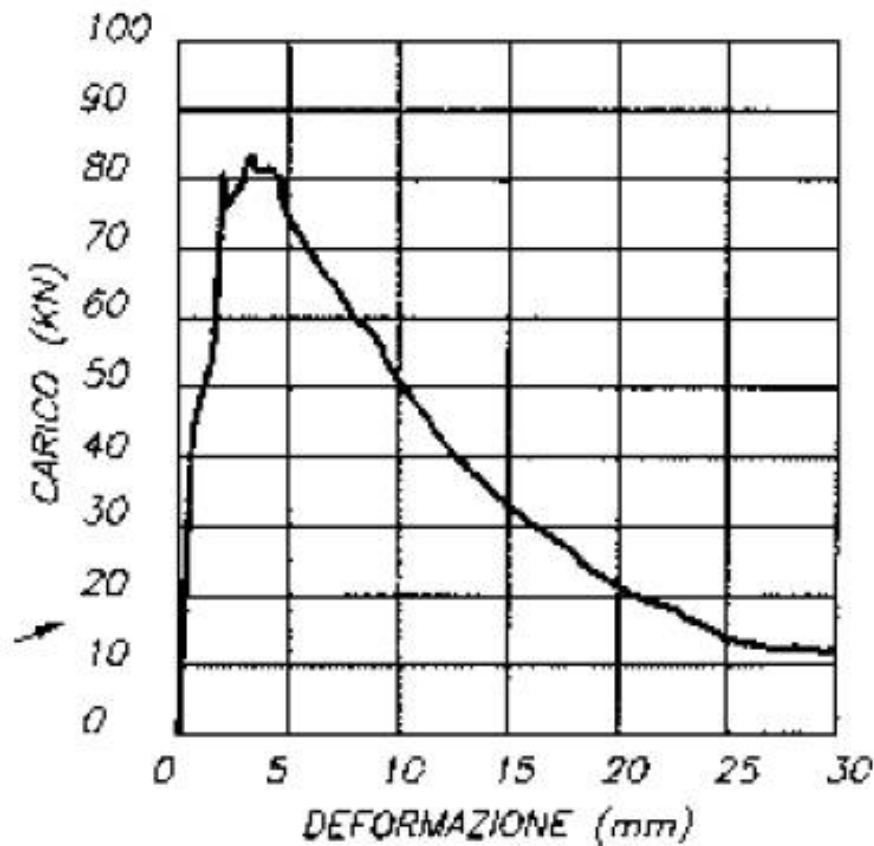


PRUEBA NORMALIZADA SOBRE PLANCHAS DE CONCRETO FIBRO-REFORZADO

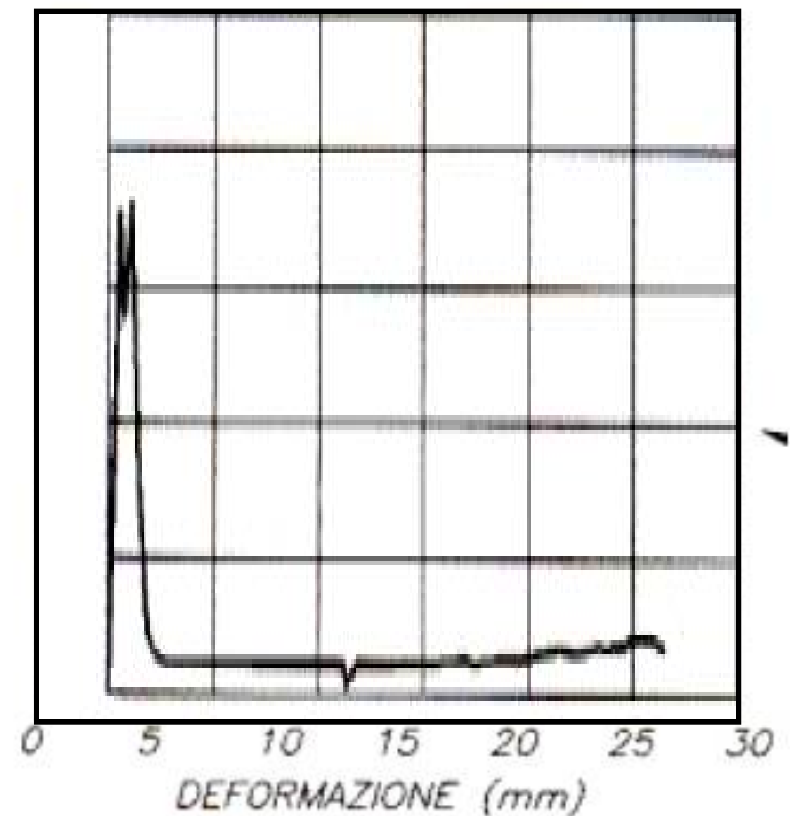


TENACIDAD DEL CONCRETO SIMPLE Y FIBROREFORZADO

TEST SOBRE CONCRETO CON FIBRAS
DIAGRAMMA: CARICO-DEFORMAZIONE

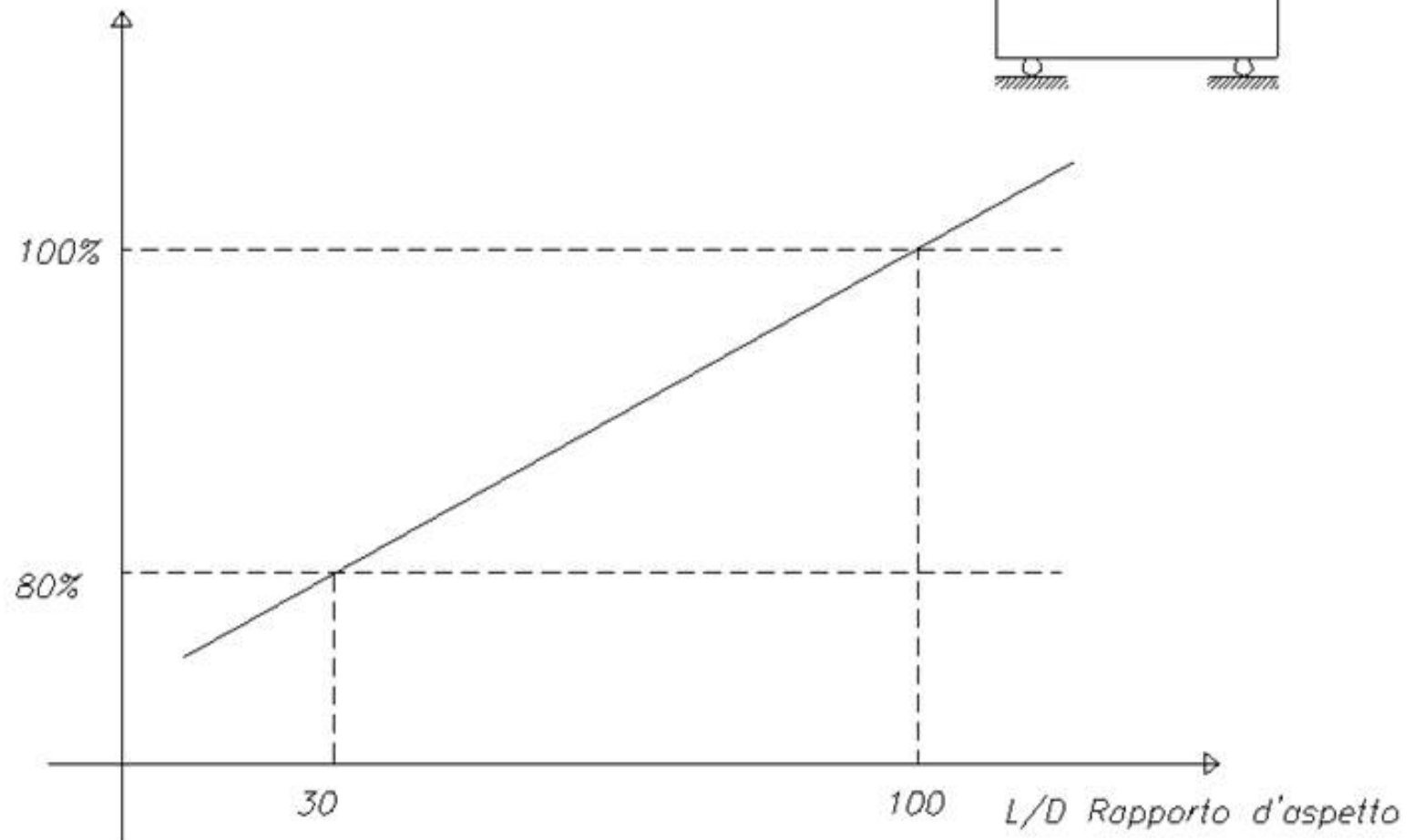


TEST SOBRE CONCRETO SIN FIBRAS
DIAGRAMMA: CARICO-DEFORMAZIONE



TENACIDAD DEL CONCRETO FIBROREFORZADO vs ESBELTEZ DE LAS FIBRAS

ENERGIA ASSORBITA



Guia para preseleccionar tipo y dosis de fibras Vs Energía absorbida

TUNNELING - SHOT CRETE

Usual dosage and typical XXXXXXXXXX Energy Absorption Test

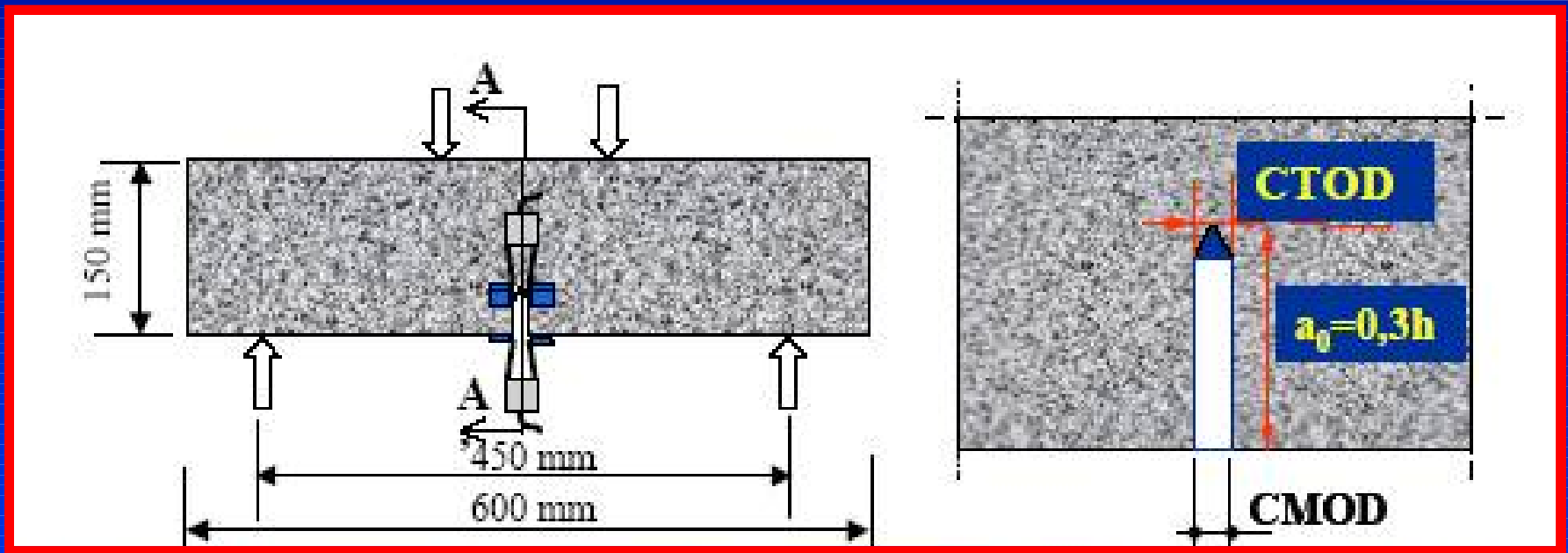
Fiber Type	ASTM C1550 = 225 J	ASTM C1550 = 350 J	ASTM C1550 = 450 J
	Dosage kg/m ³ (lb/y ³)	Dosage kg/m ³ (lb/y ³)	Dosage kg/m ³ (lb/y ³)
Wirand® FS1	25 (44)	30 (50)	35 (60)
Wirand® FS3N	35 (60)	40 (67)	45 (75)
Wirand® FS4N	30 (50)	35 (60)	40 (67)
Wirand® FS7	25 (44)	30 (50)	35 (60)

Notes: The predominant aggregate recommended for the concrete mix design is 1/2". The values consider the experience with concretes from 4000 psi to 5000 psi of compression resistance.



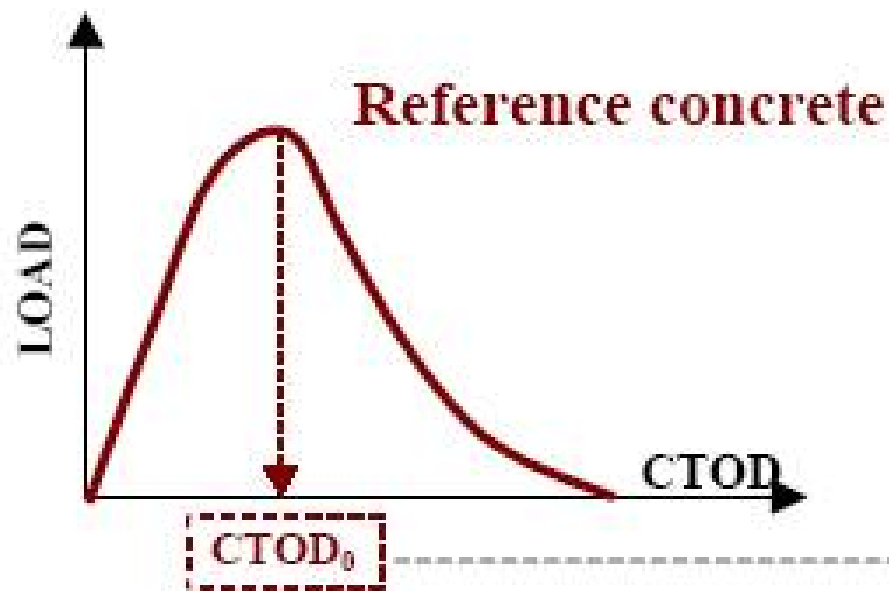
DETERMINACIÓN DE LA TENACIDAD DEL CONCRETO FIBRO-REFORZADO

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA EQUIVALENTE A FLEXIÓN

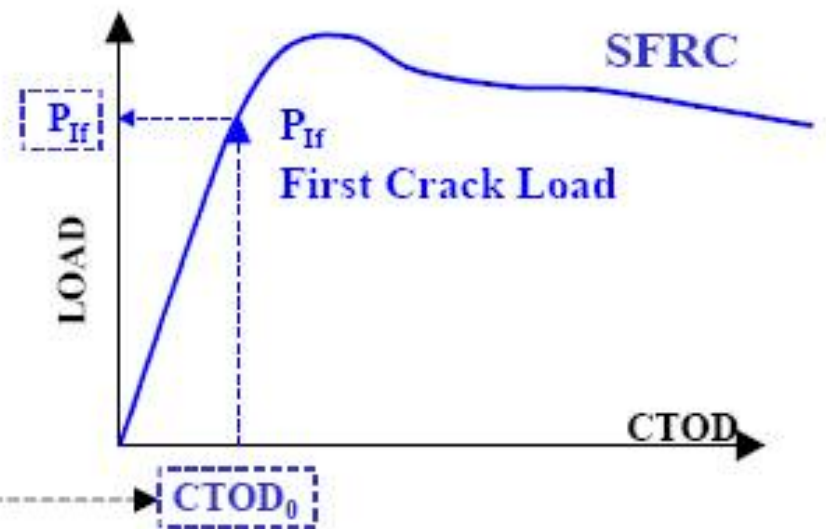


PRUEBA NORMALIZADA SOBRE VIGAS DE CONCRETO FIBRO-REFORZADO



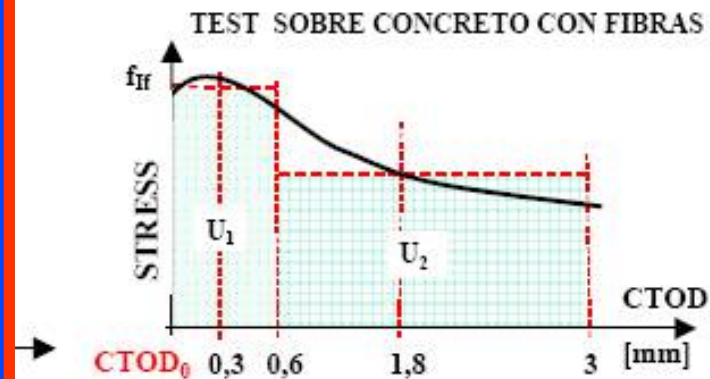
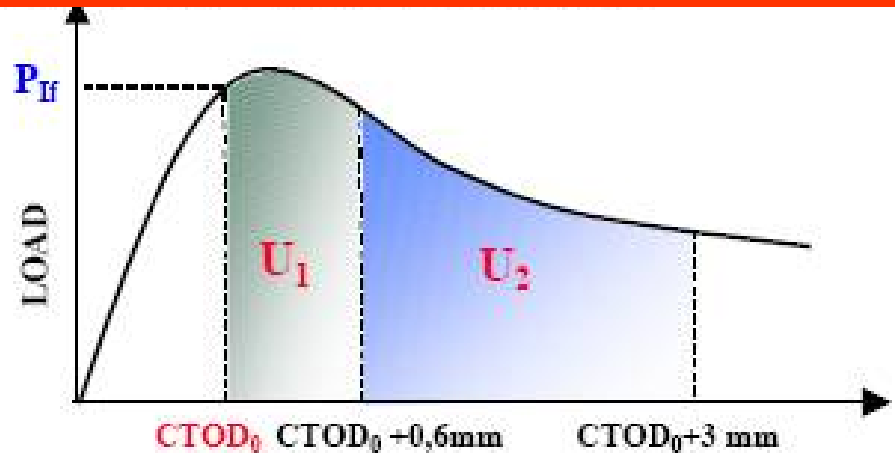
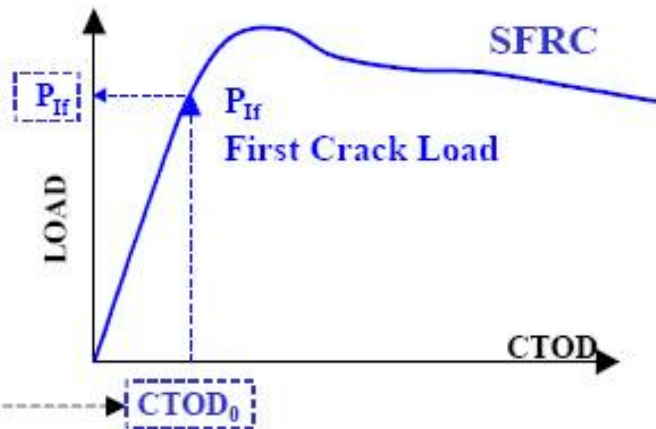


$$f_{If} = P_{If} / b(h-a_0)^2$$



TEST SOBRE CONCRETO CON FIBRAS

$$f_{If} = P_{If} l / b(h-a_0)^2$$



$$f_{eq(0-0,6)} = (U_1/0,6) l / b(h-a_0)^2$$

$$f_{eq(0,6-3)} = (U_2/2,4) l / b(h-a_0)^2$$

$$D_0 = f_{eq(0-0,6)} / f_{If}$$

$$D_1 = f_{eq(0,6-3)} / f_{eq(0-0,6)}$$

- **Clasificación en función de la ductilidad (UNI 11039):**

Indici di Duttilità (Valori caratteristici minimi)	Classi di duttilità						
	D_{S0}	D_{S1}	D_{S2}	D_P	D_{H0}	D_{H1}	D_{H2}
D_0	1	$\geq 0,5$	$\geq 0,7$	$\geq 0,9$	$\geq 1,1$	$\geq 1,3$	$\geq 1,55$
D_1	$\geq 0,3$	$\geq 0,5$	$\geq 0,7$	$\geq 0,9$	$\geq 1,1$	$\geq 1,3^2$	$\geq 1,55^2$
	Comportamento Softening			Comportamento Plastico	Comportamento Hardening		

¹ Valori dell'indice di duttilità $D_0 < 0,5$ sono tipici di calcestruzzi non rinforzati con fibre di acciaio.

² La classi DH1 e DH2 dell'indice D1 sono caratteristiche di SFRC ad altissime prestazioni la cui formulazione richiede l'utilizzo di speciali rinforzi fibrosi opportunamente dosati e di calcestruzzi di base progettati ad hoc.

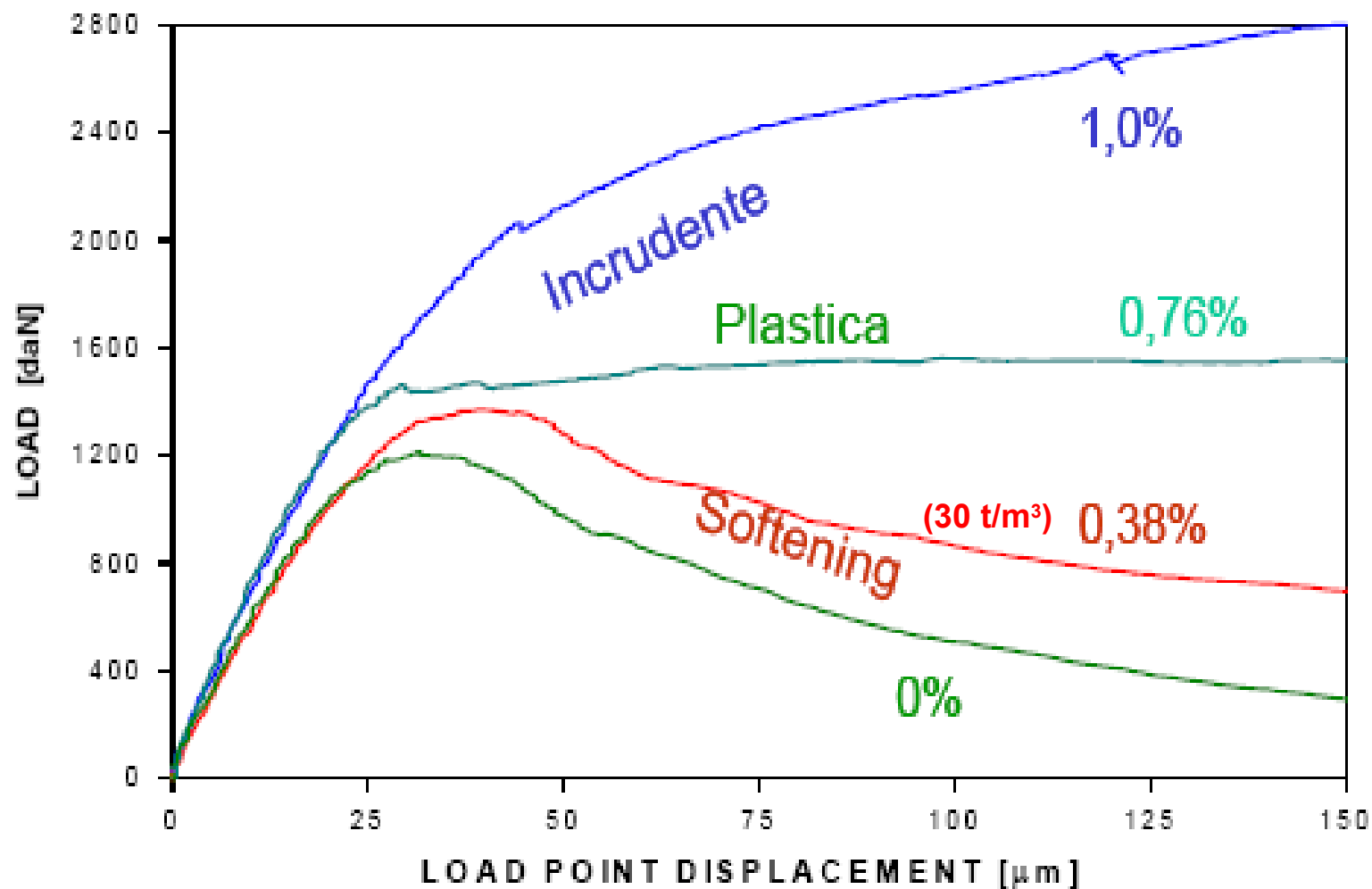


Figura 1 Posibles comportamientos a flexión del concreto fibro-reforzado

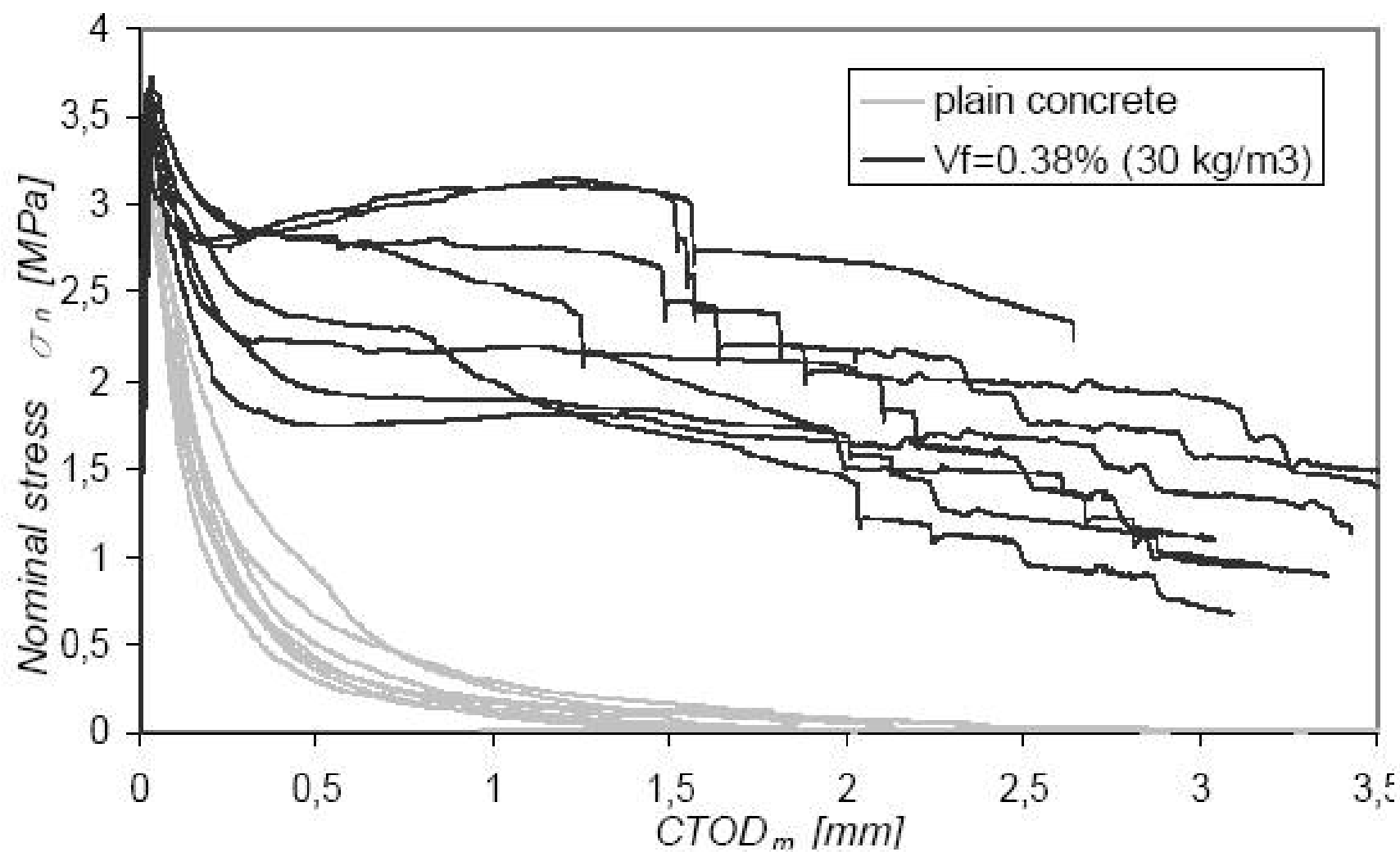
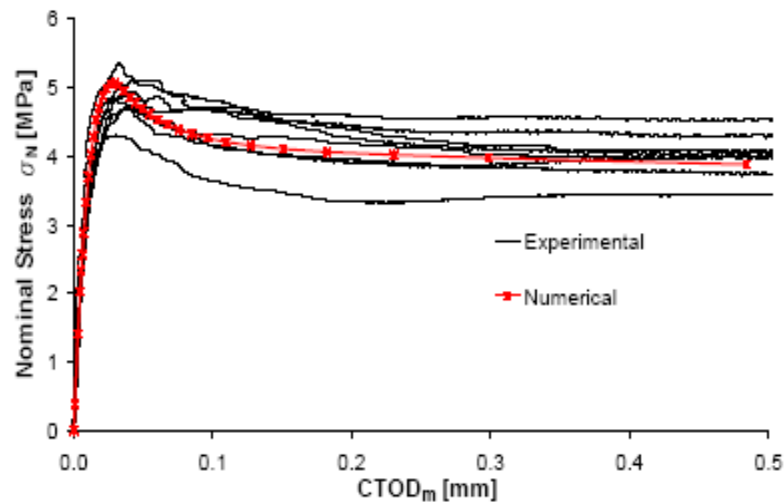
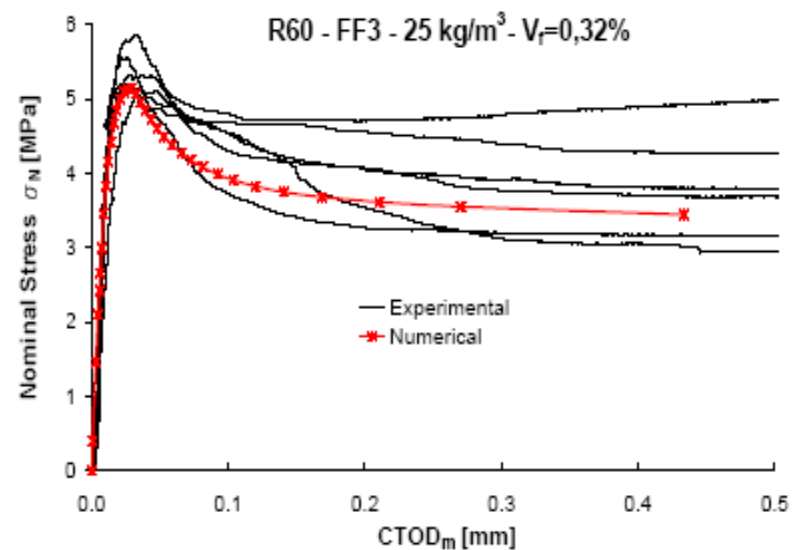


