

---

# Yugos de madera para campanas manuales y motorizadas. Problemática y soluciones técnicas en las instalaciones de Cheste y Vilafamés

*Albert Barreda*

*Restaurador de campanas y relojes monumentales*

## Resumen

*La restauración de las campanas de Cheste y Vilafamés plantearon numerosos problemas desde un punto de vista mecánico, ya que estábamos volviendo a abrir unos senderos (trabajos de la madera, del hierro, cálculo de relaciones) que habían sido abandonados desde hacía muchos años.*

*Los trabajos ya terminados demuestran que es posible volver a instalar campanas con sus yugos de madera y otros complementos tradicionales, y que se puede armonizar esta colocación con los más modernos sistemas informáticos.*

*Nuestra comunicación justifica, desde un punto de vista mecánico, todas las medidas y los cálculos de las diversas piezas (yugos, piedras, berrajes) empleadas para la restauración.*

Las restauraciones de Cheste y Vilafamés abrieron nuevos caminos a la restauración de campanas históricas en torres tradicionales. Desde el punto de vista técnico plantearon numerosos problemas ya que el restaurador se encontraba solo ante el peligro: entre las últimas generaciones de carpinteros y herreros que calculaban, hacían e instalaban los contrapesos y otras instalaciones para tocar las campanas y nosotros hay un salto de al menos una generación y más de treinta años. Eso quiere decir que había que partir a menudo desde cero, teniendo que calcularlo todo, y descubriendo por qué los antiguos llegaron a ciertas soluciones técnicas que aparentemente dieron buenos resultados. Se trataba —y se trata— de una investigación abierta en múltiples frentes a la vez, sin tener a un maestro al lado: éramos a la vez maestros campaneros y aprendices: todos estábamos —y estamos— aprendiendo. ¡Demasiadas cosas se estaban improvisando, lo que alargó excesivamente el tiempo!

Las condiciones marcadas por la Generalitat Valenciana exigían que las campanas estuvieran instaladas al modo tradicional, permitiendo los toques manuales aunque supliéndolos con motores controlados por ordenador. A continuación desarrollaré los cálculos y los resultados relacionados con las instalaciones de campanas de Cheste y de Vilafamés. Hemos considerado las campanas de mayor a menor, numerándolas C1 y C2,...

## Relaciones entre pesos y medidas de una campana

Las campanas normales tienen una serie de medidas relacionadas, a cuyo cálculo hemos llegado por tanteo. Los resultados son los siguientes, y parecen estar bastante cercanos a la realidad:

$$\text{Peso de la campana: (Diámetro en metros)}^3 \times 579$$

El resultado sale en kilos. La constante (579) se refiere a un perfil medio. En caso de campanas más gruesas o más finas hay que añadir o quitar, respectivamente, un 10 %. En nuestro caso los pesos teóricos se han alejado muy pocos kilos de los pesos reales de las nueve campanas trabajadas.

Campana	Diámetro	Peso real	Peso teórico
<b>Vilafamés</b>			
C1	107	690	709
C2	100	565	579
C3	76	225	254
<b>Cheste</b>			
C1	124	1.150	1.103
C2	112	813	813
C3	103	512	632
C4	88	451	394
C5	79	287	285
C6	69	209	190

La *alzada de la campana* se calcula por la siguiente fórmula:

$$\text{alzada} = \text{diámetro} \times (12/15)$$

La *frecuencia de la campana* corresponde a:

$$\text{Frecuencia} = (\text{diámetro} \times 100/15 \times 58,85) / (\text{diámetro})^2$$

## Relaciones entre pesos y medidas de la campana y del yugo

Consideramos que las partes del conjunto de una campana, instalada a la manera tradicional, o sea con el contrapeso de madera y los ejes de giro por encima de las *orejas* o *asas* de la campana, son las siguientes:

— *Brazo o yugo*: Eje de madera, situado en el centro de giro, que sirve de unión y al mismo tiempo de separación a la campana y a los elementos que actúan de contrapeso. De manera coloquial *yugo* puede referirse al brazo de giro o también al conjunto de piezas que actúan de contrapeso de la campana, según el contexto de la conversación.

— *Alzada*: Parte intermedia del yugo; mantiene la sección, eleva hasta el lugar conveniente, las partes pesadas que son el auténtico contrapeso. En el caso de campanas grandes consideramos dos alzadas, la 1.ª es la más cercana al yugo y la 2.ª la más próxima al cabezal. La (s) *alzada* (s) son más estrechas para alejar el contrapeso lo más posible.

— *Cabezal*: Parte alta del conjunto, generalmente con decoraciones o perfiles semicirculares. Es una parte pesada, debidamente separada del eje por la alzada.

