

## Propiedades Dinámicas de los suelos de fundación.

Los impulsos producidos por las vibraciones de las máquinas se transmiten en el suelo de fundación hacia todas direcciones según una serie de ondas hemisféricas y elipsoidales que parten del cimiento como foco emisor. A medida que avanzan, las ondas se atenúan, perdiendo energía y decreciendo en amplitud. Además al hallar en su camino estratos de diferente densidad, o bloques macizos de hormigón, muros subterráneos o grandes piedras, las ondas se reflejan y refractan sucesivamente y pierden la mayor parte de la energía.

Las ondas longitudinales o de dilatación son primarias y viajan en la dirección de propagación con velocidad promedio de **5 a 13 Km/seg**. Esta velocidad se relaciona con las constantes elásticas del suelo según la ecuación :

$$V_p = \sqrt{\frac{E_s \cdot (1 - \nu)}{\rho \cdot (1 - \nu) \cdot (1 - 2 \cdot \nu)}}$$

Las ondas transversales son secundarias o de corte y se desplazan perpendicularmente a la trayectoria de las primarias con velocidades de **3 a 8 Km/seg**, haciendo oscilar las partículas de suelo en el plano normal a su dirección de propagación con velocidades :

$$V_s = \sqrt{\frac{G_s}{\rho}}$$

$\nu$  = *coeficiente de Poisson del suelo*

$E_s$  = *Modulo de elasticidad longitudinal del suelo*

$G_s$  = *Modulo de elasticidad transversal del suelo*

**Valores del modulo de elasticidad transversal  $G_s$  para diferentes tipos de suelos :**

VALORES DEL MODULO DE ELASTICIDAD TRANSVERSAL $G_s$ PARA DISTINTOS TIPOS DE SUELOS	
<u>Suelo</u>	<u><math>G_s</math> (Kg / cm<sup>2</sup>)</u>
Grava arenosa densa	700
Arena de cuarzo limpia	120-200
Arena fina micacea	160
Arena limosa	100
Arcilla sedimentaria	250-350
Arcilla arenosa	120-300
Arcilla mediana	120-300
Arcilla blanda seca	170-210
Arcilla blanda humeda	90-150

**Valores del coeficiente de Poisson para diferentes tipos de suelos :**

VALORES DEL COEFICIENTE DE POISSON PARA DIFERENTES TIPOS DE SUELOS	
Suelos sin cohesión	0.25 a 0.35
Suelos cohesivos	0.35 a 0.45

**Valores del modulo de elasticidad longitudinal  $E_s$  de los suelos :**

$$E_s = 2 \cdot (1 - \nu) \cdot G_s$$

En base a la hipotesis de que el suelo se comporta como una masa semiinfinita elastica e isotropa.

**COEFICIENTES DE RIGIDEZ Y AMORTIGUAMIENTO PARA LA INTERACCION SUELO - ESTRUCTURA**

Expresiones de la rigidez  $K$  y el coeficiente de amortiguamiento  $C$  independientes de la frecuencia  $f$  de excitación, para superficies de contacto circulares y rectangulares, que tienen en cuenta la influencia del confinamiento para bloques de fundacion enterrados. Estos valores son válidos para valores de la frecuencia :

$$f < \frac{1}{\pi \cdot r_0} \cdot \sqrt{\frac{G_s}{\rho}}$$

Para bases circulares :  $r_0$  es el radio de la base

Para bases rectangulares :

