

V ENCUENTRO DE INGENIEROS DE SUELOS Y ESTRUCTURAS
7, 8 y 9 de mayo de 2009
Escuela Colombiana de Ingeniería

Reducción de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones escolares

por:

Luis E. García

Socio, Proyectos y Diseños Ltda., Ingenieros Consultores, Bogotá, Colombia

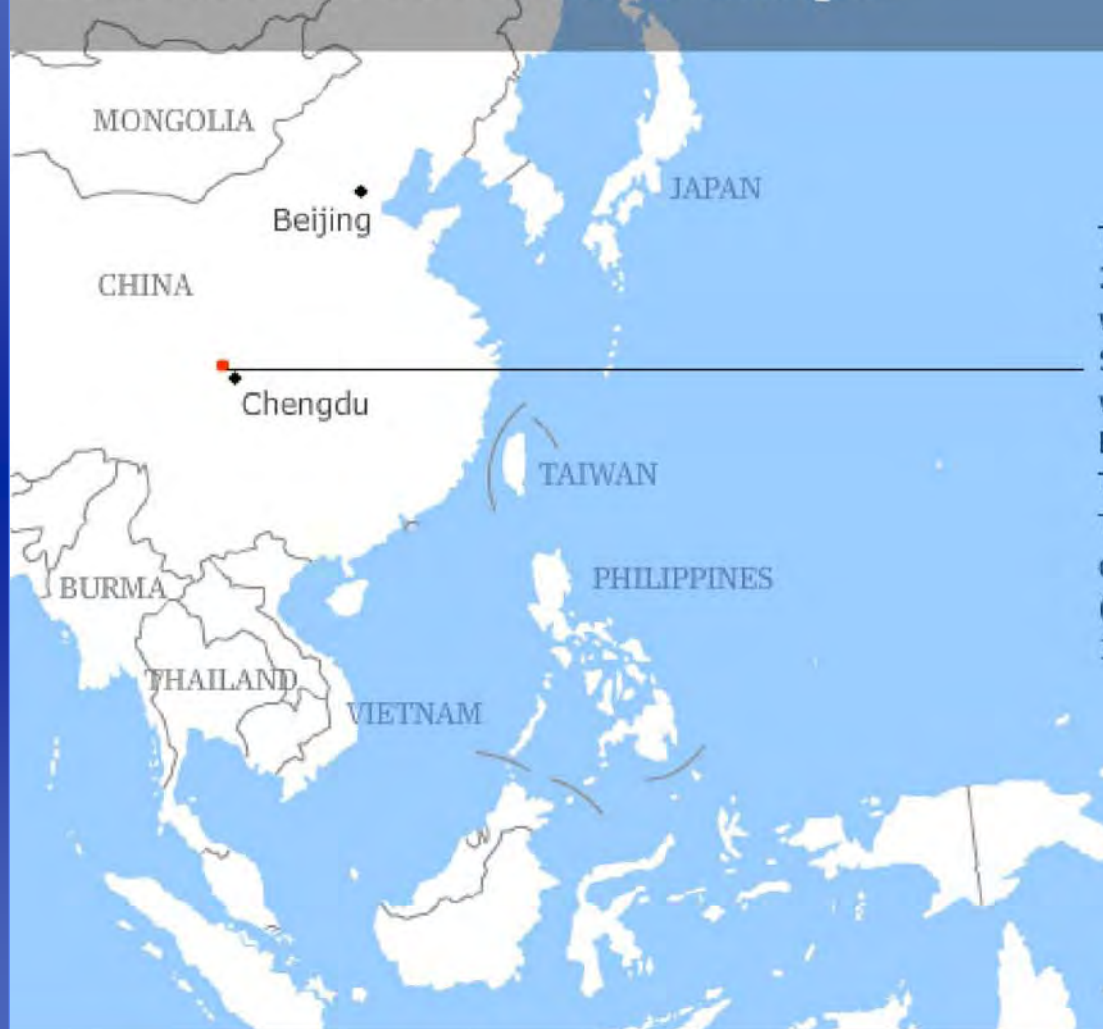
Profesor de Ingeniería Civil, Universidad de los Andes, Bogotá

