



M. en C. ING. ARQ. PABLO FRANCISCO PEÑA CARRERA

PASEO DE LA HERRADURA No. 394

TEL-FAX 52914083

PARQUES DE LA HERRADURA, HUIXQUILUCAN, EDO. DE MÉXICO

CED. PROF. 320817

E-MAIL: pfpc29@hotmail.com

CIMENTACIONES DE MAQUINARIA

1. Introducción

El diseño de cimentación para máquinas, es más complejo que una cimentación que soporta solamente cargas estáticas. En la cimentación de maquinas el diseñador debe considerar, aparte de las cargas estáticas, las fuerzas dinámicas ocasionadas por la operación de la máquina la cual genera fuerzas y momentos dinámicos desbalanceados y esto hace necesarios procedimientos especiales de diseño.

2. Tipos de máquinas

2.1. Máquinas que producen fuerzas de impacto como

2.1.1. Martillos de forja

2.1.2. Prensas



Prensa de extrusión

2.2. Máquinas que producen fuerzas periódicas

2.2.1. Máquinas reciprocantes como las compresoras

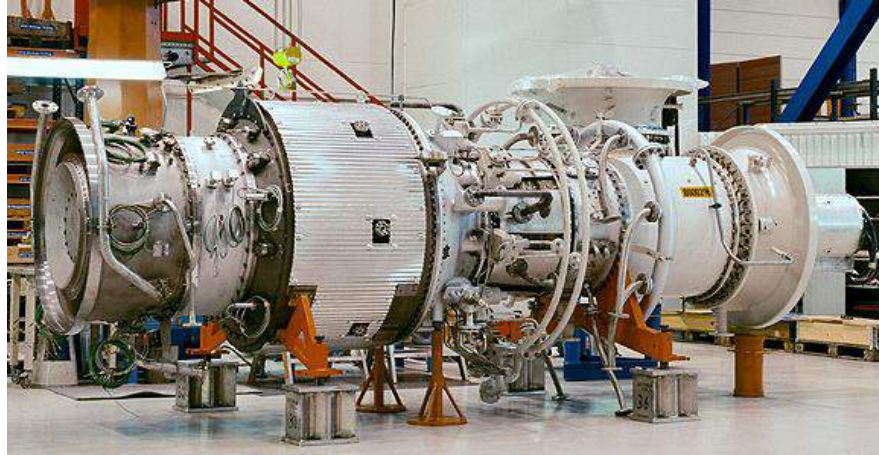


Compresora



2.3. Máquinas de alta velocidad tales como

2.3.1. Turbinas y



Turbina

2.3.2. Compresoras rotatorias

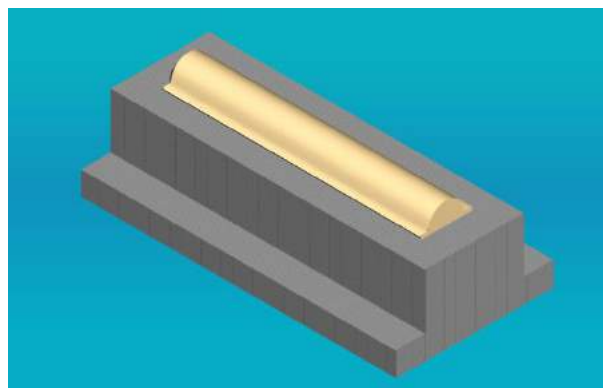
2.4. Otras máquinas misceláneas, como antenas de radar

Por su frecuencia (en revoluciones por minuto) de operación, las máquinas pueden ser divididas en tres categorías

- | | | |
|------|------------------------------|--------------|
| i. | Frecuencia baja a mediana | 0-500 rpm |
| ii. | Frecuencia de mediana a alta | 300-1000 rpm |
| iii. | Frecuencia muy alta | > 1000 rpm |

