

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

**CONTRIBUCION AL DESARROLLO
DE SISTEMAS DE CONTROL DE
ESTRUCTURAS DE EDIFICACION
MEDIANTE CABLES ACTIVOS**

Autor: Francisco López Almansa
Director: José Julián Rodellar Benedé

Barcelona, Enero de 1988

APENDICE A

EDIFICIOS A, B y C

En el presente apéndice se describen los tres edificios A, B y C que se consideran en el capítulo 8 como ejemplo de edificios representativos de las tipologías estructurales más comúnmente utilizadas en edificaciones de similar altura y los cuales son utilizados en dicho capítulo para analizar el rendimiento de los sistemas de control mediante cables activos.

En el apartado A.1 se describen las características generales de los edificios A, B y C y en el apartado A.2 se describen los criterios de diseño considerados en el dimensionamiento de sus elementos resistentes.

En el apartado A.3 se describe el modelo matemático que representa las oscilaciones horizontales (en una única dirección) de los edificios descritos en el presente apéndice.

INDICE

A.1 Descripción de los edificios. A.3

A.2 Dimensionamiento. A.5

A.3 Modelo dinámico. A.10

A.1 DESCRIPCION DE LOS EDIFICIOS.

Los edificios A, B y C tienen la misma forma exterior paralelepédica de dimensiones horizontales $24 \times 24 \text{ m}^2$ y 81 m de altura distinguiéndose únicamente dichos edificios por sus estructuras resistentes. Los tres edificios están constituidos por 23 plantas de 3.50 m . de altura con la excepción de la planta inferior cuya altura es de 4 m .

No existen plantas subterráneas y la cimentación consiste en una losa continua apoyada sobre un terreno de las características definidas en la Norma P. D. S.-1 como "suelo tipo" (gravas y arenas de compacidad media que no están saturadas y cuya velocidad de propagación de las ondas elásticas longitudinales es de 1.000 m/s).

En los edificios A y B existe un armazón estructural formado por cinco pórticos metálicos de vanos diáfanos, nudos rígidos y retícula ortogonal con pilares empotrados en la losa de cimentación. Los pórticos están unidos entre sí mediante triangularizaciones de arriostramiento dispuestas en planos verticales perpendiculares a los planos que contienen a los pórticos. Los elementos estructurales de los pórticos están constituidos por acero A-52.

Dos de los cinco pórticos coinciden con fachadas exteriores y la separación entre ellos es uniforme e igual, pues, a 6 m .

Cada pórtico contiene cinco pilares que forman cuatro vanos de 6 m . de luz (los dos pilares extremos limitan el pórtico, es decir, no existen ménsulas).

En la figura A.1 se muestran las características generales de la estructura de los edificios A y B.

Las secciones de las barras de la estructura se definen en el apartado A.2.

En el edificio C existe un núcleo rígido vertical (caja de ascensores y escalera) de forma que los pilares y las vigas de la estructura de dicho edificio tienen una influencia despreciable en la rigidez frente a oscilaciones horizontales en comparación con la influencia del citado núcleo.