Expresidente American Concrete Institute (2008-2009)

El problema

- El sismo ocurrido en China hace un año (12 de mayo de 2008) hizo recordar que aún estamos lejos de dar seguridad apropiada a los niños y jóvenes en sus escuelas cuando se ven afectadas por un sismo fuerte.
- Las tristes noticias de China y muchos ejemplos del pasado en los cuales edificaciones escolares de concreto reforzado han fallado durante sismos fuertes hizo pensar a las directivas del ACI si se ha hecho suficiente al respecto.

Thousands killed as schools collapse



The 7.9 magnitude quake on May 12 2008 struck 57 miles (92km) north-west of Chengdu, the capital of Sichuan. Tremors from the quake, which happened at 2.28pm (7.28am BST), were felt as far away as Thailand and Vietnam.

The second, 5.9 magnitude quake, hit on May 16 near the first – 65 miles (100 km) north-west of Chengdu – at 1.25pm (6.25am BST).

Thousands killed as schools collapse

One hundred thousand troops and police have poured into a disaster area the size of Belgium, with thousands of volunteers searching rubble, feeding the hungry and ferrying the injured to safety. Government officials warned that they had found the situation "much worse than expected".

Click on the cameras to see photographs ...

Population exposed:	Structural damage:
 200,000	Very heavy
 866,000	Heavy
 18.3m	Moderate

Wenchuan

Near the epicentre.
Troops have arrived by walking over mountains

Shifang

600 dead, 2,300 buried. Two chemical plants destroyed

SHAANXI

◆ **Guangyuan**
700 dead

SICHUAN

Yingxiu

◆ **Dujiangyan** 
900 students buried in a secondary school.



◆ **Deyang** 
Six schools collapsed

Mianyang

1,000 students and staff buried in a school

Mianzhu

Lake formed by rock falls may flood towns downstream if the rocks shift

Chengdu

900 dead. Survivors arriving here for basic supplies

◆ Ya'an

◆ Leshan

◆ Chongqing

CHONGQING

100 miles

Wenchuan

Near the epicentre.
Troops have arrived by
walking over mountains

Shifang

600 dead, 2,300
buried. Two chemical
plants destroyed

SHAANXI

◆ **Guangyuan**
700 dead

SICHUAN

**Yingxiu****Dujiangyan**

900 students buried in
a secondary school.