FIGURA 8 – Ejemplo de resultados de ensayos a flexión

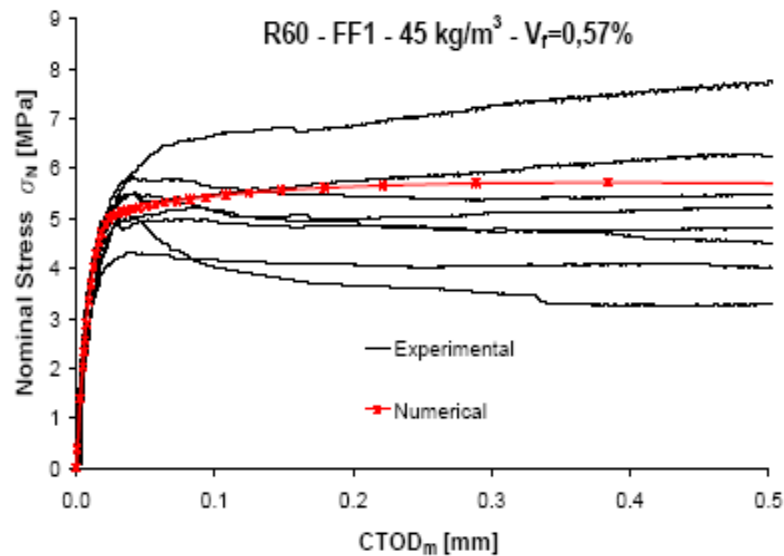
R60 - FF1 - 35 kg/m³ - V_r=0,45%



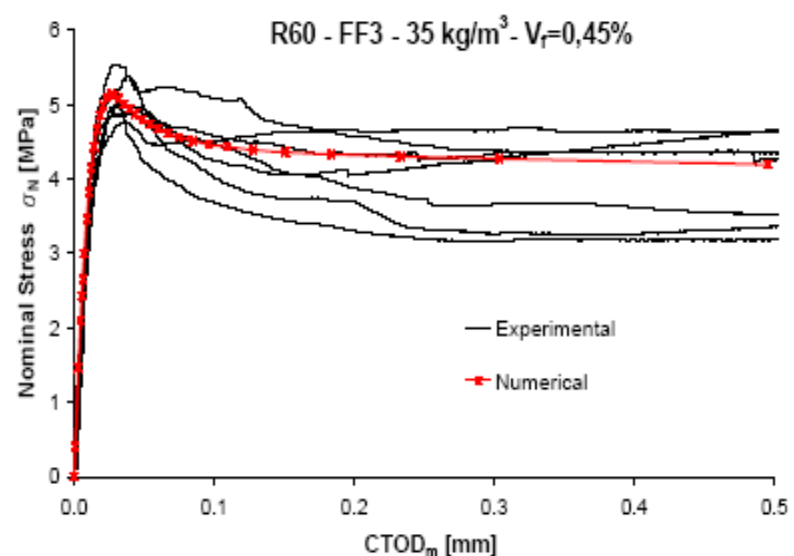
R60 - FF3 - 25 kg/m³ - V_r=0,32%



R60 - FF1 - 45 kg/m³ - V_r=0,57%

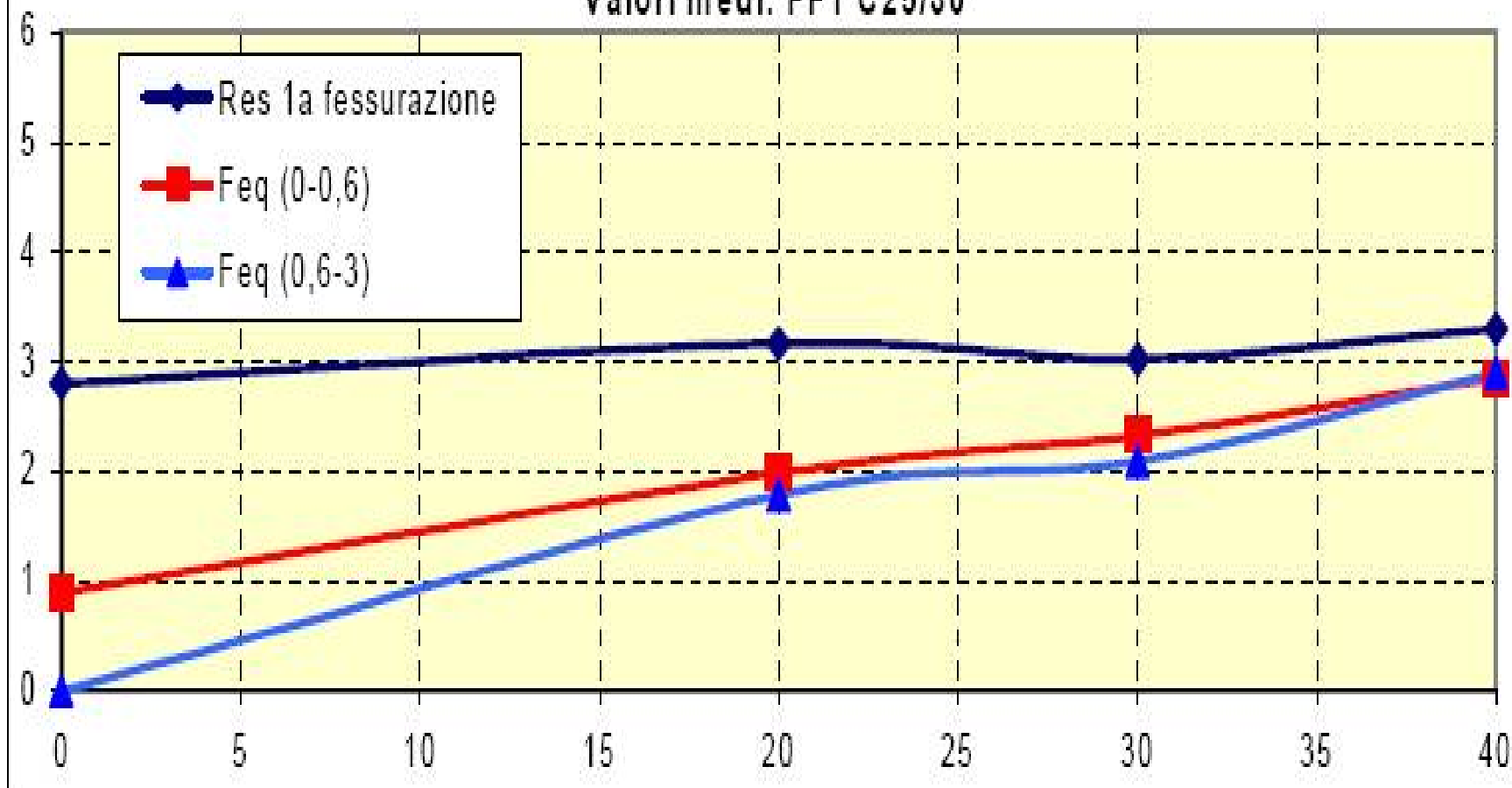


R60 - FF3 - 35 kg/m³ - V_r=0,45%



MPa vs t/m^3

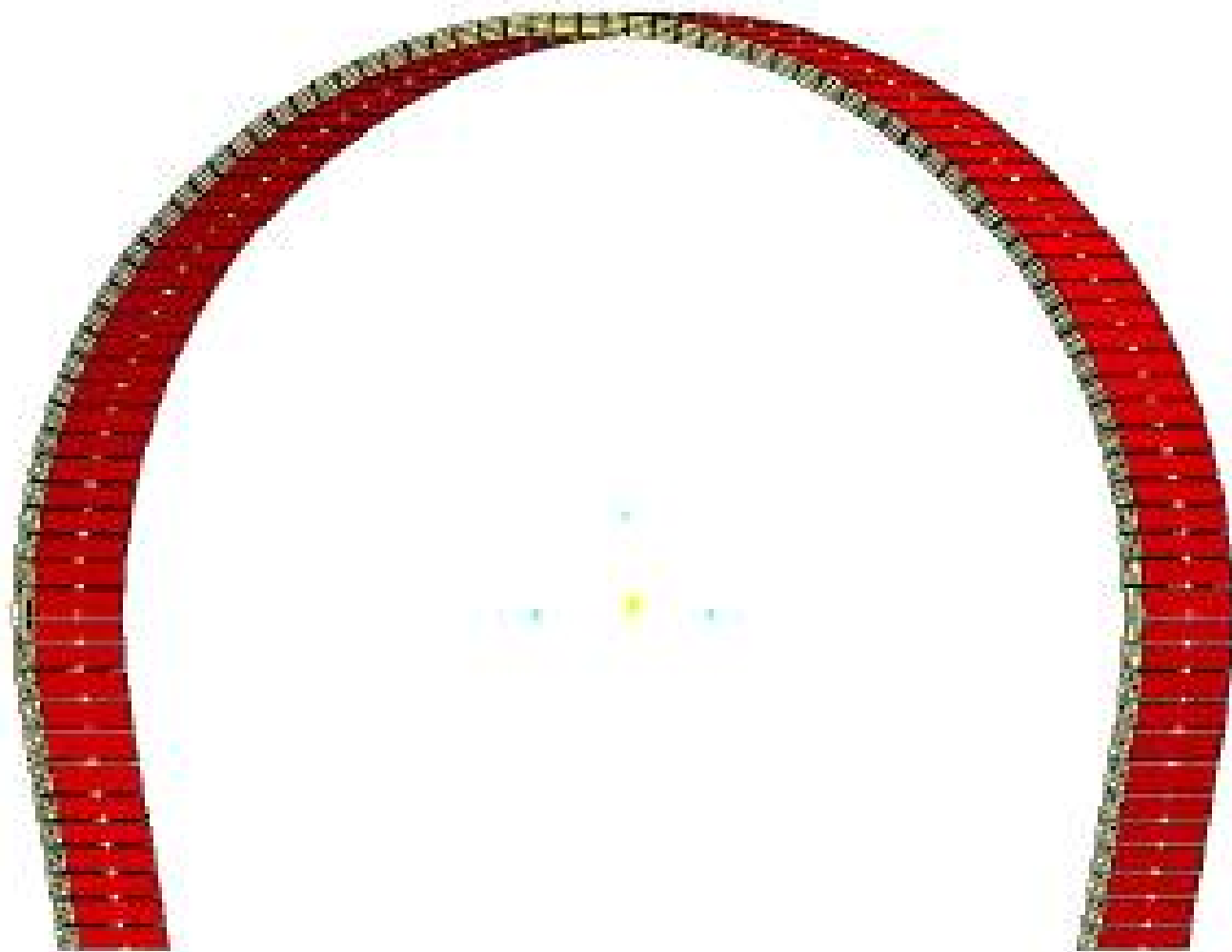
Valori medi: FF1 C25/30

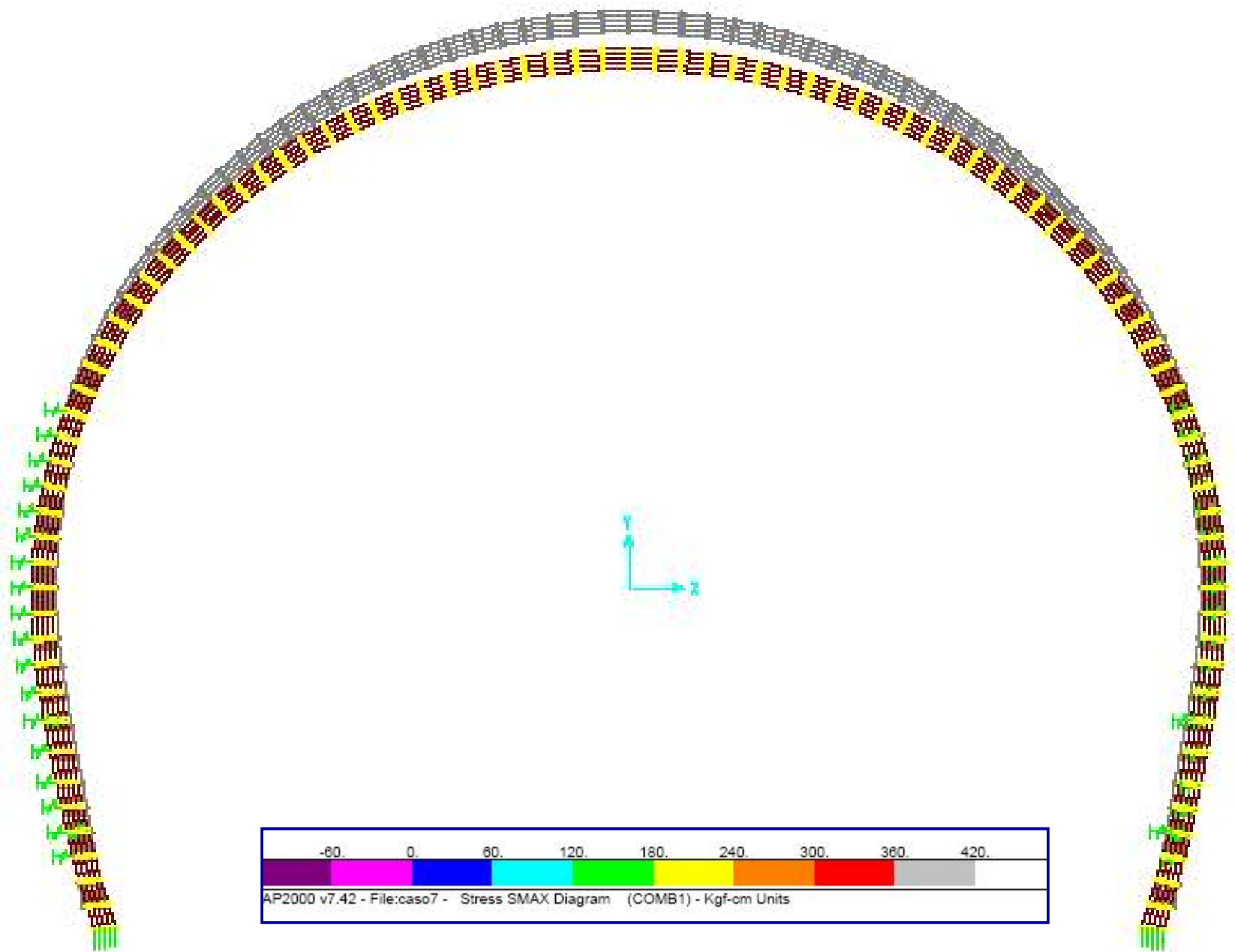


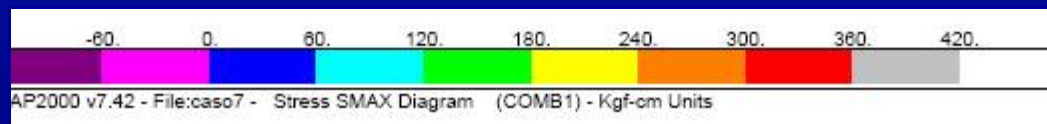
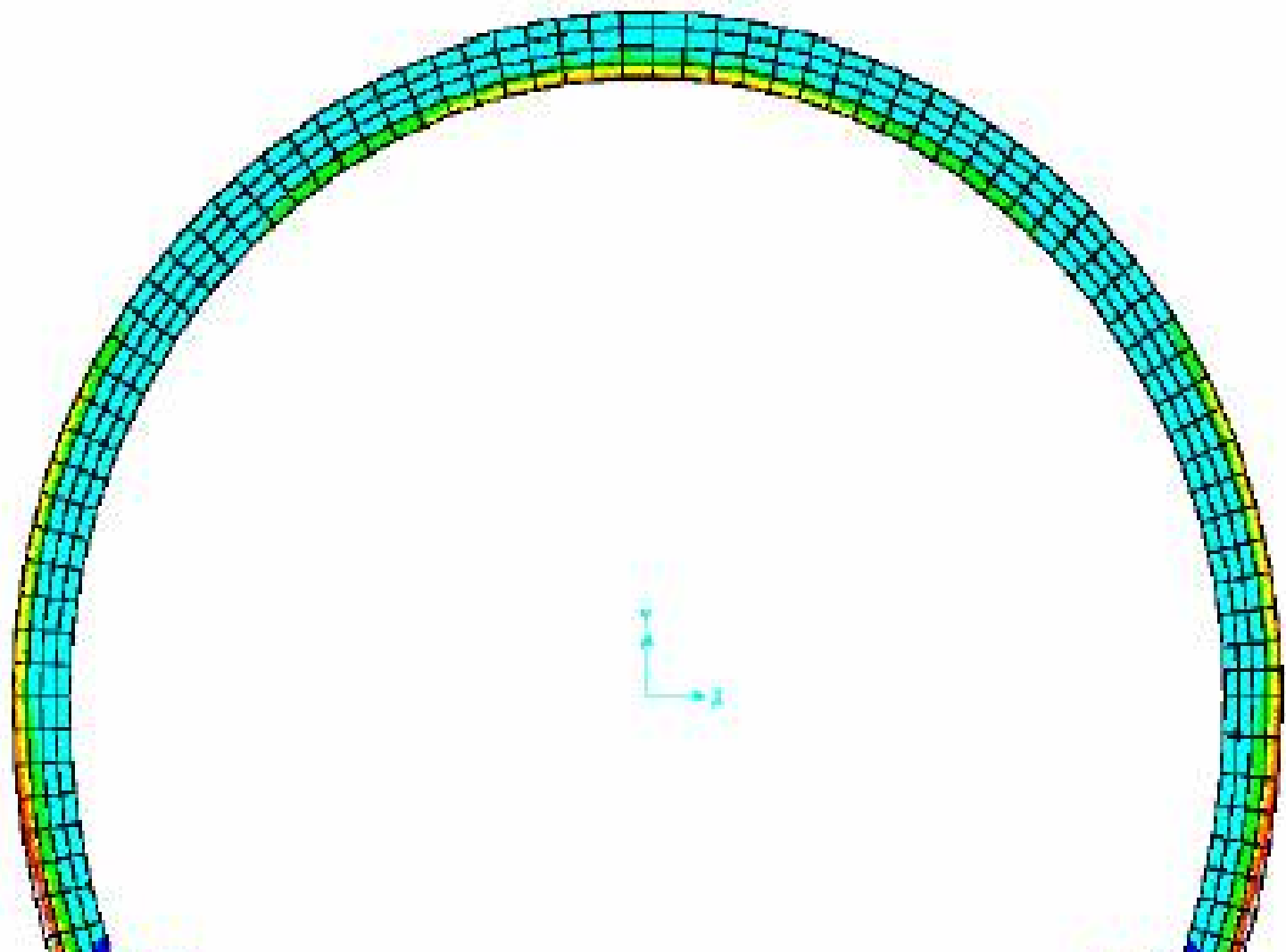
EJEMPLO DE RESULTADOS DE UNA CAMPAÑA DE ENSAYOS DE DISEÑO

Fibra FS3 (30/0.75)		Concreto C24/30			Dos. 25 Kg/m ³	
Muestra	f_{IT} (MPa)	$D_0 \times D_1$	$f_{(0-0.6)}$ (MPa)	$f_{(0.6-3)}$ (MPa)	Dosificación (Kg/m ³)	f_{eqm} (MPa)
Sanchon_Prueb_1A	4,5	0,3111	3,01	1,40	25	1,72
Sanchon_Prueb_1B	3,7	0,2620	2,47	0,97	25	1,27
Sanchon_Prueb_1C	4,3	0,3865	3,58	1,66	25	2,04
Sanchon_Prueb_4A	4,2	0,4074	3,89	1,71	25	2,15
Sanchon_Prueb_4B	2,6	0,3458	1,95	0,90	25	1,11
Sanchon_Prueb_4C	3,0	0,4418	2,21	1,33	25	1,50
Corona_Prueb_3A	3,5	0,3517	2,52	1,23	25	1,49
Corona_Prueb_3B	2,7	0,6726	1,04	1,82	25	1,66
Corona_Prueb_3C	2,8	0,3482	1,32	0,97	25	1,04
Pila 4-2 27-8-04	2,8	0,3881	1,97	1,09	30	1,26
Pila 4-4 27-8-04	2,6	0,4167	1,61	1,08	30	1,19
Pila 1-2A 01-9-04	2,8	0,4339	1,79	1,21	30	1,33
Pila 1-2B 01-9-04	3,1	0,4181	1,29	1,30	30	1,30
Pila 1-2C 01-9-04	2,5	0,5663	1,83	1,42	30	1,50
Promedio	3,22	0,39	2,44	1,33	25	1,47

MODELO SOPORTE PRIMARIO







$$f_{eq_{min}} = 1.04 \text{ MPa} = 10.4 \text{ Kg/cm}^2$$

MÁXIMAS TRACCIONES EN SOPORTES PRIMARIOS (Kg/cm²)

CASO Cargas	Terreno Más Rígido	Terreno Menos Rígido	Menor Presión Lateral		SOPORTE Tipo
	Tracción en Hastiales		Tracción Hastiales	Tracción Bóveda	
			(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	
1	0.80	0.94	2.50	2.10	P-c
2	0.55	0.56	2.00	1.30	P-c
3	2.50	2.53	8.20	3.30	P-d
4	1.30	1.50	5.70	2.60	P-d
5	0.45	0.51	2.30	1.50	P-d
6	0.35	0.41	1.50	0.90	P-c
7	1.10	1.54	7.30	4.10	P-e
8	2.80	2.80	9.00	3.70	P-d
9	0.20	1.30	2.40	1.50	P-e
10	1.10	2.90	3.90	2.20	P-d

OTRO EJEMPLO DE RESULTADOS DE UNA CAMPAÑA DE ENSAYOS DE DISEÑO

Fibra FS3 (30/0.75)		Concreto C24/30			Dos. 30 Kg/m ³
Ensayo	f _{tr} (MPa)	D ₀	D ₁	D ₀ x D ₁	f _{eq} (MPa)
Viga 4	3.3647	0.70	0.69	0.48	1.63
Viga 6	3.6140	0.75	0.66	0.49	1.78
Viga 7	2.2316	0.85	0.55	0.47	1.04
Viga 8	2.7779	0.64	0.66	0.42	1.18
Viga 9	2.5218	0.72	0.74	0.53	1.35
Viga 10	2.6043	0.75	0.78	0.58	1.52
Viga 11	2.9640	0.76	0.83	0.63	1.86
Viga 12	3.3916	0.78	0.83	0.65	2.20
Viga 13	2.9491	0.75	0.73	0.55	1.62
Viga 14	3.5628	0.77	0.82	0.63	2.25
Viga1	3.4203	0.75	0.69	0.52	1.77
Viga2	3.3610	0.82	0.44	0.36	1.21
Viga3	3.7265	0.87	0.51	0.44	1.65
Viga4	3.5866	0.72	0.69	0.50	1.80
Viga5	2.9803	0.72	0.74	0.53	1.58
Viga6	2.6753	0.74	0.69	0.51	1.36
Viga7	3.1778	0.80	0.75	0.60	1.89
Viga8	2.9311	0.84	0.50	0.42	1.24
Viga9	2.3570	0.79	0.74	0.59	1.38
Viga10	2.6480	0.79	0.60	0.47	1.25
Viga11	2.6939	0.75	0.57	0.43	1.16
Viga12	3.2441	0.66	0.68	0.45	1.46
f _{itm} (MPa)		D _{0m}	D _{1m}	(D ₀ x D ₁) _m	f _{eqm} (MPa)
3.0356		0.76	0.68	0.51	1.55

