



I CONVERSATORIO SOBRE INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA UNI-PUCP-SENCICO-INFES

Reforzamiento Sísmico de la Infraestructura Educativa

Daniel QUIUN

Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)

PRISMA Ingenieros Consultores SAC

Lima, 26 de agosto de 2005

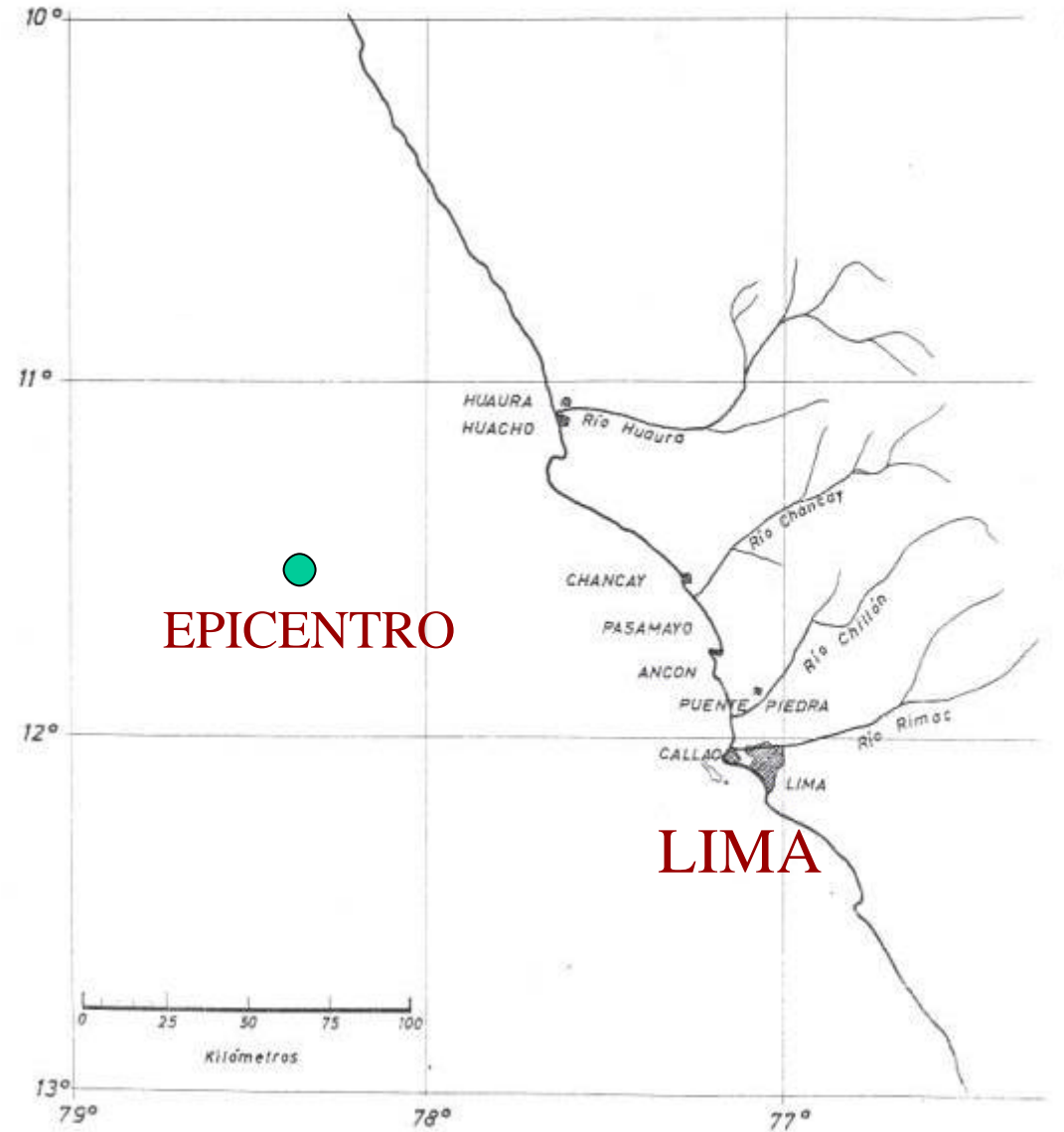


PRISMA
INGENIEROS



Sismo de Lima: 24 mayo 1940, M=8.2 (VII-VIII MM)

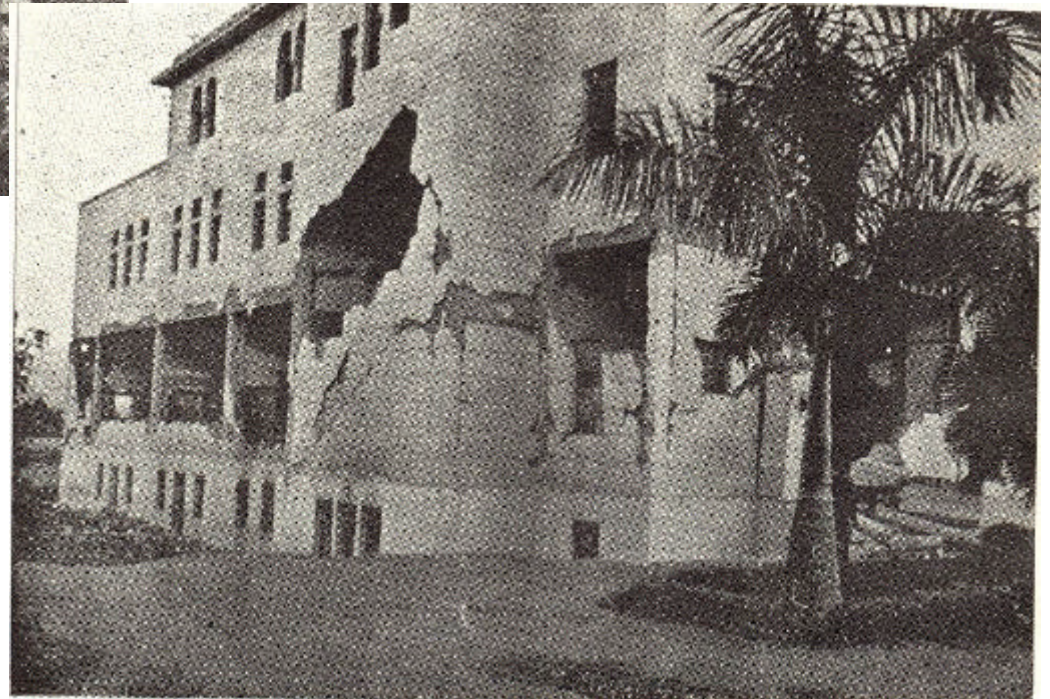
- 179 muertos.
- 3500 heridos.
- Daños en Escuela Nacional de Agricultura (La Molina)



Escuela Nacional de Agricultura: 24 mayo 1940

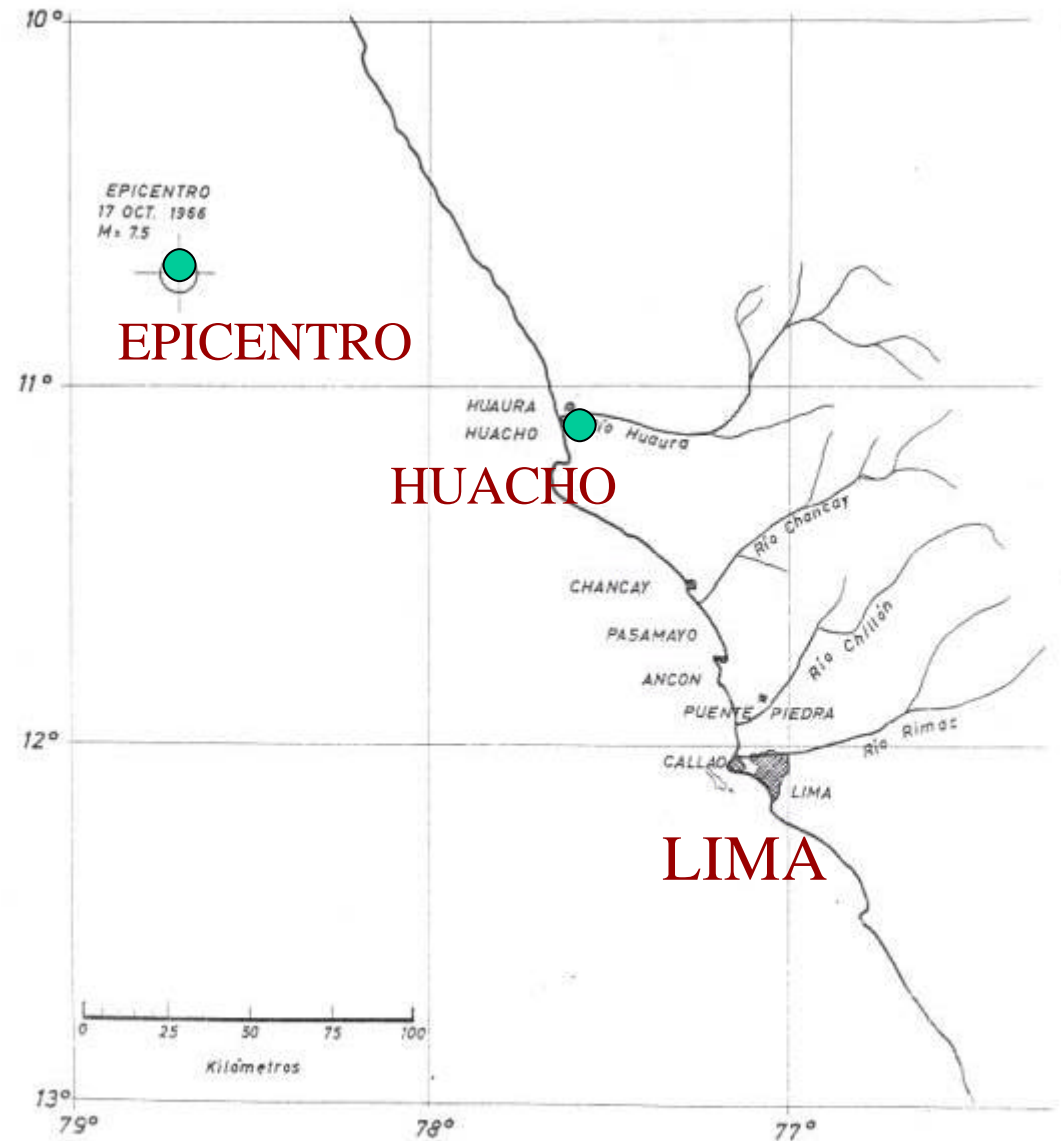


Desplome de
Muros
(La Molina)



