

## DESARROLLO DE CIMENTACIONES INTELIGENTES PARA PROTOTIPOS DE VIVIENDAS INDUSTRIALIZADAS

*VEGA SÁNCHEZ, SERGIO; SANTAMARÍA GALDÓN, ASUNCIÓN; GARCÍA SANTOS, ALFONSO; LAURET AGUIRREGABIRIA, BENITO; ADELL ARGILES, JOSEP M<sup>a</sup>; NEILA, JAVIER; DEL ÁGUILA GARCÍA, ALFONSO; CHAPARRO, JULIÁN; ZAZO, SANTIAGO; MIÑANO, JUAN CARLOS; LASTRES, CARMEN*

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid

*Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas*

*Grupo de Investigación TISE (Técnicas Innovadoras y Sostenibles en la Edificación) / CEDINT*

La Universidad Politécnica ha sido seleccionada por el Departamento de Energía de Estados Unidos para participar en el concurso internacional para Universidades denominado SOLAR DECATHLON 2007. Dicho concurso consiste en el diseño y construcción de un prototipo de vivienda autosuficiente energéticamente, la cual será expuesta en el Mall de Washington en Septiembre de 2007, y competirá en diez pruebas subjetivas y objetivas que servirán como baremo de la puntuación del concurso.

Dentro de los objetivos establecidos por la Universidad Politécnica de Madrid para dicha participación, se encuentra el desarrollar tecnologías y sistemas constructivos industrializados, que puedan permitir su posterior comercialización, de modo que aliente la atracción de financiación privada que invierta en desarrollar las investigaciones y sistemas tecnológicos previstos, a cambio de su posterior comercialización. Esta es la principal estrategia de financiación de la Universidad y se articula a través de varios proyectos de investigación, y, en particular, a través del Proyecto Singular Estratégico APOLO.

El proyecto APOLO está liderado por la empresa ACCIONA INFRAESTRUCTURAS y la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, contando con un amplio grupo de Entidades públicas y privadas de investigación, y empresas de todos los sectores relacionados con la promoción de viviendas, su proyecto, y su construcción. Entre los objetivos que persigue, se encuentra el conseguir desarrollar un sistema modular tridimensional orientado a la construcción de viviendas unifamiliares, adosadas, y en bloque. Estas viviendas serán completamente industrializadas, fabricadas en taller con todo tipo de sistemas y tecnologías innovadoras, e implantadas en cualquier parcela con un mínimo de operaciones, plazo, y coste.

Dentro de los trabajos que estamos desarrollando en el ámbito de la participación de la Universidad Politécnica de Madrid en el Concurso SOLAR DECATHLON 2007, que organiza el Departamento de Energía de Estados Unidos, y el Proyecto Singular Estratégico APOLO que es liderado por ACCIONA INFRAESTRUCTURAS y la Universidad Politécnica de Madrid, se encuentra, en una fase preliminar, el desarrollo de **sistemas de cimentación inteligentes** que solucionen los problemas derivados de la implantación en cualquier parcela de las futuras viviendas industrializadas, y, necesariamente, resolver los problemas particulares que presenta la implantación del Demostrador Tecnológico que competirá en Washington, lo que pasa por resolver un sistema de cimentación que se adapte a cualquier terreno y que permita, de forma inteligente y automático, mantener las prestaciones del terreno sin generar efectos secundarios sobre la vivienda y su estructura.

## PROBLEMAS DE CIMENTACIÓN DEL DEMOSTRADOR TECNOLÓGICO SD7

El prototipo SOLAR WING, que competirá en el concurso SOLAR DECATHLON 2007, se va a disponer sobre una parcela localizada en el extremo Sureste de la denominada Ciudad Solar, en el Mall de la ciudad de Washington D.C.

Uno de los grandes retos es emplazar el prototipo de vivienda sobre un terreno sensiblemente plano, pero con **desniveles** de varios decímetros, y sobre el césped y el jardín del Mall, con una **muy baja capacidad resistente**. En la participación del 2005, se midieron en 15 días de concurso, deformaciones superiores a los 5 cm de asiento diferencial entre un extremo y otro de la casa, lo que se tradujo en problemas técnicos con la estructura, cerramientos, e impermeabilización. El prototipo que competirá en el 2007, por su diseño, es aún más susceptible de ser dañado por un deficiente comportamiento de la cimentación, por lo que se considera uno de los aspectos claves a cuidar.