3. Tipos de cimentaciones de máquinas

3.1. Cimentaciones tipo bloque consistentes en un pedestal de concreto sobre el cual "reposa" la máquina.





M. en C. ING. ARQ. PABLO FRANCISCO PEÑA CARRERA

PASEO DE LA HERRADURA No. 394

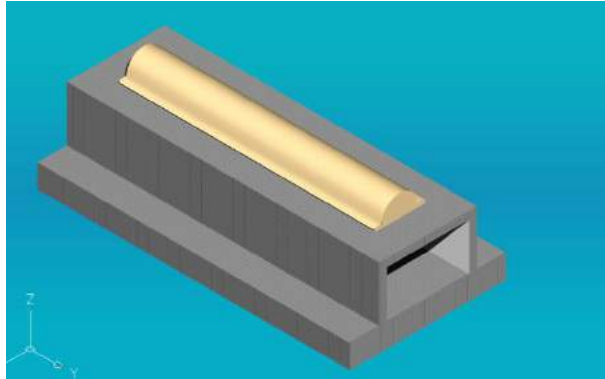
TEL-FAX 52914083

PARQUES DE LA HERRADURA, HUIXQUILUCAN, EDO. DE MÉXICO

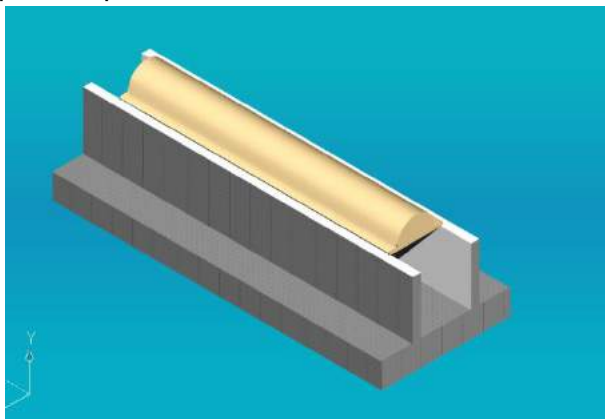
CED. PROF. 320817

E-MAIL: pfpc29@hotmail.com

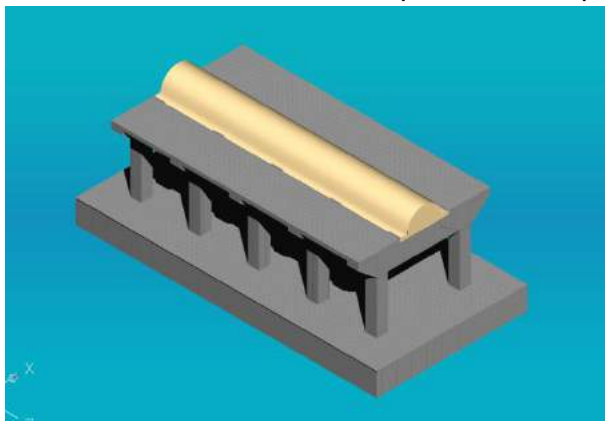
- 3.2. Cimentaciones tipo cajón consistentes en un bloque hueco de concreto en cuya losa tapa soporta a la máquina.



- 3.3. Cimentaciones tipo muro, consistentes en un par de muros los cuales soportan a la máquina en la parte superior.



- 3.4. Cimentaciones tipo pórtico, consistentes de columnas verticales que en su parte superior soportan un marco horizontal el cual soporta a la máquina.





M. en C. ING. ARQ. PABLO FRANCISCO PEÑA CARRERA

PASEO DE LA HERRADURA No. 394

TEL-FAX 52914083

PARQUES DE LA HERRADURA, HUIXQUILUCAN, EDO. DE MÉXICO

CED. PROF. 320817

E-MAIL: pfpc29@hotmail.com

4. Requerimientos generales de una cimentación de maquinaria

- 4.1. La cimentación debe ser capaz de soportar las cargas aplicadas sin que se presente falla por cortante o aplastamiento.
- 4.2. Los asentamientos deben estar dentro de los límites permisibles.
- 4.3. El centro de gravedad del conjunto máquina-cimentación debe coincidir con el centroide del área de contacto entre el suelo y la cimentación.
- 4.4. No debe ocurrir resonancia, por lo tanto la frecuencia natural del sistema cimentación-suelo debe ser muy alta o muy baja en comparación con la frecuencia de operación de la máquina (esta operación incluye el encendido y el apagado de la máquina). Para máquinas de baja velocidad, la frecuencia natural debe ser alta y viceversa.
- 4.5. Las amplitudes bajo condiciones de servicio debe estar dentro de límites permisibles, los cuales deben ser prescritos por los fabricantes de las máquinas.
- 4.6. Todas las partes rotantes y reciprocantes de una máquina deben estar bien balanceadas para minimizar las fuerzas y los momentos desbalanceados. Esto es responsabilidad de los ingenieros mecánicos. Algunos aspectos que contribuyen al desbalanceo de máquinas rotatorias son: el desalineamiento durante la instalación, el daño o corrosión de las partes móviles y también las deflexiones por gravedad del eje de rotación de la máquina.
- 4.7. Las cimentaciones de las máquinas deben estar separadas de edificios, conexiones o máquinas adyacentes mediante juntas adecuadas.
- 4.8. El nivel freático, de existir, debe estar lo más profundo posible, por lo menos abajo de un cuarto del ancho de la cimentación, respecto del lecho inferior de esta, ya que el agua es un buen conductor de las vibraciones.
- 4.9. Las cimentaciones de deben estar protegidas del contacto con el aceite por medio de protectores resistentes a los ácidos o un tratamiento químico adecuado.
- 4.10. Las cimentaciones de las máquinas deben ser desplantadas a un nivel más bajo que el nivel de desplante de las cimentaciones de edificios adyacentes.
- 4.11. El movimiento de la cimentación y del suelo en que descansa, para cualquier modo de vibración y cualquier combinación de cargas y velocidades de operación no debe ser objetable para la máquina misma, ni para máquinas, conexiones o estructuras vecinas, no para las personas que se encuentren en lugares inmediatos.

5. Vibraciones objetables

El cuerpo humano es sumamente sensible a movimientos vibratorios. Las amplitudes de vibración perceptibles por el hombre son sólo una fracción de las amplitudes que interfieren con la operación de una máquina o que son objetables para las estructuras civiles. Por consiguiente las vibraciones que no sean perjudiciales a estructuras o a maquinaria en operación son tolerables para las personas, aún cuando rebasen los límites de percepción humana.



En la figura 5.1, se establecen los límites de amplitud de desplazamiento vertical admisible, en función de la frecuencia.

En la tabla T.5.1, D. D. Barkan propone los valores en ella contenidos para describir el desempeño de la maquinaria.