— *Contrapeso*: Parte superior del yugo. A veces es una mera prolongación, en madera, del cabezal, pero otras veces puede ser de piedra, hierro, plomo, para contrarrestar de manera adecuada el peso de la campana.

En las campanas valencianas se da la siguiente relación entre pesos y medidas:

$$\text{Peso campana/yugo} = 60/40$$

La *relación de pesos* está justificada por la velocidad de caída de la campana: si tiene poco contrapeso la velocidad es muy rápida y apenas pega el badajo, sonando muy poco. Si la diferencia es poca entre el yugo y la campana ésta cae muy lenta y el badajo se queda pegado a la campana amortiguando su sonido y posibilitando su rotura (de la campana o del badajo, según los casos).

Llamamos «*alzada*» en este caso a la altura tanto de la campana como del yugo.

$$\text{Alzada campana/yugo} = 40/60$$

El peso total corresponde al peso del yugo más los accesorios, más el de la campana. La alzada total corresponde a la suma de la alzada de la campana más la alzada del yugo.

### **Cálculo de las dimensiones del yugo de una campana**

Para el cálculo de las diferentes partes de la instalación se han tenido en cuenta la presión vertical y las presiones laterales centrífugas. La presión vertical de la campana parada hacia abajo está formada por el peso de las partes, al que hay que añadir cuando la campana está girando, en el momento que pasa por el centro superior, la fuerza centrífuga. En el caso de campanas pequeñas el resultado de estas fuerzas puede ser positivo y entonces pueden salirse de los ejes.

A nivel estructural hay que tener en cuenta la presión vertical hacia abajo y la presión lateral a 90°. En el caso de una campana que oscila sin estar bien compensada puede llegar a arrancar las piedras u otros elementos de la pared. Antiguamente esto se resolvía disponiendo un hueco rectangular en la pared en el que se encajaba perfectamente un trozo de viga de madera, fijado con yeso. En el centro había un cojinete de bronce, ligeramente trapezoidal invertido, que a su vez encajaba en el bloque de madera. En el caso que fallara la sujeción mecánica a la pared, el encaje de la madera y del cojinete aseguraba que el conjunto podía tener pequeños movimientos pero no salirse del sitio.

El *brazo de madera*, cuanto más alto sea, más resistencia opone a la rotura por el centro, que sería la parte más débil al estar atravesada por varios agujeros: cuanto mayor sea D, mayor es la suma de A + B y por tanto mayor la diferencia con C, por tanto mayor es el efecto de cuña hacia los muros, mayor es la resistencia al deslizamiento en caso de partirse por el centro (Figura 1):

$$\text{a mayor } D \text{ } \uparrow \text{ (A + B) } > \text{ C}$$

Para el *diámetro de la viga* se aumenta 15 veces el peso de la campana: para las cargas variables, dentro de los márgenes de seguridad, se considera un mínimo de 8 veces y un máximo de 15, realizando los cálculos teóricos como si fuera una viga

[PARKER (1972)]. Lo ideal sería, al menos para esta viga, el empleo de madera laminada, ya que tiene una dureza conocida y una resistencia homogénea, aunque probablemente sea poco útil por su poco peso; la falta de regularidad de las maderas normales exige que se realicen los cálculos con un margen de seguridad muy elevado.

Para el cálculo de la tensión admisible de la fibra externa en  $\text{kg/cm}^2$ ,  $T_{adm}$ , hay que tener en cuenta E, el módulo de Young en  $\text{kg/cm}^2$ ,

	E	$T_{adm}$	$T_{adm}$
Maderas muy resistentes	144.000	65	125
Maderas resistentes	120.000	45/50	85/100
Maderas normales	100.000	40	75
Maderas de baja calidad	85.000	30	50
Considerando K = factor seguridad		15	8

El momento flector,  $M_f = (P \cdot l)/4$

La flexión máxima calculada en cm.,  $f_{max} (D)$ :

$$f_{max} (D) = (P \cdot l^3 \cdot K)/(48 \cdot E \cdot I)$$

siendo I la inercia. A su vez el momento de inercia,  $mI$ :

$$mI = (b \cdot h^3)/12$$

siendo b y h la sección mínima del yugo en  $\text{cm}^2$

El módulo en sección en  $\text{cm}^3$ , S:

$$S = (b \cdot h^2)/6$$

*Flexión admisible*: Longitud para la fibra, teniendo en cuenta madera estructural densa de construcción:

$$f_{adm} = l/z$$

siendo z una constante relacionada con la vía o longitud del yugo:

$$z = 500 \text{ si } l < 100$$

$$z = 300 \text{ si } l < 200$$

$$z = 250 \text{ si } l < 300$$

$$z = 200 \text{ si } l < 500$$

De todo ello cabe deducir que:

*Flexión admisible*  $\geq$  *flexión máxima*

$$f_{adm} \geq f_{máx}$$

*Módulo sección*  $>$  *momento de flexión*

$$S \geq R_x$$

*Momento de inercia > momento flector*

Finalmente, para yugos cuadrados y maderas de resistencia normal, la sección mínima del yugo en  $\text{cm}^2$

$$h = \sqrt[3]{[(P * l)/7]}$$

Para calcular la resistencia de los yugos se tiene en cuenta la *vía del yugo*, es decir su largo total, y la sección mínima para las cargas máximas que puede admitir. Todo lo que se le pone de más supone un aumento de seguridad así como una cuestión estética: redistribución de los volúmenes del yugo para que guste más. Su cálculo es:

$$\text{Diámetro yugo} = \sqrt[3]{(\text{Peso de campana} * \text{Vía del yugo}/4) - 10\%}$$

En consecuencia la *sección mínima del yugo en  $\text{cm}^2$*  es:

$$h = \sqrt[3]{(P * l)/7}$$

donde P es el peso total en kg. y l la longitud del yugo en cm. Para calcular la distribución de pesos hay que tener además en cuenta que el perfil del yugo no es homogéneo: el ancho de la parte alta (contrapeso) en nuestro caso es 1.5 veces el del yugo o brazo.

A esto se añade no sólo los pesos de las partes, teóricamente 40/60, sino el de los centros de gravedad. La campana, teóricamente, tiene el suyo a 3/8 desde su parte baja. Por eso uno de los principales cálculos es el establecimiento no sólo de la relación entre contrapeso y campana, sino del *centro de gravedad* de cada uno de los componentes y del conjunto. Es sabido que el centro de gravedad de cada uno de los componentes es igual a distancia con respecto al eje de giro multiplicado por el peso de la pieza. Este centro de gravedad es muy importante puesto que determina el buen funcionamiento del sistema constituido por la campana y todos sus accesorios. Precisamente las campanas eléctricas actuales, muy equilibradas para que aparentemente sea necesario un menor motor, tienen el centro de gravedad muy desplazado hacia abajo y ésa debe ser la causa de la rotura usual de badajos: en otros lugares como Aragón o Castilla, que tienen las campanas muy equilibradas, resolvían esto poniendo unos badajos con la caña de madera. Para nuestras campanas restauradas, el centro de gravedad se encuentra bastante elevado, justo por debajo del asa interior de la campana, por lo que el eje de giro del badajo se encuentra algo más bajo, y sin peligro teórico de rotura (Figura 2).

La *madera* empleada en ambas torres ha sido el bolondo: el roble, una madera tradicional para estos menesteres, no existe como madera industrial en el mercado español, mientras que el de origen francés o norteamericano está ya serrado en tablones de sólo 8 cm. de grosor máximo.

El criterio seguido para la elección de material ha sido: maderas estructurales densas, que aguanten la intemperie, la lluvia ácida, la polución, sin límite razonable de sección y con un precio razonable. Para la restauración del brazo de la campana mayor de Segorbe se empleó el iroko, que tiene una buena resistencia y densidad, aunque su aspecto exterior sea algo cuarteado. La elección de maderas estaba entre el iroko, el bengué y el bolondo, decantándonos finalmente por ésta, ya empleada en la restauración de la Garriga en Catalunya. Se trata, además, de una madera de alta densidad, cercana a la unidad. Se emplea en obras de exteriores en condiciones duras, como en

pontonería (vigas introducidas en el mar, que no se pudren), en la restauración, sustituyendo vigas antiguas, y en obras industriales. Según CARRERAS (1985):

*Bolondo (Tali-Elond) Africa Erythoppleum ivorense. Densidad 0,80/1,10  
De color amarillo verdoso a rojo pardo. Madera dura con contravetas nervio-  
sas. Irrita las mucosas nasales, desgasta las herramientas. Resiste la humedad,  
algunos ácidos y termitas. Para construcciones hidráulicas, peldaños y parquets.*

El perfil de los yugos de cada torre se hizo distinto, recordando levemente los volúmenes tradicionales valencianos, pero realizando una silueta nueva en cada lugar. Se instalaron contrapesos de piedra en los dos casos: al menos en Cheste ya existían, aunque algo más finos, posiblemente porque la relación entre ancho yugo y ancho contrapeso era entonces 1/2 y no 1/1.5 como ahora, con lo que aumentaba la masa del conjunto.