Otro reto significativo al que hay que dar respuesta, además de los problemas de desniveles existentes y de la necesidad de un sistema de nivelación progresivo, es el requerimiento de construir toda la casa, en tan sólo tres días de montaje. Esto, unido a la prohibición expresa de levantar el césped, o de realizar ningún tipo de infraestructura en la parcela, hace que el sistema de cimentación que se necesite deba ser industrializado, ligero, rápido, regulable, ..., e inteligente.

## PROBLEMAS DE CIMENTACIÓN DE LAS VIVIENDAS INDUSTRIALIZADAS

El sistema de vivienda industrializada que se pretende desarrollar exige una cimentación industrializada que permita una **implantación mínima sobre la parcela**, de forma que **abarate** las actividades de acondicionamiento habituales del solar, con una **rapidez de montaje** que debe constituir uno de los principales activos del sistema.

Debe ser capaz de resolver además algunos de los principales problemas y situaciones que habitualmente nos encontramos en la cimentación de viviendas unifamiliares, entre las que se subrayan, por la frecuencia y por las consecuencias que generan:

- .- Implantación de **cimentaciones sin haber realizado un desbroce suficiente** de la parcela, con cimentaciones sobre terrenos con un **alto contenido orgánico**, que generan asientos incontrolados a lo largo del tiempo.
- .- Cimentaciones sobre **rellenos antrópicos**
- .- Cimentaciones superficiales sobre **terrenos sin adecuada capacidad resistente** que favorecen comportamientos diferenciales y asientos incontrolados.
- .- **Cimentaciones económicas**, proporcionales al coste del edificio, que **no presentan una rigidez suficiente** para garantizar un comportamiento monolítico frente a la respuesta del terreno, generando **daños sobre las viviendas**.
- .- Problemas específicos de **cimentaciones en ladera**

- Problemas de cimentaciones superficiales sobre **rellenos estructurales** de escasa compactación y control.

La tendencia general es que, con **informes geotécnicos mínimos**, las soluciones adoptadas tienden a abaratar la cimentación. Si el terreno firme está próximo, no hay ningún problema, pero si no lo está, o se presentan terrenos complejos como los antes indicados, se van a soluciones de cimentación profunda, o por pozos. Soluciones costosas y que requieren bastante tiempo de ejecución, o se opta por soluciones superficiales cuya rigidez, pocas veces se corresponde con las necesidades de la vivienda

Se necesita dar respuesta a un sistema que permita garantizar una alta fiabilidad y seguridad en la cimentación, en todas las situaciones de riesgo identificados, con unas mínimas tareas de implantación en la parcela, de forma que sea económica, eficaz, y rápida, por lo que se precisa un sistema industrializado, ligero, regulable, ..., e inteligente.

## **NECESIDADES DEL SISTEMA DE CIMENTACIÓN INTELIGENTE**

Para comercializar con éxito este tipo de viviendas, se precisa un sistema que, con un mínimo de operaciones de implantación, permita una cimentación rápida, fiable y segura a largo plazo. Para ello se va a desarrollar un sistema de cimentación “inteligente” que garantice la perfecta horizontalidad de la vivienda en todo momento, minimizando los asientos diferenciales y las consiguientes tensiones y roturas generadas en los distintos sistemas constructivos de las viviendas. Debe ser pensado para dar respuesta a aquellas situaciones que puedan suponer un riesgo para el comportamiento del edificio en el tiempo, no siendo un sistema para aplicar necesariamente, de forma sistemática, a todos los edificios industrializados que se desarrollen. Las necesidades que debe reunir el sistema son:

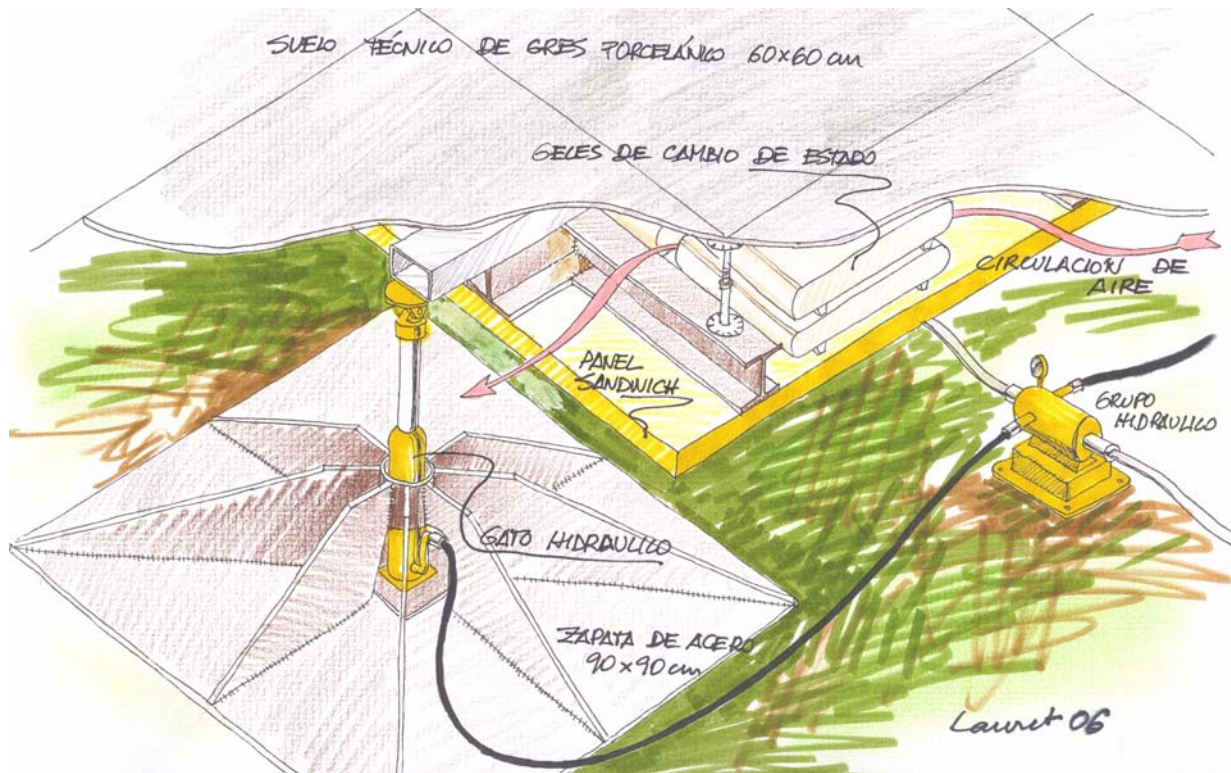
- Ligereza, resistencia, y completamente industrializado
- Sistema versátil, que debe permitir piezas de distintos tamaños en función de las necesidades resistentes de cada caso.
- Debe ser durable, resistente a la corrosión
- Debe permitir, un sistema de mejora local de la capacidad resistente del terreno en la zona del bulbo de presiones
- Debe ser compatible con las distintas formas de mejora del terreno (rellenos estructurales, vibrocompactación, inyecciones, pozos,...)
- El sistema debe garantizar la transmisión de esfuerzos horizontales al terreno, complementándolo con puntos de anclaje cuando el rozamiento no sea suficiente.
- Igualmente, debe garantizar que se puede reforzar el anclaje al terreno cuando las succiones a que esté sometido puedan superar el peso propio del prototipo (especialmente en el caso del White Wing”)
- Se debe poder disponer tanto sobre el terreno natural, como sobre un relleno estructural, como sobre una losa o solera de hormigón armado.

- Debe ser un sistema que permita la regulación inicial, y que permita pequeños ajustes posteriores conforme se vayan produciendo pequeños asentamientos y movimientos en el terreno. Estos ajustes posteriores deben ser realizados de forma automática.

- Por último, y tal vez más importante, debe ser un sistema absolutamente fiable y seguro, que no pueda accidentalmente, o por un fácil sabotaje, generar problemas de gran magnitud en el edificio.

## CARACTERÍSTICAS INICIALES DEL SISTEMA DE CIMENTACIÓN INTELIGENTE

El sistema de cimentación que se prevé consistirá en la implantación “in situ”, una vez retirada la capa con materia orgánica, bien directamente, bien sobre una solera de hormigón armado de armadura y espesor a definir según el geotécnico de la parcela, y un sistema de apoyos por zapatas metálicas aisladas dotadas de gatos hidráulicos con las siguientes características generales:



- Constará de piezas industrializadas de distintos tamaños, resueltos con acero soldado galvanizado en caliente

- Irán dotados de un sistema de rótula que permita cierta inclinación en el apoyo y una mejor adaptabilidad a la topografía de la parcela.