Chengdu

900 dead. Survivors
arriving here for
basic supplies

◆ Ya'an

◆ Leshan

Deyang

Six schools
collapsed

Mianyang

1,000 students and
staff buried in a school

Mianzhu

Lake formed by rock
falls may flood towns
downstream if the
rocks shift

◆ Chongqing

CHONGQING

100 miles



A collapsed school in Wenchuan county. Photograph: Reuters



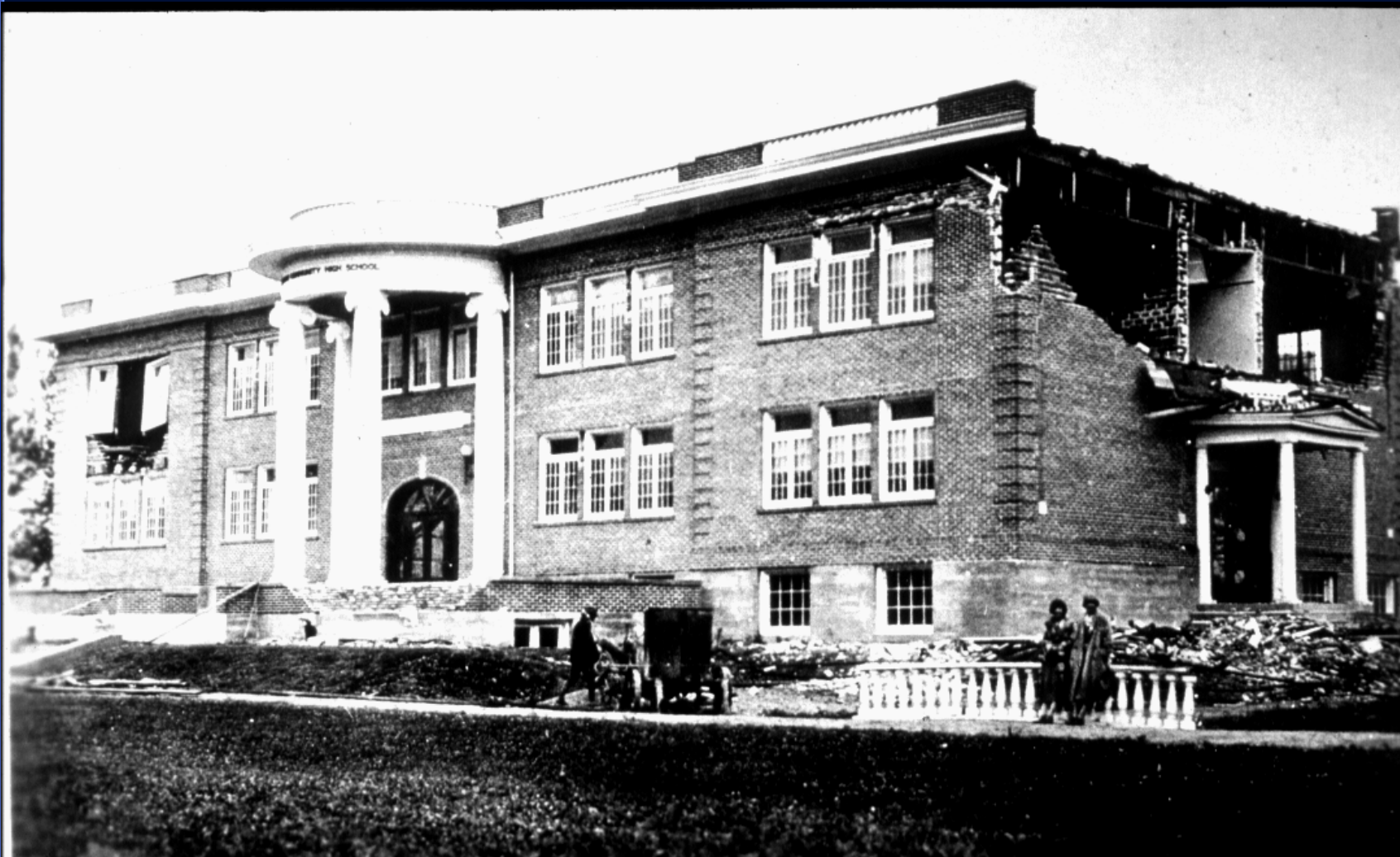
A mother cries in front of bodies found at a collapsed secondary school in the township of Hanwang, north of Chengdu. Photograph: Reuters



Two volunteers search for victims in the debris of a building on May 14 2008 in Mianyang City. More than 7,000 people are dead here, with another 18,000 thought to be trapped under the rubble. Photograph: Getty



Hundreds of students were in Juyuan Middle School in Dujiangyan city, near the earthquake's epicentre, when the building collapsed in the quake.



