Sismo de Lima: 17 octubre 1966 (Ms=7.5)

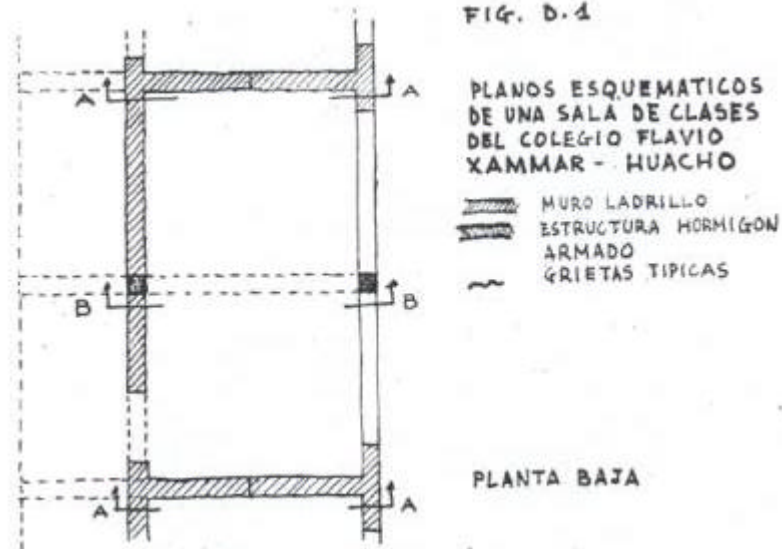
- 100 muertos.
- Amáx = 269 gal
(Lima)



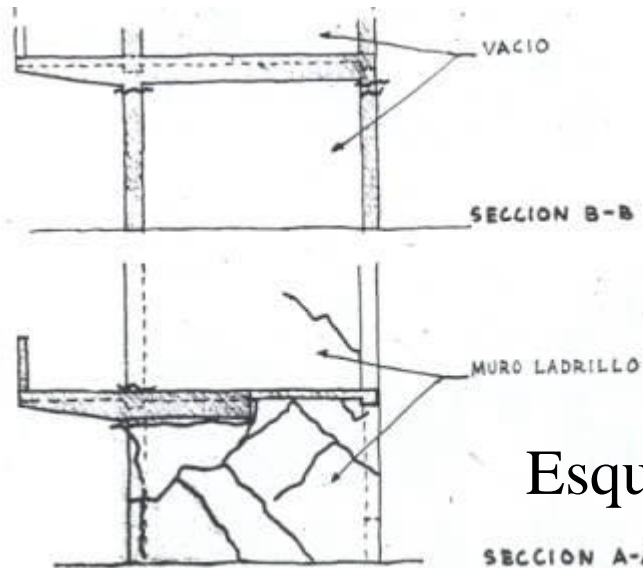
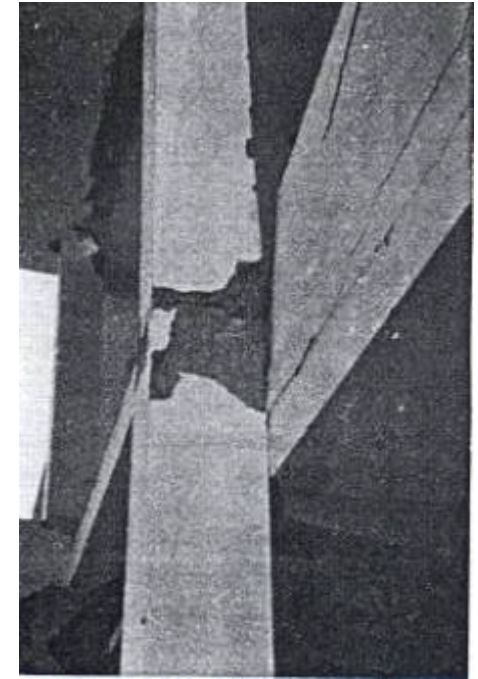
PLANO DE UBICACION - TERREMOTO DEL 17 OCT. 1966

PERU

Colegio en Huacho: 17 octubre 1966



Fallas en Columnas



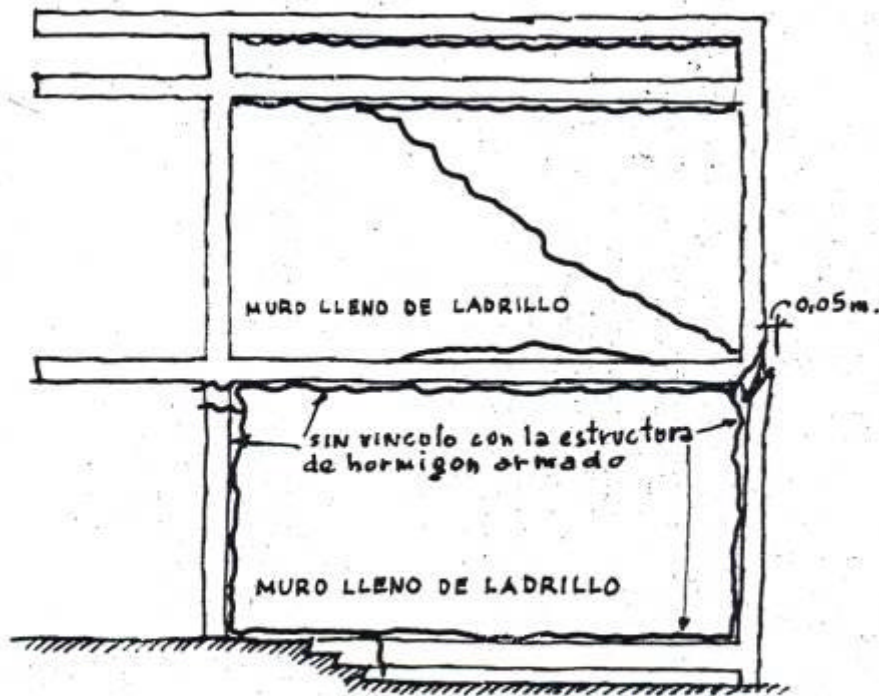
Esquemas



Colegio en Lima: 17 octubre 1966

Esquema

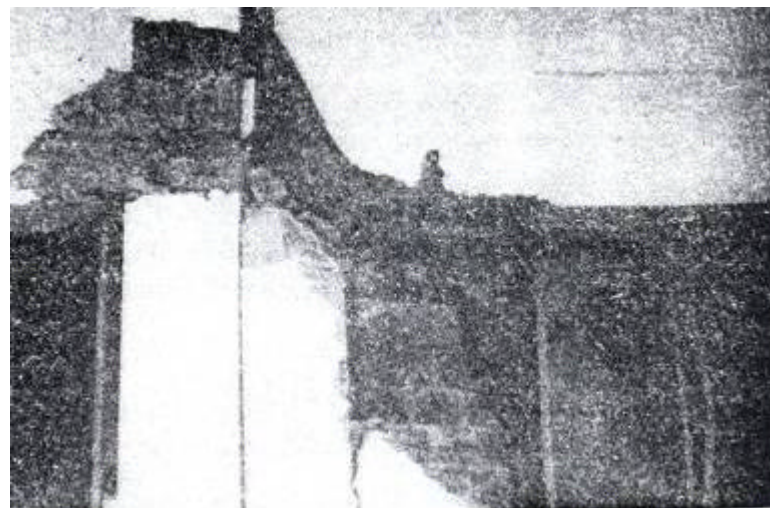
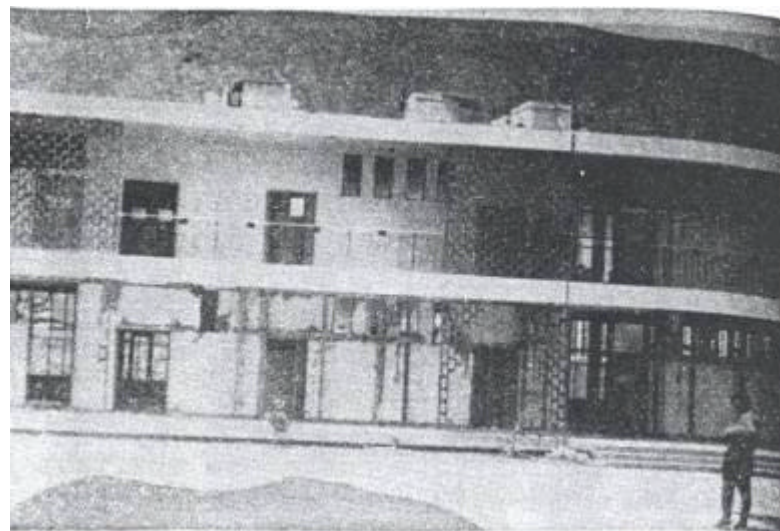
FIGURA-D2
COLEGIO REINA DE LOS ANGELES