De todos estos supuestos se deducen los siguientes cálculos teóricos de resistencia de yugos:

Vilafamés	C1	C2	C3
Diámetro	107	100	76
Peso	780	637	278
Alzada campana	86	80	60
Vía yugo	164	160	161
Sección yugo	28*30	22*25	18*20
Peso yugo	305	250	110
Alzada yugo	114	106	80
Peso total con accesorios	1140	960	440
Flexión admisible Fa	0,546	0,533	0,534
Flexión máxima Fmax	0,299	0,442	0,490
Momento de inercia MI	51.221	28.645	12.000
Momento flector Mf	44.280	38.400	17.710
Módulo de sección S	3.658	2.292	1.200
Momento resistente Rx	1.107	960	442

Cheste	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Diámetro	124	112	103	88	79	69
Peso	1.103	814	632	395	286	190
Alzada campana	99	89	82	70	64	56
Vía yugo	143	135	135	135	135	134
Sección yugo	28*30	25*28	22*25	20*22	18*20	15*18
Peso yugo	478	352	274	170	120	82
Alzada yugo	132	120	110	94	84	74
Peso total con accesorios	1.680	1.246	980	615	446	308
Flexión admisible Fa	0,476	0,45	0,45	0,45	0,45	0,446
Flexión máxima Fmax	0,308	0,215	0,275	0,278	0,295	0,340
Momento de inercia MI	51.221	45.733	28.645	17.746	12.000	7290
Momento flector Mf	60.060	42.052	33.075	20.756	15.052	10.318
Módulo de sección S	3.658	3.266	2.292	1.614	1200	810
Momento resistente Rx	1.502	1.050	826	518	376	258

En ambos casos hay que tener en cuenta:

Módulo E = 97.000; Esfuerzo contante perpendicular a la veta = 65; Tensión admisible = 40; Esfuerzo a la tracción = 1.000 (128); Carga de rotura = 1.100 (137,5); Esfuerzo a la compresión = 470; Factor de seguridad K = 8-15; Densidad = 0,8-1,1.

**Yugos de madera (Despiece) (Figura 3)**

Vilafamés	C1	C2	C3
A	162	162	161
B			
C			
D			
E			
F	38	34	28
G			
H	30	25	20
I			
J	30	25	20
a	88	83	64
b	83	78	60
c	78	73	56
d	66	66	44
e	52.5	53	36
f	50.5	47	35
g	56	52	40
h	28	26	20
i	39	33.5	27

Cheste	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A	142	134	133.5	133	133	133
B	131	123	123	125	125	125
C	62.5	48	45	39	40	37
D	35	38	40	43	41	42.5
E	5	5	5	4	4	4
F	42.5	38.5	35.5	30	27.5	24
G	38.5	35	32	26	24	21
H	36	32.5	27	23.5	21	18.5
I	34	30	25	21	19	15.5
J	35	30.5	26	23	21	18
a	93	83	78	66.5	60	52.5
b	102.5	87	83.5	70.5	65	57
c	89	75	73.5	63	58	50.5
d		68	68	57	52	45.5
e	69	51.5	55	47	44.5	38.5
f	55	45	38.5	37.5	38	31.5
g	60	47	44	40	40.5	35
h	31	27.5	25.5	21	19.5	17.5
i	44	39	34	30.5	27	24

Los *cojinetes* que se suelen instalar en la actualidad para las campanas eléctricas, con rodamientos a bolas, cogidos con tirafondos a la pared, son una mala solución ya que en el caso de rotura de la sujeción (a menudo cemento, aún menos elástico que el yeso), la instalación se queda al aire, con gran peligro de desprendimiento, sin ningún apoyo en que confiar.

Nosotros hemos instalado unos cojinetes montados sobre una pequeña banqueta de hierro colocada en un hueco de la piedra y ligada en el fondo con un mortero nada fuerte.

El extremo interior se encuentra dentro de la pared mientras que la parte exterior no sobresale del muro: se encuentra rozando casi las piedras o los ladrillos, sin llegar a tocarlos. El mortero ligero permite cierto movimiento así como cierta amortiguación. En caso de desequilibrio no rompe la piedra, sino que la pequeña estructura, en una situación extrema se soltaría de las fijaciones pero sin salirse del alojamiento. Con una simple visita de conservación se vería si estaba suelto, sin llegar a producir un accidente.

Se trata de prever un punto débil controlado, por donde se puede romper sin graves consecuencias: la campana se quedaría descalzada pero no saldría (Figura 4).