TABLA 10. Resultados de ensayos a flexión sobre vigas de concreto fibroreforzado

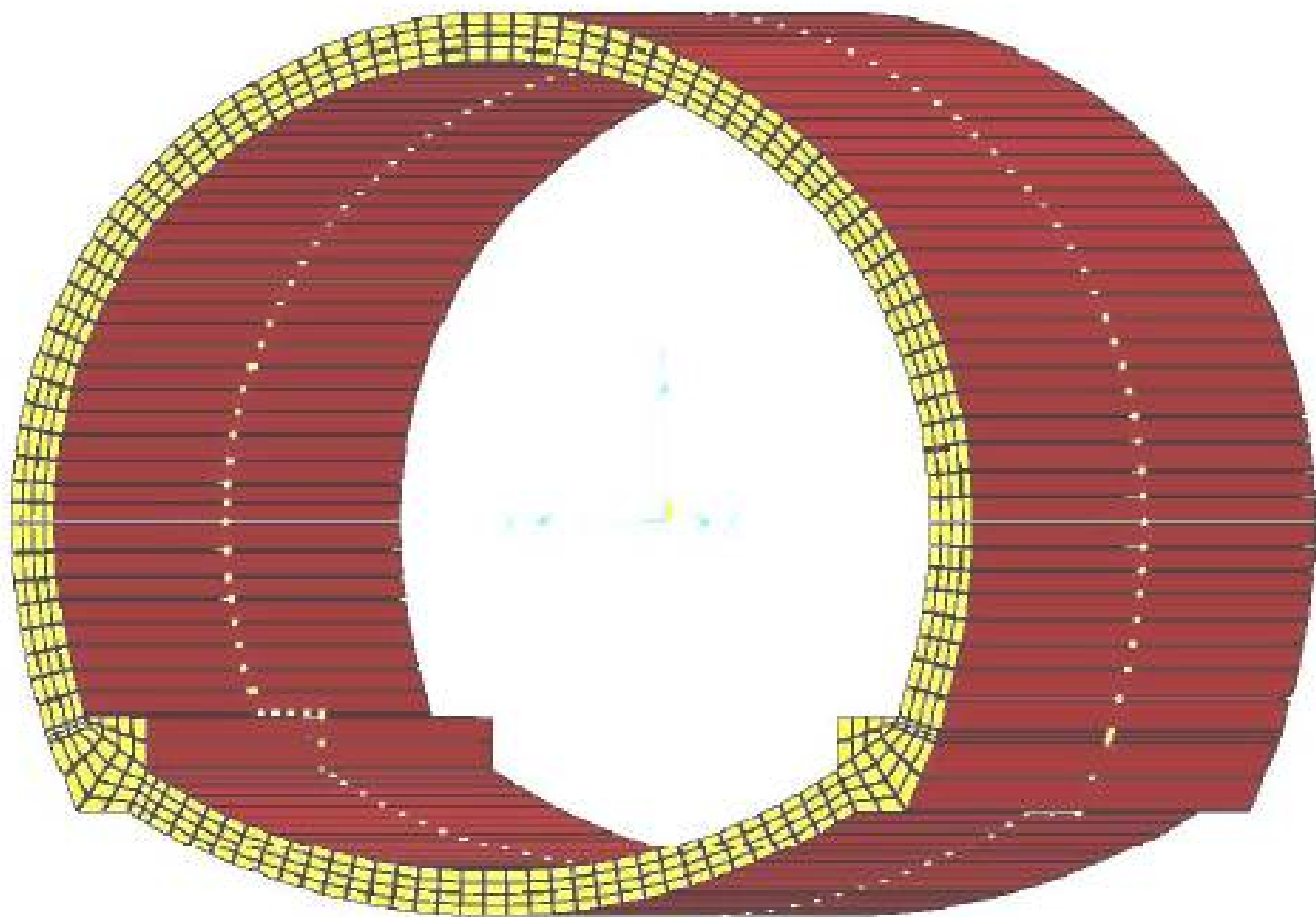


Figura 22 *Modelo numérico SAP para el revestimiento de los túneles*

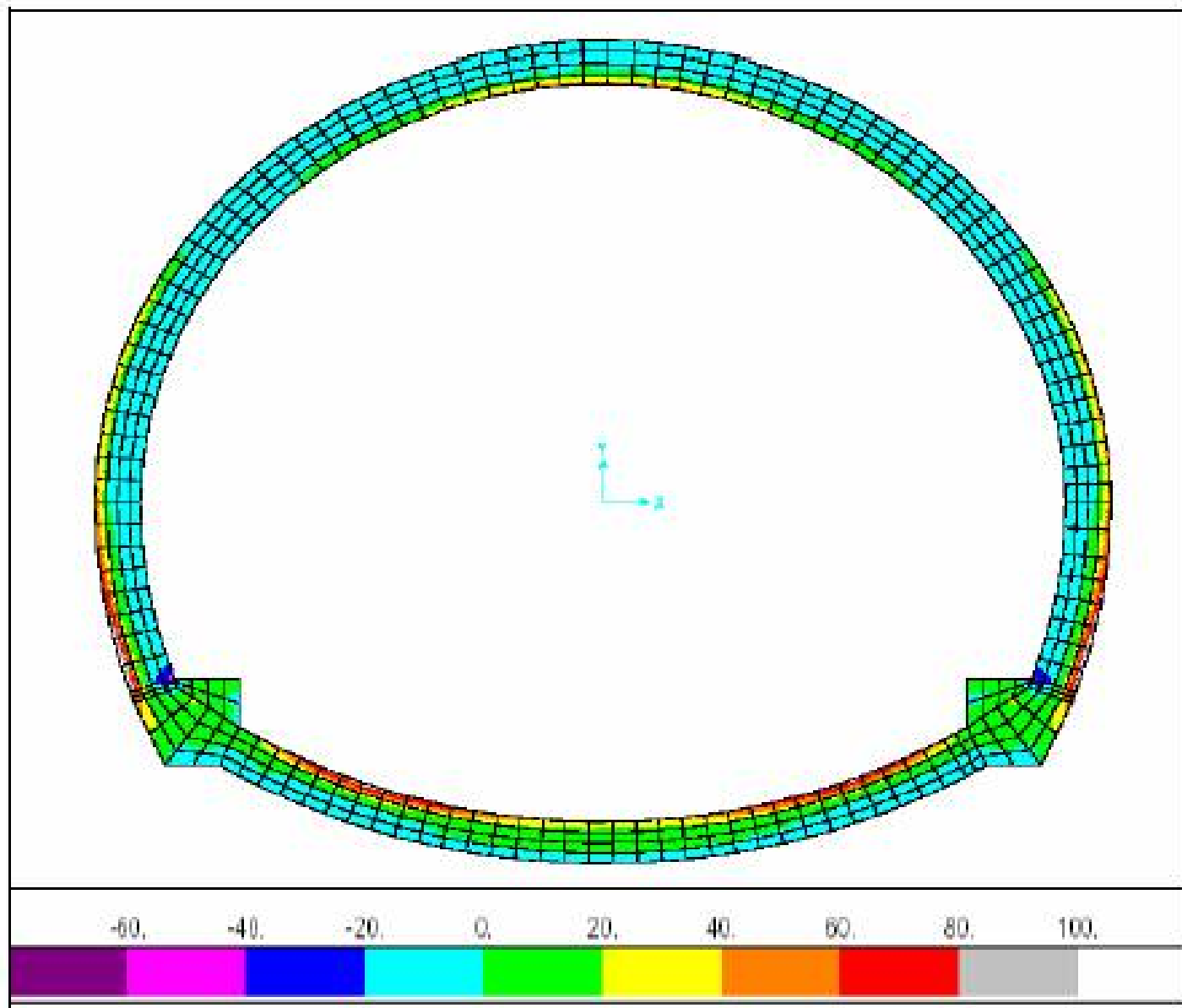


Figura 24 *Ejemplo gráfico de esfuerzos principales máximos en el revestimiento*

REVESTIMIENTOS EN CONCRETO VACIADO

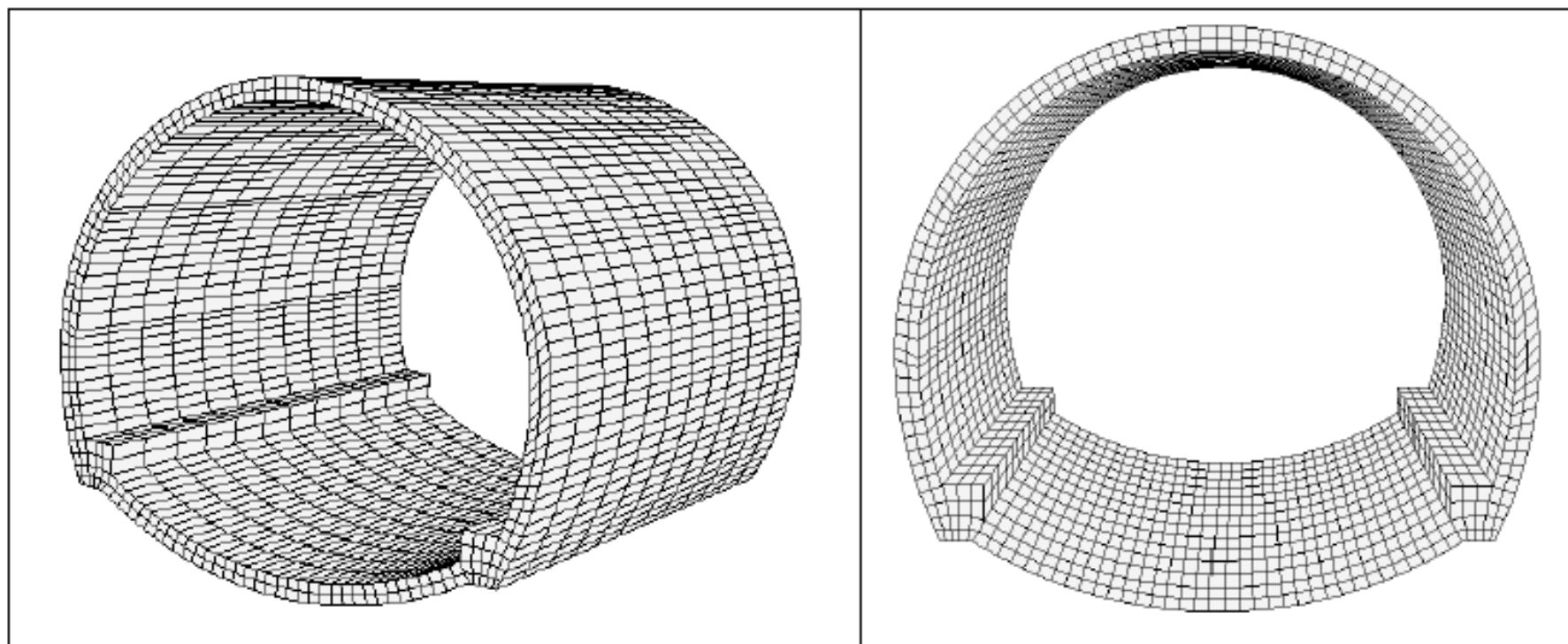
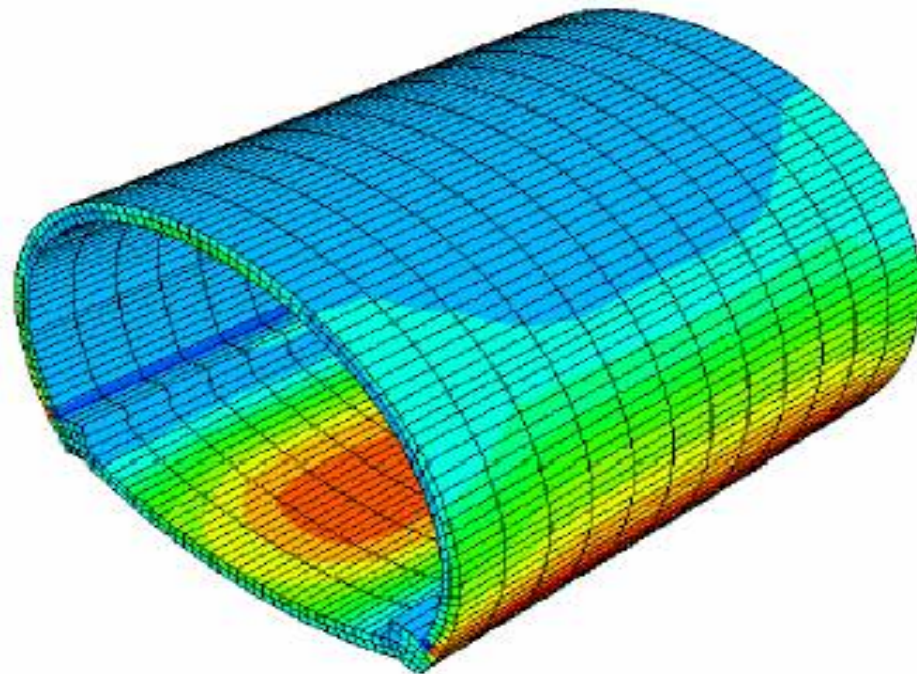
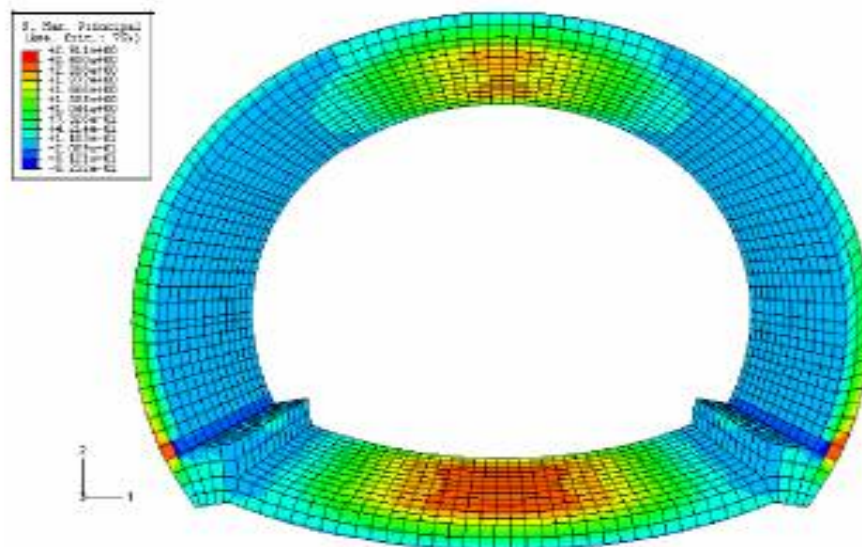


Figura 25 *Mesh tridimensional de 3072 elementos del modelo ABAQUS del revestimiento*



Figuras 28 - 29 *Solicitaciones principales máximas en el revestimiento fibro-reforzado*



REVESTIMIENTOS EN BAJAS COBERTURAS

CASOS	Terreno Más Rígido		Terreno Menos Rígido		REVEST. Tipo
	Tracción	Tracción	Tracción	Tracción	
	Boveda (Kg/cm ²)	Hastiales (Kg/cm ²)	Boveda (Kg/cm ²)	Hastiales (Kg/cm ²)	
1	24.60	2.43	131.50	101.70	RF 2-Pc
16	12.50	0.95	34.40	11.60	RF 2-Pc
2	42.20	7.40	221.00	178.10	RF 2-Pd
3	32.60	4.30	175.50	141.80	RF 2-Pd
4	16.70	2.10	53.30	12.80	RF 2-Pd
5	4.80	0.57	27.50	4.30	RF 2-Pc
6	1.83	0.35	15.40	0.76	RF 1
7	46.60	11.60	276.30	250.00	RF 2*
8	44.95	10.80	165.30	216.70	RF 2-Pd

REVESTIMIENTOS EN ALTAS COBERTURAS

CASOS	Terreno Más Rígido		Terreno Menos Rígido		REVEST. Tipo
	Tracción	Tracción	Tracción	Tracción	
	Boveda (Kg/cm ²)	Hastiales (Kg/cm ²)	Boveda (Kg/cm ²)	Hastiales (Kg/cm ²)	
9	0.60	0.40	1.52	1.90	RF 1
10	1.20	0.70	6.60	0.83	RF 2-Pc
11	0.29	0.16	0.70	0.75	RF 1
12	2.40	4.20	20.50	1.60	RF 2-Pd
13	0.65	0.31	3.60	0.00	RF 2-Pc
14	4.20	1.65	55.40	1.80	RF 2*
15	3.70	2.41	32.70	2.70	RF 2-Pd

Esfuerzos máximos de tracción en el revestimiento obtenidos de los análisis numéricos

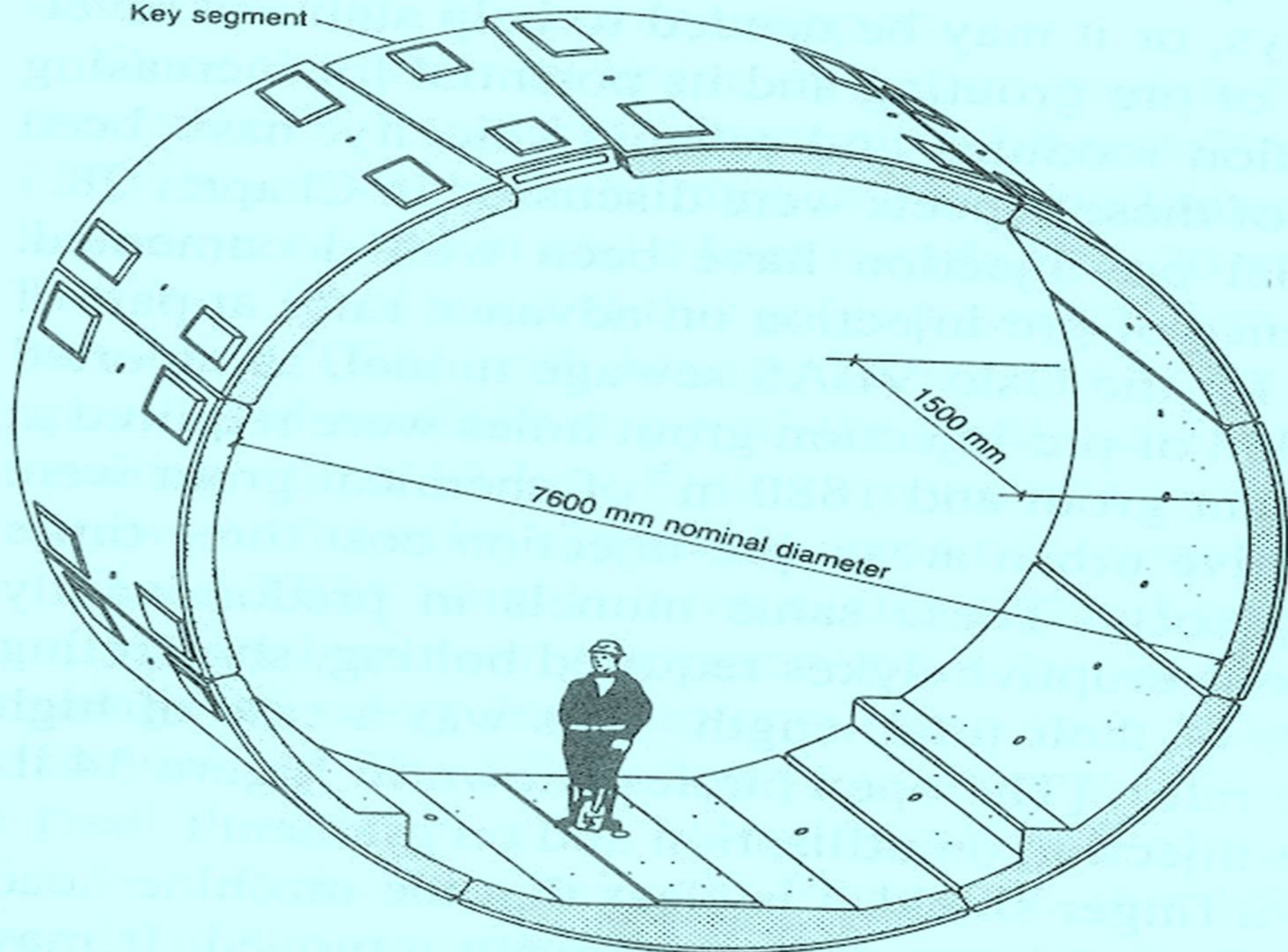
REVESTIMIENTOS EN CONCRETO VACIADO

$$f_{eq_{min}} = 1.55 \text{ MPa}$$

Máximas Tracciones en Bóveda y Hastiales (MPa)

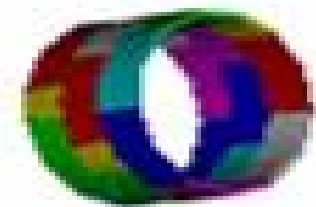
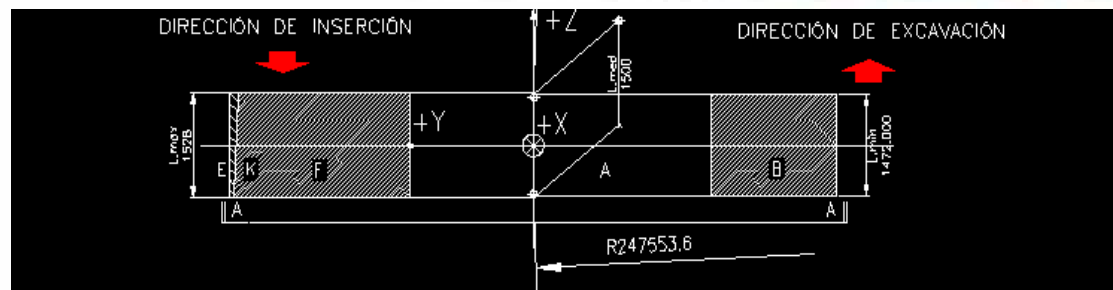
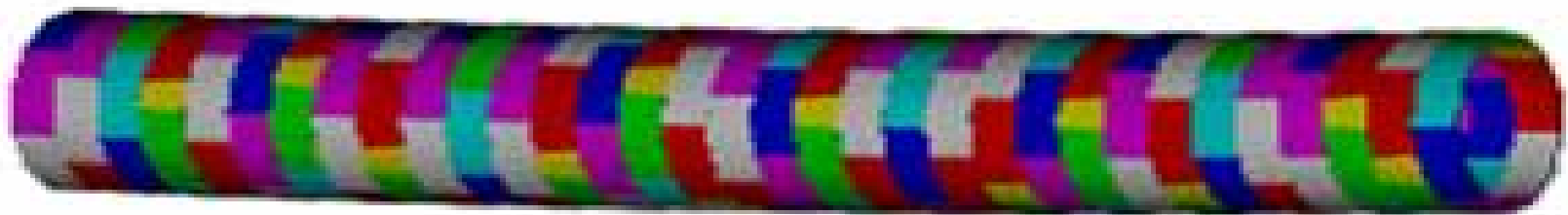
Revestimientos	Bajas Coberturas		Altas Coberturas	
	Terrenos Menos Rígidos	Terrenos Más Rígidos	Terrenos Menos Rígidos	Terrenos Más Rígidos
RF1 (30 cm)	1.54	0.18	0.19	0.06
RF2 (40 cm)	22.1	4.49	3.27	0.37
RF2* (50 cm)	27.63	4.66	5.54	

Key segment

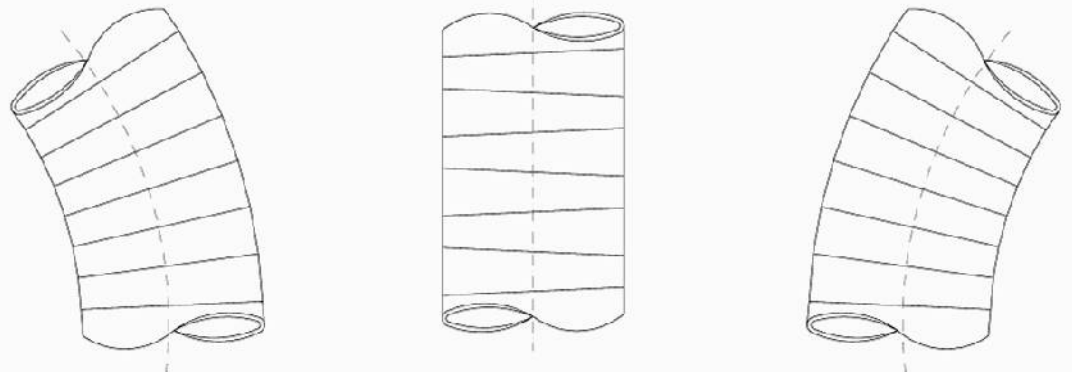
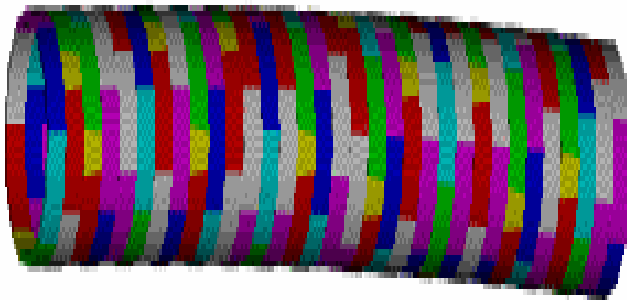
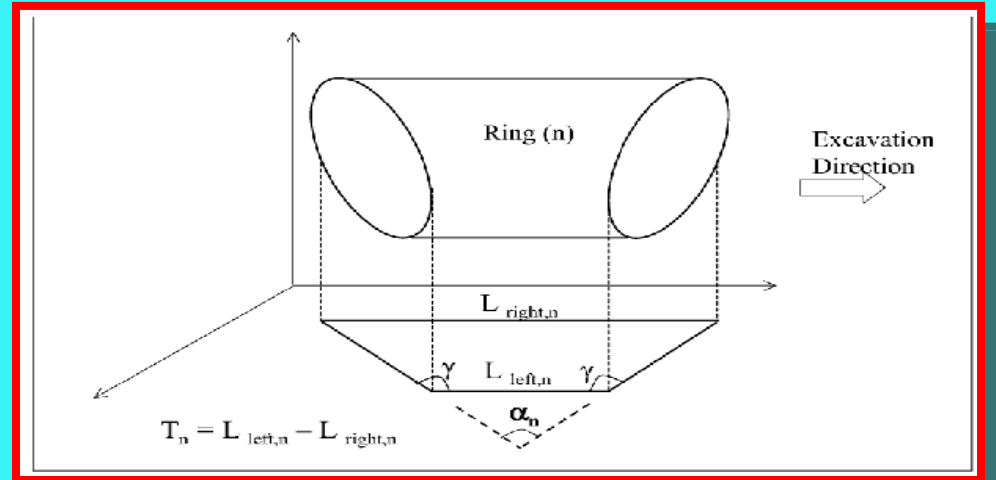
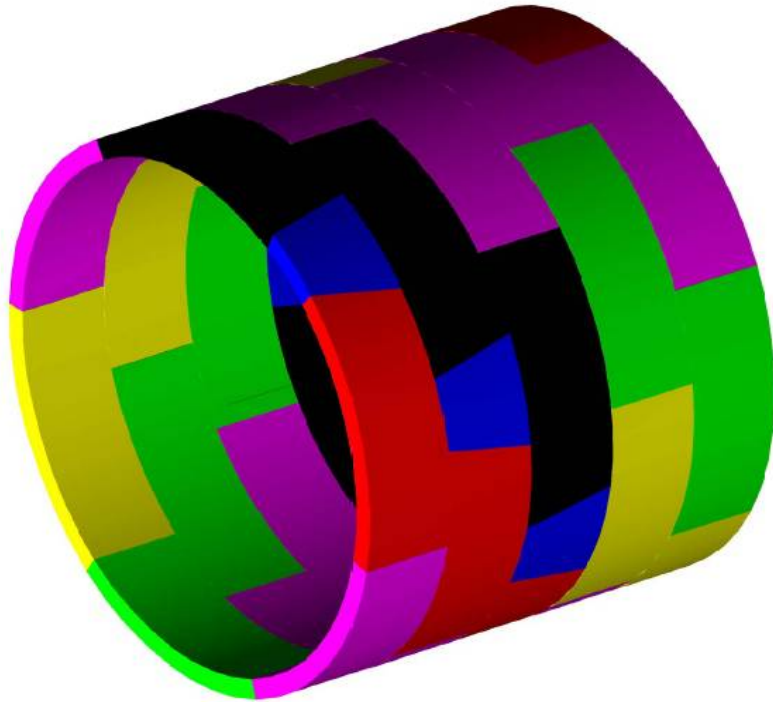


El Anillo Universal

La característica geométrica fundamental de un anillo universal se basa en el hecho que las dos secciones terminales del mismo no son paralelas (conicidad del anillo); 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



El Anillo Universal



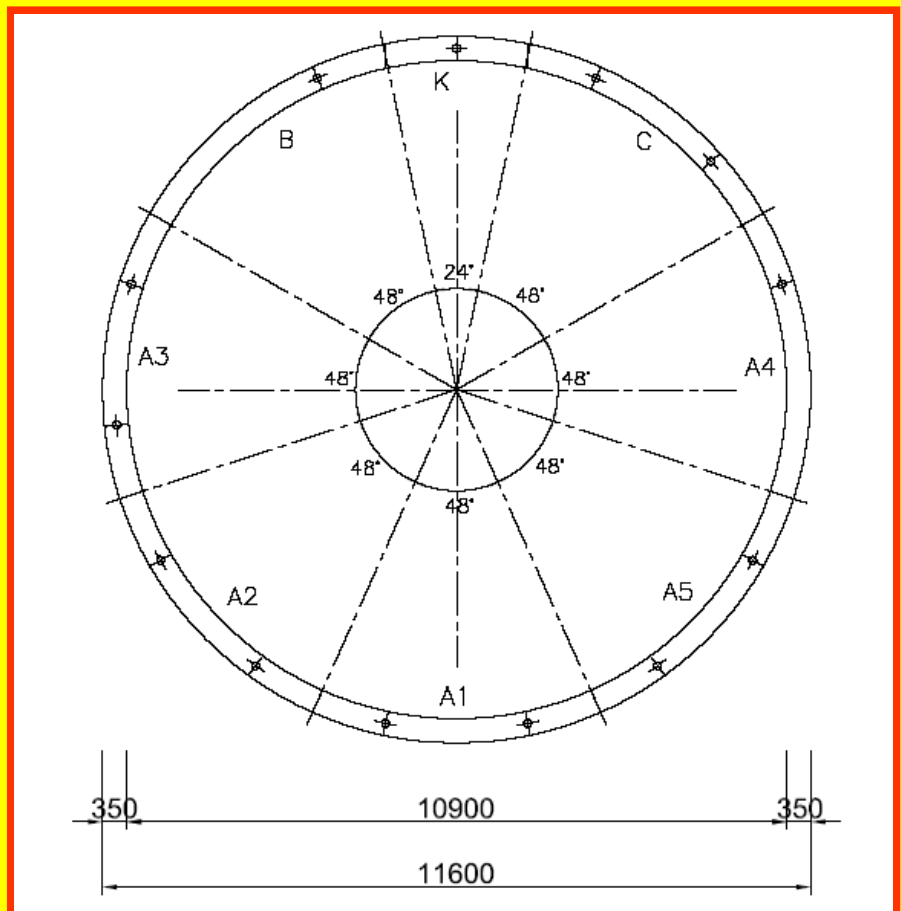
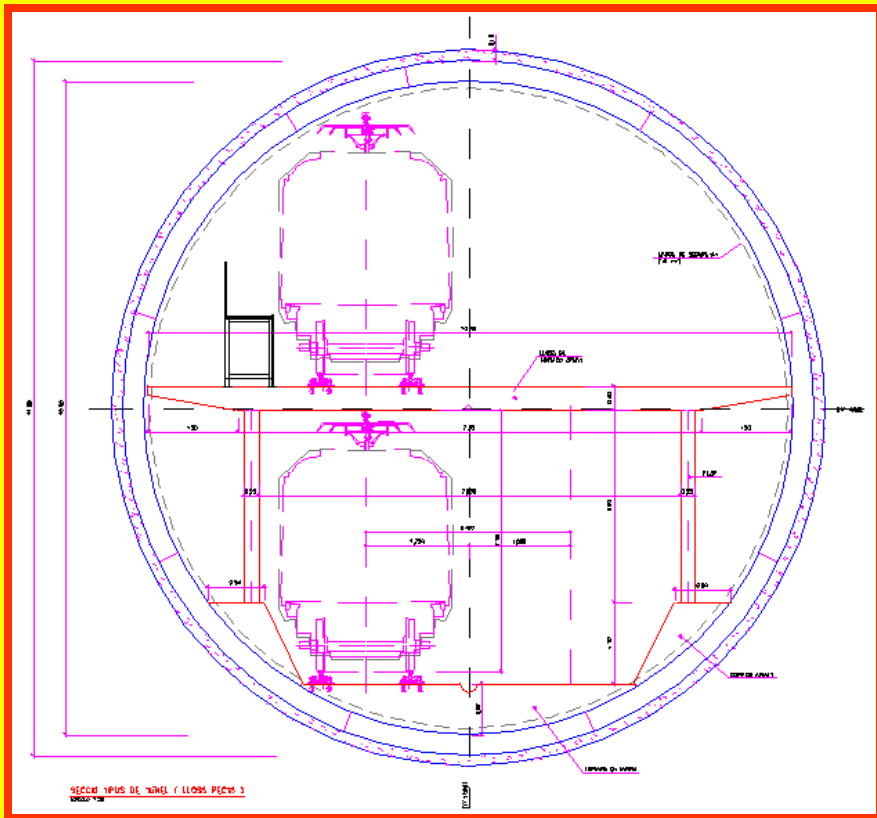


