



# DISEÑO DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN EJEMPLOS PRÁCTICOS

Ing. Diego Calo



*Dirección Nacional de Vialidad – 9° Distrito – San Juan*  
*10 y 11 de Agosto de 2016*



# ÍNDICE DE LA PRESENTACIÓN

- **Ejemplo de Cálculo de Pavimento para alto volumen de tránsito pesado. Método PCA'84.**
- **Ejemplo de Cálculo de Pavimento para bajo volumen de tránsito pesado. Método ACPA StreetPave.**
- **Análisis de resultados.**

# Ejemplo (Método de la P.C.A.)

## DATOS

- Proyecto: Duplicación de calzada existente.
- Subrasante: Suelo A-6 (CBR = 3%).
- Período de diseño = 25 años.
- Tránsito:
  - TMDA = 6500 veh/día.
  - Prop VP's = 40%.
  - Tasa de Crecimiento = 2.5%.
- Resistencia del hormigón: s/PETG de la DNV.
- Empleo de Pasadores en Juntas Transversales.
- Banquina Pavimentada

# Ejemplo (Método de la P.C.A.)

## Distribución de cargas por eje

| Simples |         | Dobles |         | Triples |        |
|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
| Carga   | R/1000  | Carga  | R/1000  | Carga   | R/1000 |
| 16      | 0.048   | 30     | 0.000   | 39      | 0.002  |
| 15      | 0.475   | 28     | 0.002   | 36      | 0.032  |
| 14      | 3.316   | 26     | 0.042   | 33      | 0.370  |
| 13      | 16.380  | 24     | 0.603   | 30      | 2.440  |
| 12      | 57.809  | 22     | 5.106   | 27      | 9.216  |
| 11      | 147.862 | 20     | 25.674  | 24      | 20.340 |
| 10      | 279.825 | 18     | 77.554  | 21      | 27.389 |
| 9       | 402.564 | 16     | 143.969 | 18      | 24.386 |
| 8       | 453.542 | 14     | 171.278 | 15      | 15.685 |
| 7       | 410.246 | 12     | 138.729 | 12      | 7.343  |
| 6       | 301.449 | 10     | 80.226  | 9       | 2.301  |
| 5       | 178.910 | 8      | 32.809  | 6       | 0.496  |
| Total   | 2377    | Total  | 687     | Total   | 110    |

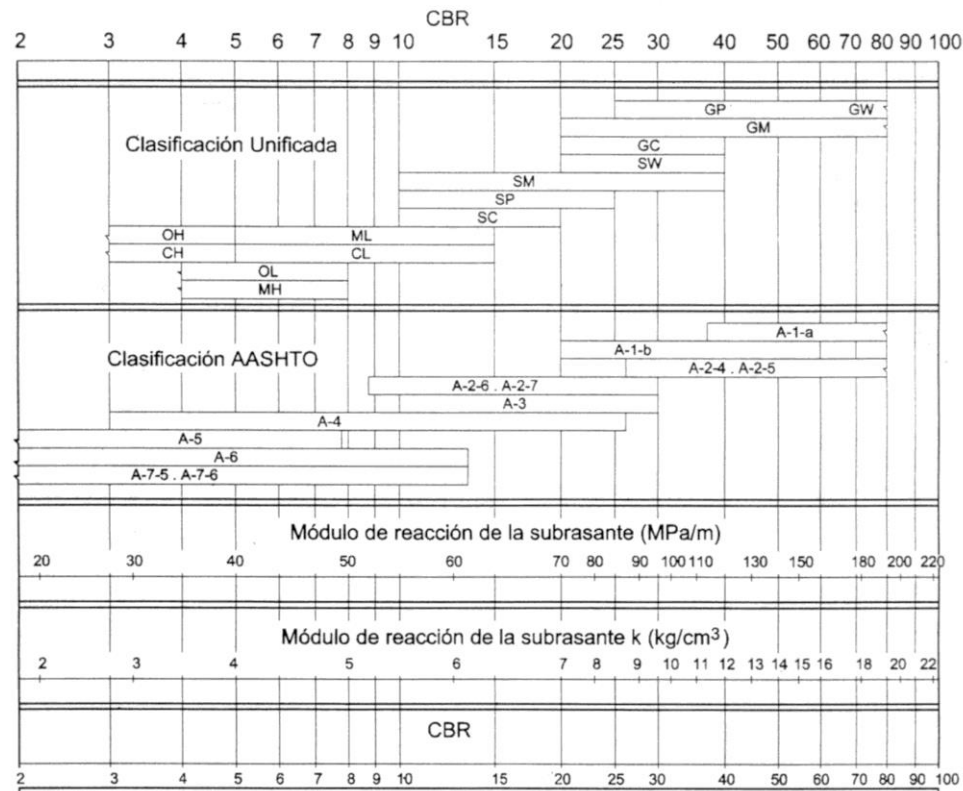
**4330 Ejes  
Equivalentes cada  
1000 Vehículos  
Pesados**

# Ejemplo (Método de la P.C.A.)

## SOLUCIÓN

### SUBRASANTE

- CBR medio = 3,0%



- Correlación con módulo de reacción ( $k$ ) = 2,7 kg/cm<sup>3</sup>

# Ejemplo (Método de la P.C.A.)

## SUBBASE

- En estos casos resulta conveniente incorporar una capa de subbase que permitirá:
  - Mejorar la condición de apoyo – uniformidad y homogeneidad.
  - Incrementar el control de cambios volumétricos en subrasante.
  - Conformar una plataforma de trabajo adecuada, menos susceptible a las condiciones climáticas y apta para la circulación de los vehículos de obra.
- Mediante Tablas se determina el módulo de reacción combinado Subrasante/subbase.

| Espesor de subbase →    | 100 mm | 150 mm | 200 mm | 230 mm |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Valor K de subrasante ↓ |        |        |        |        |
| 1.4                     | 1.7    | 2.1    | 2.4    |        |
| 2.8                     | 3.6    | 3.9    | 4.4    |        |
| 5.5                     | 6.1    | 6.4    | 7.5    |        |

$K_{\text{combinado}} (\text{subrasante} / \text{subbase}) = 3.9 \text{ kg/cm}^3$

# Ejemplo (Método de la P.C.A.)

## BASE

- Uso obligatorio por tránsito pesado (mayor de 100 a 200 VP/día).
- Se emplea una Base Granular Cementada de 15 cm de espesor.
- Mediante Tablas se determina el módulo de reacción combinado Subrasante/subbase.

| Espeor de subbase →     | 100 mm | 150 mm      | 200 mm |
|-------------------------|--------|-------------|--------|
| Valor K de subrasante ↓ |        |             |        |
| 1.4                     | 4.7    | 6.4         | 8.6    |
| 2.8                     | 7.8    | 11.1        | 14.4   |
| 5.5                     | 13.0   | 17.7        | 23.0   |
| <b>3.9</b>              |        | <b>13.8</b> |        |

$K_{\text{combinado}} (\text{subrasante} / \text{subbase} / \text{base}) = 13.8 \text{ kg/cm}^3$

# Ejemplo (Método de la P.C.A.)

## RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

Resistencia mínima efectiva = 315 kg/cm<sup>2</sup> (R=90%)

