

FIBRAS METÁLICAS EN LOS REVESTIMIENTOS PREFABRICADOS Y VITRORESINAS EN LAS EXCAVACIONES CONVENCIONALES

Gianfranco Perri

Profesor de Proyecto de Túneles en la Universidad Central de Venezuela

RESUMEN

Utilización de las fibras metálicas en la construcción de los elementos prefabricados en concreto para la conformación de los anillos del revestimiento de túneles excavados con TBMs. Soluciones híbridas y soluciones de sustitución integral de las barras convencionales del refuerzo con las fibras metálicas. Ventajas comparativas teóricas y prácticas entre el uso de las fibras metálicas y el de las barras metálicas para el refuerzo de los anillos prefabricados. Campos de aplicación con ejemplos prácticos y con los resultados logrados.

Principios y conceptos básicos sobre los cuales se fundamentan la teoría y la práctica del control de la estabilidad de una excavación subterránea mediante la consolidación del frente de excavación con elementos lineales de vitroresina y empleo de los mismos para avanzar a sección completa también en presencia de condiciones geomecánicas precarias. Descripción de las tipologías geométricas, morfológicas y estructurales más comunes de los elementos VTR y ejemplos de aplicaciones en la excavación de túneles convencionales. Principios de diseño de los Sistemas VTR y de cada elemento que los constituyen.

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

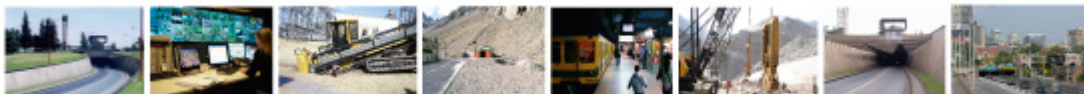
Organiza  **AATES**
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

6 y 7 de septiembre 2012

Centro Argentino de Ingenieros CAI - Buenos Aires - Argentina

Conferencias:

- **Túneles Urbanos - Cruces bajo nivel.**
Ing. Gustavo Matta y Trejo, Autopistas Urbanas S.A. (AUSA).
- **Empleo de dovelas de hormigón para la construcción de túneles.**
Arq. Edgardo Souza, Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA).
- **Acondicionamiento de los suelos para excavación mecanizada con TBM.**
Ing. Enrico Dal Negro.
- **Excavación subterránea con máquinas tuneladoras: Aplicaciones en el ámbito civil y minero.**
Ing. Marco Della Casa e Ing. Javier Vernier.
- **Innovaciones Tecnológicas en Tunelería: Fibras Metálicas en los Revestimientos prefabricados y vitroresinas en las excavaciones convencionales.**
Ing. Gianfranco Perri.
- **EPB en suelos urbanos.**
Sr. Agustín Navarro Cox.
- **Impermeabilización de túneles.**
Lic. Paulino Maldonado.
- **Nuevas Tecnologías de Estabilización de Túneles desarrolladas en Austria.**
Ing. Julio López.
- **Hormigón Projectado como Revestimiento Permanente.**
Ing. Hartmut Claussen.



Horarios:

- **Jueves 6:**
 - **Acreditación:** 14:00 a 15:00 hs.
 - **Conferencias:** 15:00 a 19:00 hs.
- **Viernes 7:**
 - **Conferencias:** 9:00 a 13:00 hs.
 - **Almuerzo libre:** 13:00 a 14:30 hs.
 - **Conferencias:** 14:30 a 19:00 hs.

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

Organiza  **AATES**
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

6 y 7 de septiembre 2012

Centro Argentino de Ingenieros CAI - Buenos Aires - Argentina



Jueves 6

13:3 **Acreditación**

0

14:0 **Acto de inicio de las Jornadas.** Discurso Secretario AATES

0

14:1 Discurso del Presidente de AATES

0

14:3 Presentación de primer turno de ponencias

0

14:3 **Construcción de Pasos Bajo Nivel en la Ciudad de Buenos Aires.**

5 *Ing. Gustavo Matta y Trejo, AUSA.*

15:1 **EPB en suelos urbanos.**

5 *Grahame Turnbull y Rolando Justa.*

15:5 **Acondicionamiento de los suelos para excavación mecanizada con TBM.**

0 *Sr. Enrico Dal Negro.*

16:2 **Ronda de Preguntas**

5

16:3 **Coffee Break.** Presentación de Segundo Turno de Ponencias

5

16:5 **ADIF+ CNS. Soterramiento de FC Sarmiento.**

0 *Ing. Máximo Fioravanti e Ing. Mario Cenciarini.*

17:3 **Excavación subterránea con máquinas tuneleras: Aplicaciones en el ámbito civil y minero.**

0 *Ing. Marco Della Casa e Ing. Javier Vernier.*

18:0 **Ronda de Preguntas**

5

Viernes 7

| | |
|-------|---|
| 09:30 | Apertura de segundo día |
| 09:40 | ITS - Memoria de explotación , Experiencia AP1 & VSM Autopistas de España. <i>Sr. Leonardo Paillalef.</i> |
| 10:15 | Innovaciones Tecnológicas en Tunelería: Fibras Metálicas en los Revestimientos prefabricados y vitroresinas en las excavaciones convencionales. <i>Ing. Gianfranco Perri.</i> |
| 10:50 | Ronda de Preguntas |
| 11:00 | Coffee Break |
| 11:05 | ITS - Aplicaciones ITS en Túneles. <i>Ing. Daniel Russomanno, MBA.</i> |
| 11:40 | Empleo de dovelas de hormigón para la construcción de túneles. <i>Arq. Edgardo Souza , Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA) e Ing. Gastón Fornasier.</i> |
| 12:15 | Importancia de las impermeabilizaciones en los túneles. <i>Lic. Paulino Maldonado.</i> |
| 12:50 | Ronda de Preguntas |
| 13:00 | Almuerzo Libre |
| 14:30 | Presentación Corredor Bioceánico Aconcagua. <i>Ing. Nicolas Posse.</i> |
| 15:05 | Hormigón Proyectoado como Revestimiento Permanente. <i>Sr. Hartmut Claussen.</i> |
| 15:40 | Ronda de Preguntas |
| 15:50 | Coffee Break |
| 16:00 | DSI. Pernos, fijaciones y elementos de refuerzo en la construcción de túneles. |
| 16:35 | Técnicas de diagnóstico y reparación de grandes acueductos e instalación subacuáticas. <i>Ing. Alejandro Barrio, Agua y Saneamientos Argentinos (AySA).</i> |
| 17:15 | Automatización de la perforación para la construcción de túneles. |
| 17:50 | Ronda de Preguntas |
| 18:00 | Acto de cierre |

INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN TUNELERÍA:

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

Organiza



AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

6 y 7 de septiembre 2012

Centro Argentino de Ingenieros CAI - Buenos Aires - Argentina

INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN TUNELERÍA:

FIBRAS METÁLICAS EN LOS REVESTIMIENTOS PREFABRICADOS

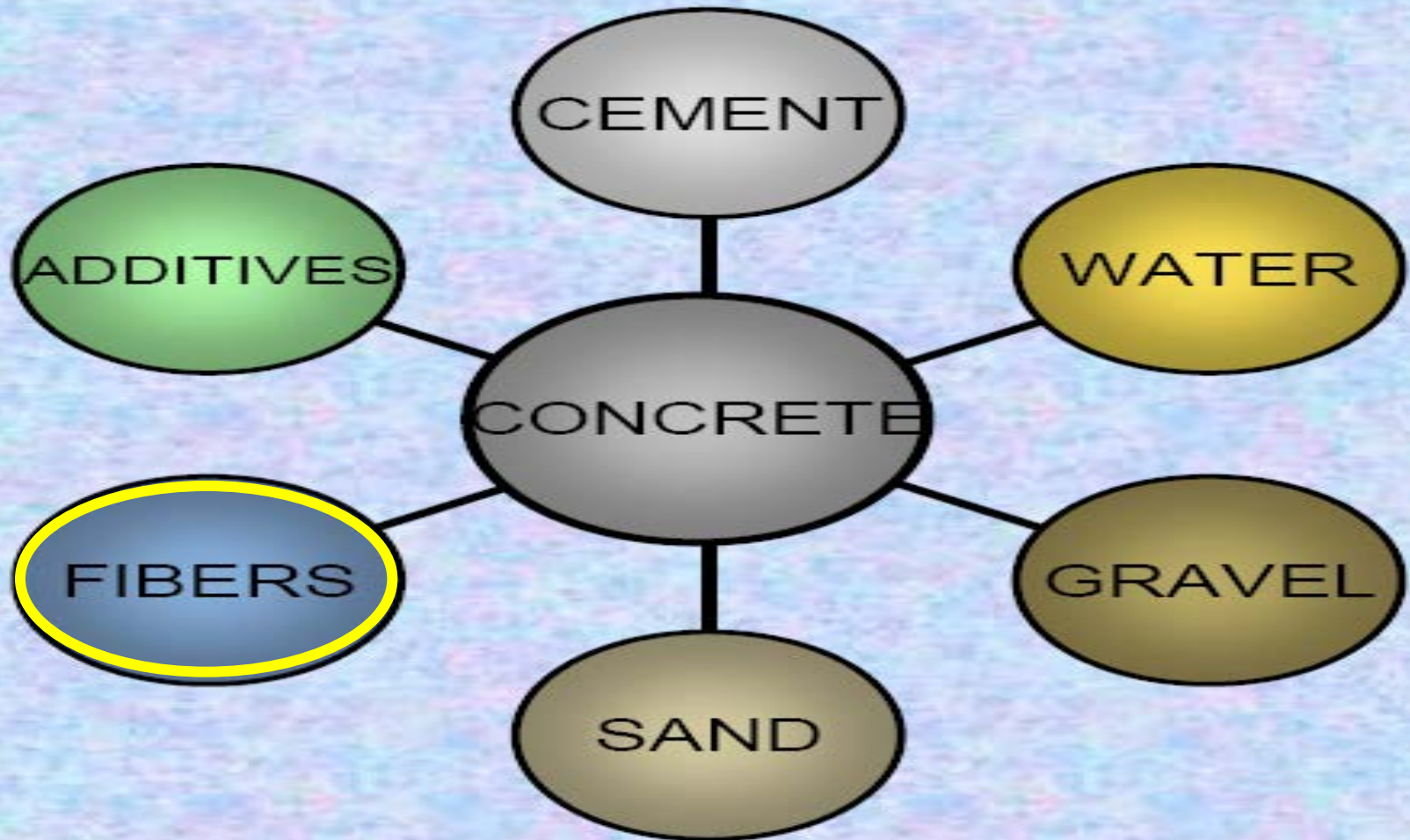
y VITRORESINAS EN LAS EXCAVACIONES CONVENCIONALES

Gianfranco Perri

Ingeniero Consultor y Proyectista - Profesor de Diseño de Túneles en la Universidad Central de Venezuela

www.gianfrancoperri.com

COMPONENTES DEL CONCRETO PREFABRICADO



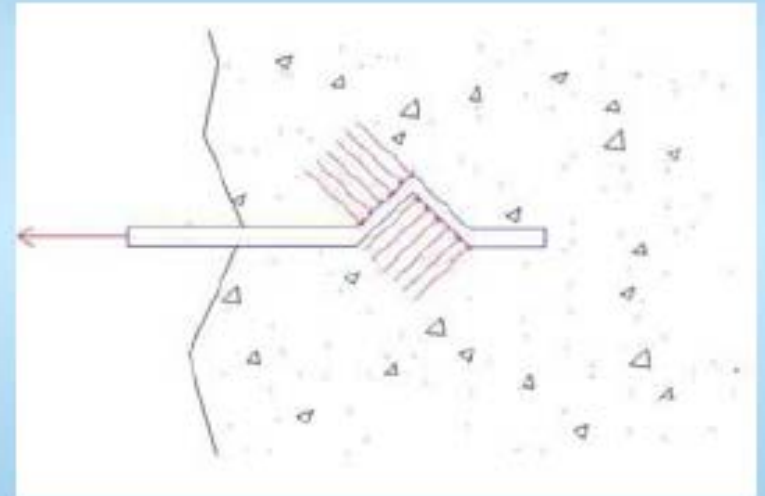
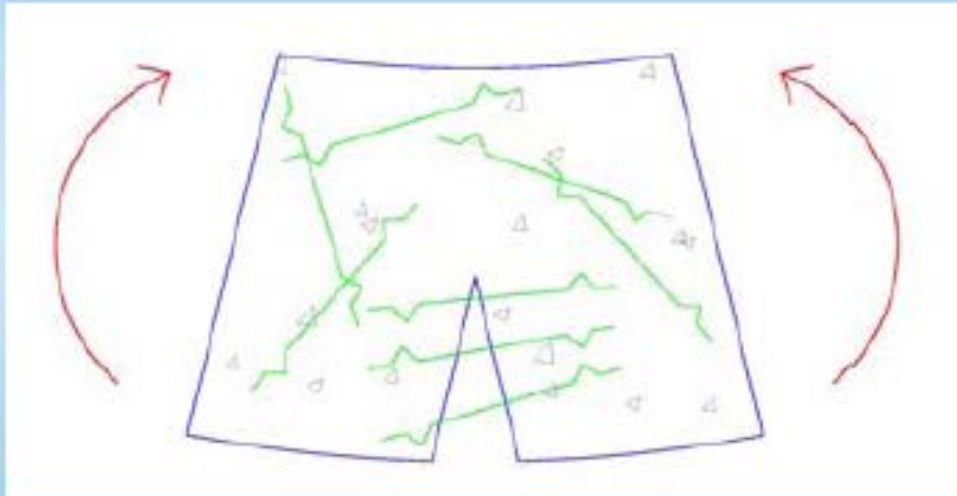
FIBRAS METÁLICAS PARA EL REFUERZO DEL CONCRETO





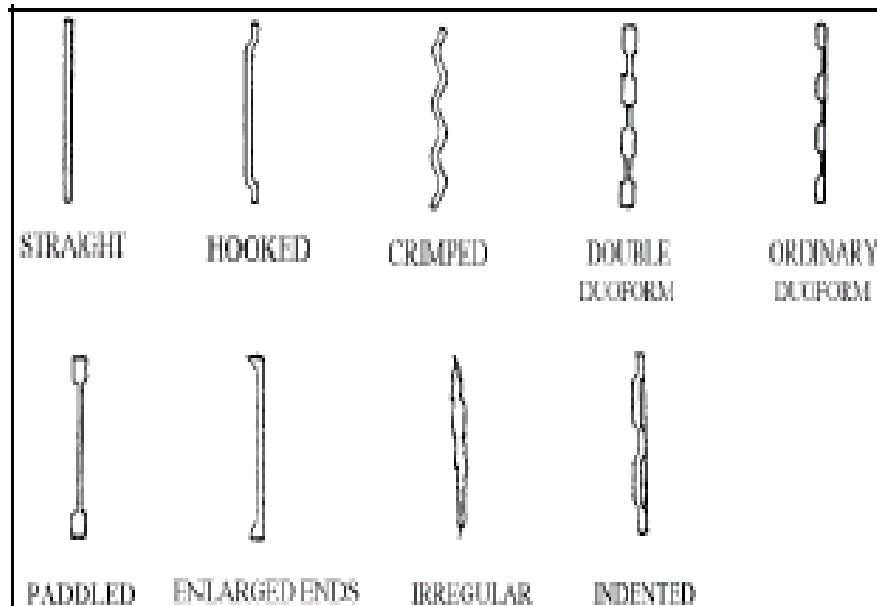
FIBRAS METÁLICAS PARA EL REFUERZO DEL CONCRETO

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/m ³ |

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

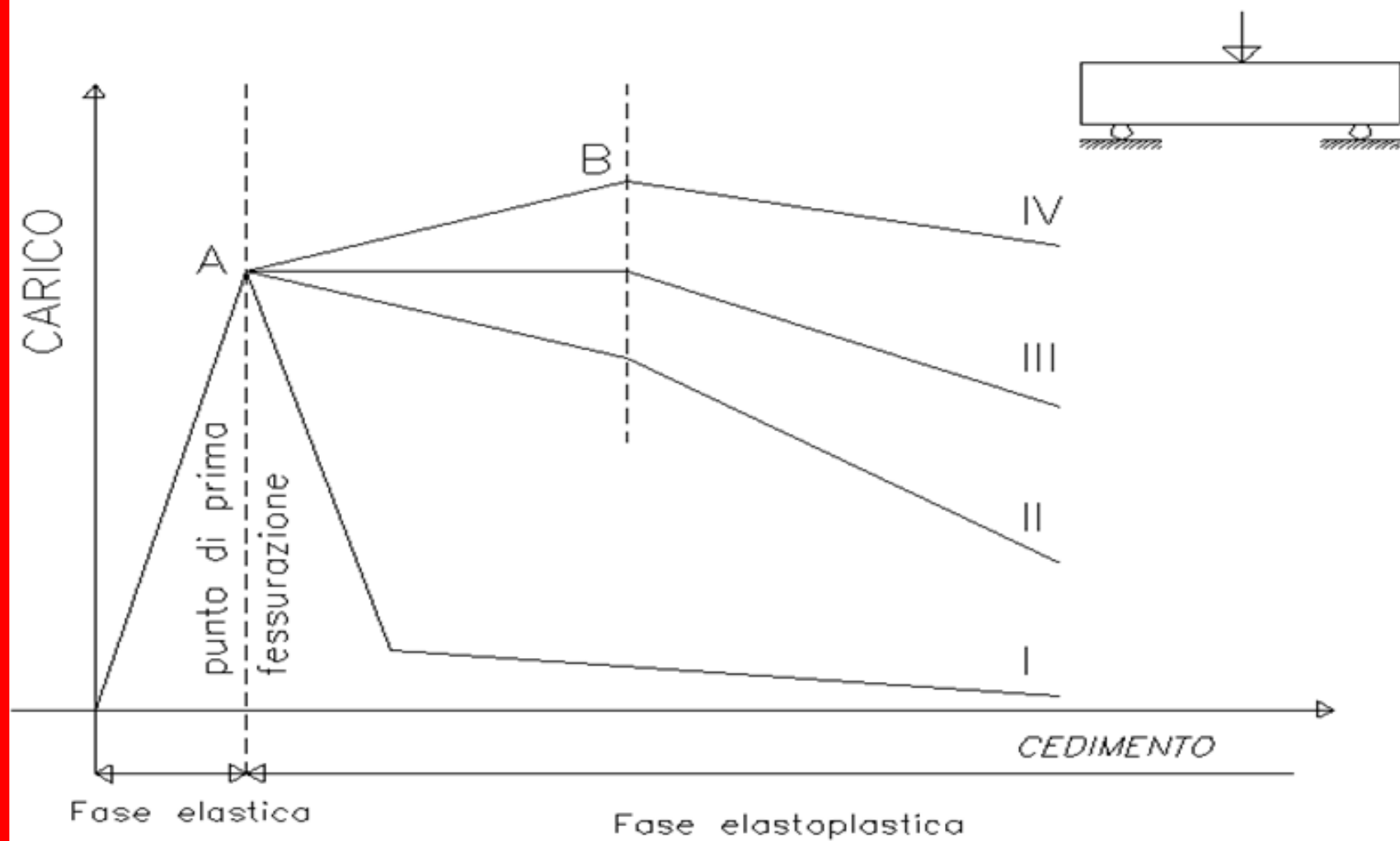
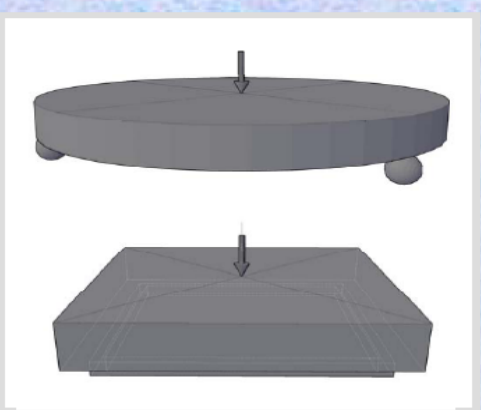


FIGURA 1 – Ensayos de flexión

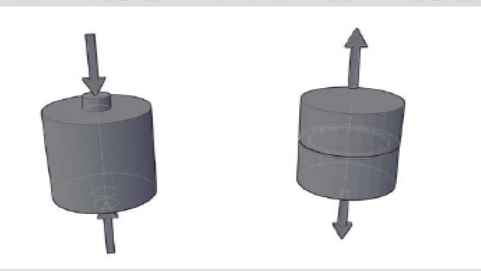
- Panel tests (usual for shotcrete)

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



- Others:

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

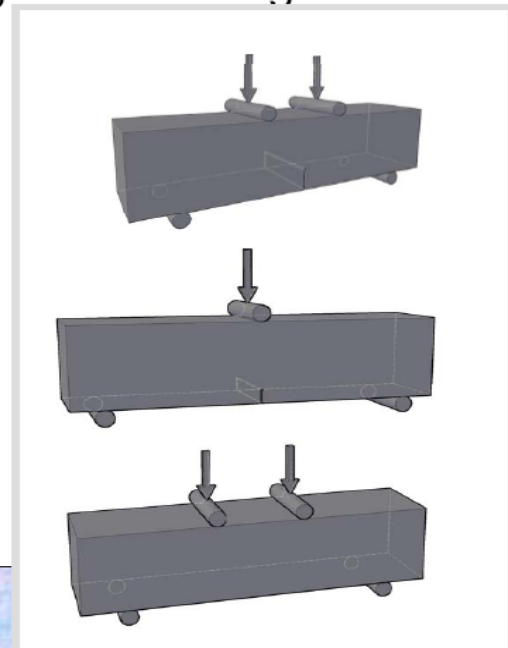


Prueba de TENACIDAD

- How is evaluated the SFRC strength or the toughness?

- Beam tests

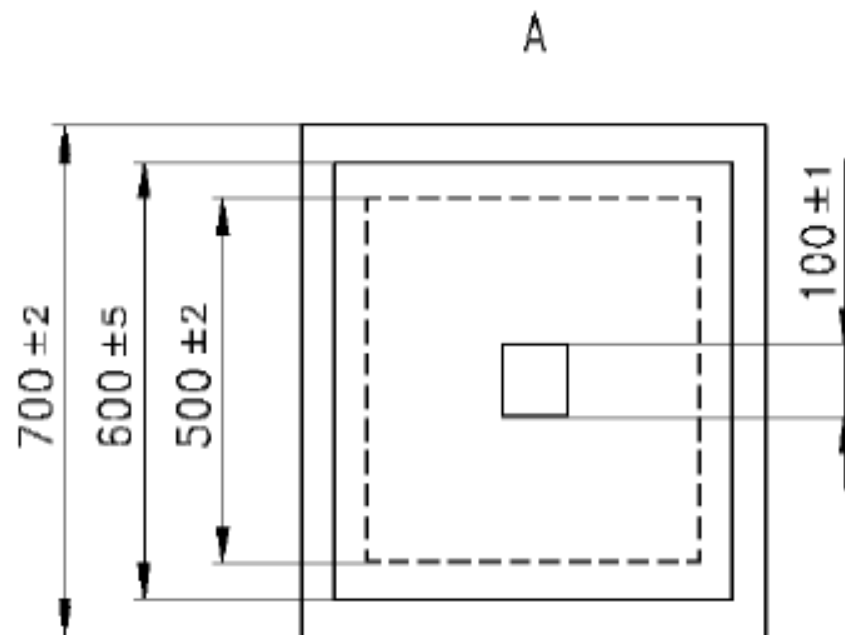
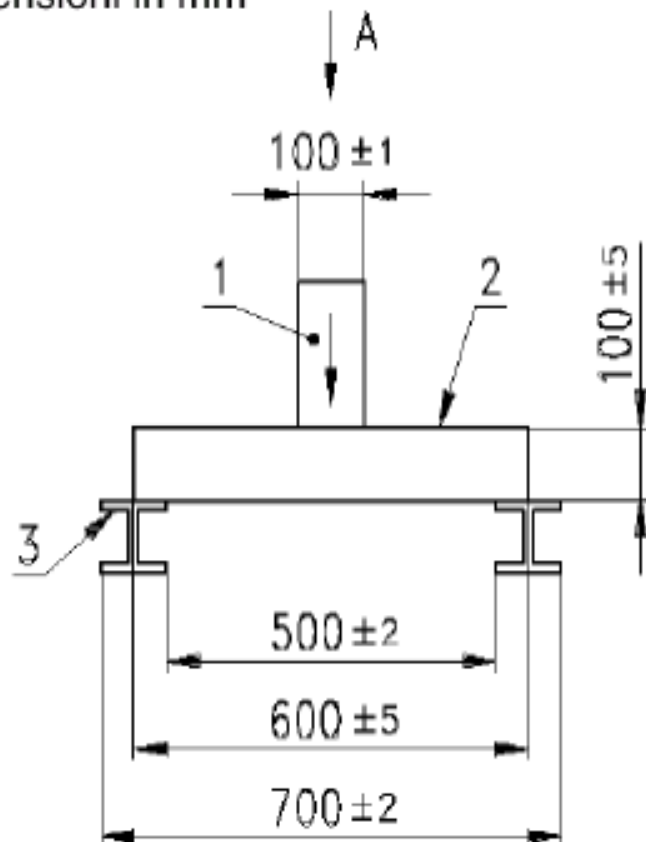
- Italian standard:
UNI 11039, third-point loading with notch
- European standard:
EN 14651, 3 point bending test with notch
- Belgian standard:
NBN B15-238, third-point loading
- American standard:
ASTM C-1018, third-point loading