ESQUEMA TÍPICO DE LAS FACHADAS LATERALES

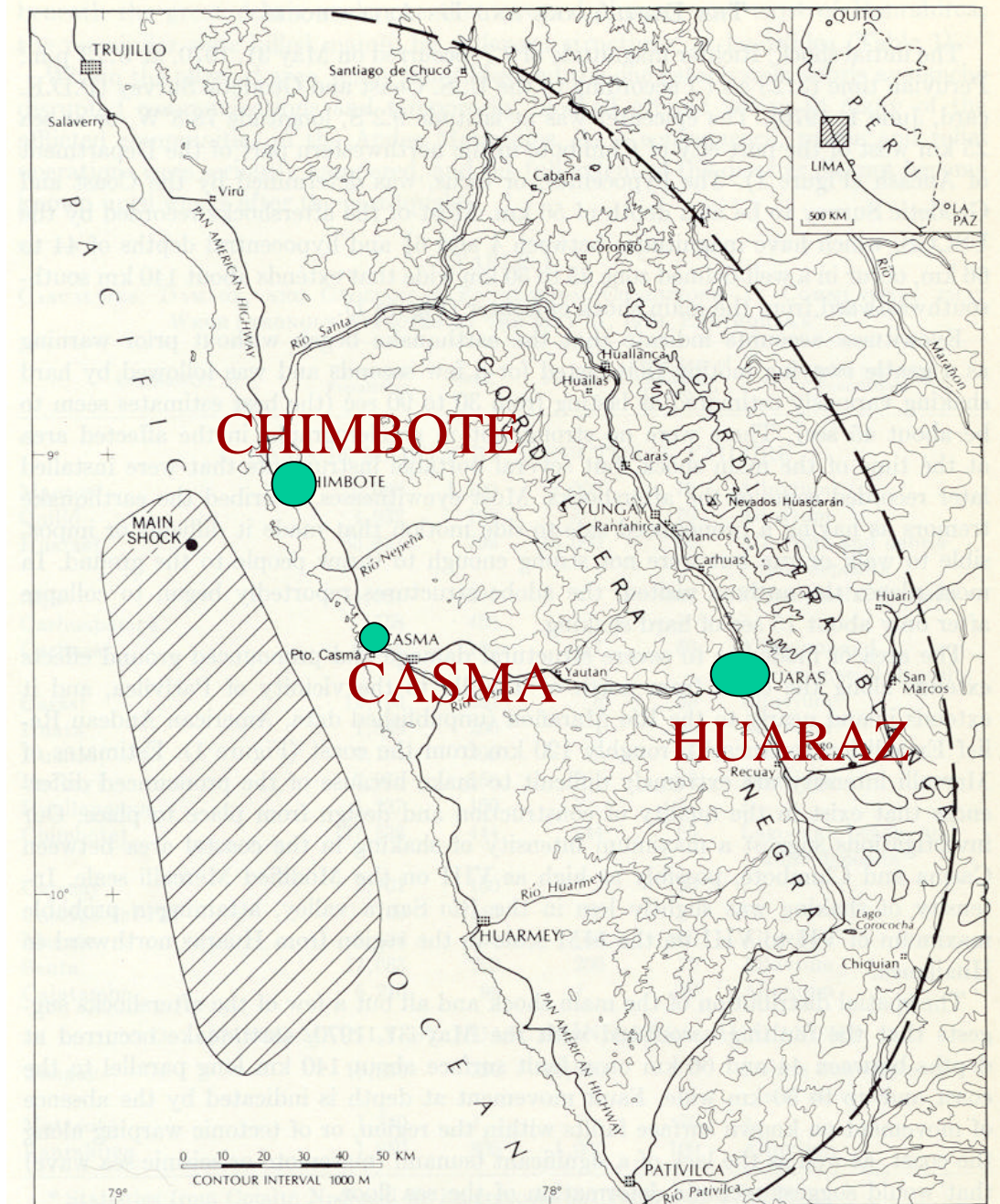
LOS MUROS DEL PRIMER PISO SE DESPRENDIERON POR CARECER DE VINCULACION CON LA ESTRUCTURA QUE LO CIRCUNDA - SE DESPLOMARON APROX. 3CMS.

Fallas en Columnas (1° Piso)



Sismo de Chimbote: 31 mayo 1970 ($M_s=7.75$)

- 70000 muertos.
- 150000 heridos.
- 6730 aulas destruidas.
- A máx = 105 gal (Lima)



Colegio en Casma: 31 mayo 1970



Techo caído
sobre carpetas

Techo totalmente
desplomado

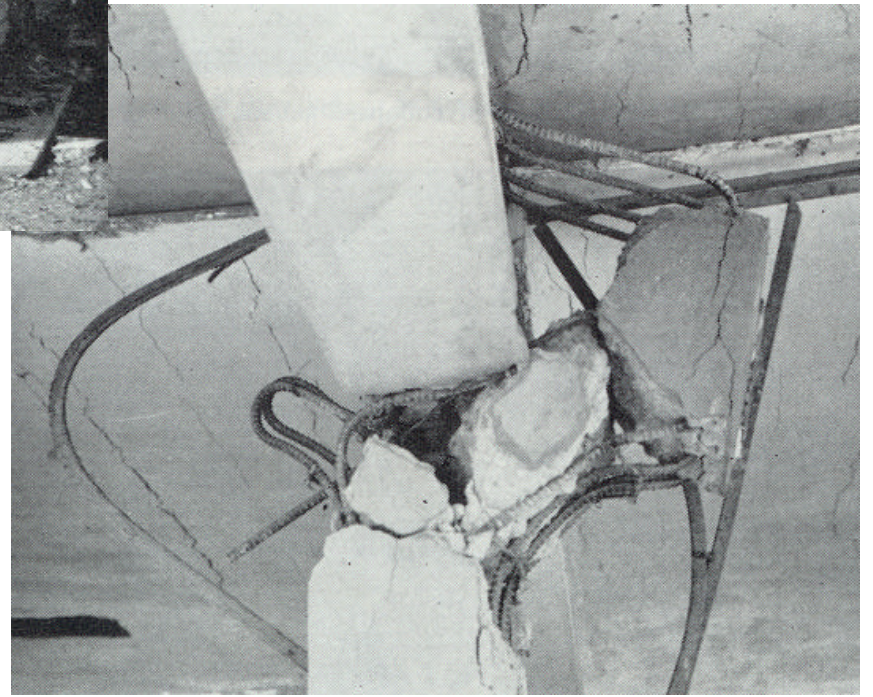


Colegio en Casma: 31 mayo 1970



Techo metálico flexible

Columna sin estribos de confinamiento adecuados

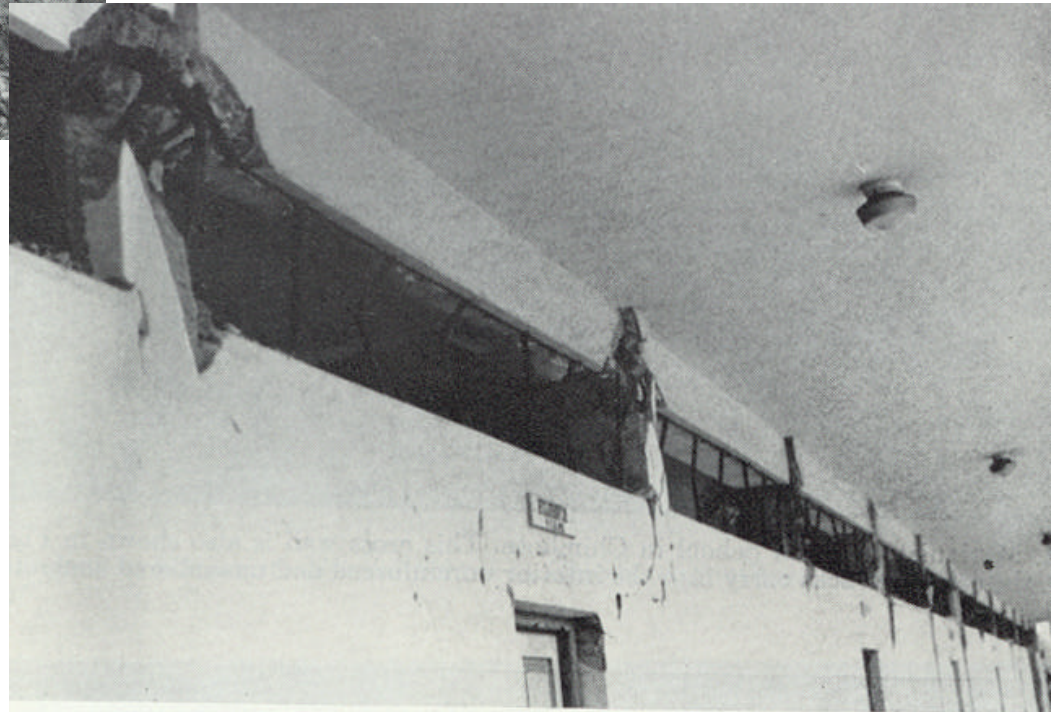


Colegio 1 en Chimbote: 31 mayo 1970



Fachada longitudinal con columnas “largas”

Fachada longitudinal con columnas “cortas”