Metro de Valencia-Venezuela Linea 1

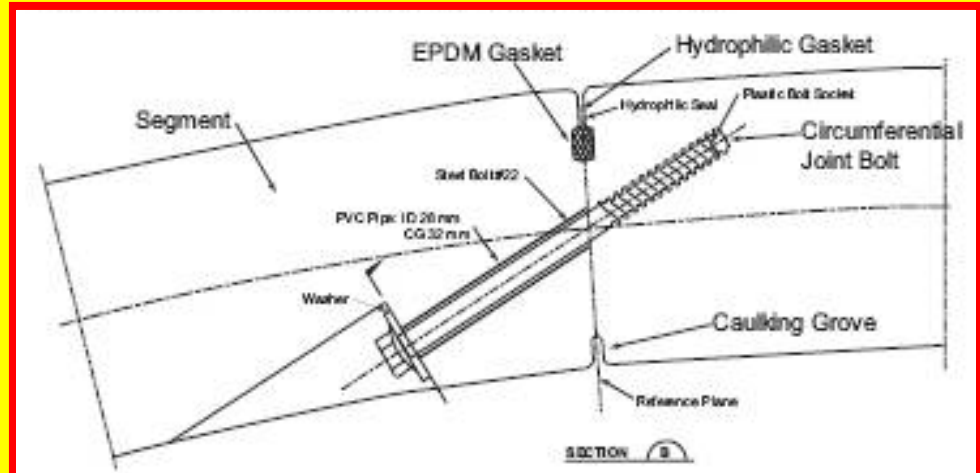
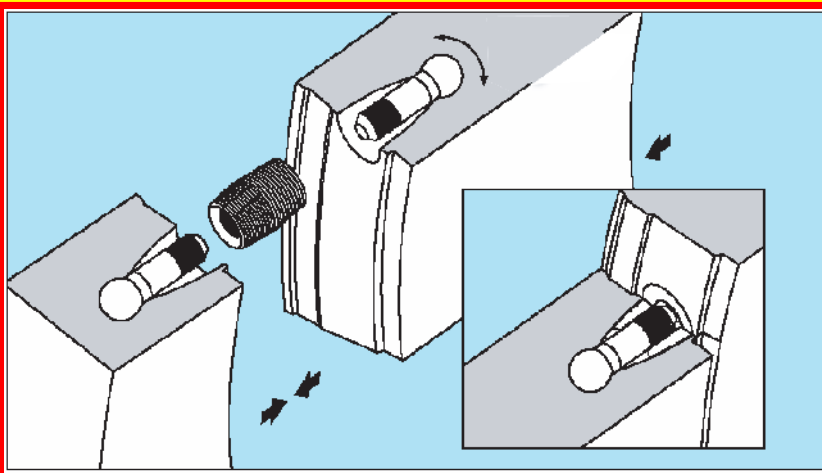
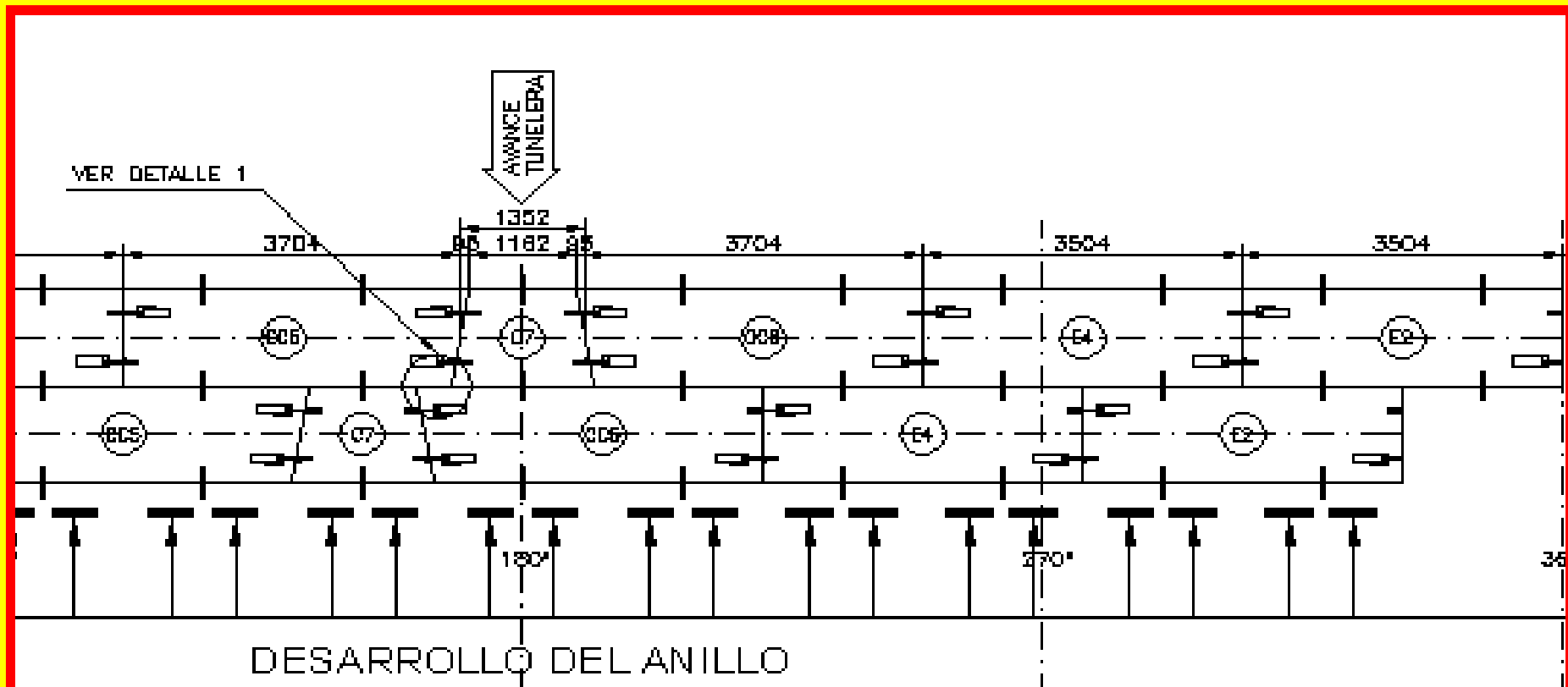


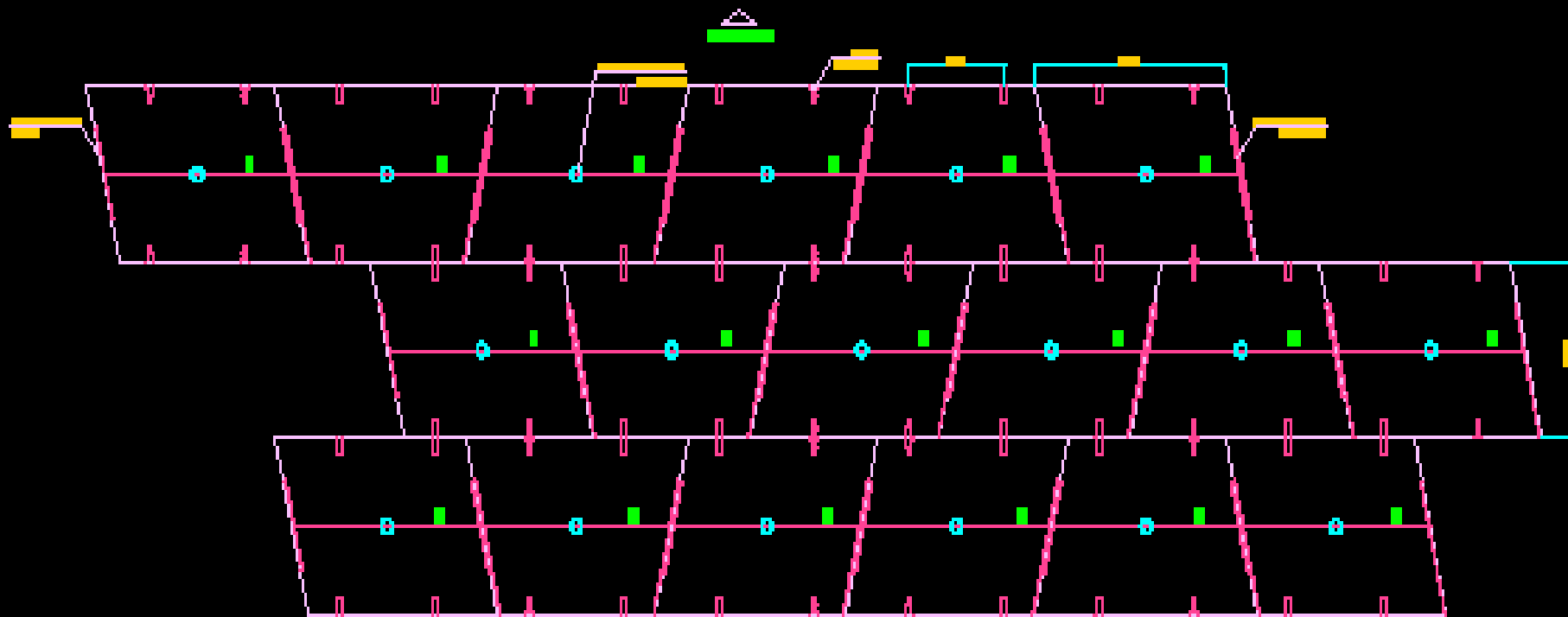


Metro de Bracelona - ESPAÑA

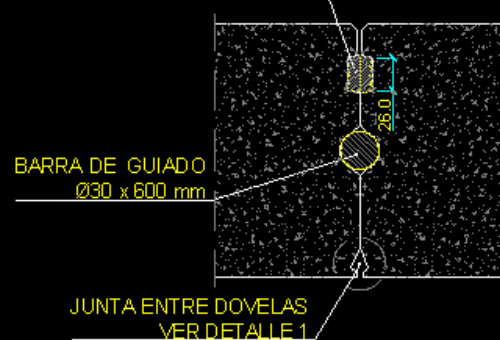




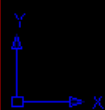




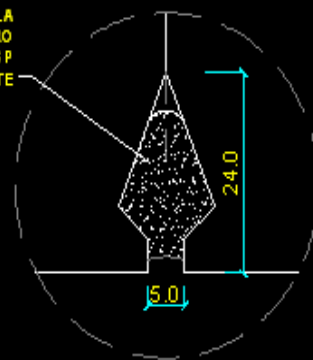
SELLO EPDM TIPO FIP T143



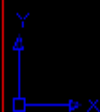
DETALLE DE LA JUNTA
DOVELA-DOVELA
ESCALA 1/5



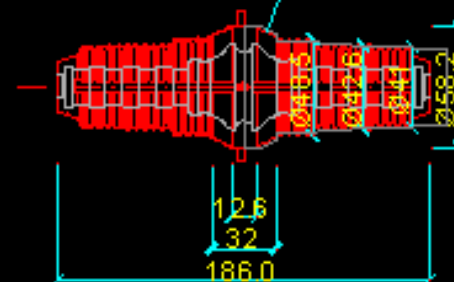
SELLADO CON MASILLA
DE POLISULFURO
TIPO MASTERFLEX 100 G P
O EQUIVALENTE



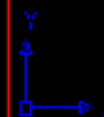
DETALLE 1
SELLADO DE LA JUNTA
ESCALA 1/1



SOFT-FIX TIP 60



CONECTOR TIPO
FIP BIBLOCK 60/200
ESCALA 1:5





















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

Tipo 70ES

sogene, C.A.



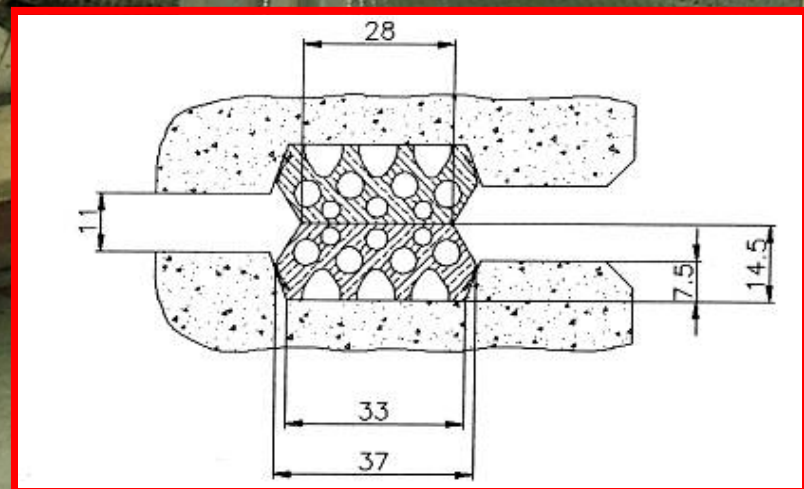
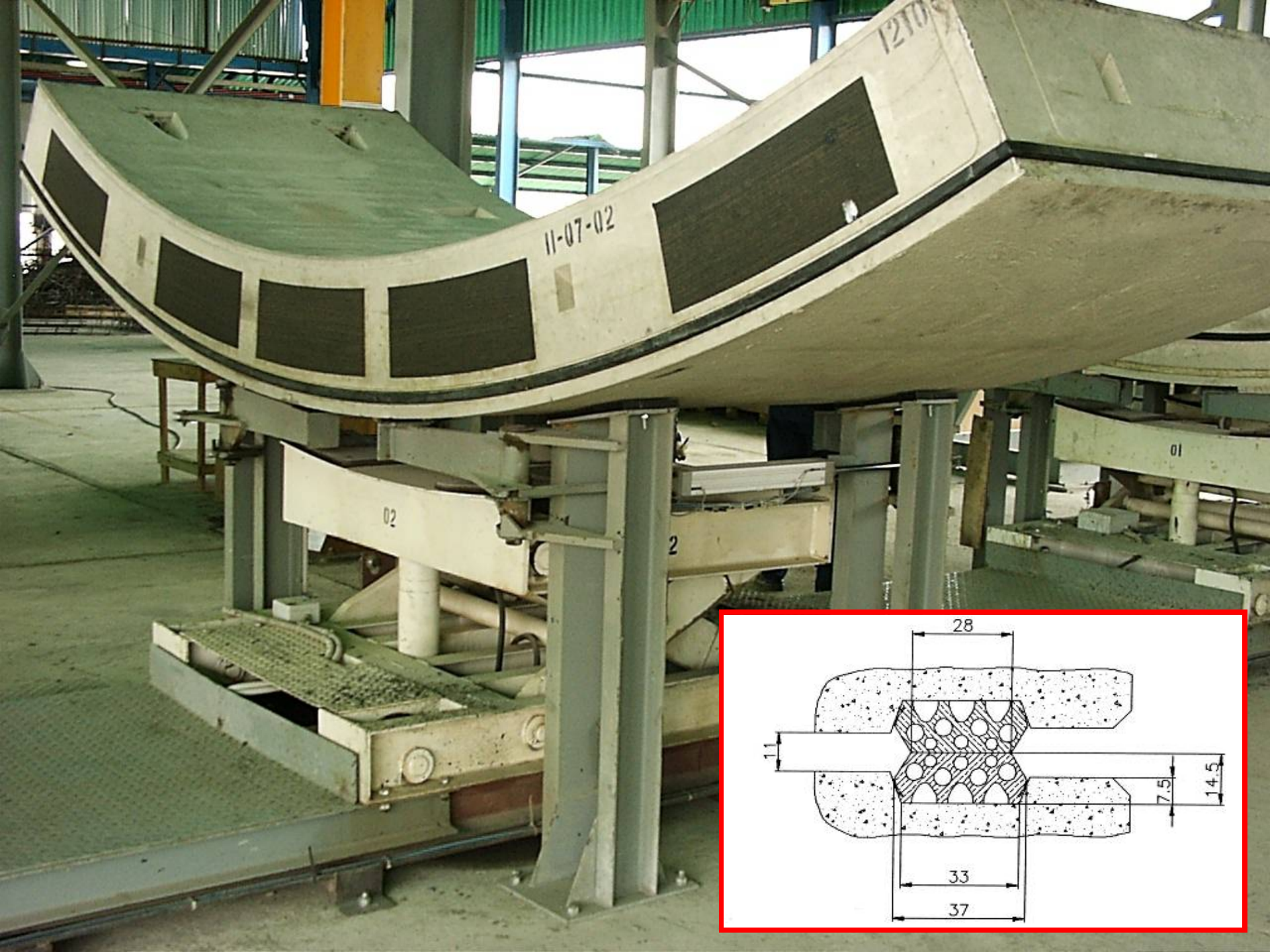
SE PROHIBE QUE DARSE DEBAJO DE LA CARGA
Tipo 70ES
CAPACIDAD DE LEVANTAMIENTO 7.000 kg/15.400 lbs













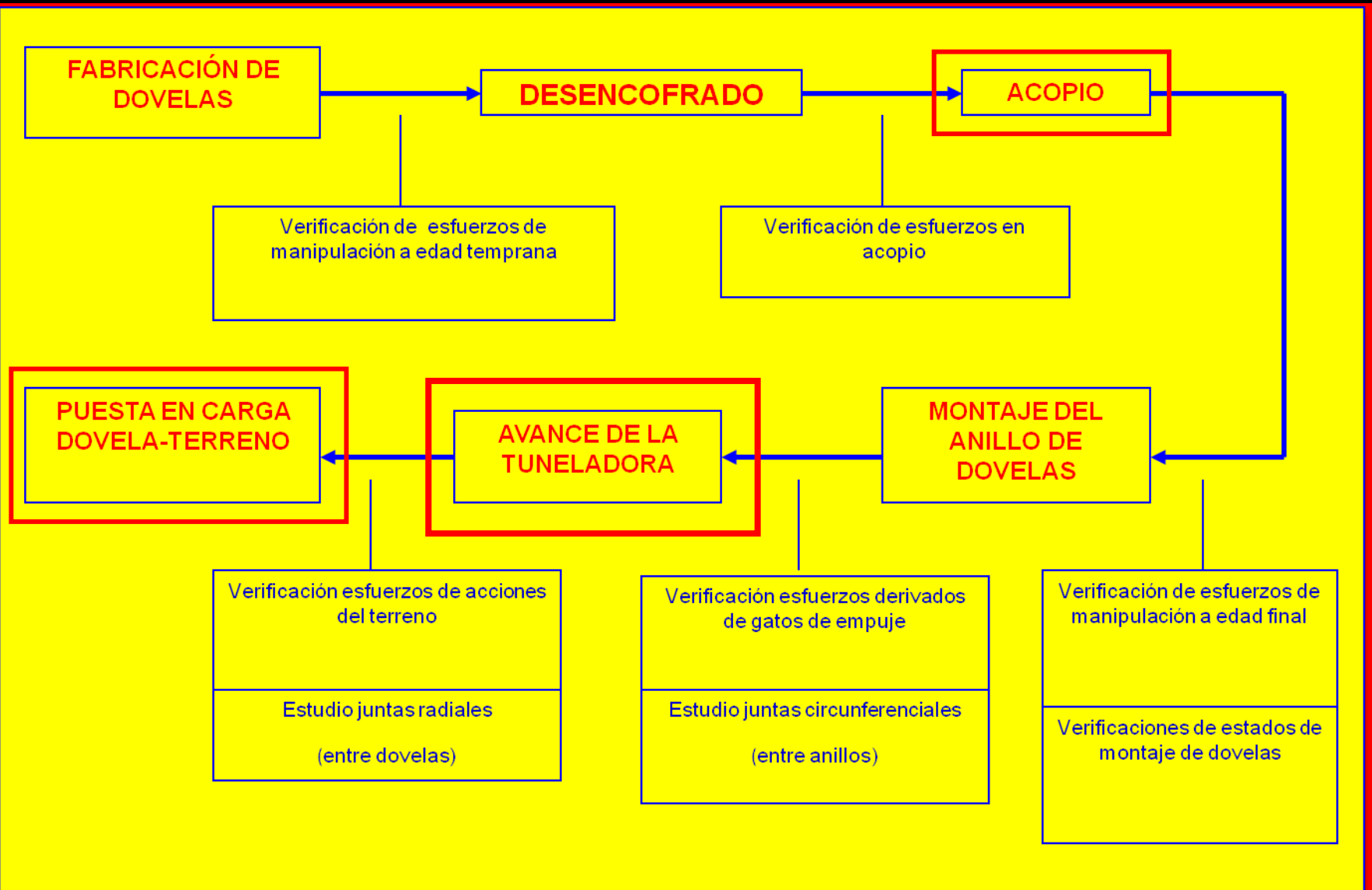


08/10/2004





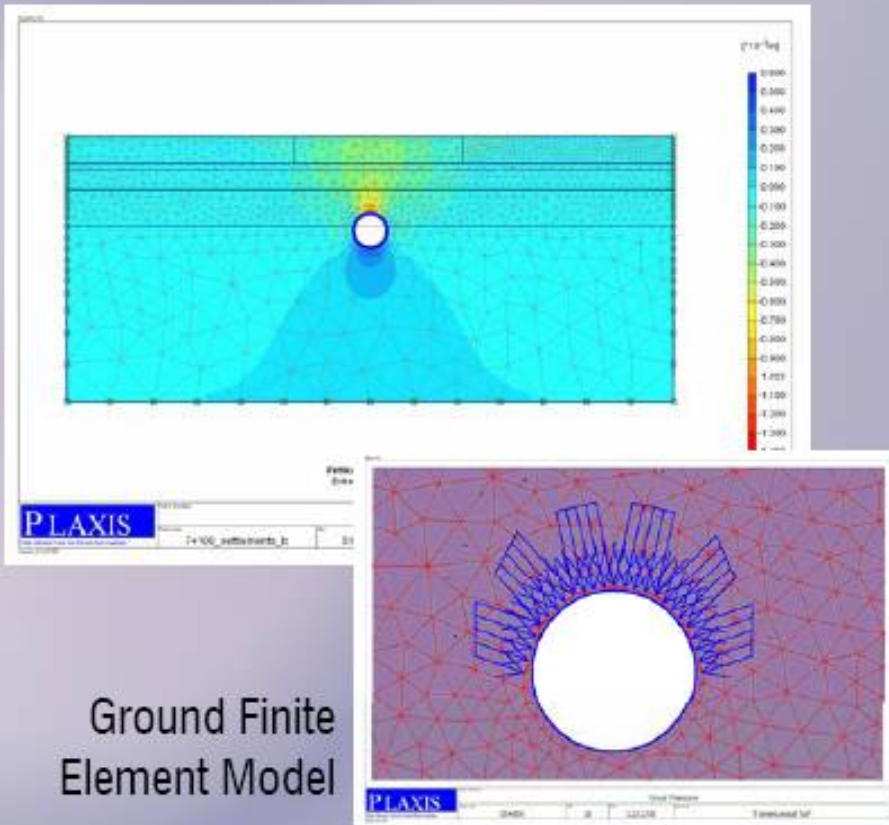
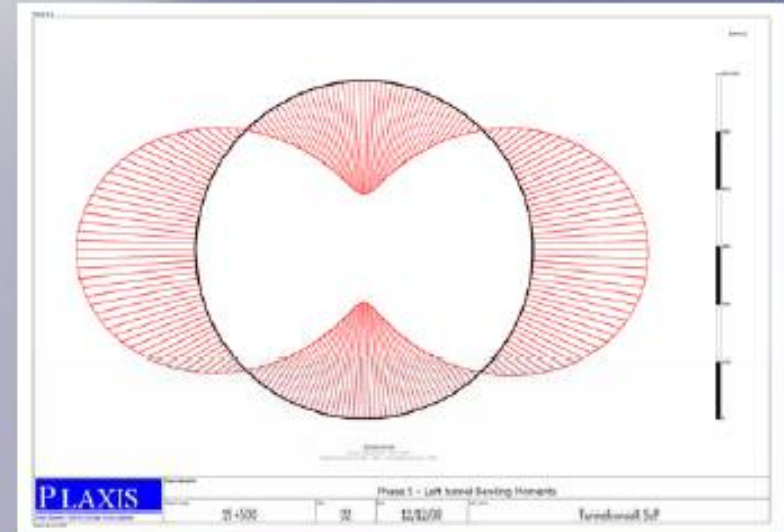
Solicitaciones en las dovelas de los anillos



■ Ground loads using FEM

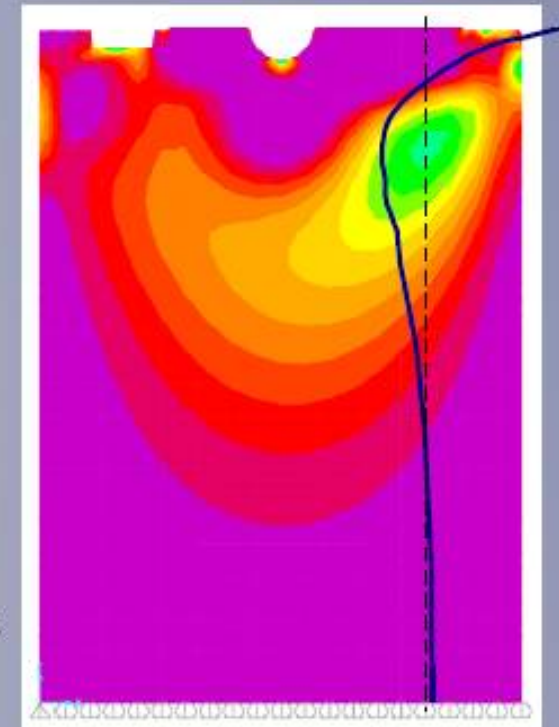
- Ground deformations
- Segmental forces
- Joint strength

Bending in the lining

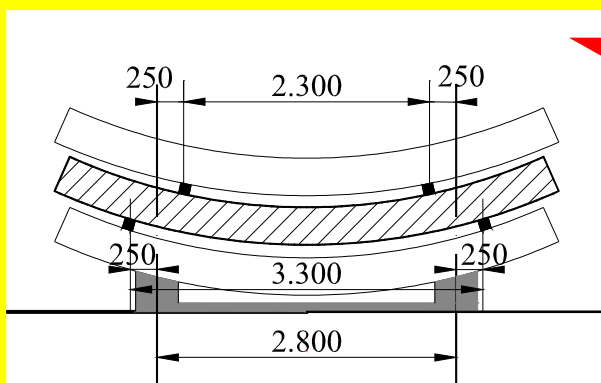
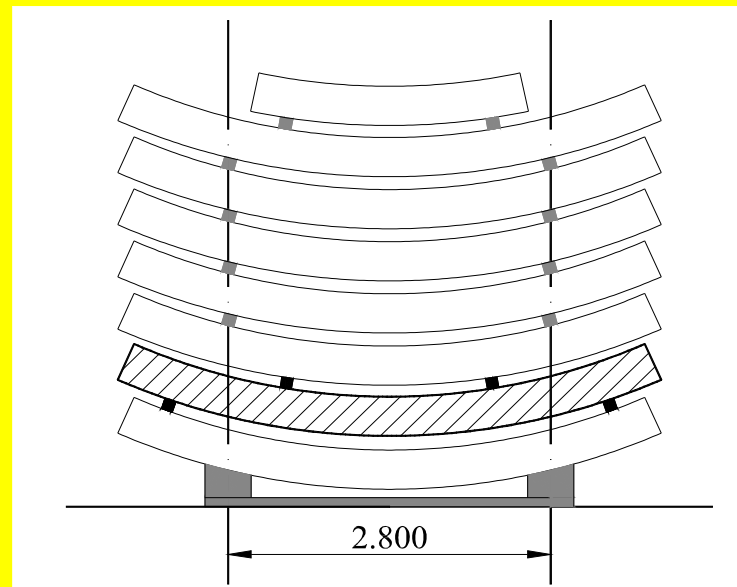
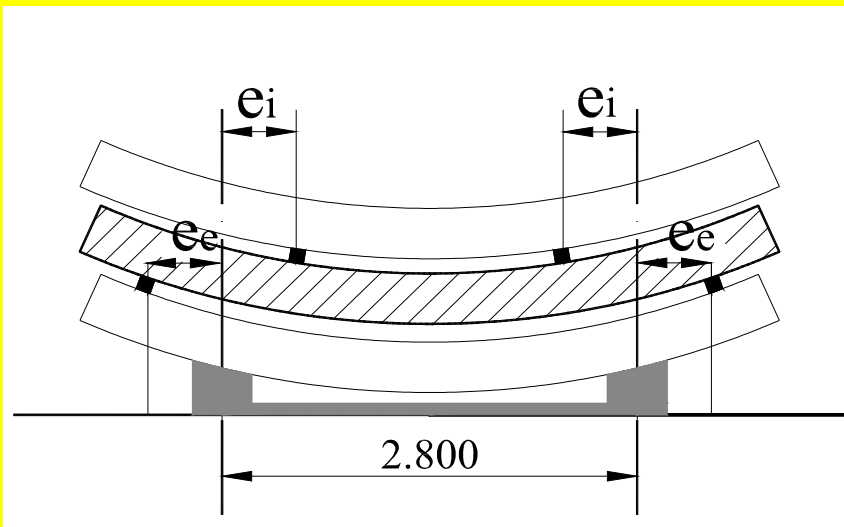