Los *ejes* están separados, en forma de *palier*, por varios motivos: por construcción del yugo (ya que no es posible siempre pasar un eje recto por las asas de la campana, especialmente en el caso de las campanas giradas) y seguramente por acústica, separando la campana y sus vibraciones del muro, a través de una pieza de madera y de largos tirantes de hierro que seguramente absorben las vibraciones y no las transmiten a la obra arquitectónica. Como los ejes están alineados y fijados por dos tornillos no debilitan la viga de madera que constituye el yugo propiamente dicho. Si la madera es vieja está mucho más estabilizada y es más fácil el alineamiento. Con el doble tornillo el alineamiento y la presión están aseguradas. La U es sensata, ya que no sólo garantiza la seguridad: los tornillos pueden coger holgura. El palier cuadrado no podría girar en el hueco de la madera, pero la U impide la posible pequeña oscilación que pudiera producirse.

Por otro lado sólo hay una abrazadera a cada extremo del brazo, para impedir que a la larga, y debido a los esfuerzos, la madera se abra, pero a un lado está la polea y al otro la ballesta que hacen el efecto de doble abrazadera.

El eje, por sus dimensiones, no se podría cortar. Los cojinetes son autocentrados, ya que si hay un eje desalineado se corrige automáticamente, sin precisar grandes esfuerzos para su toque (Figura 5).

## Medidas para ejes de cuatro campanas

	C1	C2	C3	C4
A	42	38	28	28
B	5	5	4	4
Ø C	4	3.5	3	3
D	5	5	4.5	4.5
E	16	140	11.5	11.5
F	21	19	12	12
G	6	6	5	5
H	48	44	33	33
Ø I	2.2	2	1.8	1.6

Los diversos *hierros de sujeción* se calcularon de acuerdo con el esfuerzo que iban a soportar. Se empleó hierro de construcción (hierro fino de construcción, F100), más elástico y no acero que aguanta una vez pero luego se parte. Este hierro es más resistente a la tracción que a la torsión. También los ejes son de hierro, ya que el acero sólo va bien para grandes velocidades.

Diámetro mínimo del tornillo para un esfuerzo F:

$$\sqrt{4F/n \cdot 0.75 \cdot f_m}$$

donde F = fuerza de soporte

$f_m$  = resistencia específica del hierro; en metal viejo 27 y en metal nuevo 38/40.

Al cálculo de la resistencia de una varilla había que añadir a menudo el aspecto estético del conjunto: para la campana mayor de Cheste eran suficientes varillas de 16 pero hubiera quedado ridículo para la vista, dando una aparente sensación de inseguridad.

El cálculo debía realizarse no en estática sino en dinámica, considerando 2,5 veces el peso del conjunto. Así en el caso que fallase una de las U del yugo quedaría descompensada parte de la carga. Había que calcular los otros seis tirantes de manera que fueran capaces de soportar todo en las peores condiciones. El cálculo de los ejes es igual al de las varillas pero teniendo además en cuenta los efectos de cizalladura.

Las roscas en las varillas de Vilafamés fueron soldadas, lo que, de acuerdo con los materiales actuales, parece ofrecer una seguridad suficiente y una resistencia adecuada a la rotura. Tampoco era posible con los medios locales —herrereros del pueblo— realizarlo. En Cheste, con muchas más posibilidades técnicas, se realizaron manualmente las roscas mediante las terrajas adecuadas. No obstante, parece más conveniente para trabajos futuros realizar estas roscas mediante torno mecánico, por producir resultados más regulares y en menor tiempo.

Todas las campanas restauradas tienen las llamadas *siete orejas*, es decir, un número de asas dispuestas de modo vertical tres y luego horizontalmente dos y dos. La forma de unir estas campanas a su yugo ha sido siempre a base de tres U centrales y cuatro varillas sueltas a los dos lados exteriores, formando la combinación 4/2/4. Las campanas fueron colocadas en la misma ventana en que se encontraban tradicionalmente, aunque el modo de colocación ha variado en las tres campanas antiguas de Cheste, puesto que estaban ya desgastadas en el punto de percusión por causa de su prolongado uso a lo largo de los siglos. En este caso se adoptó una solución centroeu-

ropea para su fijación, ya que la tradicional multiplicaba el número de agujeros en el yugo aumentando el riesgo de rotura. Así, en vez de poner 4/3/3/4 varillas se pusieron 3/1/3, más robustas.