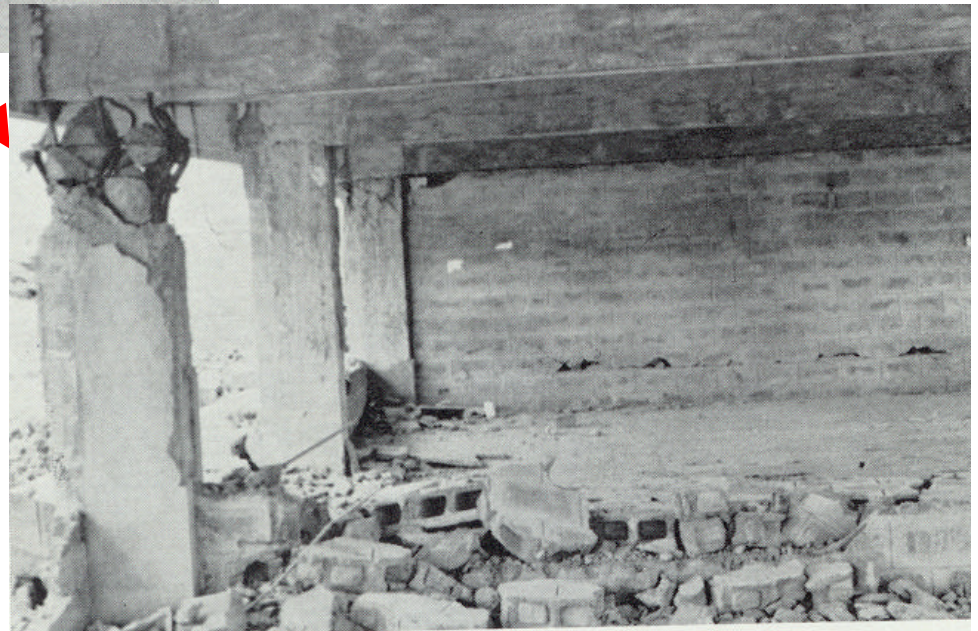


Colegio 2 en Chimbote: 31 mayo 1970



Fachada longitudinal con columnas muy flexibles

Columna “corta” por tabiques altos a ambos lados



Colegio en Huaraz: 31 mayo 1970



Dirección de pórticos colapsada,
dirección de muros de albañilería sin
daños.



Sismo de Lima: 3 octubre 1974 (Ms=7.6)

- 78 muertos.
- 2500 heridos.
- Amáx =193 gal
(Lima)

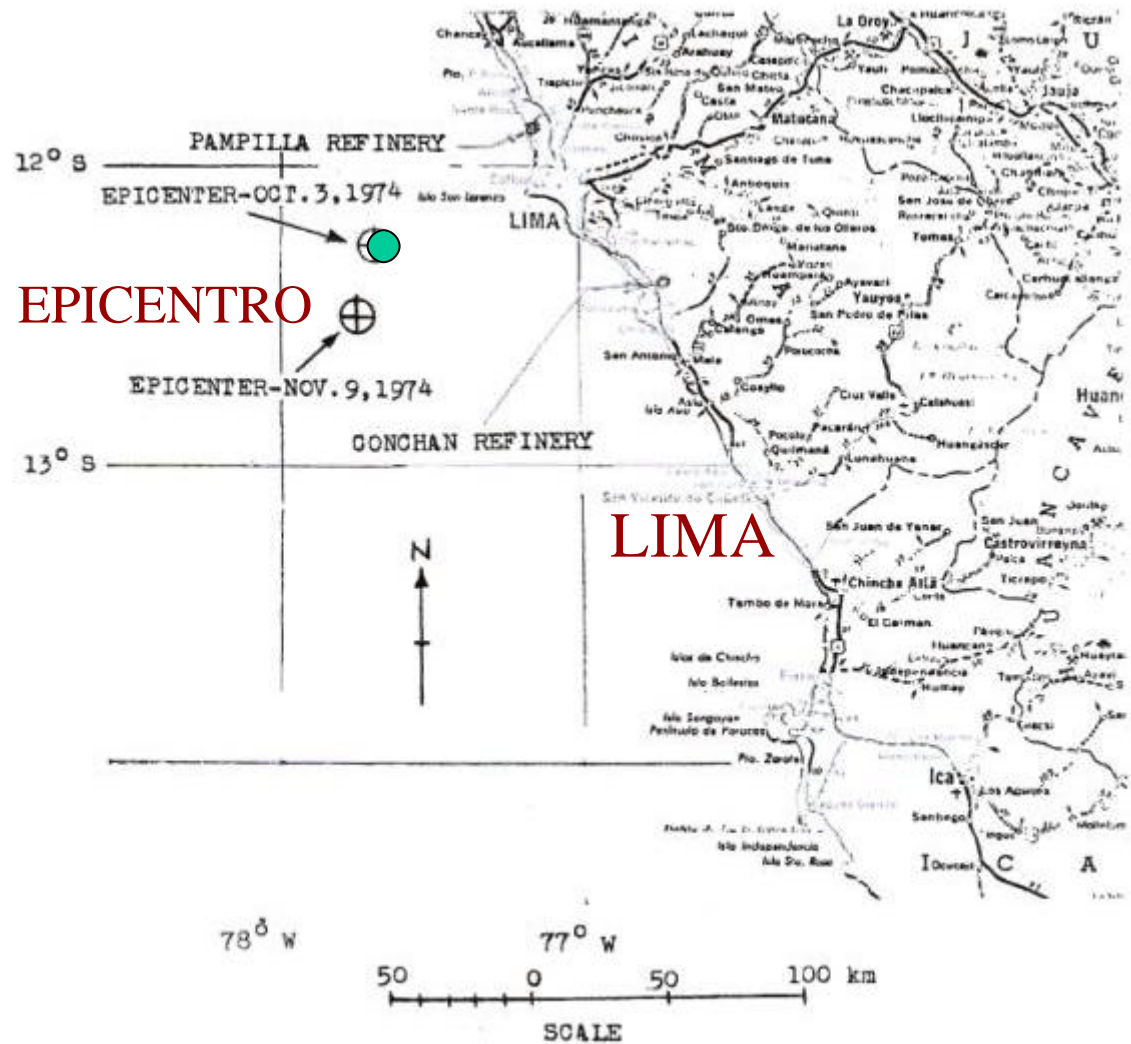
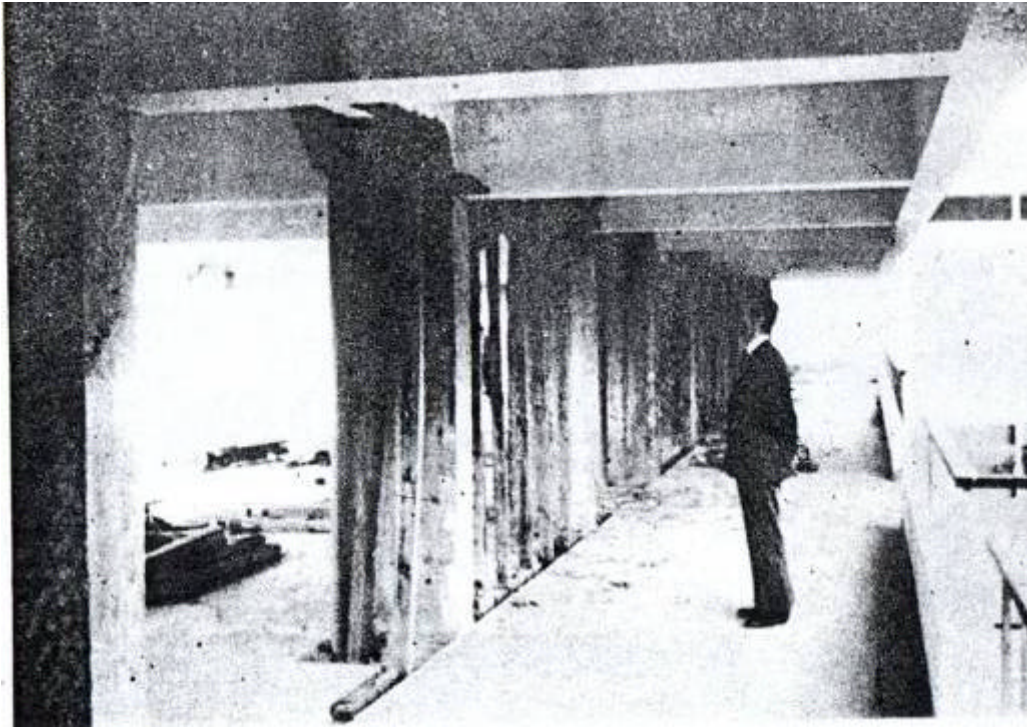