$$r_0 = \sqrt{\frac{B \cdot L}{\pi}}$$

$B$  = ancho menor de la base  
 $L$  = ancho mayor de la base

**BASES RECTANGULARES :**

**RADIO EQUIVALENTE :**

Horizontal direccion larga

$$r_x = \sqrt{\frac{B \cdot L}{\pi}}$$

Giro alrededor del eje X

$$r_{\theta X} = \sqrt[4]{\frac{B^3 \cdot L}{3 \cdot \pi}}$$

Horizontal direccion corta

$$r_y = \sqrt{\frac{B \cdot L}{\pi}}$$

Giro alrededor del eje Y

$$r_{\theta Y} = \sqrt[4]{\frac{B \cdot L^3}{3 \cdot \pi}}$$

Vertical

$$r_z = \sqrt{\frac{B \cdot L}{\pi}}$$

Giro alrededor del eje Z

$$r_{\theta Z} = \sqrt[4]{\frac{B \cdot L \cdot (B^2 + L^2)}{6 \cdot \pi}}$$



**RELACION DE MASAS :**

Horizontal direccion larga

$$B_X = \frac{7 - 8 \cdot \nu}{32 \cdot (1 - \nu)} \cdot \frac{M}{\rho \cdot (r_X)^3}$$

Giro alrededor del eje X

$$B_{\theta X} = \frac{3 \cdot (1 - \nu)}{8} \cdot \frac{I_X}{\rho \cdot (r_{\theta X})^5}$$

Horizontal direccion corta

$$B_Y = \frac{7 - 8 \cdot \nu}{32 \cdot (1 - \nu)} \cdot \frac{M}{\rho \cdot (r_Y)^3}$$

Giro alrededor del eje Y

$$B_{\theta Y} = \frac{3 \cdot (1 - \nu)}{8} \cdot \frac{I_Y}{\rho \cdot (r_{\theta Y})^5}$$

Vertical

$$B_Z = \frac{1 - \nu}{4} \cdot \frac{M}{\rho \cdot (r_Z)^3}$$

Giro alrededor del eje Z

$$B_{\theta Z} = \frac{I_Z}{\rho \cdot (r_{\theta Z})^5}$$

**COEFICIENTE DE FORMA :**

Horizontal direccion larga

$$\beta_X = \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{L}{B} < 4 \\ \left( 0.846 + 0.0366 \cdot \frac{L}{B} \right) & \text{if } \frac{L}{B} \geq 4 \end{cases}$$

Giro alrededor del eje X

$$\beta_{\theta X} = 0.399 + 0.0866 \cdot \frac{B}{L}$$

Horizontal direccion corta **No tiene**

Giro alrededor del eje Y

$$\beta_{\theta Y} = 0.399 + 0.0866 \cdot \frac{L}{B}$$

Vertical

$$\beta_Z = 2.1 - 0.078 \cdot \frac{L}{B}$$

Giro alrededor del eje Z

**No tiene**

**INFLUENCIA DEL CONFINAMIENTO EN LA RIGIDEZ :**

Horizontal direccion larga

$$\eta_X = 1 + 0.55 \cdot (2 - \nu) \cdot \frac{H}{r_X}$$

Giro alrededor del eje X

$$\eta_{\theta X} = 1 + 1.2 \cdot (1 - \nu) \cdot \frac{H}{r_{\theta X}} + 0.2 \cdot (2 - \nu) \cdot \left( \frac{H}{r_{\theta X}} \right)^3$$

Horizontal direccion corta

$$\eta_Y = 1 + 0.55 \cdot (2 - \nu) \cdot \frac{H}{r_Y}$$

Giro alrededor del eje Y

$$\eta_{\theta Y} = 1 + 1.2 \cdot (1 - \nu) \cdot \frac{H}{r_{\theta Y}} + 0.2 \cdot (2 - \nu) \cdot \left( \frac{H}{r_{\theta Y}} \right)^3$$

Vertical

$$\eta_Z = 1 + 0.6 \cdot (1 - \nu) \cdot \frac{H}{r_Z}$$

Giro alrededor del eje Z **No tiene**



**RIGIDEZ :**

Horizontal direccion larga

$$K_X = 2(1 + \nu) \cdot G \cdot \sqrt{B \cdot L} \cdot \beta_X \cdot \eta_X$$

Giro alrededor del eje X

$$K_{\theta X} = \frac{G}{(1 - \nu)} \cdot \beta_{\theta X} \cdot B^2 \cdot L \cdot \eta_{\theta X}$$