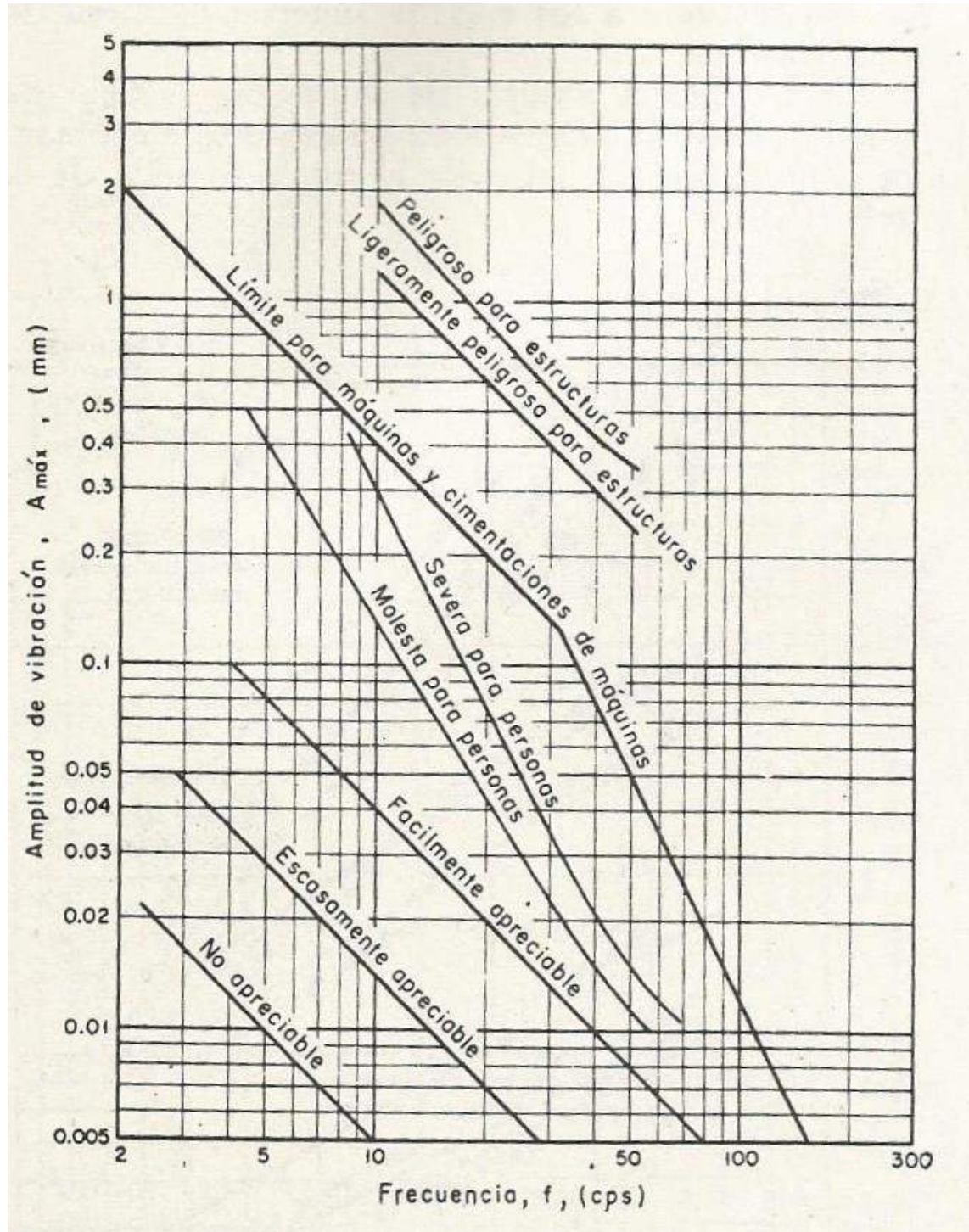


Figura 5.1. Amplitud permisible de vibración vertical, en función de la frecuencia.



TABLA T 5.1

Tipo	Amplitud permisible (mm)
1. Maquinaria de baja velocidad (500 rpm)	0.20 a 0.25
2. Cimentaciones para martillos	1.00 a 1.20
3. Maquinaria de alta velocidad	
a. a 3000 rpm	
i. Vibraciones verticales	0.020 a 0.030
ii. Vibraciones horizontales	0.040 a 0.050
b. a 1500 rpm	
iii. Vibraciones verticales	0.040 a 0.060
iv. Vibraciones horizontales	0.070 a 0.090
6. Aislamiento de las vibraciones	
<p>Si una máquina es rígidamente atornillada al piso, el movimiento vibratorio de la máquina en sí mismo puede ser reducido, pero la vibración transmitida al piso será grande. Esto puede producir efectos perjudiciales incluso a largas distancias. Por otro lado, si se proporciona bajo la máquina o su cimentación un soporte flexible esto puede causar movimiento significativo de la máquina durante su operación normal o durante el arranque y el apagado de la misma. Para obtener una solución intermedia entre ambos extremos, es necesario elegir una adecuada frecuencia natural para la cimentación de la máquina.</p> <p>Para evitar vibración excesiva debida al trabajo de la máquina, se deberán considerar en el diseño los siguientes puntos:</p>	
a. Selección del sitio:	La vibración causada por la maquinaria tal como prensas de forja, martillos, compresores, etc, debe ser localizada lo más lejos posible de la zona donde se efectúen trabajos de precisión como el torneado, por ejemplo.
b. Balanceo de cargas dinámicas:	La máquina debe estar dinámicamente balanceada para limitar las fuerzas desbalanceadas generadas por su operación.
c. Adoptar la cimentación adecuada:	La cimentación para la maquinaria debe ser diseñada usando criterios aceptados y no mediante recetas. Los parámetros



M. en C. ING. ARQ. PABLO FRANCISCO PEÑA CARRERA

PASEO DE LA HERRADURA No. 394

TEL-FAX 52914083

PARQUES DE LA HERRADURA, HUIXQUILUCAN, EDO. DE MÉXICO

CED. PROF. 320817

E-MAIL: pfpc29@hotmail.com

necesarios de diseño tales como constantes del suelo deben ser evaluadas en el sitio donde la cimentación de la máquina será localizada. Esto es especialmente necesario en casos donde la vibración será causada por maquinaria tal como martillos, compresores y similares.

- d. **Proporcionando aislamiento:** Las cimentaciones de las máquinas deben estar completamente separadas de pisos y componentes de edificios adyacentes, mediante capas adecuadas de aislante.

6.1. Transmisibilidad

La transmisibilidad puede ser determinada mediante una ecuación obtenida de la teoría de la vibración:

$$T = \sqrt{\frac{1+4\eta^2\zeta^2}{(1-\eta^2)^2+4\eta^2\zeta^2}}, \text{ donde:}$$

ζ : es el factor de amortiguamiento

Para vibraciones con amortiguamiento nulo o despreciable, la transmisibilidad puede ser calculada mediante la ecuación:

$$T = \left| \frac{1}{1-\eta^2} \right|, \text{ donde}$$

$$\eta = \frac{f_m}{f_n}, \text{ donde}$$

f_m : Frecuencia de operación de la máquina

f_n : Frecuencia natural de la cimentación

El diseño debe asegurar adecuado aislamiento para todos los posible modos de vibrar ya sean translacionales y rotacionales.