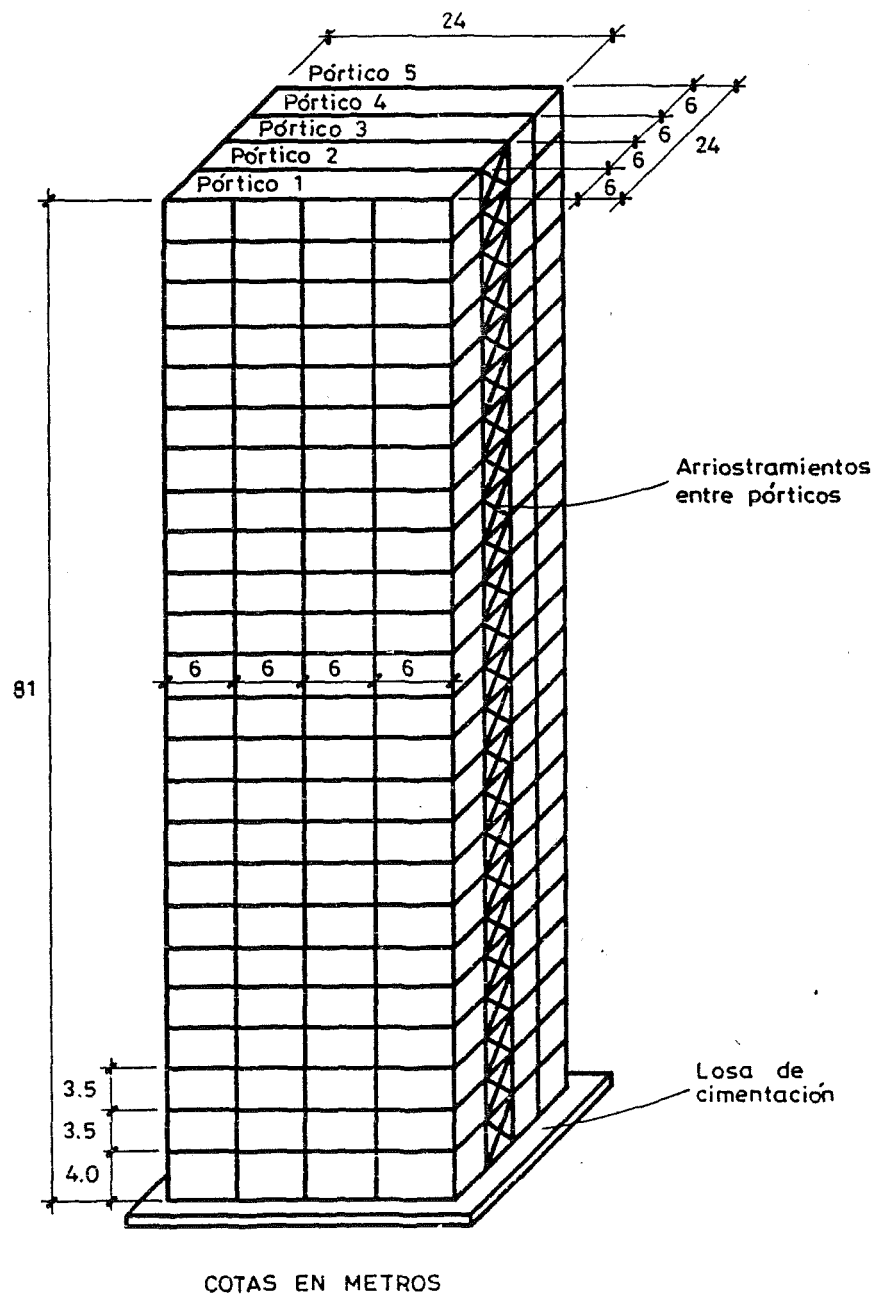


Figura A.1 Estructura de los edificios A y B.

A.2 DIMENSIONAMIENTO.

Los elementos estructurales de los edificios considerados en el presente apéndice se dimensionan de acuerdo con las prescripciones de las siguientes Normas: MV-101 (1962), MV-101 (1972) y P. D. S.-1 (1974).

Las acciones que se consideran en el cálculo son las siguientes:

- a) *Peso propio.* Se considera uniformemente repartido sobre la superficie de todos los forjados tomando los siguientes valores:

peso propio del forjado: 300 Kg/m^2

peso propio del pavimento: 100 Kg/m^2

peso de la tabiquería: 100 Kg/m^2

- b) *Sobrecarga de uso.* Se considera también uniformemente repartida siendo su valor:

sobrecarga de uso: 300 Kg/m^2

Se supone que actúa incluso sobre la planta superior.

- c) *Presión del viento.* Se considera la presión horizontal ejercida por el viento sobre las fachadas exteriores determinada de acuerdo con las prescripciones de la Norma MV-101 para el caso de situación topográfica normal.

presión del viento: 120 Kg/m^2

- d) *Acciones sísmicas.* Sobre el edificio A no se considera la acción de ninguna excitación sísmica y sobre el edificio B se considera la acción de un terremoto de grado IX. Consecuentemente, se obtiene una estructura más robusta en el edificio B que en el edificio A. Para evaluar los esfuerzos introducidos en la estructura del edificio B por la acción sísmica se asimila el comportamiento dinámico de dicho edificio al de un oscilador múltiple con 23 grados de libertad y se utilizan los siguientes valores de los factores sísmicos:

$$\alpha = \text{factor de intensidad} = CR$$

$$C = \text{coeficiente sísmico básico} = \frac{0.30}{2T} \not\geq 0.30$$

$$R = \text{riesgo sísmico} = 1$$

$$\beta = \text{factor de respuesta} = \frac{0.6}{3\sqrt{T}} \not\leq 0.50$$

$$\eta = \text{factor de distribución (artículo 4.12)}$$

$$\delta = \text{factor de cimentación} = 0.6$$

Tomando en consideración los tres primeros modos propios de vibración los valores de T en las expresiones anteriores son los períodos en segundos de dichos modos propios.

