

DETERMINACIÓN DE ALGUNAS MAGNITUDES FÍSICAS CARACTERÍSTICAS DE UNA CAMPANA

Salvador Ivorra Chorro¹
Francesc Llop i Bayo²

RESUMEN

Son habituales las intervenciones para la restauración de torres-campanario. En número importante de casos estos edificios suelen ser calificados como edificios históricos. Para la realización de una correcta intervención es necesario solventar los problemas que hayan podido ocasionar desperfectos y deterioros en la estructura. Una acción exterior característica en una torre-campanario son las fuerzas variables con el tiempo introducidas por las campanas al voltear. Para la evaluación de estas acciones es necesario conocer algunos valores de estos elementos mecánicos. En esta comunicación se presentan fórmulas sencillas para la determinación del peso del conjunto yugo-campana-herrajes, inercia y posición del centro de gravedad. Se proporcionan valores indicativos de ensayos reales.

Los datos que aquí se presentan son igualmente interesantes para su consideración en las intervenciones que se realicen en la restauración de conjuntos de campanas, que también en numerosas ocasiones son Bienes de Interés Cultural por su propia antigüedad.

Palabras claves

Campana, Campanario, Acción dinámica, caracterización dinámica.

1. INTRODUCCIÓN

Anualmente se realizan intervenciones de consolidación y reparación en numerosas de las torres que existen a lo largo de la geografía española. Éstas son estructuras singulares y características de cada población por lo que se debería tener especial cuidado en su perfecto mantenimiento.

Muchas son las ocasiones en las que la intervención global de la torre incluye la propia sala donde se encuentran ubicadas las campanas, e incluso éstas mismas mediante la recuperación de los tradicionales yugos de madera y de sistemas mecánicos capaces de producir el volteo tradicional característico de cada torre.

Desde el punto de vista de la rehabilitación, tanto de la torre como de las campanas, es necesario evitar todas aquellas situaciones que hayan podido ser origen de las anomalías que se puedan presentar en los elementos que la componen.

La singularidad que presentan las torres campanario frente a otro tipo de estructuras es la existencia de elementos mecánicos móviles que giran a una determinada velocidad prácticamente constante situados a una altura considerable respecto de la base, estos son: las campanas.

¹ Dr. Ingeniero Industrial. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras, Camino de Vera s/n, 46022, Valencia. España. E-mail: Sivorra@mes.upv.es

² Dr. en Antropología. Conselleria de Cultura i Educació. Direcció General de Patrimoni Artístic. Generalitat Valenciana. Avda. Campanar, 32, 46015 – Valencia. España. E-mail: francesc.llop@terra.es

Estos elementos, al girar, introducen una serie de fuerzas, tanto horizontales como verticales, variables con el tiempo sobre sus soportes que a su vez se transmiten a toda la estructura de la torre.

La determinación de estas acciones dinámicas es fundamental para el correcto conocimiento del funcionamiento estructural de la torre, así como para la elección de las posibles formas de intervención en la estructura. En ocasiones pueden realizarse reparaciones en una torre sin conocer el verdadero origen del problema, reapareciendo con el tiempo los problemas iniciales.

El problema que se presenta es mucho más complejo puesto que para conocer perfectamente la respuesta de la estructura frente a la excitación de las campanas será también necesario conocer las características dinámicas de la torre para lo cual será necesario plantear un protocolo de mediciones sobre esta. Trataremos en esta comunicación únicamente la determinación de los valores característicos de las campanas que gobernarán las ecuaciones de las fuerzas variables con el tiempo que actúan sobre sus soportes. Estas magnitudes serán propias para cada sistema yugo-campana-herrajes.

Considerando este conjunto como un péndulo simple estas ecuaciones pueden deducirse de un modo analítico quedando expresadas en función de las siguiente magnitudes:

- Peso
- Inercia
- Posición del centro de gravedad

Un factor que influye decisivamente en estas acciones dinámicas es la velocidad de giro del conjunto. Este valor, a pesar de ir asociado usualmente al peso del conjunto, no se puede considerar como una magnitud física característica de una campana, sino que va asociado a otros valores estéticos y culturales de cada población, e incluso de cada conjunto de campanas. Se indican en esta comunicación valores usuales obtenidos en los registros de campanas en el entorno de la Comunidad Valenciana.