Prueba de DUCTILIDAD

DETERMINACIÓN DE LA TENACIDAD DEL CONCRETO FIBRO-REFORZADO

Dimensioni in mm

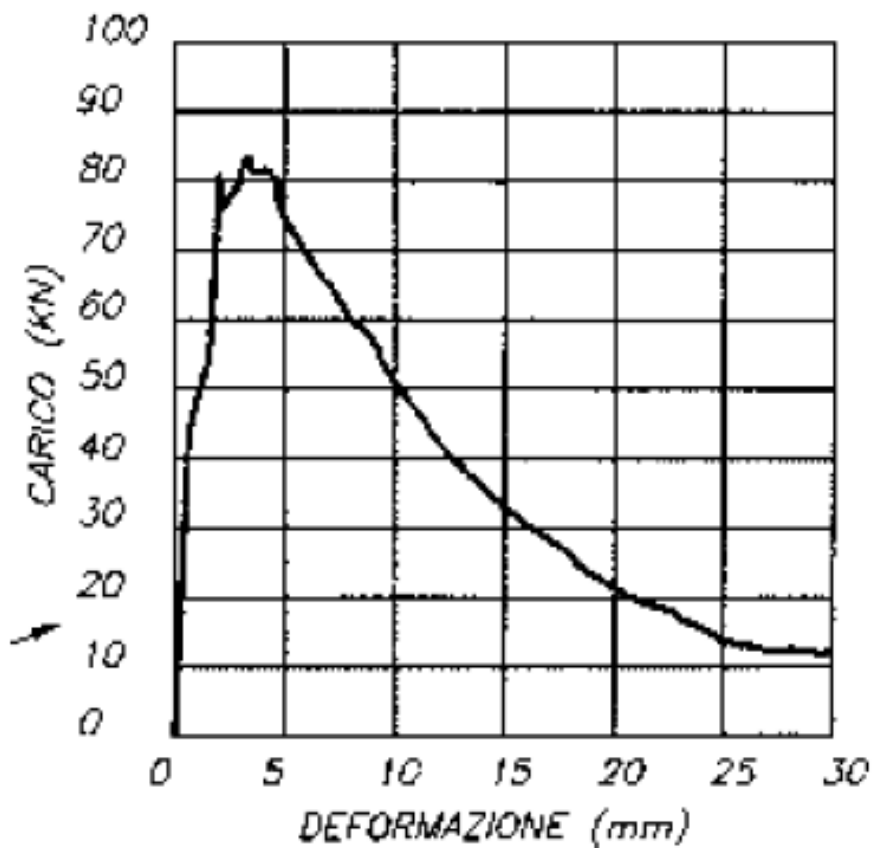


PRUEBA NORMALIZADA SOBRE PLANCHAS DE CONCRETO FIBRO-REFORZADO

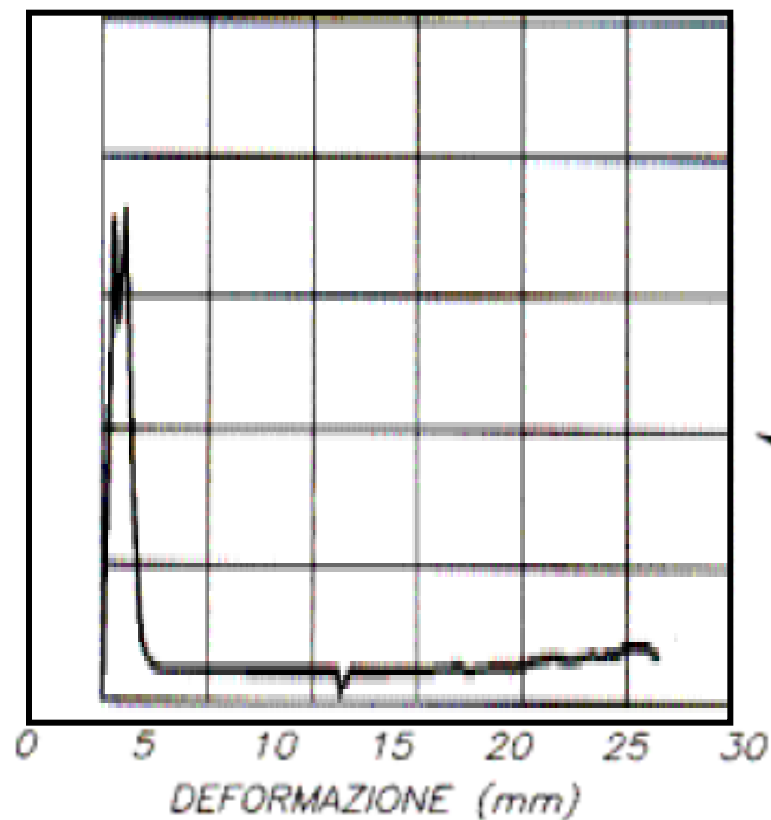


TENACIDAD DEL CONCRETO SIMPLE Y FIBROREFORZADO

TEST SOBRE CONCRETO CON FIBRAS
DIAGRAMMA: CARICO-DEFORMAZIONE

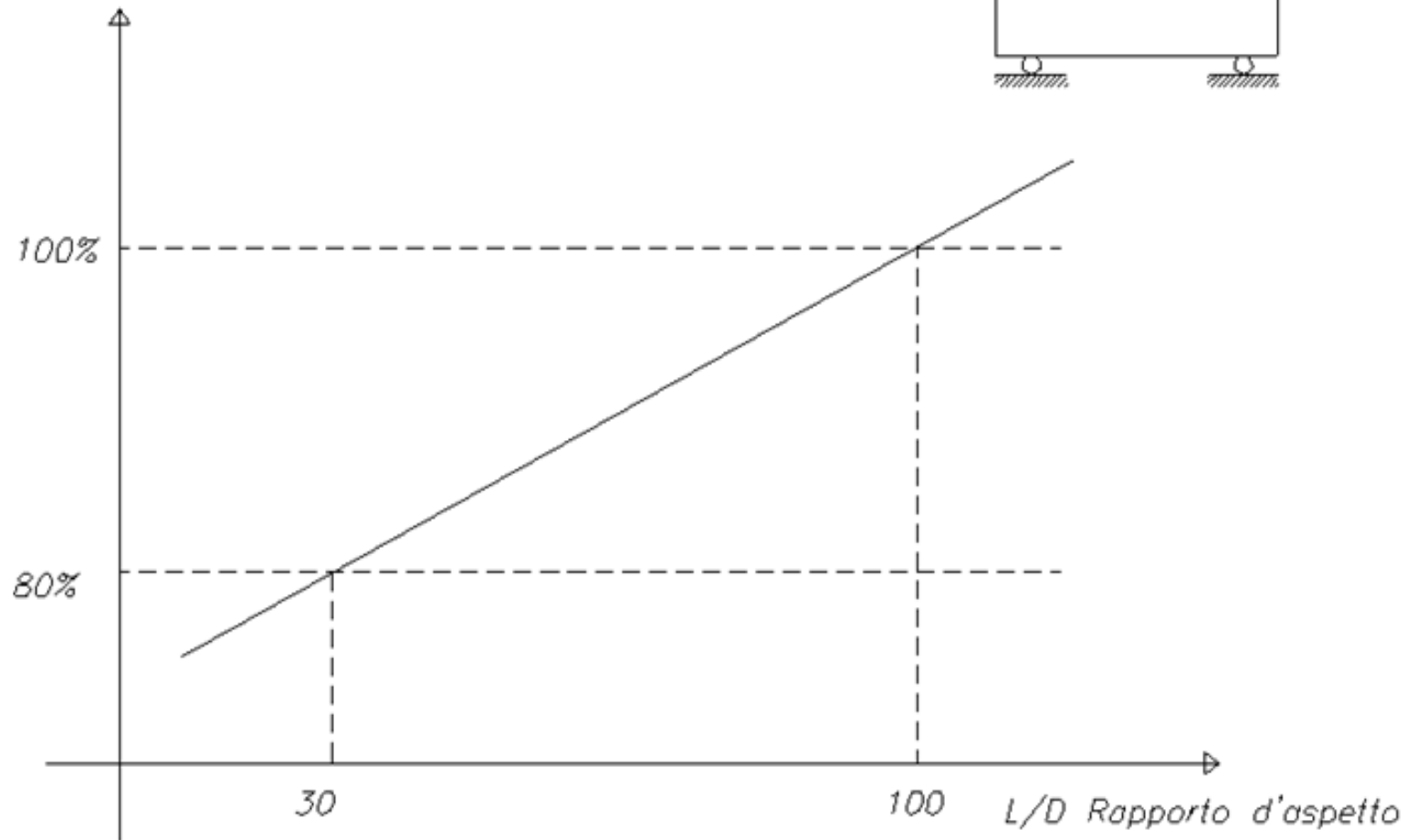


TEST SOBRE CONCRETO SIN FIBRAS
DIAGRAMMA: CARICO-DEFORMAZIONE



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

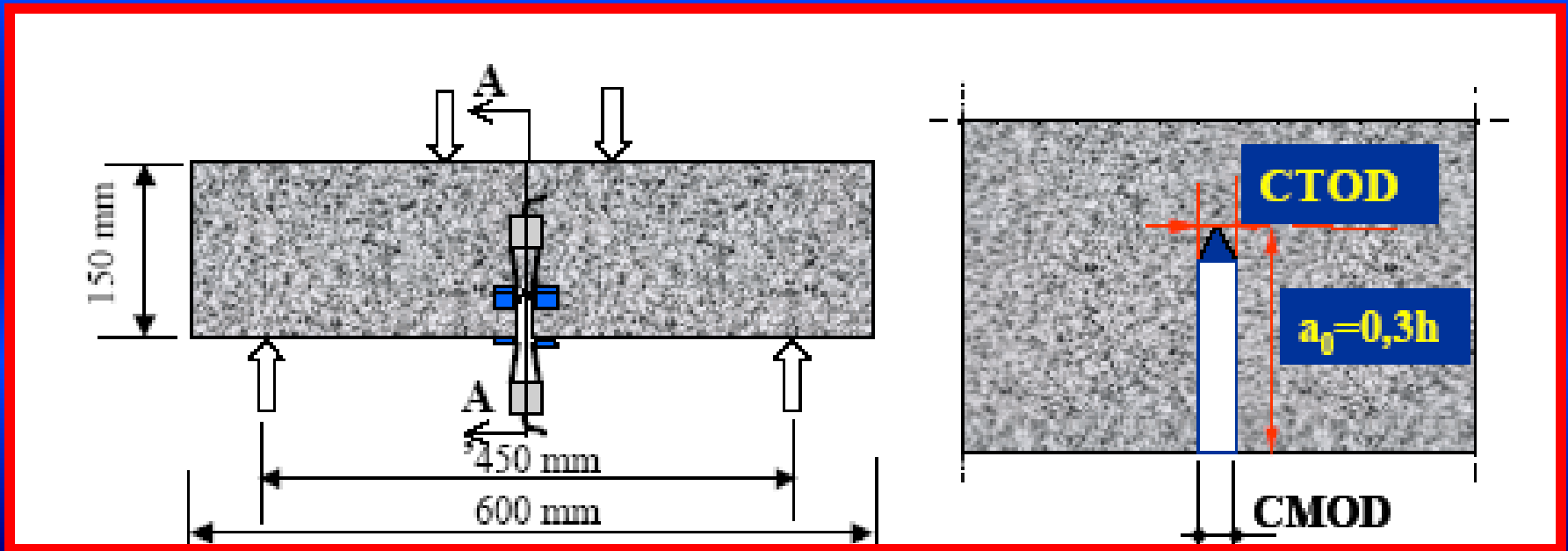
| Fiber Type | ASTM C1550 = 225 J | ASTM C1550 = 350 J | ASTM C1550 = 450 J |
|--------------|--|--|--|
| | Dosage kg/m ³ (lb/y ³) | Dosage kg/m ³ (lb/y ³) | Dosage kg/m ³ (lb/y ³) |
| Wirand® FS1 | 25 (44) | 30 (50) | 35 (60) |
| Wirand® FS3N | 35 (60) | 40 (67) | 45 (75) |
| Wirand® FS4N | 30 (50)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



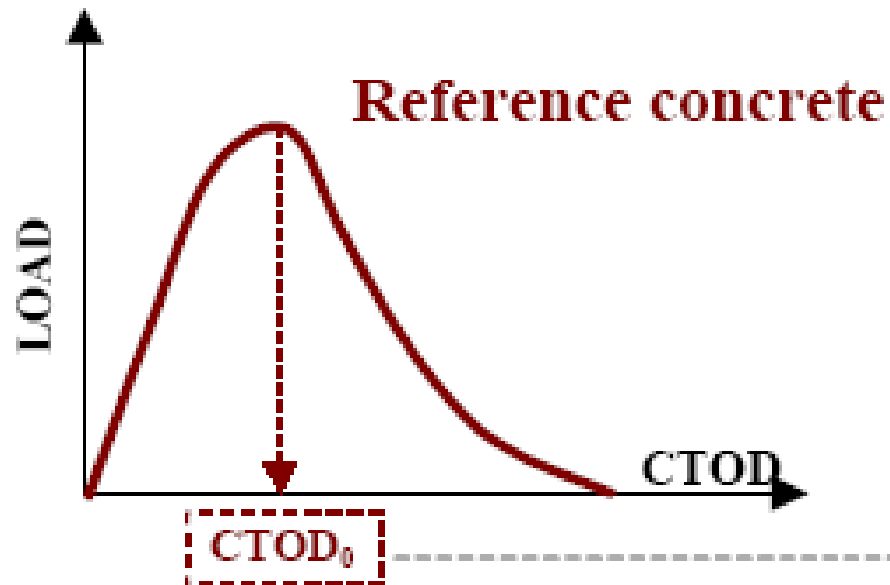
DETERMINACIÓN DE LA TENACIDAD DEL CONCRETO FIBRO-REFORZADO

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA EQUIVALENTE A FLEXIÓN

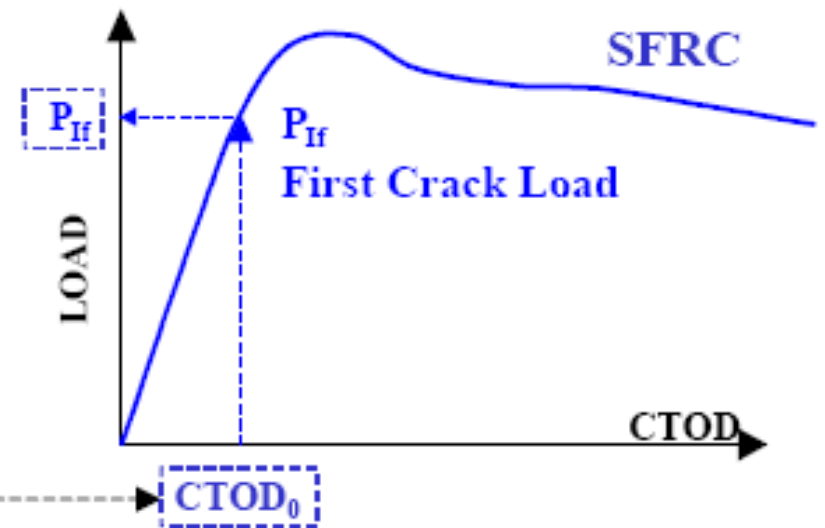


PRUEBA NORMALIZADA SOBRE VIGAS DE CONCRETO FIBRO-REFORZADO



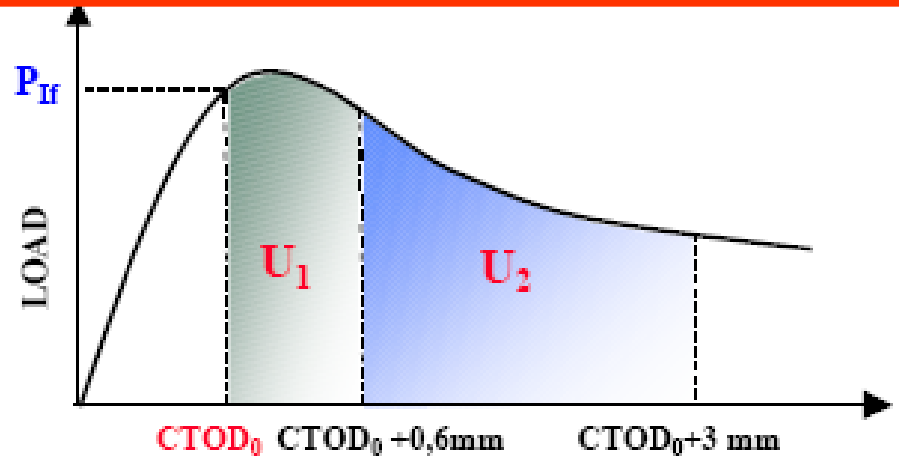
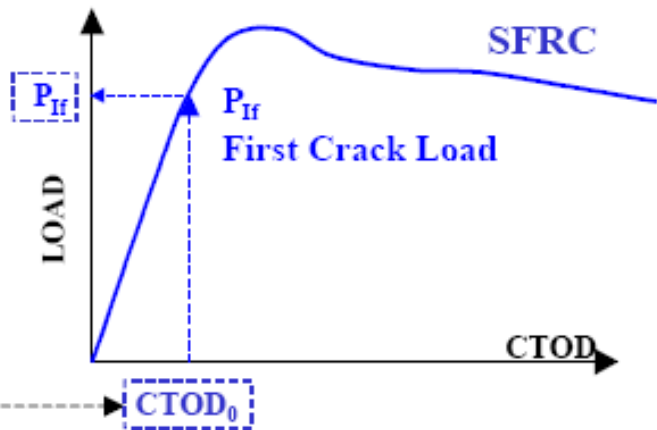


$$f_{If} = P_{If} l / b(h-a_0)^2$$



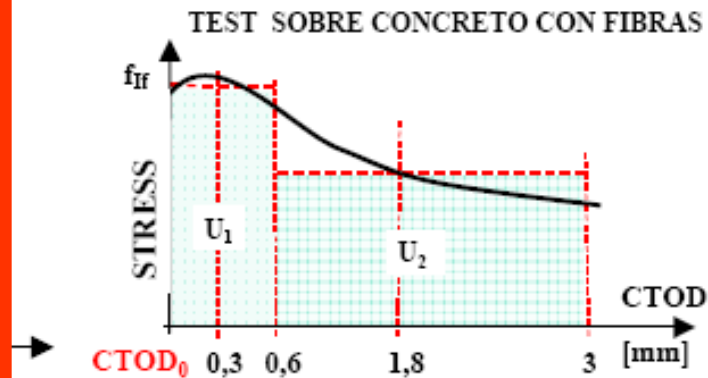
TEST SOBRE CONCRETO CON FIBRAS

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



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

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



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

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

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

| Indici di Duttività (Valori caratteristici minimi) | Classi di duttilità | | | | | | |
|---|-------------------------|----------|----------|------------------------|----------|-------------------------|--------------------|
| | D_{S0} | D_{S1} | D_{S2} | D_P | D_{H0} | D_{H1} | D_{H2} |
| D_0 | ¹ | ≥0,5 | ≥0,7 | ≥0,9 | ≥1,1 | ≥1,3 | ≥1,55 |
| D_1 | ≥0,3 | ≥0,5 | ≥0,7 | ≥0,9 | ≥1,1 | ≥1,3 ² | ≥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. | | | | | | | |

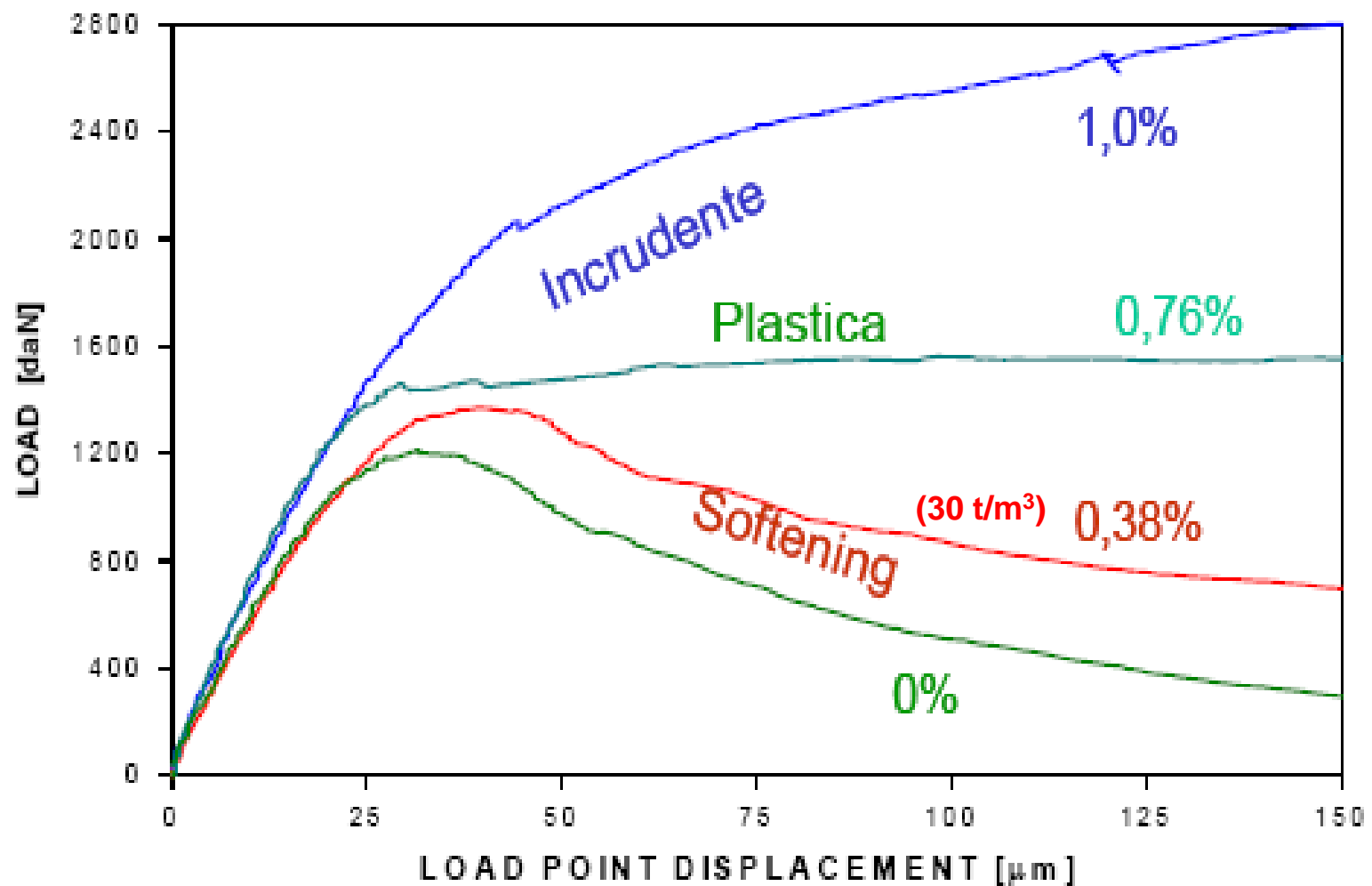


Figura 1 Posibles comportamientos a flexión del concreto fibro-reforzado

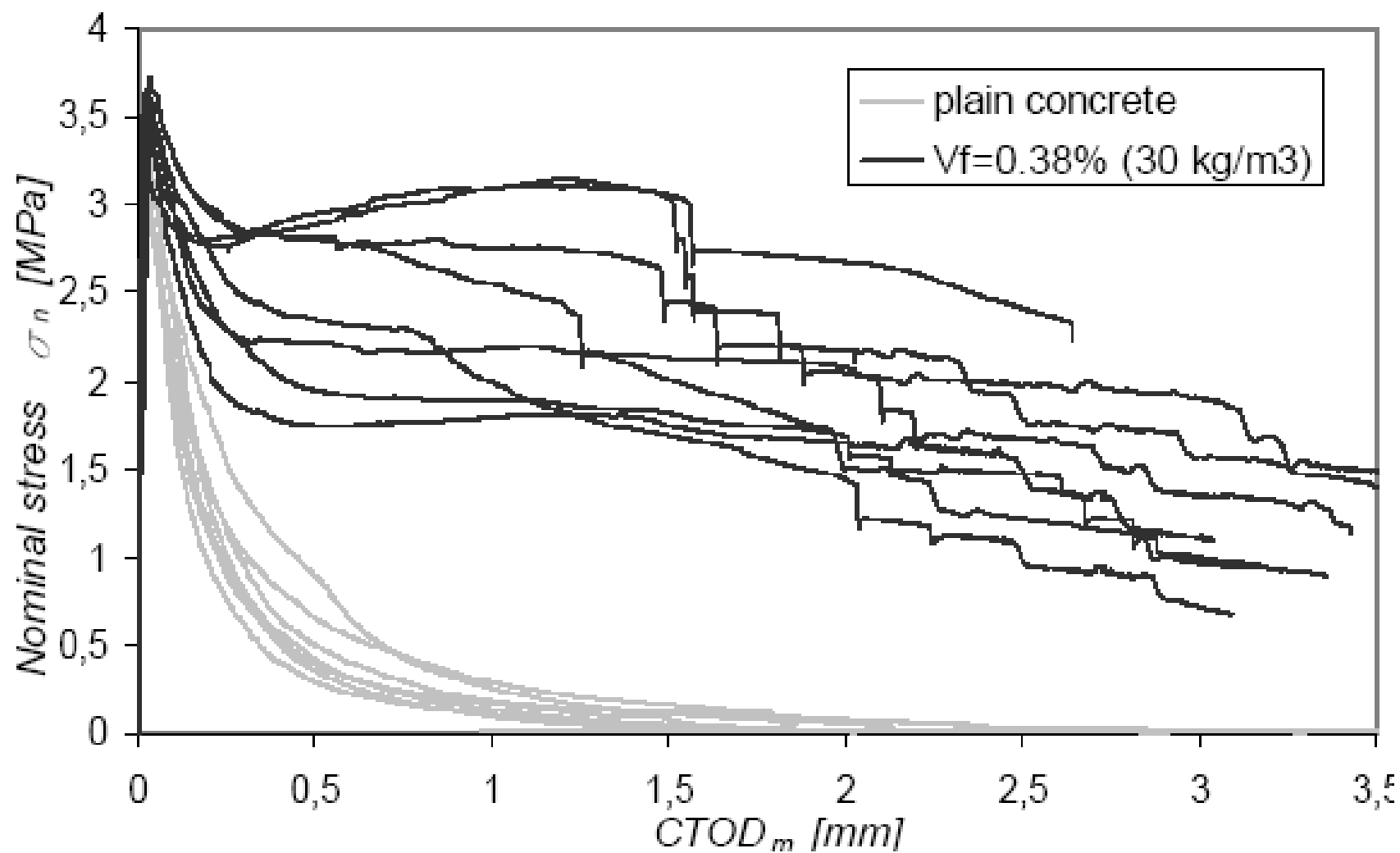
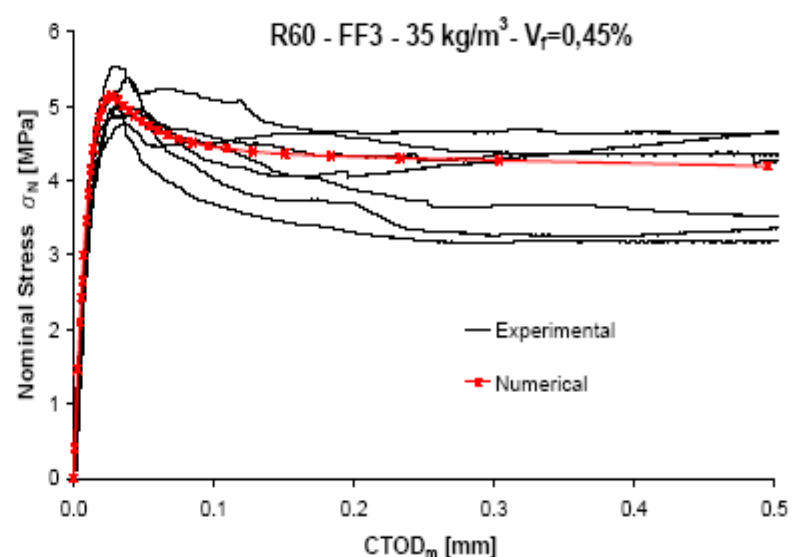
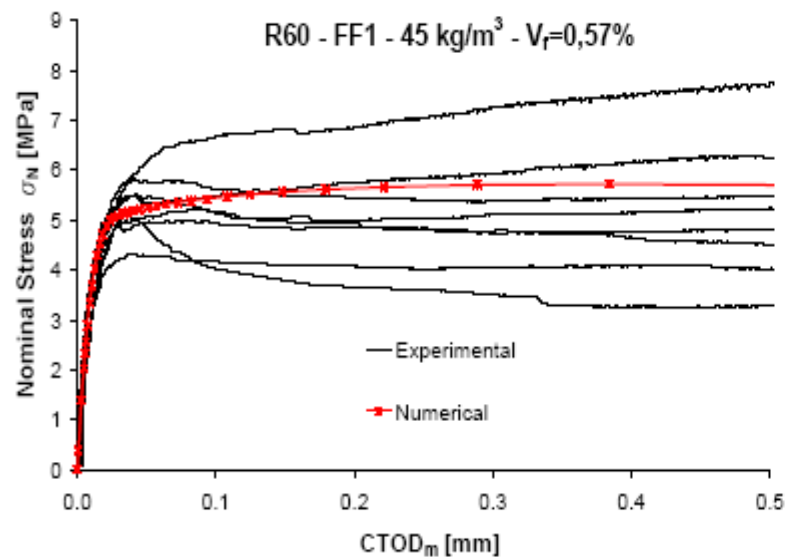
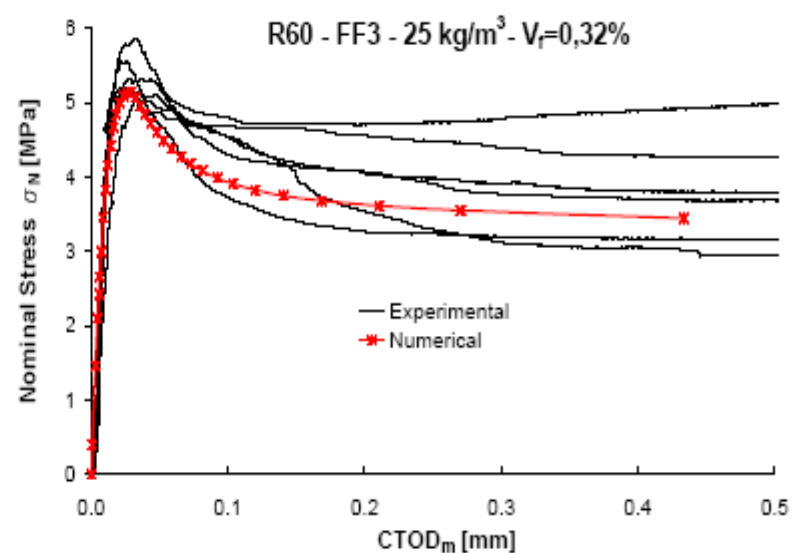
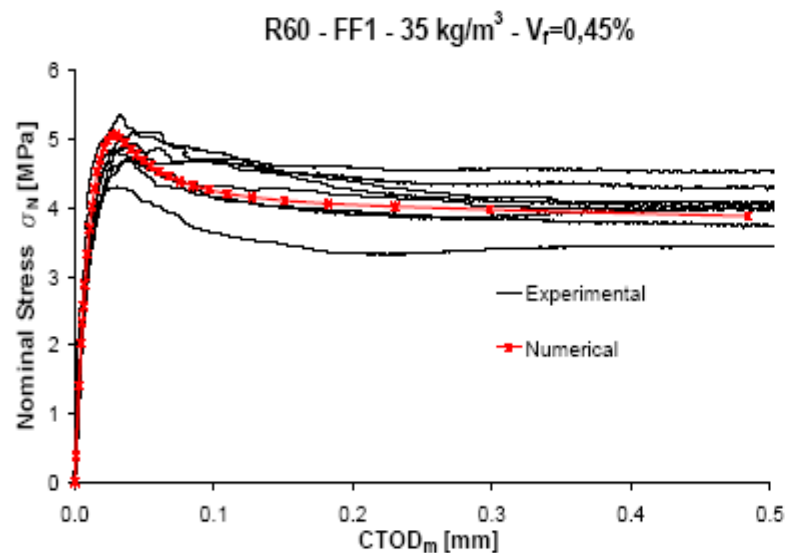
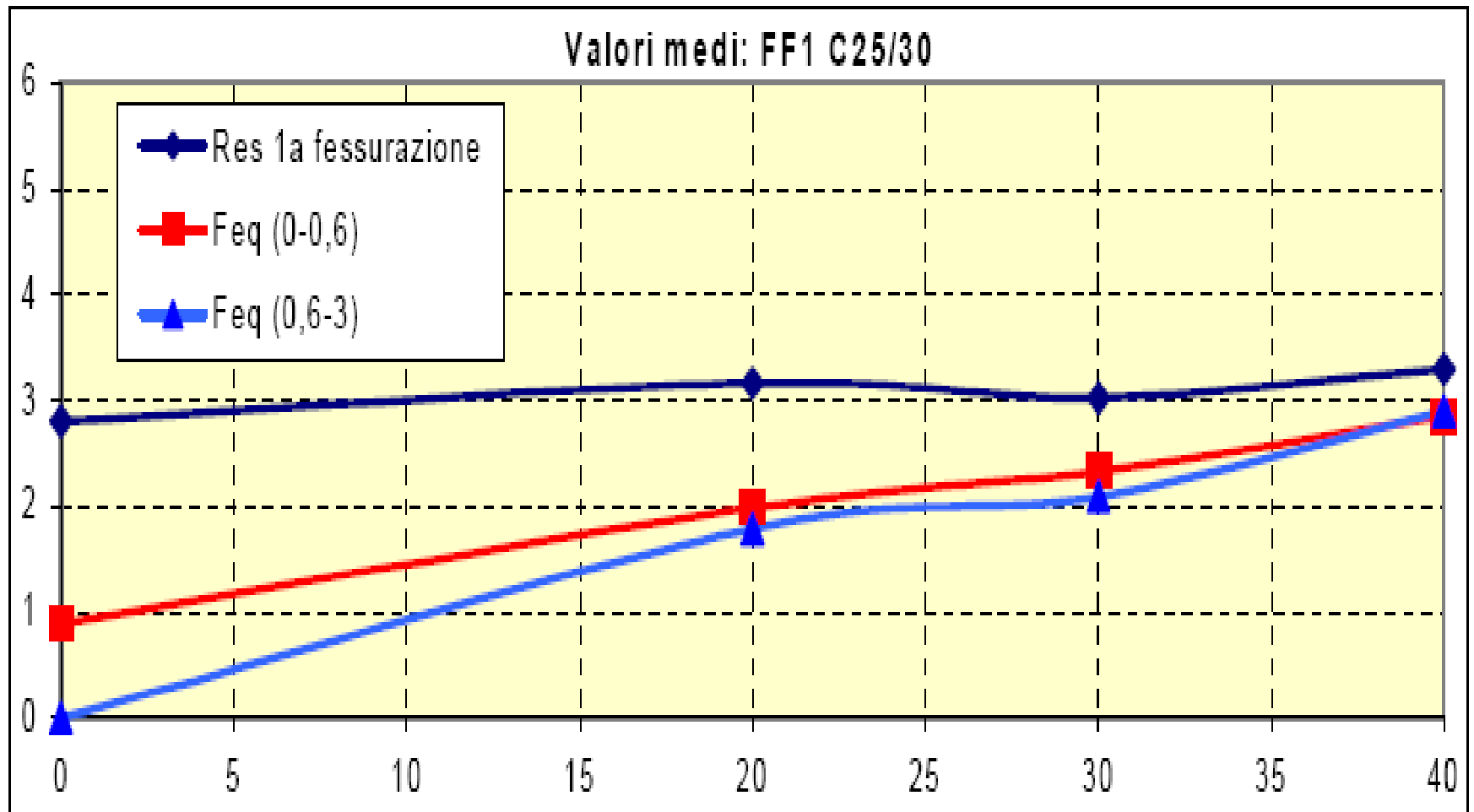


