

VALORACIÓN ECONOMICA DE DAÑOS, EN EDIFICIOS AFECTADOS POR LOS TERREMOTOS DE LORCA (2011)

Pina Ruiz, P.^{1*}; Sánchez Medrano, F.¹; Ramírez Pacheco, G. ¹

¹ Grado en Arquitectura y Grado en Ingeniería de Edificación – Escuela Politécnica Superior- Universidad Católica San Antonio de Murcia (España)

valoraciones@precioscostesconstrucción.com

Resumen

El modelo aplicado para la estimación del coste de las reparaciones precisas tras los terremotos de Lorca (2011), se denomina **Pcr.5n** (Predimensionado costes de referencia con 5 niveles de cálculo), dado que el referido modelo posibilita valorar los daños sísmicos en las visitas iniciales de “emergencia”, tanto en las primeras estimaciones del coste de las intervenciones precisas para la rehabilitación o restauración de las edificaciones afectadas por el sismo, como en los posteriores cálculos presupuestarios que se han de incluir en los proyectos de ejecución.

La aplicación del modelo de costes en reparación de daños, se pone en práctica sobre intervenciones de “urgencia” en obras de Rehabilitación de Viviendas y Restauración de Iglesias, afectadas por los terremotos de Lorca, del día 11 de Mayo del año 2011, tomando para los cálculos estimativos las siguientes muestras de referencia:

- 16 Edificios de viviendas, situados en el casco urbano de Lorca. (Nivel de cálculo .2).
- 11 Iglesias, ubicadas en el casco histórico de Lorca. (Nivel de cálculo .3).

Los modelos de predimensionado de costes se encuentran actualmente poco desarrollados, y por tanto, no son habitualmente utilizados por técnicos y profesionales del sector, a pesar de que la estimación del coste cierto final de obra es, en nuestro país, preceptivo tanto en el marco técnico, como en el legal, según el vigente Código Técnico de la Edificación (CTE) y la Ley 3/2011 de Contratos con el Sector Público.

Por lo anteriormente expuesto, se considera de interés divulgar la aplicación práctica de trabajos de investigación, sobre modelos de predimensionado de costes de construcción, como el modelo Pcr.5n, fruto de la tesis doctoral que se describe y aplica en esta comunicación.

Según se avanza en la definición y valoración económica, el modelo va ajustando y perfeccionando la estimación del coste en cada uno de sus niveles de cálculo [aproximaciones sucesivas en intervalos finitos], siendo la hipótesis básica, conseguir desviaciones inferiores al 10% sobre el coste final/real de las obras proyectadas.

Para lograr este objetivo, el cálculo del coste de la reparación de daños se desarrolla en base a parámetros “tridimensionales” del volumen global edificado, y a parámetros métricos “bidimensionales” de la envolvente exterior de cubierta/fachada y de la huella del edificio sobre el terreno.

Estos parámetros funcionales y constructivos incluyen en la estimación del coste los gastos generales y el beneficio de la empresa constructora, obteniendo así, como resultado de la estimación, el predimensionado del coste de reparación por contrata de los daños producidos por los terremotos de Lorca (2011), y todo ello, de modo rápido, forma precisa y resultado cierto.

Palabras clave: Construcción; costes; daños; predimensionado; sismo.

1. Introducción. Los terremotos de Lorca del 11 de Mayo del año 2011

El día 11 de mayo de 2011, Lorca sufre tres movimientos sísmicos y numerosas replicas, el primer terremoto se produce a las 15:05 horas de grado Mw 4,5 (Intensidad VI), el segundo a las 16:47 horas con grado Mw 5,1 (Intensidad VII). Las consecuencias de este segundo terremoto fueron de enorme trascendencia, debido a la cercanía y poca profundidad del epicentro y la alta intensidad del mismo, a pesar de su corta duración de aproximadamente 5 segundos. El tercer movimiento sísmico, se produjo a las 22:37 horas y fue de grado Mw 3,9 (Intensidad IV). (ROLDAN y otros, 2012).

Ante el desolador escenario originado por los efectos sísmicos, es de vital importancia para la urgente programación de las inversiones precisas y la eficiente reparación de los edificios afectados, la cuantificación económica de los daños producidos por los efectos sísmicos reseñados, tratando la presente comunicación sobre la valoración de las reparaciones de los daños que los terremotos produjeron sobre las edificaciones de uso residencial y eclesiástico, mediante la aplicación práctica del modelo Pcr.5n de Predimensionado costes de referencia, con 5 niveles de cálculo (PINA, 2014), implementando la estimación de las valoraciones de daños sobre las viviendas, en el nivel.2 de cálculo del modelo, por metros cúbicos totales del edificio, y para las Iglesias, se aplica el nivel .3 de estimación de costes, en función de la envolvente, el volumen global y la huella del edificio sobre el terreno.

2. Metodología. Modelo de predimensionado de costes Pcr.5n

La metodología aplicada para la implementación práctica del modelo de predimensionado Pcr.5n, a la valoración de los costes de reparación de daños por sismo, se ha estructurado según las tres siguientes fases (GARCIA y otros, 2014):

1º Fase (Información): Recopilación de publicaciones y artículos de carácter técnico, de los daños producidos por la acción sísmica, sobre la configuración estructural y constructiva de los edificios de Lorca.

2º Fase (Análisis): Evaluación de la fuente básica de datos técnicos e información contenida en el “Plan Director para la Recuperación del Patrimonio Cultural de Lorca” (VVAA, 2011), y análisis de presupuestos y costes de obras de reparación de daños.

3º Fase (Síntesis): Por último, en base a los datos anteriormente recabados, se estima la valoración económica de los daños, calculados mediante el producto de su volumen edificado, por su coste por M3edificado y por los costes de la envolvente y huella del edificio.

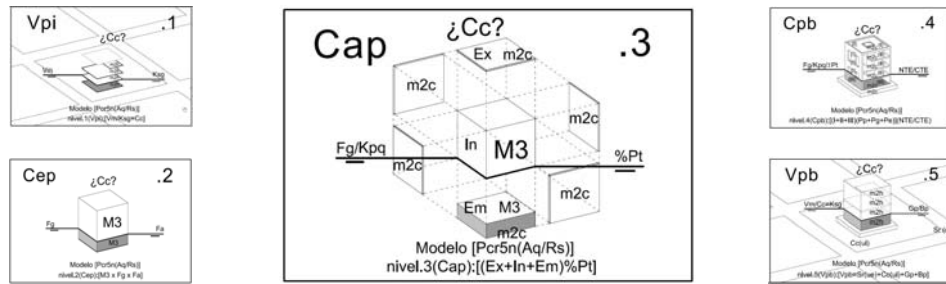


Figura 1. Modelo de predimensionado de costes Pcr.5n.
Fuente: elaboración propia (PINA, 2014).

Conceptualmente, el modelo Pcr.5n consiste básicamente en considerar los edificios a valorar compuestos por los tres elementos Vitruvianos (VITRUVIO, Reedición 1787): (1) Belleza (parámetro superficial envolvente exterior), (2) Utilidad (parámetro volumétrico interior) y (3) Firmeza (huella superficial del edificio sobre el terreno).

Se consideran parámetros bidimensionales, la superficie del sistema constructivo de la envolvente de cubierta/fachada y los metros cuadrados de la huella en planta del edificio sobre el terreno.

Los parámetros tridimensionales son los volúmenes edificados, según usos funcionales de los espacios interiores.

La hipótesis de partida es conseguir, en la aplicación del modelo Pcr.5n, que las desviaciones sean inferiores al 10% sobre el coste final/real de las obras de reparación de daños. Esta desviación también puede considerarse como la máxima razonable desde la perspectiva de seguridad económica y de viabilidad de las reparaciones programadas.

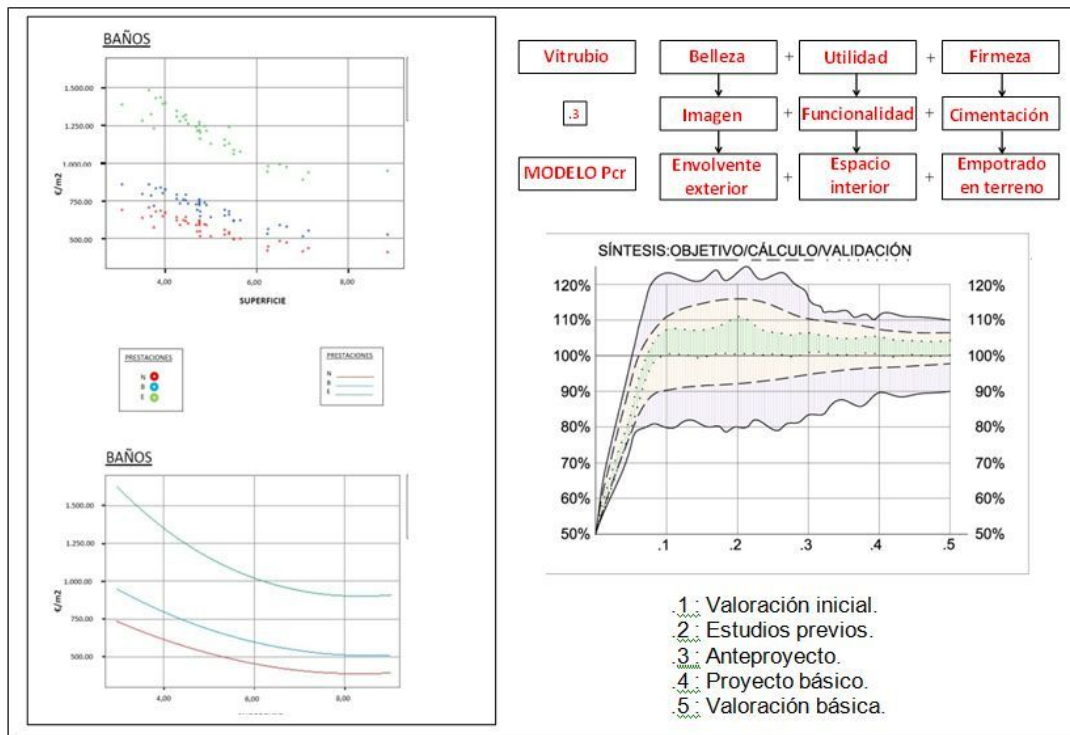


Figura 2. Representación grafica de cálculos analíticos internos y síntesis conceptual del modelo Pcr.5n.

Fuente: elaboración propia.

Actualmente, los modelos de predimensionado de costes se encuentran poco desarrollados (PARICIO, 1971 y CARVAJAL, 1992), y por tanto, no son habitualmente utilizados por técnicos y profesionales del sector, a pesar de que la estimación del coste cierto final de obra es, en nuestro país, preceptivo tanto en el marco técnico, como en el legal, según el vigente Código Técnico de la Edificación (CTE) y la Ley 3/2011 de Contratos con el Sector Público (SANCHEZ y otros, 2014).

Por lo anteriormente expuesto, se considera de interés divulgar la aplicación práctica de trabajos empíricos de investigación, sobre modelos de predimensionado de costes, como el modelo Pcr.5n, fruto de la tesis doctoral que se describe y aplica en esta comunicación (PINA, 2014).

3. Resultados y cálculos. Aplicación práctica valoración de daños por sismo, en edificios de uso residencial y uso eclesiástico.

3.1. Valoración de daños por sismo en Lorca (2011), sobre edificios de uso residencial, situados en el casco urbano de Lorca. (Nivel .2 de cálculo del modelo Pcr.5n)

TABLA 1. Costes reparación de daños sísmicos en edificios de uso residencial - Lorca (2011).

Numero de orden	GRADO (MGI)	€/m2 Total	€/m2 Estruct	€/m2 Albañ	€/M3 Total	€/M3 Estruct	€/M3 Albañ	m2 Solar	m2c s/rasan	M3e s/rasan	Nº de plantas
Edificio 1	G1	9	-	9	3	-	3	1.397	6.323	18.960	+6/-2
Edificio 2	G4	64	25	39	21	8	13	554	2.482	7.446	+4/-1
Edificio 3	G2	28	6	22	9	2	7	788	1.164	3.492	+4
Edificio 4	G5	84	30	54	28	10	18	226	832	2.496	+4
Edificio 5	G2	19	-	19	6,36	-	6,36	927	7.467	22.400	+6/-1
Edificio 6	G3	49	9,5	39,5	16	3	13	1.215	7.382	22.146	+6/-1
Edificio 7	G3	32,60	6,2	26,4	10,8	2	8,8	536	2.828	8.487	+6/-1
Edificio 8	G1	10	7	3	3,33	2,33	1	927	7.467	22.400	+6/-1
Edificio 9	G1	13	2,4	10,6	4,4	0,8	3,6	1.320	6.979	20.937	+6/-1
Edificio 10	G4	65	2,2	62,8	21,75	0,75	21	472	2.573	7.719	+6/-1
Edificio 11	G5	112	40	72	37	13	24	333	1.964	5.897	+6/-1
Edificio 12	G1	11,66	-	11,66	3,88	-	3,88	518	3.715	11.145	+6/-2
Edificio 13	G2	27,67	0,57	27,1	9,2	0,2	9	435	2.146	6.438	+6/-1
Edificio 14	G2	16	-	16	5,3	-	5,3	433	2.112	6.336	+4/-1
Edificio 15	G1	6,50	-	6,5	2,15	-	2,15	912	3.088	9.264	+4
Edificio 16	G1	8	1	7	2,6	0,3	2,3	1.071	5.664	16.992	+6/-2

Fuente: Juan Antonio Santacruz Alemán, Juan Roldan Ruiz y elaboración propia.



Figura 3. Edificio Venecia (Lorca) Grado de intervención: G4 (medio). Fuente: Juan Antonio Santacruz Alemán (Informe de reparación) y Juan Roldan Ruiz (Detalle constructivo Rp-1A).

Denominación del proyecto: Reparación de daños en Edificio Venecia

Situación de la obra: Lorca (Murcia/España)

Año previsto final de obra: 2015

TOTAL M3 (sobre y bajo rasante): 8.055 M3 (Grado de intervención = 4 (medio))

(MGI) Modulo Grado Intervención = medio = según TABLA2 = 22,10 €/M3

(Fg) Factor geográfico: Fg Lorca: Fg (Murcia) = 1,000 : 1,000 = 1,000

(Fa) Factor actualización: Fa (2015): Fa (2011) = 1,684 : 1,724 = 0,977

Formula de aplicación en NIVEL.2.....Cc.2= M3 [MGI en €/M3 x Fg x Fa]

PREDIMENSIONADO nivel .2 (Tabla síntesis costes 2011 - grado de intervención):

- Grado 1(leve): pilares sin daños (sin desplazamientos, ni fisuras)
- Grado 2 (ligero): pilares con daños leves (sin desplazamientos, pero con ligeras fisuras)
- Grado 3 (moderado): pilares con daños moderados (con desplazamientos irrelevantes y grietas aparentes)
- Grado 4 (medio): menos del 10% de pilares con daños en sus cabezas (con desplazamientos horizontales, menores al 5% de su altura)
- Grado 5 (severo): más del 10% de cabezas de pilares dañados (con desplazamientos horizontales mayores al 5% y menores al 10% de su altura)

TABLA 2: Modulos Grado de Intervención / 2011- [(MGI) - €/M3] :

COSTES EN €/M3

	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4	Grado 5
Reparación daños estructurales.....	0,40	0,70	2,70	4,70	12,10
Reparación daños albañilería y acabados.....	3,00	7,00	11,00	17,40	21,50
Suma daños estructurales y constructivos.....	3,40	7,70	13,70	22,10	33,60
Fuente: elaboración propia	leve	ligero	moderado	medio	severo

- Estimación costes €/M3 daños estructura (2011-G4).....**4,70 €/M3**
- Estimación costes €/M3 daños albañilería y acabados (2011-G4).....**17,40 €/M3**
- (Cc.2) SUMA costes €/M3 de contrata (2011-G4).....**22,10 €/M3**

Cc.2= M3 x [MGI €/M3 x Fg x Fa] =8.055 M3 x [22,10 €/M3 x 1,000 x 0,977] =173.921 € (IVA no)

Cc.2 (estructura = G4).....= 8.055M3 x [4,70 €/M3 x 1,000 x 0,977] = 36.988 € (IVA no)

Cc.2 (albañilería y acabados = G4)=8.055M3 x [17,40 €/M3 x 1,000 x 0,977] = 136.933 € (IVA no)

Cc.2 SUMA COSTE DE CONTRATA (2015 –G4 = medio)..... = 173.921 € (IVA no) (*)

(*) Estimación porcentaje desviación = $\frac{\text{Predimensionado de coste}}{\text{Coste de contrata}} = \frac{173.921\text{€}}{159.055\text{€}} = 1,0935 = \underline{\underline{+9,35\%}}$

3.2. Valoración de daños por sismo en Lorca (2011), sobre Iglesias, ubicadas en el Casco Histórico de Lorca. (Nivel .3 de cálculo del modelo Pcr.5n)

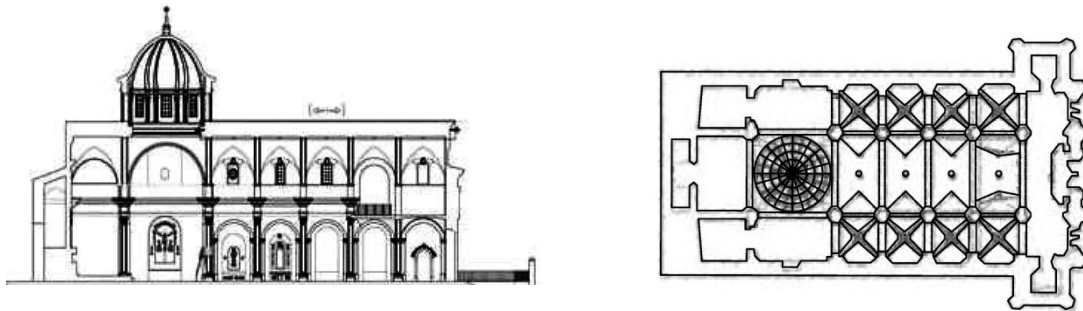
TABLA 3. Inversiones aprobadas para la reconstrucción de las Iglesias de Lorca afectadas por los terremotos del 11 Mayo de 2011, en €uros con/sin IVA (18%), €/m2c y €/M3e.

IGLESIAS	Orden de cierre	Costes de reconstrucción Euros con IVA	Costes de reconstrucción Euros sin IVA	Total m2c	Total M3e	Costes de reconstrucción en €/ m2c	Costes de reconstrucción en €/ M3e
1.-Iglesia de Nª Sª del Carmen	SI	755.000	639.831	1.263	14.585	507	44
2.-Iglesia de San Jose	PARCIAL	810.000	686.441	460	4.140	1.492	166
3.-Iglesia de San Mateo	SI	915.000	775.424	1.656	21.166	468	37
4.-Iglesia de San Patricio	SI	2.960.000	2.508.475	2.770	44.320	906	57
5.-Iglesia de Santiago	SI	2.530.000	2.144.068	1.272	15.357	1.686	140
6.-Iglesia MM Mercedarias	NO	1.036.000	877.966	628	7.536	1.398	117
7.-Iglesia de Clarisas	SI	502.786	426.090	175	1.925	2.435	221
8.-Iglesia de Cristo Rey	SI	1.207.000	1.022.881	530	5.300	1.930	193
9.-Iglesia de San Cristóbal	SI	233.000	197.458	1.097	10.970	180	18
10.-Iglesia de San Diego	SI	735.000	622.881	673	8.076	926	77
11.-Iglesia Virgen de las Huertas	SI	1.375.000	1.165.254	995	11.940	1.171	98

Fuente: De la Hoz , Juan de Dios (2012) y elaboracion propia .



Figura 4. Iglesia de Santiago (Lorca): daños producidos por sismo Lorca (2011). Fuente: Plan Director para la recuperación del Patrimonio Histórico de Lorca (Murcia).



**Figura 5. Iglesia de Santiago (Lorca): planta y sección (DE LA HOZ, 2012).
Fuente: Patrimonio Cultural de España (nº6/2012) y elaboración propia.**

La Iglesia de Santiago se utiliza para el desarrollo de la aplicación del modelo de predimensionado de costes Pcr.5n (nivel .3), estimando el daño producido por los terremotos, en un 37% sobre la totalidad de la obra, según el cálculo sintético que a continuación se detalla:

**TABLA 4. COSTE A NUEVO (nivel 3 del modelo Pcr.5n): % porcentajes obra reconstruida.
Predimensionado coste de reconstrucción Iglesia de Santiago (Lorca).**

(I) CALCULO DEL PRESUPUESTO TOTAL de construcción a nuevo:			
Capítulo 1	EXTERIOR (parametro metrico <u>bidimensional</u> exterior)	4.135 m ² x	287 €/m ² = 1.186.745 €
Capítulo 2	INTERIOR (parametro cubico <u>tridimensional</u> interior)	15.357 M ³ x	295 €/M ³ = 4.530.315 €
Capítulo 3	EMPOTRADO (parametro <u>bidimensional</u> huella edificio)	1.085 m ² x	367 €/m ² = 389.195 €
SUMA TOTAL CONSTRUCCIÓN A NUEVO =			6.115.255 €

(II) CALCULO PORCENTAJES POR CAPITULOS DE OBRA Iglesias Tipo 2 - Categoría notable/Buena - Intervalos de predimensionado costes a nuevo en €/m²c y €/M³e: [4.800 / 5.100 €/m²c] y [385 /410 €/M³e] (Altura media=12,50 metros)	COSTES CONSTRUCCIÓN A NUEVO		COSTES RECONSTRUCCIÓN DE DAÑOS	
	% porcentaje sistema constructivo	% porcentaje capitulo	% porcentaje sistema constructivo	% porcentaje capitulo
Descripción: Iglesia construida con muros de mampostería categoría notable / BUENA a cara vista en toda su composición, excepto fachada principal de cantería concertada ligeramente moldurada, y cubrición con bóvedas tabicadas revestidas				
Capítulo 1 SUPERFICIE ENVOLVENTE (obra fina exterior)		19%		6%
Cubierta	3%		2%	
Fachada	16%		4%	
Capítulo 2 VOLUMEN INTERIOR (obra gruesa portante)		74%		31%
Estructura vertical	35%		8%	
Estructura horizontal	9%		6%	
Instalaciones	4%		4%	
Particiones	3%		2%	
Revestimientos	23%		11%	
Capítulo 3 HUELLA EDIFICADA (obra empotrada en terreno)		7%		no
Cimentación	7%		no	
SUMA TOTAL PORCENTAJES =	100%	100%	37%	37%

(III) PREDIMENSIONADO COSTE DE RECONSTRUCCIÓN (Pcr) IGLESIA DE SANTIAGO (LORCA)
Pcr = % afectación de daños x suma total construcción a nuevo = 37/100 x 6.115.255 euros = 2.262.644 Euros
% porcentaje desviación "error" = 2.262.644 €/ 2.144.068 € (Tabla 1: inversión sin IVA) = 1,0553 = 5,53 %

Fuente: elaboración propia (PINA, 1989, 2004, 2013 y 2014).

4. Conclusiones

Se ha cumplido el objetivo e hipótesis formulada, en cuanto a la precisión del modelo de predimensionado de costes Pcr.5n, en lo relativo a la valoración de costes de los daños producidos por sismo, dado que la desviación de los cálculos efectuados se sitúan entre el +5,53% y el +9,35%, es decir, menor del 10% previsto en la hipótesis básica inicialmente planteada.

En el desarrollo de la presente comunicación, se ha demostrado que la aplicación práctica del modelo es de rápida implementación y no precisa mediciones analíticas, ni conocimientos exhaustivos sobre los inmuebles a valorar. Una estimación volumétrica global (nivel .2), o tres simples mediciones y un predimensionado porcentual (nivel.3), son suficientes para el cálculo del coste de reparación de los daños ocasionados por los terremotos de Lorca (2011), siendo esta simplicidad, cualidad innovadora y de impacto respecto a otros métodos más complejos de estimación de costes.

El modelo de cálculo Pcr.5n también es de aplicación para la estimación rápida y certera de costes de reparación para otras tipologías constructivas diferentes a la residencial y eclesiástica, tales como, Teatros, Casinos, Paradores, Museos, Bibliotecas, Hospitales, etc... afectados por terremotos u otras catástrofes similares, que deterioren o arruinen su configuración estructural y/o constructiva.

Bibliografía

- CARVAJAL SALINAS, Enrique. *El predimensionado de coste en Arquitectura*. Consejería de Obras Públicas y Transportes de Andalucía (1992).
- DE LA HOZ, Juan de Dios. *Terremoto en Lorca: consecuencias y actuaciones sobre el Patrimonio Religioso. Patrimonio Cultural de España – n.º 6/año 2012*. Madrid: España (páginas 107 – 121) (2012).
- GARCIA ERVITI, Federico; PINA RUIZ, Pedro; RAMIREZ PACHECO, Gema; ARMENGOL PARADINAS, Jaime; BERNAL PEREZ, Eduardo. *La valoración de inmuebles del Patrimonio Histórico y los riesgos sísmicos en el contrato de seguro. El caso de Lorca*. Cuaderno C/202. Fundación Mapfre: España. (2014).
- PARICIO ANSUATEGUI, Ignacio. *Predimensionado de costos en la vivienda*. Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares (1971).
- PINA RUIZ, Pedro. *Banco de costos en obras de Arquitectura y Urbanismo 1989/90: obra nueva, restauración, rehabilitación y urbanismo*. Colegio Oficial de Arquitectos de Murcia. Declarado de interés profesional por el Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España. Coamu/Murcia: España (1989).
- PINA RUIZ, Pedro. *Base de precios/costes de construcción de la Región de Murcia: Edificación y urbanización*. Coamu, Frecom y Ucam. Murcia: España (2004).
- PINA RUIZ, Pedro. *Valoraciones urbanísticas y tasaciones inmobiliarias*. Diego Marín – Librero/Editor (2013).
- PINA RUIZ, Pedro. Tesis doctoral. *Desarrollo de un modelo de predimensionado de costes de construcción en el proyecto arquitectónico: modelo Pcr.5n* [ETSA UPM – consulta/descarga en [http:// oa.upm.es/32782/](http://oa.upm.es/32782/)] Madrid: España (2014).
- ROLDAN RUIZ, Juan y otros. *Experiencia para un protocolo técnico de actuación tras terremotos. Los movimientos sísmicos de Lorca del 11 de mayo de 2011*. Ucam. Murcia: España (2012).
- SANCHEZ MEDRANO, Francisco y otros. *Conservación y mantenimiento de edificios*. IV Congreso Nacional de Patología en la Edificación. Universidad Católica de Murcia (2014).

VITRUVIO POLIÓN, Marco. *Los diez libros de Arquitectura* – Joseph Ortiz – Imprenta Real de Madrid (Reedición 1787).

VVAA. *Plan director para la recuperación del Patrimonio Cultural de Lorca (Murcia)* Ministerio de Cultura. Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales. Madrid: España (2011).