Figure 1

Colegios en Lima: 3 octubre 1974



Fallas en Columnas



U. Agraria en Lima: 3 octubre 1974

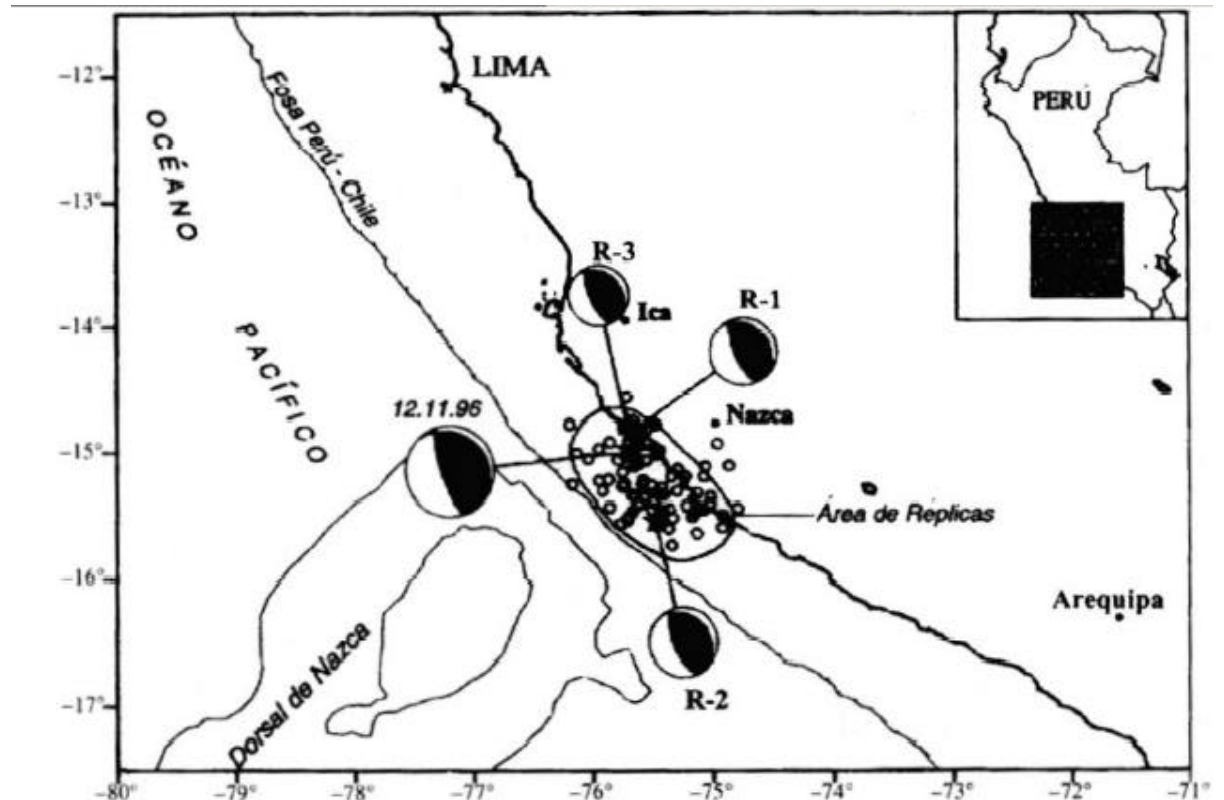


Fallas en Columnas (La Molina)



Sismo de Nazca: 12 de noviembre 1996 (Mw=7.5, Mb=6.5)

- 14 muertos.
- 73,000 afectados
- 91 C.E. afectados (Informe del 1er. ministro al Congreso del 21/nov)
- Amáx = 7.5 gal (Lima)



Efectos del sismo en Nazca: 12-nov-1996



Desplaz. Laterales excesivos
provocaron columnas cortas



Efectos del sismo en Palpa: 12-nov-1996

Escuela antigua en Palpa sin daños



**Proyecto experimental
SENCICO-PUCP (1999):
Reforzamiento edif.
Existentes con columna
corta**

**A. San Bartolomé,
M. Durán, C. Rivera**

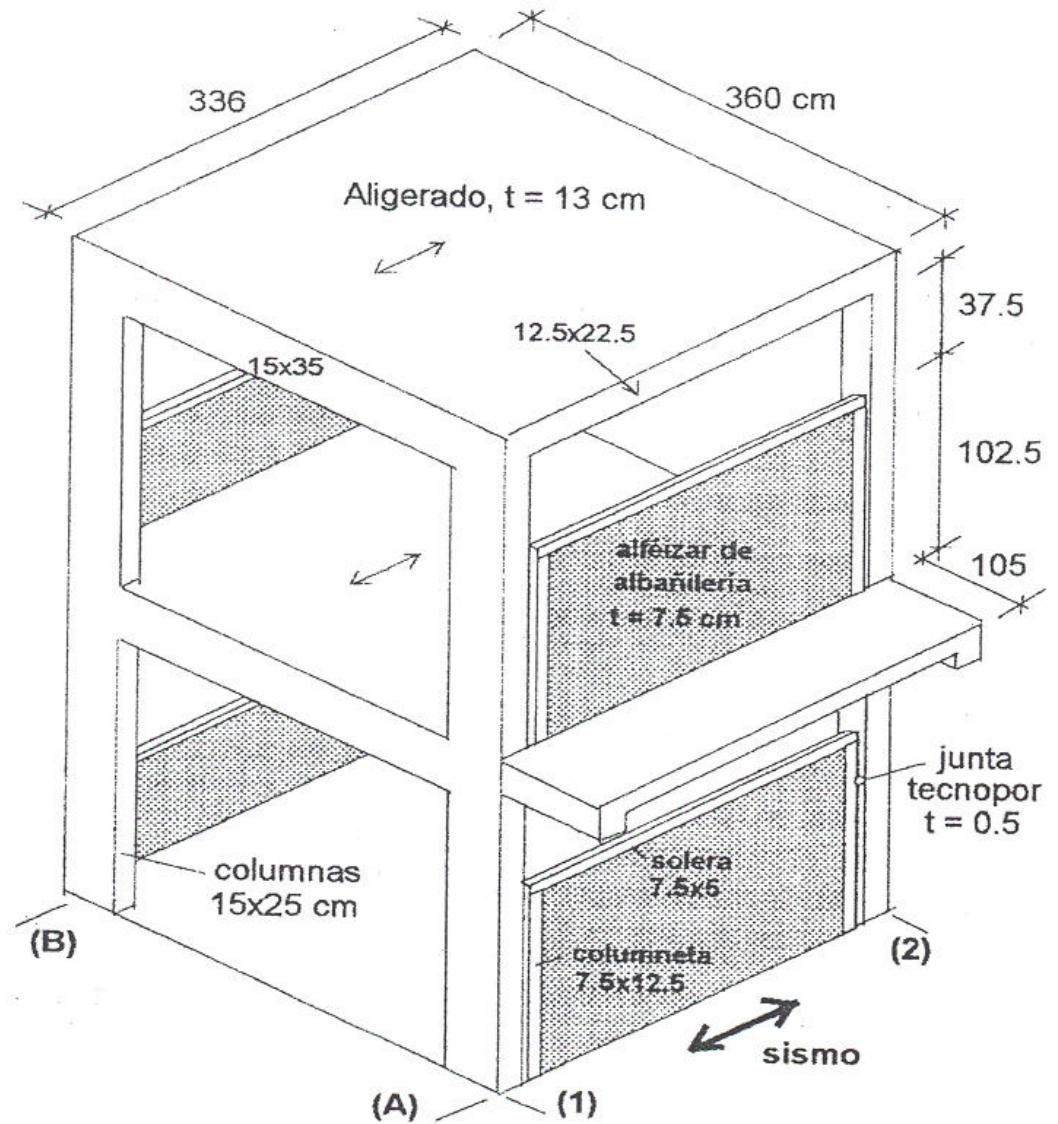


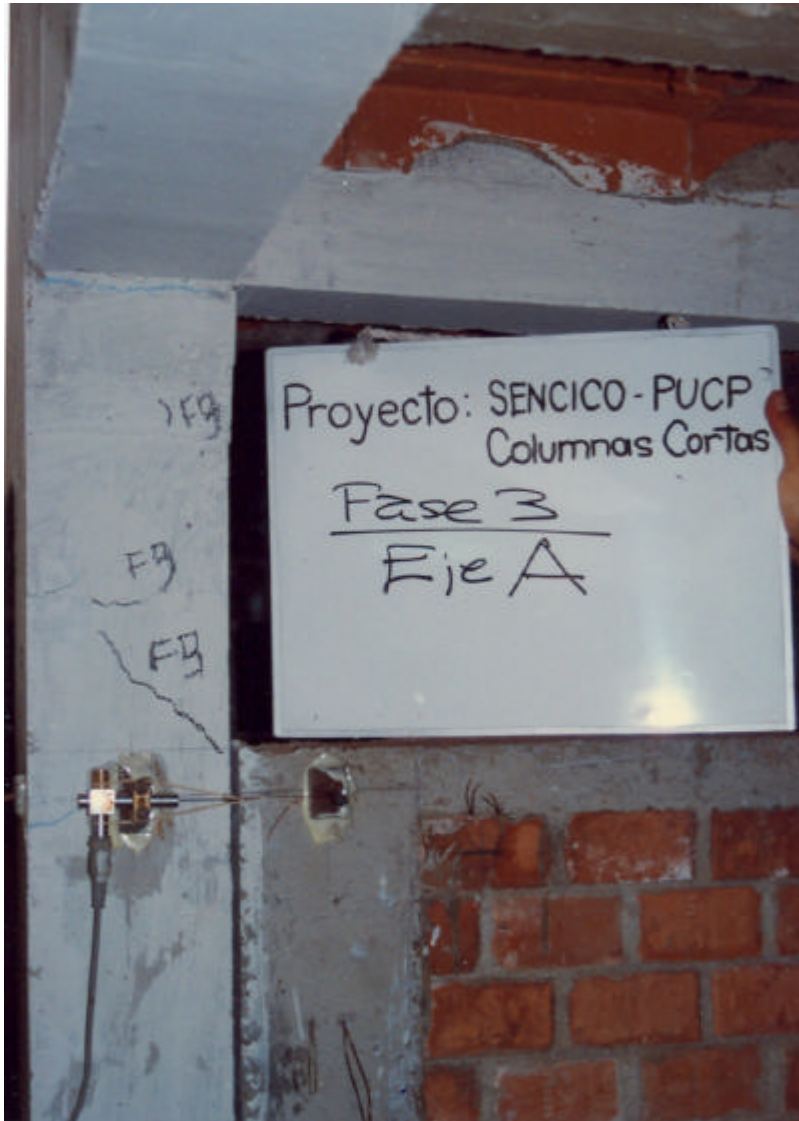
FIGURA 1
ESQUEMA DEL MODULO A ESCALA 1:2