Varillas para las campanas instaladas con la combinación 4/2/4 en Cheste (Figura 6):

		C2		C4		C5	
A	a	128	(20 Ø)	98	(20 Ø)	96	(20 Ø)
	b	10		8		8	
	c	108		82		80	
	d	10		8		8	
	e	6		5		5	
B	a	122	(20 Ø)	94	(20 Ø)	88	(20 Ø)
	b	12		8		8	
	c	110		86		80	
	e	10		8		8.5	
C	a	40	(24 Ø)	30	(18 Ø)	28	(18 Ø)
	b	10		8		8	
	c	30		22		20	
D	a	38	(24 Ø)	28	(18 Ø)	26	(18 Ø)
	b	8		6		6	
	c	30		22		20	
	e	9.5		7		7	
E	a	46		35		31	
	b	8		7		7	
	c	38		28		24	
	e	40.5		32.5		28.5	
F	a	46		35		33	
	b	20.5		16		14.5	
G	a	16		12		11	
	b	9		7		6.5	
H	a	28 x 29		21.5 x 20.5		19 x 19.5	
	c	5		4		4	

Varillas empleadas para las campanas «giradas», instaladas con la combinación 3/1/3, en Cheste (Figura 7):

		C1	C2	C3
(1)	A	150	140	96
	B	142		
	C	8		
	D	≈ 4 Ø		
(2)	A	150		
	B	142		
	C	8		
	D	4 Ø		
(3)	A	23	20.5	
	B	16	14	
	C	11.5		
(4)	A	43		
	B	33		
	C	5		

### Las piedras empleadas en Cheste

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Largo	104	88	84	72	66	58
Ancho	45	40	35	32	28	25
Alto	15	15	12	12	8	8
Peso	174.7	147.8	98	77.4	41.4	32.5

Para aumentar la *seguridad* del conjunto cada pieza está sobredimensionada de manera que puede soportar el esfuerzo de las otras en el caso de que fallasen. Del mismo modo los cojinetes, como ya hemos dicho, se encuentran dentro de la pared. La forma abovedada del yugo, y su instalación cercana al muro hacen que, en el caso improbable de rotura por el centro por su forma se comprima contra la pared. La campana desde luego no puede voltear, aunque, y esto es lo más importante, tampoco puede caer.

### Protección de los materiales empleados

En las dos restauraciones de Cheste y Vilafamés las *maderas* fueron impregnadas repetidas veces de una fórmula que protege la madera, hasta la médula, sin cerrar sus poros, lo que facilita su respiración y su contacto con el ambiente. Se trata de 1 litro de Xylamon, 2 litros de petróleo y 10 bolas de naftalina, todo bien revuelto hasta la disolución de las partes sólidas. En las últimas pasadas, una vez bien empapado el conjunto, se lija la madera para darle un aspecto exterior más fino y compacto. Esta mezcla de nuestra invención, resultado de múltiples tanteos, alimenta la madera y la protege de la intrusión de insectos y hongos, resaltando en poco tiempo su color rojizo natural, que puede ser aumentado incluyendo en las últimas pasadas un poco de

Xyladecor caoba, aunque tanto en Cheste como en Vilafamés el color natural era suficientemente hermoso.

Para evitar que entrase la humedad a las distintas piezas de madera se colocó, en el momento de su montaje final, una pequeña tira de silicona cerca de su perímetro, que se comporta como barrera para el agua, al quedar presionada entre ambas piezas.

El *hierro* se pintó con una base de imprimación y Oxiron, incluso en caliente, ya que parece así que se adhiere mejor. Se empleó el color negro mate, más elegante que otros de la misma gama (marrón, azul...), igual de efectivos pero más chillones.

Aunque sea una excelente protección, en trabajos posteriores hemos llevado las maderas, una vez terminadas, a un autoclave, y los hierros, incluso los forjados, a bicromar. Luego los pintamos por encima con las fórmulas antes dichas. Aunque esto aumente los costes, a la larga supone una protección mayor, ya que los materiales actuales no son los mismos que se trabajaban en las forjas o en los talleres de nuestros abuelos, ni el medio ambiente tampoco.

### Fundidores

Se recurrió a dos fundidores distintos para las dos restauraciones, adecuados cada uno a las necesidades específicas de los trabajos.

La fundición *Barberí de Olot* hizo la campana mayor de Vilafamés, conservando exclusivamente la decoración de la campana precedente, del siglo pasado, y fundida también en Catalunya. Emplearon uno de sus moldes, de buena calidad, ya que no disponen de los conocimientos para reproducir con exactitud una campana que no sea de las suyas. Esta empresa tiene una tecnología industrial moderna, con terrajas de hierro y fundición por gasóleo y con cuchara.

La fundición *Gabriel Rivera de Montehermoso* fue escogida para las campanas de Cheste ya que se intentó reproducir en lo posible toda la tecnología antigua que se empleó *in situ* para la fabricación al pie de la torre a finales del siglo XVIII. Tienen un horno de reverbero, de adobe y ladrillo refractario, y alimentado con leña y carbón. Intentaron reproducir los perfiles de las campanas que había que reconstruir mediante el paciente trabajo de adaptar una terraja de madera nueva, hecha *ex profeso* para cada una de las campanas. El resultado fue satisfactorio y las campanas son coherentes entre sí, pero no están afinadas respecto a las antiguas.