.- Dispondrá de un sistema de puntos de anclaje que podrán efectuarse mediante fijaciones mecánicas a la losa/solera de cimentación (mejora frente a succión y rozamiento), o mediante anclajes puntuales al terreno donde asiente (mejora de capacidad portante del bulbo de presiones, frente a succión, y frente a esfuerzos horizontales y rozamiento).

.- Sistema fácil de caracterizar cuando se disponga directamente sobre el terreno, mediante la realización de placas de carga 30\*30, con la posibilidad de mejora adicional de la capacidad portante del bulbo de presiones.

.- Sistema hidráulico centralizado de toda la cimentación, gobernado por la pasarela residencial que integra el sistema domótico de la vivienda. Este sistema hidráulico irá necesariamente complementado con un sistema mecánico manual que permita, en caso de necesidad, ser operado manualmente.

.- El sistema centralizado debe recibir información de tres tipos de sensores:

.- Sistema de nivelación láser circular que contraste regularmente la horizontalidad de todas las zapatas.

.- Sistema de manómetros que permita leer la distribución de tensiones de la vivienda al terreno, y detectar qué zapatas pueden perder capacidad de reacción en un momento dado.

.- Sensores que detecten las tensiones que se están generando en zonas sensibles de la estructura, de forma que ante un eventual asiento, se disparen las alarmas cuando se superen los umbrales de seguridad tensional en dichos sensores.

.- Sistema inteligente de control que analiza la información recibida y decide en qué zapatas se precisa nivelar o recuperar presión, de forma que se garantice un comportamiento constante a lo largo del tiempo.

.- Sistemas de seguridad que garanticen un buen comportamiento del conjunto a prueba de incidencias (corte fluido eléctrico, maniobra manual equivocada por error, sabotaje intencionado,...) y accidentes. Entre los sistemas que se barajan, se incluyen:

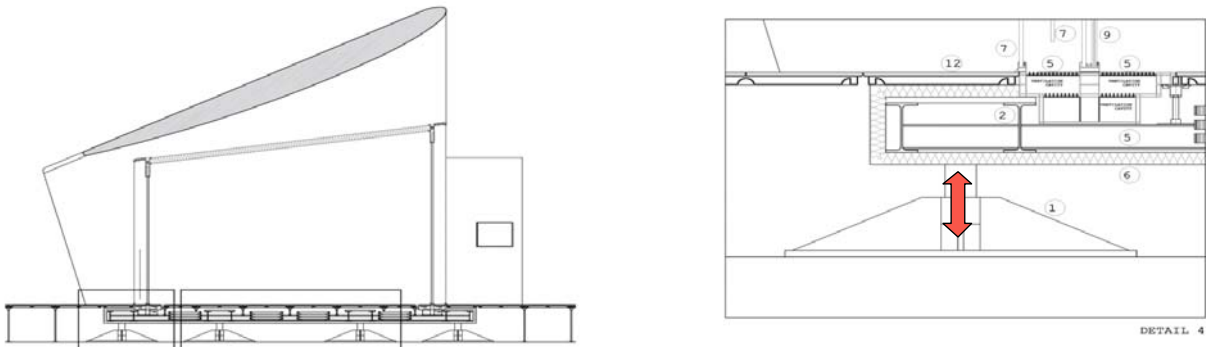
.- Sistema de retenedores en el sistema hidráulico que minimice el riesgo de accidentes por pérdidas repentinas de presión.

.- Sistema complementario de retenedores mecánicos con un sistema de presilla, rueda dentada, o similar, que garantice la inmovilidad del sistema en caso de accidente.

.- Sistema complementario de pasadores de seguridad en caso de sabotaje, con el que se pretende garantizar movimientos inferiores a 1 cm, en el peor de los casos.

.- Se estudia también la posibilidad de un sistema de maniobra complementario al hidráulico y manual mediante elementos exclusivamente eléctricos.

.- El sistema inteligente se centraliza en la pasarela residencial de la vivienda, que debe ser capaz de definir un sistema de alarmas para cuando se producen pequeños desajustes, decidiendo, en función de la naturaleza del problema, si procede realizar pequeños ajustes de corrección, o procede llamar a un técnico especialista para que subsane la deficiencia detectada.