**Proyecto SENCICO-PUCP (1999):
Módulo 1 con col. corta en el simulador de sismos**



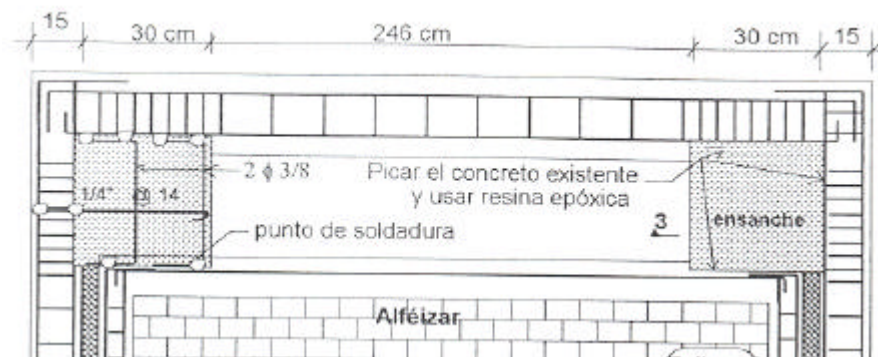
Proyecto SENCICO-PUCP: MÓDULO 1

Daños por corte se pudieron reproducir



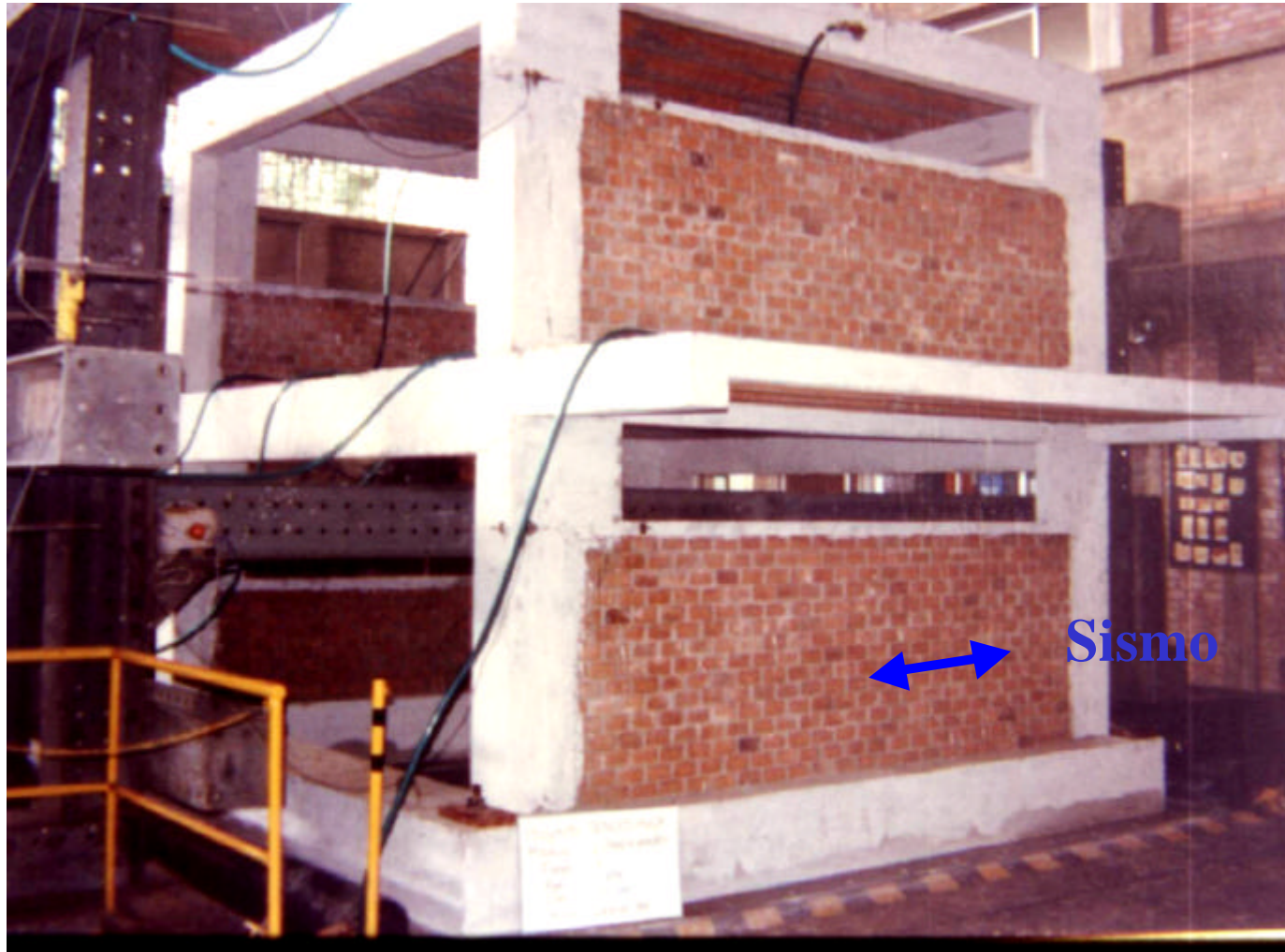
Proyecto SENCICO-PUCP: Módulo 2 con reforzamiento

Añadir ensanches de concreto armado en la zona de columna corta para incrementar la resistencia y lograr distribución uniforme de fuerzas cortantes entre todas las columnas del piso.



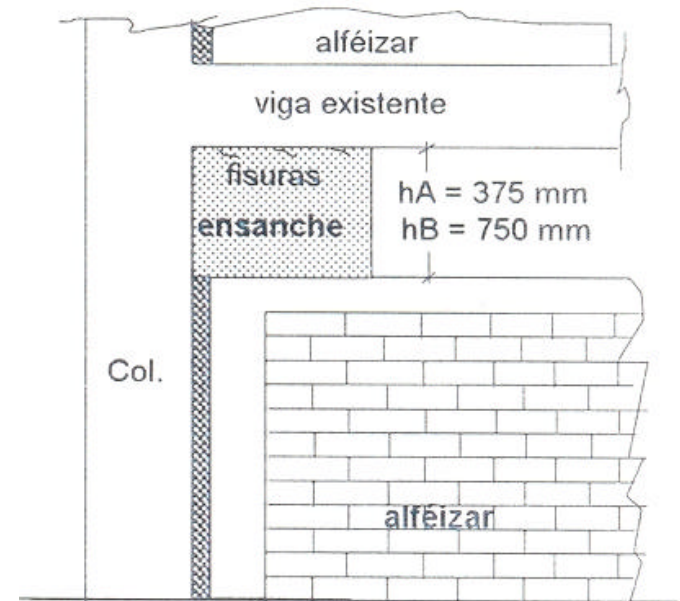
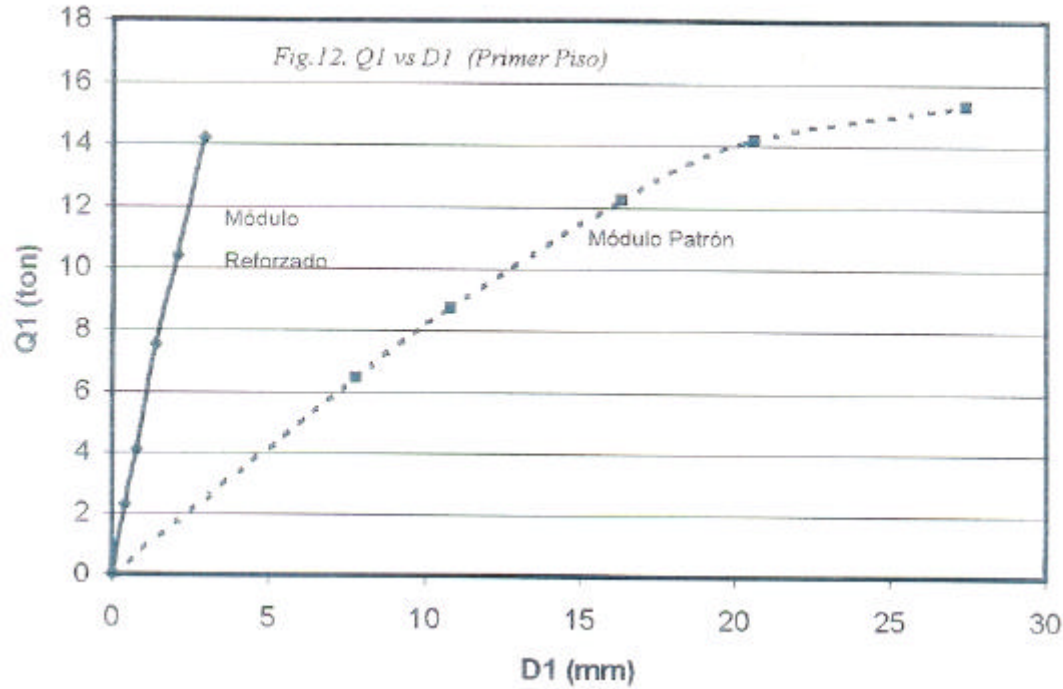
Proyecto SENCICO-PUCP: Módulo 2

Técnica sencilla y rápida, con buen comportamiento



Proyecto SENCICO-PUCP: Módulo 2

Se logró reducir drásticamente los desplazamientos con muy pocas fisuras.



Fisuras en el Módulo Reforzado

Sismo del 23 de junio 2001 en Perú (Mw=8.4, Ms=7.9)

- 75 muertos.
- 220,000 afectados en Ayacucho, Arequipa, Moquegua, Tacna (sur del Perú) y Arica (norte de Chile).