DEL COMITÉ DEL INSTITUTO NACIONAL DE
EDUCACIÓN MEDIOVIVIENTE A LA
FRANCISCO JOSE DE CALDAS
POR INVOLUNTARIO CONTRA LA PRESUNCIÓN DE LA
SEÑOR PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA
MISAEEL PASTRANA BORRERO
DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL
JUAN JACOB MUÑOZ
DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL
CARLOS ERMO ALBERTO GONZÁLEZ
DEL INSTITUTO NACIONAL DE EDUCACIÓN
SALAS MUÑOZ ACOSTA
ACORDADO DONILL A FERNÁNDEZ
ACORDADO DEL COMITÉ DEL INSTITUTO
ACORDADO DEL COMITÉ DEL INSTITUTO
ACORDADO DEL COMITÉ DEL INSTITUTO











La pregunta

- ¿Se ha hecho en el ACI suficiente en el pasado y que se va a hacer en el futuro para mejorar la seguridad sísmica de las edificaciones escolares?

Libreta de calificaciones del ACI

- **El ACI ha hecho mucho en el pasado en seguridad sísmica de edificaciones de concreto reforzado en general.**
- **El concreto reforzado fue el primer material estructural en haber incluido requisitos sísmicos en sus requisitos de Reglamento. En 1971 se incluyeron en el Apéndice A del Reglamento ACI 318-71.**
- **El ACI cuenta dentro de sus miembros los mejores expertos a nivel mundial en investigación, diseño y construcción de edificaciones sísmo resistentes de concreto reforzado.**

Libreta de calificaciones del ACI

- El ACI tiene numerosas publicaciones sobre diseño sismo resistente de edificaciones de concreto reforzado las cuales son aplicables a edificaciones de escuelas, colegios y universidades.
- La posibilidad de que estos documentos sean aplicables en diferentes países con condiciones de la naturaleza y de avance tecnológico diferentes es reconocida mundialmente.
- ¡Han sido ensayados en el laboratorio y en el terreno!