Para obtener los esfuerzos en las barras de la estructura de los edificios A y B se parte de las siguientes hipótesis:

- a) Las cargas verticales que gravitan sobre los forjados se transmiten directamente a las jácenas de los pórticos repartiéndose isostáticamente entre ellos.
- b) La presión del viento se concentra en cargas puntuales que actúan sobre los nudos exteriores de los pórticos.
- c) Los forjados son rígidos horizontalmente y, por ello, el reparto de cargas horizontales entre los cinco pórticos es hiperestático distribuyéndose proporcionalmente a sus rigideces respectivas.
- d) Se supone que el acero trabaja en fase elástica.
- e) No se consideran los esfuerzos de segundo orden, y para garantizar que su valor es realmente despreciable no se permite un desplazamiento horizontal del piso superior mayor que: $H/250 = 32.4 \text{ cm}$.
- f) No existe ningún tipo de arriostamiento que impida el pandeo (local o global) de

los pilares en el plano de los pórticos o en el ortogonal. Sin embargo, se considera que el pandeo lateral de las jácenas está impedido por la presencia de los forjados.

Los esfuerzos en las barras de las estructuras de los edificios A y B se determinan en cada hipótesis de carga mediante un programa de cálculo en ordenador que desarrolla un análisis lineal en el que se tienen en cuenta las deformaciones producidas por el esfuerzo axial y por el momento flector. Un esquema estructural del pórtico-tipo se representa en la figura A.2 en la que se indica también una planta general común a los edificios A y B.

En las barras horizontales se utilizan perfiles *IPN* y en las verticales perfiles *HEB* reforzados (cuando se precise un perfil mayor que *HEB 600*) con chapas soldadas a sus alas como indica la figura A.3.

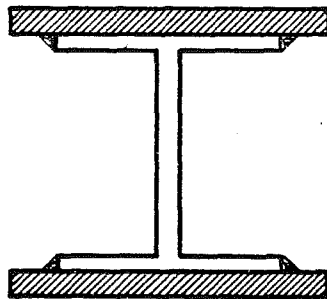


Figura A.3 Sección de un pilar formado por un perfil *HEB* reforzado con dos pletinas.

Las secciones obtenidas para los pilares del edificio A se señalan en las tablas A.1 y A.2. correspondientes, respectivamente, a los pórticos interiores (pórticos 2, 3 y 4 según la notación considerada en la figura A.1) y a los pórticos exteriores (pórticos 1 y 5 en la figura A.1). Las jácenas de los pórticos interiores están formadas por perfiles *IPN 400* y las de los pórticos exteriores por *IPN 320*.