*Consideramos un C.V. = 10%*

$$\sigma_{bm} = 315 \text{ kg/cm}^2 \cdot (1 + 0,10 \cdot 1,282)$$

$$\sigma_{bm} = 355 \text{ kg/cm}^2 = 34,8 \text{ MPa}$$

Entonces, aplicando la fórmula de la P.C.A. para agregados Triturados

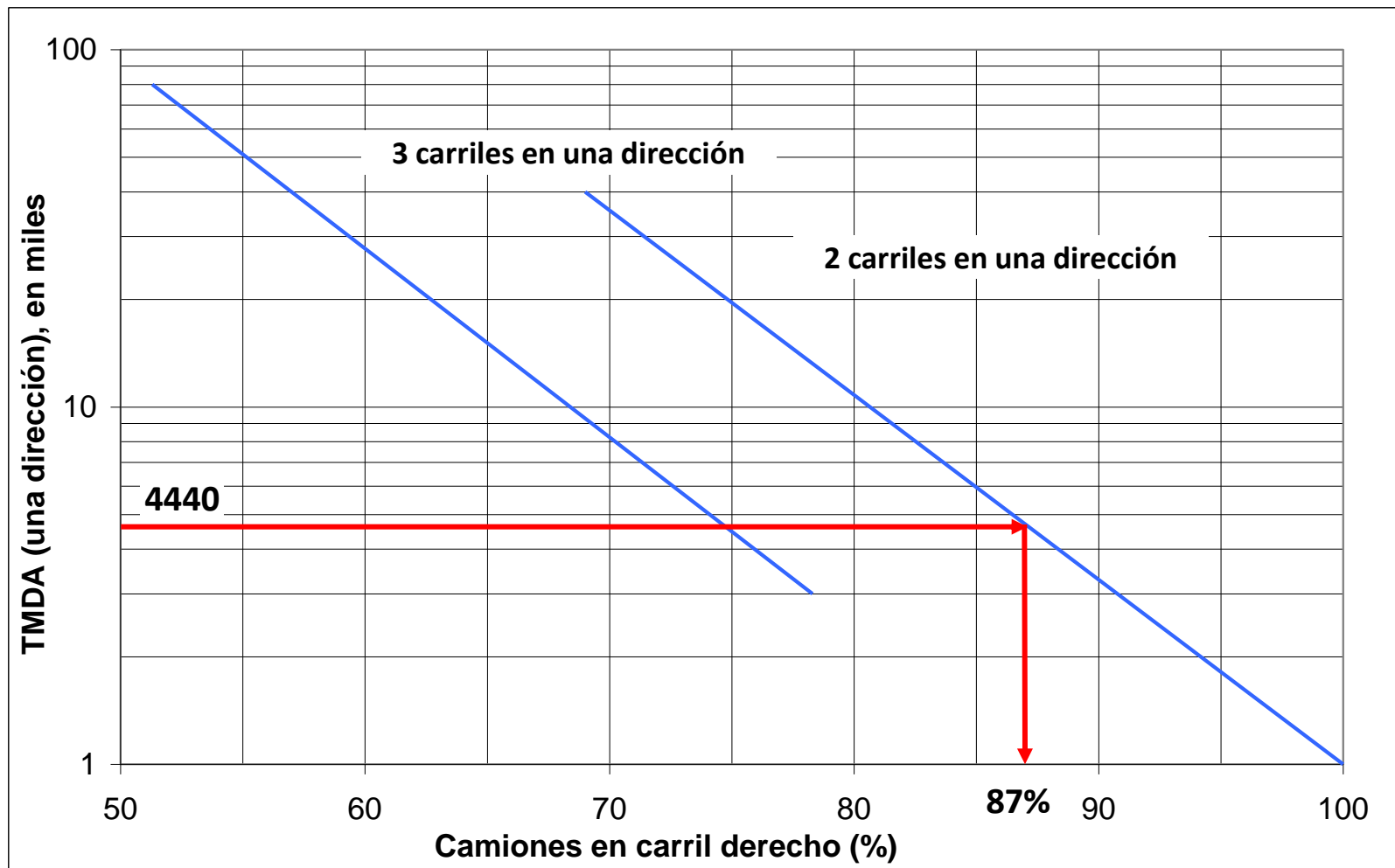
$$MR = 0,8 \cdot \sqrt{34,8 \text{ MPa}} = 4,72 \text{ MPa} = 48 \text{ kg/cm}^2$$

# Ejemplo (Método de la P.C.A.)

## TRÁNSITO

- TMDA = 6500 veh/día
- Prop. Vehículos Pesados = 40%.
- Tasa de Crec.: 2.5%. → TMDD = 8881 v/día (3550VP/d).
- Factor de seguridad de cargas: 1,2.
- Factor de Distribución por dirección (FDD) = 50%.
- Factor de Distribución por Trocha (FDT) = según el siguiente nomograma:

# Ejemplo (Método de la P.C.A.)



# Ejemplo (Método de la P.C.A.)

## TRANSFERENCIA DE CARGA

Juntas Transversales:

- Debido al elevado volumen de vehículos pesados (Mayor de 80 a 120 VP/día) resulta obligatorio la colocación de pasadores.
- Se evaluará la incidencia de prescindir de los pasadores.

Bordes de Calzada:

- Banquina Externa Flexible (no existe transferencia de carga en los bordes de calzada).
- Evaluar la factibilidad de incorporar Sobreancho o Banquina Vinculada.

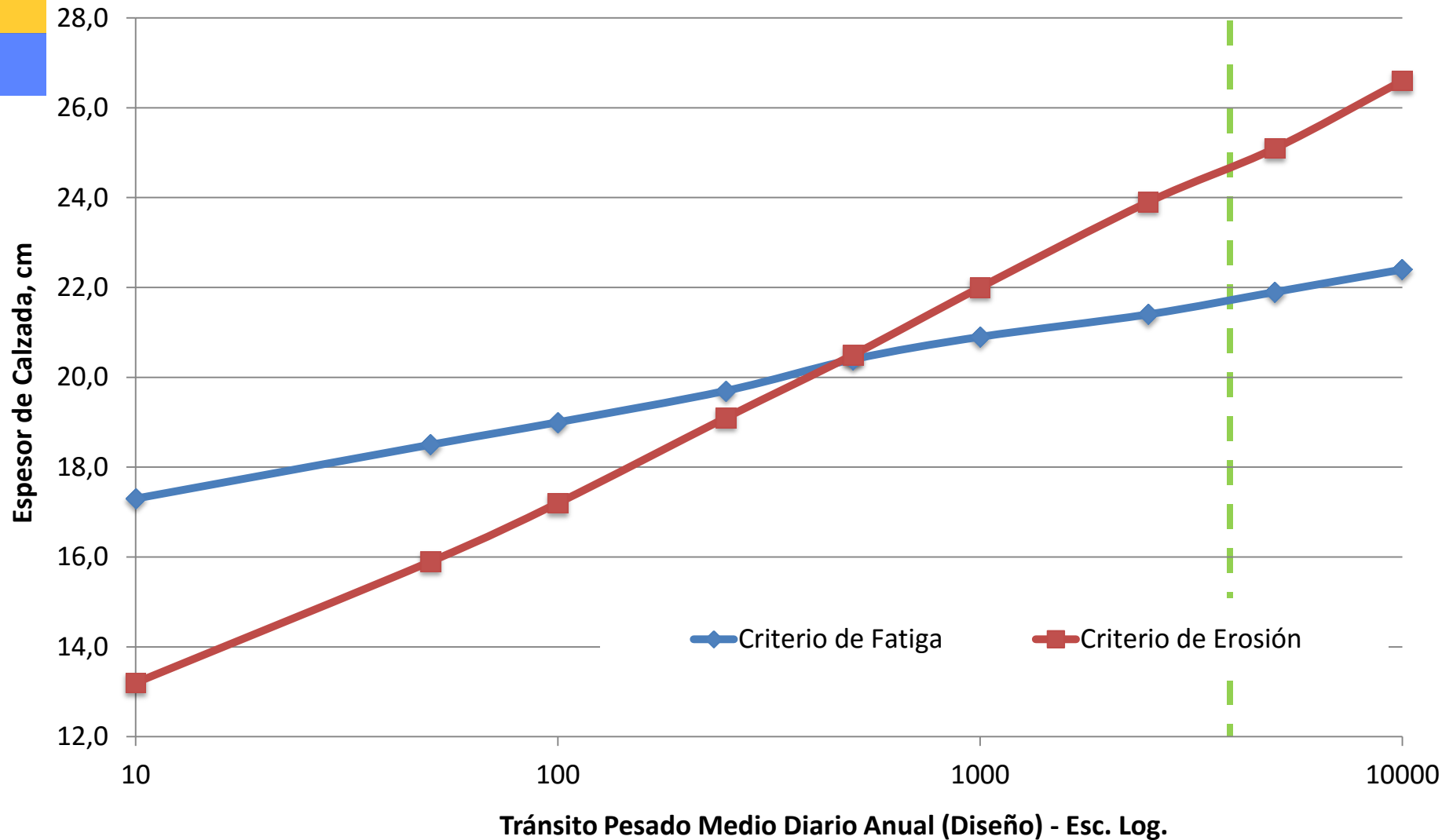
# Ejemplo (Método de la P.C.A.)