Algunos ejemplos

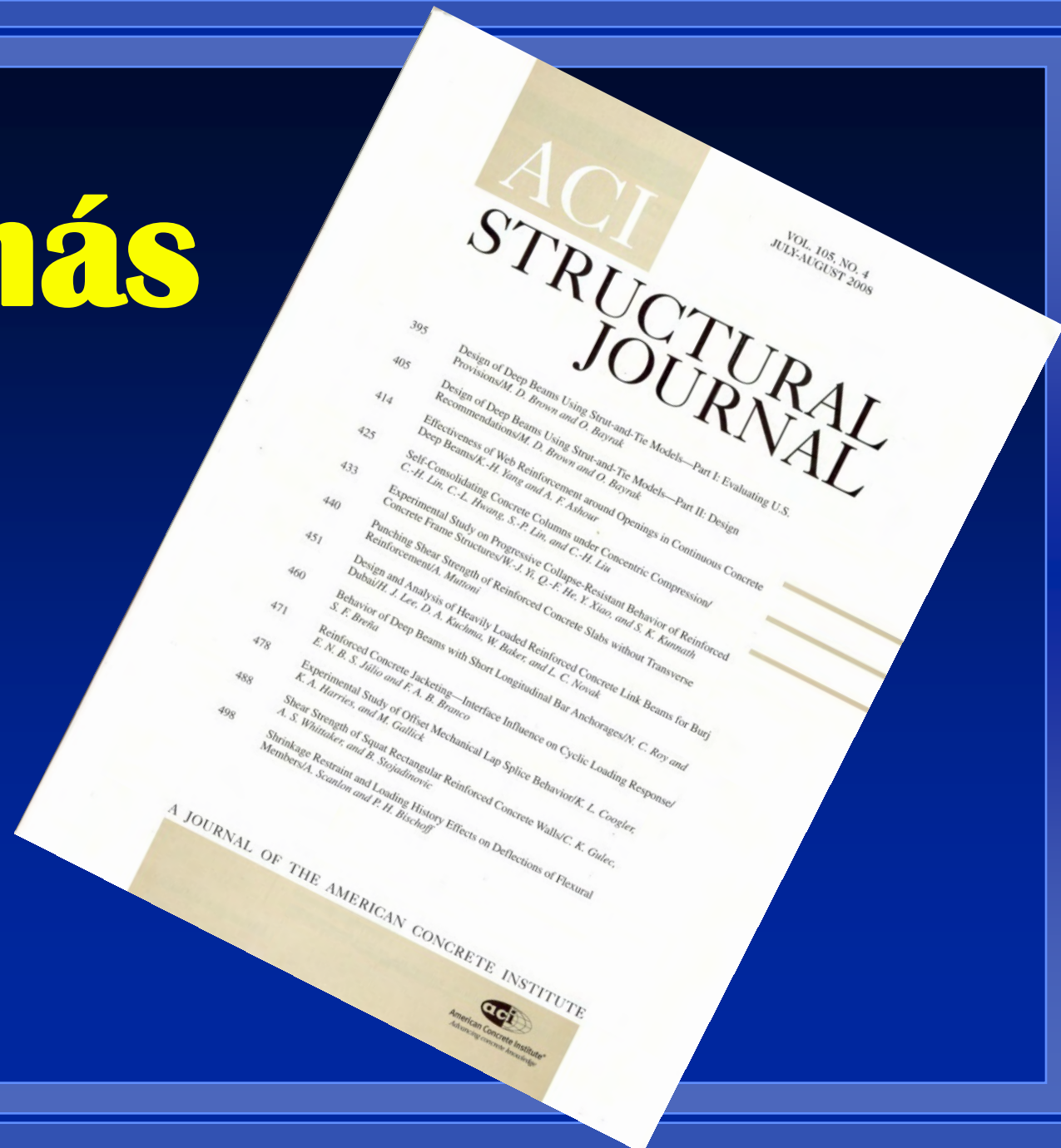
Los conocidos

- **El Reglamento ACI 318-08 para concreto estructural incluye en su Capítulo 21 requisitos de diseño sismo resistente**
- **El Reglamento ACI/ASCE/TMS 530-08 Requisitos de Reglamento para Estructuras de Mampostería también los contiene**
- **El documento 364.1R-07 “Guía para la evaluación de estructuras de concreto antes de una rehabilitación”**