La relativa reducción de la vibración transmitida se calcula mediante:

$$R = (1 - T)$$

6.2. Métodos de aislamiento en cimentaciones de máquinas

Ha sido una creencia convencional que un bloque pesado de cimentación proporcionaría adecuado aislamiento contra vibraciones producidas por la máquina montada sobre él. Esta creencia ha conducido a sugerir muchas fórmulas empíricas fórmulas para el peso del block de cimentación, en relación a la capacidad o el peso de la máquina. Hay empresas de ingeniería que para un diseño preliminar o prediseño aún emplean relaciones entre la potencia en vatios



M. en C. ING. ARQ. PABLO FRANCISCO PEÑA CARRERA

PASEO DE LA HERRADURA No. 394

TEL-FAX 52914083

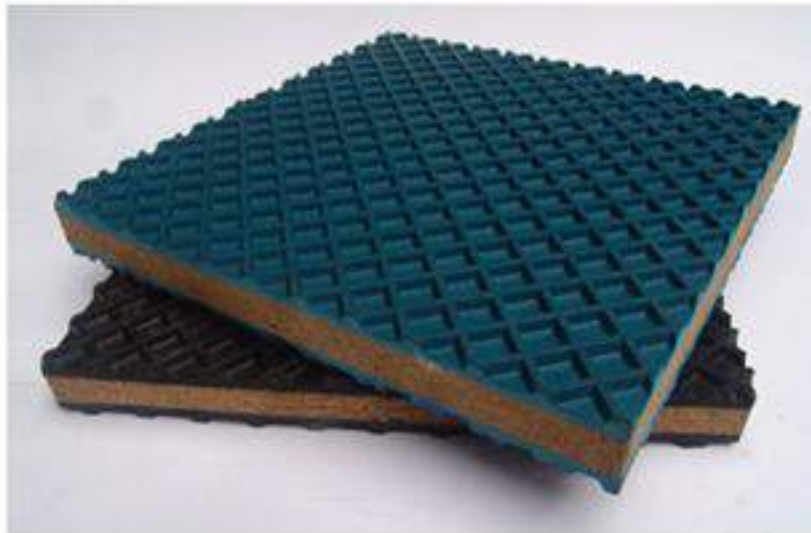
PARQUES DE LA HERRADURA, HUIXQUILUCAN, EDO. DE MÉXICO

CED. PROF. 320817

E-MAIL: pfpc29@hotmail.com

requerida por la máquina y el peso del bloque de cimentación o relaciones entre los kilos que pesa la máquina y los kilos de peso del bloque de cimentación. Hoy día se sabe que para proporcionar aislamiento efectivo la máquina o su cimentación debe ser montada sobre un adecuado medio aislante propiamente diseñado mediante la teoría de la transmisibilidad.

Existen diferentes formas de medios aislantes en el comercio, como el corcho, el fieltro; carpetas de neopreno con diferentes patrones;



resortes helicoidales de acero, ampliamente usados en la práctica;





M. en C. ING. ARQ. PABLO FRANCISCO PEÑA CARRERA

PASEO DE LA HERRADURA No. 394

TEL-FAX 52914083

PARQUES DE LA HERRADURA, HUIXQUILUCAN, EDO. DE MÉXICO

CED. PROF. 320817

E-MAIL: pfpc29@hotmail.com

una amplia oferta de montajes de neopreno a cortante colocados directamente entre la base de la máquina y el piso evitando con ello una costosa cimentación.



Asimismo se cuenta con resortes de aire o cojines de aire.





Ejemplo de aplicación

(tomado de la referencia 1)

Una máquina rotatoria tiene una velocidad de operación de 1500 rpm diseñe un adecuado soporte de neopreno para una de las patas de la máquina que transfiera una carga $P = 200$ kg si el grado de aislamiento necesario es del 87.5%.

Datos:

Tamaño del bloque $b=5$ cm, $l=10$ cm, $h=4$ cm

Grado de dureza de orilla del bloque = 55

Resistencia admisible a compresión = 8 kg/cm²

Deformación admisible a compresión = 0.5 cm

Módulo de elasticidad $E=33.13$ kg/cm²

Módulo de incompresibilidad $B=11111.11$ kg/cm²

$\alpha = 0.64$

Frecuencia de operación (ω_m) = 1500/60=25 cps

Porcentaje de reducción en vibración = $R = 0.875$

Transmisibilidad = $T = 1-0.875 = 0.125$.

Despreciando el amortiguamiento, $T = \left| \frac{1}{1-\eta^2} \right| = 0.125$

$$\eta = \sqrt{\frac{T-1}{T}}$$

$$\eta = 2.646$$

Frecuencia natural = $f_n = 1500/2.646 = 567$ cpm

La deformación por compresión (δ) del neopreno está dada por la relación;

$$f_n = \frac{300}{\sqrt{\delta}}, \text{ de donde } \delta = \frac{300}{f_n} = 300/567 = 0.53 \text{ cm}$$

La rigidez es: $K = P/\delta = 200/0.53 = 377.36$ kg/cm

$$\text{Relación de áreas } A_r = \frac{lb}{2h(l+b)} = \frac{10 \times 5}{2 \times 4(10+5)} = 0.4166$$

Rigidez a la compresión del bloque de neopreno

$$\frac{1}{K_c} = \frac{h}{A} \left[\frac{1}{E(1 + 2\alpha A_r^2)} + 1/B \right]$$

$$\frac{1}{K_c} = \frac{4}{10 \times 5} \left[\frac{1}{33.13(1 + 2 \times 0.64 \times 0.4166^2)} + \frac{1}{11111.11} \right] = 0.001983$$

$K_c = 504.29$ Kg/cm

Deflexión $\delta = 200/504.29 = 0.40$ cm < 0.50 cm

Esfuerzo en el bloque = $200 / (5 \times 10) = 4$ kg/cm² < 8 kg/cm²

La deflexión y el esfuerzo están dentro de los valores permisibles.