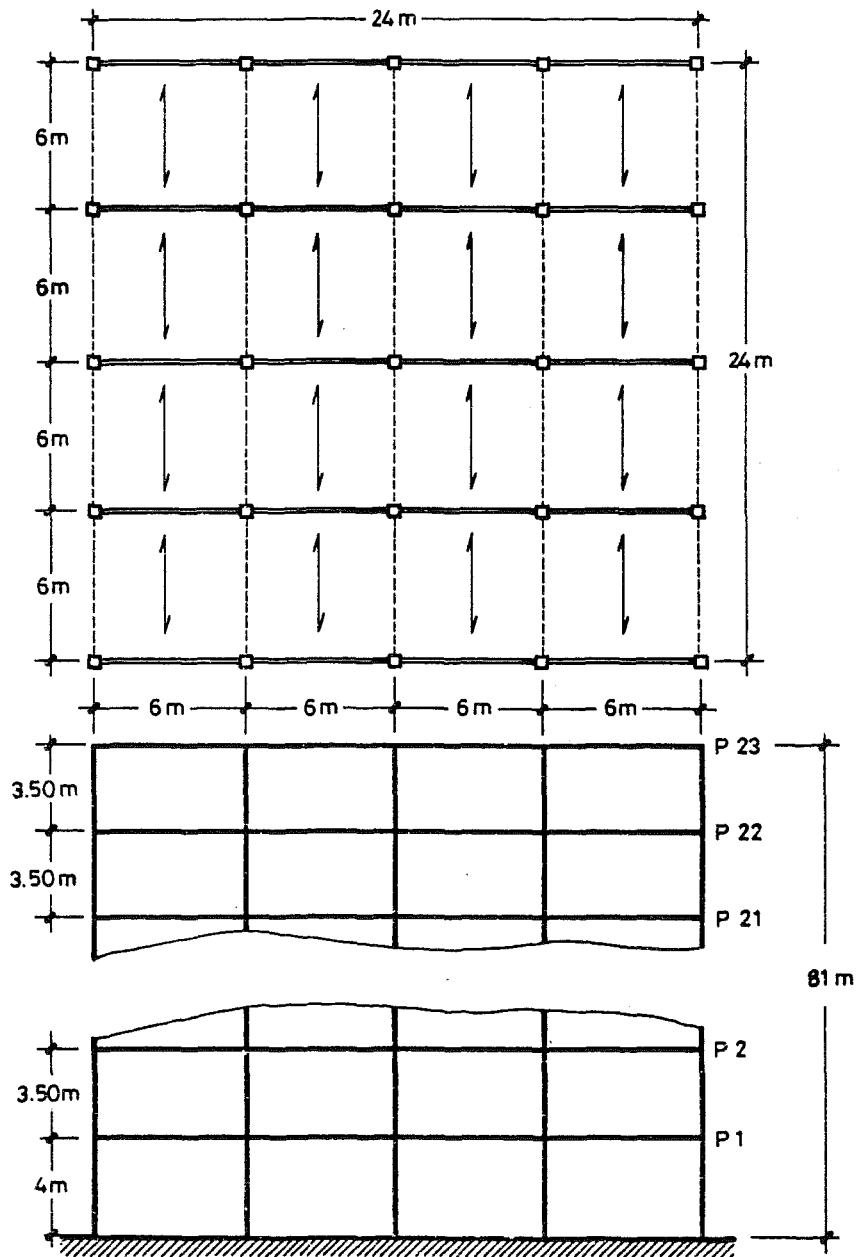


Figura A.2 Planta y pórtico-tipo de los edificios A y B.

En el edificio B, la necesidad de disponer de una reserva de seguridad en caso de seísmo aconseja proyectar todos los pilares de una misma planta con idéntica sección,

TABLA A.1			
PILARES DEL EDIFICIO A Pórticos interiores (2, 3 y 4)			
Planta	Pilar exterior	Pilar intermedio	Pilar central
1	HEB 550	HEB 600 + 2 350 × 15	HEB 600 + 2 350 × 15
2	HEB 500	HEB 600 + 2 350 × 10	HEB 600 + 2 350 × 10
3	HEB 450	HEB 600 + 2 350 × 10	HEB 600 + 2 350 × 10
4	HEB 400	HEB 600 + 2 350 × 10	HEB 600 + 2 350 × 10
5	HEB 400	HEB 600	HEB 600
6	HEB 400	HEB 600	HEB 600
7	HEB 360	HEB 550	HEB 550
8	HEB 360	HEB 500	HEB 500
9	HEB 340	HEB 450	HEB 450
10	HEB 320	HEB 450	HEB 450
11	HEB 320	HEB 400	HEB 400
12	HEB 300	HEB 400	HEB 400
13	HEB 280	HEB 360	HEB 360
14	HEB 280	HEB 340	HEB 340
15	HEB 260	HEB 320	HEB 300
16	HEB 260	HEB 300	HEB 280
17	HEB 240	HEB 280	HEB 260
18	HEB 220	HEB 260	HEB 240
19	HEB 220	HEB 220	HEB 240
20	HEB 200	HEB 200	HEB 200
21	HEB 200	HEB 180	HEB 180
22	HEB 200	HEB 180	HEB 180
23	HEB 200	HEB 160	HEB 160

de forma que en este caso todos los pórticos son iguales. En la tabla A.3 se representan las secciones de los pilares estando formadas las jácenas por perfiles IPN 550.

La caja de ascensores y escaleras del edificio C puede asimilarse a un prisma de base cuadrada de 5 m. de lado y 30 cm. de espesor. En la figura A.4 se representa una sección de dicho elemento estructural. Se considera un hormigón de resistencia característica $f_{ck} = 200 \text{ Kg/cm}^2$.

TABLA A.2			
PILARES DEL EDIFICIO A Pórticos exteriores (1 y 5)			
Planta	Pilar exterior	Pilar intermedio	Pilar central
1	HEB 300	HEB 450	HEB 450
2	HEB 280	HEB 360	HEB 360
3	HEB 260	HEB 340	HEB 340
4	HEB 240	HEB 340	HEB 340
5	HEB 240	HEB 320	HEB 300
6	HEB 240	HEB 300	HEB 300
7	HEB 240	HEB 300	HEB 280
8	HEB 240	HEB 280	HEB 280
9	HEB 220	HEB 280	HEB 260
10	HEB 220	HEB 260	HEB 260
11	HEB 220	HEB 260	HEB 240
12	HEB 220	HEB 260	HEB 240
13	HEB 220	HEB 260	HEB 240
14	HEB 220	HEB 240	HEB 220
15	HEB 200	HEB 220	HEB 200
16	HEB 200	HEB 220	HEB 180
17	HEB 200	HEB 200	HEB 180
18	HEB 180	HEB 200	HEB 180
19	HEB 180	HEB 180	HEB 160
20	HEB 160	HEB 180	HEB 140
21	HEB 160	HEB 140	HEB 140
22	HEB 160	HEB 140	HEB 140
23	HEB 160	HEB 140	HEB 140

A.3 MODELO DINAMICO.