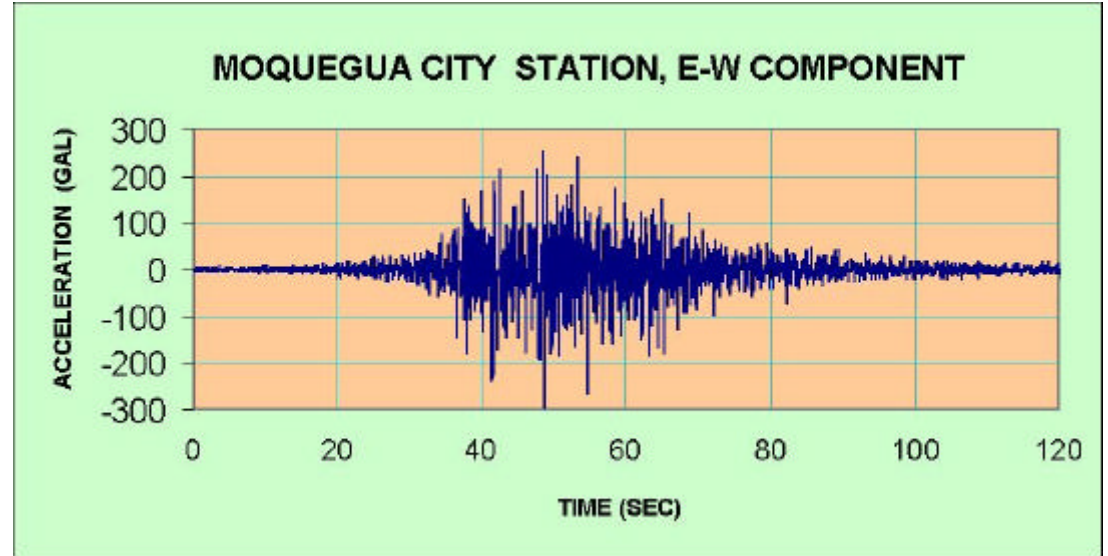


Sismo de 23 junio 2001 - M8.4

Estación CISMID-ACEL. MÁX.: 295.3 cm/s² » 0.3g



AA.HH. San Francisco



Hotel "El Mirador"



Efectos del sismo del 23-jun-2001

- Arequipa: Escuela rural en Yarabamba



Efectos del sismo del 23-jun-2001

- Arequipa: Universidad Nacional San Agustín



**“col corta” y falla en escalera
debido a la poca rigidez lateral**



Efectos del sismo del 23-jun-2001

- Moquegua



Efectos del sismo del 23-jun-2001

- Tacna



Evolución de Normas sísmicas en Perú



- 1977: 1ra. norma moderna tras sismos 1966-1970-1974
- 1997: Incremento de desplaz. calculados (R), reducción de distorsiones admisibles, colegios declarados edif. esenciales, con un factor de importancia $U=1.5$
- 2003: correcciones a la Norma anterior.

Tipología de edificios de aulas “antiguos”

- Tienen 1 a 3 pisos, y 2, 3, o 4 aulas por piso
- Dirección long. L: Pórticos flexibles de concreto
- Dirección trans. T: Muros de albañilería portantes y pórticos de concreto armado



Edif. Antiguos y nuevos



Edif. antiguos

Junio 2001: COLEGIOS NUEVOS SIN DAÑOS!

- Diseñados y construidos con la Norma de 1997



**Columnas
robustas en la
dirección
longitudinal**



**Alféizares de
ventanas con
juntas
sísmicas**

REPARACION Y REFUERZO

- Norma 1997: edif. reforzados deberían tener el mismo desempeño que uno nuevo.
- Norma 2003: da posibilidad de usar “otros criterios”.
- Versión preliminar de la Norma 2003 se usó para justificar los criterios usados en los proyectos post sismo 2001, con objetivos de desempeño **menores que los básicos** considerados por FEMA o ATC.



OBJETIVOS DE DESEMPEÑO

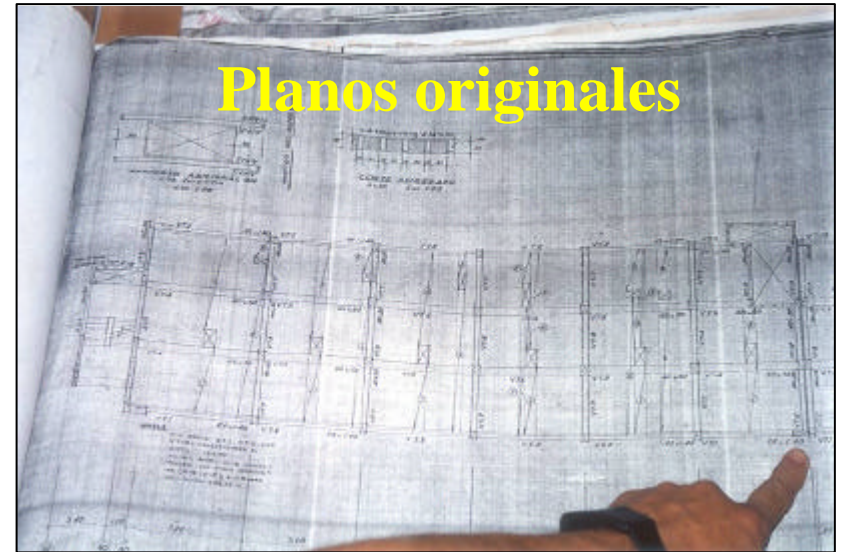
- Objetivo elegido: Seguridad a la vida para sismo raro (Tr = 500 años).
- Para el sismo frecuente queda la duda de cómo será el desempeño

	Desempeño	
Sismo	Funcional	Seguridad a la vida
Frecuente	☹ ?	
Raro		☺



METODOLOGÍA DE REPARACIÓN Y REFUERZO

- Obtener información.
- Estudio de Mec. Suelos.
- Definir sistema de reforzamiento estructural.
- Análisis elástico del sistema reforzado.
- Control desplaz. lateral y diseño de elementos para el sismo raro.
- Detallado estructural.
- Presupuesto.



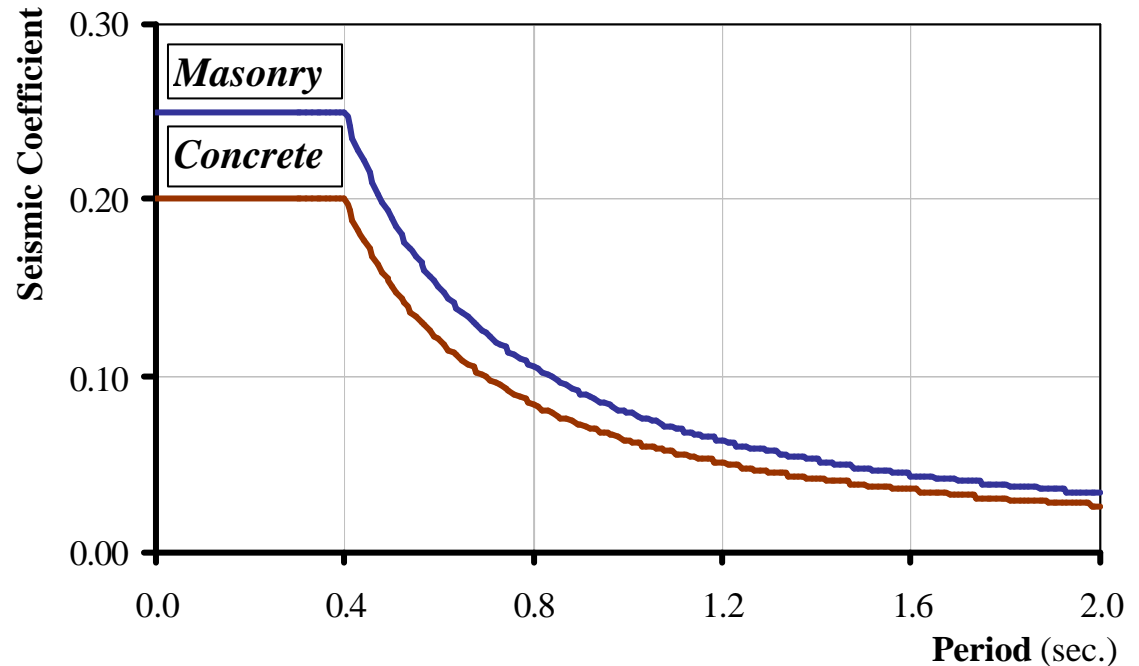
ESTRATEGIA GENERAL DE REFORZAMIENTO

- Elementos existentes sin diseño sísmico ni ductilidad no se consideran en el análisis.
- Incrementar la resistencia a carga lateral y reducir la deriva para controlar las demandas de ductilidad en los elementos existentes.
- Colocar muros nuevos de concreto o albañilería confinada, combinada con pórticos robustos.



PROYECTOS DE REFORZAMIENTO vs. NORMA

- Usualmente, los proyectos de reforzamiento tuvieron derivas calculadas para el sismo raro algo menores que las establecidas por las Normas de 1997 y 2003.



Material Estructural	Deriva Máxima calculada	Deriva Máxima permitida por la Norma
Albañilería	0.004	0.005
Concreto Armado	0.006	0.007

REPARACIÓN Y REFUERZO DE COLEGIOS

- Alrededor de 150 colegios en el sur del Perú han sido evaluados, muchos ya reparados o reforzados.
- En la UNSA, la mayoría de edificios ha sido reforzado.



Nuevos muros y pórticos
robustos



Antes del reforzamiento



Reforzamiento Proyectoado

EDIF. EDUCATIVOS DE 1 PISO

Se incluyeron
muros de
albañilería
confinada con
vigas y columnas
en la dirección
longitudinal.