Se proponen a continuación una serie de ensayos sencillos para la determinación de estas magnitudes. Estos procedimientos han sido aplicados a un conjunto de cincuenta campanas.

2. DETERMINACIÓN DEL PESO

Usualmente se suele admitir como dato el valor del peso de la campana, bien porque es un valor proporcionado por la fundición, o bien porque se puede consultar en los archivos parroquiales. Sin embargo, en muchas ocasiones este procedimiento puede ser incluso más complejo que el de realizar mediciones directas sobre la campana, dado que los archivos parroquiales pueden haber sido destruidos durante la Guerra Civil, o bien porque estos datos no fueron lo suficientemente interesantes en su día como para archivarlos. Puede ser también usual que la fundición haya desaparecido y por tanto no existir archivos de ésta donde consultar el dato buscado. También es usual la exageración de ese peso, tanto por razones comerciales (las campanas se venden tradicionalmente por peso y no por nota) cuanto por motivos culturales (“nuestras campanas son las mayores, sobre todo con relación a las poblaciones vecinas”).

Dado que se plantean estos problemas se han tratado de buscar métodos alternativos con el fin de poder obtener este dato.

Desde un punto de vista teórico podría plantearse un procedimiento matemático que consistiría en medir las dimensiones interiores y exteriores de la campana y realizar un proceso de integración numérica, adoptando un valor aproximado para la densidad del material del que está fabricada la campana. Como estas medidas han de realizarse in situ, con la campana colocada en el campanario, la dificultad que ello conlleva es grande dado que en muchas ocasiones es un lugar de difícil acceso y con incomodidad para realizar las mediciones, pudiendo dar lugar a valores con un gran exceso de errores, los cuales se verían aumentados al proceder a la integración numérica, por tanto este método lo consideraremos inviable.

La medida más precisa para el valor del peso de la campana se podría obtener cuando por motivos de reparación de ésta haya de llevarse a taller, ésta es una ocasión que no debe desaprovecharse para obtener el peso de la campana y el del yugo por separado; además puede utilizarse esta ocasión para medir las propiedades geométricas del conjunto (centro de gravedad, inercia, ...)

En 1982 Bagot (1) propuso un método alternativo utilizando una fórmula para predecir la masa de la campana en función del diámetro de la boca y la nota de ésta. La fórmula de Bagot ha sido una de las más tradicionalmente empleadas en todo el mundo, si bien, otras muchas han sido propuestas (algunas más simples y otras más complejas)⁽²⁾

Desde un punto de vista teórico, la obtención de la masa de la campana nos vendría dada por:

$$m = \rho \cdot V \quad (1)$$

m = masa de la campana (dado que se quiere obtener)

ρ = densidad (se suele aceptar para la aleación de bronce 8.850 kg/m³)

V = Volumen

Como se ha apuntado en párrafos precedentes el valor del volumen es difícil de obtener, así como el de la densidad, ya que el valor indicado de 8.850 kg/m³ es un tanto aproximado.

Los fundidores de campanas modernos poseen una serie de tamaños de campanas estándar. Se puede asumir que todas las campanas realizadas por un mismo fundidor poseen una forma similar –variando el tamaño–, estando fabricadas del mismo material, para lo cual se puede asumir:

$$m = c_1 \cdot \rho \cdot D^3 = K_1 \cdot D^3 \quad (2)$$

siendo:

c_1 = un coeficiente de forma; constante

K_1 = constante

ρ = densidad

D = una magnitud característica de la campana, en este caso el diámetro de la boca.

El Gremi de Campaners Valencians (GCV) está realizando un inventario de todas las campanas de la Comunidad Valenciana así como la de otros municipios de España especialmente de las Catedrales. Dentro de ese inventario uno de los datos que proporciona para cada campana es el del peso.

El GCV asume y tiene contrastado que la formulación anterior es válida para un valor $K_1 = 579$, introduciendo el valor del diámetro de la boca de la campana en m. Para campanas de perfil ligero el valor del peso de la campana será el 10% inferior del valor anteriormente propuesto, en caso de perfil grueso será necesario aumentar el valor obtenido en un 10%. Esta expresión proporciona resultados con cierta aproximación para determinar los pesos de campanas sin considerar el yugo, el badajo y los herrajes de sujeción. Los valores propuestos, en ocasiones, poseen un error cercano al 30%, sobre todo para campanas de menor peso, tal y como se verá en las siguientes tablas. Dado que no se conoce su deducción matemática, se ha procedido a realizar un ajuste matemático a partir de catálogos de catálogos de diferentes fabricantes:

Fabricantes	Ajuste	% error G.V.C.
Whitechapel (U.K.) (3)	$580,8 \cdot D^{2,7839}$	Inferior al 10 % para campanas de peso de bronce inferior a 100 kp
Eijsbouts (Holanda) (perfil normal)	$578,59 \cdot D^{2,9449}$	Inferior al 10 % para campanas de peso de bronce inferior a 23 kp
Eijsbouts (Holanda) (perfil pesado)	$622,28 \cdot D^{2,9192}$	Inferior al 10 % para campanas de peso de bronce inferior a 60 kp
Norma DIN4178 (perfil ligero)	$507,92 \cdot D^{3,0143}$	Inferior al 10% para toda la serie.
Norma DIN4178 (perfil normal)	$540,54 \cdot D^{3,0082}$	Inferior al 10% para todas las campanas de la serie salvo las de los pesos siguientes: 4183'67, 816'3, 104'04, 81'63, 40'82 (kp)
Norma DIN4178 (perfil pesado)	$667,6 \cdot D^{3,0663}$	Inferior al 10% para toda la serie salvo para campanas de peso superior a los 8.000 kp.

Para campanas castellanas, más conocidas como “campanas romanas”, en las cuales la relación alto de la campana/boca de la campana < 1, esta expresión no es válida.⁽⁴⁾ⁱ

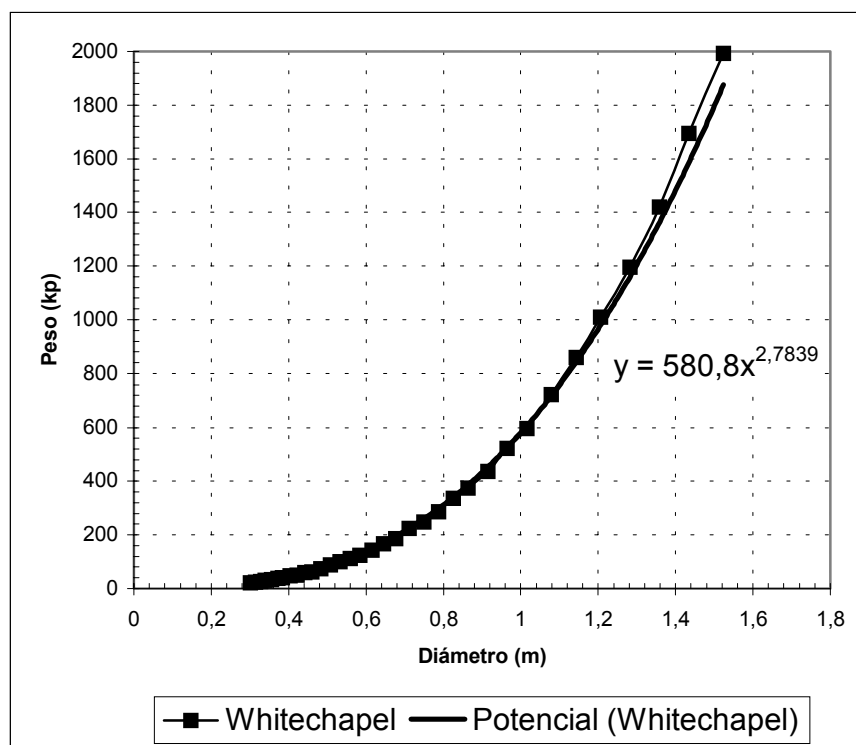


Fig. 1.- Ajuste de la curva Diámetro-Peso para campanas de la fundición Whitechapel

Esta expresión ha sido igualmente comprobada con ensayos en taller para campanas de nuestra Comunidad presentado para todos los casos errores inferiores al 10%.

Hasta el momento se ha planteado un procedimiento para la determinación del peso del bronce, si bien para la evaluación de las fuerzas dinámicas que actúan sobre la estructura es necesario conocer el peso del conjunto yugo-campana-herrajes.

A través de los ensayos que se han realizado se ha podido comprobar que para yugos metálicos la expresión:

$$\text{Peso} = 1'6 \cdot 579 \cdot D^3 \quad (3)$$

presenta errores inferiores al 4%, mientras que para campanas con yugo de madera esta expresión puede variar entre 1'6 y 2'5 veces el peso del bronce.

3. DETERMINACIÓN DE LA INERCIA

Como es sabido, a través de la inercia se indica un valor que depende directamente de la distribución de la masa a lo largo del cuerpo. Al igual que para la obtención del peso del sistema podría partirse de un modelo matemático que incluyera las dimensiones del conjunto yugo campana, a partir de él se podría proceder a su integración numérica con el fin de determinar la inercia del conjunto. Dado que la construcción de este modelo es sumamente compleja dadas las imprecisiones en la medición de las dimensiones del sistema, se hace necesario un proceso experimental para la su determinación.

En el primer experimento propuesto por Bagot la campana se sitúa en equilibrio estático, es decir con la boca hacia abajo, con el fin de poder observar el periodo de oscilación de esta para oscilaciones pequeñas (τ_0). Con el fin de obtener una mayor precisión, sería interesante realizar alrededor de 50 oscilaciones completas y medir con un cronómetro el tiempo completo del conjunto de oscilaciones, posteriormente se realizaría la división del tiempo durando frente a las 50 oscilaciones completas.

En el caso de que la fricción fuera tan importante que no permitiera una oscilación libre completa podría aplicarse un pequeño impulso (solo uno en cada ciclo) en el punto donde el sistema tiene la máxima velocidad (180°), teniendo cuidado de que el impulso introducido no supere la fase de la oscilación (esto podría ocurrir si se aplicara al final de una batida de la campana) En la práctica podría hacerse dado una pequeña palmadita en la rueda (si la tiene) o un pequeño tirón de la cuerda de la ballesta (barra sistema valenciano)

Este análisis dinámico servirá para poder determinar el periodo de oscilación en pequeñas oscilaciones.

Dado que es bien conocido el valor del periodo de oscilación de un péndulo físico

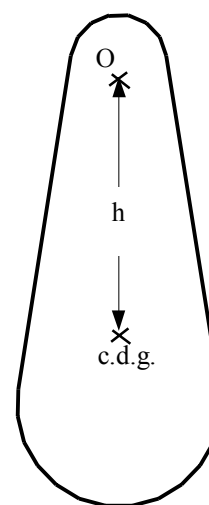


Fig. 2.- Péndulo físico

$$\tau_0 \approx 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{I}{m \cdot g \cdot h}} \quad (4)$$

siendo:

m = masa del conjunto campana-yugo-eje

h = distancia del eje de giro al c.d.g.

g = aceleración de la gravedad

de esta expresión puede despejarse de inmediato el valor de la inercia de la campana.

Este análisis dinámico servirá, por tanto, para determinar la inercia del sistema.

La determinación de este valor se ve influenciada directamente por el rozamiento del yugo en los apoyos, para la mayor parte de las campanas la determinación del periodo de pequeñas oscilaciones se ha realizado utilizando cojinetes autocentrantes en los apoyos, con lo que se ve reducido considerablemente este factor.

4. DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD DEL CONJUNTO

La determinación más aproximadamente posible para este valor se obtendrá a partir de ensayos sobre cada una de las campanas. Puede llevarse a cabo un estudio estático introduciendo una pequeña masa m conocida

Aplicando las ecuaciones de equilibrio estático:

$$\sum M_0 = 0 \quad (5)$$

$$M \cdot g \cdot h \cdot \sin \theta = m \cdot g \cdot R \cdot \cos \theta$$

$$h = \frac{m \cdot g}{M \cdot g} \cdot R \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \theta} \quad (6)$$

Siendo:

Mg = Peso del conjunto yugo-campana

mg = peso de la masa conocida

θ = $\arcsen(v/R)$, dado que medir distancias es mucho más fácil que medir ángulos

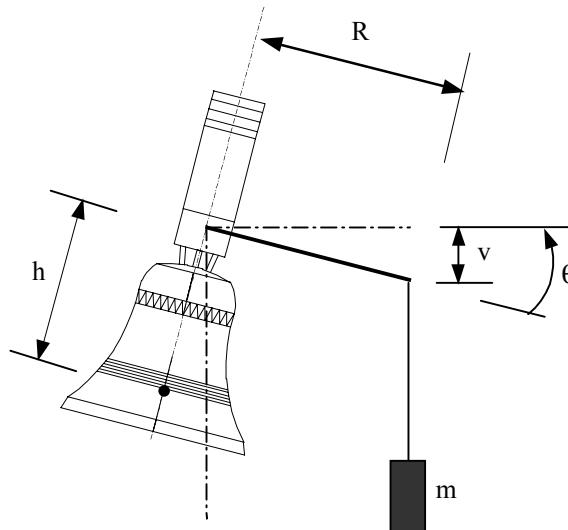


Fig. 3.- Ensayo estático para la determinación del centro de gravedad de una campana

La utilización de este método es aconsejable para campanas de peso considerable, campanas que se encuentren muy desequilibradas o campanas que se encuentren situadas en una zona de difícil acceso en las cuales no sea posible la aplicación de métodos más sencillos como el descrito a continuación.

En numerosas ocasiones las mediciones han de hacerse in situ, sobre la torre, debido a que no existe la posibilidad de descolgar las campanas para ensayarlas en taller, por ello los planteamientos aquí descritos pueden en algunas torres ser demasiado incómodos. Por ello se presenta la

utilización de un dinamómetro para evaluar la posición del centro de gravedad del conjunto yugo-campana.

El procedimiento se describe en la siguiente figura:

Aplicando las ecuaciones de equilibrio estático:

$$\sum M_o = 0$$

$$M \cdot g \cdot h = l \cdot k \tag{7}$$

$$h = \frac{l \cdot k}{M \cdot g} \tag{8}$$

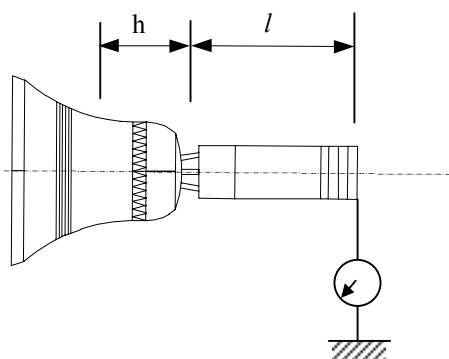


Fig. 4.-: Aplicación de un dinamómetro para la determinación del c.d.g. del conjunto yugo campana.

siendo:

Mg = Peso del conjunto yugo-campana

k = lectura del dinamómetro

l = Distancia entre la posición del dinamómetro y el eje de rotación.

Se ha empleado un dinamómetro de 100 kp debido a que a través de este método únicamente podrán ser evaluadas campanas que se encuentren suficientemente equilibradas, bien campanas con yugos metálicos o bien campanas de reciente restauración. También

podrán ser evaluadas campanas de pequeñas dimensiones cuya lectura en el dinamómetro tras colocarlas horizontalmente sea inferior a 100 kp. Esta limitación viene dada por el hecho de que una persona no puede colocar horizontalmente una campana que “tire” más de 100 kp. sin necesidad de utilizar trácteles, gatos o mecanismos similares. La utilización de estos sistemas haría más engorroso el método, por lo que ya podrían aplicarse los sistemas descritos en apartados anteriores.



Fig. 5. Dinamómetro utilizado

5. CASOS REALES ESTUDIADOS.

Se presenta a continuación y una tabla con resultados de algunos ensayos:

Localidad	Campana	Peso de la campana (kp)	Peso total (kp)	h (c.d.g.)	k (I=mk ²)
Agost – Sant Pere Apòstol	San José	191 yugo metálico (antes de restaurac.)	306	0.022 m	0.2485 m
Agost – Sant Pere Apòstol	Sta. Bárbara	434.4 yugo metálico (antes de restaurac.)	695	0.065 m	0.398 m

Ivorra y Llop

Localidad	Campana	Peso de la campana (kp)	Peso total (kp)	h (c.d.g.)	k (I=mk ²)
Agost – Sant Pere Apòstol	Sta. María	600 yugo metálico (antes de restaurac.)	1102	0.032 m	0.575 m
Agost – Sant Pere Apòstol	San José	191 yugo de madera (nuevo)	306	0.022 m	0.2485 m
Agost – Sant Pere Apòstol	Sta. Bárbara	434.4 yugo de madera (nuevo)	695	0.065 m	0.398 m
Agost – Sant Pere Apòstol	Sta. María	600 yugo de madera (nuevo)	1102	0.032 m	0.575 m
Catarroja – Sant Miquel	Filomena Elisa	166 yugo metálico (antes de restaurac.)	273.5	0.026 m	0.34 m
Cinctorres – Sant Pere Apòstol	La de les tres Caritats	125 yugo de madera (nuevo)	200	0.14 m	0.56 m
Cinctorres – Sant Pere Apòstol	La Mitjana	496 yugo de madera (nuevo)	794	0.09 m	0.45 m
Cinctorres – Sant Pere Apòstol	La Grossa	951 yugo de madera (nuevo)	1522	0.093 m	0.47 m
Cinctorres (Castellón) San Pedro Apòstol	La Menuda	39 yugo de madera (nuevo)	62.4	0.06 m	0.65 m
Enguera - San Miguel	Micaela	1305 yugo de madera (nuevo)	2350	0.055 m	0.69 m
Enguera - San Miguel	San José	193 yugo de madera (nuevo)	328	0.11 m	0.43 m
Enguera - San Miguel	San Miguel	730 yugo de madera (nuevo)	1241	0.087 m	0.64 m
Enguera - San Miguel	Sta. María del Rosario	266 yugo de madera (nuevo)	453	0.073 m	0.47 m
Ontinyent - Santa Maria	María	392 yugo metálico	670	0.025 m	0.34 m
Sueca – Ntra. Sra. de Fátima	Grande	182 yugo de madera (nuevo)	291	0.08 m	0.452 m
Sueca – Ntra. Sra. de Fátima	Mediana	102 yugo de madera (nuevo)	163	0.093 m	0.393 m
Valencia - Catedral	La María	2023 yugo de madera	3236	0.25 m	1.23 m (influencia del rozamiento con los apoyos)
Valencia – Catedral	La Úrsula	191 yugo de madera	305	0.12 m	0.501 m
Valencia – Catedral	La Violant	333 yugo de madera	533	0.136 m	0.45
Valencia - Ntra. Sra. del Pilar de Bonrepós	Jesús	31 yugo metálico	50	0.015 m	0.35 m

Localidad	Campana	Peso de la campana (kp)	Peso total (kp)	h (c.d.g.)	k (I=mk ²)
Valencia - Ntra. Sra. del Pilar de Bonrepós	San Vicente Ferrer	96 yugo metálico	154	0.02 m	0.42 m
Valencia - Ntra. Sra. del Pilar de Bonrepós	San Juan Bautista	198 yugo metálico	317	0.032 m	0.35 m
Valencia - Ntra. Sra. del Pilar de Bonrepós	Virgen del Pilar	394 yugo metálico	631	0.016 m	0.40 m
Valencia – Nuestra Sra. del Carmen	Felipe	21 yugo de madera (nuevo)	39	0.0284 m	0.18 m
Valencia – Nuestra Sra. del Carmen	Sta. Teresa de Jesús	144.8 yugo de madera (nuevo)	357	0.115 m	0.467 m
Valencia – Nuestra Sra. del Carmen	Sta. María Gracia Plena	66 yugo de madera (nuevo)	129	0.071 m	0.31 m
Vinarós – Assumpció	La Grossa	1130 yugo metálico	1808	0.015 m	0.68 m
Vinarós – Assumpció	La Mitjana	448 yugo metálico	717	0.021 m	0.51 m
Vinarós – Assumpció	Ntra. Sra. de la Misericordia	274 yugo metálico	438	0.014 m	0.56 m
Vinarós – Assumpció	Sant Antoni	198 yugo metálico	317	0.031 m	0.40 m

6. VELOCIDADES DE GIRO HABITUALES.

Para la determinación de la velocidad de giro de una campana se proponen dos sencillos procedimientos. El primero consiste en registrar mediante un cronómetro la duración del volteo de la campana al tiempo que se cuentan el número de vueltas que da ésta. El valor de la velocidad de giro será:

$$v = \frac{n^{\circ} \text{ vueltas} \cdot 60}{\text{tiempo}} \quad (\text{rev/min}) \quad (9)$$

El segundo ensayo, propuesto por la norma DIN 4178, proporciona resultados idénticos y consiste en contar el número de golpes de badajo:

$$v = \frac{n^{\circ} \text{ golpes de badajo} \cdot 60}{2 \cdot \text{tiempo}} \quad (\text{rev/min}) \quad (10)$$

A pesar de que en la mayoría de casos la velocidad de giro de las campanas viene condicionada por el ritmo sonoro del conjunto, se presenta una correlación entre velocidades de giro y pesos del conjunto, con el fin de evaluar la disminución de velocidad de giro conforme aumenta el peso de éstas, factor de especial relevancia sobre las fuerzas de inercia actuantes sobre los soportes.

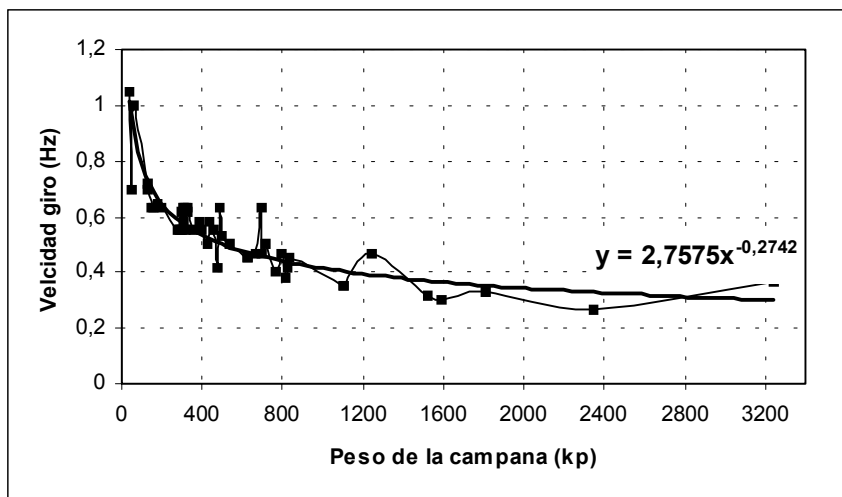


Fig. 4.- Correlación entre velocidades de giro y pesos del conjunto para las campanas estudiadas.

La ecuación de la curva de correlación obtenida nos puede permitir plantear una velocidad de giro aproximada para una campana, bien durante la fase de restauración de ésta y su posterior colocación en la torre, o bien para evaluar en una primera aproximación el efecto de ésta sobre la torre o espadaña que la sustenta. La velocidad de giro definitiva vendrá impuesta por el experto musical que relacionará los ritmos del conjunto y acelerará o decelerará unas u otras con el fin de conseguir el ritmo deseado⁽⁵⁾. Dado que en muchas ocasiones es difícil conseguir los datos del peso real del conjunto, tal y como se ha descrito en apartados precedentes, se plantea la necesidad de desarrollar una ecuación aproximada de la velocidad de giro de la campana en función del diámetro de la boca de ésta. Se presentará con unidades de rev/min y m, dado que estos son valores mucho más utilizados por los instaladores/restauradores de campanas que Hz..

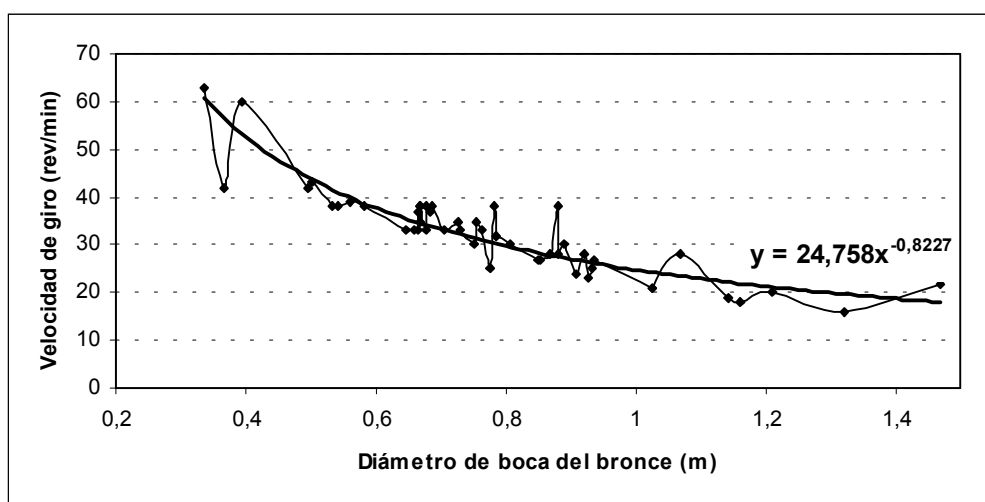


Fig. 5.92.- Correlación entre velocidades de giro en rev/min y el diámetro de la boca del bronce en m

4. BIBLIOGRAFÍA

1. Bachmann, H. et al., (1995). Vibrations problems in structures: practical guidelines, Basel, Birkhäuser Verlag Basel
2. Binda, L., et al.; (2000). Investigation procedures for the diagnosis of historic masonries, Construction and Building materials; Vol. 14, p. 199-233. Elsevier Science Ltd
3. Cerioni, R., et al.; (1995), Use of incompatible displacement modes in a finite element model to analyze the dynamic behavior of unreinforced masonry panels; Computers & Structures,., , Vol. 57 No. 1, p. 47-57 Elsevier Science Ltd
4. Heyman, J., Threlfall, B.D. Inertia Forces due to Bell Ringing, International Journal of Mechanical Sciences, 18, pg. 161-164
5. Ivorra, S.; Cervera, J. (2002); Caracterización mecánica de una torre-campanario del siglo XVIII a través de ensayos dinámicos. VIII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos. Valencia. Págs. 563-569.
6. Ivorra, S. Cervera, J. (2001); Analysis of the dynamic actions when bells are swinging on the bell-tower of Bonrepos i Mirambell Church (Valencia, Spain). International seminar, possibilities of numerical and experimental techniques. Historical Constructions. Guimaraes (Portugal). Págs. 413-419.
7. Niederwanger (1997). Structural Repair of Damaged Old Bell Towers Based on Dynamic Measurements. Structural studies, Repairs and Maintenance of Historical Buildings. Ed. Sanchez. Computational Mechanics Publications. Southampton.
8. Schutz, K. G. (1994). Dynamische Beanspruchung von Glockentürmen. Bauingenieur 69, p. 211-217. Springer-Verlag.
9. Wilson, J.M., Selby A., (1993). Engineering a Cathedral, London, Thomas Telford Ltd
10. Wimmer, Majer y Niederwanger, (1990). Dynamic behaviour and numerical simulation of old bell towers, Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings (Edited by C. A. Brebbia), Computational Mechanics Publications, Southampton.

⁽¹⁾ Bagot H., 1982, Determining a bells weight from strike note and diameter” (comunicación privada)

⁽²⁾ Los profesores Wilson, J.M. y Selby A.R. de la Universidad de Durham –U.K.- han realizado estudios con campanas fabricadas de acero, en los cuales se observa que los valores propuestos por Bagot –únicamente para campanas de aleaciones de bronce- distan bastante de la realidad, por lo que han propuesto otro método alternativo para medir el peso de las campanas de acero, utilizando una formulación mucho más general basada en los principios de las notas producidas por la vibración de una campana. Este es también un informe privado, no publicado

⁽³⁾ “*Beschouwingen over de luidklokken installatie*”, Copyright Eijsbouts; Asten; Holland, 1967 –Obra no publicada, facilitada directamente por la fundición-.

- (4) Durante la restauración del conjunto de campanas de Monreal del Campo, en la provincia de Teruel, en la cual los autores colaboraron en el cálculo y refuerzo del yugo metálico de la campana mayor; se determinaron los pesos reales de las cuatro campanas que formaban el conjunto, dado que éstas habían sido fundidas en la fundición cántabra de los Hermanos Portilla, éstas se habían realizado según el modelo castellano, por lo cual la expresión aquí mencionada no es válida. La intervención fue ejecutada por la empresa “2001 Técnica y Artesanía”.
- (5) En muchas poblaciones el variar los ritmos y velocidades de giro de las campanas tras una restauración, respecto de los que los habitantes se encuentran acostumbrados puede originar serias disputas, por ello es aconsejable disponer de registros previos o bien de solicitar la colaboración de algún representante de la población con el fin de ajustar definitivamente las velocidades de giro de éstas.