

El análisis teórico expuesto en la tesis se complementa con la realización de una serie de archivos desarrollados bajo el programa Microsoft Excel, complementando su potencial con la creación de macros o rutinas de cálculo escritas en Visual Basic. Por ello, a la hora de acceder a estos ficheros será necesario habilitar las macros, pulsando en el botón correspondiente en el mensaje que aparece en pantalla (figura 1).

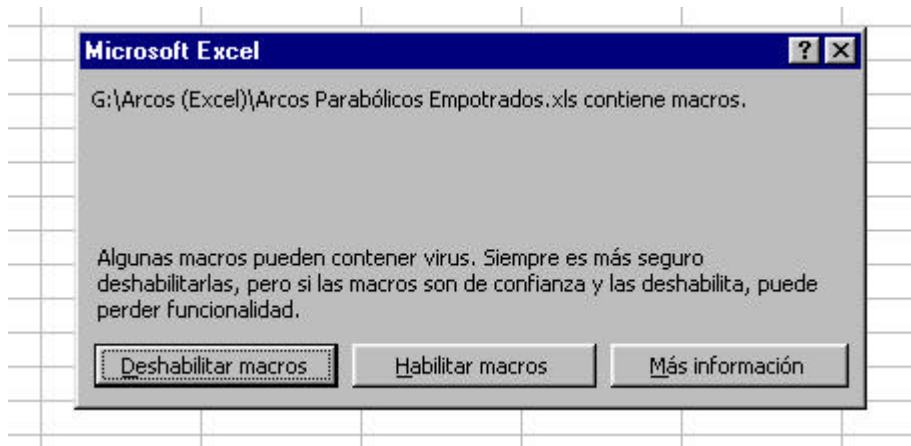


Figura 1.

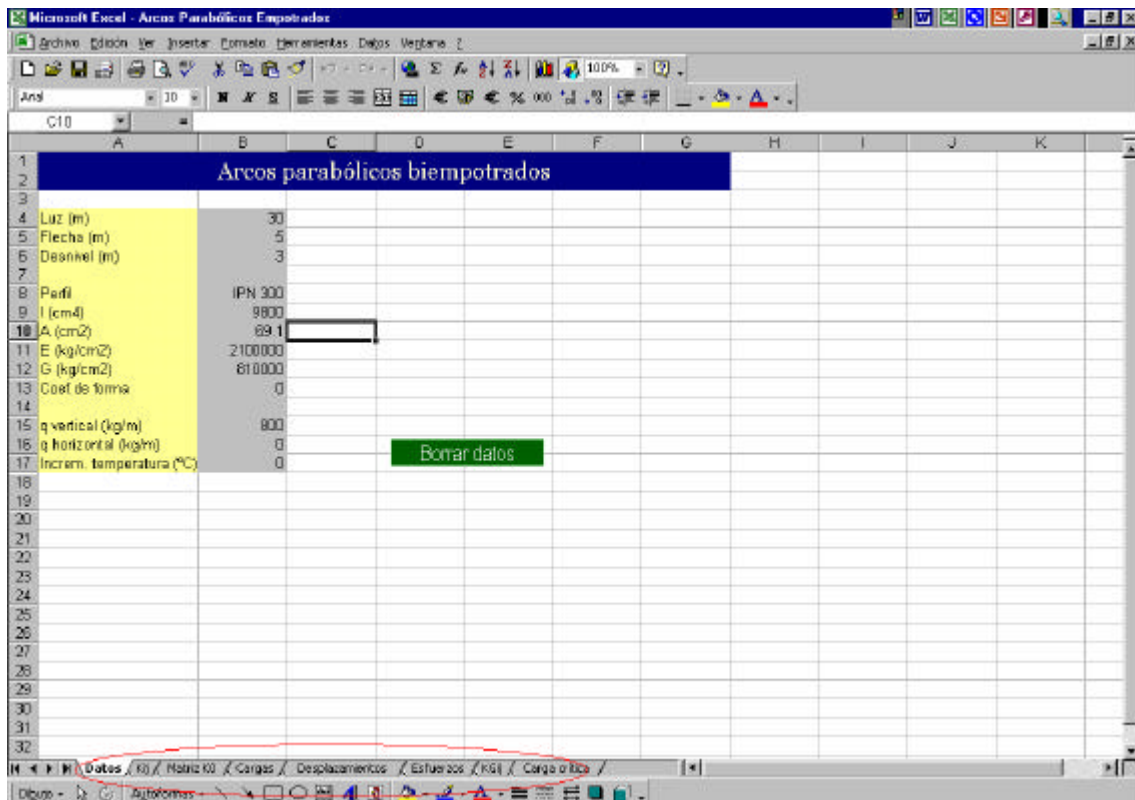


Figura 2.

