

# **PLAN DE INVESTIGACIÓN EN LA SUBLÍNEA MUROS DE CONCRETO ARMADO DE DUCTILIDAD LIMITADA**

**Por: Ángel San Bartolomé**

Investigadores PUCP: Alejandro Muñoz, Gianfranco Ottazzi y Ángel San Bartolomé

Asistentes PUCP: Catalina Peña, Raúl Delgado, Cristhian Urraca, Mariela Villa García, Claudia Acuña, Georgina Madueño, Rolando Cavero, Ivan Koo, Luis Rojas Ishikawa y Fernando Madalengoitia.

## **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

En Lima se vienen construyendo numerosos edificios estructurados con muros delgados de concreto armado, de hasta 7 pisos de altura. Dado el poco espesor de estos muros (10 cm), el refuerzo se coloca en una hilera central y resulta imposible confinar sus extremos con estribos a corto espaciamiento, por lo que reciben el nombre de "Muros de Ductilidad Limitada".

Si bien es cierto que a partir del año 2006 existen normas peruanas (Normas E.030 y E.060) que regulan el empleo de este sistema, es necesario verificar o modificar sus artículos ya que en gran parte carecen de fundamentos experimentales.

## **OBJETIVOS**

- Analizar las técnicas de construcción.
- Determinar niveles de resistencia, rigidez y ductilidad.
- Analizar el comportamiento sísmico ante acciones coplanares y perpendiculares al plano del muro, contemplando diversos parámetros (esbeltez, carga axial, etc.).
- Plantear técnicas de reparación y reforzamiento dependientes del tipo de falla.
- Incorporar los resultados de las investigaciones a las Normas E.030 y E.060.

## **-PARTE EXPERIMENTAL-**

### **1. PROYECTOS EXPERIMENTALES REALIZADOS**

Algunos resultados de los siguientes proyectos, fueron utilizados para formular una parte de las Adendas de las Normas E.030 y E.060.

#### **1.1. Proyectos Ejecutados por Tesis**

- Comportamiento Sísmico de Placas de Concreto Armado Reforzadas con Mallas Electrosoldadas. Proyecto SENCICO. Tesis: Claudia Acuña y Mariela Villa García. 2003. Asesores: San Bartolomé y Muñoz.
- Comportamiento sísmico de placas de concreto reforzadas con mallas electrosoldadas. Parte

2: Control de la falla por deslizamiento. Proyecto SENCICO. Tesis: Georgina Madueño y Rolando Caveró. 2004. Asesores: San Bartolomé y Muñoz.

- Comportamiento a Fuerza Cortante de Muretes de Concreto Reforzados con Malla Electrosoldada, Acero Convencional y Fibra Metálica. Apoyo parcial de PRODAC. Tesis: Fernando Madalengoitia. 2004. Asesores: San Bartolomé y Muñoz.
- Estudio experimental de la interacción placa – alféizar aislado en edificaciones de concreto armado con mallas electrosoldadas. Apoyo parcial de PRODAC. Tesis en ejecución de Miguel Amable 2005. Asesores: San Bartolomé y Muñoz.
- Confinamiento en los bordes de los muros de concreto armado: comparación experimental de criterios del ACI. Tesis: Luis Rojas Ishikawa y José Ivan Koo Cruz. 2006. Asesor: San Bartolomé.

## **1.2. Proyectos Contratados**

- Proyecto PRODAC. Comportamiento a carga lateral de muros delgados reforzados con malla electrosoldada y acero dúctil. Agosto del 2006. Director: San Bartolomé.

## **2. PROYECTOS EXPERIMENTALES POR EJECUTAR**

### **2.1. Confinamiento de los Extremos**

Este proyecto fue ejecutado por los tesisistas Rojas y Koo, pero necesita ampliarse analizando otros niveles de carga axial, otras esbelteces y considerando paredes transversales.

### **2.2. Efectos de la Esbeltez sobre la Resistencia a Corte**

Existe la necesidad de verificar las fórmulas que especifica la Norma E.060 para determinar la resistencia a fuerza cortante, puesto que en proyectos anteriores (acápites 3) se ha encontrado divergencias. Para ello se ensayarán muros a carga lateral cíclica variando su esbeltez (altura-longitud) en: 0.5, 1.0, 2.0 y 3.0. Estos muros serán diseñados para que fallen por corte.

### **2.3. Efectos de la Carga Vertical**

La mayor carga axial puede reducir en forma sustancial a la ductilidad de los muros. Para analizar este efecto se ensayarán muros cuadrados, con la misma cuantía de refuerzo, sujetos a 4 niveles de carga vertical, representativa de la existente en el primer piso de edificios de 3, 5, 6 y 7 pisos.