Antes del reforzamiento



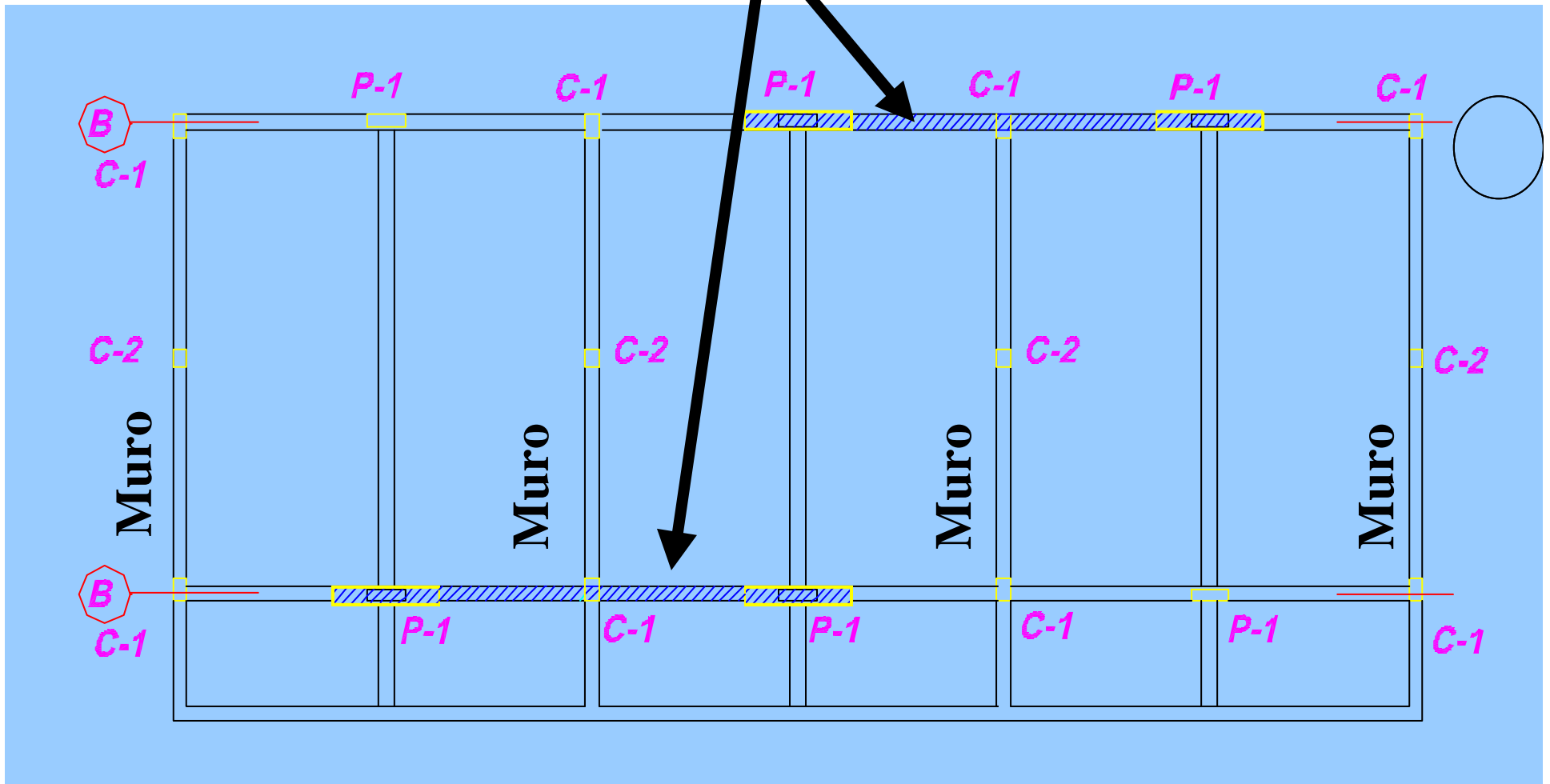
Reforzamiento Proyectoado

**EDIF.
EDUCATIVOS
DE 2 A 4 PISOS.**

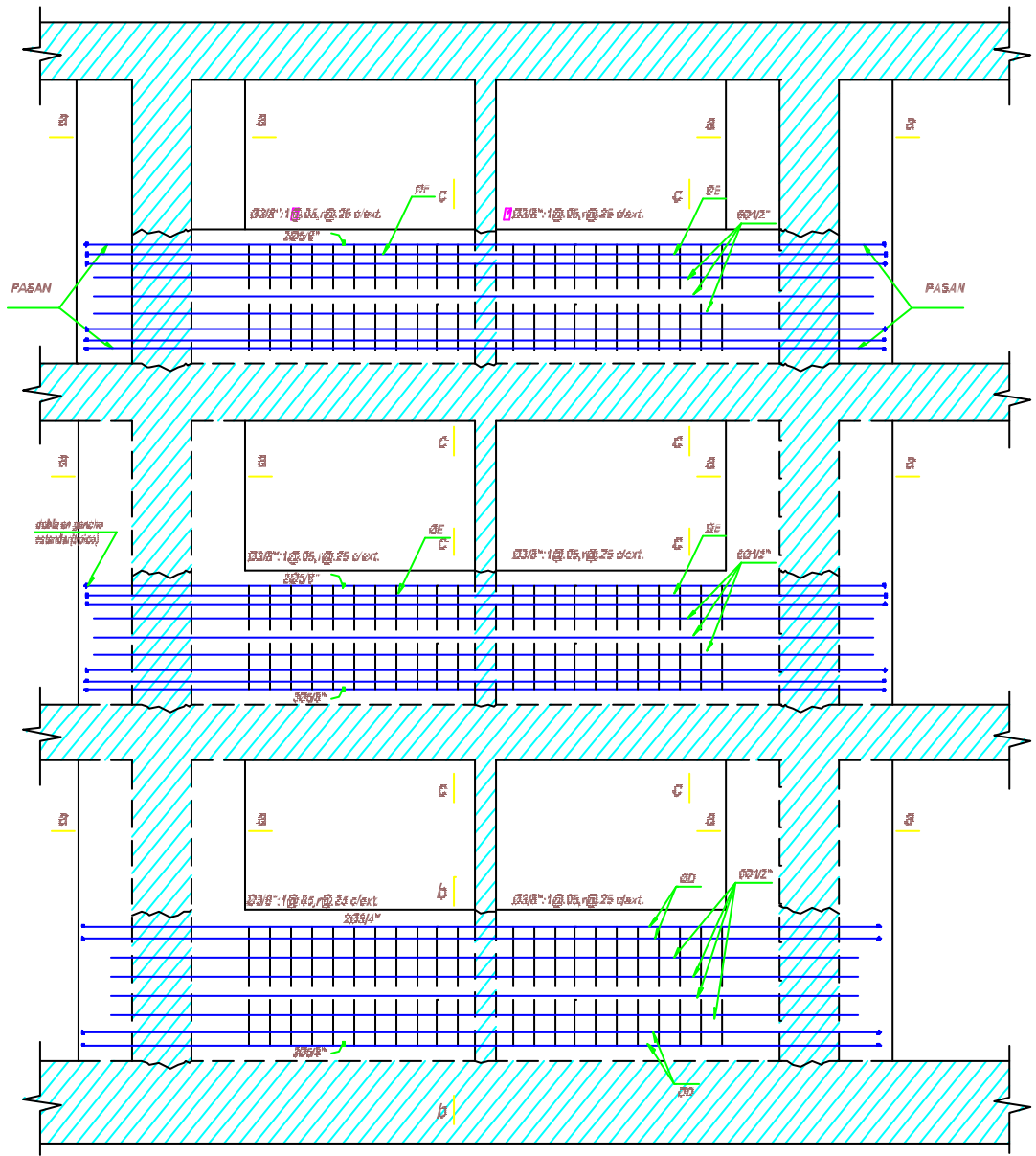
Se incluyeron
pórticos
robustos:
pequeños muros
de concreto y
vigas de acople
en la dirección
longitudinal.

PLANTA TÍPICA DE EDIF. (2 a 4 pisos)

- Dos pórticos robustos añadidos incluyendo encamisado de las columnas existentes



Vigas de acoplamiento



Daños por sismos recientes en países vecinos

VENEZUELA:
Cariaco 1997



ECUADOR: Bahía de Caráquez 1998



- Colegios en países similares se han dañado en sismos recientes moderados, por lo que se debe compartir la información para prevenir daños en nuestros países.

COLOMBIA: Armenia 1999



CONCLUSIONES

- Los proyectos de reparación y refuerzo post sismo junio 2001 se hicieron con recursos limitados.
- Un refuerzo simple ejecutado es mejor que otros mejores pero más costosos, y no ejecutados.
- Los objetivos del reforzamiento fueron menores que los básicos de FEMA o ATC. El desempeño usado fue el de asegurar la vida para el sismo de $T_r = 500$ años.
- La estrategia general del refuerzo fue incrementar la resistencia y rigidez.



... CONCLUSIONES

- En los proyectos de refuerzo típicos, se añadieron muros estructurales (concreto o albañilería) con vigas robustas de acople.
- Muchos edif. antiguos con pórticos flexibles de concreto se dañaron.
- El sismo de 2001 no produjo daño en los edificios diseñados de acuerdo a la Norma de 1997.



Conclusiones Finales

- Se sugiere incrementar la rigidez lateral para evitar daños en sismos moderados y que en sismos severos los daños sean reparables a costos aceptables.
- Es necesario desarrollar una metodología para refuerzo de edificaciones, factible en términos económicos y en condiciones de trabajo en los países en desarrollo.

- PUCP sitio web:

<http://www.pucp.edu.pe>

Tacna 2005