M. en C. ING. ARQ. PABLO FRANCISCO PEÑA CARRERA

PASEO DE LA HERRADURA No. 394

TEL-FAX 52914083

PARQUES DE LA HERRADURA, HUIXQUILUCAN, EDO. DE MÉXICO

CED. PROF. 320817

E-MAIL: pfpc29@hotmail.com

7. Aspectos constructivos de cimentaciones de máquinas

7.1. Concreto

Se recomienda, en el Distrito Federal en uso de concreto clase 1. El colado del bloque de cimentación debe hacerse por capas horizontales. El colado de la superestructura debe hacerse en forma monolítica con la cimentación para evitar juntas frías. En el caso de cimentaciones aporricadas puede colarse la cimentación y el de las columnas puede retrasarse. La ubicación y el tratamiento de las juntas debe ser especificado en el proyecto estructural.

7.2. Refuerzo

El refuerzo se determinará conforme al cálculo de los elementos de la cimentación. El refuerzo mínimo será el que determinen las Normas Técnicas para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto en vigor.

7.3. Cimentación

A menos que se tomen medidas especiales para aumentar la compacidad, se debe evitar cimentar maquinaria en suelos granulares cuya compacidad relativa sea inferior a 90%.

8. Ejemplo de aplicación de una cimentación para máquina de baja velocidad (tomado y desarrollado de la referencia 2)

8.1. Una máquina se va a cimentar sobre un suelo de arcilla medianamente compacta, cuyas características, determinadas mediante pruebas de laboratorio y pruebas de carga y descarga con placas rígidas, en campo, son:

Peso volumétrico del suelo $\gamma_b = 1.5 \text{ ton/m}^3$

Densidad del suelo $\rho = 0.153 \text{ ton-seg}^2/\text{m}^4$

Capacidad de carga última a compresión del suelo $q_u = 103.4 \text{ ton/m}^2$

Presión de contacto admisible $= 103.4/3 = 34.45 \text{ ton/m}^2$

Módulo de elasticidad del suelo $E = 1000 \text{ kg/cm}^2$

Coefficiente de Poisson $\nu = 0.45$

Las características de la máquina, proporcionadas por el fabricante son:

Peso total = 90 ton

Masa total = 9.18 ton-seg²/m

Peso de elementos giratorios = 16 ton

Masa de elementos giratorios = 1.63 ton-seg²/m

Velocidad de operación = 300 rpm = 5 cps

Altura de la flecha = 1.20 m

Dimensiones en planta 7.00 m X 2.50 m



M. en C. ING. ARQ. PABLO FRANCISCO PEÑA CARRERA

PASEO DE LA HERRADURA No. 394

TEL-FAX 52914083

PARQUES DE LA HERRADURA, HUIXQUILUCAN, EDO. DE MÉXICO

CED. PROF. 320817

E-MAIL: pfpc29@hotmail.com

Altura del centro de masa = 0.90 m = h_m

Momento de inercia de masa respecto a eje centroidal paralelo al eje de cabeceo
= 3.0 ton-m.seg² = I_m

Fuerza horizontal componente primaria = 0

Fuerza horizontal componente secundaria = 0

Par horizontal componente primaria = 1.80 ton-m

Par horizontal componente secundaria = 3.74 ton-m

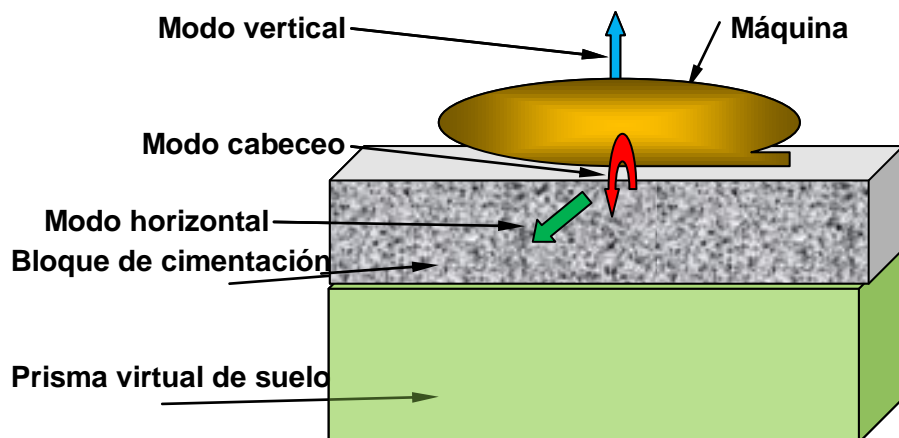
Fuerza vertical componente primaria = 0.30 ton

Fuerza vertical componente secundaria = 0

Par vertical componente primaria = 3.60 ton-m

Par vertical componente secundaria 2.35 ton-m

Los modos de vibrar considerados son:



Por ser una máquina de baja velocidad (300 rpm < 500 rpm), ver sección 2.4 de este trabajo.