Ground Finite Element Model

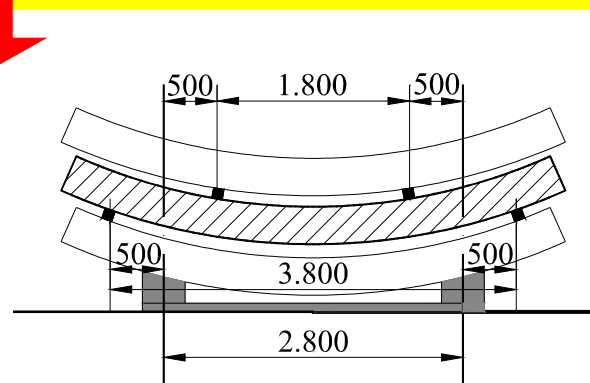
Joint analysis using FEM



Acopio o Almacenamiento

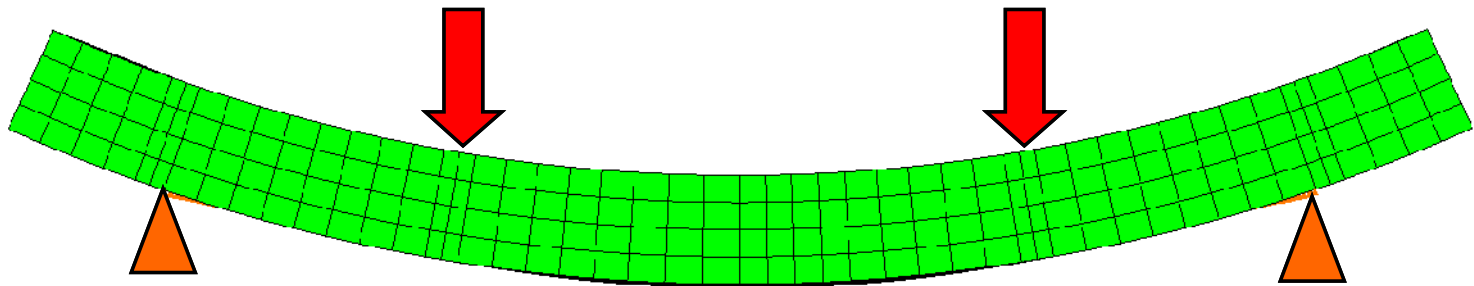


$$e_i = e_e = 250 \text{ mm}$$

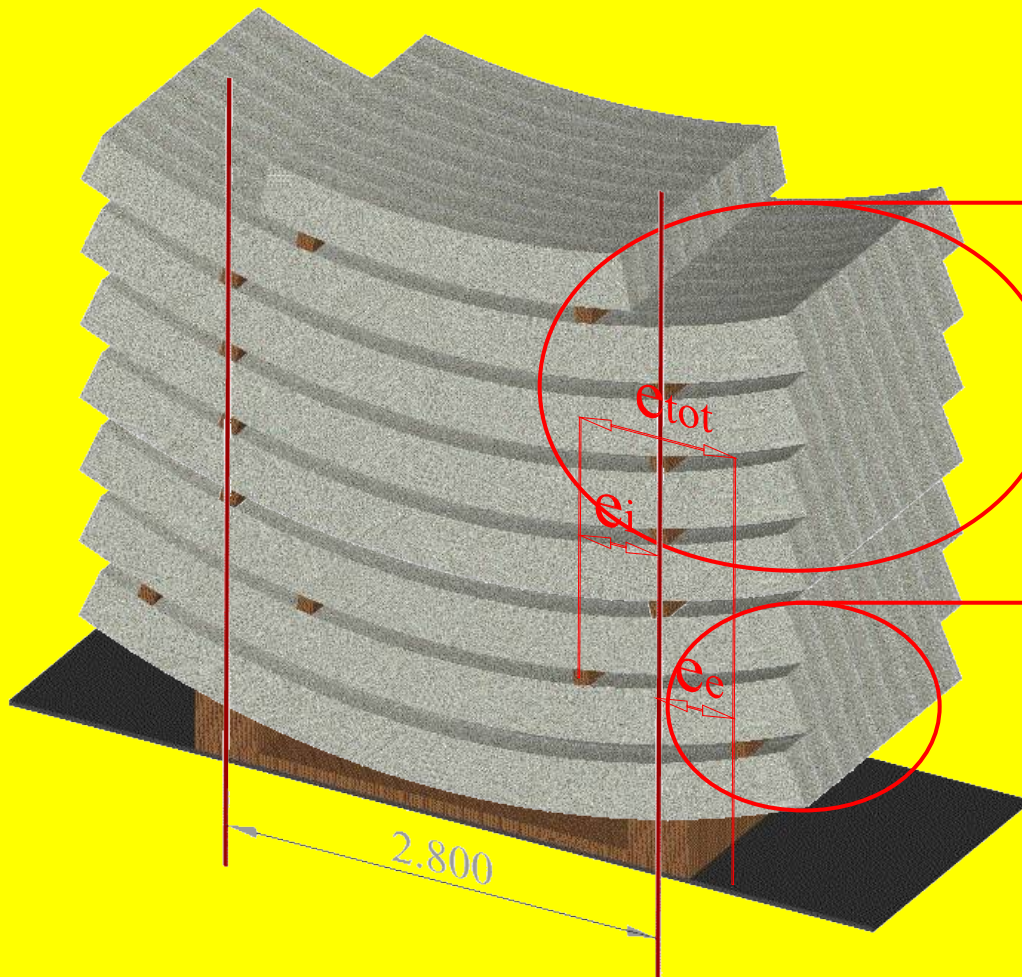


$$e_i = e_e = 500 \text{ mm}$$

Condiciones de Almacenamiento



Fases de Acopio, o Almacenamiento

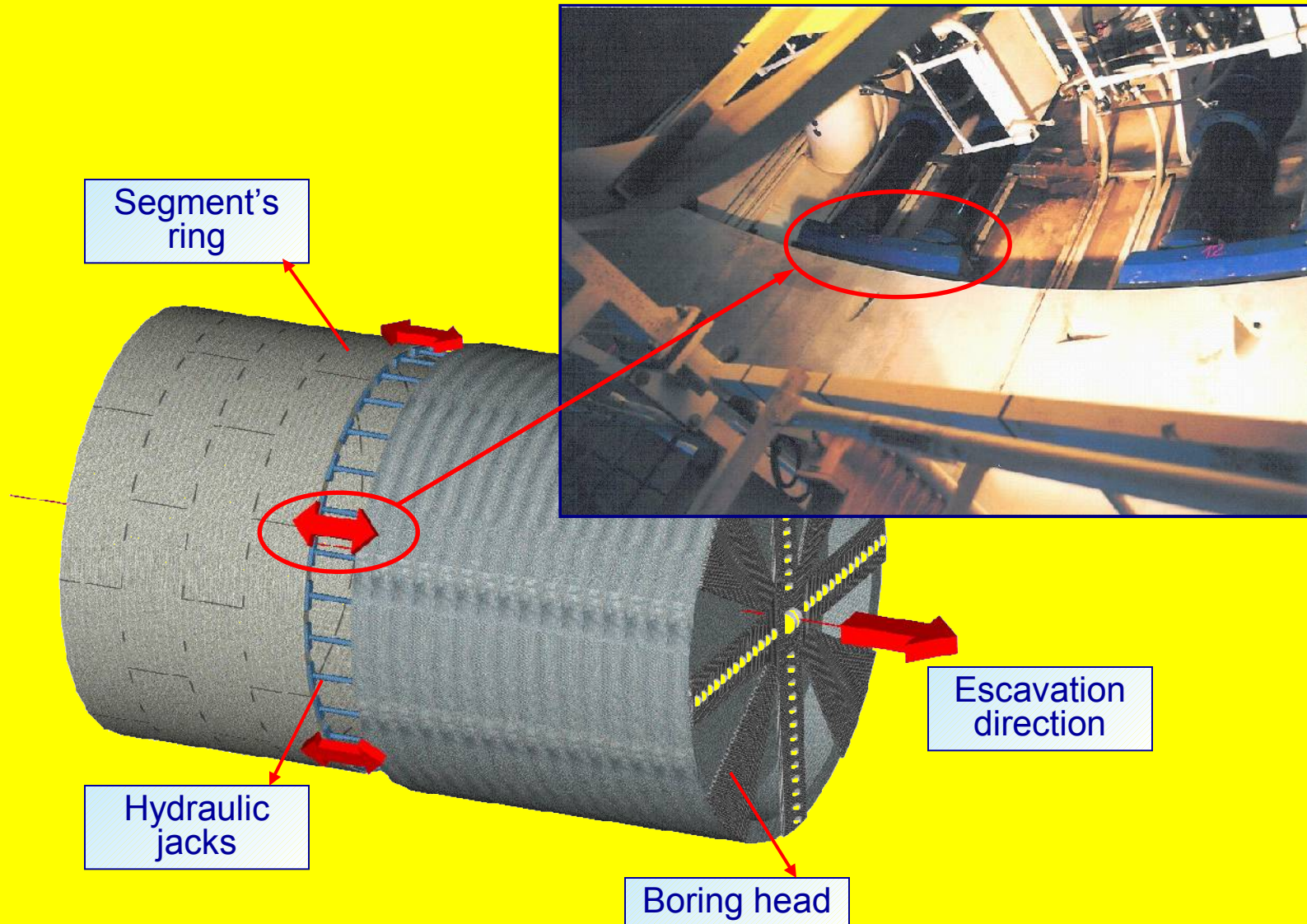


Después 7 días los
demás 4+1 segmentos,
para formar un anillo
Exentricidad e_i y e_e

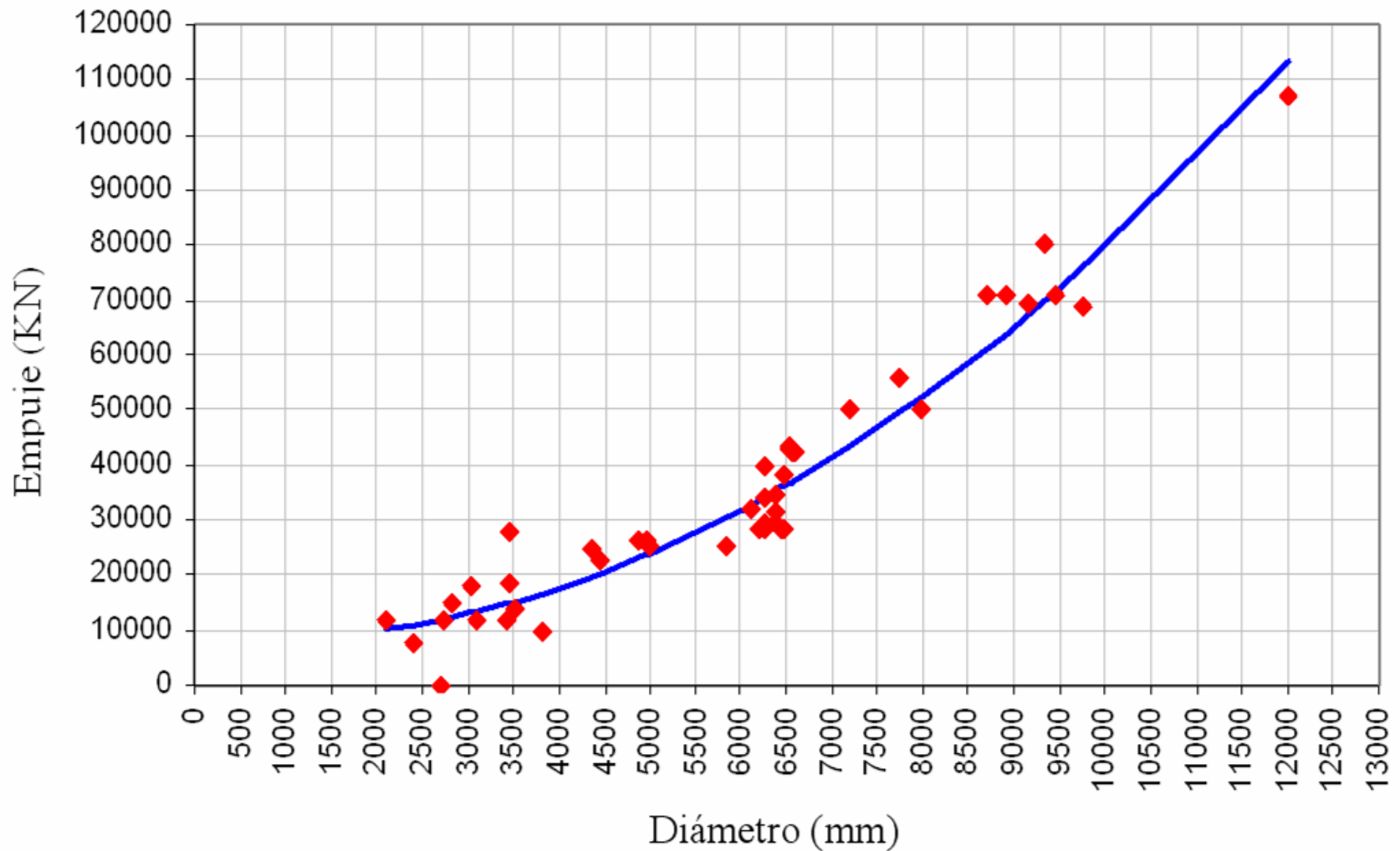
Elevados esfuerzos flexionales
Después 1 días son
accumulados 3 segmentos

Fisuras

Cargas sobre las dovelas durante el avance

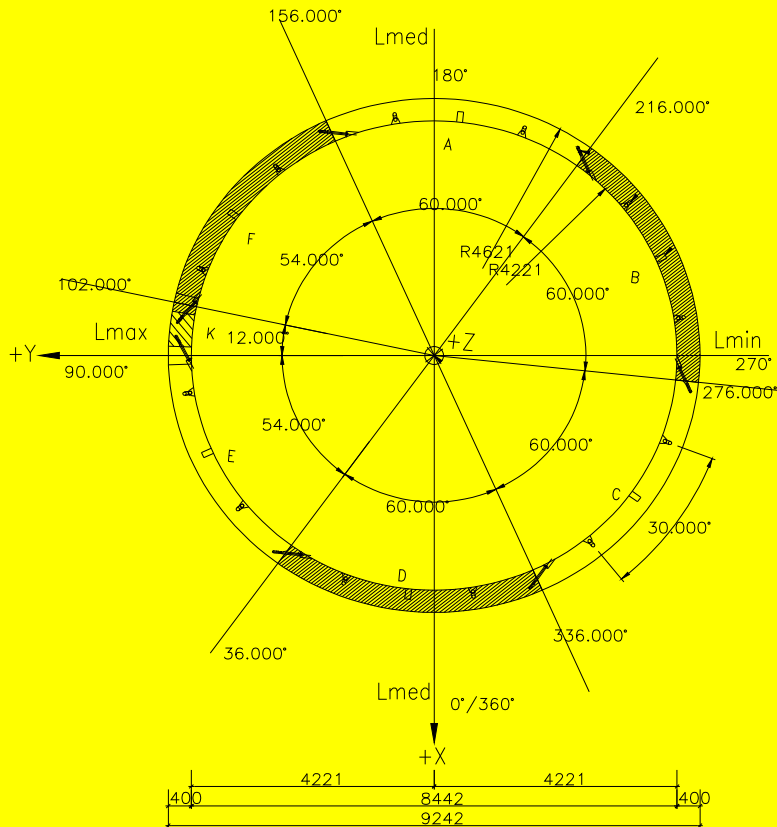


Empuje de los cilindros – Diámetro escudo EPB



Metro de Valencia-Venezuela Linea 1

Características geométricas



Anillo de tipo universal “tapered”

Anillo compuesto de 6+1 segmentos

Longitud de cada anillo $d = 1500$ mm

Espesor del anillo $s = 400$ mm

Metro de Valencia-Venezuela Linea 1

Materiales adoptados

Concreto tipo C40/50

➔ **Wirand FF3**



Dosificación

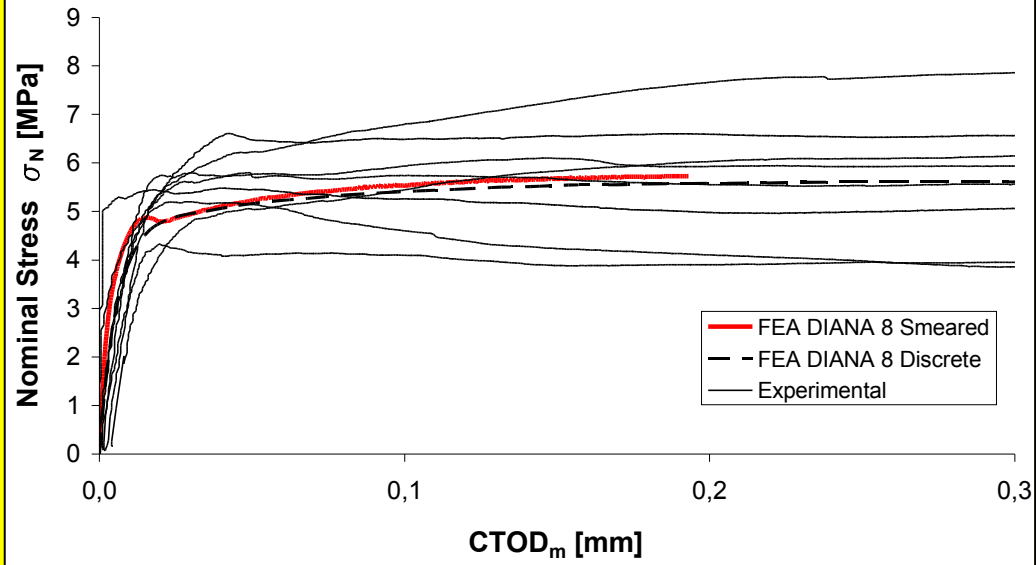
➔ • 30 kg/m³

Dosificación

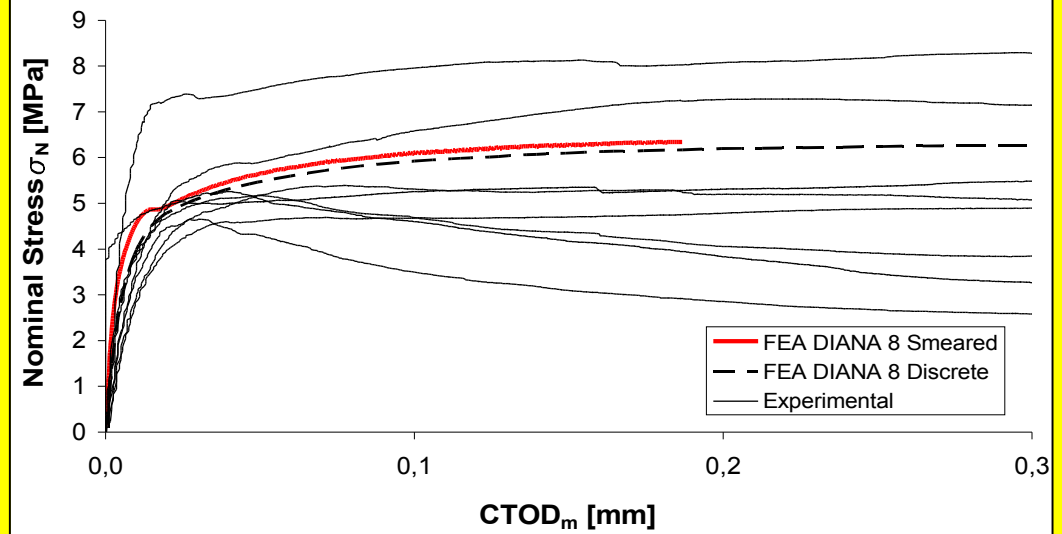
➔ • 40 kg/m³

Shape	hooked
Ultimate tensile strength [MPa]	1100
Modulus of elasticity [MPa]	210000
Cross Section	circular
Length [mm]	50
Diameter [mm]	0,75
Aspect Ratio	67

Wirand FF3-30 - C40/50 - $V_r = 0,38\%$

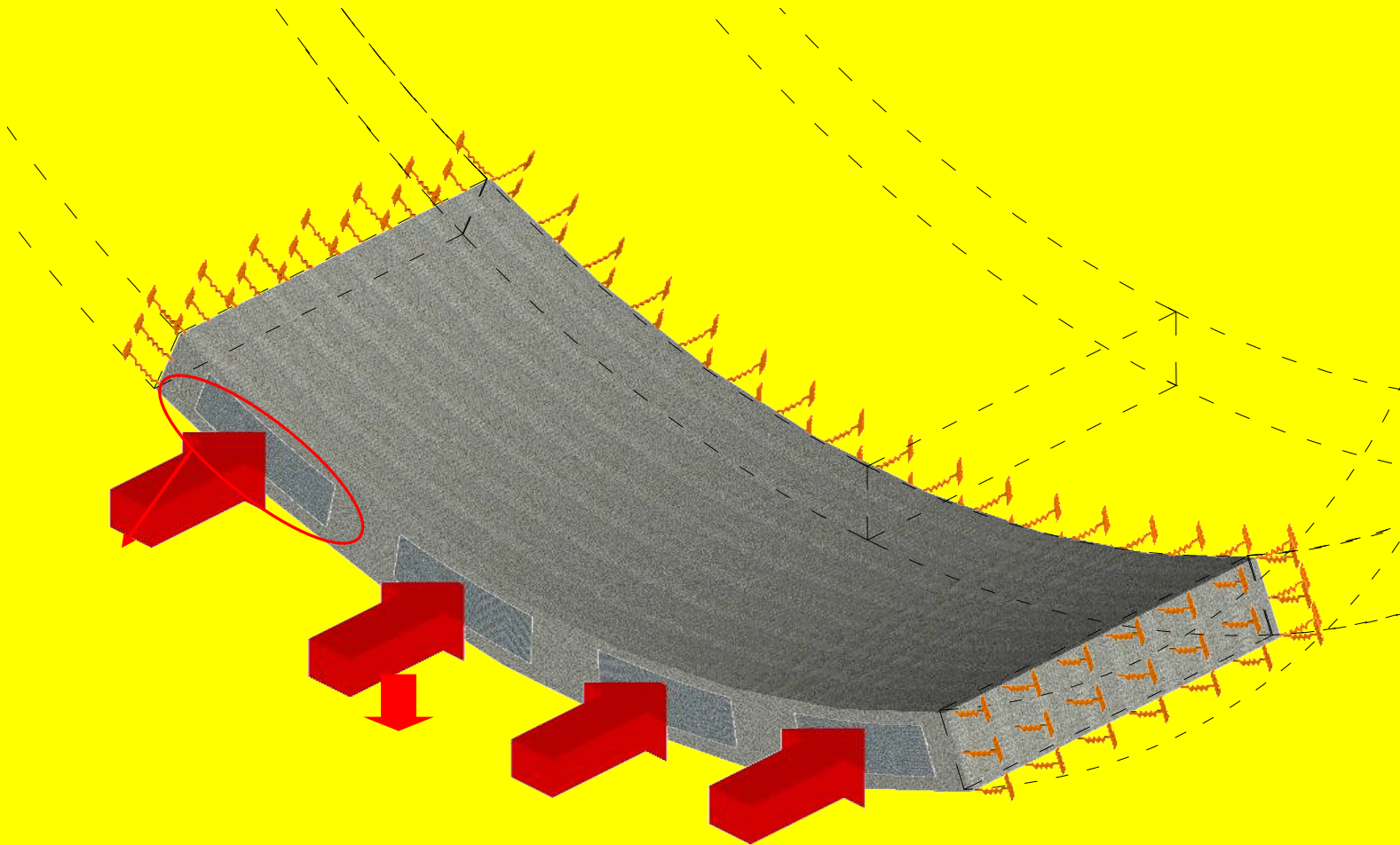


Wirand FF3-40 - C40/50 - $V_r = 0,51\%$



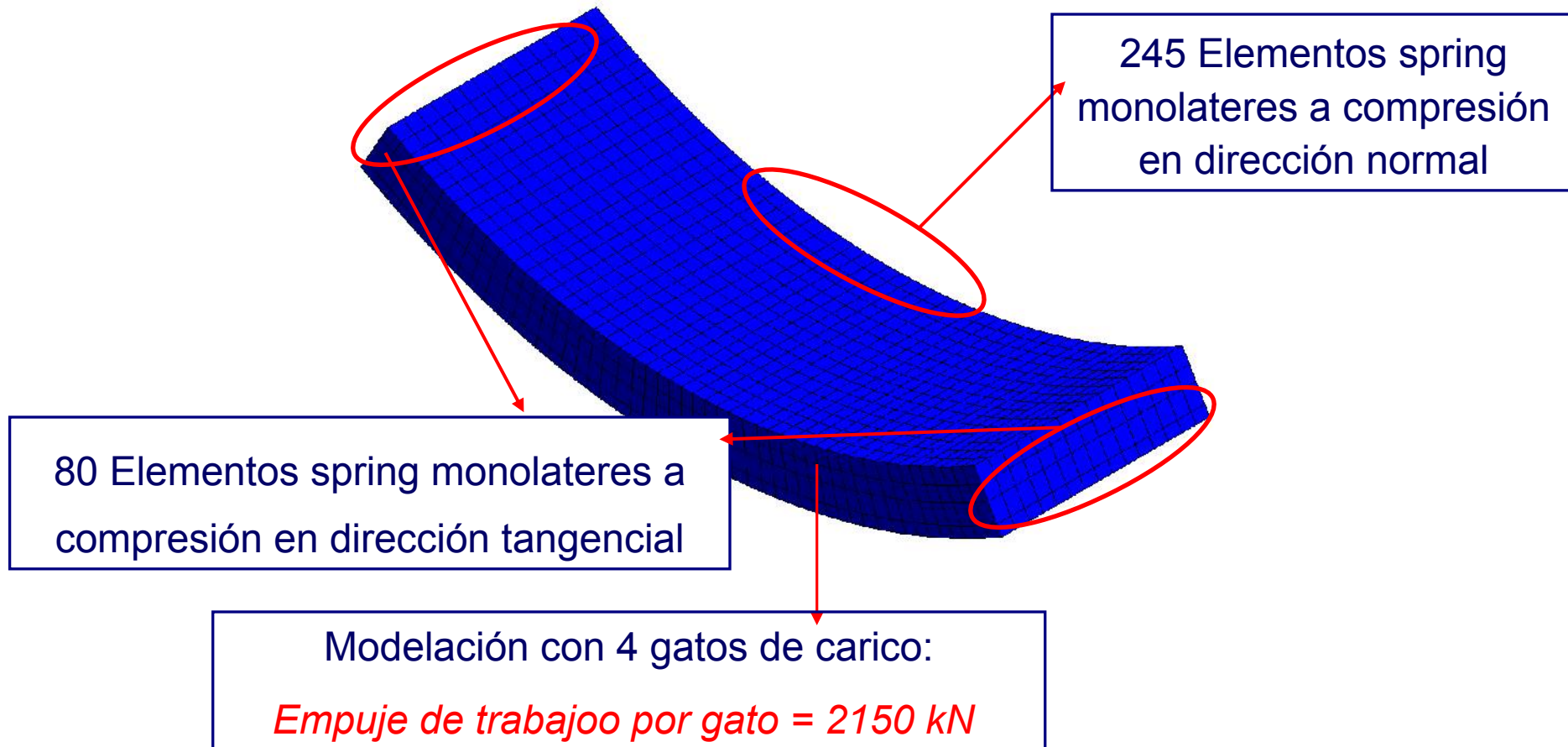
Fase de empuje de la TBM

Se ha analizado un segmento tipo con oportunas condiciones de borde



Metro de Valencia-Venezuela Linea 1

Modelación – Fase di empuje – FE Mesh



Desplazamientos bajo las cargas de servicio

LUSAS Modeller 14.0-3 - D:\SalesSupport\Terry\Maccaferri\GP_Tunnel_Segment\Tunnel_Segment-NonLinear_Analysis-Service_Load.mdl