En la presente Tesis se consideran únicamente las oscilaciones horizontales de los edificios A y B contenidas en los planos de los pórticos y, a su vez, en el edificio C se supone también que los desplazamientos horizontales están contenidos en un plano. Consecuentemente, ambos comportamientos dinámicos pueden representarse mediante un modelo matemático discreto con 23 grados de libertad definido por la ecuación lineal

$$M\ddot{d} + C\dot{d} + Kd = f(t) \tag{A.1}$$

en donde M , C y K son las matrices 23×23 de masa, amortiguamiento y rigidez, d , \dot{d} y \ddot{d} son vectores 23×1 que representan los desplazamientos, velocidades y aceleraciones

TABLA A.3	
PILARES DEL EDIFICIO B	
Planta	Pilares
1 y 2	HEB 600 + 2∥350 × 30
3 y 4	HEB 600 + 2∥350 × 24
5 y 6	HEB 600 + 2∥350 × 20
7	HEB 600 + 2∥350 × 15
8	HEB 600 + 2∥350 × 10
9 y 10	HEB 600
11	HEB 550
12	HEB 500
13	HEB 450
14	HEB 400
15	HEB 360
16	HEB 340
17	HEB 320
18	HEB 300
19	HEB 280
20	HEB 260
21	HEB 240
22	HEB 220
23	HEB 200

horizontales de cada planta y $f(t)$ es un vector 23×1 que contiene en formato adecuado las fuerzas dinámicas de excitación.

En los siguientes párrafos se definen las matrices de masa M , de amortiguamiento C y de rigidez K de los edificios A, B y C.

La matriz M es diagonal, correspondiendo al lugar i -ésimo de su diagonal principal la masa de la planta i . La masa de cada planta se obtiene considerando la actuación de una sobrecarga igual a el 50% de la sobrecarga total de uso (de acuerdo con las recomendaciones de la Norma MV-103). Para los edificios A, B y C todas las plantas tienen la misma masa:

$$(500 + 150) \times 24 \times 24 = 374400 \text{ Kg.}$$

La matriz de masa M de los edificios A, B y C es la misma.

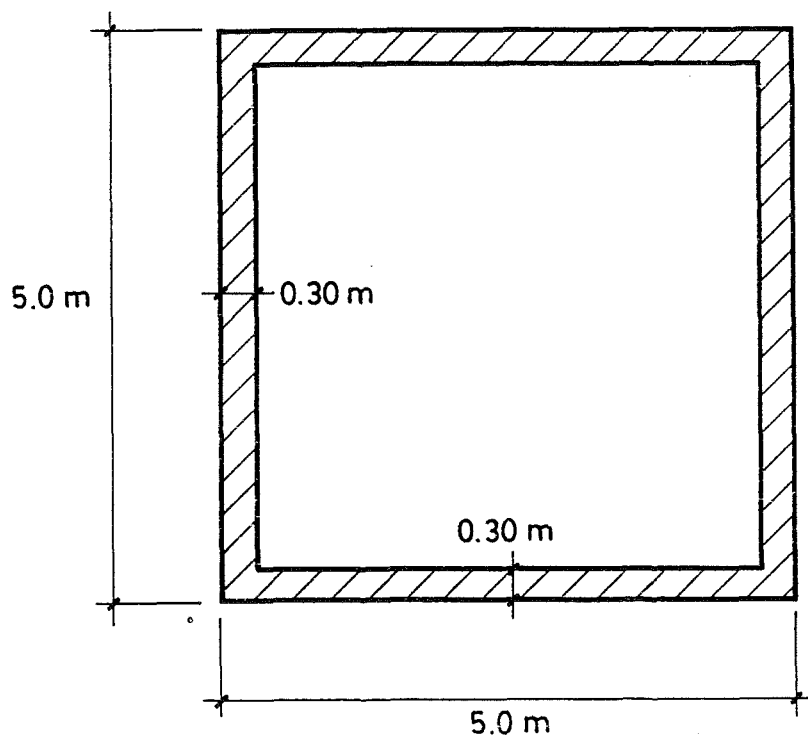


Figura A.4 Sección del núcleo rígido del edificio C.

La matriz de rigidez \mathbf{K} de los tres edificios descritos en el presente apéndice se obtiene invirtiendo las respectivas matrices de flexibilidad \mathbf{S} . Los elementos s_{ij} de dichas matrices se determinan aplicando una fuerza horizontal unidad en la planta i y midiendo el valor de el desplazamiento horizontal de la planta j según indica la figura A.5.