Horizontal direccion corta

$$K_Y = 2(1 + \nu) \cdot G \cdot \sqrt{B \cdot L} \cdot \eta_Y$$

Giro alrededor del eje Y

$$K_{\theta Y} = \frac{G}{(1 - \nu)} \cdot \beta_{\theta Y} \cdot B \cdot L^2 \cdot \eta_{\theta Y}$$

Vertical

$$K_Z = \frac{G}{1 - \nu} \cdot \sqrt{B \cdot L} \cdot \beta_Z \cdot \eta_Z$$

Giro alrededor del eje Z

$$K_{\theta Z} = \frac{16 \cdot G \cdot (r_{\theta Z})^3}{3}$$

**INFLUENCIA DEL CONFINAMIENTO EN EL AMORTIGUAMIENTO :**

Horizontal direccion larga

$$\alpha_X = \frac{1 + 1.9 \cdot (2 - \nu) \cdot \frac{H}{r_X}}{\sqrt{\eta_X}}$$

Giro alrededor del eje X

$$\alpha_{\theta X} = \left[ 1 + 0.7 \cdot (1 - \nu) \cdot \frac{H}{r_{\theta X}} + 0.6 \cdot (2 - \nu) \cdot \left( \frac{H}{r_{\theta X}} \right)^3 \right] \cdot (\eta_{\theta X})^{-\frac{1}{2}}$$

Horizontal direccion corta

$$\alpha_Y = \frac{1 + 1.9 \cdot (2 - \nu) \cdot \frac{H}{r_X}}{\sqrt{\eta_X}}$$

Giro alrededor del eje Y

$$\alpha_{\theta Y} = \left[ 1 + 0.7 \cdot (1 - \nu) \cdot \frac{H}{r_{\theta Y}} + 0.6 \cdot (2 - \nu) \cdot \left( \frac{H}{r_{\theta Y}} \right)^3 \right] \cdot (\eta_{\theta Y})^{-\frac{1}{2}}$$

Vertical

$$\alpha_Z = \frac{1 + 1.9 \cdot (1 - \nu) \cdot \frac{H}{r_Z}}{\sqrt{\eta_Z}}$$

Giro alrededor del eje Z **No tiene**

**FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO :**

Horizontal direccion larga

$$\zeta_X = \frac{0.288}{\sqrt{B_X}} \cdot \alpha_X$$

Horizontal direccion corta

$$\zeta_Y = \frac{0.288}{\sqrt{B_Y}} \cdot \alpha_Y$$

Vertical

$$\zeta_X = \frac{0.425}{\sqrt{B_Z}} \cdot \alpha_Z$$

Giro alrededor  
del eje X

$$\eta_{\theta X} = 1 + 0.223 \cdot (B_{\theta X})^{-0.6405}$$

$$\zeta_{\theta X} = \frac{0.15 \cdot \alpha_{\theta X}}{(1 + \eta_{\theta X} \cdot B_{\theta X}) \cdot \sqrt{\eta_{\theta X} \cdot B_{\theta X}}}$$

Giro alrededor  
del eje Y

$$\eta_{\theta Y} = 1 + 0.223 \cdot (B_{\theta Y})^{-0.6405}$$

$$\zeta_{\theta Y} = \frac{0.15 \cdot \alpha_{\theta Y}}{(1 + \eta_{\theta Y} \cdot B_{\theta Y}) \cdot \sqrt{\eta_{\theta Y} \cdot B_{\theta Y}}}$$