FIGURA 8 – Ejemplo de resultados de ensayos a flexión



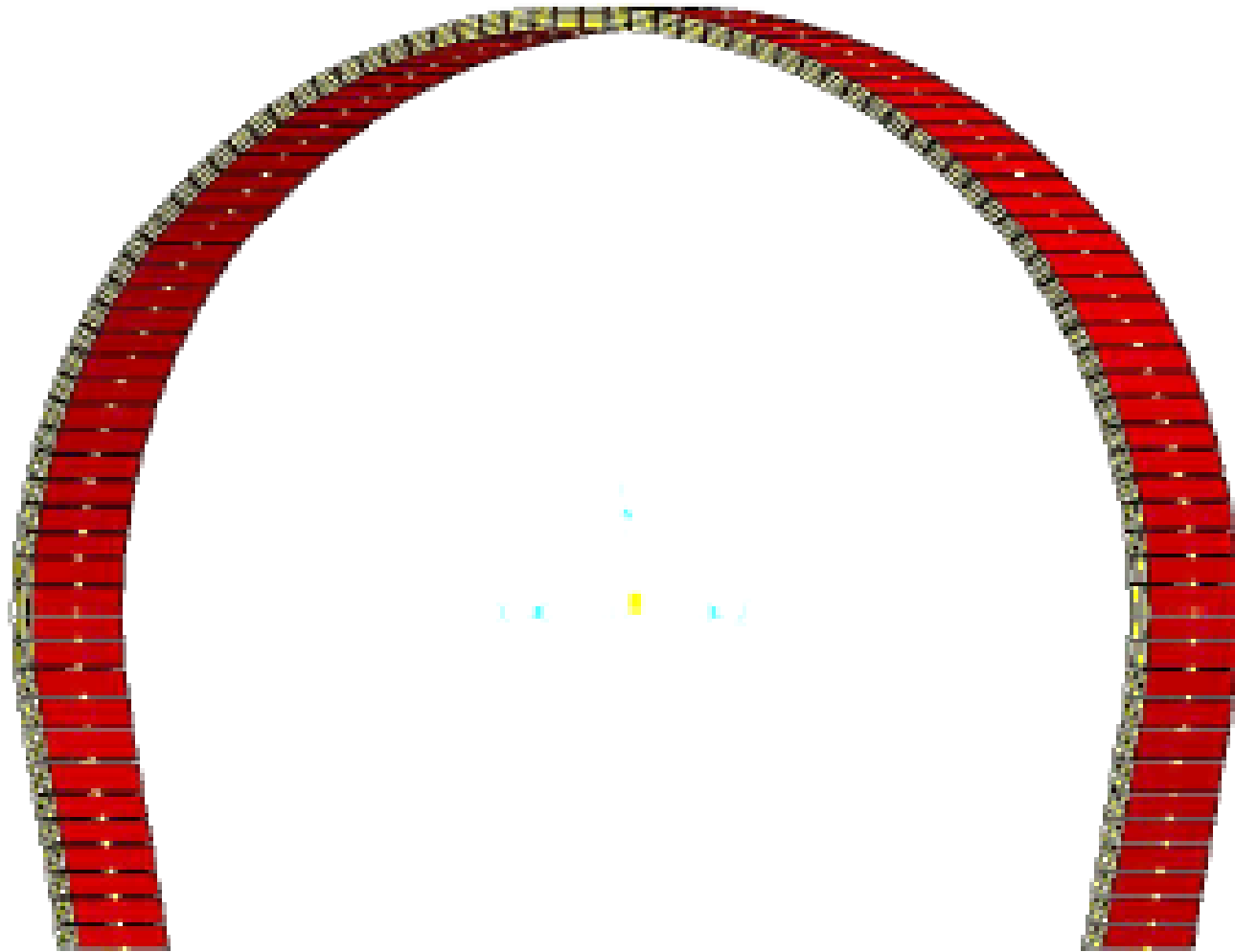
MPa vs t/m³

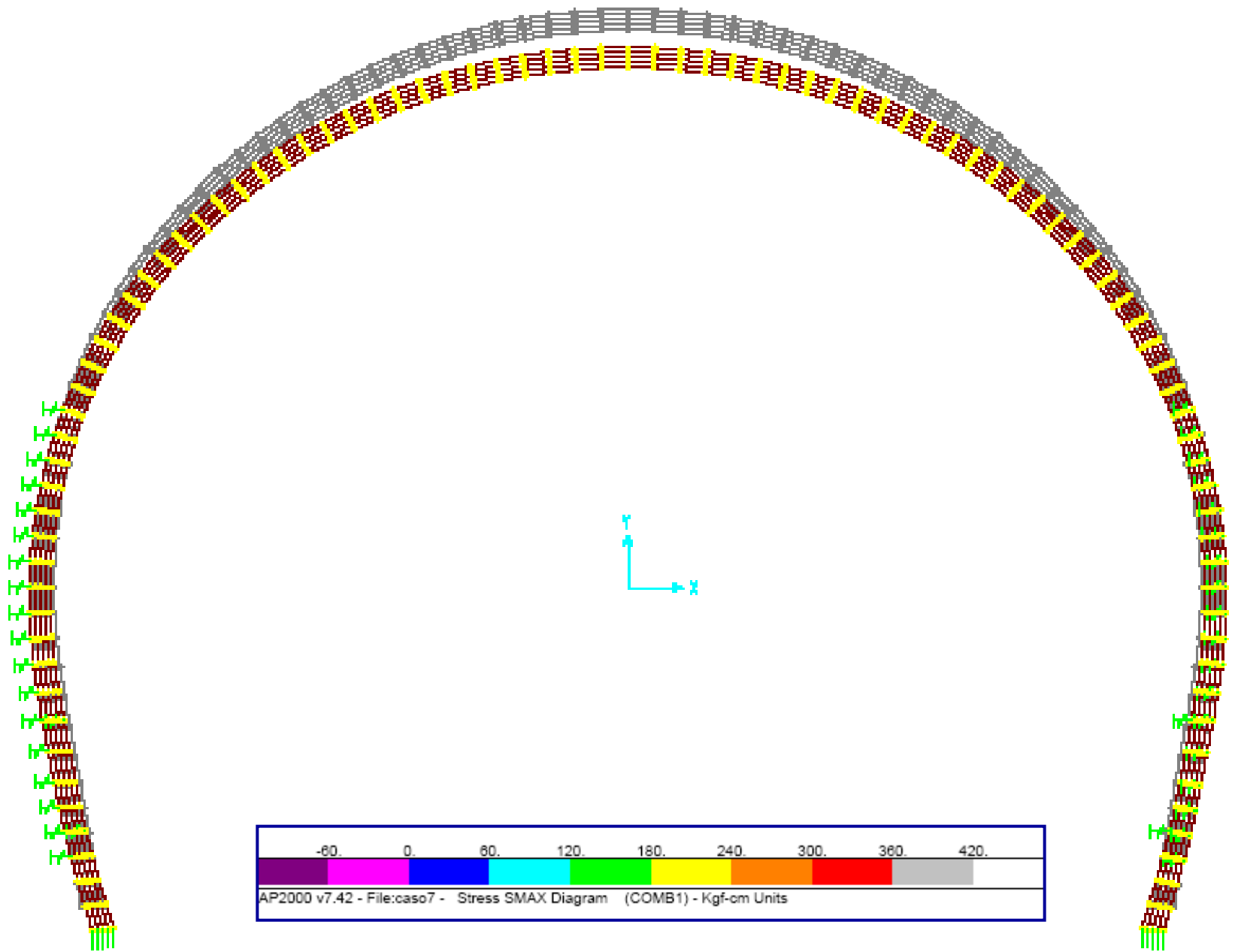


EJEMPLO DE RESULTADOS DE UNA CAMPAÑA DE ENSAYOS DE DISEÑO

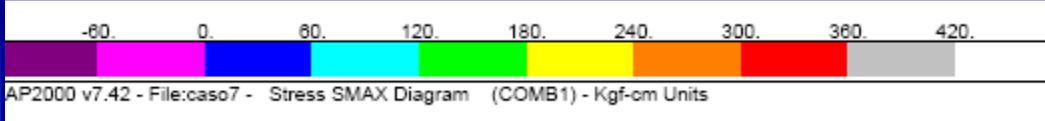
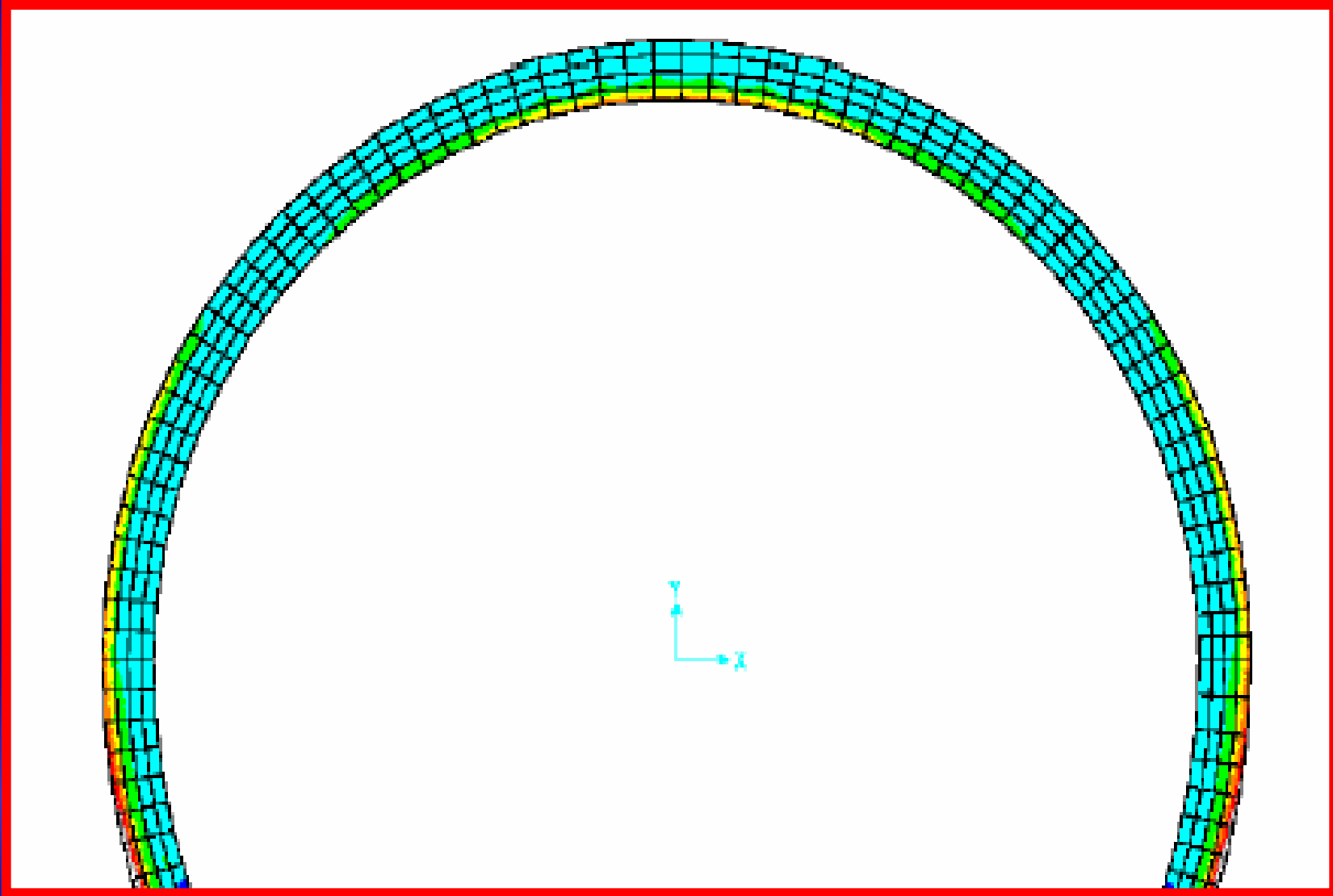
| <i>Fibra FS3 (30/0.75)</i> | <i>Concreto C24/30</i> | | | | <i>Dos. 25 Kg/m³</i> | |
|----------------------------|------------------------|------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Muestra | f_{fT} (MPa) | $D_0 \times D_1$ | $f_{0.0.6}$ (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





AP2000 v7.42 - File:caso7 - Stress SMAX Diagram (COMB1) - Kgf-cm Units



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

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) | (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

| <i>Fibra FS3 (30/0.75)</i> | | <i>Concreto C24/30</i> | | | <i>Dos. 30 Kg/m³</i> |
|----------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|--|---------------------------------|
| <i>Ensayo</i> | <i>f_{tr} (MPa)</i> | <i>D₀</i> | <i>D₁</i> | <i>D₀ x D₁</i> | <i>f_{eq} (MPa)</i> |
| <i>Viga 4</i> | 3.3647 | 0.70 | 0.69 | 0.48 | 1.63 |
| <i>Viga 6</i> | 3.6140 | 0.75 | 0.66 | 0.49 | 1.78 |
| <i>Viga 7</i> | 2.2316 | 0.85 | 0.55 | 0.47 | 1.04 |
| <i>Viga 8</i> | 2.7779 | 0.64 | 0.66 | 0.42 | 1.18 |
| <i>Viga 9</i> | 2.5218 | 0.72 | 0.74 | 0.53 | 1.35 |
| <i>Viga 10</i> | 2.6043 | 0.75 | 0.78 | 0.58 | 1.52 |
| <i>Viga 11</i> | 2.9640 | 0.76 | 0.83 | 0.63 | 1.86 |
| <i>Viga 12</i> | 3.3916 | 0.78 | 0.83 | 0.65 | 2.20 |
| <i>Viga 13</i> | 2.9491 | 0.75 | 0.73 | 0.55 | 1.62 |
| <i>Viga 14</i> | 3.5628 | 0.77 | 0.82 | 0.63 | 2.25 |
| | | | | | |
| <i>Viga1</i> | 3.4203 | 0.75 | 0.69 | 0.52 | 1.77 |
| <i>Viga2</i> | 3.3610 | 0.82 | 0.44 | 0.36 | 1.21 |
| <i>Viga3</i> | 3.7265 | 0.87 | 0.51 | 0.44 | 1.65 |
| <i>Viga4</i> | 3.5866 | 0.72 | 0.69 | 0.50 | 1.80 |
| <i>Viga5</i> | 2.9803 | 0.72 | 0.74 | 0.53 | 1.58 |
| <i>Viga6</i> | 2.6753 | 0.74 | 0.69 | 0.51 | 1.36 |
| <i>Viga7</i> | 3.1778 | 0.80 | 0.75 | 0.60 | 1.89 |
| <i>Viga8</i> | 2.9311 | 0.84 | 0.50 | 0.42 | 1.24 |
| <i>Viga9</i> | 2.3570 | 0.79 | 0.74 | 0.59 | 1.38 |
| <i>Viga10</i> | 2.6480 | 0.79 | 0.60 | 0.47 | 1.25 |
| <i>Viga11</i> | 2.6939 | 0.75 | 0.57 | 0.43 | 1.16 |
| <i>Viga12</i> | 3.2441 | 0.66 | 0.68 | 0.45 | 1.46 |
| | <i>f_{tm} (MPa)</i> | <i>D_{0m}</i> | <i>D_{1m}</i> | <i>(D₀ x D₁)_m</i> | <i>f_{eqm} (MPa)</i> |
| | 3.0356 | 0.76 | 0.68 | 0.51 | 1.55 |

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

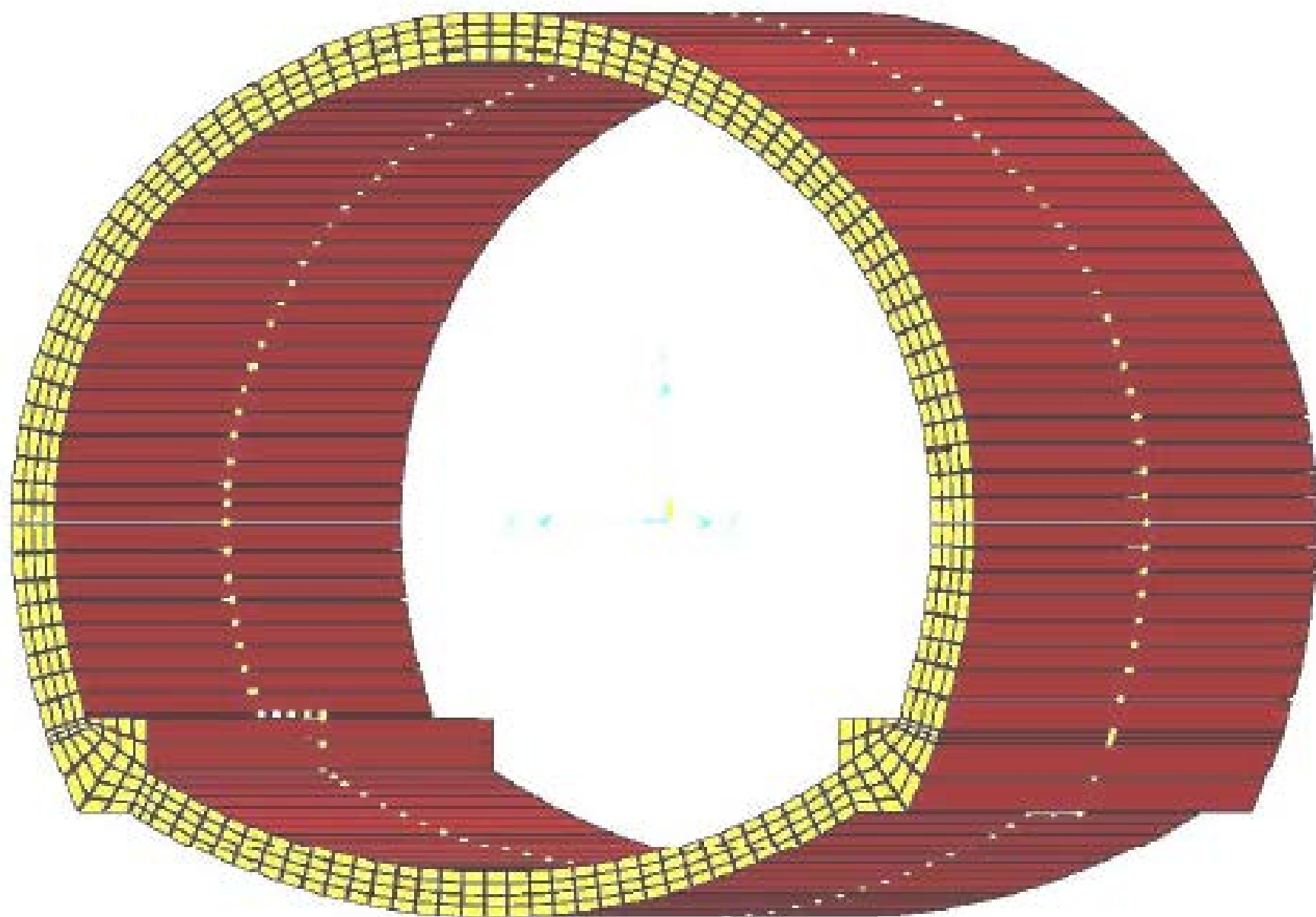


Figura 22 *Modelo numérico SAP para el revestimiento de los túneles*

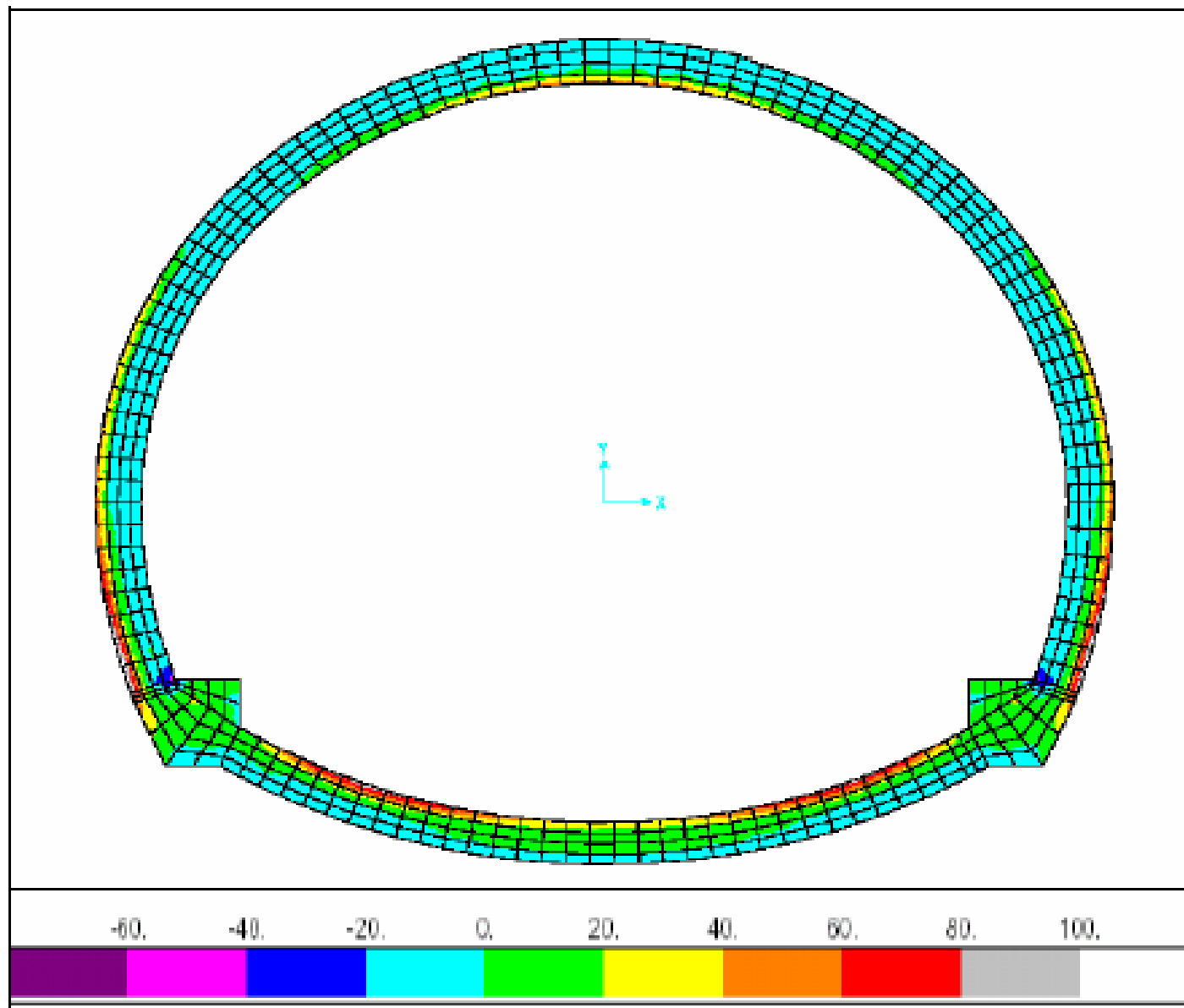


Figura 24 *Ejemplo gráfico de esfuerzos principales máximos en el revestimiento*

REVESTIMIENTOS EN CONCRETO VACIADO

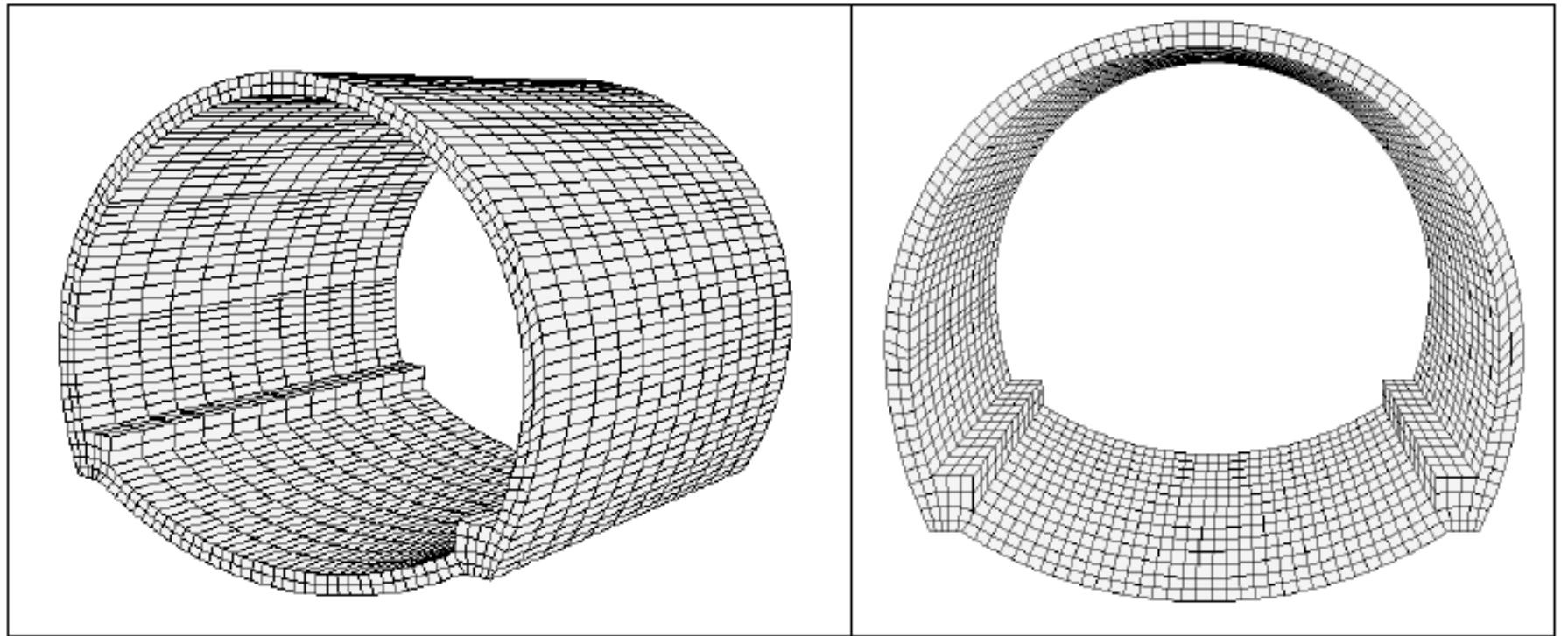
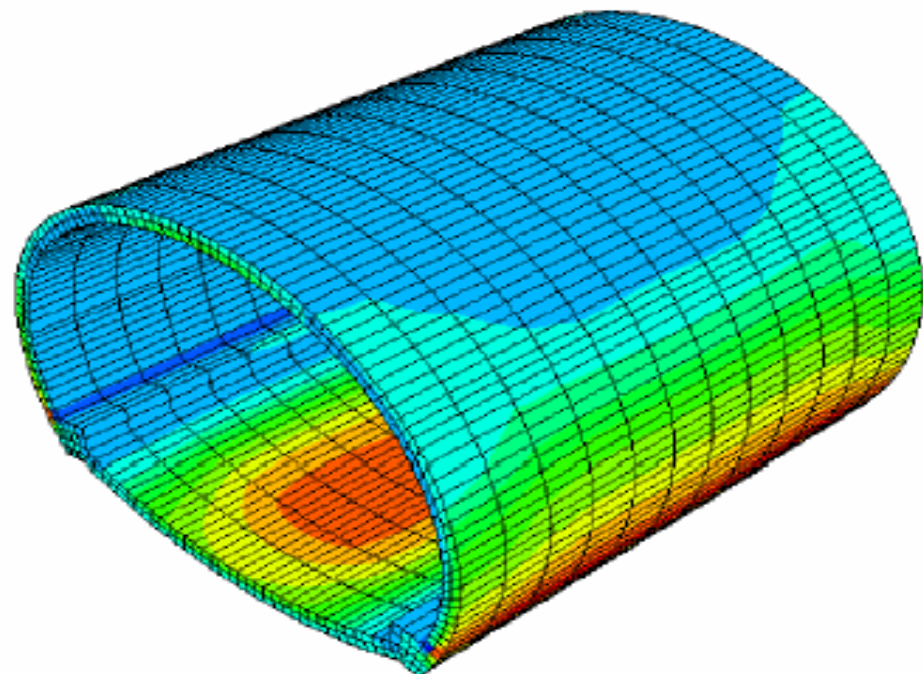
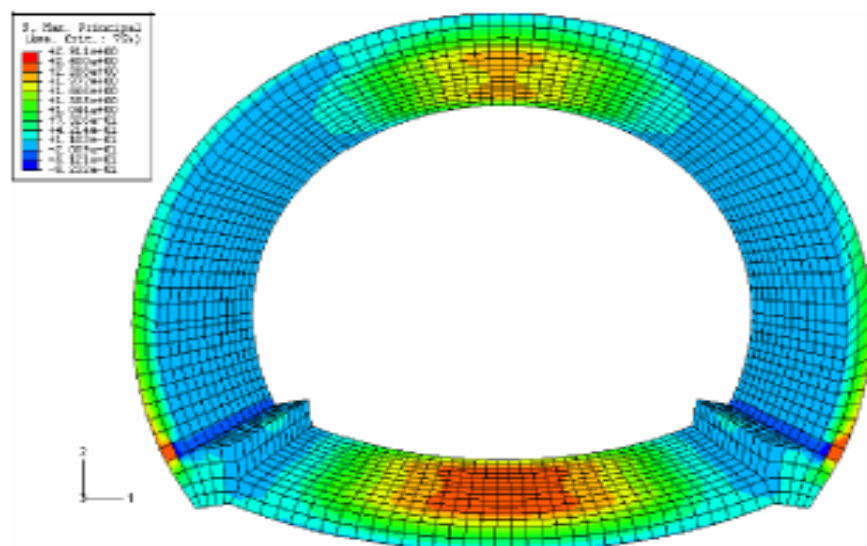


Figura 25 *Mesh tridimensional de 3072 elementos del modelo ABAQUS del revestimiento*



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



REVESTIMIENTOS EN BAJAS COBERTURAS

| CASOS | <u>Terreno Más Rígido</u> | | <u>Terreno Menos Rígido</u> | | 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 | RF2-Pc |
| 16 | 12.50 | 0.95 | 34.40 | 11.60 | RF2-Pc |
| 2 | 42.20 | 7.40 | 221.00 | 178.10 | RF2-Pd |
| 3 | 32.60 | 4.30 | 175.50 | 141.80 | RF2-Pd |
| 4 | 16.70 | 2.10 | 53.30 | 12.80 | RF2-Pd |
| 5 | 4.80 | 0.57 | 27.50 | 4.30 | RF2-Pc |
| 6 | 1.83 | 0.35 | 15.40 | 0.76 | RF1 |
| 7 | 46.60 | 11.60 | 276.30 | 250.00 | RF2* |
| 8 | 44.95 | 10.80 | 165.30 | 216.70 | RF2-Pd |

REVESTIMIENTOS EN ALTAS COBERTURAS

| CASOS | <u>Terreno Más Rígido</u> | | <u>Terreno Menos Rígido</u> | | 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 | RF1 |
| 10 | 1.20 | 0.70 | 6.60 | 0.83 | RF2-Pc |
| 11 | 0.29 | 0.16 | 0.70 | 0.75 | RF1 |
| 12 | 2.40 | 4.20 | 20.50 | 1.60 | RF2-Pd |
| 13 | 0.65 | 0.31 | 3.60 | 0.00 | RF2-Pc |
| 14 | 4.20 | 1.65 | 55.40 | 1.80 | RF2* |
| 15 | 3.70 | 2.41 | 32.70 | 2.70 | RF2-Pd |