Se han elaborado cuatro archivos independientes, dos para el cálculo de arcos circulares, «Arcos circulares empotrados» y «Arcos circulares

biarticulados», y dos para la resolución de arcos parabólicos, «Arcos parabólicos empotrados» y «Arcos parabólicos biarticulados». Cada archivo constituye un libro de trabajo en la terminología de Excel, y dentro del libro existen diversas hojas, que se ajustan a la secuencia de cálculo seguida en el texto. El nombre de estas hojas aparece en una pestaña en la parte inferior de la ventana activa en la que se ejecuta Excel, tal y como se refleja en la figura 2.

Los datos que se introducen son los mínimos imprescindibles, a saber: Luz, flecha, desnivel, perfil (dato opcional, pues sólo tiene carácter informativo), momento de inercia y sección del perfil elegido, módulo de elasticidad, módulo de rigidez transversal, coeficiente de forma de la sección, carga uniforme vertical, carga uniforme horizontal y carga térmica, definida por su incremento de temperatura respecto a una situación de referencia.

Si como coeficiente de forma se introduce el valor 0, se interpreta que no se desea tener en cuenta la contribución del esfuerzo cortante en el cálculo. En caso contrario, los cálculos recogerán la influencia del cortante.

Para realizar los cálculos es necesario pulsar sobre la pestaña que activa la hoja de cálculo (*Datos*, *Kij*, *Matriz K0*, *Cargas*, *Desplazamientos*, *Esfuerzos*, *KGij* y *Carga crítica*) y presionar los botones definidos en verde con una etiqueta informativa sobre la acción que producen, que ocasionan la ejecución de una determinada rutina de cálculo.

Estos botones a los que se les ha asociado diversas macros, son:

- En la hoja *Kij*

Según la directriz del arco, circular o parabólica, existen distintos botones. Así, en los arcos parabólicos, *Discretizar* y *Kij*, y en los arcos circulares, *Discretizar arcos simétricos*, *Discretizar arcos no simétricos* y *Kij*.

- En la hoja *Cargas*

Se ha definido el botón *Vector de cargas*.

- En la hoja *Esfuerzos*

En esta hoja se ha creado el botón *Axiles de compresión*, imprescindible para el cálculo del pandeo global del arco.

- En la hoja *KGij*

Para la obtención de la matriz de rigidez geométrica, tanto en coordenadas locales como en coordenadas globales, se han definido los botones *Kg (I)* y *Kg (II)*.

- En la hoja *Carga crítica*

Por último, para la obtención de los autovalores mediante el procedimiento iterativo descrito en el texto, el botón *Cálculo de autovalores* activa la ejecución de la rutina de cálculo.

Los resultados más significativos obtenidos en las distintas fases de cálculo se encuentran en distintas zonas del libro, vinculados a los nombres de las hojas de cálculo. Así, los desplazamientos de los nudos libres se encuentran en la hoja *Desplazamientos* (figura 3), los esfuerzos de los elementos discretizados y las reacciones en los apoyos se hayan en *Esfuerzos* (figura 4) y el coeficiente crítico de pandeo en *Carga crítica* (figura 5).

Las unidades de estos resultados son:

- Desplazamientos: cm
- Giros: rad.
- Esfuerzos axiles y cortantes: kg.
- Momentos flectores: kg·cm.