| Cálculo del Espesor del Pavimento                        |               |                        |                         |                          |                         |                  |
|--|---------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------|
| Proyecto: EJEMPLO PRÁCTICO. CURSO UNIVERSIDAD DE ROSARIO |               |                        |                         |                          |                         |                  |
| Espesor estimado =                                       |               | 24.6 cm                |                         | Junta con pasadores      |                         |                  |
| "k" combinado Subr/Subb =                                |               | 13.76 kg/cm3           |                         | Sin banquina de Hormigón |                         |                  |
| Módulo de Rotura "MR" =                                  |               | 48 kg/cm2              |                         | Subbase cementada        |                         |                  |
| FSC =  |               | 1.2                    |                         | Espesor =                |                         | 15 cm            |
| Período de Diseño :                                      |               | 25 años                |                         |                          |                         |                  |
| Cargas por eje   | Carga por FSC | Repeticiones Esperadas | Análisis de Fatiga      |                          | Análisis de Erosión     |                  |
|  |               |                        | Repeticiones Admisibles | Consumo de Fatiga        | Repeticiones Admisibles | Daño por Erosión |
| 1  | 2             | 3                      | 4                       | 5                        | 6                       | 7                |
| <b>EJES SIMPLES</b>                                      |               | 8. T. Equiv =          | 11.05 kg/cm2            |                          | 10. F. Erosión:         | 2.52             |
|  |               | 9. F.R.T. =            | 0.230                   |                          |                         |                  |
| 16.0   | 19.2          | 675                    | 457740                  | 0.1%                     | 879248                  | 0.1%             |
| 15.0   | 18.0          | 6675                   | 1977235                 | 0.3%                     | 1310766                 | 0.5%             |
| 14.0   | 16.8          | 46597                  | 521338270               | 0.0%                     | 1990675                 | 2.3%             |
| 13.0   | 15.6          | 230175                 | llimitado               | 0.0%                     | 3085645                 | 7.5%             |
| 12.0   | 14.4          | 812343                 | llimitado               | 0.0%                     | 5089776                 | 16.0%            |
| 11.0   | 13.2          | 2077784                | llimitado               | 0.0%                     | 9384431                 | 22.1%            |
| 10.0   | 12.0          | 3932152                | llimitado               | 0.0%                     | 20230714                | 19.4%            |
| 9.0  | 10.8          | 5656903                | llimitado               | 0.0%                     | 52351257                | 10.8%            |
| 8.0  | 9.6           | 6373255                | llimitado               | 0.0%                     | llimitado               | 0.0%             |
| 7.0  | 8.4           | 5764852                | llimitado               | 0.0%                     | llimitado               | 0.0%             |
| 6.0  | 7.2           | 4236016                | llimitado               | 0.0%                     | llimitado               | 0.0%             |
| 5.0  | 6.0           | 2514076                | llimitado               | 0.0%                     | llimitado               | 0.0%             |
|  |               |                        | Suma Parcial            | 0.5%                     |                         | 78.7%            |

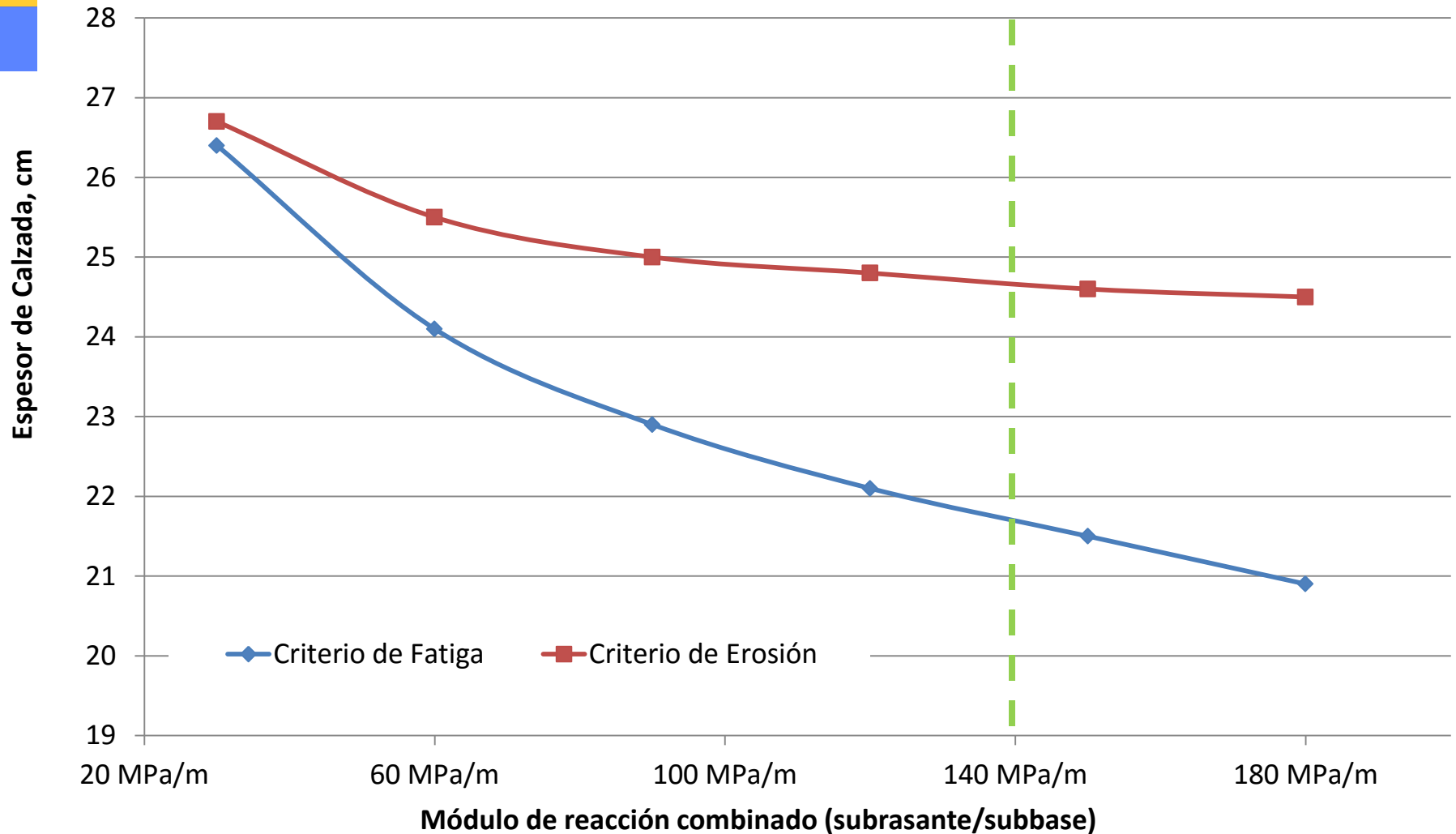
# Ejemplo (Método de la P.C.A.)