- **El 352R-02 “Recomendaciones para el diseño de conexiones viga-columna en estructuras monolíticas de concreto reforzado”**

Los no tan conocidos

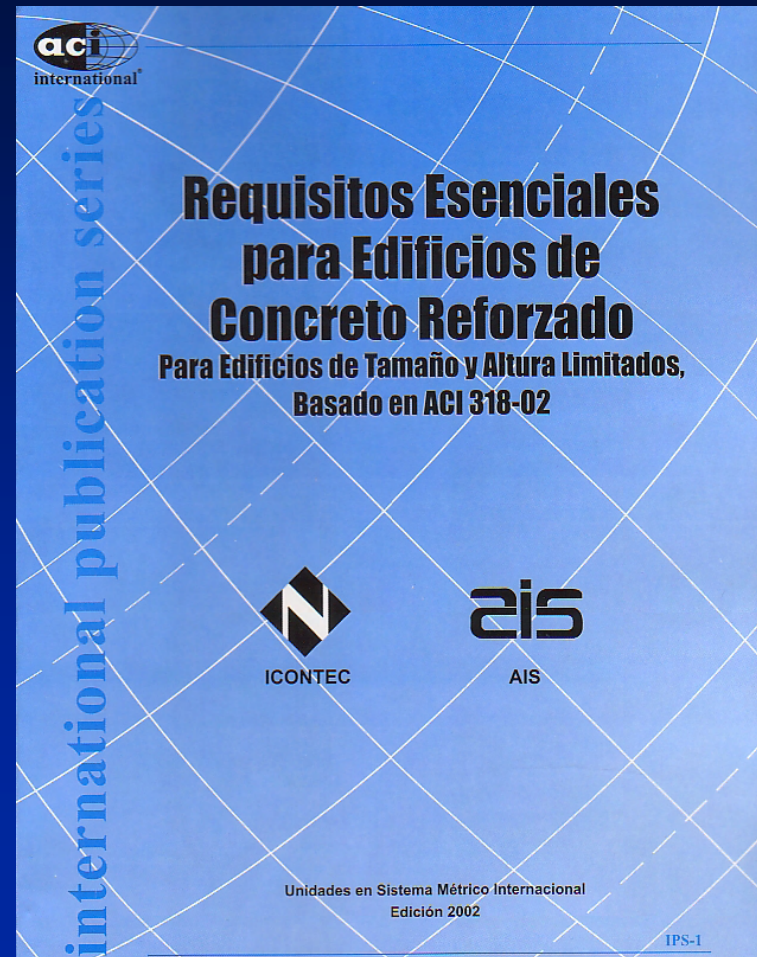
- **IPS-2: Rehabilitación sísmica de estructuras de concreto**
- **SP-160: Rehabilitación sísmica de estructuras de concreto**
- **SP-127: Diseño sismo resistente de estructuras de concreto – Respuesta no lineal y diseño inelástico**
- **374.1-05: Criterio de aceptación para pórticos resistentes a momentos con base en experimentación**