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

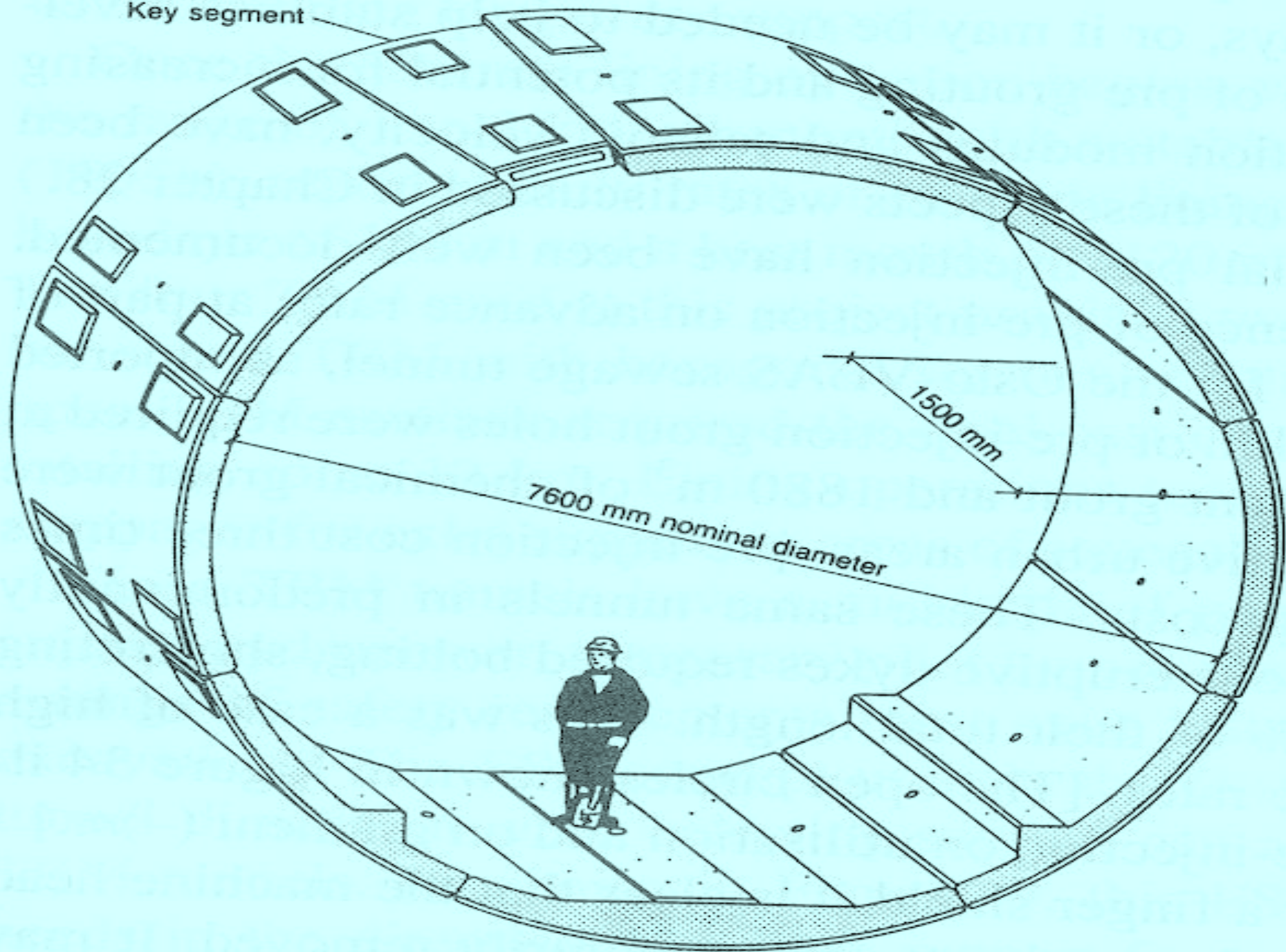
REVESTIMIENTOS EN CONCRETO VACIADO

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

Máximas Tracciones en Bóveda y Hastiales (MPa)

| <i>Revestimientos</i> | <i>Bajas Coberturas</i> | | <i>Altas Coberturas</i> | |
|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| | <i>Terrenos Menos Rígidos</i> | <i>Terrenos Más Rígidos</i> | <i>Terrenos Menos Rígidos</i> | <i>Terrenos Más Rígidos</i> |
| 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

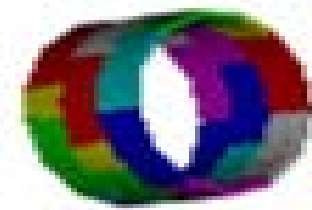
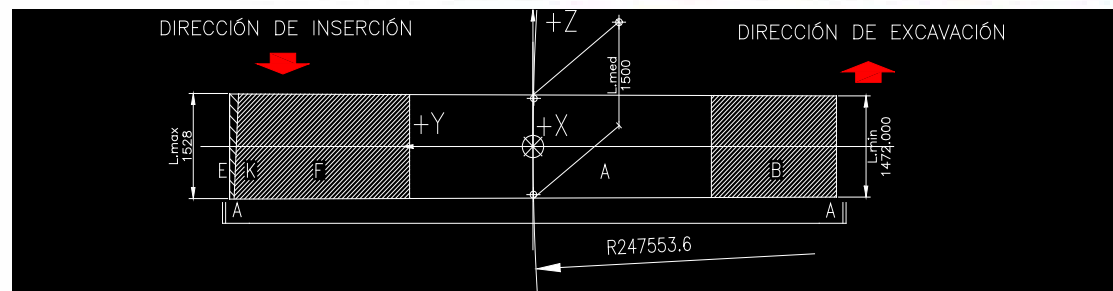


1500 mm

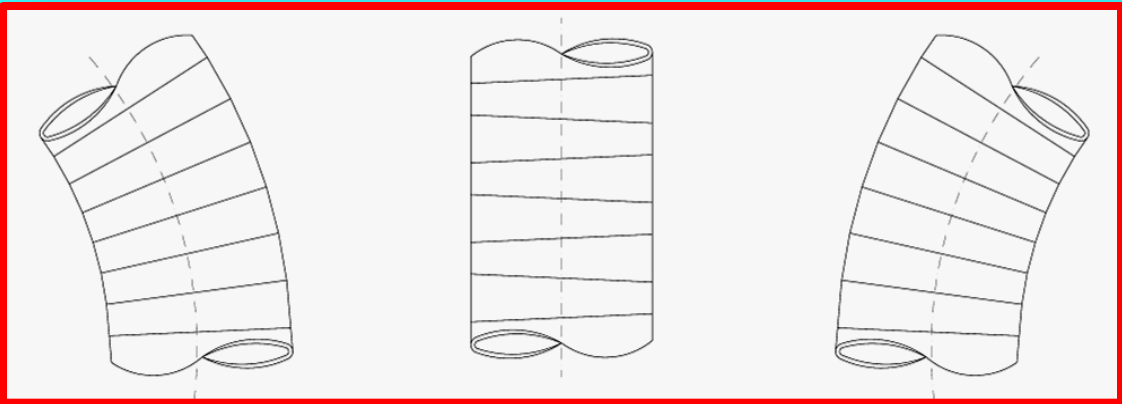
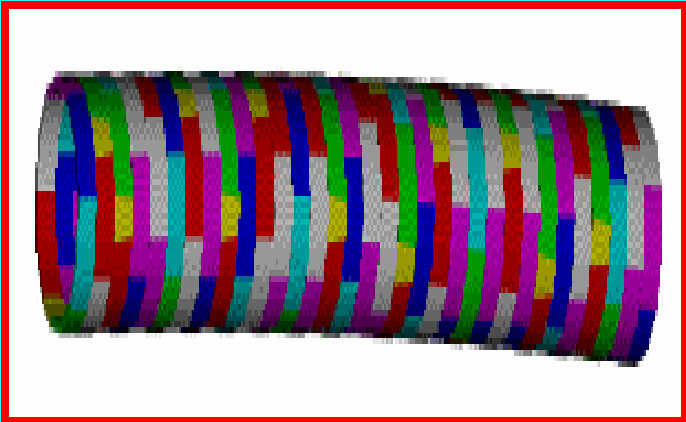
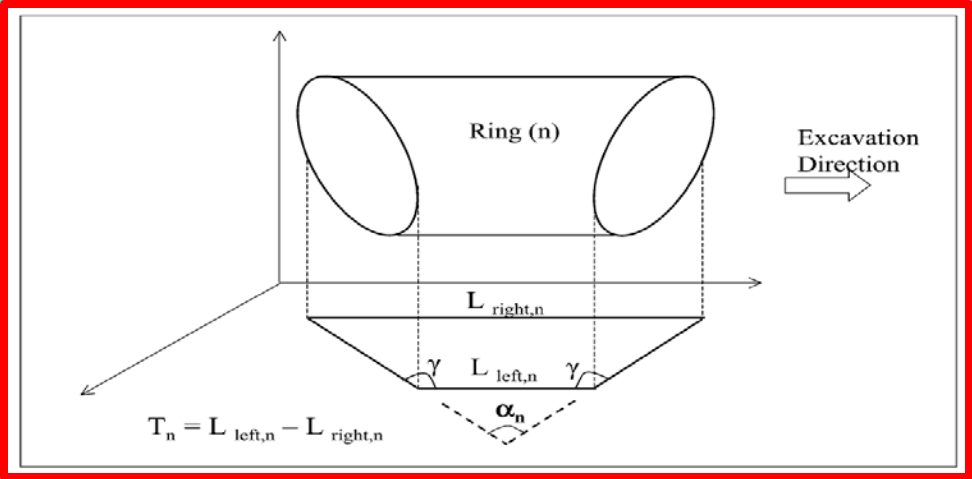
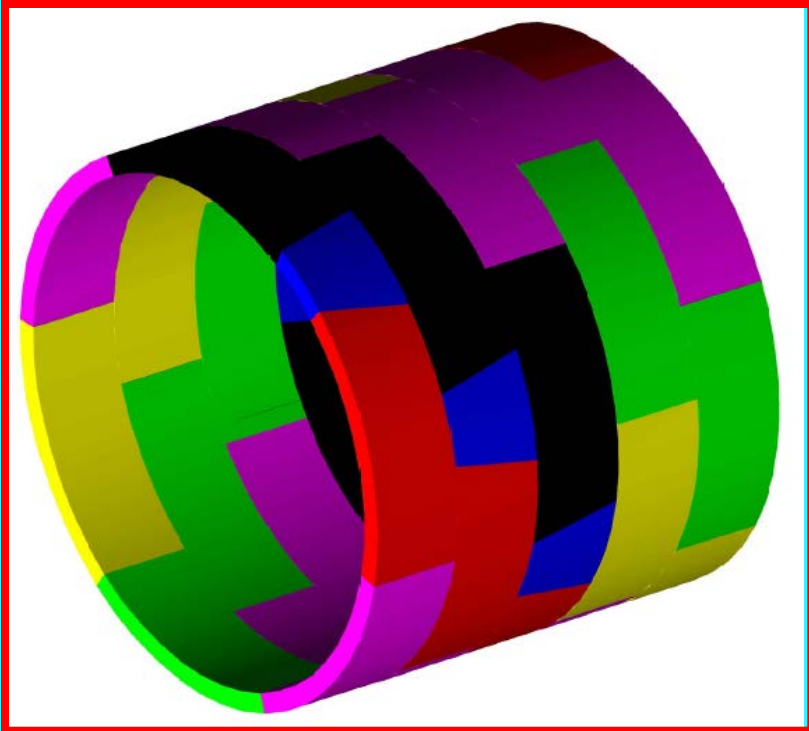
7600 mm nominal diameter

El Anillo Universal

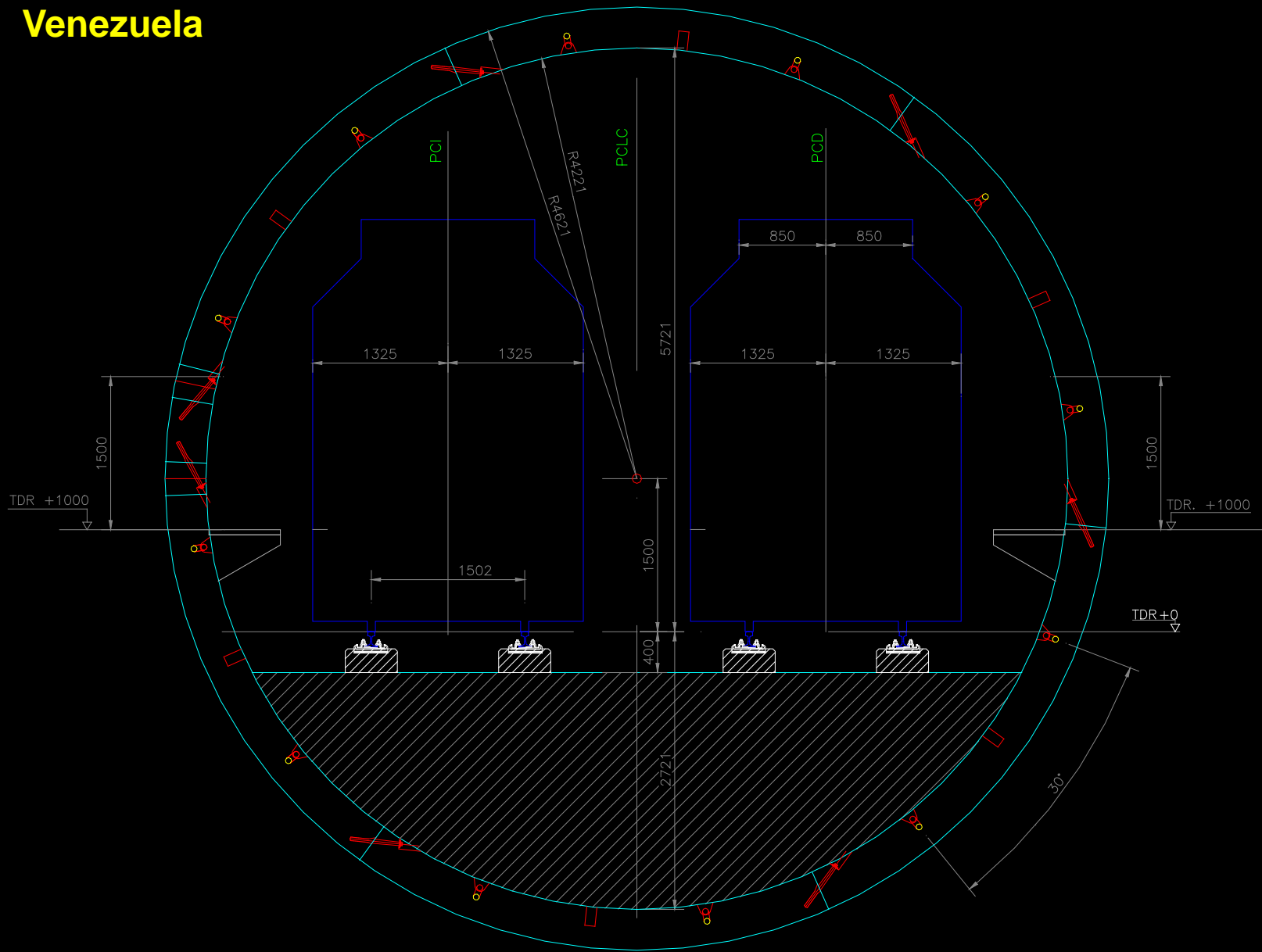
La característica geométrica fundamental de un anillo universal se basa en el hecho que las dos secciones terminales del mismo no son paralelas (conicidad del anillo); en consecuencia los segmentos que componen el anillo tienen longitudes diferentes entre ellos, variables a lo largo del perímetro. La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



El Anillo Universal



Metro Valencia Venezuela





Metro de Valencia-Venezuela Linea 1























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

sucesos Tipo 70ES

sogene, C.A.



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





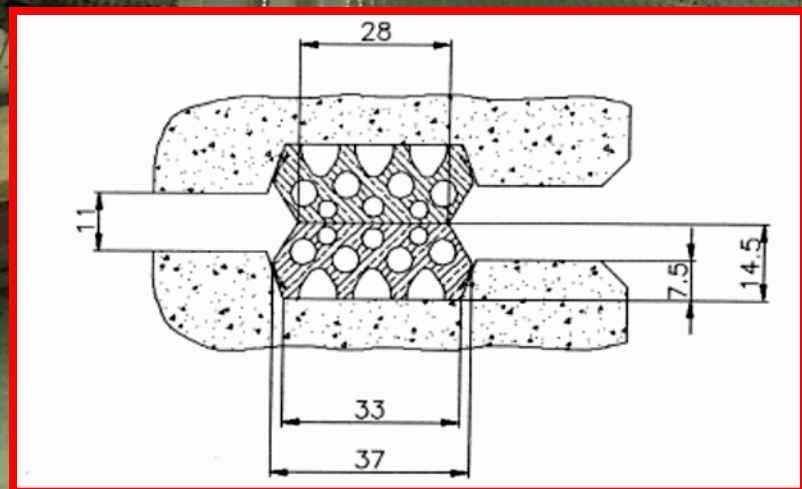
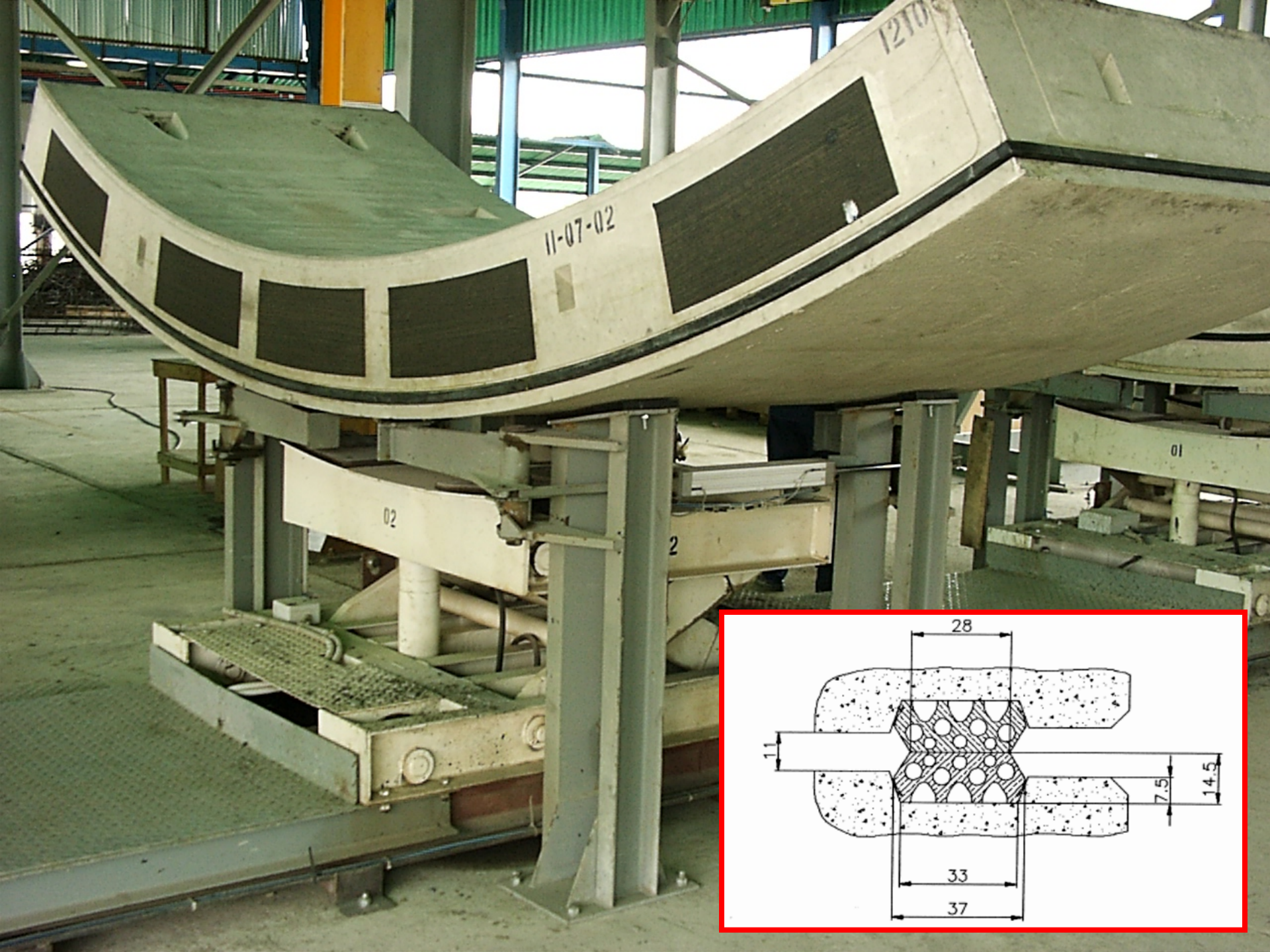




11-07-02

01

01 3-M30







• 12772 1586

• 12771 1586

• 12770 1586

08/10/2004

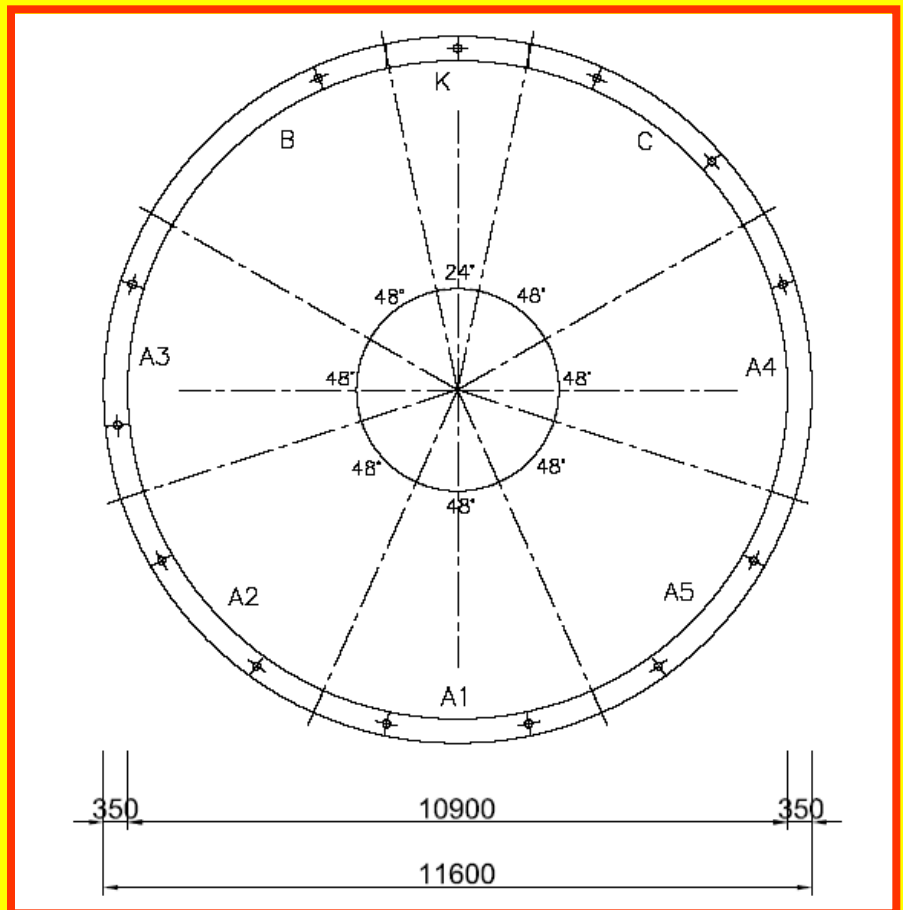
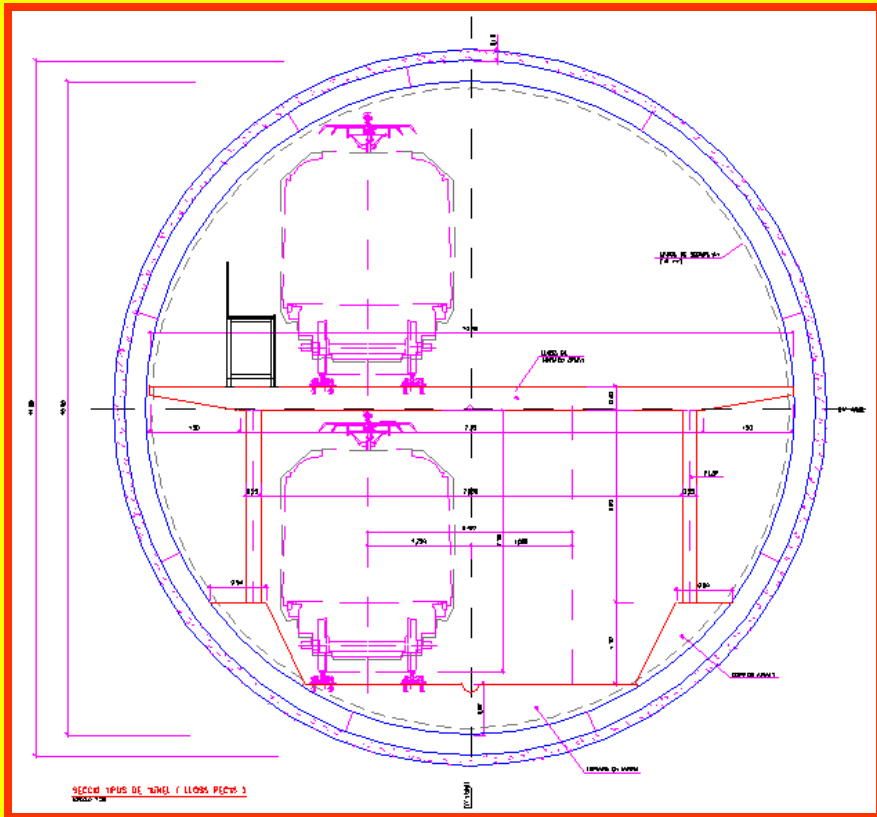
4 1692

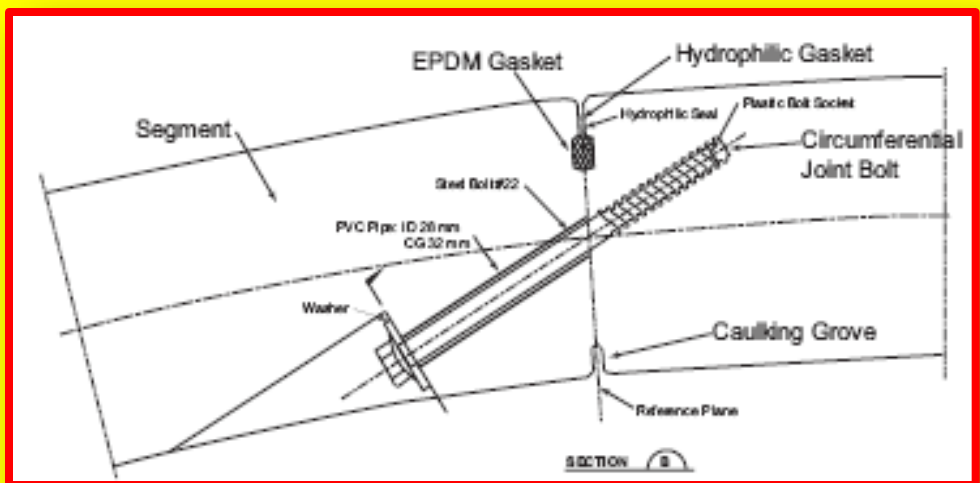
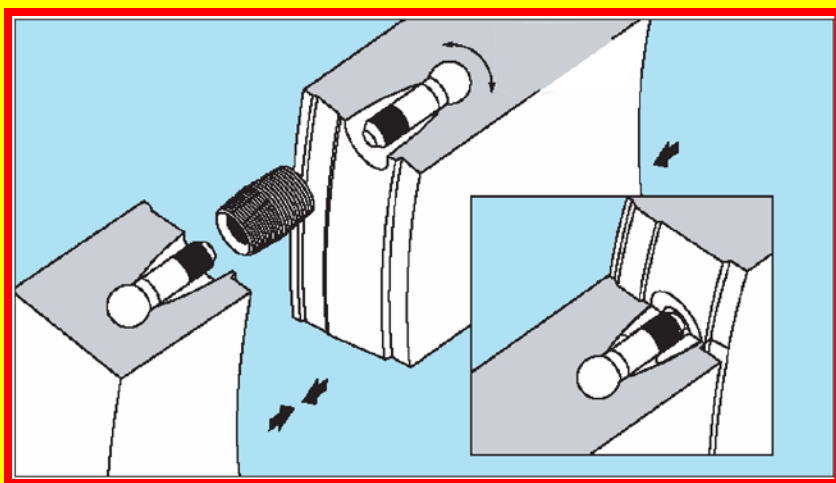
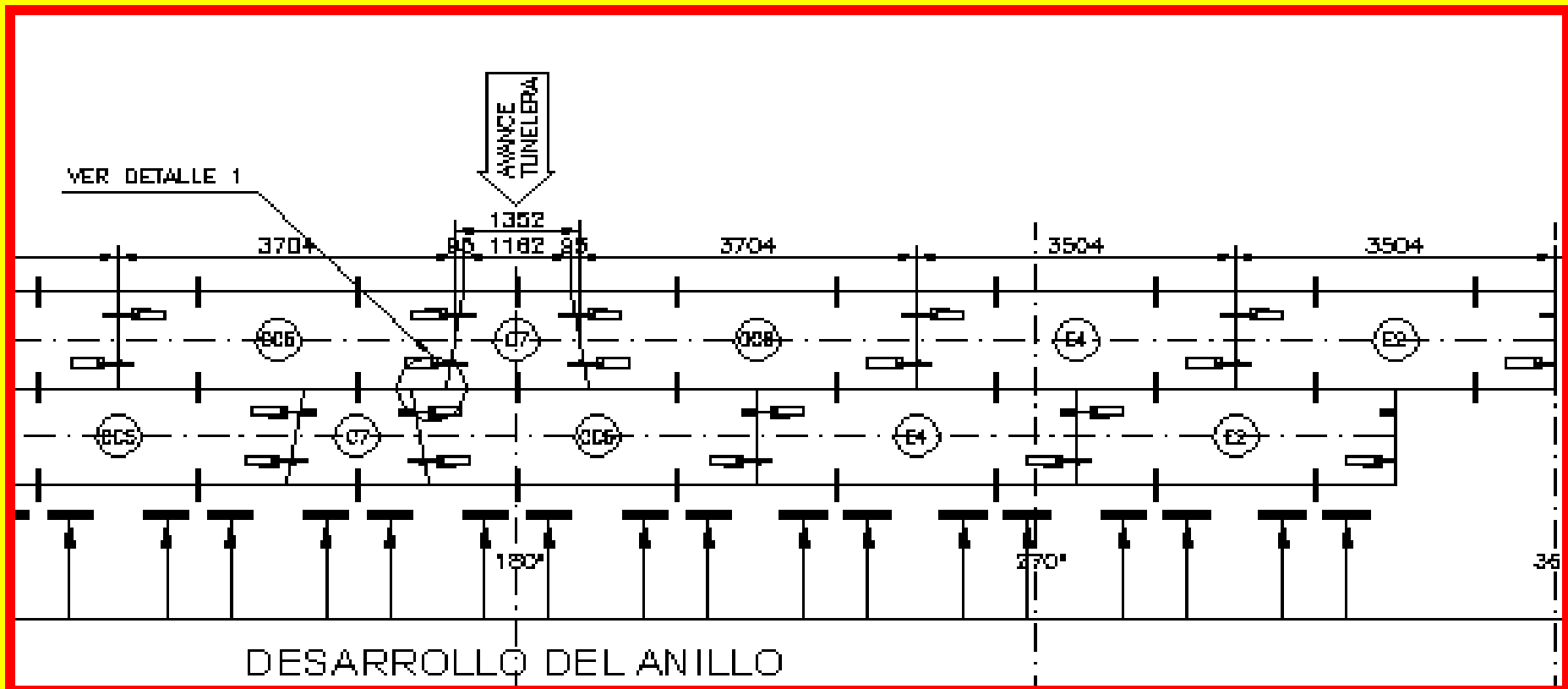
• 15175