January 20, 2007

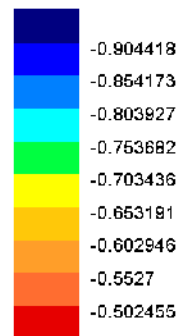
Loadcase: 19

Title: Increment 19 Load Factor = 1.00000

Results File: 0

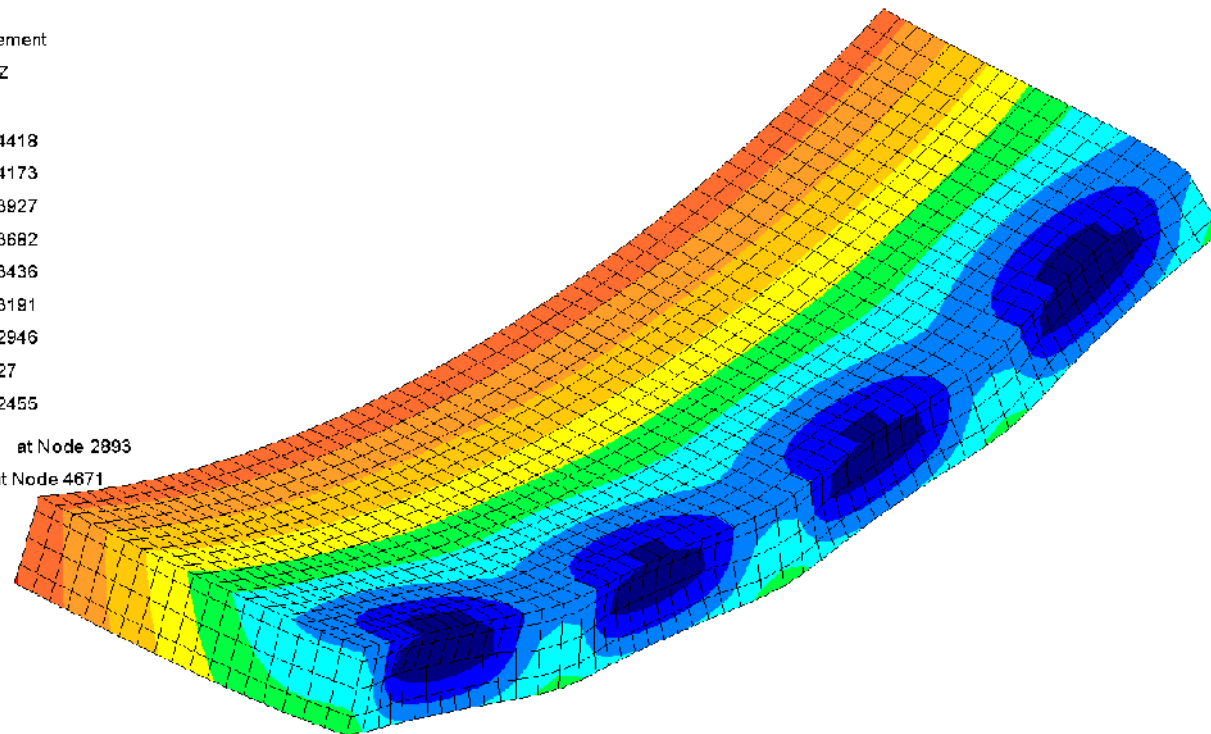
Entity: Displacement

Component: DZ



Max -0.486491 at Node 2893

Min -0.9387 at Node 4871



Title: Maccaferri Tunnel Segment Model

Units: N,mm,t,s,C

Esfuerzos longitudinales bajo las cargas de servicio

LUSAS Modeller 14.0-3 - D:\SalesSupport\Terry\Maccaferri\GP_Tunnel_Segment\Tunnel_Segment-NonLinear_Analysis-Service_Load.mdl

January 20, 2007

Loadcase: 19

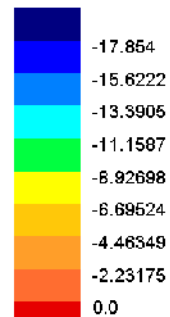
Title: Increment 19 Load Factor = 1.00000

Results File: 0

Entity: Stress

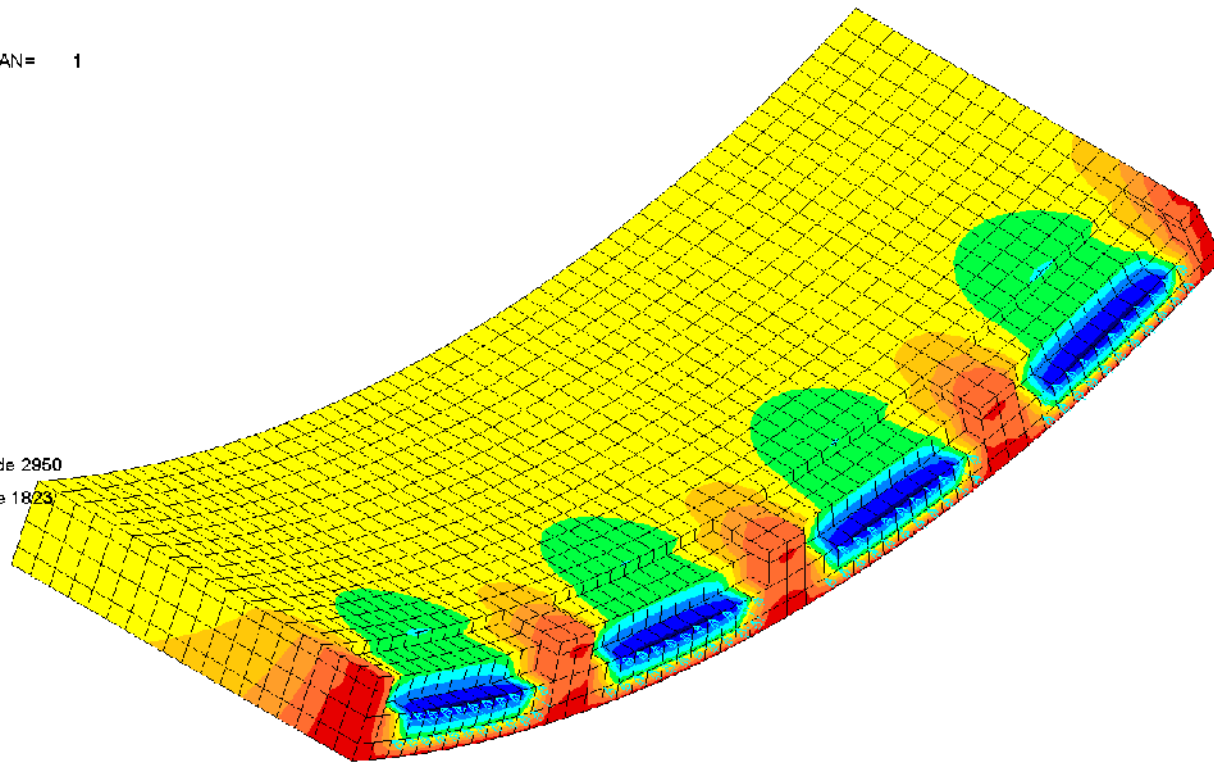
RESULTS CARTESIAN= 1

Component: Sz



Max 1.60982 at Node 2950

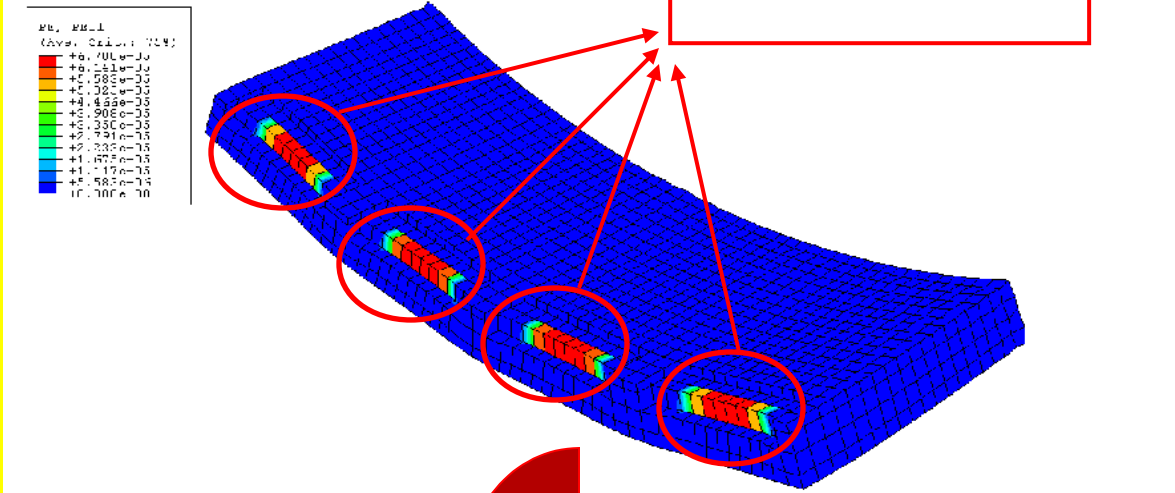
Min -18.4759 at Node 1823



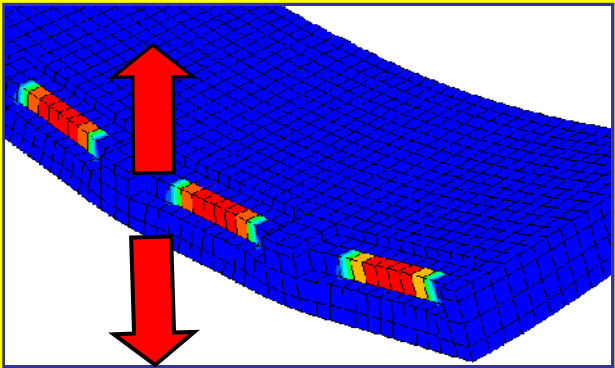
Title: Maccaferri Tunnel Segment Model

Units: N,mm,t,s,C

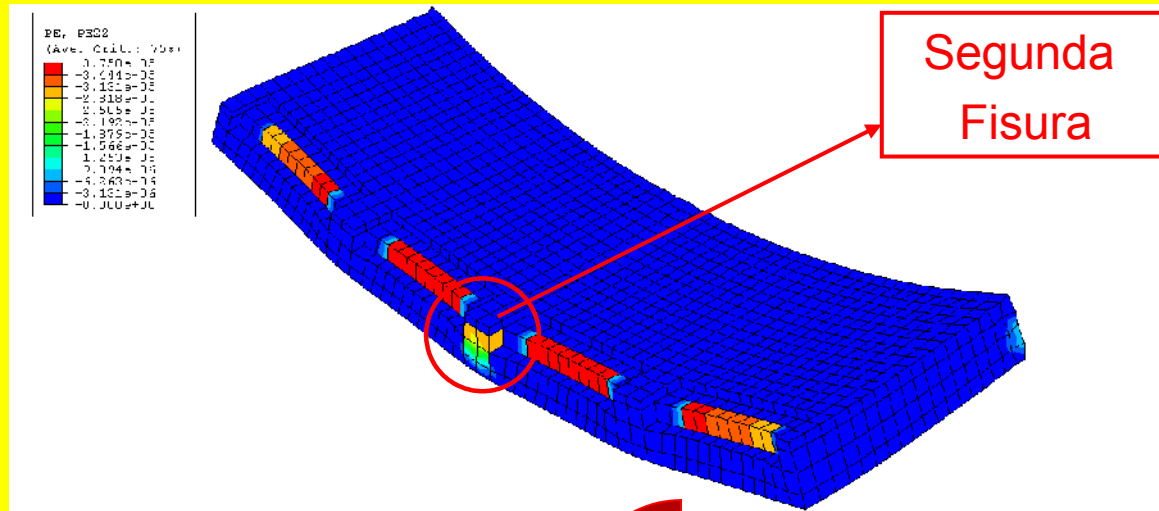
Resultados del análisis numérico



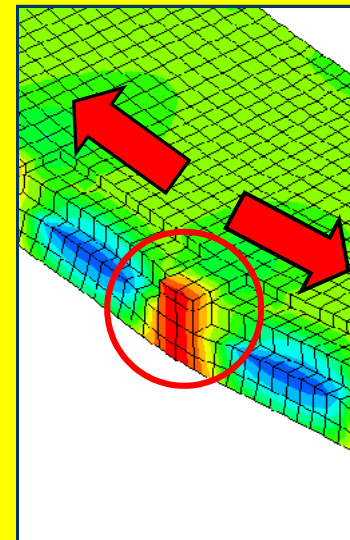
**Esfuerzos radiales
de tracción**



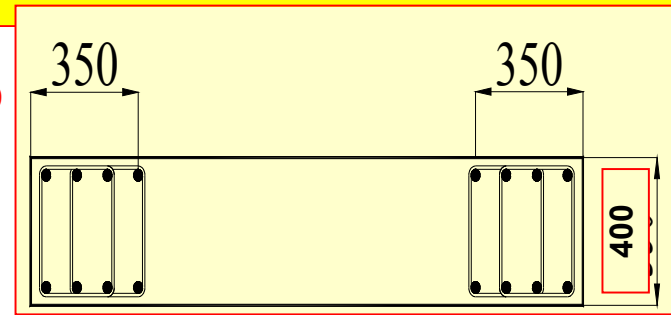
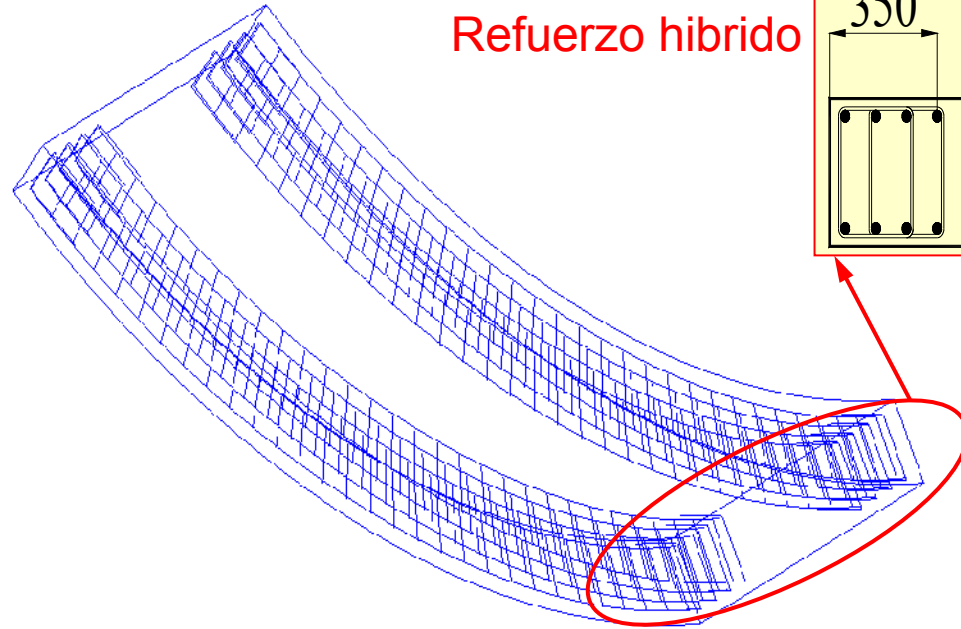
Resultados del análisis numérico



Esfuerzos tangenciales
de tracción



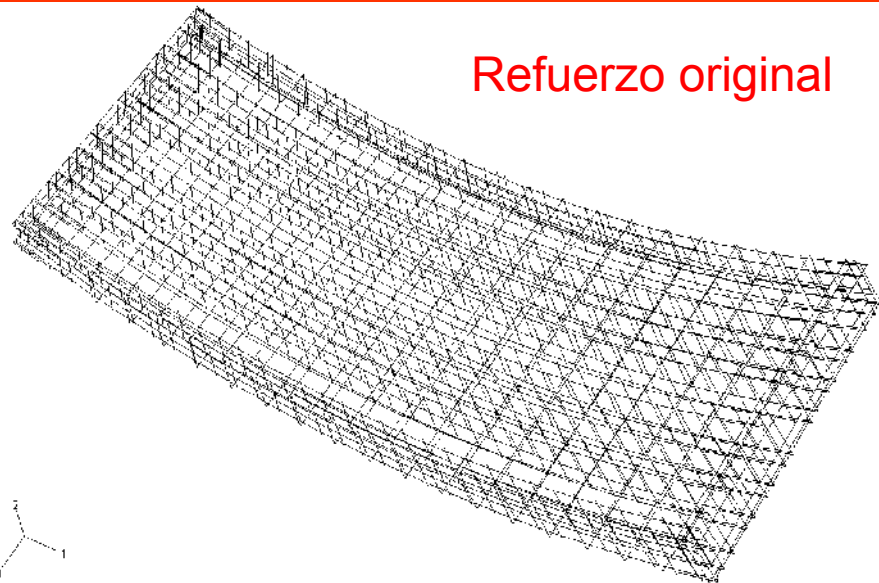
Refuerzo hibrido



Columna 8 Φ 12

+ 35 Kg/m³ Fibras

Refuerzo original

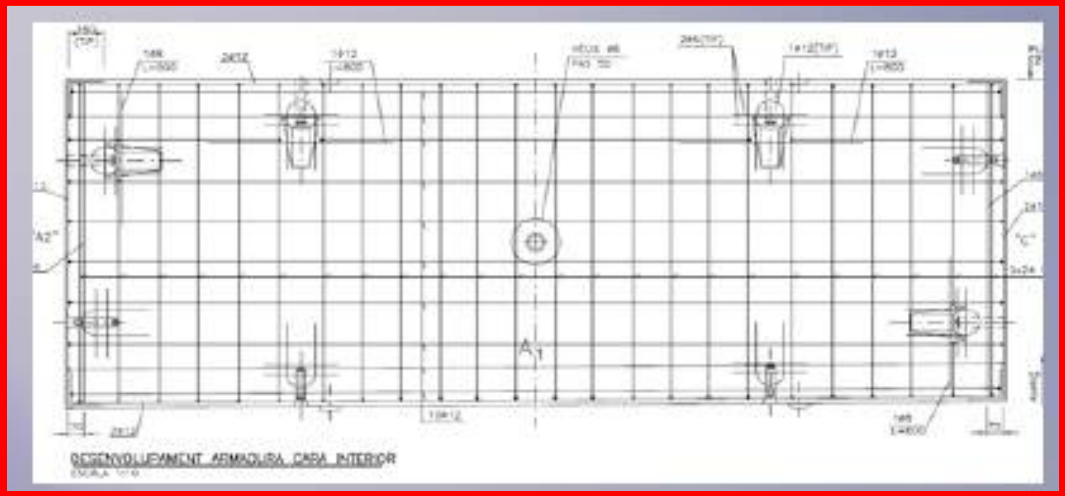


Metro de Valencia
Venezuela

ARMADURAS DE LAS DOVELAS

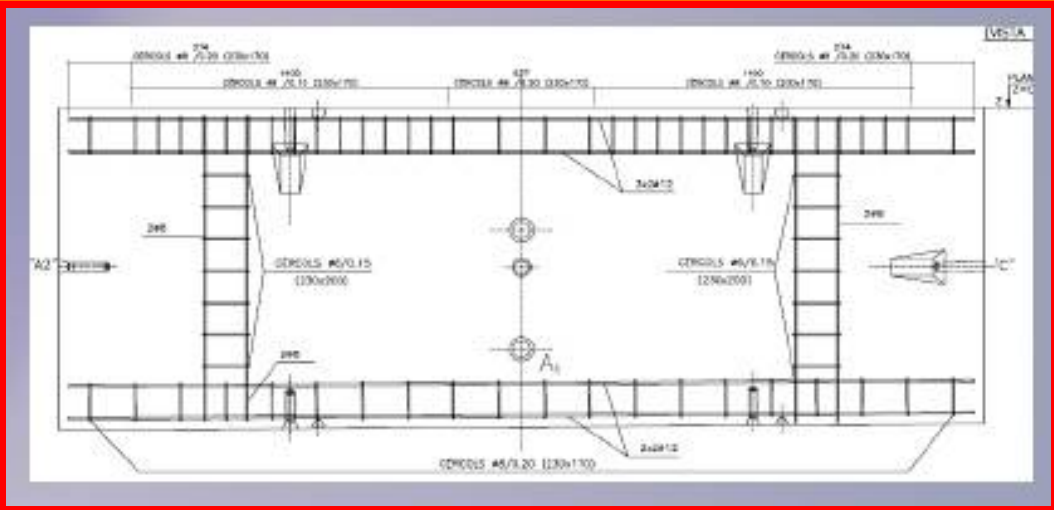
Metro de Barcelona España

ARMADURAS DE LAS DOVELAS



Refuerzo original:
90 Kg/m³ barras
+ 25 Kg/m² fibras

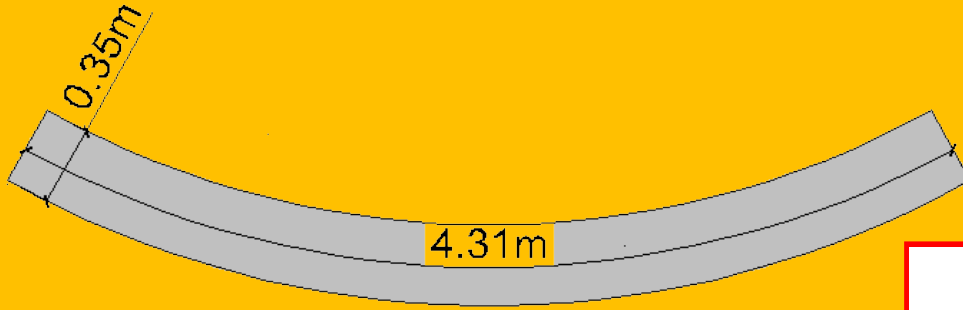
90 Kg/m³ barras
+ 25 Kg/m² fibras



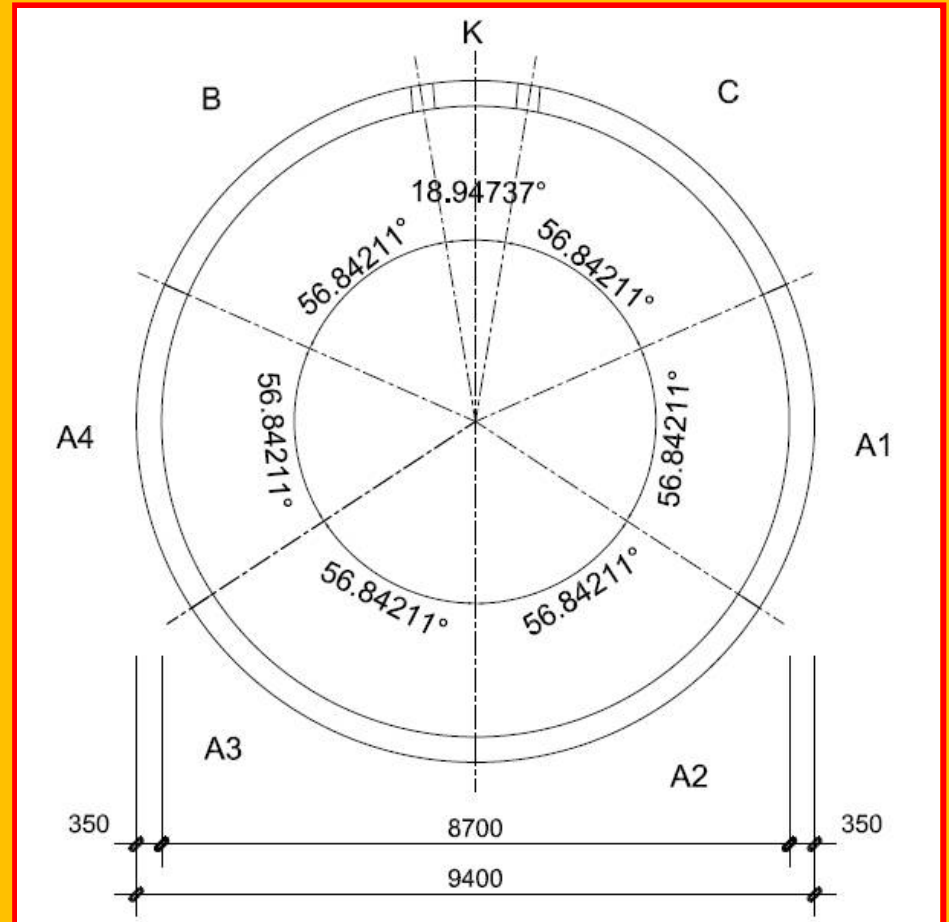
Refuerzo híbrido aplicado:
40 Kg/m³ barras
+ 60 Kg/m² fibras

40 Kg/m³ barras
+ 60 Kg/m² fibras

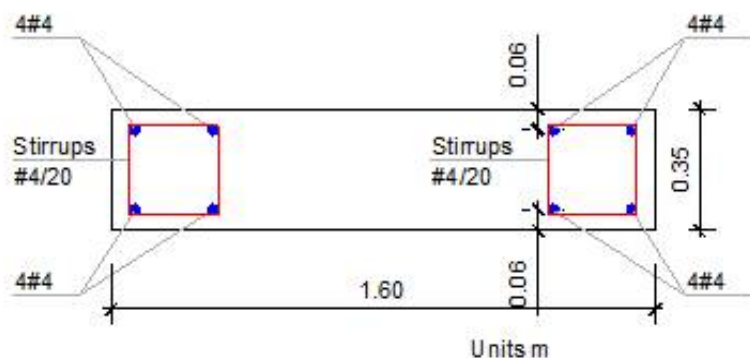
METRO PANAMÁ: Optimización Refuerzo Anillos



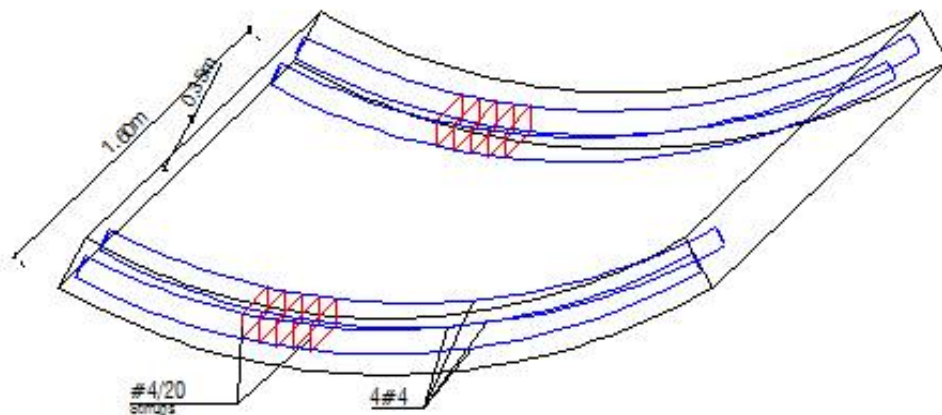
Barras: 32 D #4



METRO PANAMÁ: Optimización Refuerzo Anillos



Sección de calculo



Ejemplo de armado

Barras: 8 D #4

+

Fibras: 35 Kg/m³

Fibras tipo Wirand FF3

Diámetro (D)	0.75 mm
Longitud (L)	50 mm
L/D	67
Resistencia a tracción (Rm)	> 1100 MPa
Deformación a ruptura	< 4%

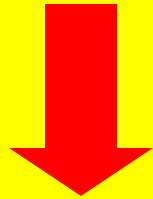
OTROS EJEMPLOS DE ANILLOS PREFABRICADOS FIBROREFORZADOS

- Barcelona Metro, Line 9, lot IV
 - Reinforcement: Rebar (64 kg/m^3) + 25 kg/m^3 steel fibers
 - Full scale test: 60 kg/m^3 Steel fibers
- Barcelona Metro, Line 9, lot I
 - Reinforcement: Rebar (90 kg/m^3) + 25 kg/m^3 steel fibers
 - Proposed full scale test: Rebar (40 kg/m^3) + 60 kg/m^3 Steel fibers
- Orakei Main Sewer Hobson Diversion (New Zealand)
 - Reinforcement: 40 kg/m^3 Steel fibers
- Barcelona, Conducció Font Santa – Trinitat nova
 - Reinforcement: Rebar (110 kg/m^3)
 - Full scale test (30 rings): Rebar (45 kg/m^3) + 30 kg/m^3 Steel fibers
- Channel Tunnel Rail Link, London (CTRL)
 - Reinforcement: 30 kg/m^3 Steel fibers

Consideraciones conclusivas

El uso de solamente fibras, *con una cuantía igual o superior a 45 kg/m³*, puede resultare eficaz y capaz de garantizar una suficiente capacidad resistente cuando los esfuerzos flexionales son limitatos

(Esbeltez: $e/D > 0.05-0.06$)



En todos los otros casos resulta conveniente el uso combinado de fibras e armadura tradicional
(Refuerzo híbrido)



1) Las fibras controlan muy bien los esfuerzos difundidos



reducen la magnitud de las fisuras, ...