La matriz de amortiguamiento \mathbf{C} se define, en coordenadas modales, como una matriz diagonal en la que el elemento i de la diagonal principal es una fracción ν_i de la frecuencia ω_i del modo propio i , es decir:

$$\mathbf{C}^* = 2 \mathbf{N} \mathbf{\Omega} = 2 \begin{pmatrix} \nu_1 & & \\ & \ddots & \\ & & \nu_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_1 & & \\ & \ddots & \\ & & \omega_{23} \end{pmatrix} \quad (\text{A.2})$$

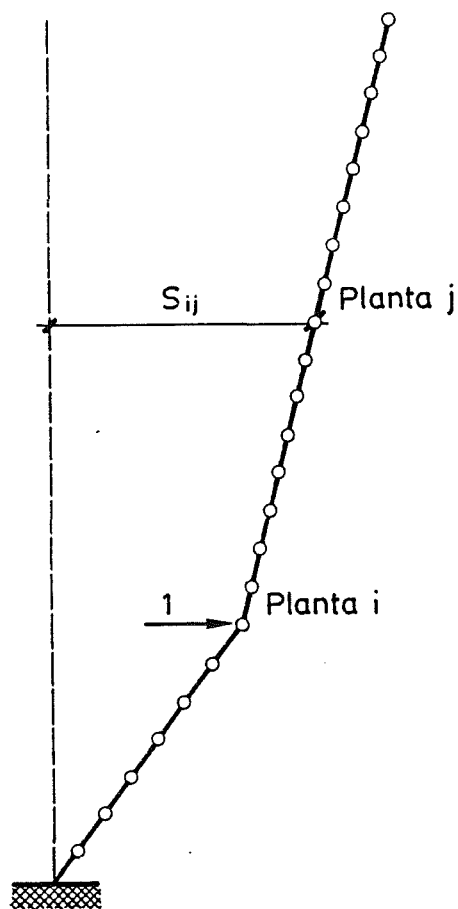


Figura A.5 Obtención de la matriz de rigidez K .

Se elige $\nu_1 = \dots = \nu_{23} = 0.025$ atendiendo a las condiciones de la estructura y generales de los edificios A, B y C.

En la tabla A.4 se muestran las frecuencias ω_i (en rad/s) y los períodos T_i (en segundos) (calculados ambos por análisis modal a partir de las matrices K y M anteriormente descritas) de los 23 modos propios de vibración correspondientes a los

TABLA A.4						
FRECUENCIAS Y PERIODOS PROPIOS DE LOS EDIFICIOS A, B Y C						
Modo propio	Edificio A		Edificio B		Edificio C	
	$\omega_0(rad/s)$	$T_0(s)$	$\omega_0(rad/s)$	$T_0(s)$	$\omega_0(rad/s)$	$T_0(s)$
1	1.145	5.487	2.218	2.833	1.224	5.133
2	2.972	2.114	5.623	1.117	7.679	0.8183
3	5.016	1.253	9.437	0.666	21.520	0.2220
4	7.167	0.877	13.302	0.472	42.210	0.1489
5	9.278	0.677	17.051	0.368	69.836	0.0900
6	11.375	0.552	20.949	0.300	104.41	0.0602
7	13.588	0.462	24.705	0.254	145.92	0.0431
8	15.845	0.397	28.493	0.221	194.37	0.0323
9	18.166	0.346	32.422	0.194	249.72	0.0252
10	20.283	0.310	36.629	0.172	311.87	0.0201
11	22.302	0.282	41.260	0.152	380.69	0.0165
12	25.145	0.250	46.351	0.136	455.93	0.0138
13	28.627	0.219	52.128	0.121	537.21	0.0117
14	32.371	0.194	58.601	0.107	623.92	0.0101
15	36.921	0.170	65.845	0.095	715.19	0.0088
16	41.841	0.150	74.208	0.085	809.74	0.0078
17	47.439	0.132	85.133	0.074	905.76	0.0069
18	54.034	0.116	99.177	0.063	1000.8	0.0063
19	61.881	0.101	115.870	0.054	1091.9	0.0058
20	71.194	0.088	135.360	0.046	1175.1	0.0053
21	83.135	0.076	156.730	0.040	1246.3	0.0050
22	100.150	0.063	185.250	0.034	1301.1	0.0048
23	122.380	0.051	213.460	0.029	1335.8	0.0047

edificios A, B y C.

APENDICE B

NOTACION

En el presente apéndice se describen los significados de los principales símbolos utilizados en esta Tesis.

En los casos en que ello resulta conveniente, se indica el lugar en que el símbolo ha sido definido y las principales expresiones en que interviene.