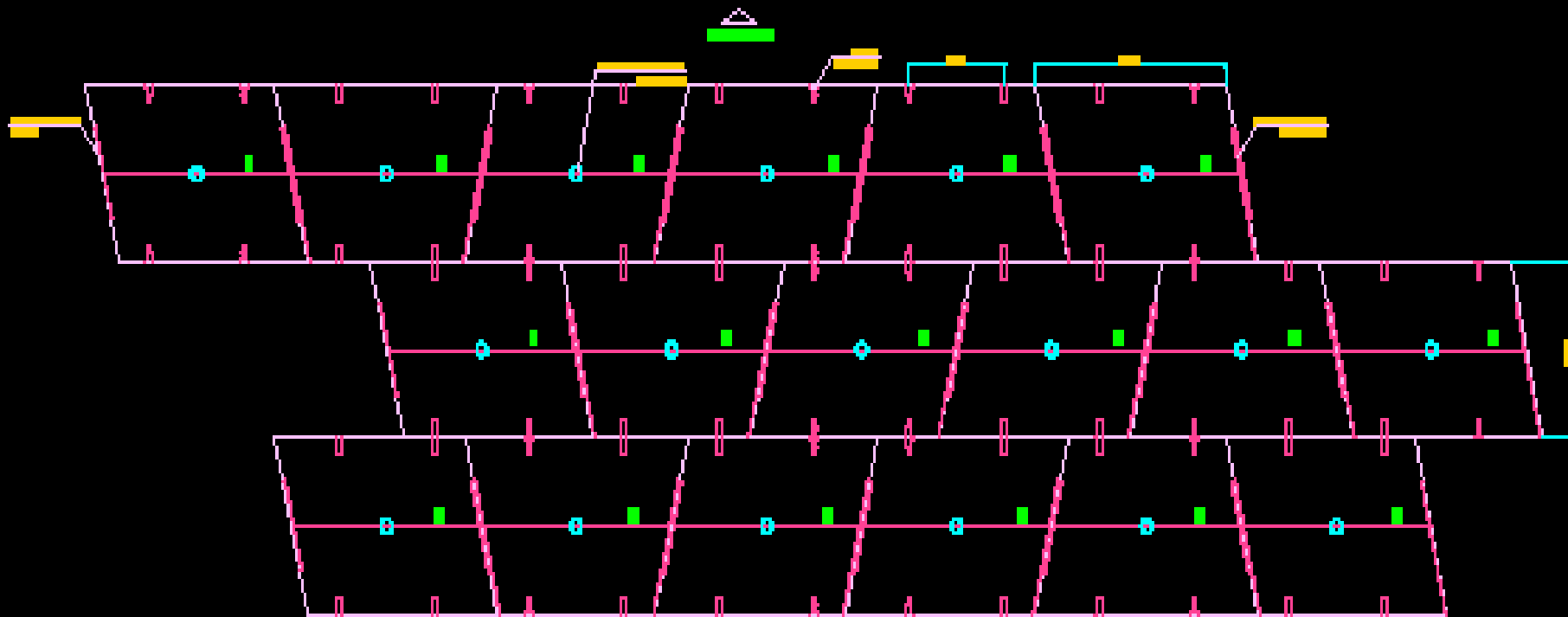




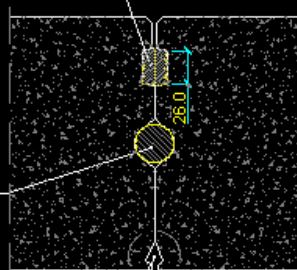
Metro de Bracelona - ESPAÑA







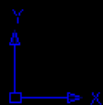
SELLO EPDM TIPO FIP T143



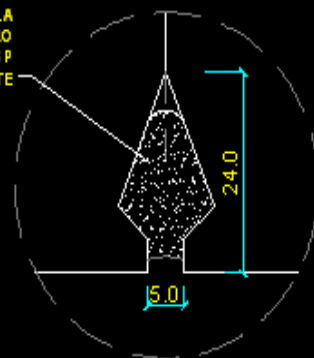
BARRA DE GUIADO
Ø30 x 600 mm

JUNTA ENTRE DOVELAS
VER DETALLE 1

DETALLE DE LA JUNTA
DOVELA-DOVELA
ESCALA 1/5



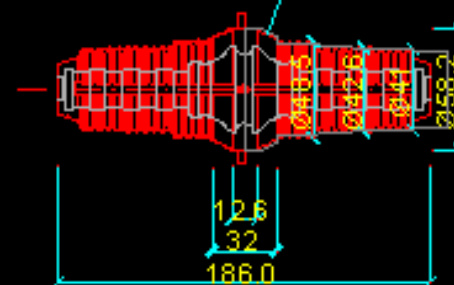
SELLADO CON MASILLA
DE POLISULFURO
TIPO MASTERFLEX 100 G P
O EQUIVALENTE



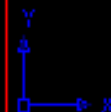
DETALLE 1
SELLADO DE LA JUNTA
ESCALA 1/1



SOFT-FIX TIP 60



CONECTOR TIPO
FIP BIBLOCK 60/200
ESCALA 1:5





***Metro de
Barcelona
España***

Ogni gruppo di 8 pezzi forma un anello del tunnel

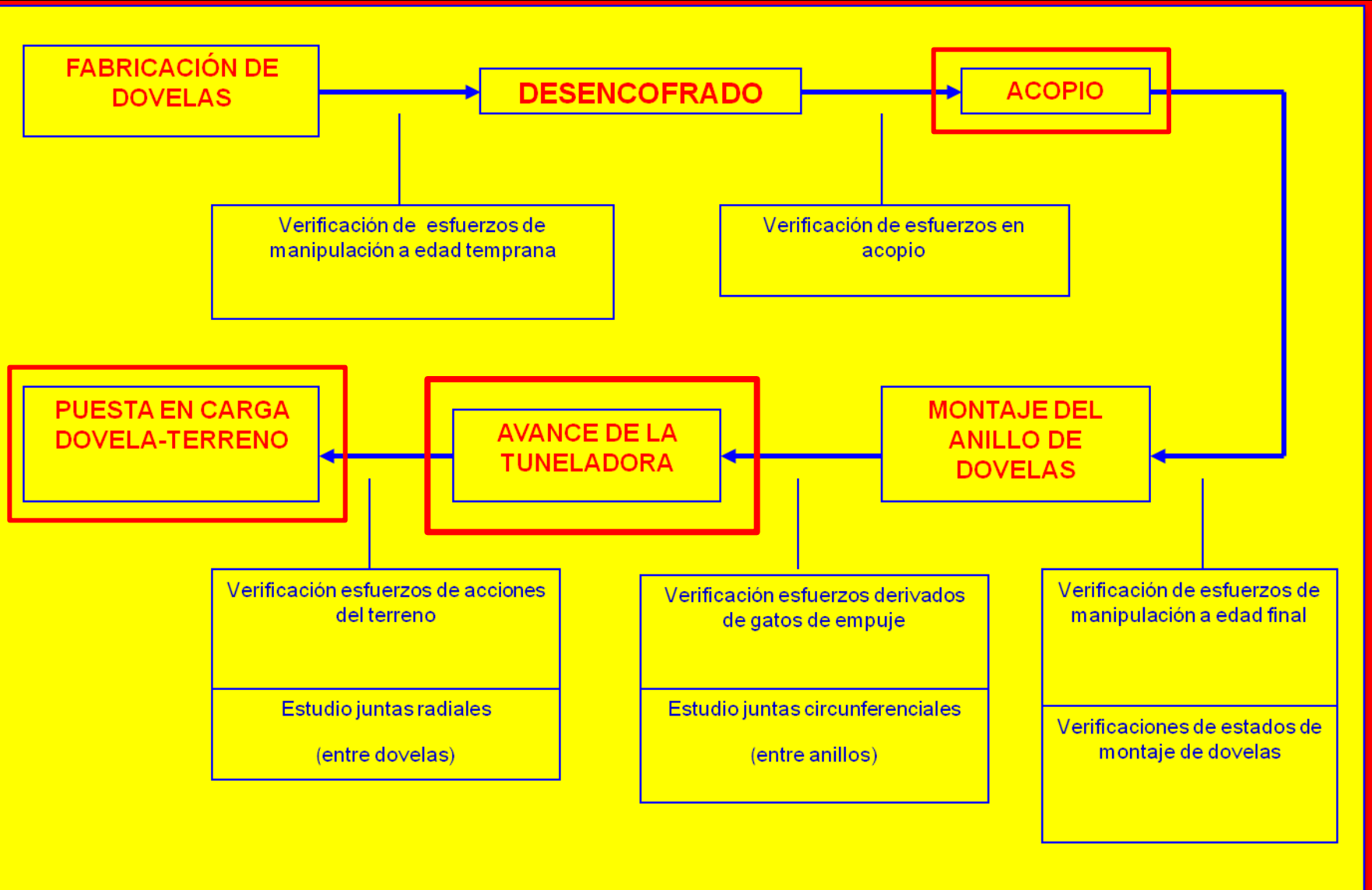
Hydraulics jacks



METRO BARCELONA – Línea 9



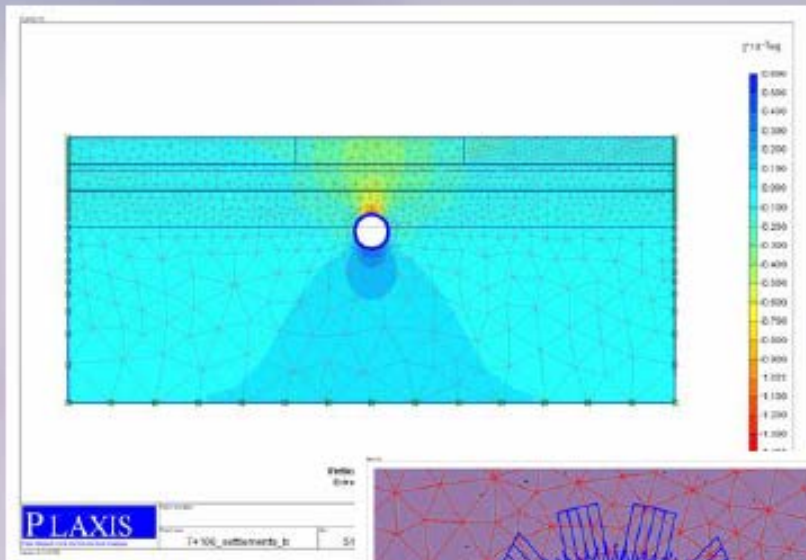
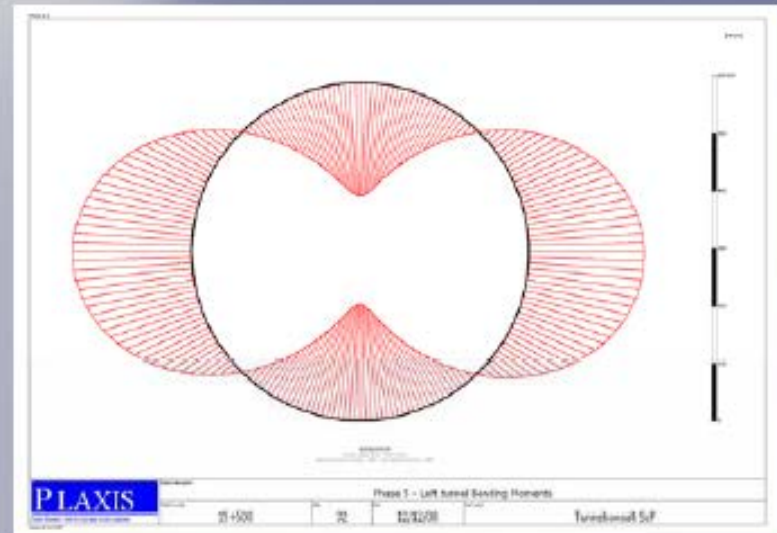
Solicitaciones en las dovelas de los anillos



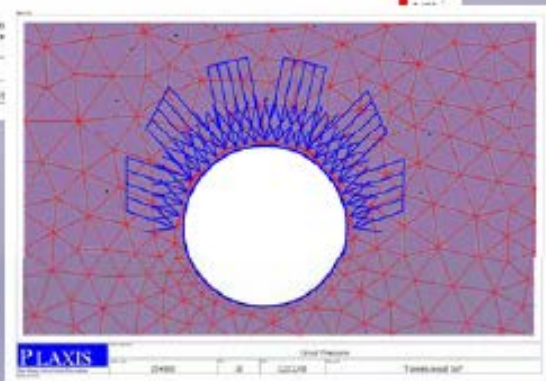
■ Ground loads using FEM

- Ground deformations
- Segmental forces
- Joint strength

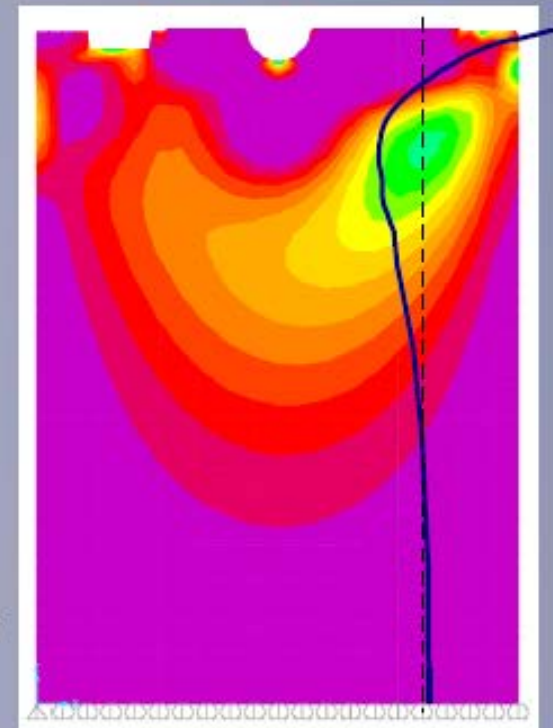
Bending in the lining



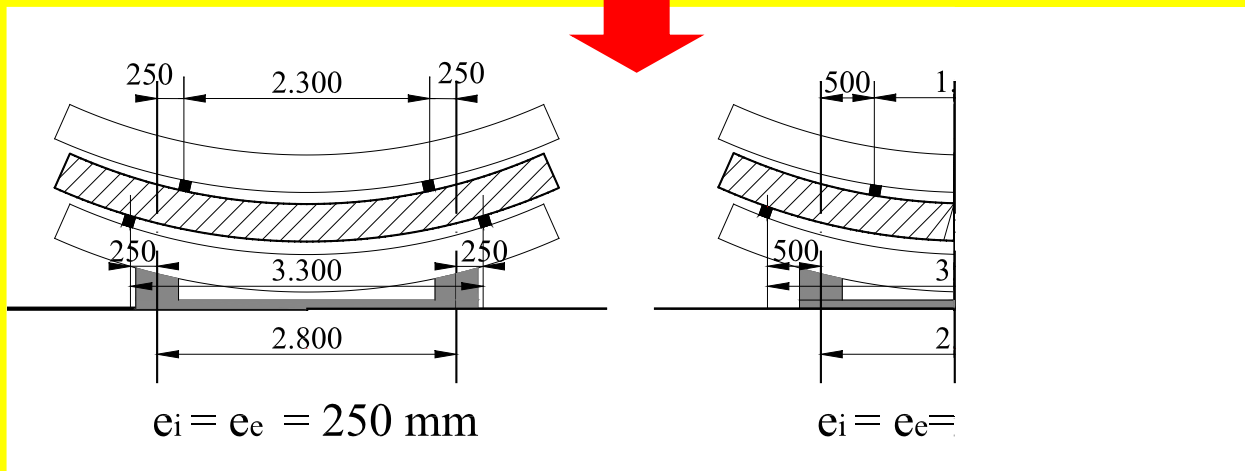
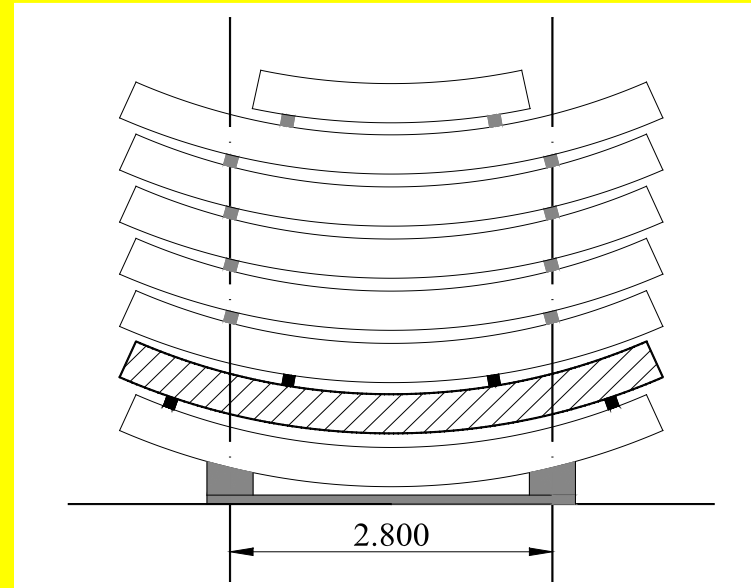
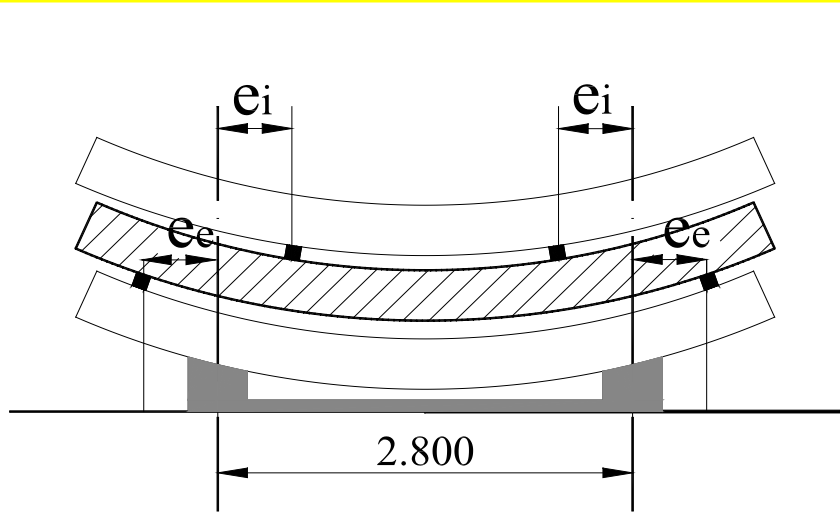
Ground Finite Element Model



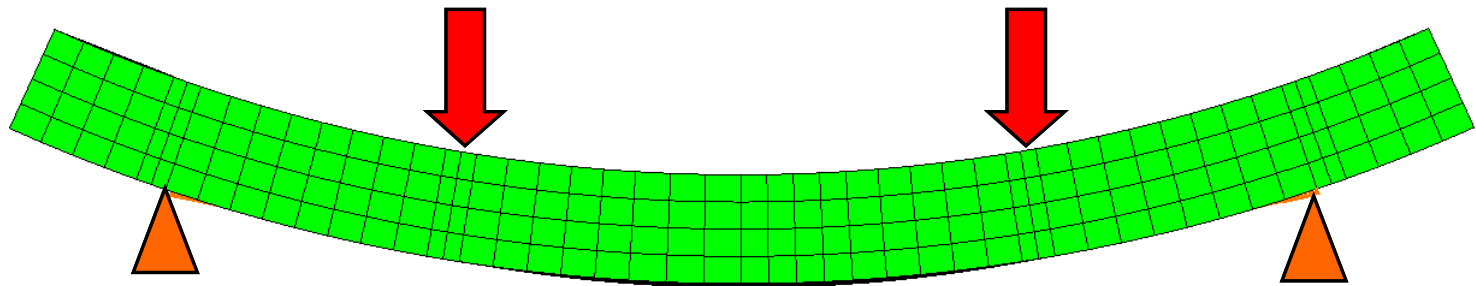
Joint analysis using FEM



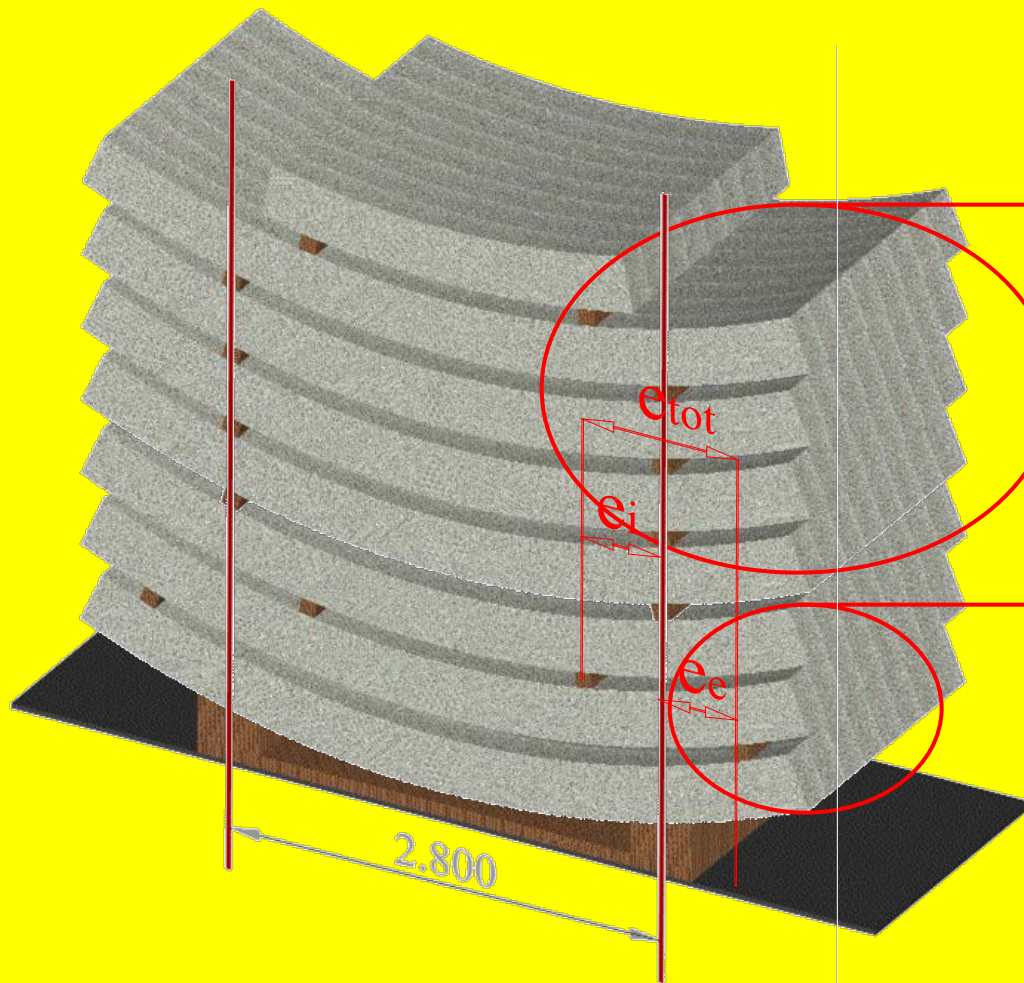
Acopio o Almacenamiento



Condiciones de Almacenamiento



Fases de Acopio, o Almacenamiento

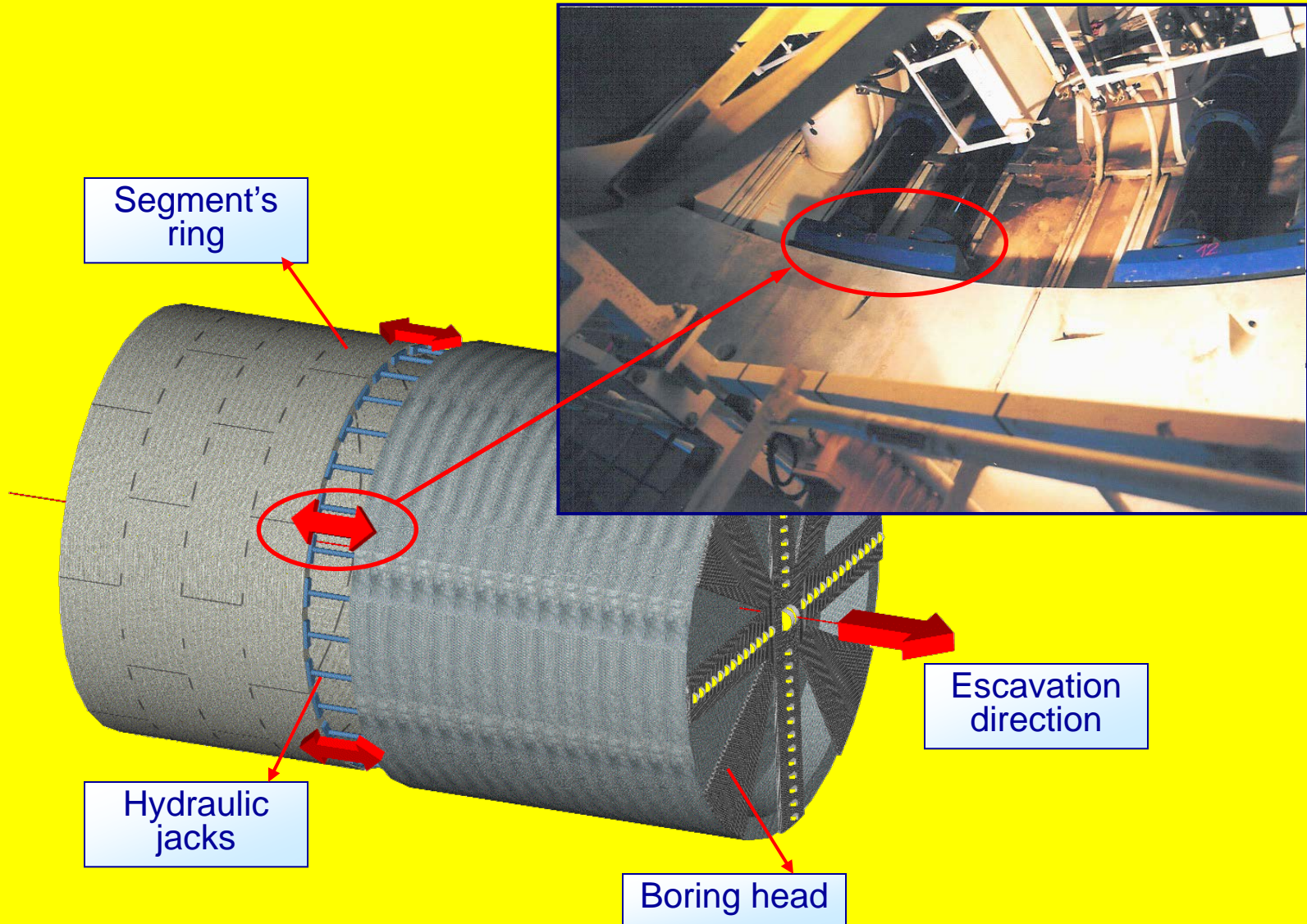


Después 7 días los demás 4+1 segmentos, para formar un anillo
Exentricidad e_i y e_e

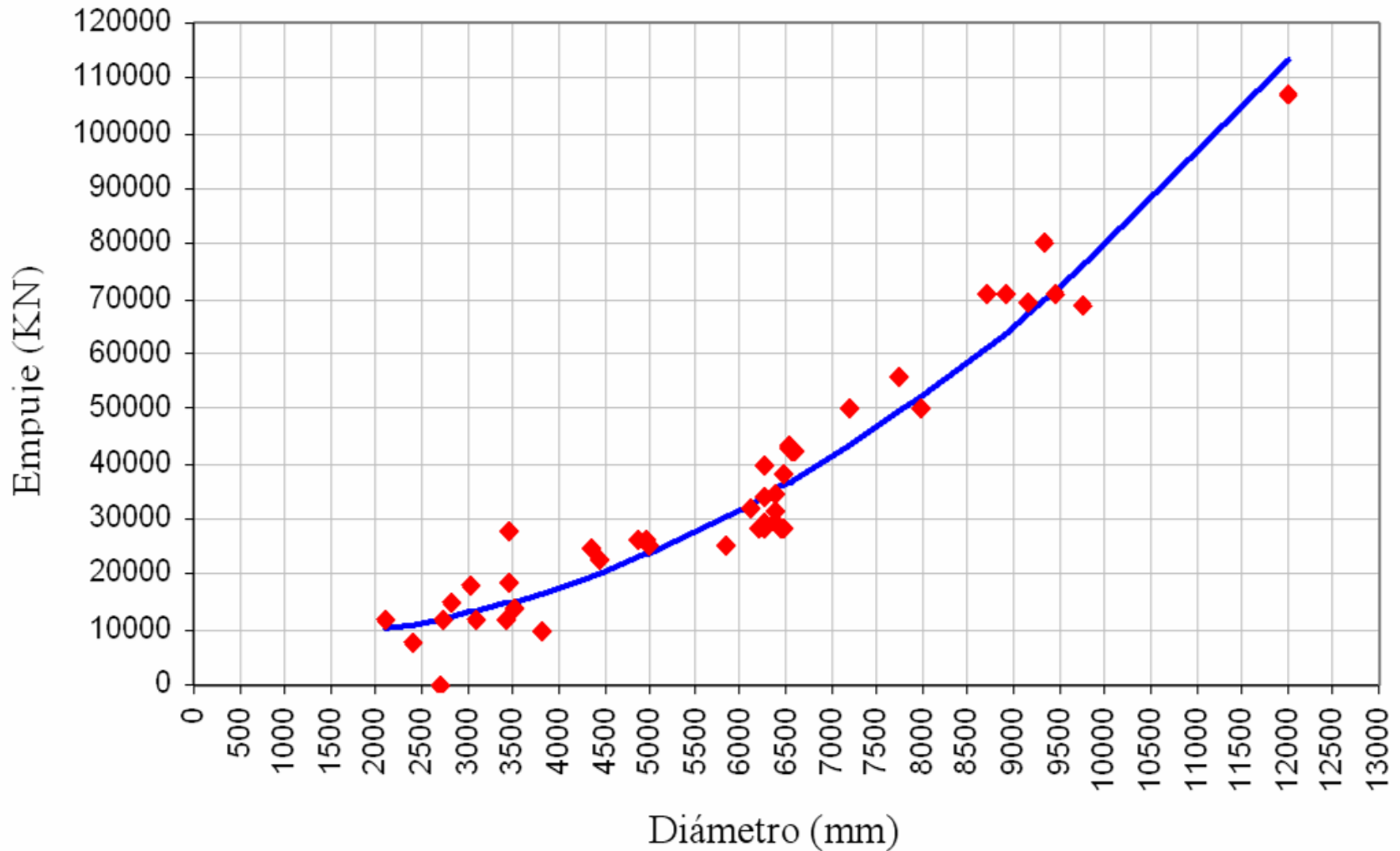
Elevados esfuerzos flexionales
Después 1 día son acumulados 3 segmentos