2) La armadura tradicional es adapta para esfuerzos localizados elevados



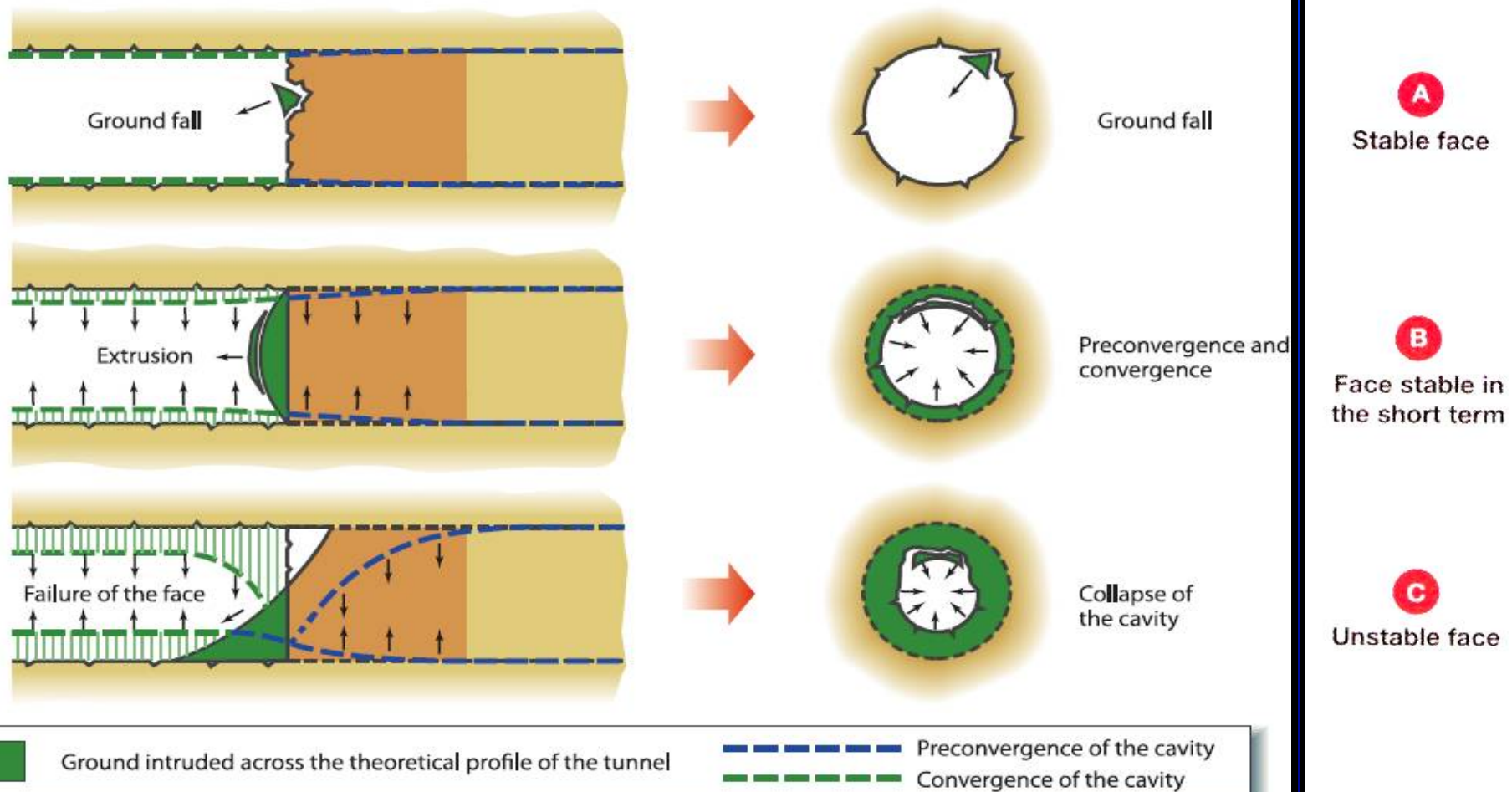
absorbe la concentración de esfuerzos flexionales elevados

1. Cómo se puede comportar la excavación?

- ◆ Muy bien
- ◆ Medianamente bien
- ◆ Medianamente mal
- ◆ Muy mal

2. Cómo se puede controlar la excavación?

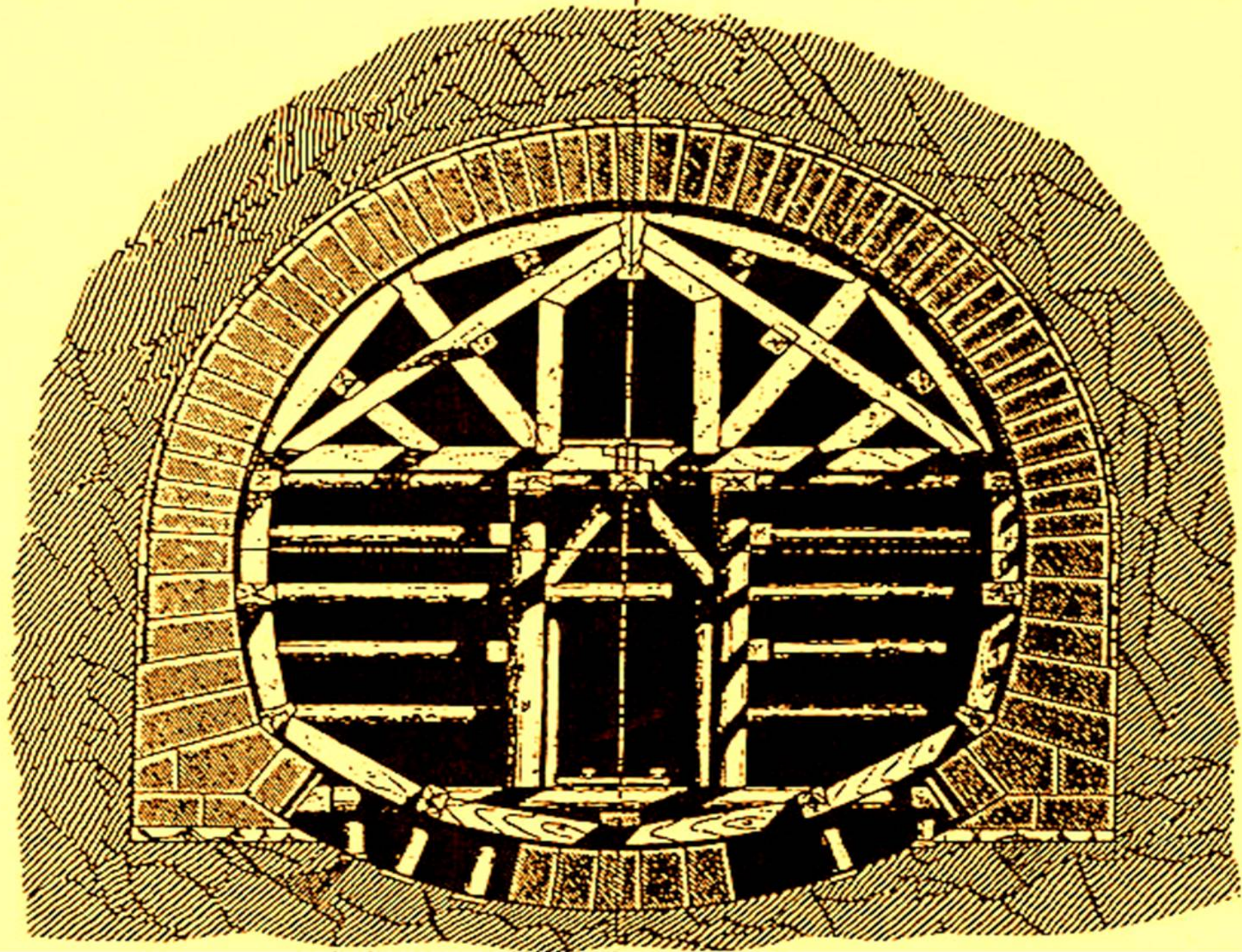
Escenarios o Clases de Comportamiento de una Excavación

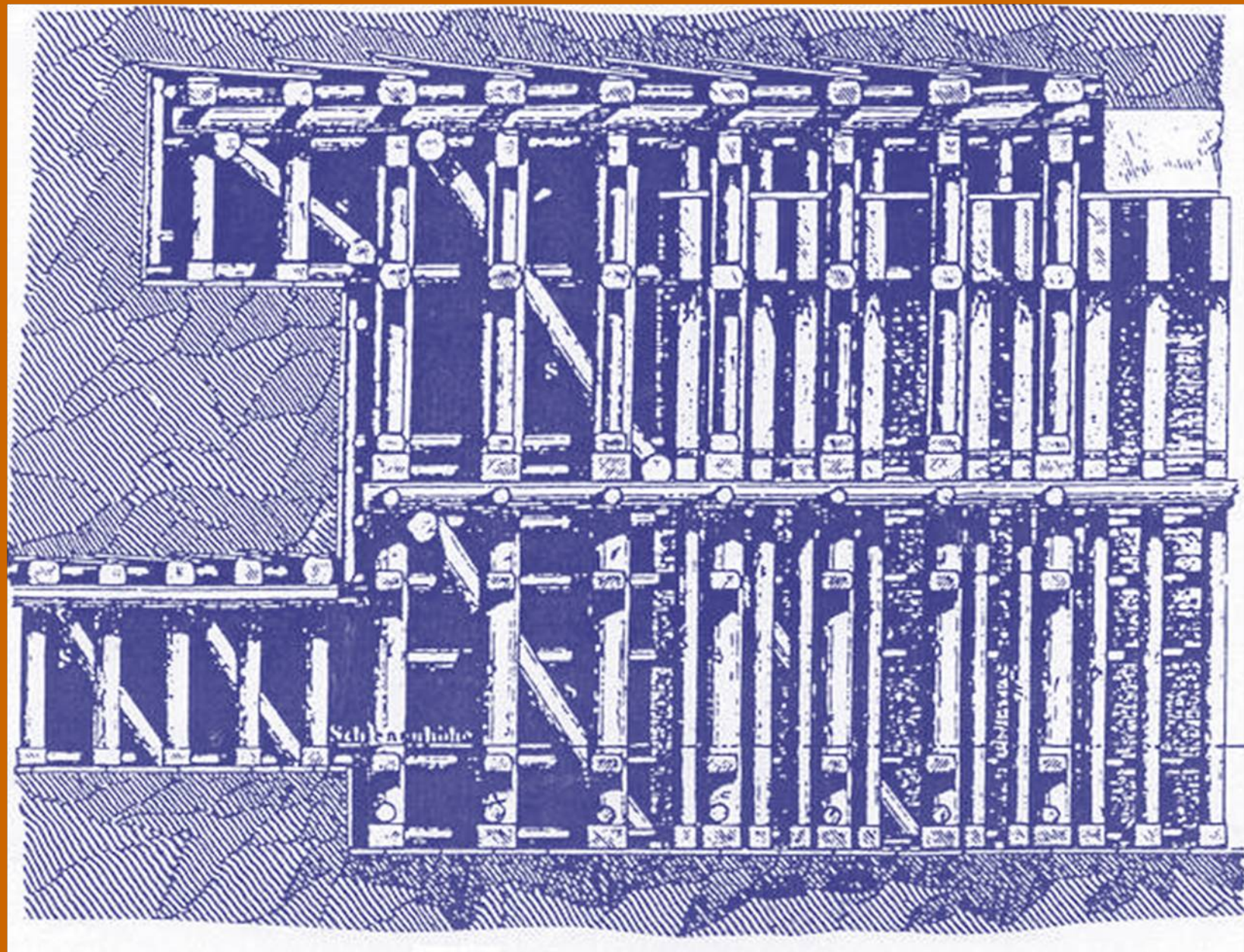


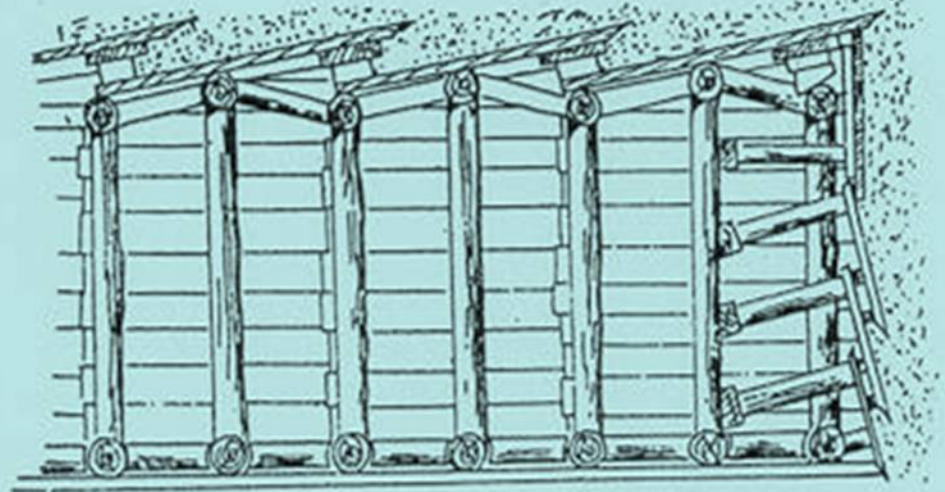
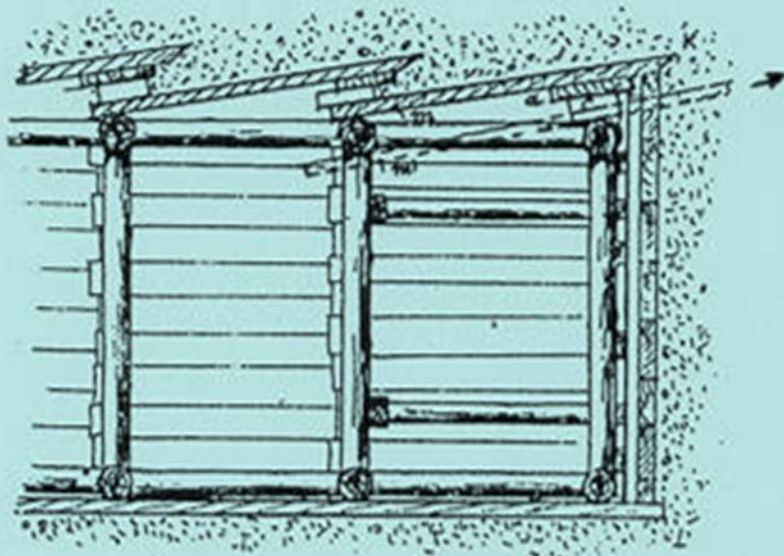
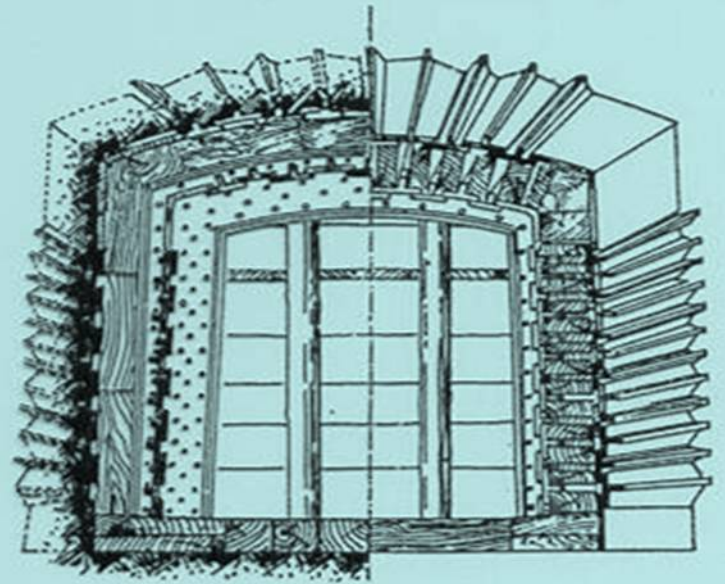
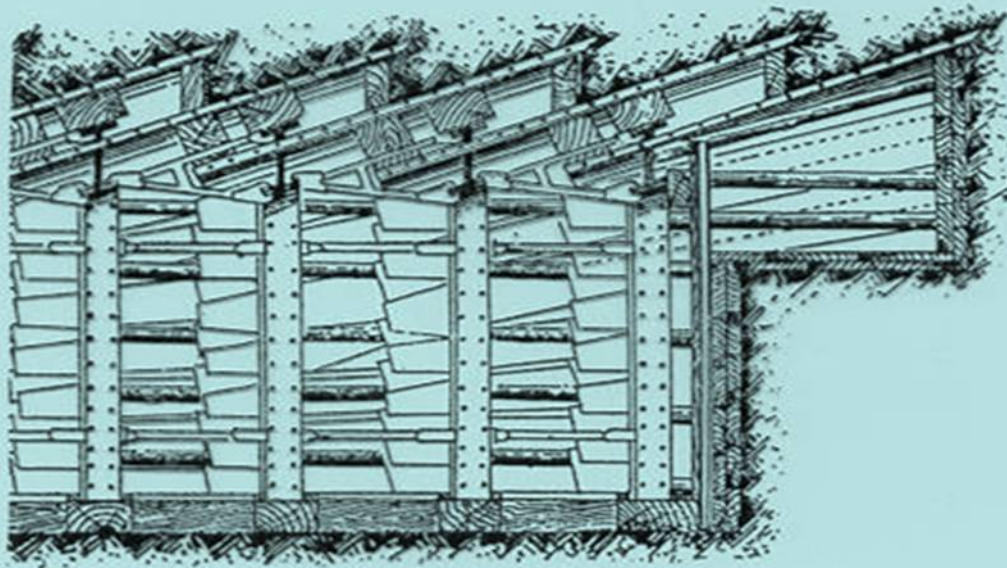
Cómo se controla una excavación subterránea crítica?

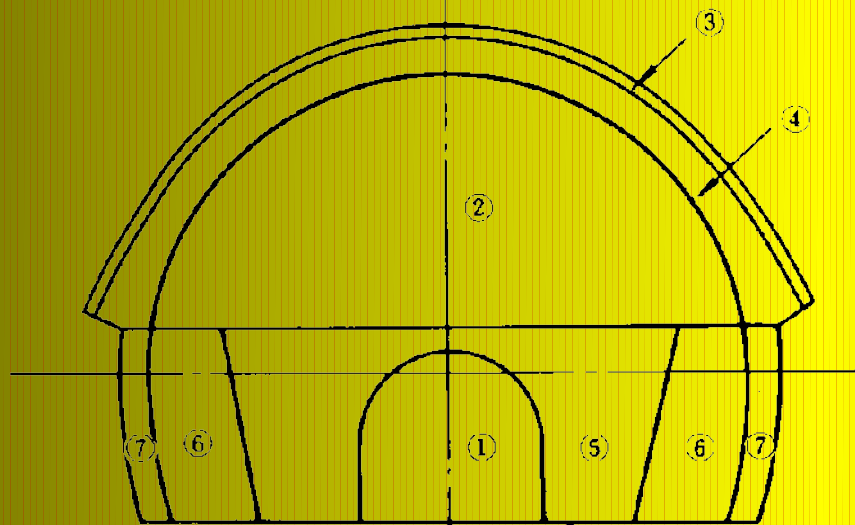
- ◆ **TRADICIONALMENTE:** Parcializando la sección
- ◆ Pre-consolidando el medio a excavar
- ◆ Pre-soportando la excavación

- ◆ **INNOVATIVAMENTE:** Estabilizando el frente



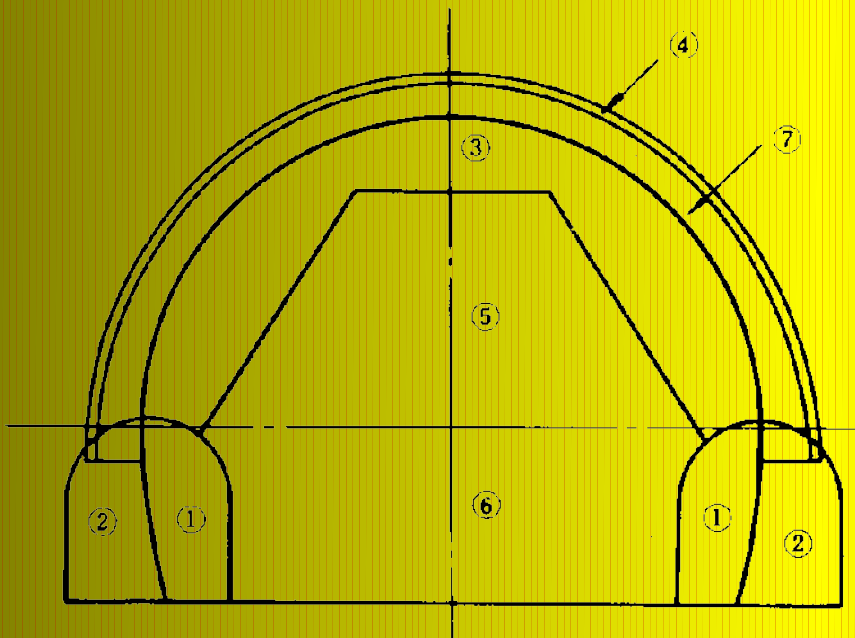






2) Bottom Drift Followed by upper-Half
Excavation Method

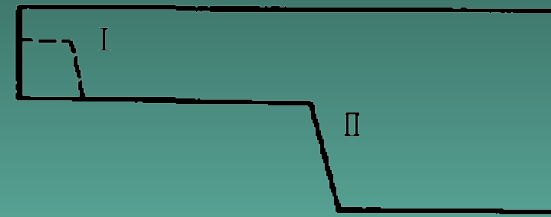
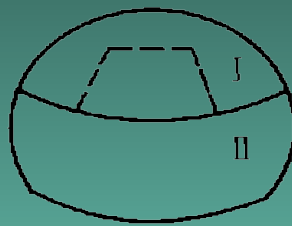
- ① Excavation of drift
- ② Upper-half excavation
- ③ Arch support
- ④ Arch concrete grouting
- ⑤ Excavation for the bottom core
- ⑥ Excavation for the core in both sides of bottom
- ⑦ Side-wall concrete grouting



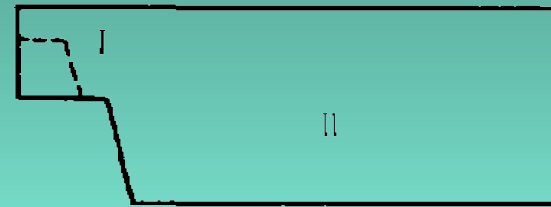
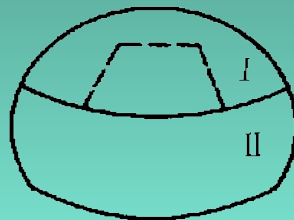
3) Side-wall Drifts Followed by Ring-Cut
Excavation Method

- ① Side drifts excavation
- ② Side-wall concrete grouting
- ③ Ring excavation
- ④ Arch support
- ⑤ Excavation for center core
- ⑥ Excavation for bottom core
- ⑦ Arch concrete grouting

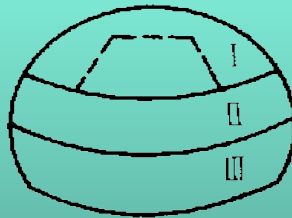
Short bench



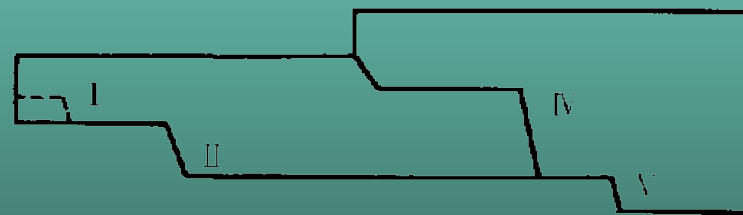
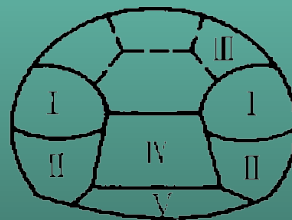
Mini-bench



Multiple-stage bench



Side pilot

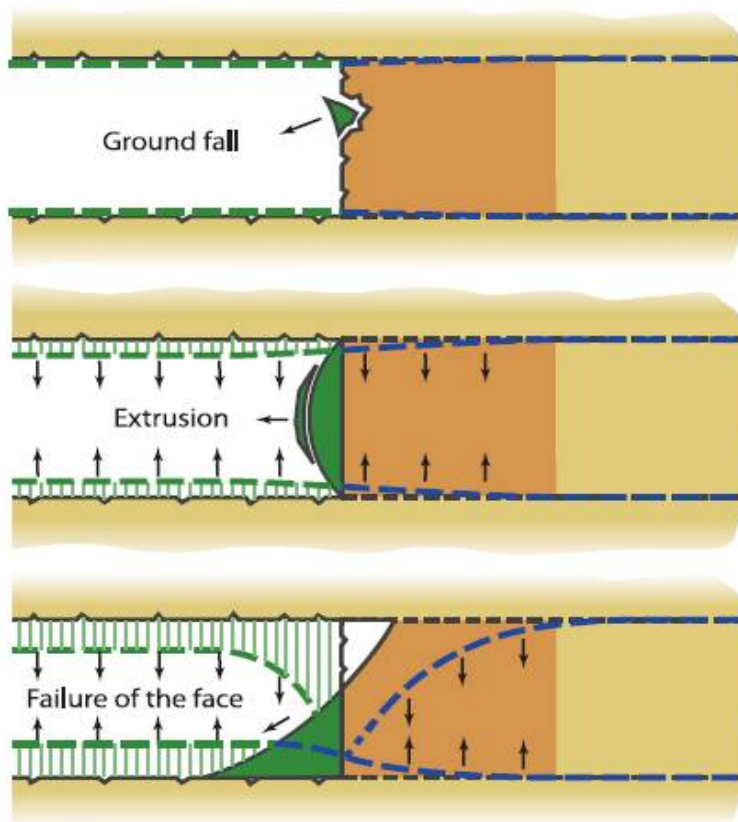


Típica moderna excavación a sección parcializada en terrenos muy inestables



Otras maneras de controlar la estabilidad de la excavación

- ◆ Pre-consolidando el medio
- ◆ Pre-soportando la excavación
- ◆ **Consolidando (estabilizando) el frente**



Ground fall



Preconvergence and convergence



Collapse of the cavity

A

Stable face

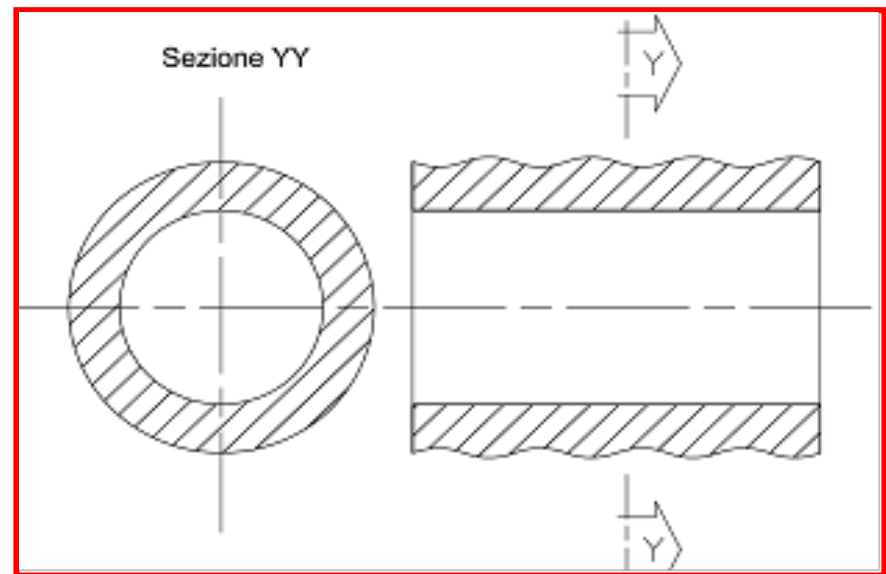
B

Face stable in the short term

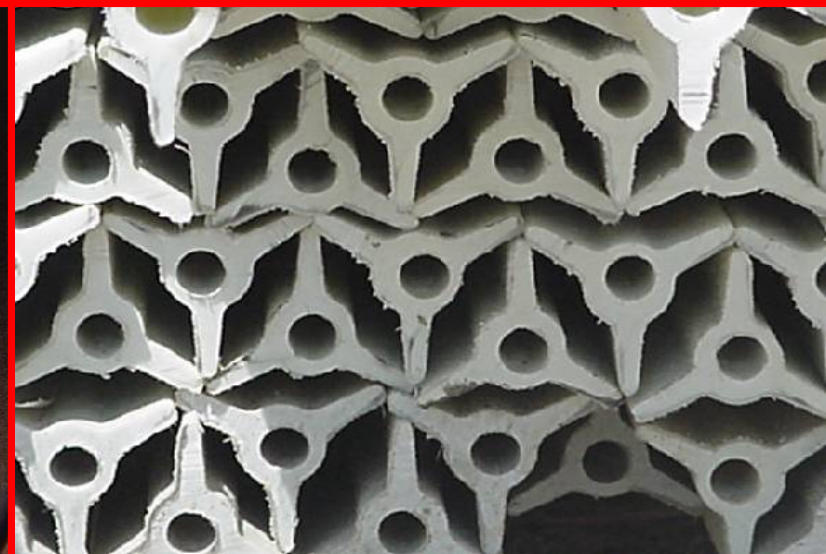
C

Unstable face

Micropilotes de vitroresína



Micropilotes de vitroresína



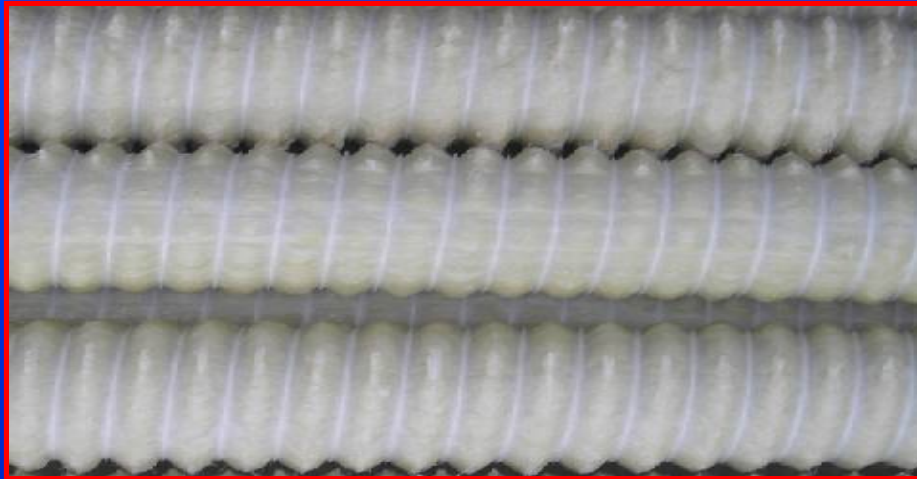
Micropilotes de vitroresína



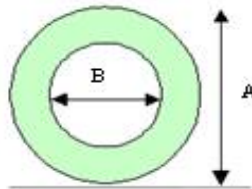
Micropilotes de vitroresína



Micropilotes de vitroresina



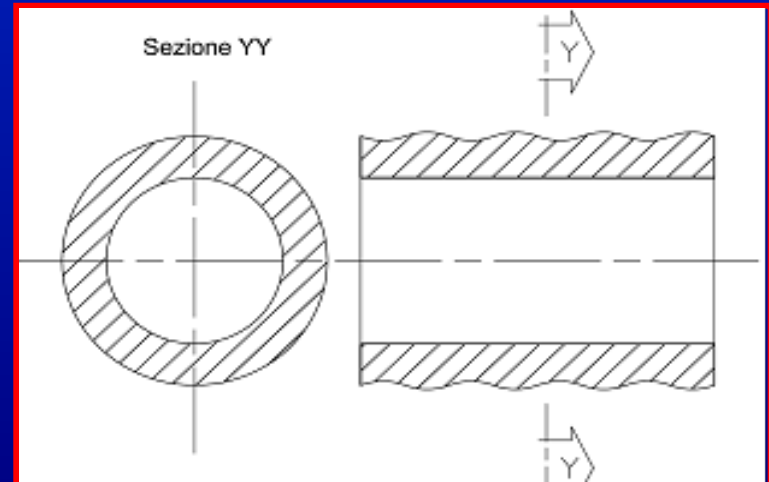
TECHNICAL SCHEDULE



Technical specifications

- materials
 - resin/fibre polyester/glass fibre
 - density 1.81 g/dm³
 - glass content min. 50% (in weight)
- mechanical characteristics
 - traction resistance 450-1100 Mpa
 - elongation to breakage 2%
 - elastic module 24000-25000 Mpa
 - cutting resistance 70-200 MPa

A* mm	B** mm
60	40



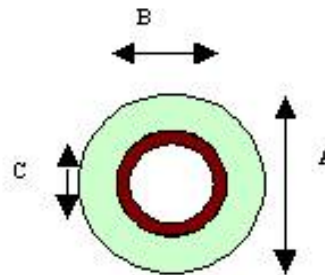
Micropilotes de vitroresína



Micropilotes de vitroresina



TECHNICAL SCHEDULE



Technical specifications

- materials
 - resin/fibre polyester/glass fibre
 - density 1.81 g/dm³
 - glass content min. 50% (in weight)
- mechanical characteristics
 - burst resistance 50-100 bar dependig on polymer
 - traction resistance 450-1200 Mpa
 - elongation to breakege 2%
 - elastic module 24000-45000 Mpa
 - cutting resistance 70-130 MPa

A*	B*	C*
mm	mm	mm
60	40	40/31/27



N.B. the outer sheath of the glass resin pipe is co-extruded. This profile is inserted for high pressure injection purposes only.