Se propondrá un bloque de cimentación de $l=9.00$ m X $b=3.00$ m X $h=1.00$ m

Peso = 65 ton

Masa = 6.63 ton-seg²/m

Momento de inercia mínimo del área de la base = $I_o = 20.25$ m⁴

Momento de inercia de la masa respecto al eje de cabeceo =

= $m(4h^2+b^2)/12 = (6.63)(4 \times 1^2 + 3^2)/12 \sim 7.2$ ton-m-seg²

De lo anterior se tiene:

Presión estática de contacto = $p_e = (90+65)/(3 \times 9) = 5.74$ ton/m²

Presión dinámica de contacto afectando al peso de la máquina de un factor de impacto de 1.5 = $p_d = (1.5 \times 90 + 65) / (3 \times 9) = 7.4$ ton/m²

Momento de inercia de la masa de la máquina respecto al eje de cabeceo =

= $1.63 \times 2.20^2 + (9.18 - 1.63) \times 1.90^2 = 35.15$ ton-m-seg²



M. en C. ING. ARQ. PABLO FRANCISCO PEÑA CARRERA

PASEO DE LA HERRADURA No. 394

TEL-FAX 52914083

PARQUES DE LA HERRADURA, HUIXQUILUCAN, EDO. DE MÉXICO

CED. PROF. 320817

E-MAIL: pfpc29@hotmail.com

Revisión del diseño preliminar

La presión de contacto admisible de 34.45 ton/m², es bastante mayor que la presión dinámica de 7.40 ton/m², además en la figura 8.1, para una superficie de contacto de 27 m² y cimentación en arenisca (aunque en la gráfica de que disponemos aparece el suelo de arcilla plástica, el suelo de este ejemplo es de arcilla medianamente compacta, que se asemeja, para este efecto más a la arenisca que a la arcilla plástica. **Para el uso de esta gráfica debe consultarse al asesor de Mecánica de Suelos**) de donde se obtiene una frecuencia natural reducida del orden de 25 y la frecuencia resonante de vibración vertical del conjunto es $10.4 \text{ cps} = 25/\sqrt{p_e} = 25/\sqrt{5.74}$. Esta frecuencia es superior al doble de la frecuencia de operación de la máquina (=5 cps), por lo cual el diseño preliminar es aceptable en lo referente a frecuencia de resonancia.



8.2. Respuesta del sistema a perturbaciones externas

En primer lugar, se obtienen los siguientes valores de las constantes elásticas del elemento flexible:

- Modo de vibración vertical

$$K_V = \frac{E}{1 - \nu^2} k_v \sqrt{A}$$

De la Tabla 8.2.1, se obtiene el valor de k_v

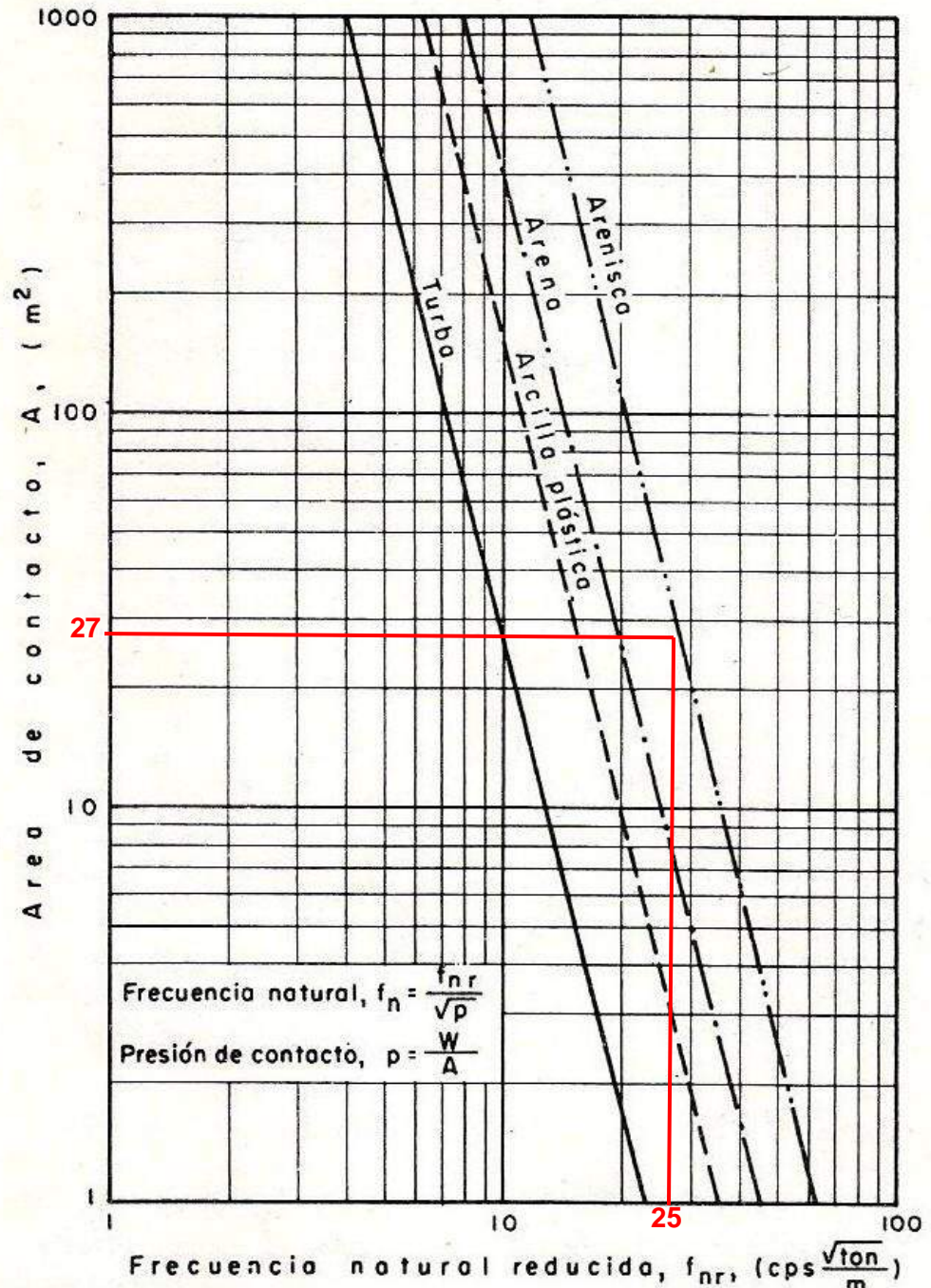


Figura 8.1. Frecuencia natural reducida, en función del área de contacto de la cimentación.