Además



Además

- Documento IPS-1
“Requisitos
esenciales para
edificios de
concreto
reforzado de
tamaño y altura
limitados”
- Está siendo
actualizado por el
Comité ACI 314.



Otro ejemplo: Reducción de vulnerabilidad sísmica de edificaciones universitarias

- **Durante el 3^{er} Simposio de Concreto en la Américas (Kansas City, 2005) se dedicó una sesión completa a este tema, presentando algo que la OEA ha considerado prioritario en las américas bajo el programa DRUCA.**
- **Se presentaron los casos de la Universidad de California, Berkeley, la Universidad de Costa Rica en San Jose, y la Universidad de los Andes en Bogotá, Colombia, de reducción de su inventario de edificios vulnerables.**

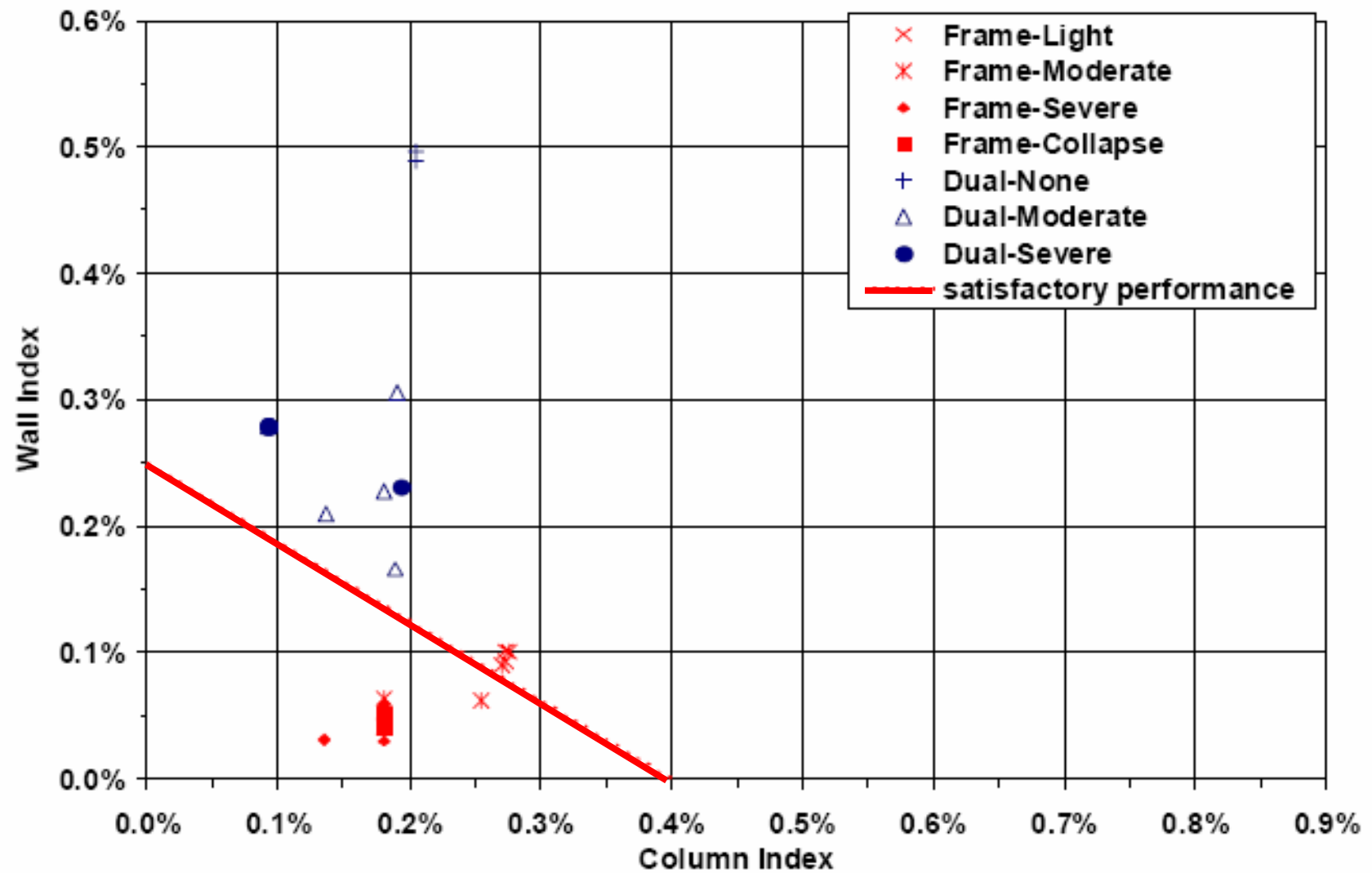
El procedimiento de Hassan and Sozen

- Desarrollado por Ahmed F. Hassan y Mete A. Sozen, "Determinación de la vulnerabilidad sísmica de edificios de poca altura en regiones con sismos infrecuentes" publicado en el ACI Structural Journal, Enero-Febrero 1997.
- Este método se basa en observaciones de campo de edificios bajos durante sismos el cual ha sido calibrado en varios sismos en diferentes países.
- Permite estudiar un inventario de edificios bajos para determinar su vulnerabilidad y comportamiento ante la ocurrencia de un sismo fuerte.

**Bingöl
(Turquía)
Mayo 2003**



Schools and Dormitories



Otro caso

- Durante el sismo del eje cafetero en 1999 la ciudad de Armenia (320,000 habitantes) perdió el 80% de sus edificaciones escolares.
- Esto motivó a la ciudad de Bogota en el año 2000 a realizar una evaluación de todos los edificios del sistema escolar pertenecientes a la ciudad.

**El documento que se
está terminando de
redactar por parte de
la AIS y el ACI**

Plan de temas

- **Introducción**
- **Ejemplos de comportamiento de edificaciones escolares durante sismos fuertes**
- **Resistencia sísmica de edificaciones educativas**
- **Problemas sísmicos asociados con elementos arquitectónicos no estructurales**
- **Determinación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones educativas existentes**
- **¿Cómo mejorar el comportamiento de edificaciones educativas existentes en sismos futuros?**
- **¿Cómo diseñar un edificio educativo nuevo seguro?**

Procedimiento

- El mismo que se utilizó para redactar el documento IPS-1 “Requisitos esenciales para edificios de concreto reforzado de tamaño y altura limitados”
- La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS (International Partner del ACI) está trabajando en el documento.
- El documento final será aprobado por AIS bajo un procedimiento de consenso.
- Será revisado por el ACI bajo las reglas de documentos de la serie IPS.