Fisuras

Cargas sobre las dovelas durante el avance

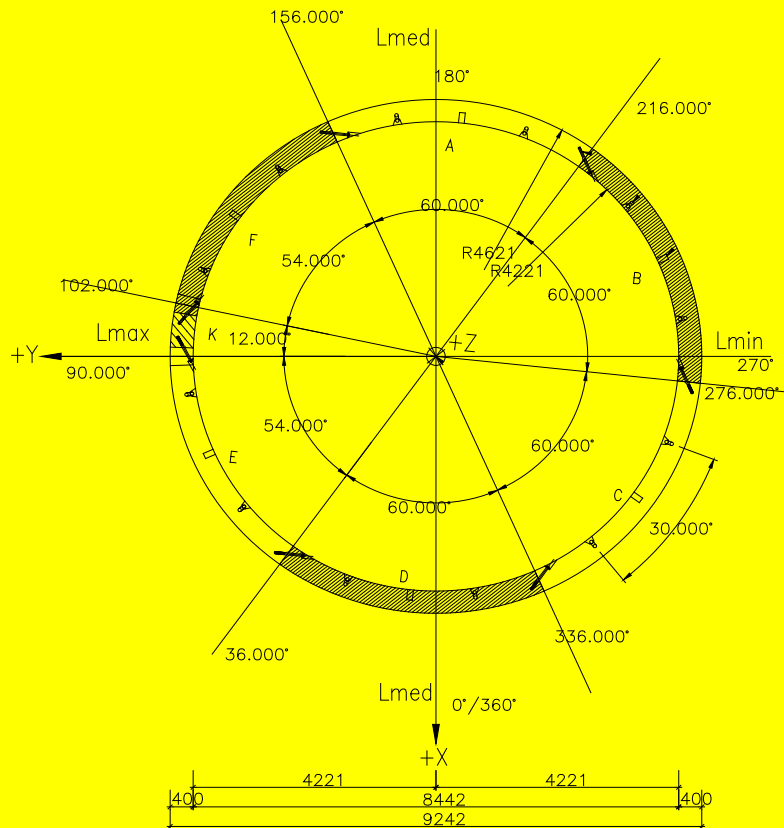


Empuje de los cilindros – Diámetro escudo EPB



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

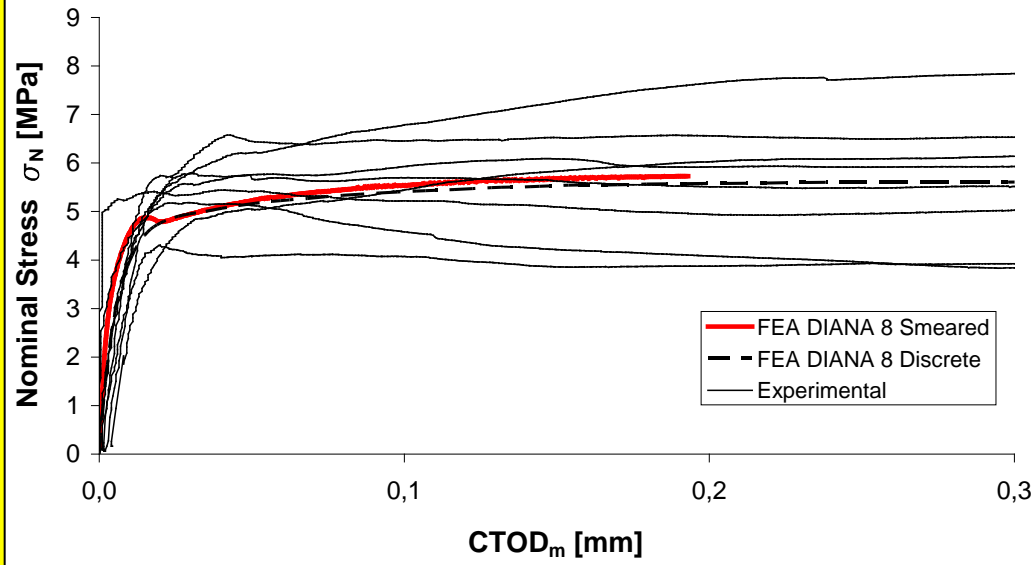
• 30 kg/m³

Dosificación

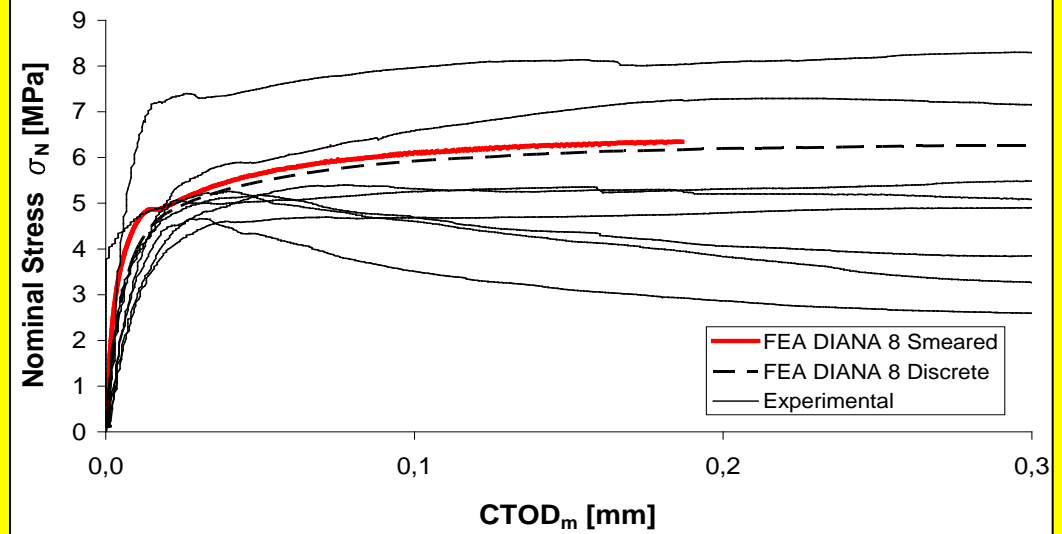
• 40 kg/m³

| | |
|---------------------------------|----------|
| 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 - Vr = 0,38%

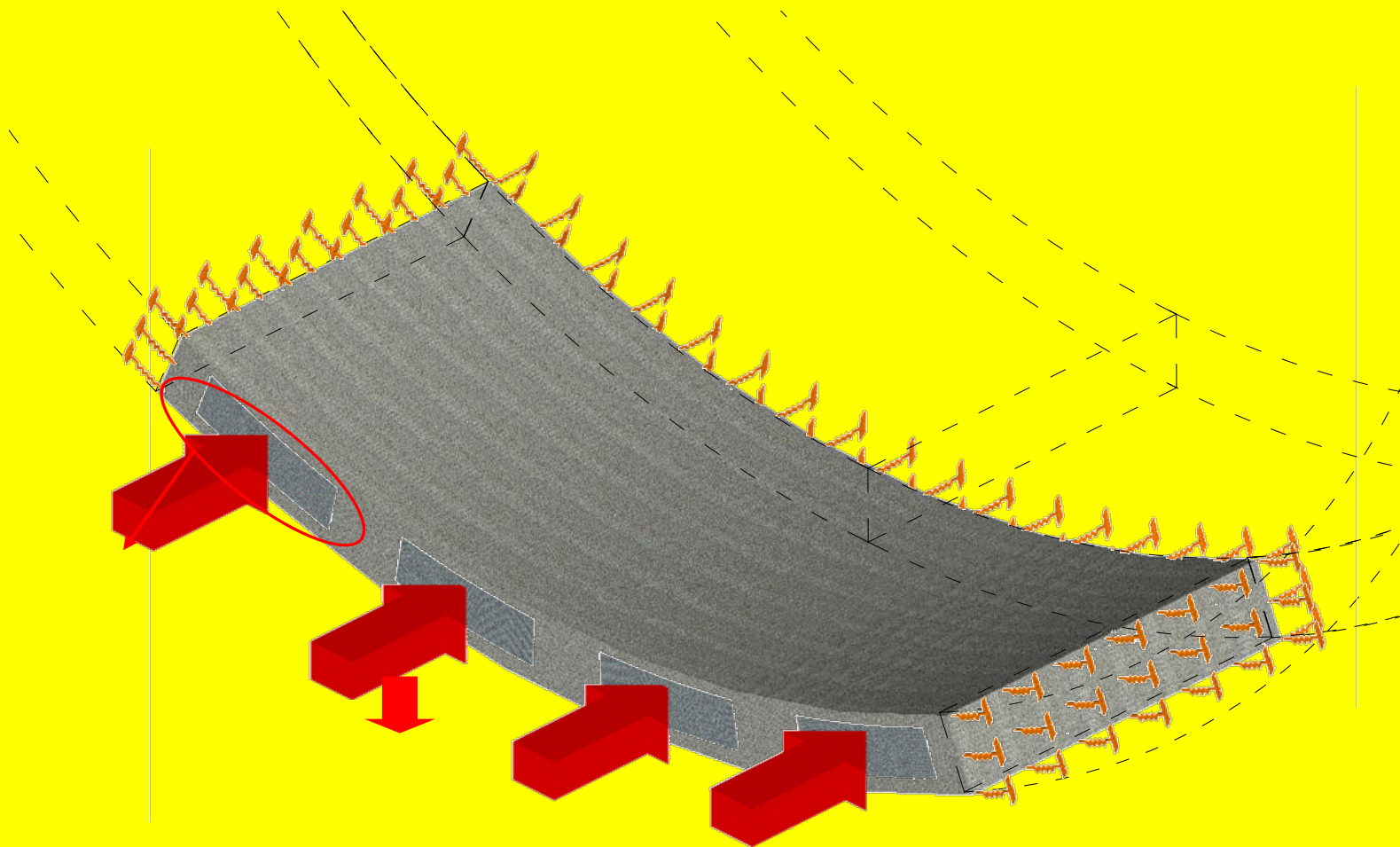


Wirand FF3-40 - C40/50 - Vr = 0,51%



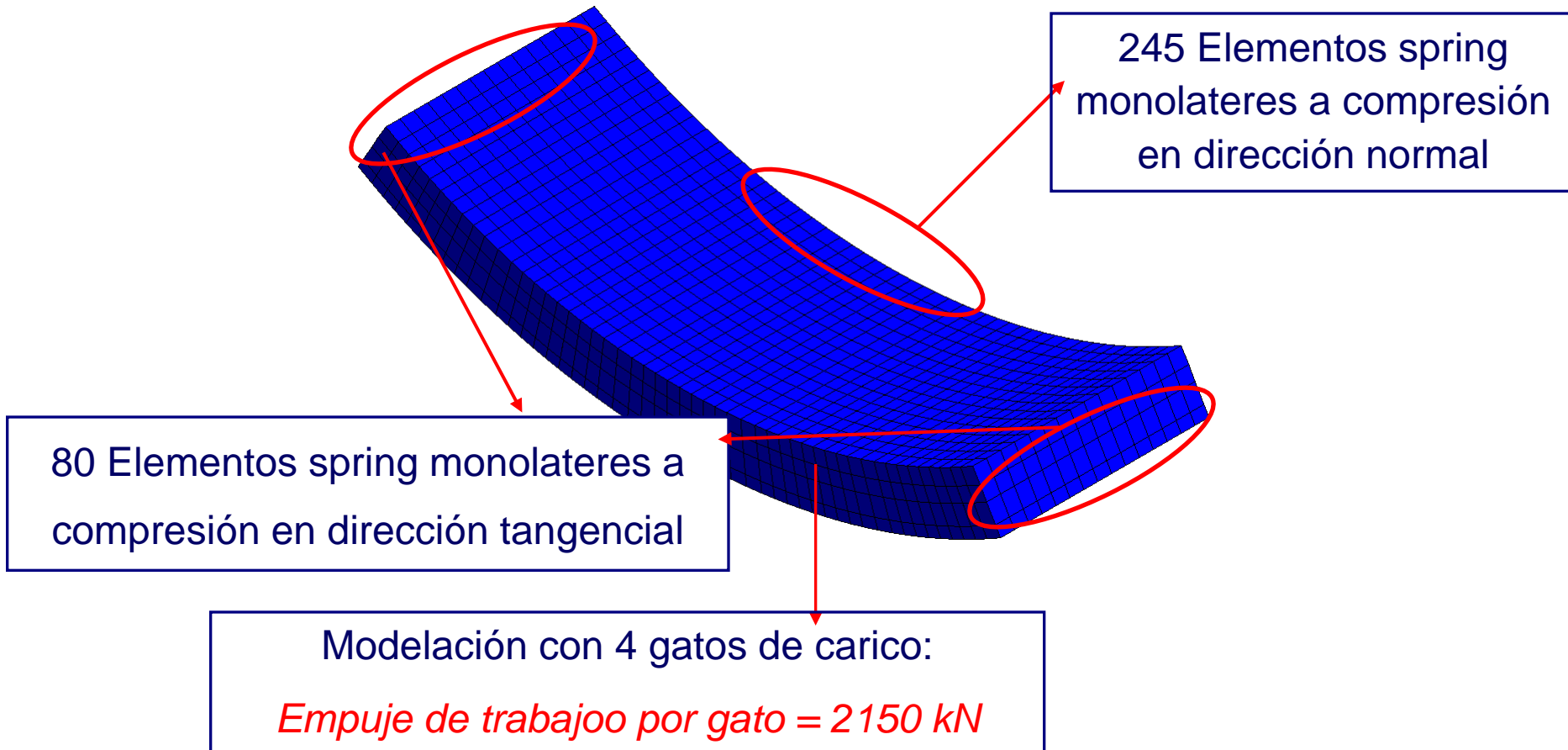
Fase de empuje de la TBM

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

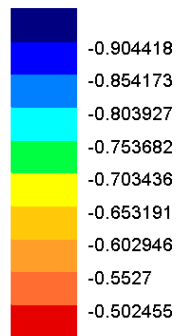
Loadcase: 19

Title: Increment 19 Load Factor = 1.00000

Results File: 0

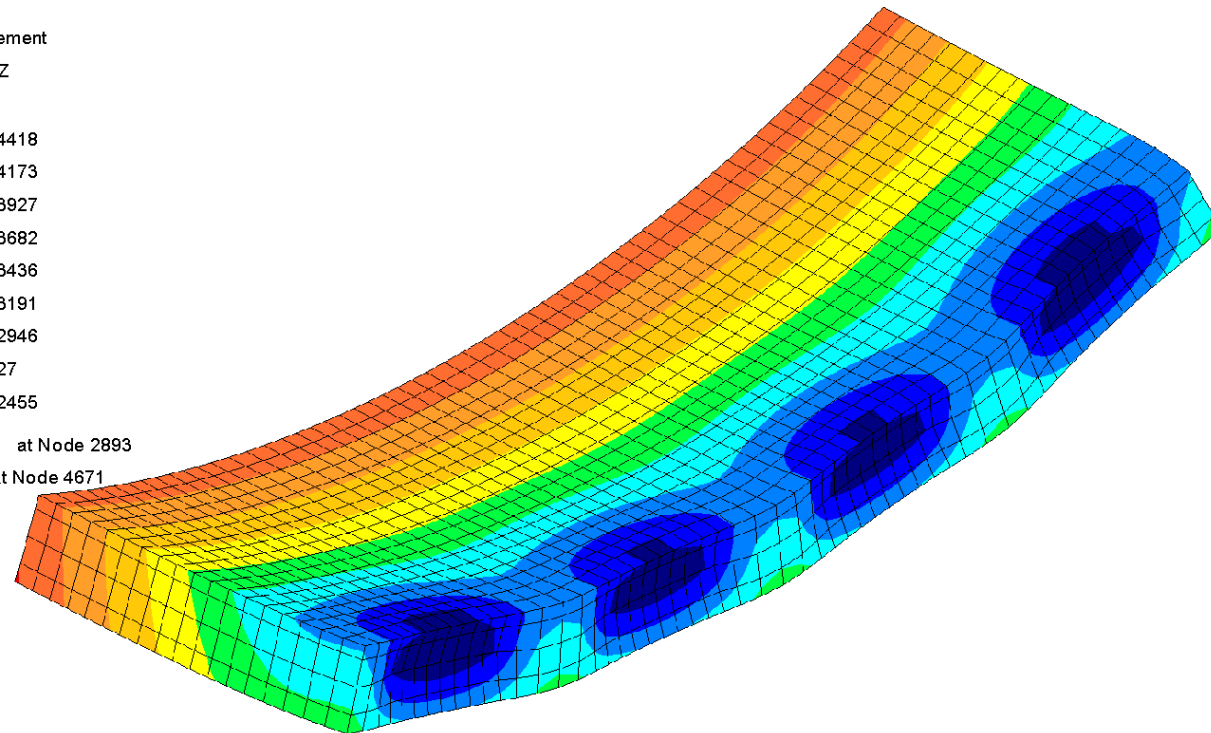
Entity: Displacement

Component: DZ



Max -0.486491 at Node 2893

Min -0.9387 at Node 4671



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

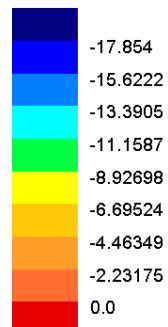
Title: Increment 19 Load Factor = 1.00000

Results File: 0

Entity: Stress

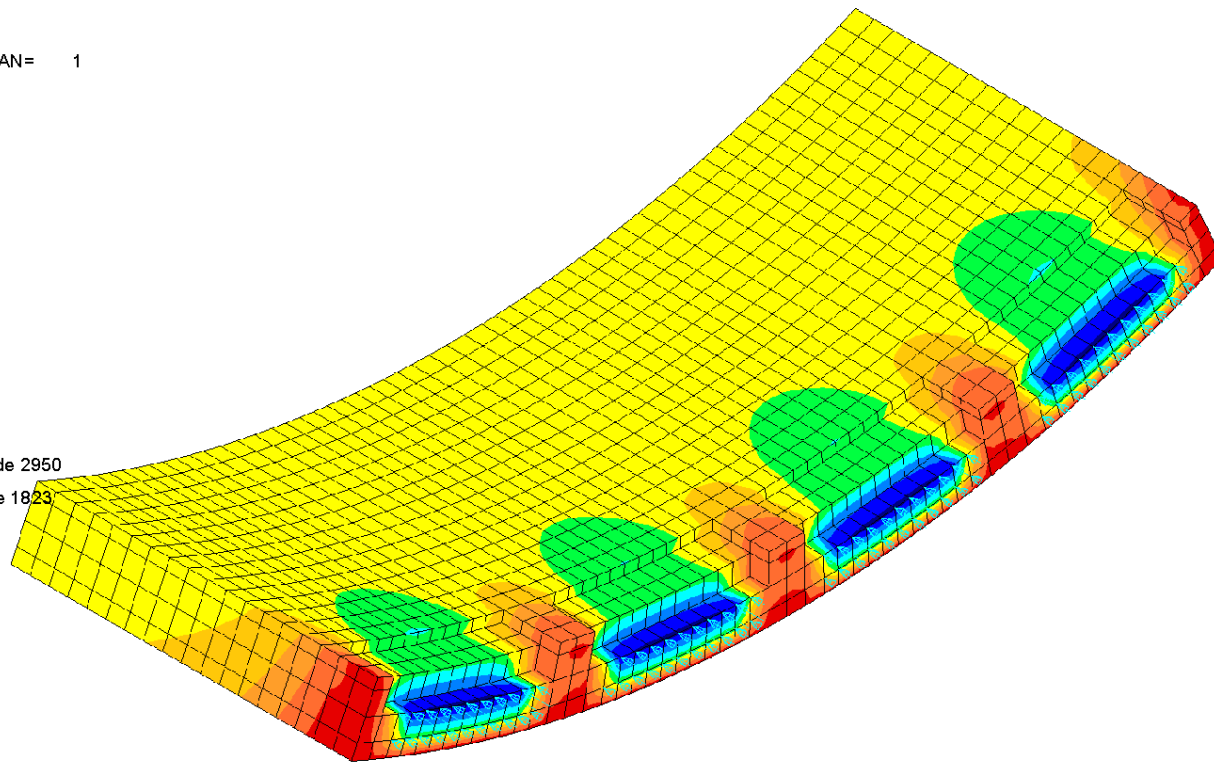
RESULTS CARTESIAN= 1

Component: Sz



Max 1.60982 at Node 2950

Min -18.4759 at Node 1823

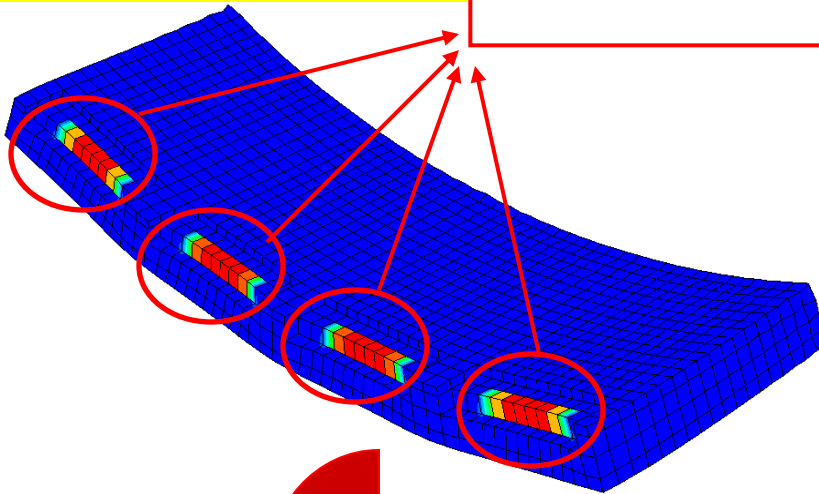
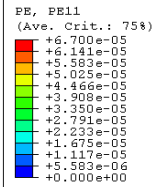


Title: Maccaferri Tunnel Segment Model

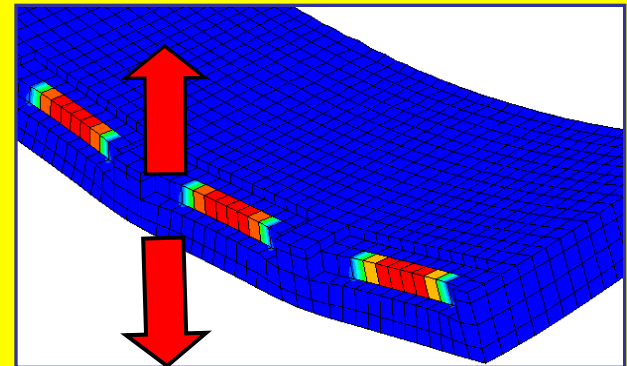
Units: N,mm,t,s,C

Resultados del análisis numérico

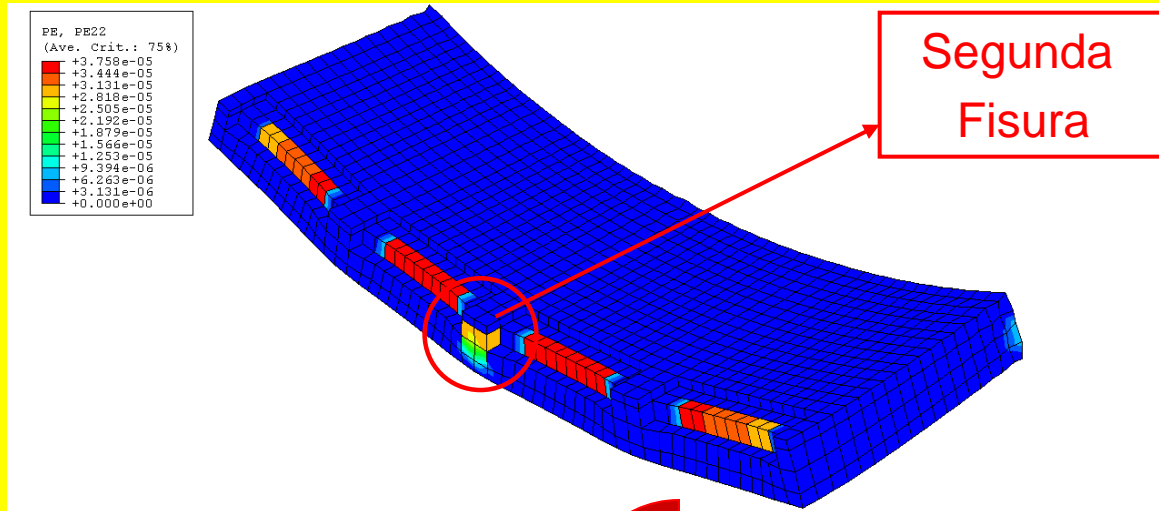
Primeras Fisuras



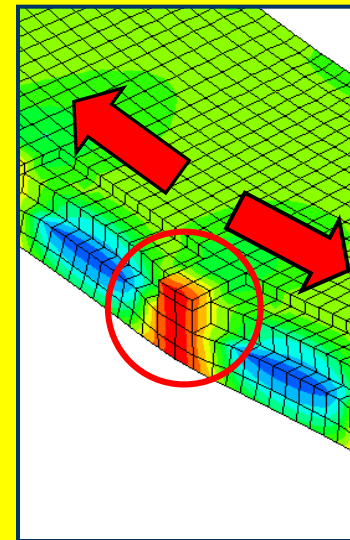
Esfuerzos radiales de tracción



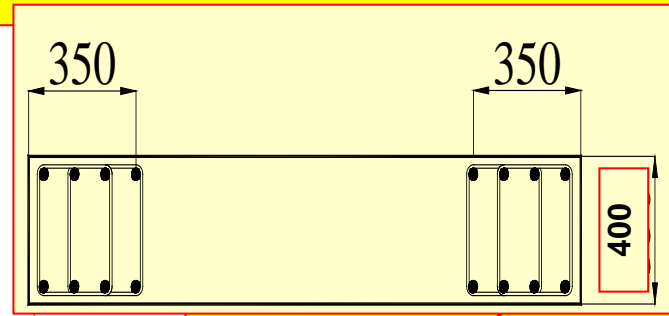
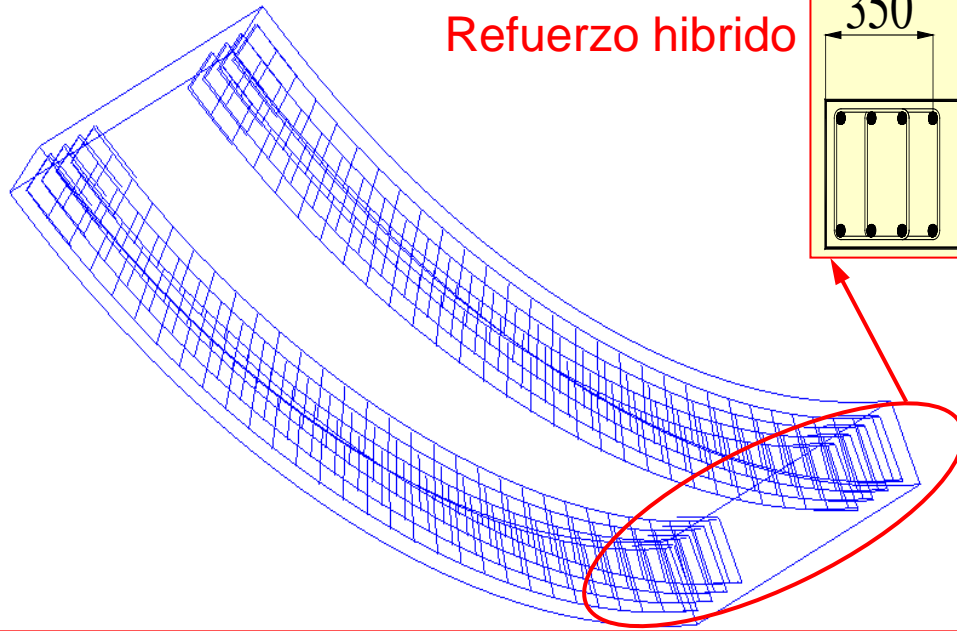
Resultados del análisis numérico



Esfuerzos tangenciales de tracción



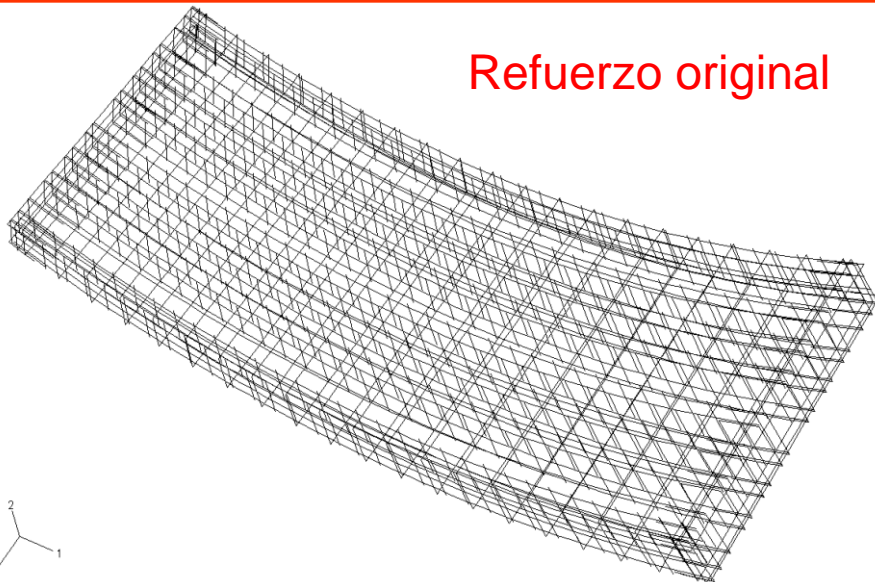
Refuerzo hibrido



Columna 8 Φ 12

+ 35 Kg/m³ Fibras

Refuerzo original

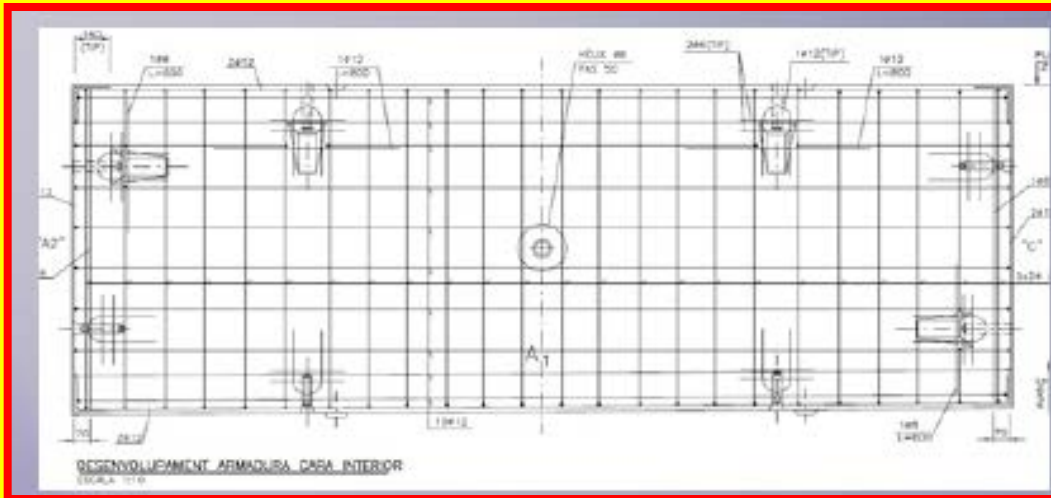


Metro de Valencia
Venezuela

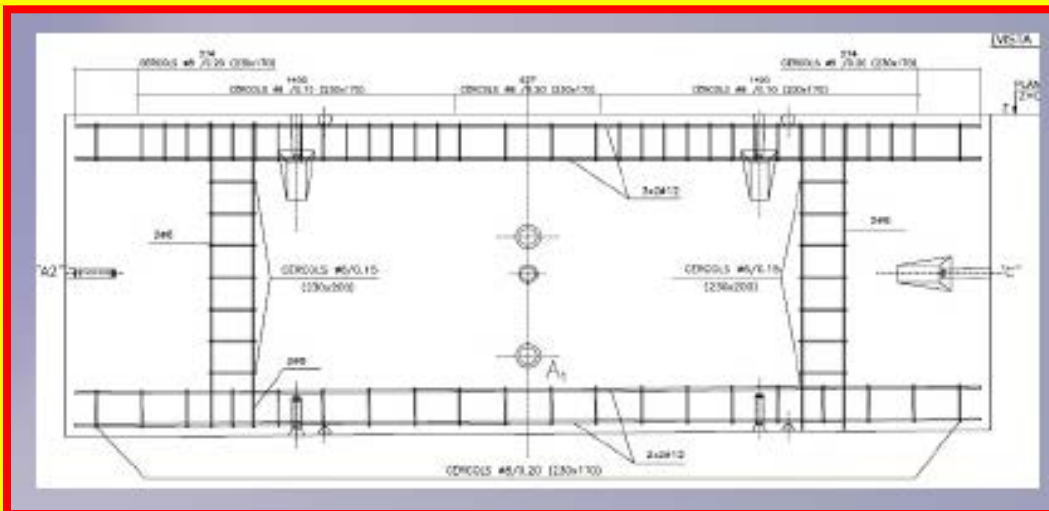
ARMADURAS DE LAS DOVELAS

Metro de Barcelona España

ARMADURAS DE LAS DOVELAS

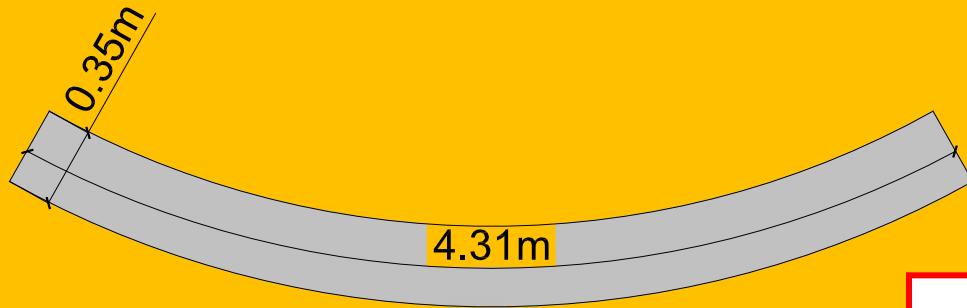


Refuerzo original:
90 Kg/m³ barras
+ 25 Kg/m³ fibras



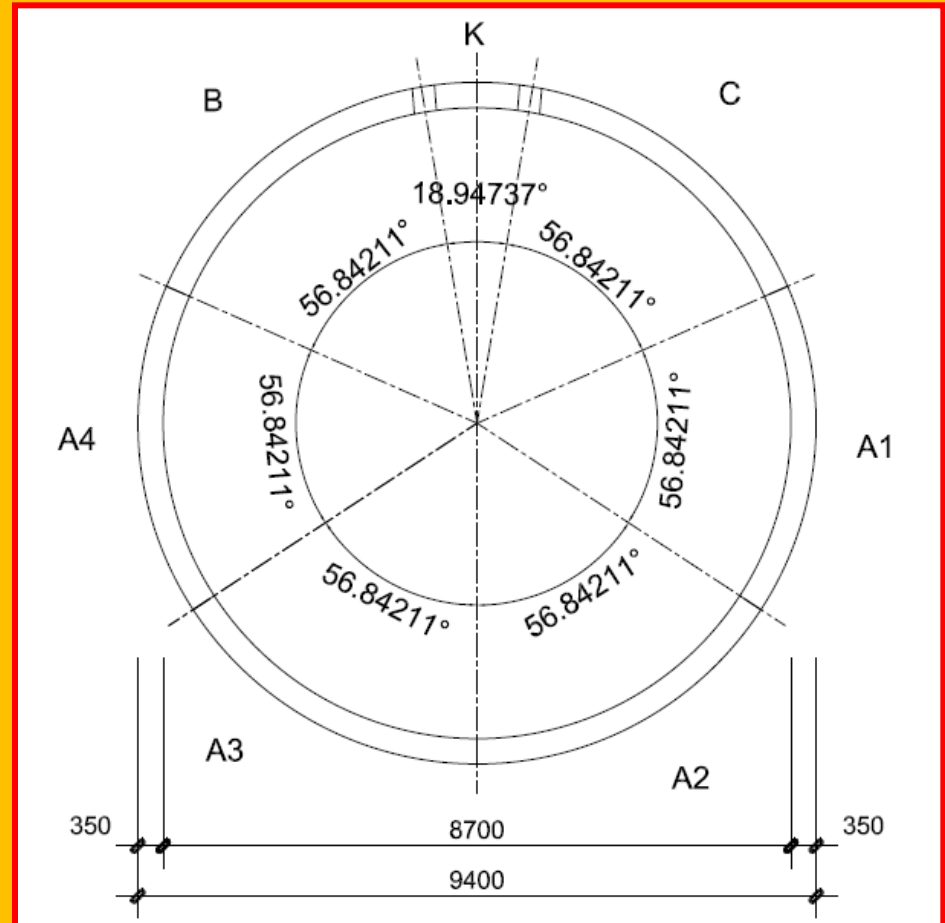
Refuerzo hibrido aplicado:
40 Kg/m³ barras
+ 60 Kg/m³ fibras