INDICE

B.1 *Minúsculas romanas*. B.3

B.2 *Mayúsculas romanas*. B.6

B.3 *Minúsculas griegas*. B.10

B.4 *Mayúsculas griegas*. B.12

MINUSCULAS ROMANAS

- $a(t)$: aceleración de excitación.
- \mathbf{d} : vector que contiene los desplazamientos de los grados de libertad.
- \mathbf{f} : fuerzas dinámicas de excitación.
- \mathbf{f}_0 : fuerzas dinámicas de excitación.
- \mathbf{f}^* : fuerzas dinámicas de excitación en coordenadas modales.
- \mathbf{f}_c : fuerzas de control.
- \mathbf{f}_h : fuerzas horizontales ejercidas por los cables.
- f_{hLIM} : máximas fuerzas horizontales que pueden ejercer los cables. Apartado 5.4.
- \mathbf{f}_v : fuerzas verticales ejercidas por los cables.
- f_{der}, f_{izq} : fuerzas en los cables. Figuras 5.3a y 5.3b.
- $f_{inicial}$: fuerza de tracción inicial de los cables. Figuras 5.2a y 5.2b.
- f_0 : frecuencia natural de vibración expresada en Hz.
- g : aceleración de la gravedad.
- h : altura.
- h_g : altura a la cual el viento alcanza su velocidad límite. Su valor se define en el subapartado 8.7.1.
- j : unidad imaginaria ($\sqrt{-1}$).
- m : parámetro que interviene en el desarrollo del algoritmo SSP. Su significado se define en (3.21a).

n : número de grados de libertad.

n_a : número de actuadores.

n_r : número de retardos del sistema.

\hat{n}_r : número de retardos del modelo predictivo.

p : parámetro que interviene en el desarrollo del algoritmo SSP. Su significado se define en (3.26).

p_w : presión ejercida por el viento.

q : parámetro que interviene en el desarrollo del algoritmo SSP. Su significado se define en (3.21a).

r : número de modos propios que se incluyen en el cálculo en análisis modal.

r_0 : coeficiente que pondera en la función de coste J a las fuerzas de control.
Capítulo 8.

\mathbf{u} : señal de control. También vector de control.

\mathbf{u}_1 : señal analógica de control.

\mathbf{u}_0 : fuerzas de control.

$\hat{\mathbf{u}}$: señal de control predicha.

\mathbf{v} : vector de excitación.

\mathbf{v}_0 : vector de excitación.

\mathbf{v}^* : vector de excitación en coordenadas modales.

\mathbf{v}_c : vector de control.

\mathbf{v}_c^* : vector de control en coordenadas modales.

v_g : velocidad límite del viento.

v_m : velocidad media del viento.

\mathbf{w} : vector que contiene las características de la excitación en la expresión (4.1).

z_{LIM} : máximo desplazamiento horizontal del émbolo del cilindro hidráulico. Apartado 5.4.

\dot{z}_{LIM} : máxima velocidad de traslación horizontal del émbolo del cilindro hidráulico. Apartado 5.4.

\mathbf{x} : vector de estado.

\mathbf{x}_e : posición de equilibrio.

\mathbf{x}_0 : vector de estado.

$\hat{\mathbf{x}}$: vector de estado predicho.

\mathbf{y} : vector de salida. También se utiliza como vector auxiliar.

$\hat{\mathbf{y}}$: vector de salida predicho.

\mathbf{y}_r : vector de salida de la trayectoria de referencia.

y_i : Desplazamiento horizontal relativo entre plantas. Figuras 5.3a y 5.3b.

\mathbf{z} : vector de estado en coordenadas modales.

z_i : Desplazamiento horizontal de cilindro hidráulico respecto de su posición inicial. Figuras 5.3a y 5.3b.

MAYUSCULAS ROMANAS

\mathbf{A} : matriz del sistema en tiempo discreto. Interviene en la expresión (3.11), su valor se define en (3.11a) y en las igualdades (3.29) y (3.34) se muestran resultados útiles para calcular su valor. También interviene con significado análogo en (6.10) estando definido su valor en (6.11).

$\hat{\mathbf{A}}$: matriz del modelo predictivo en tiempo discreto en (4.4a).

\mathbf{A}_r : matriz de referencia en (4.17).

$\bar{\mathbf{A}}$: matriz cuyo valor se define en (4.30b), (4.31b) o (4.32b) según los valores de n_r y \hat{n}_r .

$\bar{\mathbf{A}}_0$: matriz obtenida a partir de $\bar{\mathbf{A}}$ en (4.40a), (4.40b) o (4.40c).

A_i : sección del cable i .

\mathbf{B} : matriz que afecta a la señal de control \mathbf{u} en la ecuación (6.10) que simula en tiempo discreto el comportamiento dinámico del sistema controlado. Su valor se define en (6.12).

$\hat{\mathbf{B}}$: matriz que afecta a $\hat{\mathbf{u}}$ en el modelo predictivo (4.4b).

\mathbf{C} : matriz de amortiguamiento.

\mathbf{C}' : matriz de amortiguamiento equivalente definida en (4.27a).

\mathbf{C}^* : matriz de amortiguamiento en coordenadas modales.

\mathbf{C}_a : matriz de calibración de los mecanismos actuadores.

\mathbf{C}_s : matriz de calibración de los sensores.

$\hat{\mathbf{D}}$: matriz de ganancia en (4.21). La expresión (4.21a) proporciona el valor de $\hat{\mathbf{D}}$.