.- La instauración del sistema de cimentación inteligente descrito, supondrá algunas influencias que deberán considerarse en el diseño de las viviendas, como son:

.- La rigidez del sistema de cimentación deberá ser aportada directamente por la estructura, al carecer el sistema de atados eficaces y rígidos. Es recomendable en cualquier caso, por muchas razones estructurales y constructivas, que el sistema de zapatas se disponga sobre una losa-solera de hormigón armado.

.- Deberán cuidarse la transmisión acústica y térmica del terreno a la vivienda, a través de los apoyos. Para ello deberán disponerse apoyos con neoprenos, y sistemas que minimicen la transmisión de vibraciones y los puentes térmicos.

.- Deberá disponerse de un sistema de picas y red de puesta a tierra del prototipo.

.- Las uniones de las instalaciones de la vivienda con la red de saneamiento, depósitos de AFS, ACS, Aguas grises, etc, deberán ser efectuadas con uniones elásticas y flexibles.

.- Deberán realizarse estudios específicos para su implantación en zonas sísmicas.

## **FASES DE DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

La línea de investigación que debe desarrollar los sistemas de cimentación inteligente está ya abierta, pendiente de la necesaria financiación. Hasta que no se pueda dar vía libre a dicha investigación, se ha planificado y estructurado la misma en las siguientes fases de desarrollo:

### **FASE DE PLANIFICACIÓN**

En la que se incluyen las siguientes actividades principales:

- .- Análisis de los Riesgos Técnicos derivados de los sistemas de cimentación convencionales que se pudieran aplicar a este tipo de viviendas industrializadas. Se ha realizado una particularización en el Análisis de Riesgos de la cimentación del prototipo SOLAR WING.
- .- Determinación de las necesidades que debe reunir el sistema de cimentación inteligente.
- .- Definición de atributos y características del sistema de cimentación inteligente.
- .- Condiciones de adaptabilidad del tipo de cimentación a cada tipo de terreno posible. Soluciones generales, y soluciones particulares frecuentes.

### **FASE DE DESARROLLO**

En la que se prevé realizar, una vez se cuente con la oportuna financiación:

- .- Diseño de la zapata tipo y sus posibles variantes (tamaños, esquina, compartida por módulos, ...)
- .- Diseño del Sistema hidráulico
- .- Diseño del Sistema mecánico
- .- Diseño del Sistema de Nivelación Láser
- .- Diseño del Sistema de Manómetros
- .- Diseño del Sistema de Sensores estructurales de tensión
- .- Diseño de los sistemas de Seguridad hidráulicos y mecánicos
- .- Diseño de los algoritmos matemáticos integradores de los distintos sistemas
- .- Integración de los sistemas en la pasarela domótica residencial de la vivienda

## **FASE DE IMPLANTACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN**

En la que se prevé su aplicación preliminar sobre el prototipo experimental ALFA:

- .- Diseño de aplicación sobre el prototipo ALFA
- .- Caracterización de su funcionamiento
- .- Experimentación de los distintos sistemas.

## **FASE DE APLICACIÓN EN WHITE WING**

Una vez concluida la fase de experimentación preliminar, se aplicará para la cimentación del Prototipo WHITE WING, que admitirá también una pequeña fase de experimentación y caracterización previa.

## **FASE FINAL: AJUSTES Y COMERCIALIZACIÓN**

Posteriormente, y dentro del ámbito del Proyecto APOLO, el sistema desarrollado será objeto de experimentación y seguimiento durante un periodo mínimo de tres años, realizando cuantos ajustes sean precisos en el sistema para poder pasar a su aplicación industrial en los sistemas de prototipos que se desarrollen, así como, en su caso, la obtención de las correspondientes patentes y derechos de protección intelectual e industrial, procediendo a su comercialización directa.

## **CONCLUSIÓN**

El objetivo de la presente comunicación es la de plantear los criterios sobre los que se está investigando para el desarrollo de sistemas “inteligentes” de cimentación, tecnología con amplias posibilidades de desarrollo futuro. Esta investigación se desarrolla en el ámbito de los proyectos de la Universidad Politécnica de Madrid SOLAR DECATHLON 2007 y APOLO, y persigue desarrollar sistemas de cimentación necesarios para la implantación rápida, segura y eficaz, de los prototipos de viviendas que se van a desarrollar, con el fin último de que se puedan comercializar el día de mañana.

En cualquier caso, esta investigación permitirá adquirir experiencia y conocimientos sobre una tecnología que ya está desarrollada y aplicándose en países como Japón, Noruega, ..., y que apunta una futura línea de desarrollo tecnológico en la Construcción.