| EJES DOBLES  |      | 11. T. Equiv = | 9.23 kg/cm <sup>2</sup> |                 | 13. F. Erosión: | 2.63             |
|--------------|------|----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
|              |      | 12. F.R.T. =   | 0.192                   |                 |                 |                  |
| 30.0         | 36.0 | 0              | llimitado               | 0.0%            | 638051          | 0.0%             |
| 28.0         | 33.6 | 28             | llimitado               | 0.0%            | 945502          | 0.0%             |
| 26.0         | 31.2 | 590            | llimitado               | 0.0%            | 1505049         | 0.0%             |
| 24.0         | 28.8 | 8473           | llimitado               | 0.0%            | 2422963         | 0.3%             |
| 22.0         | 26.4 | 71750          | llimitado               | 0.0%            | 4097261         | 1.8%             |
| 20.0         | 24.0 | 360776         | llimitado               | 0.0%            | 7777277         | 4.6%             |
| 18.0         | 21.6 | 1089803        | llimitado               | 0.0%            | 17746569        | 6.1%             |
| 16.0         | 19.2 | 2023079        | llimitado               | 0.0%            | 50893460        | 4.0%             |
| 14.0         | 16.8 | 2406830        | llimitado               | 0.0%            | llimitado       | 0.0%             |
| 12.0         | 14.4 | 1949445        | llimitado               | 0.0%            | llimitado       | 0.0%             |
| 10.0         | 12.0 | 1127350        | llimitado               | 0.0%            | llimitado       | 0.0%             |
| 8.0          | 9.6  | 461038         | llimitado               | 0.0%            | llimitado       | 0.0%             |
| Suma Parcial |      |                |                         | 0.0%            |                 | 16.9%            |
| EJES TRIPLES |      | 14. T. Equiv = | 6.92 kg/cm <sup>2</sup> |                 | 16. F. Erosión: | 2.71             |
|              |      | 15. F.R.T. =   | 0.144                   |                 |                 |                  |
| 39.0         | 46.8 | 28             | llimitado               | 0.0%            | 836080          | 0.0%             |
| 36.0         | 43.2 | 450            | llimitado               | 0.0%            | 1366654         | 0.0%             |
| 33.0         | 39.6 | 5199           | llimitado               | 0.0%            | 2302373         | 0.2%             |
| 30.0         | 36.0 | 34287          | llimitado               | 0.0%            | 4087666         | 0.8%             |
| 27.0         | 32.4 | 129505         | llimitado               | 0.0%            | 8345104         | 1.6%             |
| 24.0         | 28.8 | 285821         | llimitado               | 0.0%            | 21426037        | 1.3%             |
| 21.0         | 25.2 | 384875         | llimitado               | 0.0%            | llimitado       | 0.0%             |
| 18.0         | 21.6 | 342677         | llimitado               | 0.0%            | llimitado       | 0.0%             |
| 15.0         | 18.0 | 220408         | llimitado               | 0.0%            | llimitado       | 0.0%             |
| 12.0         | 14.4 | 103185         | llimitado               | 0.0%            | llimitado       | 0.0%             |
| 9.0          | 10.8 | 32334          | llimitado               | 0.0%            | llimitado       | 0.0%             |
| Suma Parcial |      |                |                         | 0.0%            |                 | 4.0%             |
|              |      |                |                         | <b>Fatiga =</b> | <b>0.5%</b>     | <b>Erosión =</b> |
|              |      |                |                         |                 |                 | <b>99.6%</b>     |

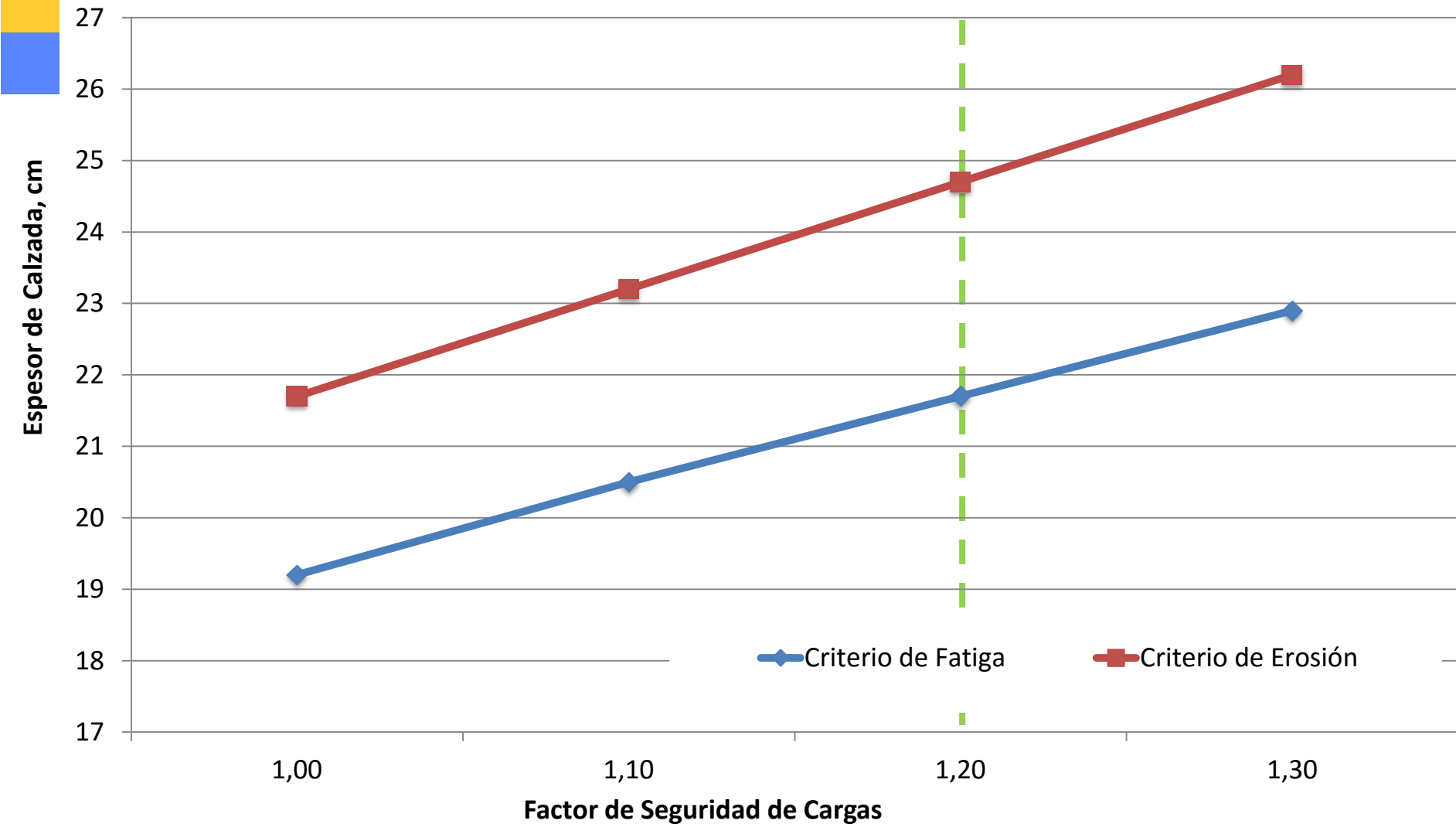
# Análisis de Sensibilidad



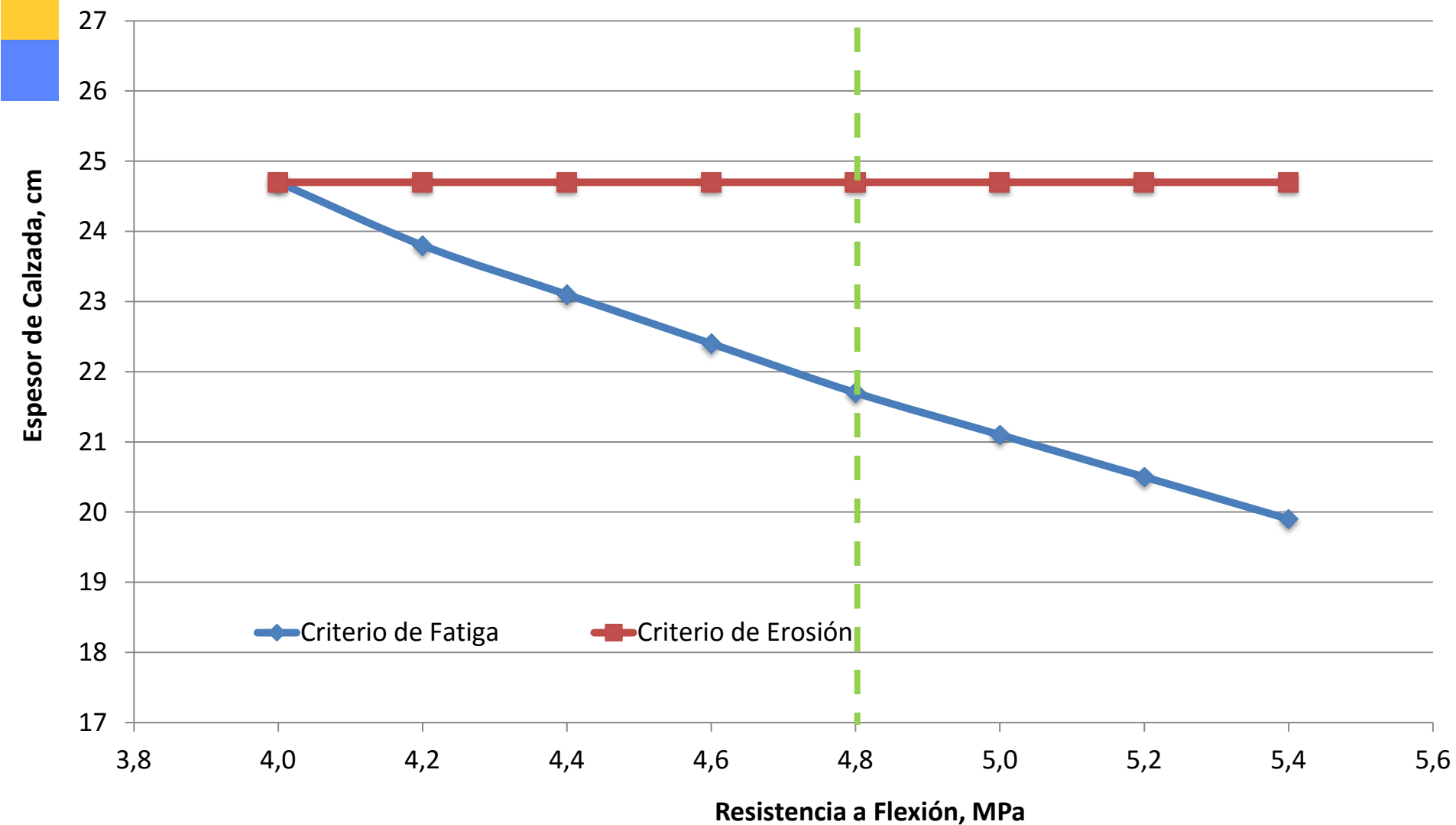
# Análisis de Sensibilidad



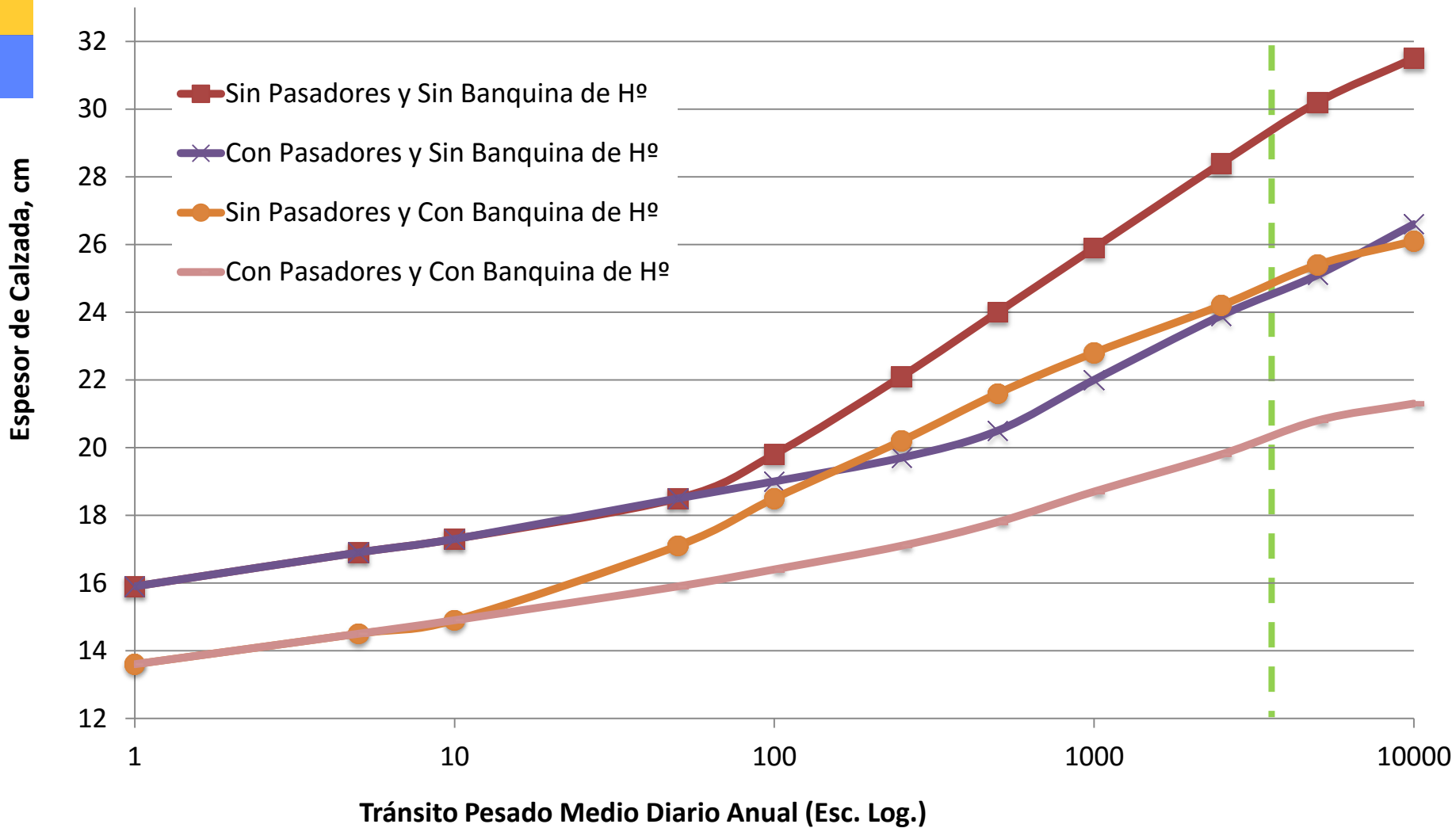
# Análisis de Sensibilidad



# Análisis de Sensibilidad



# Análisis de Sensibilidad



# Recálculo del Módulo de reacción combinado<sup>20</sup>

## SUBBASE GRANULAR

- Mediante Tablas se determina el módulo de reacción combinado Subrasante/subbase.

| Espesor de subbase →    | 100 mm | 150 mm | 230 mm |
|-------------------------|--------|--------|--------|
| Valor K de subrasante ↓ |        |        |        |
| 1.4                     | 1.7    | 2.1    | 2.4    |
| 2.8                     | 3.6    | 3.9    | 4.4    |
| 5.5                     | 6.1    | 6.4    | 7.5    |

**3.9**

**4.9**

## BASE GRANULAR ASFÁLTICA

- Mediante Tablas puede determinarse también el módulo de reacción combinado.

| Espesor de subbase →    | 100 mm | 150 mm | 230 mm |
|-------------------------|--------|--------|--------|
| Valor K de subrasante ↓ |        |        |        |
| 1.4                     | 2.3    | 3.1    | 4.3    |
| 2.8                     | 4.2    | 5.4    | 7.2    |
| 5.5                     | 7.7    | 9.5    | 12.2   |

**50 mm**

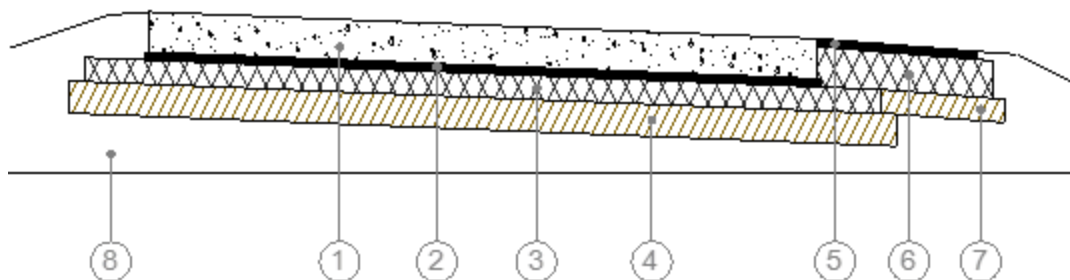
**4.9**

**5.3**

$K_{\text{combinado}} (\text{subrasante} / \text{subbase} / \text{base}) = 5.3 \text{ kg/cm}^3$

# Variante C – Base Asf + Subbase Gran.

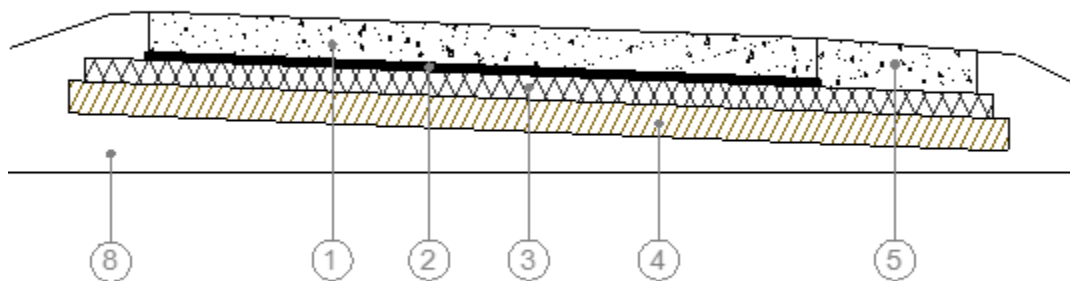
## VARIANTE C – BANQUINA FLEXIBLE



### JUNTAS TRANSVERSALES

- Con Pas → E: 25,6 cm.
- Sin Pas → E: 32,3 cm.

## VARIANTE C – BANQUINA RÍGIDA / SOBRECANCHO



### JUNTAS TRANSVERSALES

- Con Pas → E: 21,8 cm.
- Sin Pas → E: 27,1 cm.

# Ejemplo (ACPA StreetPave12)

22

StreetPave 12

File Units About Check for Updates

Project Traffic Design Details New Pavement Design

**Project Information** Next

Project Name  Project Description

Route

Location

Owner / Agency

Design Engineer

**Software Use**

Help

Determine a comparable new asphalt pavement thickness? Option Off

Conduct a life cycle cost analysis (LCCA)? Option Off

# Ejemplo (ACPA StreetPave12)

StreetPave 12

File Units About Check for Updates

Project Traffic Design Details New Pavement Design

### Traffic Category / Load Spectrum

**Typical Traffic Spectrums**    **ACI 330 Traffic Spectrums**    [Help](#)

Residential                       Category A  
 Collector                                 Category B                      [Custom Traffic Spectrum](#)  
 Minor Arterial                           Category C  
 Major Arterial                          Category D

### Truck Traffic over the Pavement Design Life

Trucks per Day (two-way, at time of construction)  [Calculate](#)

Traffic Growth Rate  % per year [Help](#)

Design Life  years [Help](#)

Directional Distribution  % [Help](#)

Design Lane Distribution  % [Help](#)

Average Trucks per Day in Design Lane over the Design Life                      **251**

Total Trucks in Design Lane over the Design Life                                        **1,835,400**

| Traffic Category: Minor Arterial        |                    |
|---|--------------------|
| kN                                      | Axes / 1000 trucks |
| <b>Single Axles</b>                     |                    |
| 133.4                                   | 0.45               |
| 124.5                                   | 0.85               |
| 115.6                                   | 1.78               |
| 106.8                                   | 5.21               |
| 97.9                                    | 7.85               |
| 89                                      | 16.33              |
| 80.1                                    | 25.15              |
| 71.2                                    | 31.82              |
| 62.3                                    | 47.73              |
| 53.4                                    | 182.02             |
| <b>Tandem Axles</b>                     |                    |
| 231.3                                   | 1.19               |
| 213.5                                   | 2.91               |
| 195.7                                   | 8.01               |
| 177.9                                   | 21.31              |
| 160.1                                   | 56.25              |
| 142.3                                   | 103.63             |
| 124.5                                   | 121.22             |
| 106.8                                   | 72.54              |
| 89                                      | 85.94              |
| 71.2                                    | 99.34              |
| <b>Tridem Axles (User Defined Only)</b> |                    |
| 311.4                                   | 0                  |
| 284.7                                   | 0                  |
| 258                                     | 0                  |
| 231.3                                   | 0                  |
| 204.6                                   | 0                  |
| 177.9                                   | 0                  |
| 151.2                                   | 0                  |
| 124.5                                   | 0                  |
| 97.9                                    | 0                  |
| 71.2                                    | 0                  |

[Next](#)

# Ejemplo (ACPA StreetPave12)

The screenshot shows the StreetPave 12 software interface. The window title is "StreetPave 12". The menu bar includes "File", "Units", "About", and "Check for Updates". The main navigation tabs are "Project", "Traffic", "Design Details", and "New Pavement Design". The "Design Details" tab is active, and the "Asphalt" sub-tab is selected. A "Next" button is located in the top right corner of the main content area.

The "General Design Inputs" section contains the following fields:

- Terminal Serviceability:  [Help](#)
- Reliability:  % [Help](#)

The "Resilient Modulus of the Subgrade" section contains the following options and fields:

- Convert CBR or R-value to MRSG
- Input a known MRSG [Help](#)
- [Calculate](#)  MPa
- MPa

# Ejemplo (ACPA StreetPave12)

StreetPave 12

File Units About Check for Updates

Project Traffic Design Details New Pavement Design

Global Concrete Asphalt

Percent of Slabs Cracked at End of Design Life

Slabs Cracked  %

Composite Modulus of Subgrade Reaction (Static k-Value)

Use calculated composite static k-value  Enter a known static k-value

MPa/m  MPa/m

Concrete Material Properties

28-Day Flexural Strength (MR)  MPa   Modulus of Elasticity (E)  MPa

Macrofibers in Concrete?

Edge Support

Edge support (e.g., tied concrete shoulder, curb and gutter, or widened lane) provided?  yes  no

Resilient Modulus of the Subgrade: 28.40 MPa

Corresponding Subgrade Static k-value: 27 MPa/m

To determine the k-value for a subbase layer system, use the calculator tool below. First input the subbase(s)

**Step 1 - From the Top Down, Input Subbase(s) Modulus of Elasticity and**

Number of subbase layers between subgrade and concrete pavement:

Top Layer

Layer Modulus of Elasticity  MPa

Allowable Range: 3,500 - 6,900

Layer Thickness  mm.

Help

Help

Layer 2

Layer Modulus of Elasticity  MPa

Allowable Range: 130 - 500

Layer Thickness  mm.

Layer 3

Layer Modulus of Elasticity  MPa

Allowable Range: Choose Layer Type

Layer Thickness  mm.