Giro alrededor  
del eje Z

$$\zeta_{\theta Z} = \frac{0.5}{(1 + 2 \cdot B_{\theta Z})}$$

**AMORTIGUAMIENTO :**

Horizontal direccion  
larga

$$C_X = 2 \cdot \zeta_X \cdot \sqrt{K_X \cdot M}$$

Giro alrededor  
del eje X

$$C_{\theta X} = 2 \cdot \zeta_{\theta X} \cdot \sqrt{K_{\theta X} \cdot I_X}$$

Horizontal direccion  
corta

$$C_Y = 2 \cdot \zeta_Y \cdot \sqrt{K_Y \cdot M}$$

Giro alrededor  
del eje Y

$$C_{\theta Y} = 2 \cdot \zeta_{\theta Y} \cdot \sqrt{K_{\theta Y} \cdot I_Y}$$

Vertical

$$C_Z = 2 \cdot \zeta_Z \cdot \sqrt{K_Z \cdot M}$$

Giro alrededor  
del eje Z

$$C_{\theta Z} = 2 \cdot \zeta_{\theta Z} \cdot \sqrt{K_{\theta Z} \cdot I_Z}$$

**BASES CIRCULARES :**

**RELACION DE MASAS :**

Horizontal direccion  
larga

$$B_X = \frac{7 - 8 \cdot \nu}{32 \cdot (1 - \nu)} \cdot \frac{M}{\rho \cdot r^3}$$

Giro alrededor  
del eje X

$$B_{\theta X} = \frac{3 \cdot (1 - \nu)}{8} \cdot \frac{I_X}{\rho \cdot r^5}$$

Horizontal direccion  
corta

$$B_Y = \frac{7 - 8 \cdot \nu}{32 \cdot (1 - \nu)} \cdot \frac{M}{\rho \cdot r^3}$$

Giro alrededor  
del eje Y

$$B_{\theta Y} = \frac{3 \cdot (1 - \nu)}{8} \cdot \frac{I_Y}{\rho \cdot r^5}$$

Vertical

$$B_Z = \frac{1 - \nu}{4} \cdot \frac{M}{\rho \cdot r^3}$$

Giro alrededor  
del eje Z

$$B_{\theta Z} = \frac{I_Z}{\rho \cdot r^5}$$

**INFLUENCIA DEL CONFINAMIENTO EN LA RIGIDEZ :**

Horizontal dirección  
larga

$$\eta_X = 1 + 0.55 \cdot (2 - \nu) \cdot \frac{H}{r}$$

Horizontal dirección  
corta

$$\eta_Y = 1 + 0.55 \cdot (2 - \nu) \cdot \frac{H}{r}$$

Vertical

$$\eta_Z = 1 + 0.6 \cdot (1 - \nu) \cdot \frac{H}{r}$$

Giro alrededor  
del eje X

$$\eta_{\theta X} = 1 + 1.2 \cdot (1 - \nu) \cdot \frac{H}{r} + 0.2 \cdot (2 - \nu) \cdot \left(\frac{H}{r}\right)^3$$

Giro alrededor  
del eje Y

$$\eta_{\theta Y} = 1 + 1.2 \cdot (1 - \nu) \cdot \frac{H}{r} + 0.2 \cdot (2 - \nu) \cdot \left(\frac{H}{r}\right)^3$$

Giro alrededor  
del eje Z

**No tiene**

**RIGIDEZ :**

Horizontal dirección  
larga

$$K_X = \frac{32 \cdot (1 - \nu) \cdot G \cdot r}{7 - 8 \cdot \nu} \cdot \eta_X$$

Giro alrededor  
del eje X

$$K_{\theta X} = \frac{8 \cdot G \cdot r}{3 \cdot (1 - \nu)} \cdot \eta_{\theta X}$$

Horizontal dirección  
corta

$$K_Y = \frac{32 \cdot (1 - \nu) \cdot G \cdot r}{7 - 8 \cdot \nu} \cdot \eta_Y$$

Giro alrededor  
del eje Y

$$K_{\theta Y} = \frac{8 \cdot G \cdot r}{3 \cdot (1 - \nu)} \cdot \eta_{\theta Y}$$