Los ocho fundidores españoles en funcionamiento, fabrican campanas de calidad media aunque ninguno sea capaz, en estos momentos, de conseguir las características musicales apropiadas para cada campana; el resultado es más bien cosa del azar y a veces les salen campanas muy buenas. Tendrán que mejorar la parte musical de las campanas, conociendo las técnicas de afinación, que no son ningún secreto y están ampliamente publicadas en Estados Unidos de América y Holanda, entre otros lugares (ROSSING 1984). También deberán trabajar en el mundo de la soldadura de campanas, muy empleadas en la Gran Bretaña y sobre todo en Alemania para la conservación de campanas históricas quebradas, con resultados muy satisfactorios y similares a una nueva fundición. No olvidemos que al menos el 75 % de las campanas fundidas en España corresponden a la refundición de otras, a veces muy antiguas.

### El ordenador para los toques automáticos

Otro de nuestros frentes de investigación ha sido el ordenador para los toques automáticos de las campanas. Por necesidades de tiempo, ya que teníamos que insta-

lar una solución que funcionase, se adoptaron los motores y el autómeta fabricado por FRANCE CARILLON. Es una máquina bastante sencilla, para los usos de una parroquia pequeña o mediana, que permite grabar mediante un teclado, de acuerdo con las tradiciones del lugar, y reproducir a las horas deseadas, en un ciclo semanal, los toques que se reconocen mediante un número. Se pueden recoger hasta 100 diferentes, un número suficiente para las necesidades normales.

Estamos trabajando, desde hace años, en un sistema propio, más elástico y adaptado a las necesidades del cliente, basado en un ordenador compatible, que permite un mayor diálogo hombre-máquina, incluyendo frases en varios idiomas. Este mecanismo, que aún se encuentra en las fases iniciales, aunque ya está funcionando experimentalmente en alguna torre, permitirá la grabación ilimitada de toques para cualquier fecha futura, introduciendo funciones pseudoaleatorias, que reproducirán el «humor del campanero», de acuerdo con ciertos márgenes predeterminados.

### **Tiempo de trabajo**

La restauración tuvo lugar en los lugares de referencia: dos meses en Vilafamés y cinco en Cheste. Parece conveniente realizar al menos el 80 % de la tarea en el lugar de residencia habitual del equipo de restauradores ya que se cuenta con una serie de colaboradores habituales (carpinteros, herreros) que ya conocen las necesidades de la restauración. Al permanecer en el lugar de destino sólo el tiempo preciso el restaurador mantiene una posición personal y laboral más prestigiosa, mejor considerada.

La experiencia adquirida en éstos y otros trabajos posteriores parece probar que, trabajando de manera organizada en nuestra residencia es posible construir los yugos de madera en cuatro veces menos de tiempo: la restauración de un yugo antiguo en Cardedéu, que ha sido depositado en el museo municipal, y la construcción de otro nuevo para la campana mayor, de 600 kilos, solamente nos ha durado, en un trabajo mucho mejor planificado, una semana. Esta instalación está preparada para el toque manual o automático, y para el repique o el semivolteo, como es costumbre en aquel pueblo.

### **Grupo de trabajo y dispersión geográfica**

Como se trataba, de alguna manera, de experiencias piloto, los grupos de trabajo tenían que formarse sobre la marcha. Tanto en Cheste como en Vilafamés tuvimos que hacer de herreros, de carpinteros, de gruistas, de instaladores... Aparte de las colaboraciones locales con artesanos del hierro y de la madera, nuestro grupo de trabajo estaba formado por tres personas, el restaurador y dos ayudantes, uno venido desde Catalunya y otro desde València.

Esta dispersión supone no solamente un aumento de los plazos de trabajo sino un mayor desconcierto al tener que estar haciendo tantas cosas a la vez. De acuerdo con la propuesta antes apuntada, parece mejor contar con colaboradores especializados en nuestro lugar de residencia, que ya conocen nuestras necesidades de restauración.

Vistas las características del trabajo, minucioso y con frecuentes reparaciones, no parece conveniente marchar tan lejos del lugar de origen. Lo normal sería, como ya hicimos en Francia, la creación de grupos de ámbito regional, que llevasen sus pequeños o medianos trabajos de manera autónoma, y que colaborasen juntos para tareas importantes, como las subidas e instalaciones de grandes campanas. Estos grupos, que

deben estar formados como máximo por tres o cuatro personas para que el trabajo sea rentable y productivo, tienen que ser independientes de los fundidores, dedicándose unos a instalar y mantener y los otros exclusivamente a mejorar sus productos y a abaratarlos. No olvidemos que en el año 1992, con la apertura de los mercados europeos, llegarán campanas e instaladores mucho más baratos y de mejor calidad que cualquiera de los existentes en España.