Step 2 - Calculate K

Calculated Composite Static k-Value  MPa/m

# Ejemplo (ACPA StreetPave12)

StreetPave 12

File Units About Check for Updates

Project Traffic Design Details New Pavement Design

Run Design

### CONCRETE PAVEMENT DESIGN

Rigid ESALs = 1,126,663

Composite Modulus of Subgrade Reaction (Static k-Value) = 94 MPa/m

Top Layer = Cement-Treated Subbase (CTB) 100 mm

Layer 2 = Lime-Stabilized Subgrade 200 mm

Save Project As

View/Print Design Summary

#### Sensitivity Analysis of Concrete Pavement Design

k-value       Reliability  
 Concrete Strength       % Slabs Cracked  
 Design Life

Generate

|           | Min. Required Thickness | Design Thickness | Max Joint Spacing | Failure Controlled By |
|-----------|-------------------------|------------------|-------------------|-----------------------|
|           | mm                      | mm               | m.                |                       |
| *Doweled  | 180.85                  | 185.00           | 3.91              | Cracking              |
| Undoweled | 180.85                  | 185.00           | 3.91              | Cracking              |

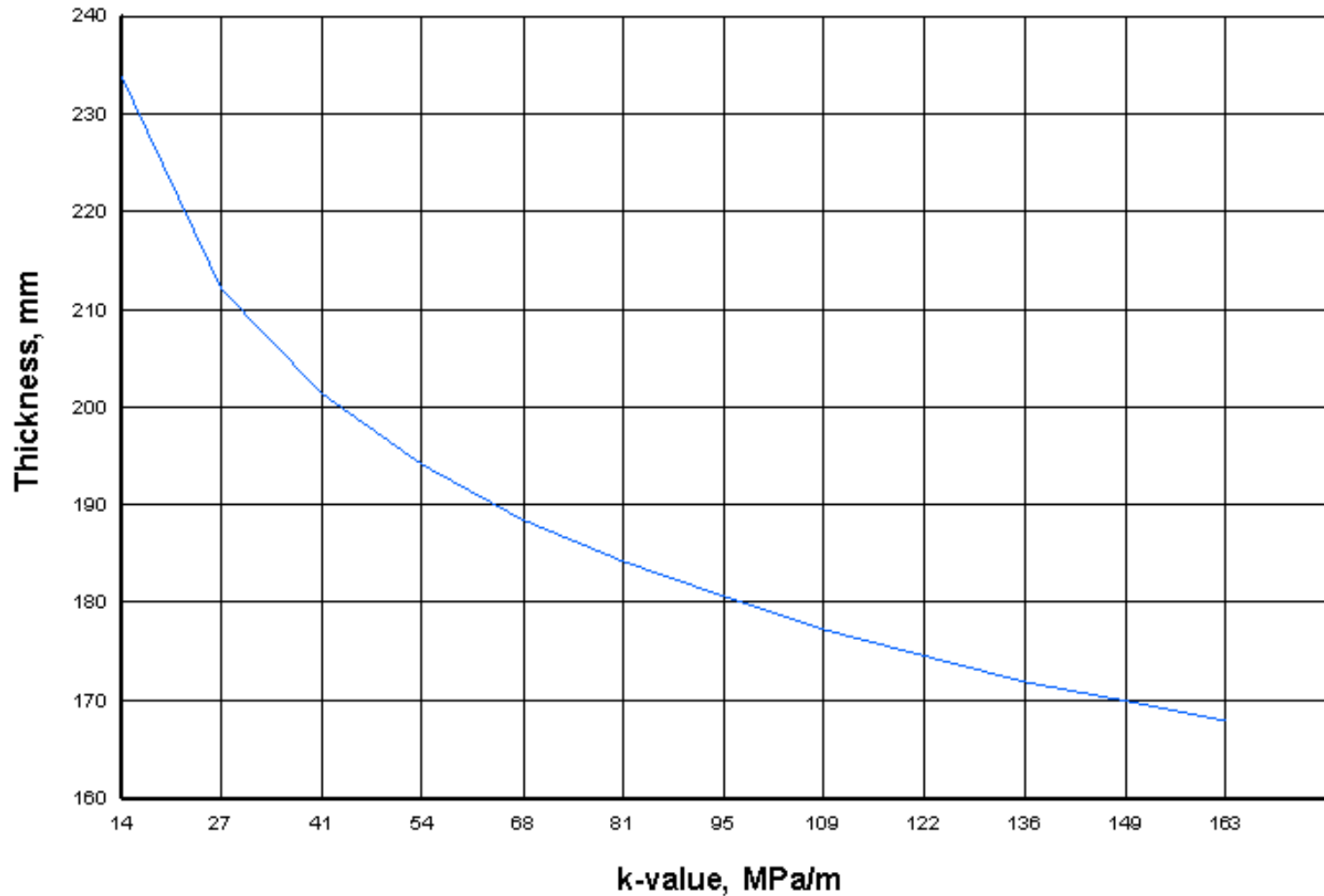
Load Transfer Rec.      Jointing Rec.

Cracking/Faulting Table      Rounding Considerations

\*Because the doweled thickness is less than 203.2 mm and cracking is the predicted cause of failure, dowel bars typically would not be recommended for the design details you provided.

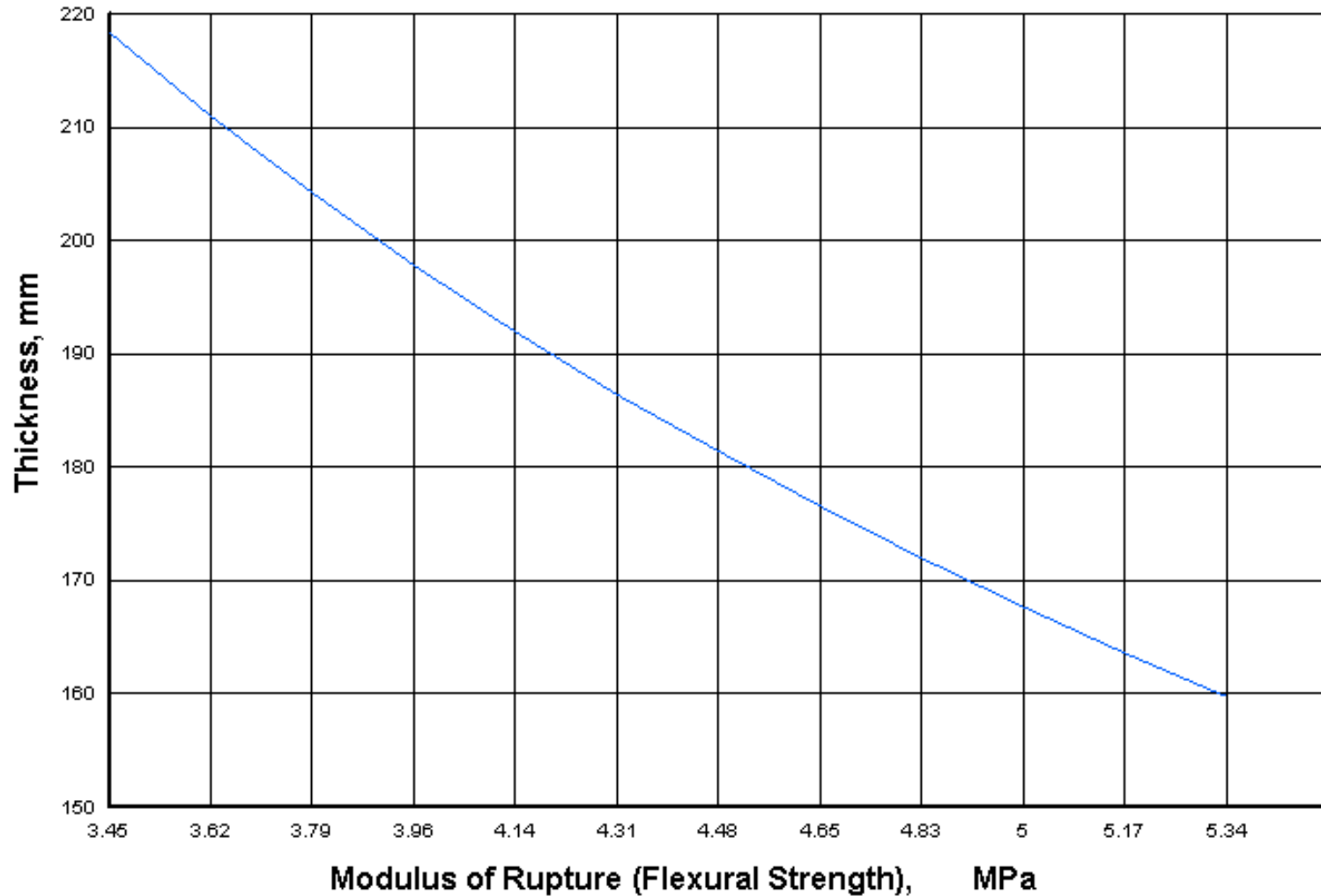
# Ejemplo (ACPA StreetPave12)