METRO PANAMÁ: Optimización Refuerzo Anillos

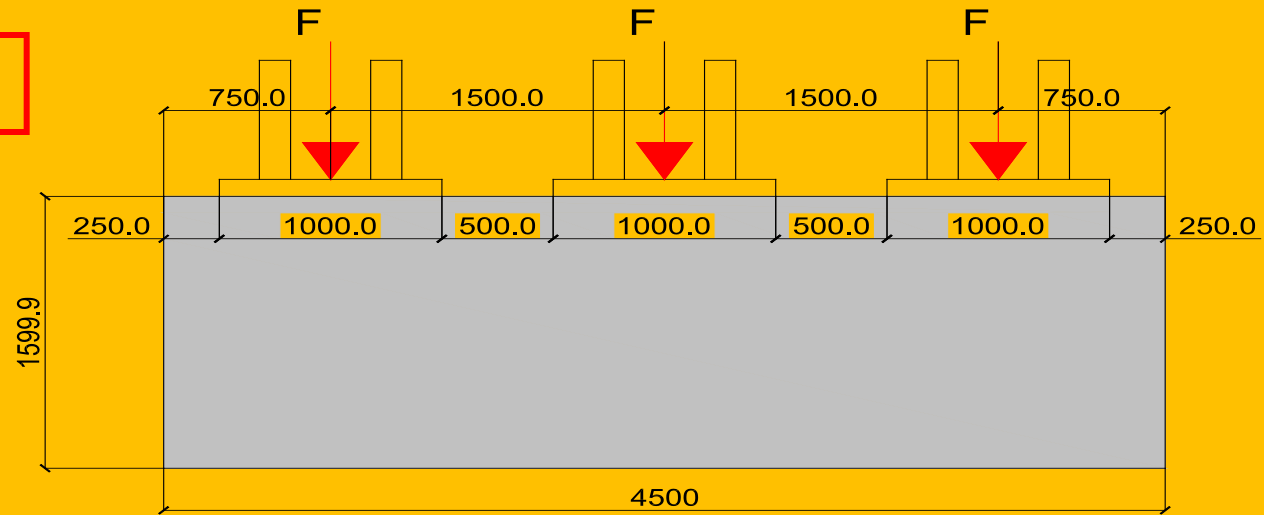


Diseño inicial

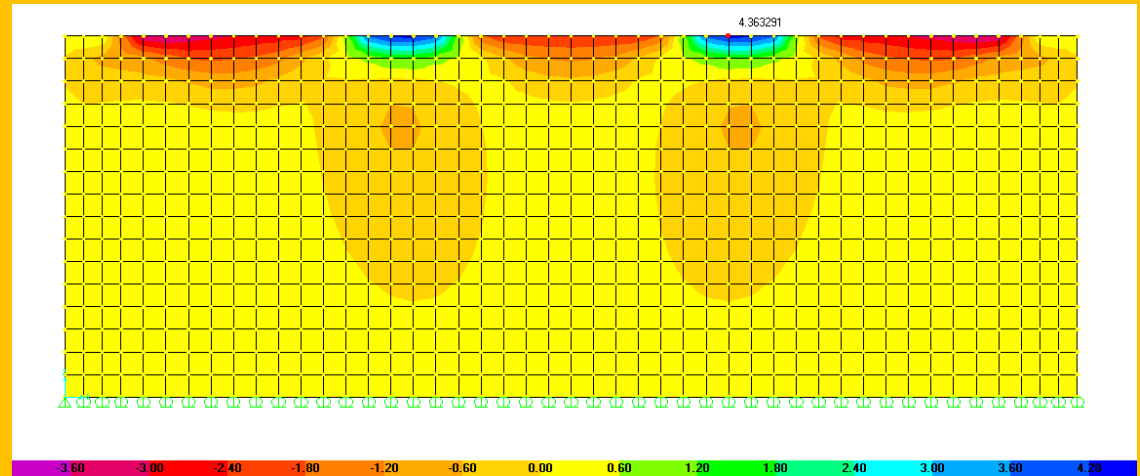
Barras: 32 D #4



METRO PANAMÁ



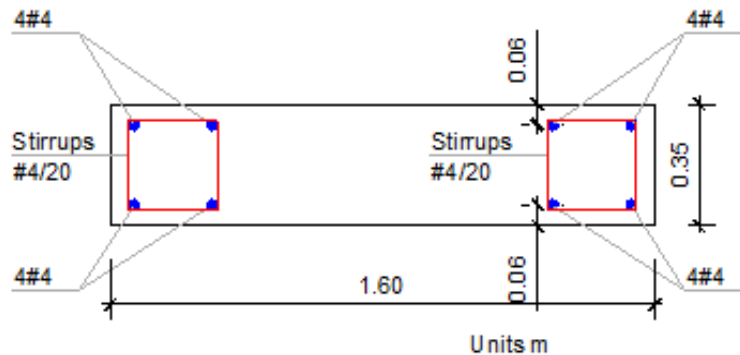
Análisis preliminar para una alternativa de refuerzo con 100% Fibras metálicas



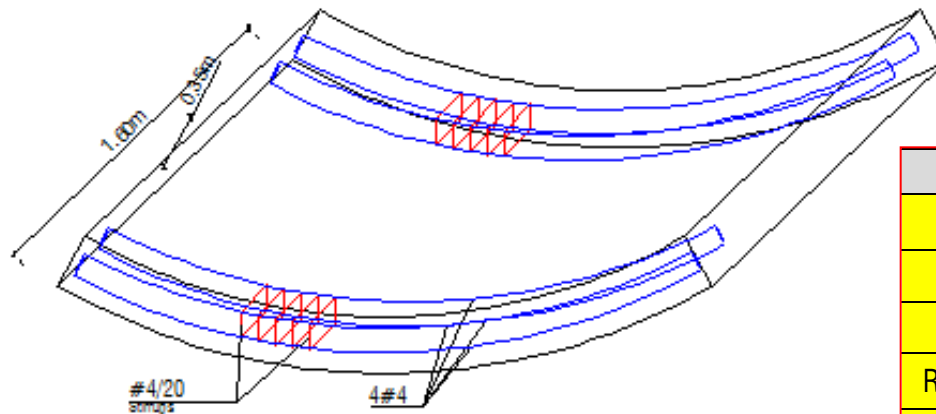
| Propiedad | Valor | Descripción |
|-----------|-----------------------|---|
| f_{ck} | 40 MPa | Resistencia característica cilíndrica |
| $F_{R,1}$ | 4.5 N/mm ² | Resistencia a flexión residual para abertura de fisuras = 0.5mm |
| $F_{R,4}$ | 2.0 N/mm ² | Resistencia a flexión residual para abertura de fisuras = 3.5mm |

requisitos

METRO PANAMÁ: Optimización Refuerzo Anillos



Sección de calculo



Ejemplo de armado

REFUERZO HIBRIDO

**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% |

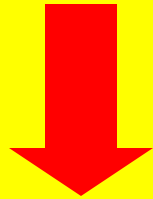
OTROS EJEMPLOS DE ANILLOS PREFABRICADOS FIBROREFORZADOS

- 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, Conducción 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/m^3 , puede resultare eficaz y capaz de garantizar una suficiente capacidad resistente cuando los esfuerzos flexionales son limitatos

(Esbeltez: $e/D > 0.05-0.06 \approx D/e < 20-15$)



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 compatible con esfuerzos localizados elevados



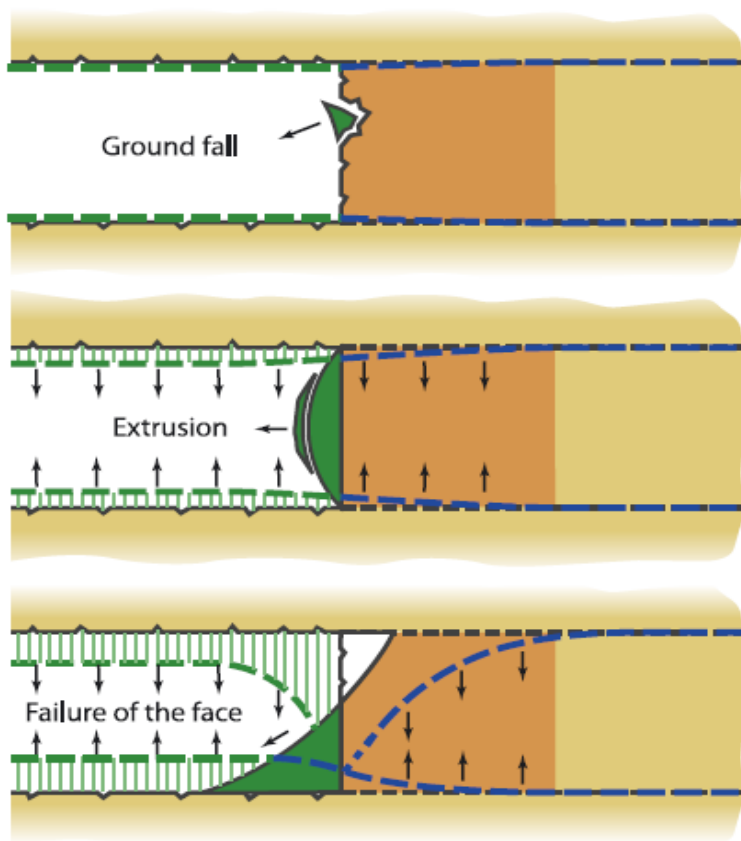
absorbe la concentración de esfuerzos flexionales elevados

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



Ground fall



Preconvergence and convergence



Collapse of the cavity



Ground intruded across the theoretical profile of the tunnel



Preconvergence of the cavity



Convergence of the cavity

A

Stable face

B

Face stable in the short term

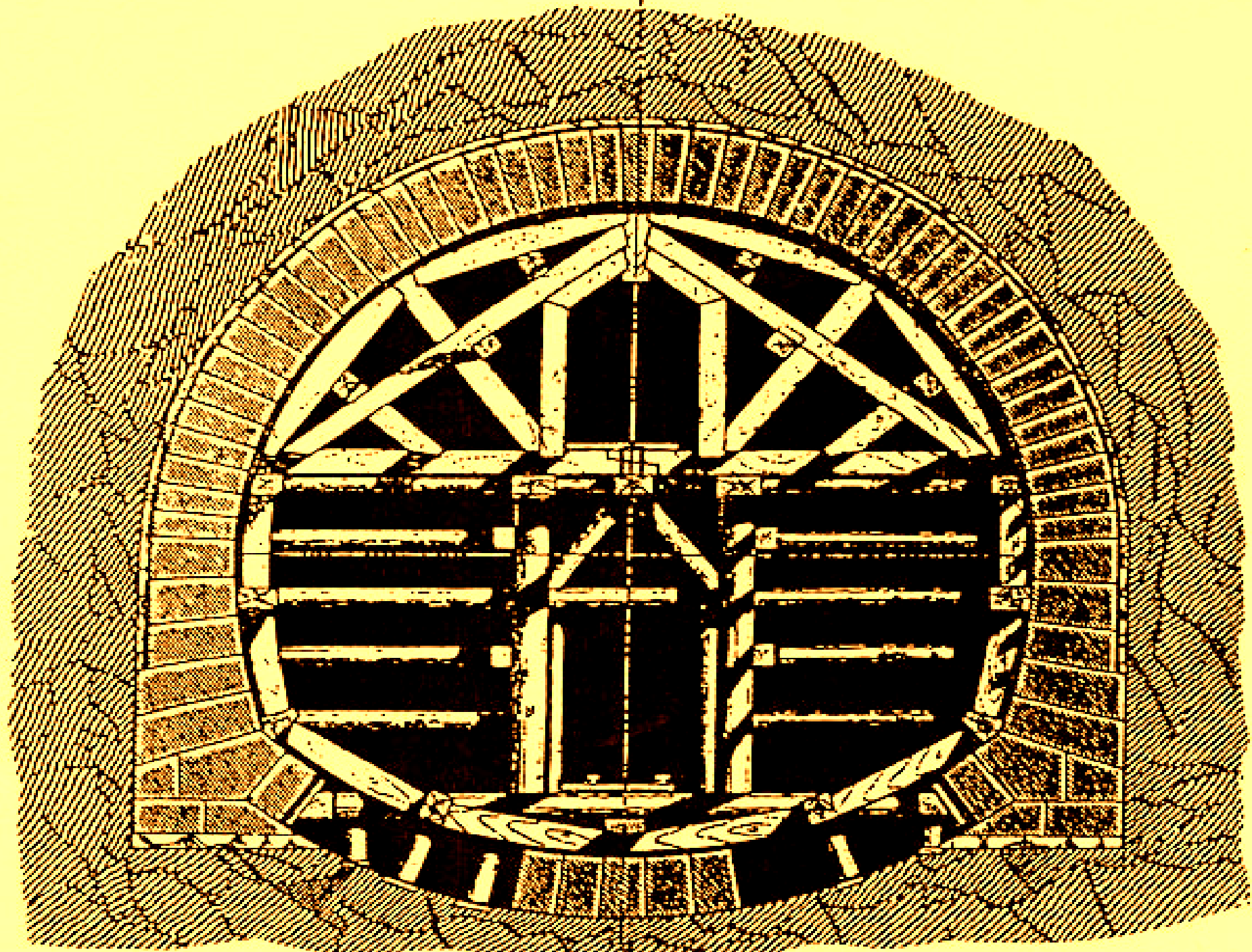
C

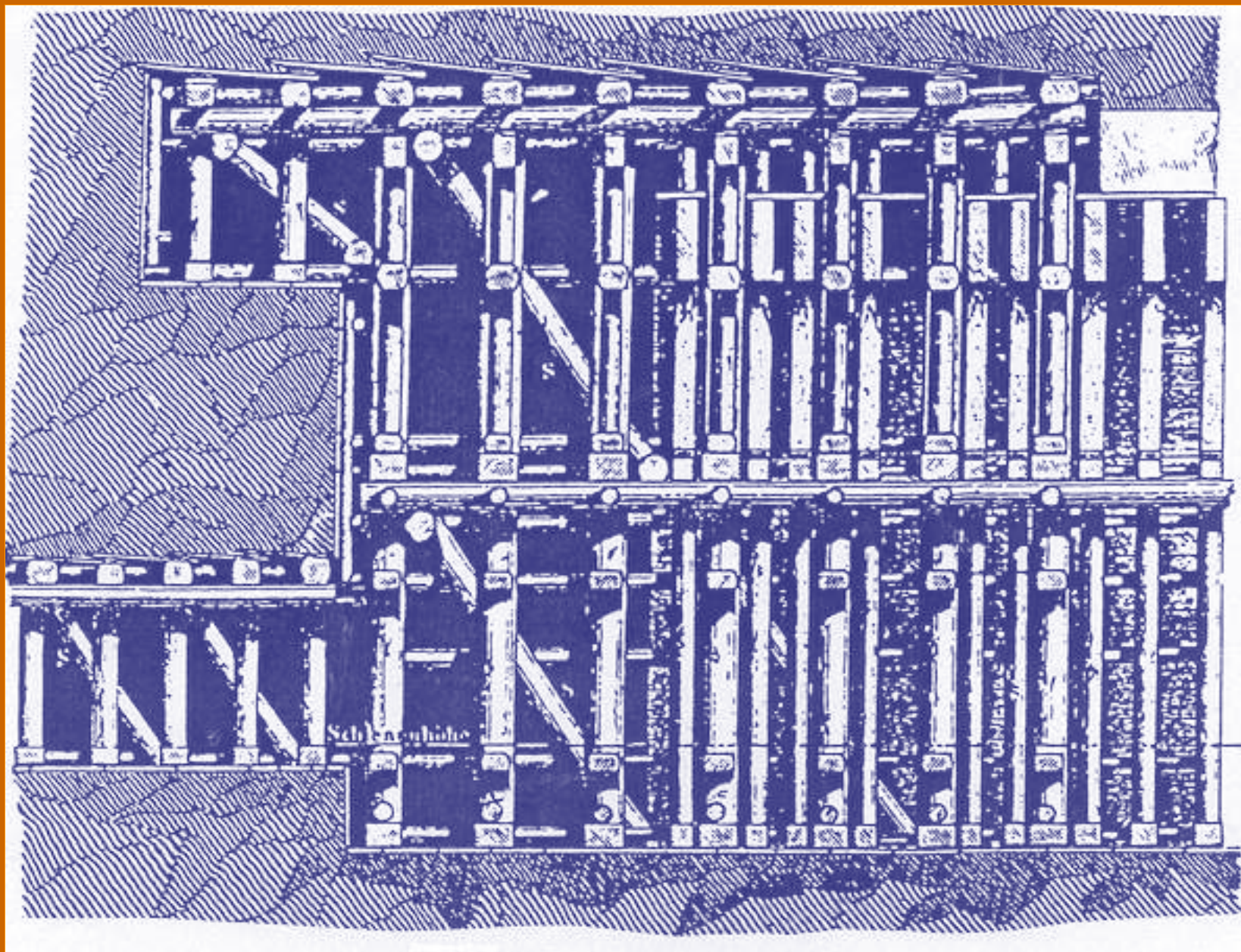
Unstable face

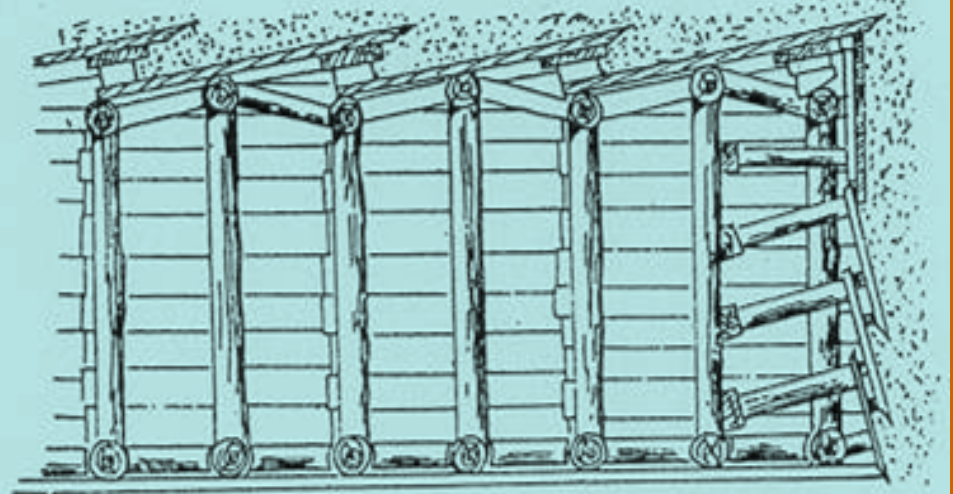
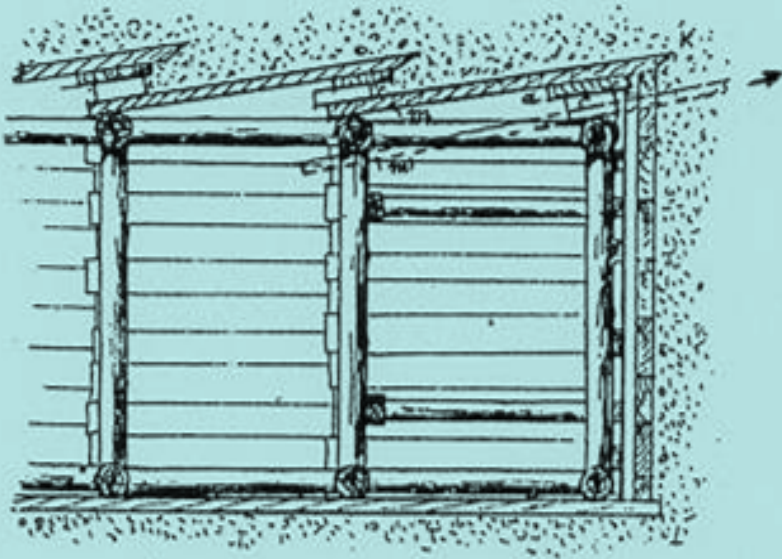
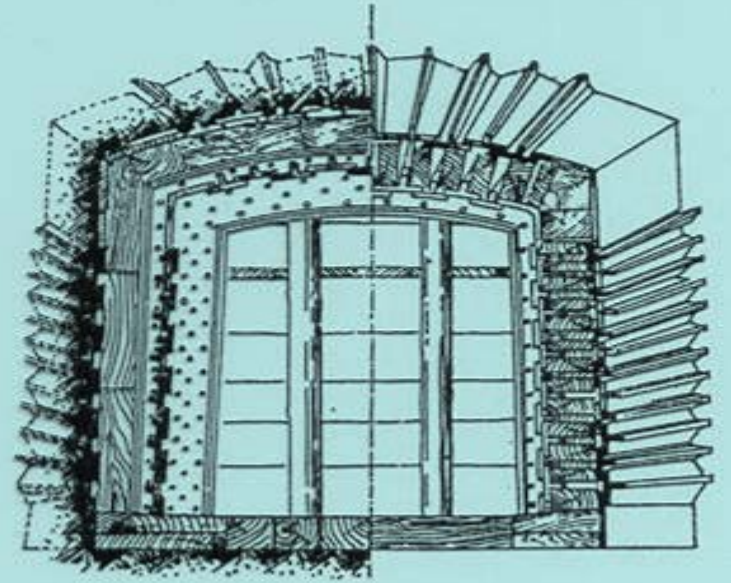
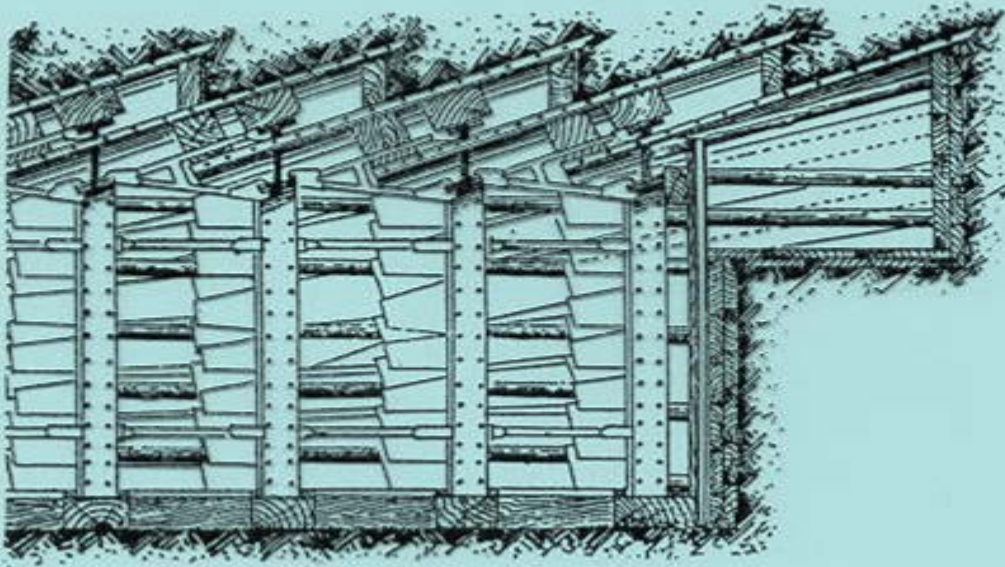
Cómo se controla una excavación subterránea crítica?