Tabla 8.2.1
Valores del coeficiente k_v

Relación largo/ancho	k_v
1.0	1.08
2.0	1.10
3.0	1.15
5.0	1.24
10.0	1.41

La cimentación tiene una relación largo/ancho = $9/3 = 3.0$, por lo tanto le corresponde un $k_v = 1.15$

$$K_v = \frac{10000}{1 - 0.45^2} \times 1.15 \times \sqrt{9 \times 3}$$

$$K_v = 74,928.84 \text{ ton/m}$$

- Modo de vibración horizontal

$$K_h = \frac{E}{1 - \nu^2} k_h \sqrt{A}$$

De la Tabla 8.2.2, se obtiene el valor de k_h

Tabla 8.2.2.

Valores del coeficiente k_h

Desplazamiento horizontal en dirección paralela al lado largo

ν	Relación largo/ancho						
	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0	10.0
0.1	1.040	1.000	1.010	1.020	1.050	1.150	1.250
0.2	0.990	0.938	0.942	0.945	0.975	1.050	1.160
0.3	0.926	0.868	0.864	0.870	0.906	0.950	1.040
0.4	0.844	0.792	0.770	0.784	0.806	0.850	0.940
0.5	0.770	0.704	0.692	0.686	0.700	0.732	0.940



De la tabla se obtiene $k_v = 0.753$

$$K_h = \frac{10000}{1 - 0.45^2} \times 0.753 \times \sqrt{9 \times 3}$$

$$K_h = 49,062 \text{ ton/m}$$

- Modo de vibración de cabeceo

$$K_c = \frac{E}{1 - \nu^2} k_c \frac{I_o}{\sqrt{A}}$$

Tabla 8.2.3
Valores del coeficiente k_c
Cabeceo respecto al eje paralelo al lado largo

Relación largo/ancho	k_c
1.0	1.984
1.5	2.254
2.0	2.510
3.0	2.955
5.0	3.700
10.0	4.981

De la tabla se obtiene $k_c = 2.955$

$$K_c = \frac{10000}{1 - 0.45^2} \times 2.955 \times \frac{20.2}{\sqrt{9 \times 3}}$$

$$K_c = 144,044 \text{ ton - m}$$

Tabla 8.2.4
PARÁMETROS DEL MODELO

Modo de vibración	Altura del prisma Virtual de suelo	Constante de amortiguamiento lineal
Vertical	$h_v = 0.26\sqrt{A}$	$C_v = 6.7 \sqrt{K_v \rho h_v^3}$
Horizontal	$h_h = 0.05\sqrt{A}$	$C_h = 41.1 \sqrt{K_h \rho h_h^3}$
Cabeceo	$h_c = 0.35\sqrt{A}$	$C_c = 0.97 \sqrt{K_c \rho h_c^5}$

$$h_v = 1.35 \text{ m}$$

$$C_v = 1,125.24 \text{ ton-seg/m}$$

$$h_h = 0.26 \text{ m}$$

$$C_h = 472.08 \text{ ton-seg/m}$$

$$h_c = 1.82 \text{ m}$$

$$C_c = 643.5 \text{ ton-m-seg}^2$$



De las alturas del prisma virtual de suelo se obtienen los siguientes valores

$$M_v = Aph_v = 27 \times 0.153 \times 1.35 = 5.58 \text{ ton} - \text{seg}^2/\text{m}$$

$$M_h = Aph_h = 27 \times 0.153 \times 0.26 = 1.07 \text{ ton} - \text{seg}^2/\text{m}$$

$$I_c = \frac{m}{12} (4h_c^2 + b^2) = \frac{1.82 \times 27 \times 0.153}{12} (4 \times 1.82^2 + 3^2) = 13.94 \text{ ton} - \text{m} - \text{seg}^2$$

$$\omega_v = \sqrt{\frac{K_v}{M_v + M}}$$

$$\omega_v = \sqrt{\frac{74,928.84}{5.58 + 9.18 + 6.63}} = 59.19 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} = 9.42 \text{ cps}$$

$$\xi_v = \frac{C_v}{2\sqrt{K_v(M_v + M)}} = \frac{1,125.24}{2\sqrt{74,928.84(5.58 + 9.18 + 6.63)}} = 0.444$$

$$\omega_h = \sqrt{\frac{K_h}{M_h + M}}$$

$$\omega_h = \sqrt{\frac{49,062}{1.07 + 9.18 + 6.63}} = 53.91 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} = 8.58 \text{ cps}$$

$$\xi_h = \frac{C_h}{2\sqrt{K_h(M_h + M)}} = \frac{472.08}{2\sqrt{49062(1.07 + 9.18 + 6.63)}} = 0.259$$

$$\omega_c = \sqrt{\frac{K_c}{I_c + I}}$$

$$\omega_c = \sqrt{\frac{144,044}{13.94 + 7.2 + 36.1}} = 50.2 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} = 7.98 \text{ cps}$$

$$\xi_c = \frac{C_c}{2\sqrt{K_c(I_c + I)}} = \frac{643.5}{2\sqrt{144044(13.94 + 7.2 + 36.1)}} = 0.112$$

- 8.3. Cálculo de la altura del centro de gravedad del sistema máquina-cimentación-suelo. Como el prisma virtual del suelo tiene tantos valores de altura como modos de vibrar fueron considerados, decir tres: $h_v = 1.35$ m, $h_h = 0.26$ m y