## Effect of k-value on Thickness



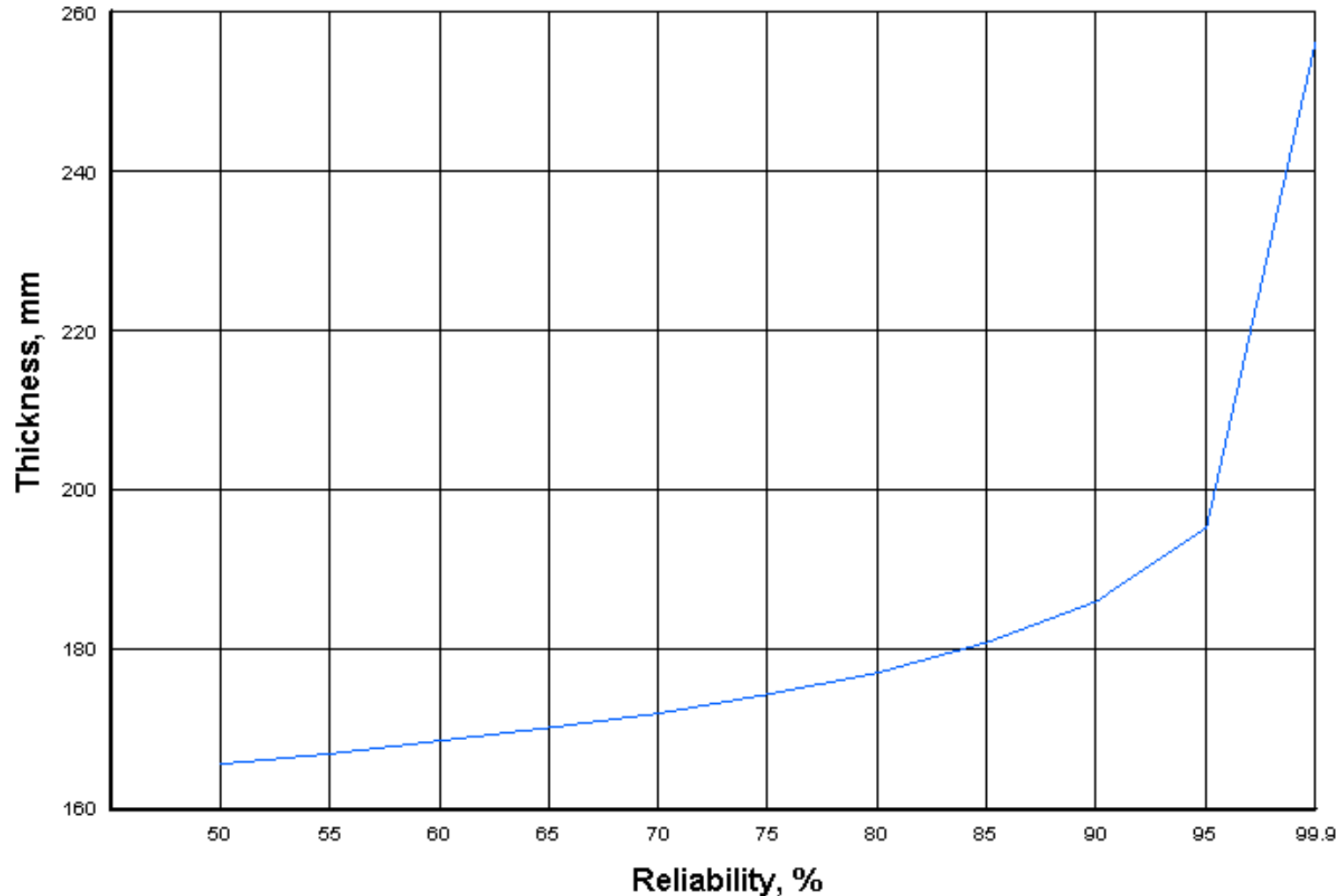
# Ejemplo (ACPA StreetPave12)

## Effect of Flexural Strength on Thickness



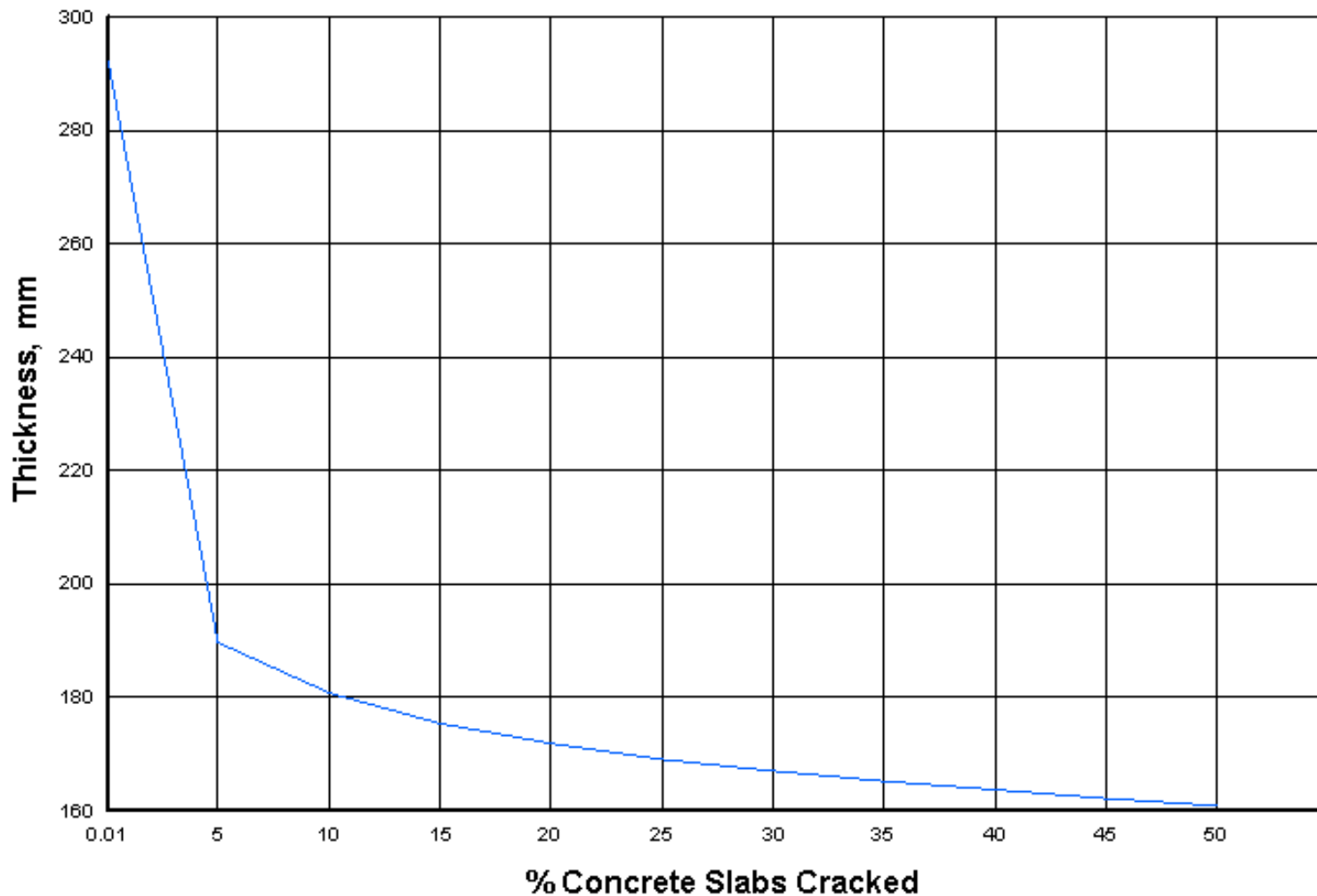
# Ejemplo (ACPA StreetPave12)

## Effect of Reliability (at 10% Slabs Cracked) on Thickness



# Ejemplo (ACPA StreetPave12)

Slab Cracking at Year 20 vs. Thickness, for 85 % Reliability





¿Preguntas?

**ING. DIEGO H. CALO**  
COORDINADOR  
DEPARTAMENTO TÉCNICO DE PAVIMENTOS

[diego.calo@icpa.org.ar](mailto:diego.calo@icpa.org.ar)