Vertical

$$K_Z = \frac{4 \cdot G \cdot r}{1 - \nu} \cdot \eta_Z$$

Giro alrededor  
del eje Z

$$K_{\theta Z} = \frac{16 \cdot G \cdot r^3}{3}$$

**INFLUENCIA DEL CONFINAMIENTO EN EL AMORTIGUAMIENTO :**

Horizontal dirección larga

$$\alpha_X = \frac{1 + 1.9 \cdot (2 - \nu) \cdot \frac{H}{r}}{\sqrt{\eta_X}}$$

Giro alrededor del eje X

$$\alpha_{\theta X} = \left[ 1 + 0.7 \cdot (1 - \nu) \cdot \frac{H}{r} + 0.6 \cdot (2 - \nu) \cdot \left(\frac{H}{r}\right)^3 \right] \cdot (\eta_{\theta X})^{-\frac{1}{2}}$$

Horizontal dirección corta

$$\alpha_Y = \frac{1 + 1.9 \cdot (2 - \nu) \cdot \frac{H}{r}}{\sqrt{\eta_Y}}$$

Giro alrededor del eje Y

$$\alpha_{\theta Y} = \left[ 1 + 0.7 \cdot (1 - \nu) \cdot \frac{H}{r} + 0.6 \cdot (2 - \nu) \cdot \left(\frac{H}{r}\right)^3 \right] \cdot (\eta_{\theta Y})^{-\frac{1}{2}}$$

Vertical

$$\alpha_Z = \frac{1 + 1.9 \cdot (1 - \nu) \cdot \frac{H}{r}}{\sqrt{\eta_Z}}$$

Giro alrededor del eje Z

**No tiene**

**FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO :**

Horizontal direccion larga

$$\zeta_X = \frac{0.288}{\sqrt{B_X}} \cdot \alpha_X$$

Horizontal direccion corta

$$\zeta_Y = \frac{0.288}{\sqrt{B_Y}} \cdot \alpha_Y$$

Vertical

$$\zeta_Z = \frac{0.425}{\sqrt{B_Z}} \cdot \alpha_Z$$

Giro alrededor del eje X

$$\eta_{\theta X} = 1 + 0.223 \cdot (B_{\theta X})^{-0.6405}$$

$$\zeta_{\theta X} = \frac{0.15 \cdot \alpha_{\theta X}}{(1 + \eta_{\theta X} \cdot B_{\theta X}) \cdot \sqrt{\eta_{\theta X} \cdot B_{\theta X}}}$$

Giro alrededor del eje Y

$$\eta_{\theta Y} = 1 + 0.223 \cdot (B_{\theta Y})^{-0.6405}$$

$$\zeta_{\theta Y} = \frac{0.15 \cdot \alpha_{\theta Y}}{(1 + \eta_{\theta Y} \cdot B_{\theta Y}) \cdot \sqrt{\eta_{\theta Y} \cdot B_{\theta Y}}}$$

Giro alrededor del eje Z

$$\xi_{\theta Z} = \frac{0.5}{(1 + 2 \cdot B_{\theta Z})}$$

$$\zeta_{\theta Z} = \frac{0.15 \cdot \alpha_{\theta Z}}{(1 + \eta_{\theta Z} \cdot B_{\theta Z}) \cdot \sqrt{\eta_{\theta Z} \cdot B_{\theta Z}}}$$

**AMORTIGUAMIENTO :**

Horizontal direccion larga

$$C_X = 2 \cdot \zeta_X \cdot \sqrt{K_X \cdot M}$$

Giro alrededor del eje X

$$C_{\theta X} = 2 \cdot \zeta_{\theta X} \cdot \sqrt{K_{\theta X} \cdot I_X}$$

Horizontal direccion corta

$$C_Y = 2 \cdot \zeta_Y \cdot \sqrt{K_Y \cdot M}$$

Giro alrededor del eje Y

$$C_{\theta Y} = 2 \cdot \zeta_{\theta Y} \cdot \sqrt{K_{\theta Y} \cdot I_Y}$$

Vertical

$$C_Z = 2 \cdot \zeta_Z \cdot \sqrt{K_Z \cdot M}$$

Giro alrededor del eje Z

$$C_{\theta Z} = 2 \cdot \zeta_{\theta Z} \cdot \sqrt{K_{\theta Z} \cdot I_Z}$$