### **2.4. Influencia de Muros Transversales**

La presencia de carga vertical y del refuerzo existente en las paredes transversales, podría modificar la forma de falla de los muros, los cuales se diseñan para que fallen por flexión. En adición, en este proyecto se estudiará: anchos efectivos que determinan la rigidez, resistencia, y el grado de confinamiento que proporcionan las paredes transversales. Para ello, se ensayarán a carga lateral cíclica, aplicando carga vertical constante en la pared transversal, a muros en forma de T, doble T, L, variando la longitud de la pared transversal.

### **2.5. Ductilidad del Refuerzo por Corte: Malla Electrosoldada o Dúctil**

Este proyecto fue contratado por PRODAC, allí se ejecutaron ensayos de carga lateral monotónicamente creciente. Debe ampliarse al caso de cargas laterales cíclicas.

## **2.6. Falla por Deslizamiento**

La falla por deslizamiento a través de la base de los muros es imposible de reparar, por lo que debe evitarse. En proyectos anteriores (acápite 3), se llegó a la conclusión que era necesario diseñar espigas dúctiles capaces de soportar la fuerza cortante asociada al mecanismo de falla por flexión y adicionarlas al refuerzo necesario por flexión. Esta conclusión no fue recogida por la Norma E.060, en donde se verifica si el refuerzo vertical calculado por flexión es suficiente para soportar el cizalle, obviándose la simultaneidad del momento flector y la fuerza cortante. Por lo cual es necesario analizar este efecto ensayando muros a carga lateral cíclica.

## **2.7. Reparación y Reforzamiento**

Los muros de los proyectos mencionados serán reparados y reforzados tratándose de buscar técnicas simples y económicas. Estos muros serán reensayados sometiendo a carga lateral cíclica.

## **2.8. Influencia de Tuberías**

Debe analizarse en cuánto influye la presencia de tuberías embutidas en los muros sobre su resistencia, rigidez y ductilidad.

## **2.9. Influencia de Defectos en la Construcción**

Debe tratarse de reproducir defectos que se cometen en la construcción (varillas verticales dobladas, traslapes del refuerzo vertical en la misma sección transversal, juntas de construcción lisas, segregación, cangrejeras) para analizar su influencia sobre la resistencia, rigidez y ductilidad de los muros.

## **2.10. Búsqueda de un Modelo a Escala**

Analíticamente, se tratará de buscar un modelo a escala reducida correspondiente a un edificio de 5 pisos, que pueda ser ensayado en mesa vibradora.

## **2.11. Ensayo en Mesa Vibradora del Modelo a Escala**

Se ensayará sísmicamente al modelo del acápite 2.10.

# **-PARTE TEÓRICA-**

1. Estos edificios se cimientan, por lo general, en solados superficiales y muchas veces en el análisis estructural, se supone que la base de los muros está empotrada, por lo que es necesario investigar otros modelos matemáticos que contemplen las rotaciones y los asentamientos en la base de los muros. Ver la influencia de estas deformaciones en la base sobre los momentos flectores, los cuales al reducirse, podrían hacer que el tipo de falla en los muros cambie de flexión a corte. Debe verse también la posibilidad de fallas por punzonamiento del solado, por rotación de la base de los muros.
2. Muchas veces el refuerzo vertical mínimo requerido hace que los muros tengan una sobrerresistencia considerable a flexión ( $M_n / M_u \gg R = 4$ ), por lo que estos muros fallarían por corte, en consecuencia, debe plantearse una nueva teoría de diseño considerando la falla por corte, ya que la existente en la Norma E.060 es válida sólo para muros que fallen por flexión.

3. Debe plantearse una densidad mínima de muros, descartando aquellos con gran cantidad de tuberías, de tal forma que el edificio se comporte elásticamente ante la acción de sismos moderados.
4. Mediante análisis dinámicos inelásticos paso a paso, debe verificarse el grado de deformación inelástica que alcanzan los edificios típicos cuando son sometidos a sismos severos.
5. Utilizando Elementos Finitos, debe analizarse la influencia de las losas de techo sobre el comportamiento sísmico de los muros, ya que muchas veces se les modela como elementos en voladizo.
6. Utilizando elementos finitos, debe analizarse la influencia de las paredes transversales sobre los muros orientados en la dirección del movimiento sísmico, para proponer anchos efectivos en caso se utilice la técnica de pórticos planos.
7. Utilizando elementos finitos, debe analizarse la influencia de la masa distribuida que tienen los muros, sobre la distribución en la altura de las fuerzas de inercia, ya que este tipo de sistema no es de masa concentrada en los niveles.
8. Analizar la redistribución de esfuerzos sísmicos en edificios existentes que hayan tenido problemas de fisuración en los muros por contracción de secado del concreto.