		Desplazamientos	
-05	-1.95708E-07	δx1	0.119425352
-05	2.72404E-07	δz1	-0.257327878
-07	1.76765E-09	θ1	-0.001343372
-05	-5.14066E-07	δx2	0.281337713
372	8.09082E-07	δz2	-0.627485824
-07	1.86574E-09	θ2	-0.000986709
192	-7.05168E-07	δx3	0.313311439
165	1.2175E-06	δz3	-0.805172202
-07	7.81572E-10	θ3	-9.87227E-05
163	-7.03673E-07	δx4	0.243716102
227	1.20521E-06	δz4	-0.732172704
-07	-9.05125E-10	θ4	0.000579589
318	-6.00703E-07	δx5	0.159418098
269	6.50885E-07	δz5	-0.51338006
-07	-2.52564E-09	θ5	0.000759895
309	-5.55839E-07	δx6	0.107693631
-05	-3.25314E-07	δz6	-0.298615688
-07	-3.34593E-09	θ6	0.000541975
131	-6.53106E-07	δx7	0.077972295
154	-1.33193E-06	δz7	-0.172676448
-07	-2.61237E-09	θ7	0.000237128
348	-7.53145E-07	δx8	0.047925469
754	-1.7478E-06	δz8	-0.115529989
-08	3.91788E-10	θ8	0.000117386
768	-4.0912E-07	δx9	0.022151606
118	-8.17491E-07	δz9	-0.058667884
-07	6.29981E-09	θ9	0.000179607

Figura 3.

Esfuerzos en las barras							Axiles de compresión
Elemento ij	Nodo i			Nodo j			Nmáx
	N	T	M	N	T	M	
1 (0-1)	-23842.39295	-1514.65359	-216883.8974	-22353.17714	588.0664125	-67664.93419	-23842.39295
2 (1-2)	-22322.97275	-1302.013	-67664.93419	-21016.69292	918.9469984	-5976.186517	-22322.97275
3 (2-3)	-21004.25214	-1169.28901	-5976.186517	-19924.61045	1170.230987	-6127.881022	-21004.25214
4 (3-4)	-19927.3187	-1123.17045	-6127.881022	-19123.18786	1324.749549	-38589.84915	-19927.3187
5 (4-5)	-19134.1949	-1154.92891	-38589.84915	-18652.78482	1376.351093	-74247.84015	-19134.1949
6 (5-6)	-18662.84361	-1232.47396	-74247.84015	-18538.32897	1341.206036	-91758.39436	-18662.84361
7 (6-7)	-18540.98897	-1303.91817	-91758.39436	-18783.0716	1261.361826	-84905.02123	-18783.0716
8 (7-8)	-18779.33878	-1315.76873	-84905.02123	-19369.50325	1192.391269	-65036.18443	-19369.50325
9 (8-9)	-19366.92766	-1233.51776	-65036.18443	-20265.41621	1181.442241	-56649.79164	-20265.41621
10 (9-10)	-20272.84454	-1046.26692	-56649.79164	-21427.30178	1249.253077	-89247.73738	-21427.30178

Reacciones		
	Nudo 0	Nudo 11
Rx (kg)	18581.48309	-18581.48309
Rz (kg)	15016.07016	10743.29469
M (kg.cm)	216883.8974	-89247.73738

Figura 4.

Cálculo de autovalores		α_{crit}	8.209358458
Iteraciones	7		
δx_1	-0.072074026		
δz_1	0.101857456		
θ_1	0.000895571		
δx_2	-0.196946811		
δz_2	0.314266674		
θ_2	0.000899328		
δx_3	-0.251581708		
δz_3	0.432766634		
θ_3	3.67963E-05		
δx_4	-0.214148471		
δz_4	0.318943196		
θ_4	-0.000745843		
δx_5	-0.156137646		
δz_5	0.014101703		
θ_5	-0.001073084		
δx_6	-0.141232038		
δz_6	-0.29344535		
θ_6	-0.000737135		
δx_7	-0.152678326		
δz_7	-0.41493118		
θ_7	6.47579E-06		
δx_8	-0.127088808		
δz_8	-0.306219969		
θ_8	0.000617317		
δx_9	-0.050578783		
δz_9	-0.100581686		
θ_9	0.000624208		
Landa	5.10906E-06		
Pcrit	195730.7502		

Elemento	N (kg)	Peuler (kg)	Pcrit (kg)	β
0-1	-23842.39295	-1957986.34	-195730.7502	3.16
1-2	-22322.97275	-1958034.941	-183257.2852	3.27
2-3	-21004.25214	-1958049.781	-172431.435	3.37
3-4	-19927.3187	-1958061.954	-163590.5023	3.46
4-5	-19134.1949	-1958004.334	-157079.4647	3.53
5-6	-18662.84361	-1957945.784	-153209.973	3.57
6-7	-18783.0716	-1957965.591	-154196.9677	3.56
7-8	-19369.50325	-1957996.493	-159011.1953	3.51
8-9	-20265.41621	-1957951.434	-166366.066	3.43
9-10	-21427.30178	-1968962.719	-175904.4011	3.35

Figura 5.