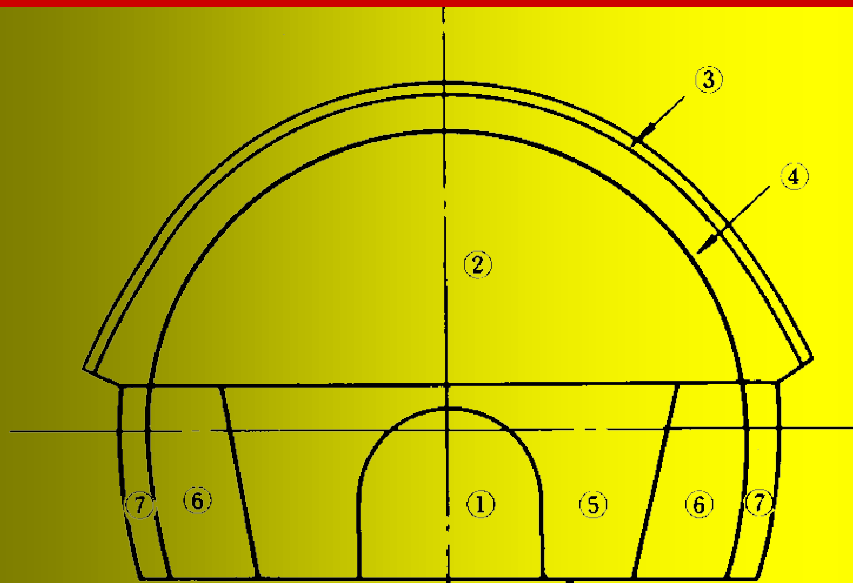
- ◆ **TRADICIONALMENTE:** Parcializando la sección
- ◆ Pre-consolidando el medio a excavar
- ◆ Pre-soportando la excavación

- ◆ **INNOVATIVAMENTE:** Estabilizando el frente



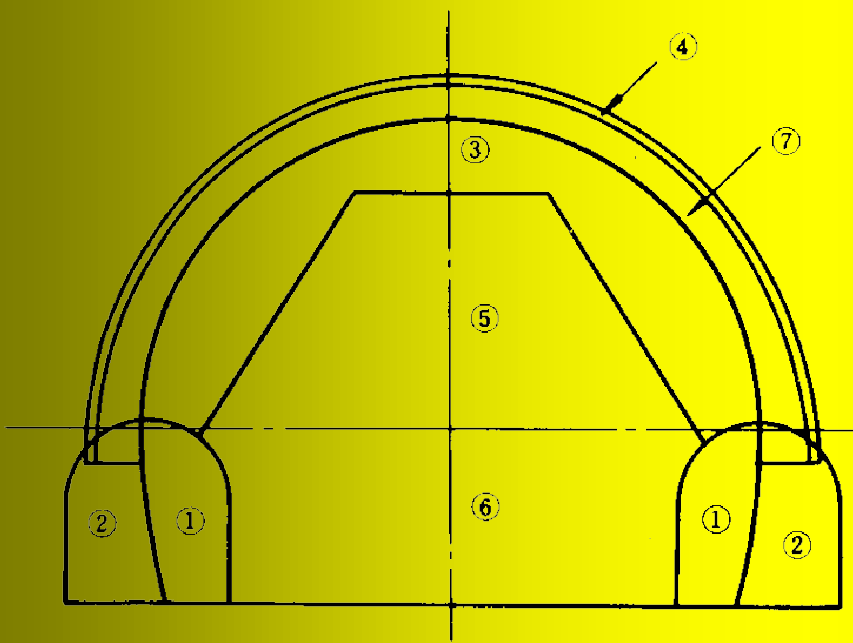






2) Bottom Drift Followed by upper-Half
Excavation Method

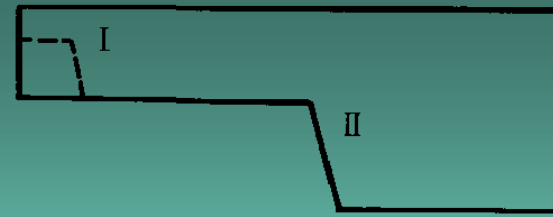
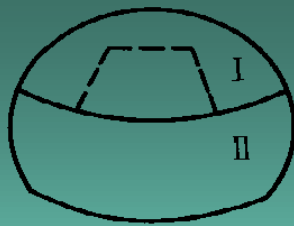
- ① Excavation of drift
- ② Upper-half excavation
- ③ Arch support
- ④ Arch concrete grouting
- ⑤ Excavation for the bottom core
- ⑥ Excavation for the core in both sides of bottom
- ⑦ Side-wall concrete grouting



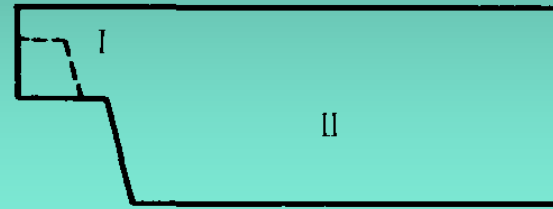
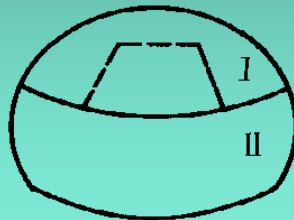
3) Side-wall Drifts Followed by Ring-Cut
Excavation Method

- 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

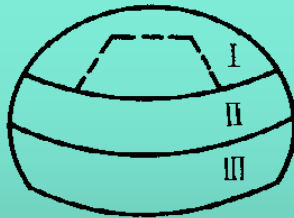
Short bench



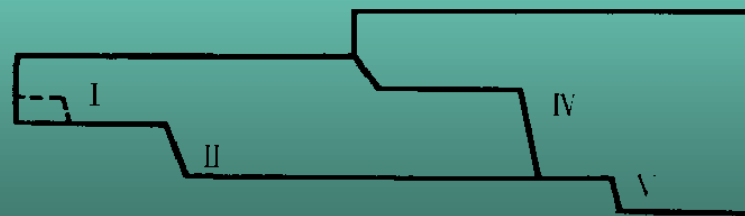
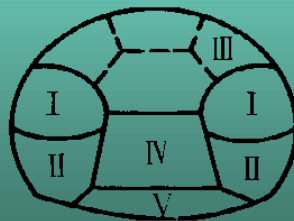
Mini-bench



Multiple-stage bench



Side pilot

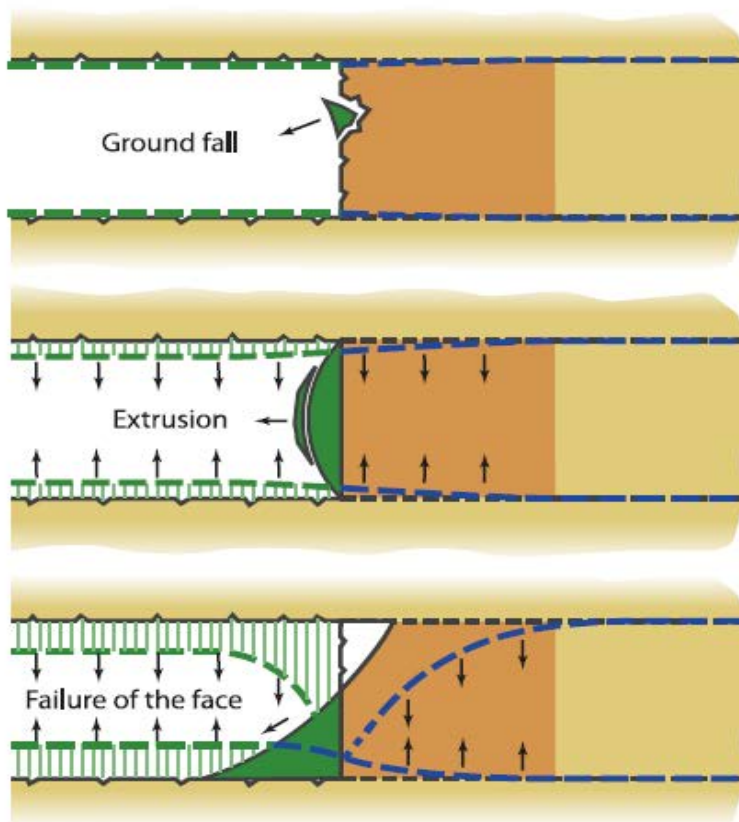


Típica moderna excavación a sección parcializada en terrenos muy inestables



Otras maneras de controlar la estabilidad de la excavación

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



Ground fall

A

Stable face



Preconvergence and convergence

B

Face stable in the short term

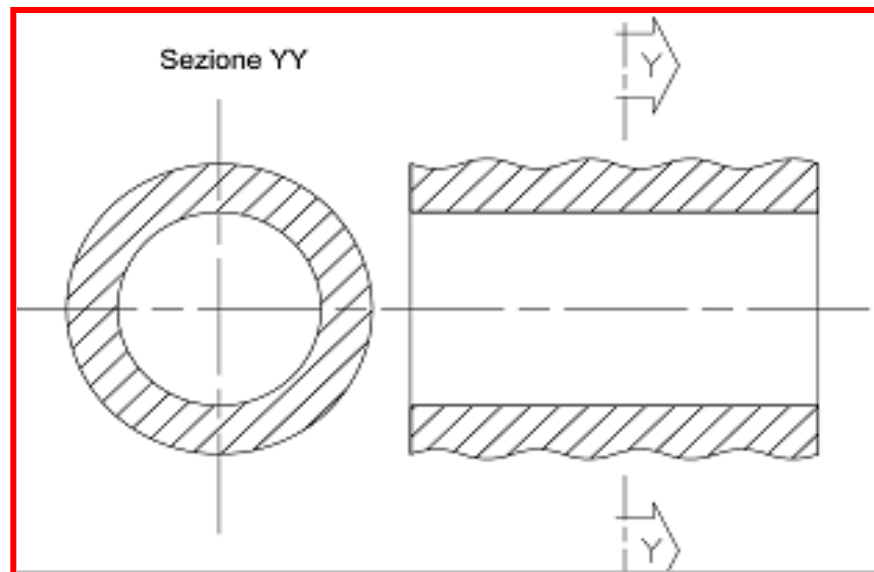


Collapse of the cavity

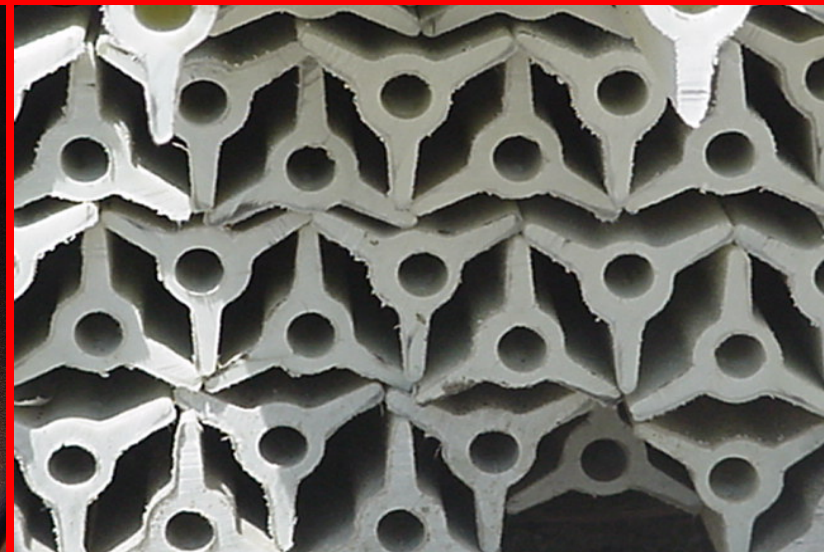
C

Unstable face

Micropilotes de vitroresina



Micropilotes de vitroresína



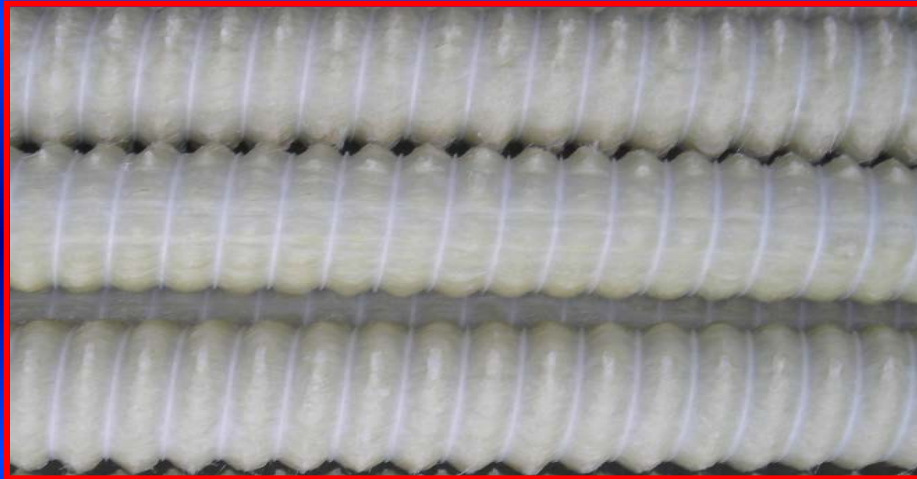
Micropilotes de vitroresina



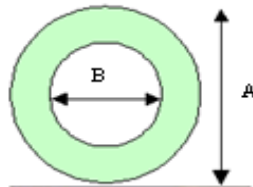
Micropilotes de vitroresína



Micropilotes de vitroresina



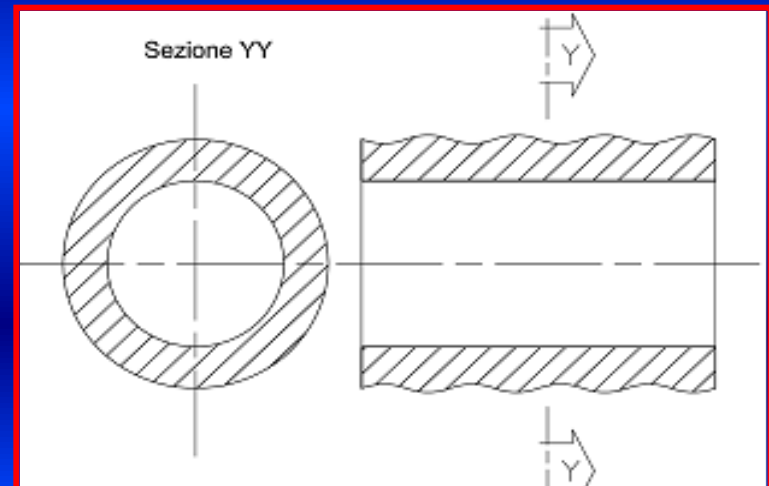
TECHNICAL SCHEDULE



Technical specifications

- material:
 - 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 |



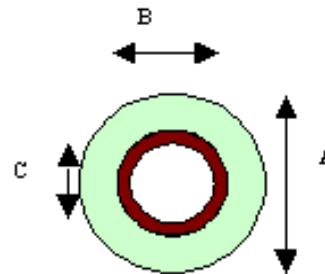
Micropilotes de vitroresína



Micropilotes de vitroresina



TECHNICAL SCHEDULE



Technical specifications

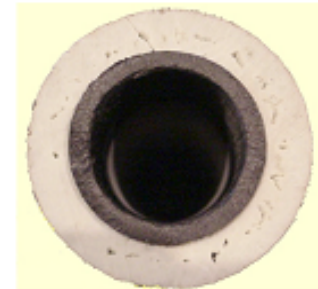
- materials
 - resin/fibre polyester/glass fibre
 - density 1.81 g/dm³
 - glass content min. 50% (in weight)
- mechanical characteristics
 - burst resistance 50-100 bar dependig on polymer
 - traction resistance 450-1200 Mpa
 - elongation to breakage 2%
 - elastic module 24000-45000 Mpa
 - cutting resistance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

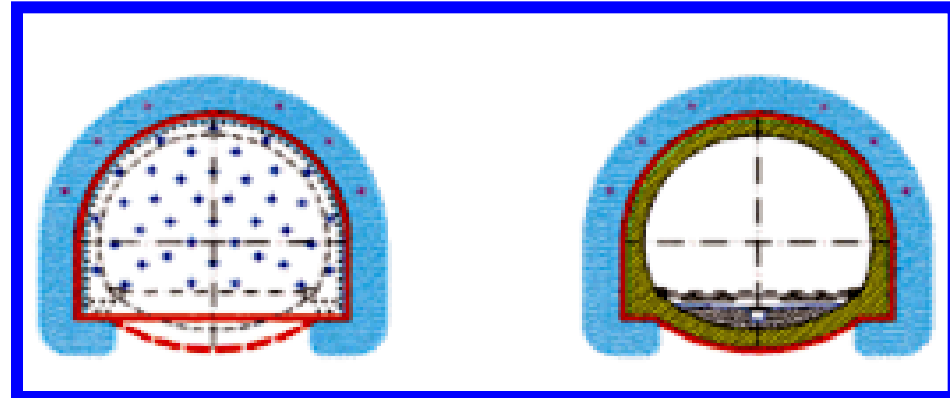
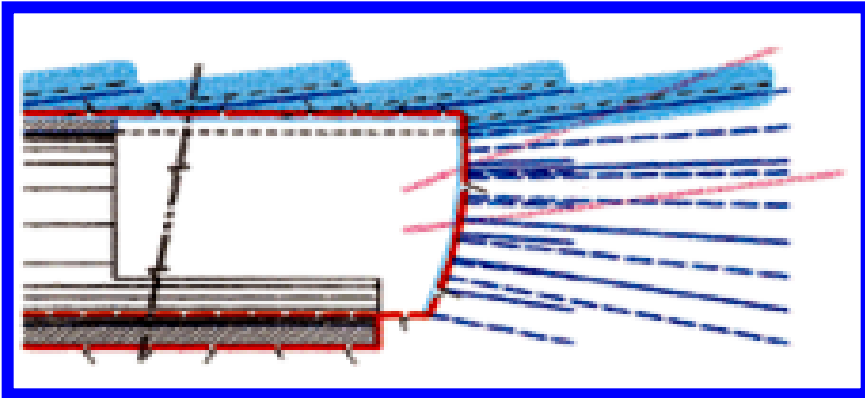


Frente consolidado con vitroresinas

P.E.R. Ground



Micropilotes de vitroresina



| | | | |
|------------------------|-------------|------|-------------------|
| Peso específico | ASTM D 792 | 1,9 | g/cm ³ |
| Contenido in vitro | - | 70 | % |
| Resistencia a tracción | ASTM D 3916 | 1000 | MPa |
| Modulo elástico | ASTM D 3916 | 40 | GPa |
| Allungamento a rottura | ASTM D 3916 | > 3 | % |
| Resistencia 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



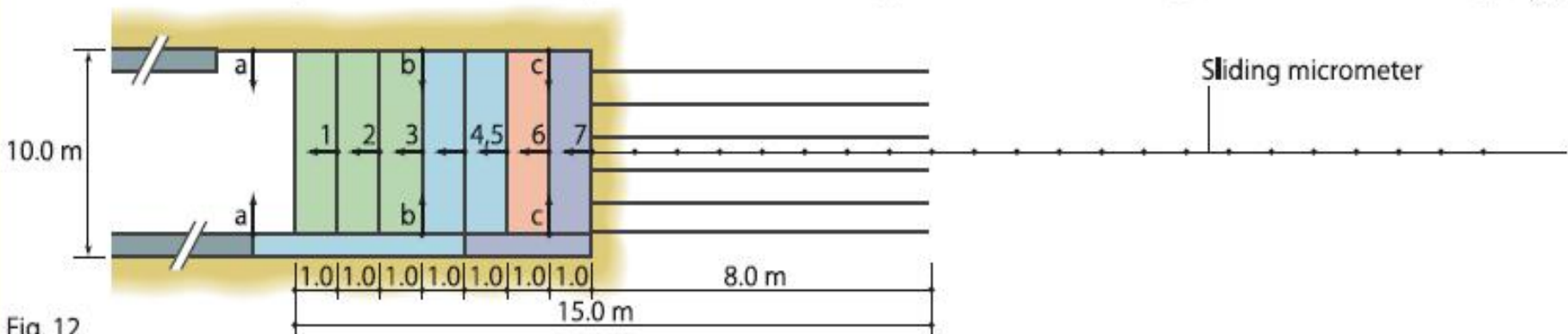
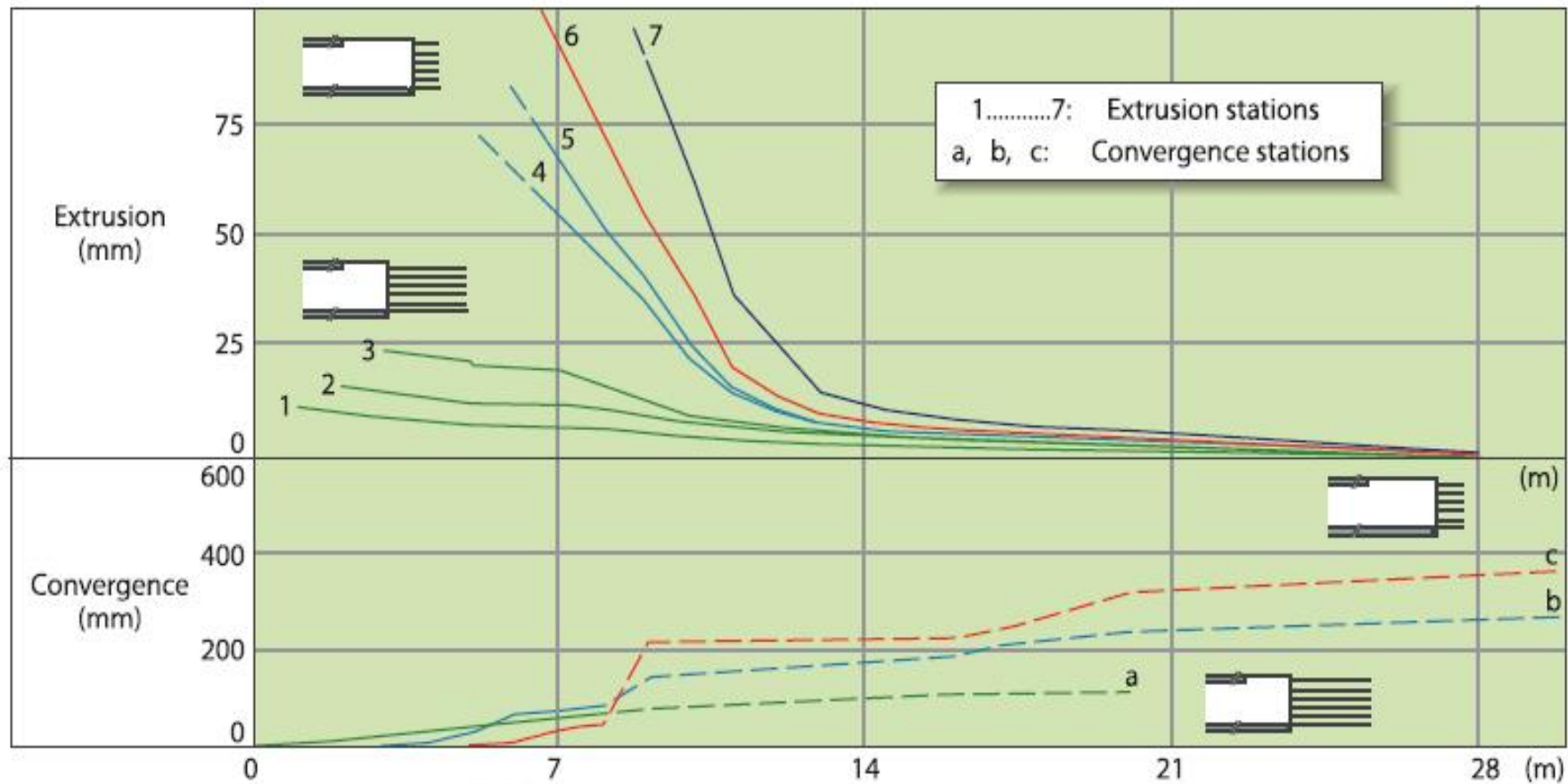
Frente consolidado con vitroresinas



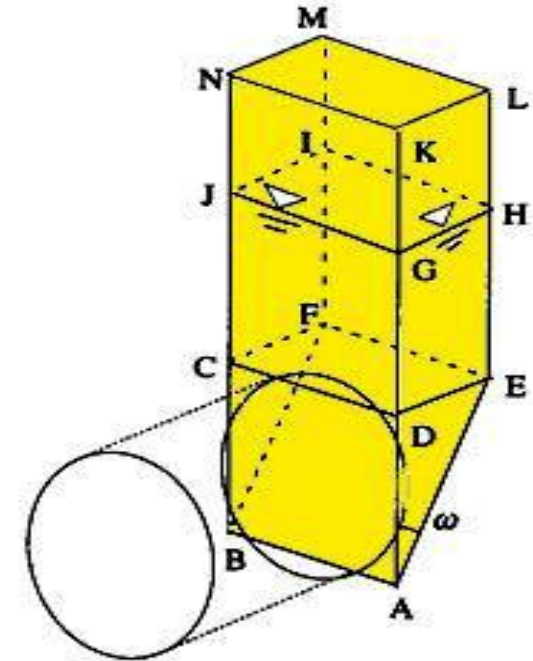
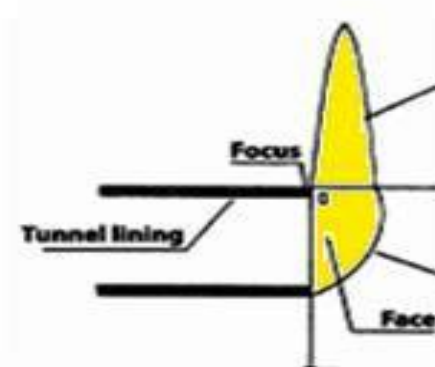
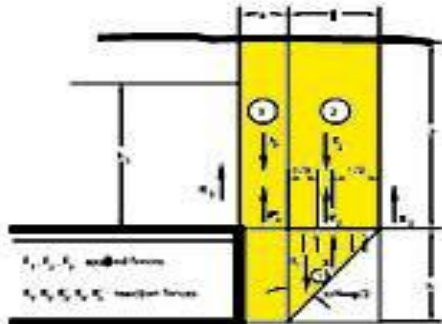
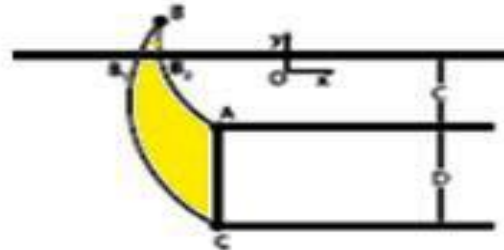
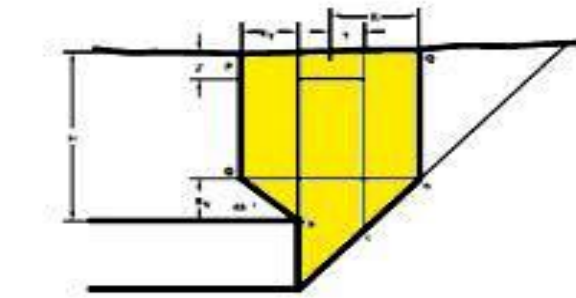
Frente consolidado con vitroresinas



Ancona - Bari railway line - "Vasto" tunnel Extrusion-convergence diagrams related to tunnel advance



POSIBLES MODELOS DE ESTABILIDAD DEL FRENTE DE EXCAVACIÓN



Ejemplo de Dimensionado de la Estabilización del Frente de Excavación

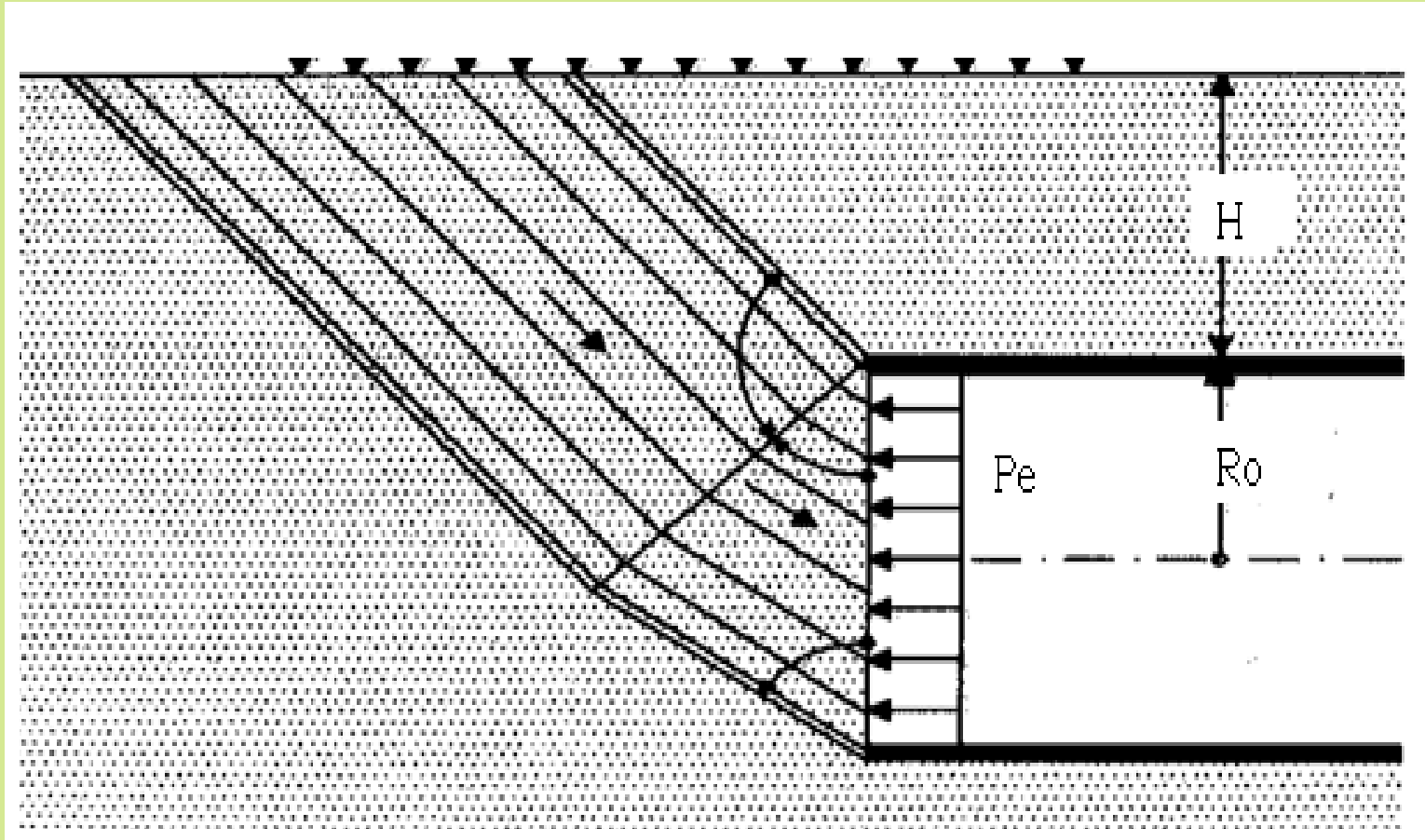
| Presión (t/m ²) de estabilización sobre el frente para FSf = 1.25 | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|
| c (t/m ²): | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| H (m) | | | | | | |
| 10 | 30 | 22 | 14 | 6 | 0 | 0 |
| 15 | 40 | 32 | 24 | 16 | 8 | 0 |
| 20 | 50 | 42 | 34 | 26 | 18 | 10 |
| 25 | 60 | 52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

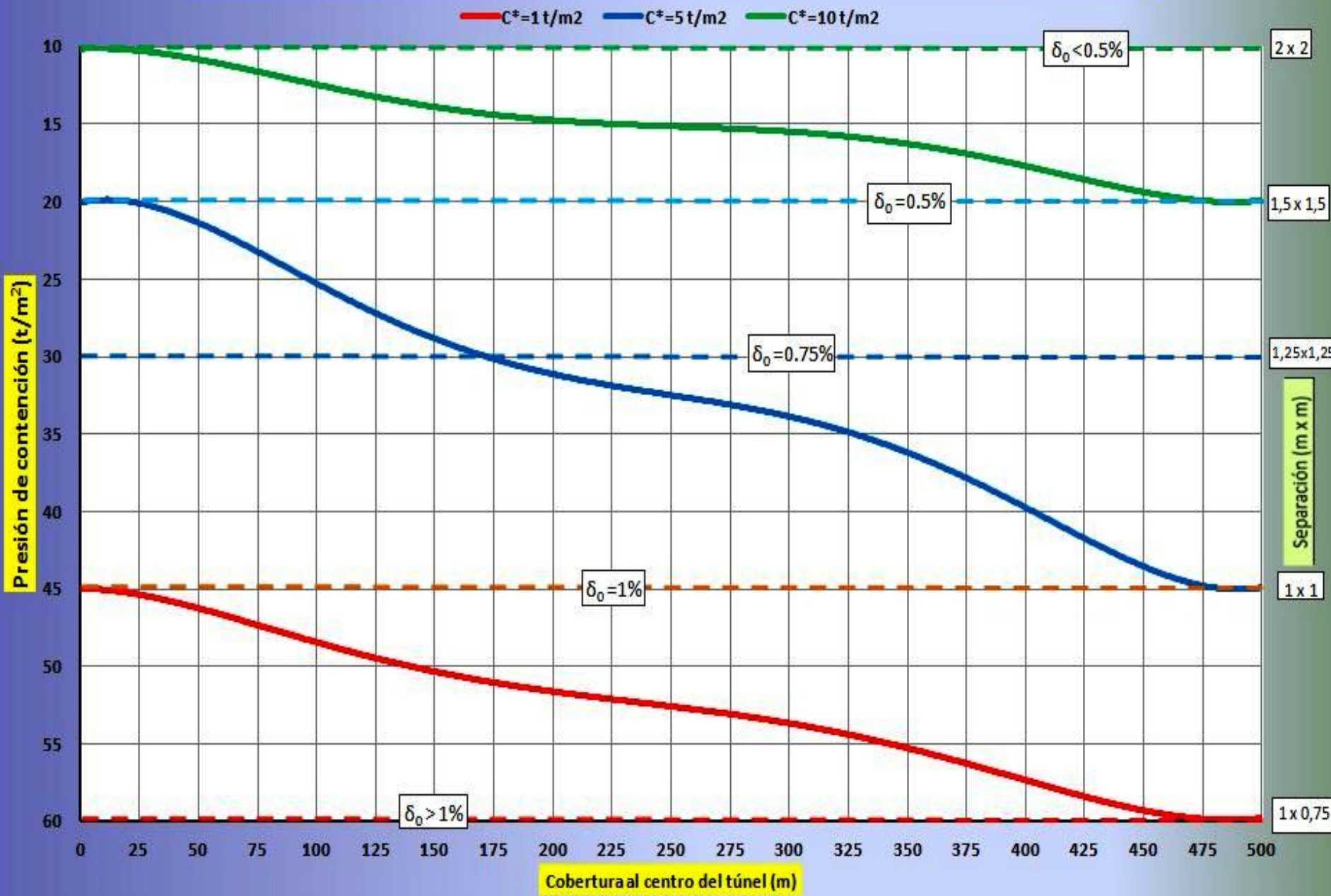
Factor de Estabilidad del Frente (N), Peck (1969): $N = (P_o - P_e) / c$

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



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

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*