M. en C. ING. ARQ. PABLO FRANCISCO PEÑA CARRERA

PASEO DE LA HERRADURA No. 394

TEL-FAX 52914083

PARQUES DE LA HERRADURA, HUIXQUILUCAN, EDO. DE MÉXICO

CED. PROF. 320817

E-MAIL: pfpc29@hotmail.com

$h_c = 1.82$ m, se recomienda obtener la media de la altura menor más la altura mayor, esto es:

$$\bar{h} = (1.82 + 0.26) / 2 = 1.04 \text{ m}$$

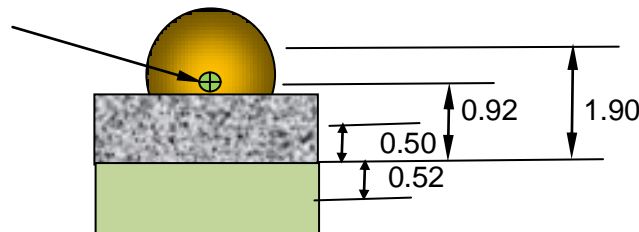
La masa del prisma virtual de suelo, será:

$$m_{pv} = 27 \times 1.04 \times 0.153 = 4.29 \text{ ton} - \text{seg}^2/\text{m}$$

Por lo tanto tomando momentos respecto del centro de la base del bloque de la cimentación, tendremos que la altura del centro de gravedad general respecto de la superficie de contacto es:

$$\bar{y}_g = \frac{9.18 \times 1.90 + 6.63 \times 0.50 - 4.29 \times 0.52}{9.18 + 6.63 + 4.29} = 0.92 \text{ m}$$

centro del conjunto
(centro de gravedad
general)



Los momentos de inercia de masa del prisma virtual de suelo y del conjunto máquina-cimentación, respecto del eje que pasa por el centro de gravedad general y es paralelo al eje de cabeceo, son:

Para la masa del prisma virtual de suelo

$$\bar{I}_c = 4.29 \left[\left(\frac{1.04^2 + 3.00^2}{12} \right) + (0.92 + 0.52)^2 \right] = 12.5 \text{ ton} - \text{m} - \text{seg}^2$$

Para la máquina

$$\bar{I}_{maq} = (9.18 - 1.63) \times (1.90 - 0.92)^2 + 1.63 \times (2.20 - 0.92)^2 = 9.92 \text{ ton} - \text{m} - \text{seg}^2$$

Para la masa del bloque de cimentación

$$\bar{I}_{cm} = 6.63 \left[\left(\frac{1.00^2 + 3.00^2}{12} \right) + (0.92 - 0.50)^2 \right] = 6.70 \text{ ton} - \text{m} - \text{seg}^2$$

Para el conjunto máquina-cimentación

$$\bar{I}_{cm} + \bar{I}_{maq} = 6.70 + 9.92 = 16.62 \text{ ton} - \text{m} - \text{seg}^2$$

El factor γ , será:

$$\gamma = \frac{12.5 + 16.62}{13.94 + 35.15 + 7.20} = 0.52$$

Frecuencias de vibración asociada

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{1}{2\gamma} \left[\omega_c^2 + \omega_h^2 \pm \sqrt{(\omega_c^2 + \omega_h^2)^2 - 4\gamma\omega_c^2\omega_h^2} \right]$$



M. en C. ING. ARQ. PABLO FRANCISCO PEÑA CARRERA

PASEO DE LA HERRADURA No. 394

TEL-FAX 52914083

PARQUES DE LA HERRADURA, HUIXQUILUCAN, EDO. DE MÉXICO

CED. PROF. 320817

E-MAIL: pfpc29@hotmail.com

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{1}{2 \times 0.52} \left[50.2^2 + 53.91^2 \pm \sqrt{(50.2^2 + 53.91^2)^2 - 4 \times 0.52 \times 50.2^2 \times 53.91^2} \right]$$

$$\omega_1 = 94.03 \text{ rad/seg} = \underline{14.97 \text{ cps}}$$

$$\omega_2 = 40.70 \text{ rad/seg} = \underline{6.48 \text{ cps}}$$

La frecuencia resonante mínima, de las dos anteriores, (6.48 cps) es ligeramente superior a la velocidad de operación de la máquina la cual es de 5.0 cps, por lo cual lo recomendable es aumentar las dimensiones en planta del bloque de cimentación y disminuir la altura del mismo. Para una máquina de baja velocidad, como lo es esta, el autor de estas líneas recomienda que la menor de las dos frecuencias anteriores sea superior de un 60% a un 100% la frecuencia de operación de la máquina, en este caso $1.6 \leq \omega_{\text{mínima}}/\omega_{\text{máquina}} \leq 2$.

De acuerdo con lo anterior, se probó con un bloque de cimentación de 9.60m X 3.20 m X 0.90 m que resultó satisfactorio ya que las frecuencias calculadas fueron:

$$\omega_1 = \underline{14.67 \text{ cps}}$$

$$\omega_2 = \underline{8.01 \text{ cps}}$$

Resultando $8.01 \text{ cps} > 1.6 \times 5 \text{ cps} = 8.0 \text{ cps}$

Con lo cual es diseño es satisfactorio por frecuencia resonante mínima.

REFERENCIAS

1. Srinivasulu, P & Vaidyanathan, C. V., 1980, *Handbook of Machine Foundations*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd, New Delhi.
2. Nieto, José Antonio y Resendiz, Daniel, 1967, *Criterios de Diseño para Cimentación de Maquinaria*, UNAM, México.
3. Peña Carrera, Pablo Francisco, 1989, *Proyecto Estructural de Tren de Prueba de Motores*, inédito.
4. Peña Carrera, Pablo Francisco, 2005-2007, *Proyecto Estructural de una Planta Sustentable, incluyendo el diseño de los pisos para apoyar equipos diversos y tolvas*, inédito.
5. Peña Carrera, Pablo Francisco, 2016, *Proyecto Estructural de la Cimentación para una Prensa de Extrusión y su Equipo Periférico*, inédito.