\hat{D}_1, \hat{D}_2 : mitades izquierda y derecha, respectivamente, de la matriz \hat{D} .

E : matriz de error en (3.22) y matriz auxiliar definida en (4.24).

F : matriz del sistema definida en (3.3a) y (6.3a).

F_i^* : matriz del sistema en coordenadas modales para sistemas desacoplables definida en (3.42b).

F_J : expresión de la matriz F en la base de Jordan.

F_1 : matriz definida a partir de F en (6.9a).

G : matriz definida en (6.3a).

G_1 : matriz definida a partir de G en (6.9a).

H : matriz de salida del sistema en (4.3).

\hat{H} : matriz de salida del modelo predictivo en (4.4b).

H_0 : función de transferencia.

I : matriz identidad.

J : función de coste. Definida en (4.8) y (4.11).

K : matriz de rigidez.

K' : matriz de rigidez equivalente definida en (4.27b).

K^* : matriz de rigidez en coordenadas modales.

K_a : matriz relativa a los mecanismos actuadores. Definida en (5.13a).

\hat{K}_i : matrices que intervienen en la formulación del algoritmo de control predictivo en (4.21). Su valor se define en (4.21b).

K : número de instantes.

K_{t_i} : constante elástica del cable i .

L : matriz constante que interviene en (6.2).

L_i : longitud del cable i .

M : matriz de masa.

N : matriz diagonal de las fracciones de amortiguamiento. Ec. (3.40).

N : número de operaciones de un algoritmo.

P_1 : matriz que interviene en los modelos numéricos (3.11) y (6.10) con valores definidos, respectivamente, en (3.11b) y (6.13).

P_1^* : matriz P_1 para sistemas desacoplables en coordenadas modales. Ec. (3.44a).

P_2 : matriz que interviene en los modelos numéricos (3.11) y (6.10) con valores definidos, respectivamente, en (3.11c) y (6.14).

P_2^* : matriz P_2 para sistemas desacoplables en coordenadas modales. Ec. (3.44b).

P_{1_i}, P_{2_i} : presiones a ambos lados del émbolo i .

Q : matriz de peso que afecta al vector de salida \hat{y} en la función de coste J .

Q_X : polinomio característico de la matriz X .

R : matriz de peso que afecta a la señal de control \hat{u} en la función de coste J .

S : matriz de flexibilidad, matriz de cambio de base en el subapartado 3.4.3 y matriz constante en (5.8).

S_{e_i} : sección del émbolo del mecanismo actuador i .

\hat{T} : matriz definida en (4.12a).

\hat{T}_r : matriz relativa a la trayectoria de referencia. Está definida en (4.19a).

T : período de muestreo.

T_0 : período natural de vibración del modelo experimental.

T_i : período natural de vibración del modo propio i .

T_s : período predominante en la excitación.

T_p : Suma parcial de los p primeros términos de una serie potencial. Valor definido en (3.18).

X, Y : matrices auxiliares.

\hat{Z}_0 : matriz perteneciente al modelo predictivo. Definida en (4.12d).

\hat{Z}_i : matrices pertenecientes al modelo predictivo. Definidas en (4.12c).

MINUSCULAS GRIEGAS

α : ángulo de inclinación de los cables. También es el exponente de la expresión (8.13).

β : factor multiplicativo de la excitación. Apartado 7 del capítulo 7.

δ : cota superior y cota inferior.

δ_{ij} : delta de Kronecker.

ε : cota superior y cota inferior.

η : vector desplazamiento en coordenadas modales.

κ : valor constante definido en (8.15).

λ : longitud del intervalo de predicción.

λ_0 : valor de λ a partir del cual el control predictivo es estable. Subapartados 4.4.2 y 4.4.3.

μ : valor relacionado con λ en (4.5).

ν : fracción del amortiguamiento crítico.

ν' : fracción del amortiguamiento crítico del sistema controlado. Apartados 4.3 y 7.4.

ξ : coeficiente que representa las fluctuaciones de la velocidad del viento.

ρ : radio espectral de una matriz.

σ : tensión normal.

τ_r : tiempo de respuesta de los actuadores.

ω : frecuencia en radianes por segundo.

ω_0 : frecuencia natural del modelo experimental.

ω'_0 : frecuencia natural del modelo experimental controlado.

ω_c : frecuencia natural con amortiguamiento.

ω'_c : frecuencia natural con amortiguamiento del sistema controlado. Apartado 4.3.

MAYUSCULAS GRIEGAS

$\Gamma_1, \dots, \Gamma_6$: Indices cuyos valores se definen en el apartado 8.5.

Φ : matriz modal normalizada.

Φ_r : matriz que contiene las r primeras columnas de la matriz modal Φ .

Ψ : matriz definida en (4.12c).

Ω : matriz espectral.

Ω_r : matriz espectral referente a los r primeros modos propios.