Its only structural purpose is to give the end profile higher burst resistance and simplify the chemical and concrete injection processes.

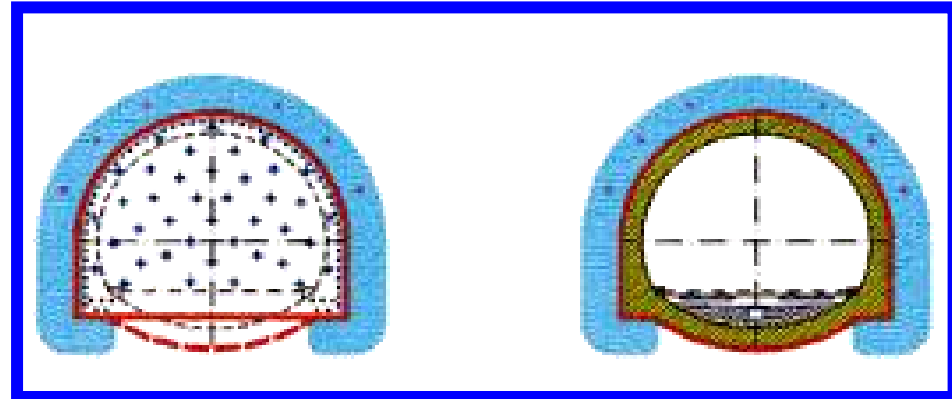
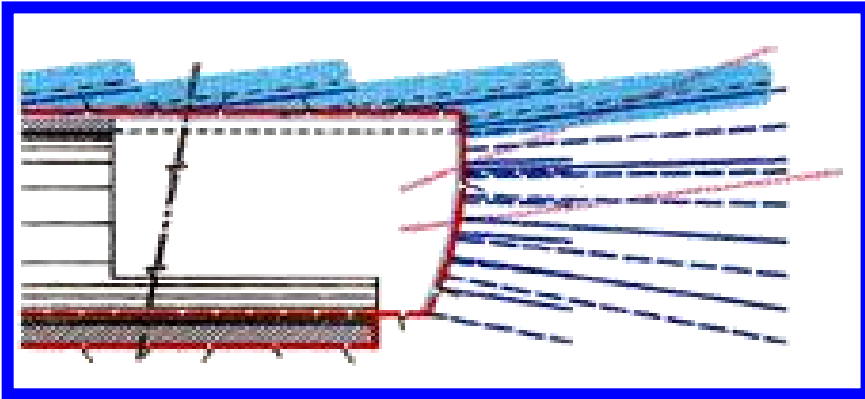


Frente consolidado con vitroresinas

P.E.R. Ground



Micropilotes de vitroresína



Peso specifico	ASTM D 792	1,9	g/cm ³
Contenuto in vetro	-	70	%
Resistenza a trazione	ASTM D 3916	1000	MPa
Modulo elastico	ASTM D 3916	40	GPa
Allungamento a rottura	ASTM D 3916	> 3	%
Resistenza al taglio	-	200	MPa

Consolidaciones con vitroresinas

PHASE 1: Perforation



PHASE 2: Positioning pipes



Consolidaciones con vitroresinas

PHASE: 3 Injection



PHASE 4: Digging



Frente consolidado con vitroresinas



Frente consolidado con vitroresinas



Frente consolidado con vitroresinas



Frente consolidado con vitroresinas



Frente consolidado con vitroresinas



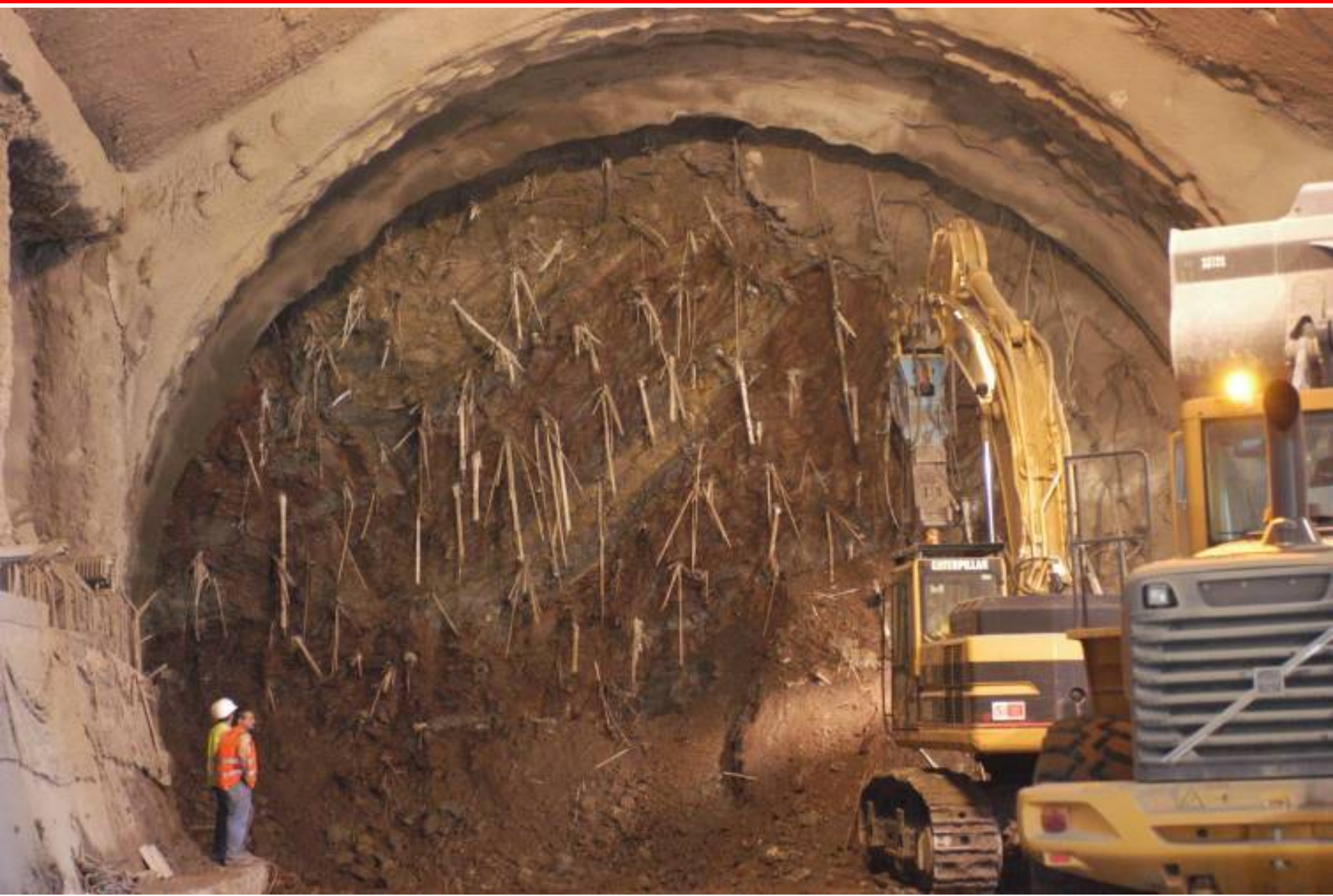
Frente consolidado con vitroresinas



Frente consolidado con vitroresinas



Frente consolidado con vitroresinas



Frente consolidado con vitroresinas



Ancona – Bari railway line – "Vasto" tunnel

Extrusion-convergence diagrams related to tunnel advance

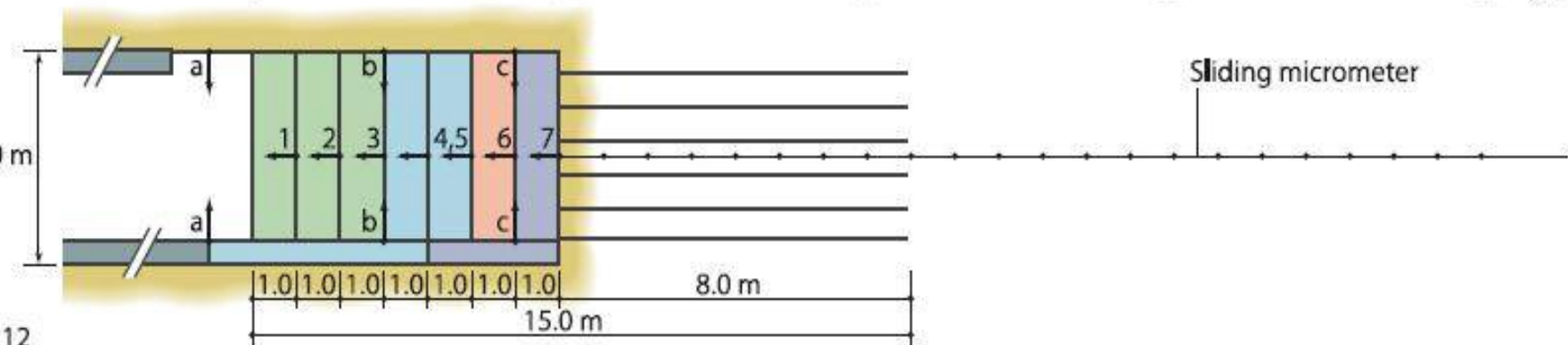
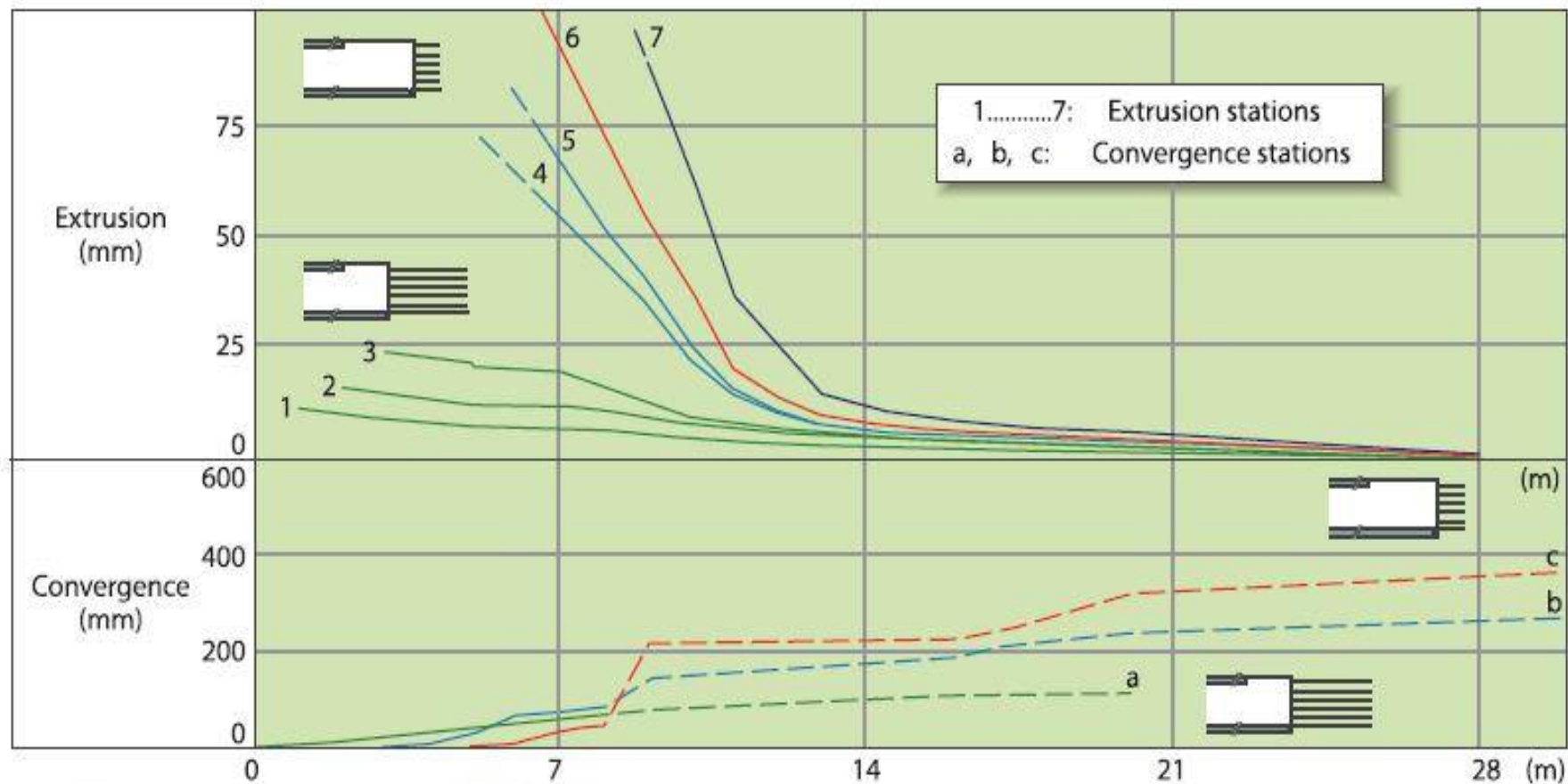
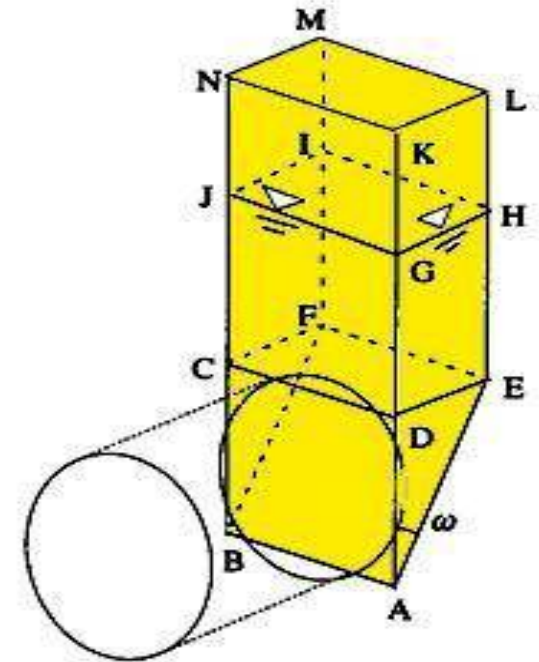
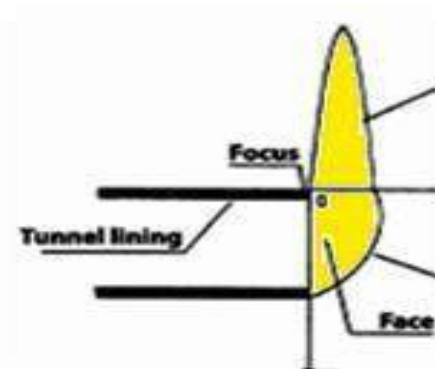
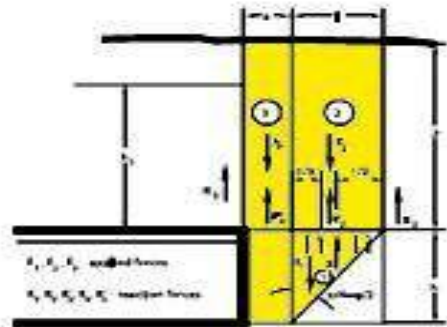
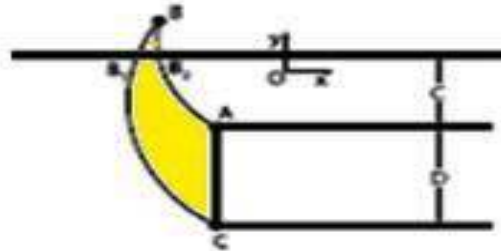
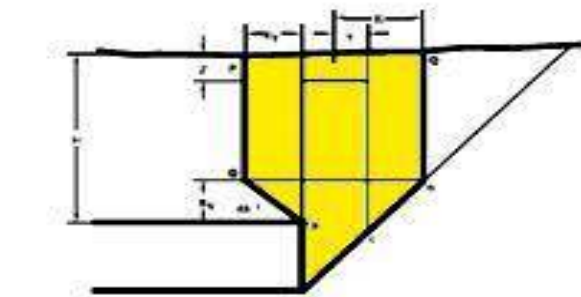


Fig. 12

POSIBLES MODELOS DE ESTABILIDAD DEL FRENTE DE EXCAVACIÓN



Ejemplo de Dimensionado de la Estabilización del Frente de Excavación

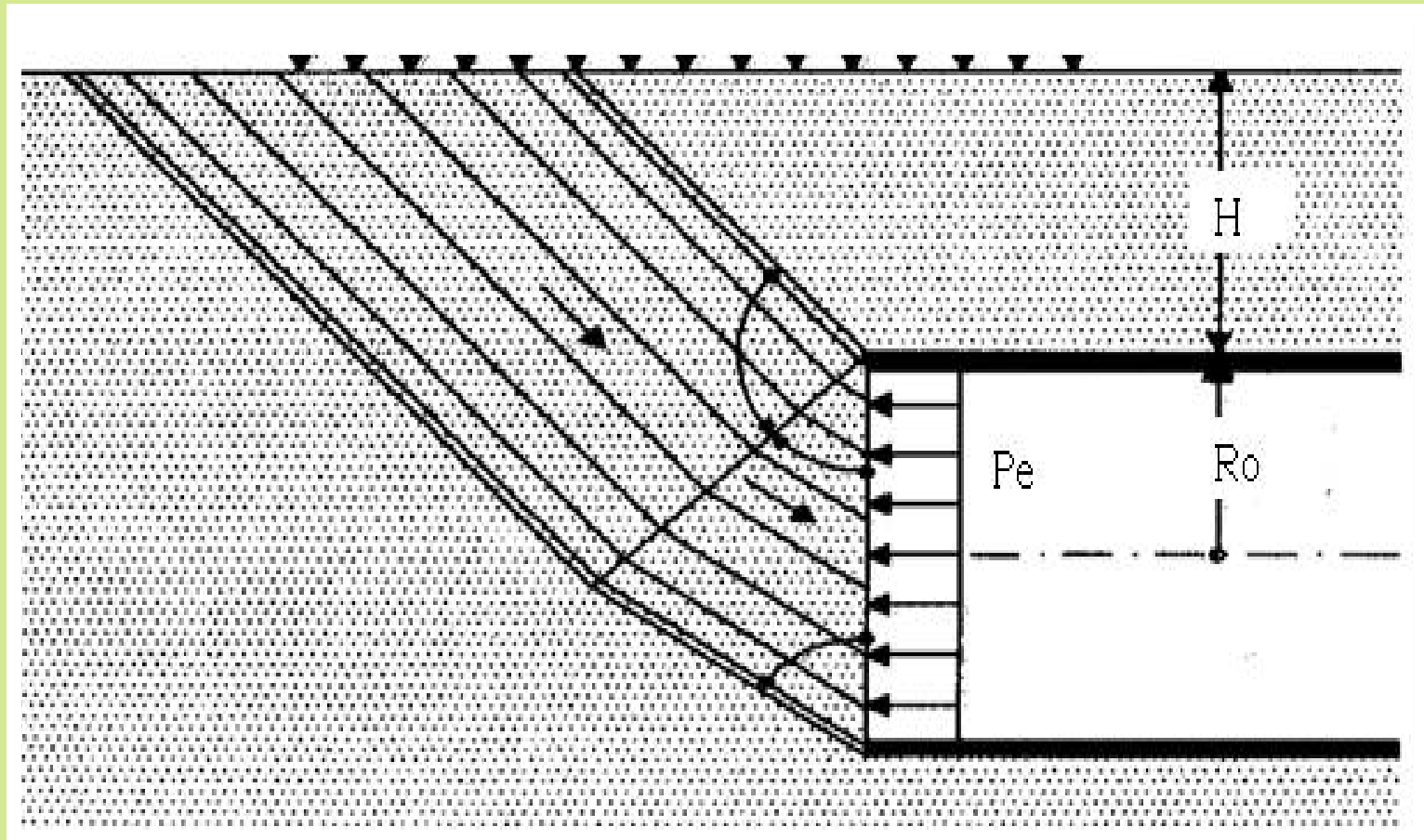
Presión (t/m ²) de estabilización sobre el frente para FSf = 1.25						
c (t/m ²):	0	2	4	6	8	10
H (m)						
10	30	22	14	6	0	0
15	40	32	24	16	8	0
20	50	42	34	26	18	10
25	60	52	44	36	28	20

Cuantía de Vidrioresinas sobre el frente para FSf = 1.25						
c (t/m ²):	0	2	4	6	8	10
H (m)						
10	83	61	39	17	0	0
15	111	89	66	44	22	0
20	138	116	94	72	50	28
25	166	144	122	100	77	55

Presión de estabilización sobre el frente Vs. cobertura y tipo de Terreno Cuantías de Vidrio-resinas sobre el Frente Vs. Cobertura y tipo de Terreno

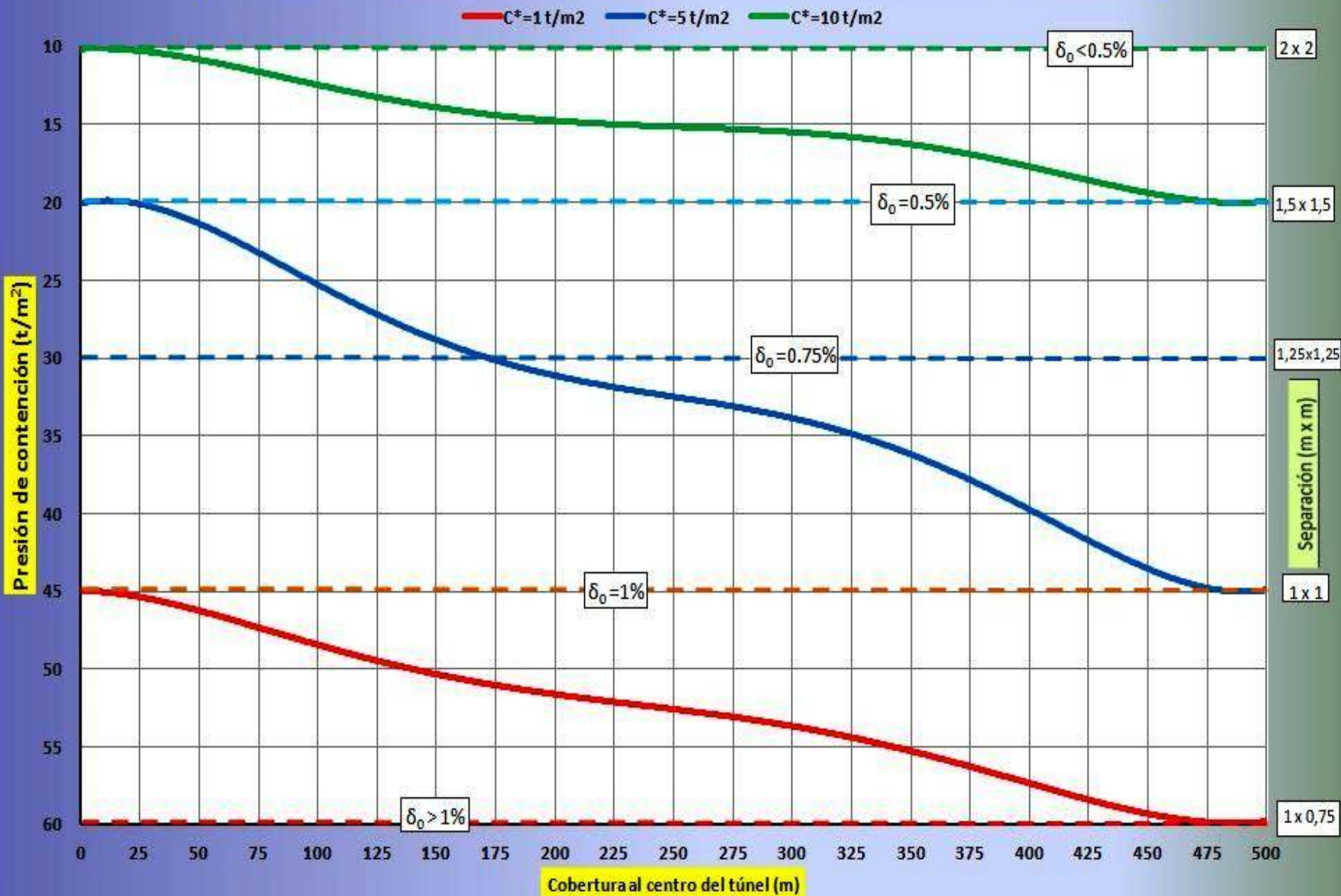
Factor de Estabilidad del Frente (N), Peck (1969): $N = (P_o - P_e) / c$

Para $N = 5$ el Frente se encuentra en equilibrio límite: $FS_f = 5 c / (P_o - P_e)$



$$P_e = P_o - 5c/FS_f = \gamma (H+R_o) - 5 c / FS_f$$

Cuantía aprox. y prel. de VTR Vs Extrusión δ_0 o Cobertura y Cohesión*



REFUERZO DEL FRENTE DE EXCAVACIÓN CON ELEMENTOS DE VIDRIORESINAS

porque?

PARA AVANZAR A SECCIÓN COMPLETA EN TÚNELES CON TERRENOS DEBILES

- *También para excavar en condiciones de mayor seguridad*
- *También para excavar con equipos más potentes*
- *También para excavar con mayor velocidad*
- *También para excavar en mayor economía*