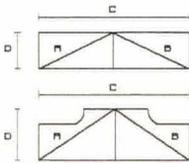


FIGURA 1

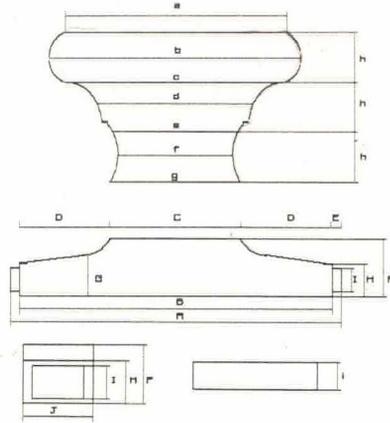


FIGURA 3

CENTROS DE BARVEADO DE LAS DISTINTAS SECCIONES  
(B1 - B8) Y CENTRO GENERAL DE BARVEADO (B)

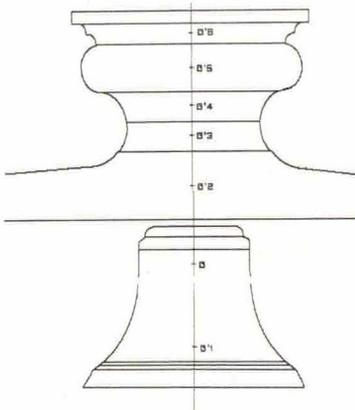


FIGURA 2

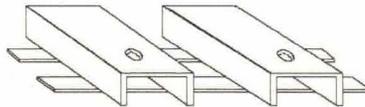


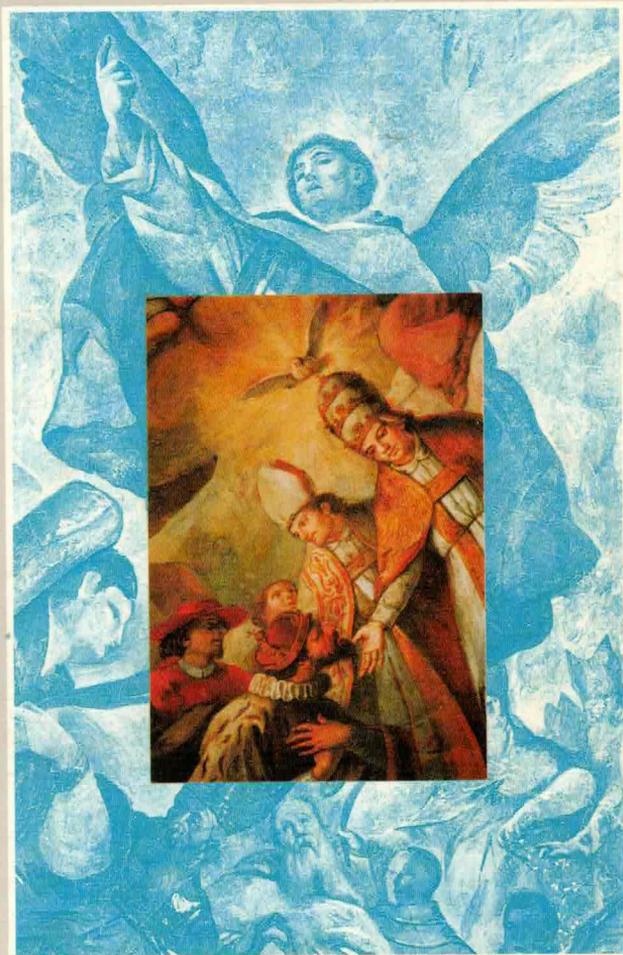
FIGURA 4





# VIII CONGRÉS DE CONSERVACIÓ DE BÉNS CULTURALS

*Ponències i Comunicacions*



VALÈNCIA, 20, 21, 22 i 23 setembre 1990



GENERALITAT VALENCIANA  
CONSELLERIA DE CULTURA, EDUCACIÓ I CIÈNCIA

# VIII CONGRESO DE CONSERVACION DE BIENES CULTURALES

Valencia, 20, 21, 22 y 23 de septiembre de 1990

VOLUMEN I

EX LIBRIS  
elopi alvaro  
campaner  
1990  
=====  
=====

*Actas recopiladas por*  
PILAR ROIG PICAZO



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA