

*A system for the  
dimensional control and  
high-precision layout of  
unique prefabricated  
elements*

## **Sistema de control dimensional y de replanteo de alta precisión de elementos prefabricados singulares**



### **Autores**

**VEA, F. J.** Ingeniero de Caminos, Director Departamento de Proyectos e I+D  
BÉCSA - Calle Grecia 31, Ciudad del Transporte II, 12006 Castellón  
España  
fjvea@becsa.es

**PÉREZ, J.** Ingeniero de Caminos, Departamento de Proyectos e I+D - BECSA  
Calle Grecia 31, Ciudad del Transporte II, 12006 Castellón, España  
jperez@becsa.es

**PELLICER, E.** Dr. Ingeniero de Caminos, Profesor Titular de Universidad E.T.S.I.  
Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Valencia  
Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España  
pellicer@cst.upv.es

**YEPES, V.** Dr. Ingeniero de Caminos, Profesor Titular de Universidad ICITECH  
Universidad Politécnica de Valencia  
Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España  
vyepesp@cst.upv.es

**Fecha de recepción** 26/08/2010

**Fecha de aceptación** 01/12/2010

## Resumen

El artículo describe una metodología de actuación para llevar a cabo el control dimensional y de replanteo de elementos prefabricados tridimensionales singulares. La propuesta permite una optimización de los recursos y de las técnicas topográficas, reduciendo el tiempo en la recogida y análisis de datos para tomar decisiones a un ritmo tal que no obstaculice el avance de la obra. Fundamentalmente, se reduce el tiempo

necesario para comprobar las dimensiones y replantear las coordenadas en tres dimensiones de las piezas singulares, tanto en recepción como en ensamblaje y posicionamiento. Para mostrar la aplicabilidad de la propuesta, se ha implementado el protocolo a una obra de edificación de singular complejidad, especificando las técnicas, aparatos y útiles utilizados, algunos de ellos específicamente diseñados al efecto.

**Palabras clave:** Control geométrico, estructura, prefabricación, proceso, replanteo, topografía.

## Abstract

*This article describes a methodology to perform the dimensional control and layout of unique three-dimension prefabricated elements. The proposal allows optimizing topographic techniques and resources, reducing the time to collect and analyze data for decisions to be made at such a rate that the progress of the work is not affected. Essentially, the necessary time*

*to check dimensions and lay out three-dimension coordinates for unique parts is reduced, both at reception, assembly and placement. For the feasibility of the proposal to be shown, the protocol has been implemented to a very complex building by specifying the techniques, devices and utensils used, some of them specifically designed to this effect.*

**Key words:** Geometric control, structure, prefabrication, process, layout, topography.

## 1. Introducción

La utilización de elementos prefabricados en la edificación constituye una realidad en el sector de la construcción. No obstante, cuando se trabaja con estructuras singulares, no habituales en la arquitectura convencional de edificios en altura o naves industriales, aparecen problemas adicionales al tratarse, generalmente, de una prefabricación "por encargo" que no sigue los cauces habituales de producción y entrega. Si se trabaja con elementos prefabricados metálicos tridimensionales singulares, los problemas de control y de replanteo crecen en complejidad.

Para realizar la comprobación dimensional y de replanteo de estructuras metálicas a partir de piezas fabricadas en taller, basta con el empleo de instrumentos topográficos de precisión convencional, debido a que las piezas presentan una dimensión predominante, estando contenidas en un único plano. Por ello que no se requieren grandes exigencias de tolerancia dimensional de las piezas para su montaje.

Cuando las piezas no se encuentran contenidas en un plano, los errores dimensionales y de replanteo aumentan considerablemente tanto en la fábrica como en la recepción, en el ensamblaje en obra y en la colocación. Esta situación provoca un consumo excesivo de recursos, con requisitos de precisión muy elevados que demandan un sistema de comprobación dimensional y de replanteo que garantice que el personal en fábrica y en obra realice todas sus tareas de producción y control de acuerdo con un protocolo preestablecido; exige la aplicación de técnicas topográficas y metrológicas apropiadas y, por último, requiere la utilización de equipos de medida adecuados para cumplir con los requisitos exigidos.

Teniendo en cuenta este escenario, la investigación descrita en el presente artículo pretende establecer un protocolo de actuación para llevar a cabo el control dimensional y de replanteo de elementos prefabricados tridimensionales singulares. Este protocolo está limitado a la obra, tanto en sus fases de recepción, ensamblaje y posicionamiento. Con todo, la metodología propuesta puede aplicarse a cualquier tipo de actuación que conlleve la utilización de elementos prefabricados. Un objetivo secundario es mostrar la aplicación de este protocolo a una obra de singular complejidad, especificando las técnicas, aparatos y útiles utilizados, algunos de ellos novedosos. Las ventajas de la propuesta pasan por la optimización de los recursos en la recepción, el ensamblaje y el posicionamiento de piezas singulares. Fundamentalmente, se reduce el tiempo necesario en la comprobación dimensional y de replanteo de las coordenadas de las piezas. El desarrollo es viable gracias a la utilización de tecnologías de última generación

disponibles y a prototipos de útiles específicamente diseñados al efecto.

## 2. Estado del arte

El sector de la construcción es conocido por ser tradicionalmente poco innovador (Shenhar and Dvir, 1996; Blayse and Manley, 2004; Pellicer *et al.*, 2010). Sin embargo, la construcción como actividad tecnológica ha evolucionado a lo largo del tiempo. Los materiales, por ejemplo, se han ido perfeccionando desde el uso del barro, la piedra, el ladrillo y las primeras argamasas, pasando por el empleo del acero, el vidrio y el hormigón, hasta dar el salto a los sofisticados componentes que existen actualmente en el mercado (Gann, 2000). Por otra parte, la construcción también ha requerido con el paso del tiempo un conocimiento crecientemente intensivo aplicado a la resolución de problemas cada vez más complejos (Ferrada y Serpell, 2009).

Según Koskela (1992), una de las principales innovaciones en la construcción del último siglo es la fuerte industrialización de la edificación, con un punto crítico motivado por la aparición del hormigón prefabricado (Gann, 2000). Tanto es así que algunos autores consideran la construcción como un proceso de ensamblaje de materiales y componentes (Gann, 1996; Gibb, 2001; Winch, 2003). La prefabricación en la edificación se ha multiplicado en las últimas décadas, sobre todo en los países más avanzados (Koskela, 1992; Gann, 1996; Warzawski, 1999; Gann, 2000; Monjó Carrió, 2005). Su mayor coste unitario inicial ha disminuido debido a la producción industrial en serie. El diseño de las piezas lo controlan los proveedores de productos, que han buscado cierta normalización para incrementar la compatibilidad entre las piezas, siguiendo tendencias similares a las adoptadas previamente por otras industrias (Gann, 1996; Warzawski, 1999; Winch, 2003).

Este cambio de paradigma hacia la edificación industrializada ha provocado la aparición de problemas de control dimensional de los elementos prefabricados, tanto en su ensamblaje y como en su posicionamiento en obra. Esta cuestión, resaltada por primera vez por Burgess y Bodapati (1967), fue elaborada con mayor detalle por Burgess (1972) y por López Baillo (1974). En estos trabajos se afirma que, a pesar de una fabricación precisa, las dimensiones teóricas de diseño se encuentran alejadas de los requerimientos, siendo muy difícil el ajuste y posterior posicionamiento de las piezas en la obra. Por lo tanto, debe tolerarse un grado suficiente de imprecisión dimensional, tanto en fabricación como en posicionamiento. No obstante, si los errores de tolerancia no se mantienen dentro de los límites prefijados, pueden aparecer problemas graves que afecten no solo

a la eficiencia del proceso de ensamblaje, sino también a la resistencia y comportamiento del edificio. Estas dificultades pueden provocar consecuencias graves de índole: (a) operativa; (b) resistencia y comportamiento estructural; (c) aceptación visual; y (d) sobrecoste. López Baillo (1974) incide especialmente en la importancia del coste económico.

La tolerancia, pues, se convierte en un concepto básico a tener en cuenta. Puede definirse como el intervalo de valores en que debe encontrarse una dimensión para que se acepte como válida, lo que da lugar a la aceptación o rechazo de la pieza (Jeang, 1997; Madsen, 2003). El objetivo de los márgenes de tolerancia es el de admitir una holgura para las imperfecciones en la manufactura de los componentes, pues la precisión absoluta es imposible desde un punto de vista práctico (Zhang y Huq, 1992; Jeang, 1997). Además, si se disminuye el intervalo de tolerancia, la pieza es más difícil de producir y, por lo tanto, su coste se incrementa. Tampoco es admisible una tolerancia excesiva que producirá desperdicio de piezas y, por consiguiente, también sobrecoste.

La producción industrial de componentes debe cumplir, por lo tanto, con una serie de requisitos de diseño (Geddam y Kaldor, 1998): (a) tolerancias dimensionales estrictas definidas a priori; (b) precisión geométrica; y (c) buen acabado. El tamaño final debe cumplir los requisitos de tolerancia dimensional establecidos de acuerdo con la precisión geométrica y el acabado superficial. Estos tres requisitos suelen interrelacionarse, de modo que cada uno de ellos puede afectar a los demás.

Con el fin de evitar las nefastas consecuencias que puede tener una imprecisión fuera de tolerancia, Burgess (1972) propone que se establezcan procedimientos de control dimensional rigurosos, tanto en la fábrica como

en la obra. Los primeros (referentes a la fabricación), son los que pueden encontrarse en cualquier proceso de manufactura mecánica (Groover, 2006; Kalpakjian y Schmid, 2006). Respecto al control dimensional en obra, Burgess (1972) plantea la consideración del procedimiento de control dimensional, combinado con los instrumentos de medida y las técnicas disponibles. Este autor reconoce la labor escasa, si no nula, realizada hasta ese momento en el aspecto metodológico.

En cualquier caso, la combinación de las tecnologías de la información y los sistemas de posicionamiento tridimensional abre una vía hacia una integración entre el diseño, la fabricación y el suministro de piezas prefabricadas, su montaje en obra, posicionamiento y colocación definitiva. La presente propuesta constituye, por lo tanto, un paso hacia el establecimiento de un sistema espacialmente integrado de la construcción, tal y como ha sido descrito por Bernold (2002).

### 3. Proceso de control dimensional y de replanteo

#### 3.1. Metodología general

Se propone un proceso de control dimensional y de replanteo basado en la recepción y el posicionamiento. Cada una de estas fases puede subdividirse en seis subfases (idénticas para las dos fases previamente definidas): (1) determinación de la precisión geométrica; (2) selección de la instrumentación y técnicas topográficas; (3) elección de los puntos de control; (4) colocación de la pieza; (5) comprobación de la pieza; (6) decisión. La Tabla 1 esquematiza las fases y subfases del proceso. En los epígrafes siguientes se describen con detalle cada una de ellas.

**Tabla 1** Fases y subfases del proceso de control dimensional y replanteo

Fases			
	1. Recepción	2. Posicionamiento	
Subfase	1.1	Determinación de la precisión geométrica	2.1
	1.2	Selección de la instrumentación y técnicas topográficas	2.2
	1.3	Elección de los puntos de control	2.3
	1.4	Colocación de la pieza	2.4
	1.5	Comprobación de la pieza	2.5
	1.6	Decisión	2.6

### 3.2 Recepción

El control dimensional de recepción tiene por objetivo principal garantizar el cumplimiento de las especificaciones dimensionales de la pieza a su llegada a la obra. Esta garantía se logra controlando las especificaciones dimensionales y rechazando aquellas que incumplen las tolerancias especificadas en el proyecto. De este modo se asegura el ensamblaje de las piezas y se definen las tolerancias finales. El ensamblaje consiste en unir varios elementos consecutivos de una sección de la estructura, a nivel de suelo, con el propósito de levantar un elemento de mayor tamaño. Todas las comprobaciones dimensionales se realizan de forma relativa, sin existir en esta fase una vinculación con el resto de la estructura.

Tanto la fase de recepción como la de posicionamiento se pueden descomponer en las siguientes subfases:

1. Determinación de la precisión geométrica para este tipo de pieza, según esté fijada en el proyecto y la normativa vigente.
2. Elección de la instrumentación y métodos topográficos, dependiendo del tipo de pieza y de las tolerancias exigidas en el proyecto. Esta elección debe determinar si la precisión de las mediciones es suficiente para asegurar que la estructura final esté o no dentro de la tolerancia exigida.
3. Elección de los puntos de control: se determinan los puntos de la pieza más significativos para el control y posicionamiento, que tendrán importancia posterior para el montaje.
4. Colocación de las piezas en el lugar donde se va a realizar la comprobación dimensional.
5. Comprobación dimensional.
6. Decisión sobre si la pieza comprobada en conjunto con las piezas a las que se va a ensamblar cumplen las tolerancias esperadas, o se compensan errores al conectar unas piezas con otras.

En caso de incumplimiento, el proceso se retroalimenta, corrigiendo los errores y realizando de nuevo las subfases anteriores.

### 3.3 Posicionamiento

El montaje es el proceso mediante el cual se emplaza cada pieza en su posición definitiva dentro de la estructura. Estas piezas suelen ser metálicas o de hormigón estructural. Para el montaje se necesitan diferentes equipos de trabajo y maquinaria. Las etapas habituales son: (1) ordenación de las piezas; (2) traslado al frente de trabajo; (3) preensamblaje; (4) montaje; (5) posicionamiento; (6) conexión definitiva. El posicionamiento, por otra parte, consiste en la colocación de la pieza

de acuerdo con los planos de montaje en su posición correcta. La conexión definitiva es la operación en la que se coloca el sistema de sujeción final. Antes de proceder a la unión definitiva se debe asegurar que la estructura cumpla los requisitos de calidad impuestos por el proyectista (condiciones geométricas, planeidad, ortogonalidad, tolerancias respectivas, verticalidad, horizontalidad de las uniones, elementos, etc.).

Las seis subfases previamente definidas para el replanteo coinciden también en la fase de posicionamiento. Respecto a la comprobación dimensional, una vez colocada la pieza en su posición hay que realizar controles de orientación que incluyen el paralelismo, la perpendicularidad y, en algunos casos favorables, la oblicuidad.

El paralelismo puede ser una condición de superficie, equidistante en todos los puntos de un plano dado, o bien una condición de eje, equidistante a lo largo de su longitud de uno o más planos o de un eje. En el caso del paralelismo, la superficie controlada se debe mantener entre dos planos paralelos separados por la tolerancia correspondiente. La zona de tolerancia debe ser paralela al plano teórico definido.

La perpendicularidad es la condición de una superficie, de un eje, o de un plano del centro, que esté a 90°. La angularidad es la condición de una superficie, de un eje, o de un plano del centro en una especificación de ángulo, con excepción del plano paralelo o perpendicular a uno teórico o a un eje teórico. La superficie controlada debe entrar entre dos planos paralelos separados por la tolerancia de la oblicuidad. La zona de la tolerancia debe estar especificada en un ángulo básico al plano teórico.

Respecto a la última subfase, la acumulación de tolerancias permite una evaluación de la calidad del montaje de las piezas. La información obtenida del cálculo de la acumulación de tolerancias es numérica, y es una característica geométrica (distancia). Una vez que se ha calculado la acumulación de tolerancias, la información obtenida se puede utilizar para determinar si deben cambiarse las dimensiones o las tolerancias. Al montar piezas de la estructura hay un ajuste, que es la cantidad de juego o interferencia resultante de tal montaje.

### 3.4 Tipos de elementos

Los elementos pueden ser lineales, bidimensionales y tridimensionales. El eje de una curva define las piezas lineales, por lo que en el proceso de comprobación dimensional se determina si el eje teórico de la pieza se encuentra dentro de la tolerancia con respecto al eje real. En este elemento se define el posicionamiento del punto inicial (punto que se vincula a la estructura)

y el punto final (punto en el que una vez vinculada a la estructura se vinculará el resto de piezas) en coordenadas relativas.

Los elementos superficiales son piezas planas de espesor constante. Se definen mediante una serie de planos que se referencian respecto al plano medio de la pieza. Este plano queda fijado por: (a) tres puntos singulares de la pieza, situados en el plano medio o en cada una de sus caras; (b) por un eje de la pieza y un punto singular situado fuera del mismo; o bien, (c) por dos ejes que se cruzan. En el proceso de comprobación dimensional se considera:

1. El plano medio teórico de la pieza con respecto al su plano medio real en coordenadas relativas.
2. El paralelismo o la condición de oblicuidad existente entre sus caras.
3. El posicionamiento de los puntos de vinculación con el resto de la estructura en coordenadas relativas.

Las piezas tridimensionales se definen mediante los puntos pertenecientes a la superficie que configuran su volumen. El conjunto de las piezas crean una única pieza tridimensional estructural. Este elemento se define por el posicionamiento relativo de sus puntos singulares. Para ello en el proceso de comprobación dimensional se determina el posicionamiento de los puntos de vinculación con el resto de la estructura en coordenadas relativas. Los arcos quedan determinados por su directriz y en cada una de las secciones de su generatriz se indican los puntos que definen la sección.

#### 4. Aplicación práctica

En este epígrafe se muestra el método desarrollado para el control dimensional y replanteo aplicado a una obra singular como es el Complejo del Ágora en la Ciudad de Las Artes y Las Ciencias de la ciudad de Valencia (véase la Figura 1), diseñada por el arquitecto e ingeniero Santiago Calatrava. La iniciativa se planteó como un proyecto de innovación susceptible de ser certificado mediante la norma UNE 166002 (Pellicer *et al.*, 2008; Yepes *et al.*, 2010). A continuación se indica la aplicación del procedimiento al seguimiento del montaje del tipo de piezas más complejas de la obra, denominadas S5, así como las técnicas topográficas utilizadas (resumidas en la Tabla 2).

Las piezas S5 corresponden al arco fijo sobre el que arrancan las orejetas que definen el eje de giro de una serie de piezas móviles que se sitúan en la parte superior de la estructura del Ágora. Estas piezas móviles se unen también en su vértice inferior a un arco que hace mover la estructura móvil a partir de un gato hidráulico. El arco

S5 sirve, a su vez, de arriostramiento de la pieza 3/4/5. Las Figuras 2, 3 y 4 muestran una vista aérea del arco S5 y una vista en la bancada de control geométrico.

La fabricación en taller del elemento S5 viene condicionada por la obtención de una pieza indeformable de las mayores dimensiones posibles. La deformación de este arco debe ser menor de 2 mm. Las tolerancias exigidas son superiores a las fijadas por la normativa española del Código Técnico de la Edificación (CTE, 2009) y por la europea del Eurocódigo (EC3, 1996). Así, la tolerancia requerida en los puntos de las orejetas es de  $\pm 5$  mm. Para el control geométrico en obra, se fija la tolerancia de los ejes de la orejeta en  $\pm 1$  mm, para lo cual –con los aparatos topográficos disponibles– se utiliza un instrumental que disminuye el error de la estación total en tres veces. La comprobación dimensional verifica la geometría de los diferentes puntos que definen la pieza mediante un levantamiento topográfico, verificándose el resto de puntos para fijar los puntos de conexión con el resto de los elementos estructurales. Esta segunda comprobación presenta una exigencia en la tolerancia significativamente mayor, pues fija el eje de rotación de las piezas móviles. La precisión geométrica del eje de las

**Figura 1** Vista aérea del Ágora en construcción  
(Fuente: BECSA)





orejetas viene condicionada por la rotación de la pieza móvil, que se realiza sobre unas arandelas excéntricas que permiten ajustar la posición del eje de la pieza con un error de  $\pm 1$  mm.

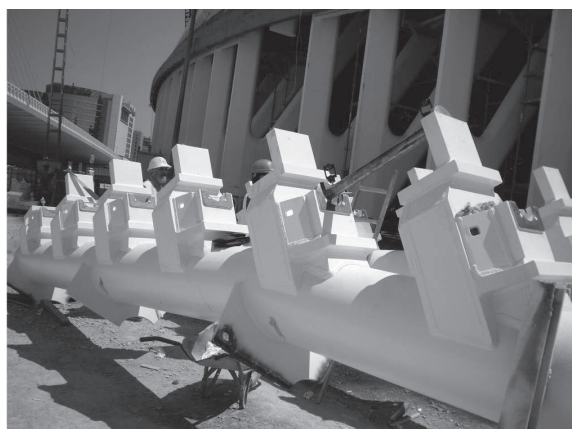
Respecto a los instrumentos y técnicas topográficas, para esta pieza se utiliza la estación total de precisión 1" y  $1 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$ . Además, se emplea un útil específico que permite reducir tres veces el error en la medición.

En las Figuras 5 (fotografía) y 6 (gráfico) se observa un cilindro que materializa el eje de la pieza móvil que se sitúa sobre las orejetas. El prisma perpendicular horizontal permite comprobar errores en paralelismo de las orejetas en la dirección X global de la estructura del Ágora. El prisma perpendicular vertical verifica el cabeceo del útil, que marca el paralelismo en dirección Z global de la estructura. El útil está calibrado con un error máximo en las mediciones de cada dirección de 0.2 mm.

**Tabla 2** Proceso de control dimensional y replanteo aplicado a la pieza S5

Definición del elemento	Elemento tridimensional en arco (pieza S5)
Determinación precisión geométrica	Tolerancia de posicionamiento de eje de orejetas $\pm 1$ mm Tolerancia de posicionamiento de orejetas $\pm 5$ mm
Instrumentación y técnicas topográficas	Estación total de precisión 1" y $1 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$ Libreta electrónica
Puntos de control	Cuatro puntos de control de boca de conexión Cuatro puntos por orejeta Dos puntos de control en eje de orejeta
Colocación de la pieza	Sobre solera nivelada
Comprobación de la pieza	Mediante levantamiento topográfico evaluado en libreta electrónica
Decisión	Si se encuentran dentro de tolerancia, se aceptan En caso contrario, se corrigen mediante corte o soldadura suplementaria En el caso del eje de la orejeta, si no cumple, se rechaza la pieza

**Figura 2** Arco S5 en la bancada de control geométrico (Fuente: BECSA)



**Figura 3** Vista aérea del arco S5 colocado en su posición definitiva (Fuente: BECSA)



**Figura 4** Arranque del arco S5 apoyado sobre las piezas 3/4/5 (Fuente: BECSA)



Una vez definido el sistema de coordenadas cuyo origen es el centro del punto de conexión con el resto de la estructura, se fija un sistema de referencia relativo a la pieza. Para un correcto control es necesario obtener una representación tridimensional; para ello se marcan todos los elementos que representan un entorno de la pieza.

Además se fijan los elementos que se deben unir al resto de elementos estructurales. Se utilizan los puntos en las bocas que se van a empalmar con otros tramos y el resto de puntos de conexión de estos arcos con otras piezas. En definitiva, los puntos de control son:

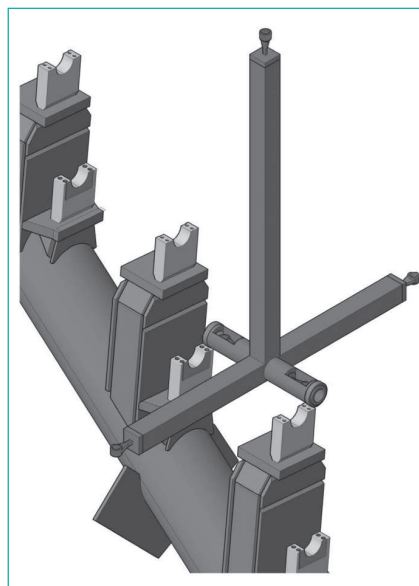
- Cuatro puntos de control en cada boca de conexión.
- Cuatro puntos de control en las orejetas (cada pareja de puntos materializa el punto del eje de giro de la lama), para el control del paralelismo tanto en alzado como en planta.
- En el caso de conexión con los pórticos transversales con la pieza Tipo 3/4/5 se toman los 3 puntos que definen este plano de situación del pórtico.

Las piezas se colocan sobre una solera debidamente nivelada que garantice la correcta comprobación dimensional de la pieza antes de su montaje de forma que sea accesible a todos los puntos de control. Una vez realizado el levantamiento topográfico, y debido a la configuración tridimensional, se analiza mediante una aplicación informática específica todos los puntos que define la pieza, comprobando en este punto la desviación existente entre los puntos fijos de la pieza y los puntos tomados mediante el levantamiento. En este caso, se comprueba la coplaneidad de las orejetas, por

**Figura 5** Fotografía del útil empleado para el control geométrico y replanteo (Fuente: BECSA)



**Figura 6** Croquis del útil empleado para el control geométrico y replanteo (Fuente: BECSA)





parejas, de modo que se permita un correcto ensamblaje, posicionamiento y funcionamiento posterior de las lamas.

La decisión sobre la aceptación o rechazo de la colocación de la pieza se realiza tras la comprobación en obra. En el caso de las orejetas, si el error de paralelismo es superior a la tolerancia establecida de  $\pm 5$  mm, se desmontan y se vuelven a montar comprobando que se ha reducido el error anterior. Tras esta comprobación ya puede montarse la pieza, que se puede ajustar bajando a  $\pm 1$  mm mediante arandelas excéntricas.

## 5. Conclusiones

La investigación descrita se enmarca en el ámbito del desarrollo de tecnologías, sistemas o procesos constructivos eficientes que permiten garantizar mayores niveles de calidad y seguridad en la construcción, mejorando la competitividad en el sector. En este sentido, la industrialización de la construcción racionaliza los procesos constructivos, reduce sus tiempos de ejecución, los riesgos laborales, el impacto ambiental y los recursos necesarios.

La propuesta plantea una metodología encaminada al control de las dimensiones y al replanteo de elementos prefabricados tridimensionales singulares, en dos fases básicas: recepción de las piezas y posicionamiento de

las mismas en la obra. Cada una de ellas se descompone en seis subfases: (1) determinación de la precisión geométrica según proyecto y normativa; (2) elección de la instrumentación y métodos topográficos; (3) elección de los puntos de control; (4) colocación de las piezas en el lugar donde se va a realizar la comprobación dimensional; (5) comprobación dimensional; y (6) decisión sobre si la pieza cumple con las tolerancias esperadas. El proceso se retroalimenta y se corrigen los errores. Este procedimiento permite optimizar los recursos y las técnicas topográficas, reduciendo el tiempo en la recogida y análisis de datos para tomar decisiones con una rapidez tal que no obstaculizara el avance de la obra. La propuesta reduce el tiempo empleado en la comprobación dimensional y el replanteo de las coordenadas de las piezas singulares, tanto en recepción como en ensamblaje y posicionamiento de las mismas. Además, la metodología propuesta es generalizable al resto de procesos necesarios en la fabricación y montaje de elementos prefabricados.

## Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la empresa BECSA, en general, y al equipo de obra, en particular, la ayuda prestada en todo momento para poder desarrollar la metodología descrita. Estos trabajos forman parte de los contratos de apoyo tecnológico UPV-20050921 y UPV-20080629.

## Referencias

1. Bernold, L.E. (2002) "Spatial integration in construction". *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(5), 400-408.
2. Blayse, A.M.; Manley, K. (2004) "Key influences on construction innovation". *Construction Innovation*, 4, pp. 143-154.
3. Bodapati, S.N.; Burgess, R.A. (1969) "Measuring instruments for large precast concrete components". *Concrete*, 3(12), 488-497.
4. Burgess, R.A. (1972) "Aspects of dimensional control in the production of large precast concrete units". *International Journal of Production Research*, 10(2), pp. 113-127.
5. CTE (2009) "Código técnico de la edificación". Tecnos, Madrid.
6. EC3 (1996) "Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero". AENOR, Madrid.
7. Ferrada, X.; Serpell, A. (2009) "La gestión del conocimiento y la industria de la construcción". *Revista de la Construcción*, 14, pp. 46-58.
8. Gann, D.M. (1996) "Construction as a manufacturing process? Similarities and differences between industrialized housing and car production in Japan". *Construction Management & Economics*, 14(5), pp. 437-450.
9. Gann, D.M. (2000) "Building innovation. Complex constructs in a changing world". Thomas Telford Publishing, Londres.
10. Geddam, A.; Kaldor, S. (1998) "Interlinking dimensional tolerances with geometric accuracy and surface finish in the process design and manufacture of precision machined components". *IIE Transactions*, 30, pp. 905-912.
11. Gibb, A.G.F. (2001) "Standardization and pre-assembly – distinguishing myth from reality using case study research". *Construction Management and Economics*, 19, pp. 307-315.
12. Groover, M.P. (2006) "Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems". Ed. Wiley, Hoboken (NJ).
13. Jeang, A. (1997) "An approach of tolerance design for quality improvement and cost reduction". *International Journal of Production Research*, 35(5), pp. 1193-1211.
14. Kalpakjian, S.; Schmid, S.R. (2006) "Manufacturing engineering and technology" (5ª edición). Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River (NJ).
15. Kavanagh, B.F. (2009) "Surveying with construction applications" (7ª Edición). Prentice Hall; Upper Saddle River (NJ).
16. Koskela, L. (1992) "Application of the new production philosophy to construction". Technical Report #72. Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University. Stanford.
17. López Baillo, J.F. (1974) "Criterios sobre el control de la precisión en la industria del hormigón prefabricado". *Revista de Obras Públicas*, 3115, pp. 787-797.
18. Madsen, D.A. (2003) "Geometric dimensioning and tolerancing". Goodheart-Willcox Co., Tinley Park (IL).
19. Monjo Carrió, J. (2005) "La evolución de los sistemas constructivos en la edificación. Procedimientos para su industrialización". *Informes de la Construcción*, 499-500, pp. 37-54.
20. Pellicer, E.; Yepes, V.; Correa, C.L.; Martínez, G. (2008). "Enhancing R&D&i through standardization and certification: the case of the Spanish construction industry". *Revista Ingeniería de Construcción*, 23(2), pp. 112-121.
21. Pellicer, E.; Yepes, V.; Rojas, R.J. (2010) "Innovation and competitiveness in construction companies: a case study". *Journal of Management Research*, 10(2), pp. 103-115.
22. Shenhar, A.J.; Dvir, D. (1996) "Toward a typological theory of project management". *Research Policy*, 25, pp. 607-632.
23. Warzawski, A. (1999) "Industrialized and automated building systems", E & FN Spon, Londres.
24. Winch, G.M. (2003) "Models of manufacturing and the construction process: the genesis of re-engineering construction". *Building Research & Information*, 31(2), pp. 107-118.
25. Yepes, V.; Pellicer, E.; Correa, C.L.; Alarcón, L.F. (2010). "Implementation of a system for achieving innovation opportunities in a company", in Barret, P.; Amaratunga, D.; Haigh, R.; Keraminiyage, K.; Pathirage C. (eds.): *Proceedings of CIB 2010 World Congress*. Salford Quays (UK), paper 1207, 12 pp.
26. Zhang, H.C.; Huq, M.E. (1992) "Tolerancing techniques: the state-of-the-art". *International Journal of Production Research*, 30(9), pp. 2111-2135.