



Conferencia Internacional de Ingeniería Sísmica

*CISMID: 40 años de ciencia, innovación,
y evaluación de infraestructura para
ciudades resilientes.*

PARADIGMAS DEL DISEÑO SISMORRESISTENTE un cambio necesario

Dr. Ing° Javier Piqué del Pozo
jpique@uni.edu.pe

1. Paradigmas vigentes en el Perú y vecinos

para Diseño Sismorresistente

- ¿Cuáles son?
- ¿Cuáles son las tendencias mundiales en los últimos 20 años?
- ¿Que deberíamos cambiar?

¿Para qué se diseña y construye?
(criterios tradicionales de la “INGENIERÍA ANTISÍSMICA”)

- ❑ Resistir sismos leves sin daños.
- ❑ “Resistir” sismos moderados con posibilidad de daños a los elementos no estructurales y daños estructurales leves.
- ❑ “Resistir” sismos severos con posibilidad de daños estructurales importantes pero evitando el colapso

E.030-2026 : Finalidad del diseño sismorresistente.

- Prevenir la pérdida de vidas humanas.
- Mantener la continuidad de los servicios básicos.
- Minimizar los daños a la propiedad.

ISO 3010-2017: Bases del diseño sismorresistente

La filosofía básica del diseño sismorresistente de estructuras es, en el evento de terremotos:

- Prevenir víctimas humanas
- Asegurar la continuidad de los servicios vitales, y
- Reducir los daños a la propiedad

E.030-2026 : Consideraciones para el diseño y comportamiento estructural

Los “**diseños sismorresistentes deben cumplir**” las siguientes condiciones”

- La estructura **no debería colapsar ni causar daños graves a las personas**, pudiendo presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.

ISO 3010-2017: Principios del diseño sismorresistente

Se reconoce que dar protección completa contra todos los terremotos no es económicamente factible para la mayoría de las estructuras. Este documento establece los siguientes principios:

- La estructura **no debería colapsar ni experimentar otras formas similares de falla** debido a movimientos sísmicos **severos** que puedan ocurrir en el sitio [estado último (ULS)].

E.030-2026 : Consideraciones para el diseño y comportamiento estructural.

- La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como **moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables** dentro de límites aceptables, ...(Capítulo VIII).
- Para las edificaciones esenciales (Tabla N° 7) se debe cumplir las consideraciones especiales, ... orientadas a que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

ISO 3010-2017: Principios del diseño sismorresistente

- La estructura debería soportar movimientos sísmicos **moderados** que se espera que ocurran en el sitio durante la vida de servicio de la estructura con **daños dentro de límites aceptables**. [estado de serviciabilidad (SLS)]
- También se debería verificar que las funciones esenciales de la estructura misma se mantienen “operativas” ante los mismos niveles de movimiento

5.1 Principios e hipótesis básicos

5.1.1 Esta norma, aplicada en conjunto con las normas de diseño específicas para cada material enumeradas en 5.3, está orientada a lograr estructuras que:

- a) resistan sin daños movimientos sísmicos de intensidad moderada;
- b) limiten los daños en elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad;
- c) aunque presenten daños, eviten el colapso durante sismos de intensidad excepcionalmente severa.

Aun cuando los puntos anteriores mencionan tres niveles de intensidad de movimiento sísmico, esta norma no los define en forma explícita. Por otra parte, el estado del arte en la disciplina no permite establecer objetivos de desempeño más específicos que los antes genéricamente señalados.

- A.1.2.2.2 - Una edificación diseñada siguiendo los requisitos de este Reglamento, debe ser capaz de resistir, además de las fuerzas que le impone su uso, ***temblores de poca intensidad sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero posiblemente algún daño a los elementos no estructurales y un temblor fuerte con daños a elementos estructurales y no estructurales pero sin colapso.***
- A.1.2.2.3 – Además de la defensa de la vida, con el cumplimiento de los niveles prescritos por el presente Reglamento para los movimientos sísmicos de diseño, los cuales corresponden a requisitos mínimos establecidos para el diseño de elementos estructurales y elementos no estructurales, se permite proteger en alguna medida el patrimonio

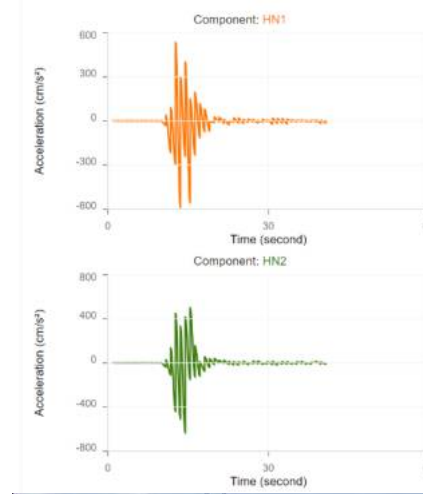
¡Imposible con un solo nivel
de diseño!



Y además insuficiente para
conseguir los objetivos (prometidos) esperados

Christchurch – Nueva Zelanda.

2/2011 - Mw= 6.2 pga:0.5-0.7g!!
(vigas y columnas prefabricadas)



115 fallecidos!



2. Tendencias actuales en el

Diseño Sismorresistente

Han evolucionado?

Se han sofisticado un poco:

Diseño por desempeño: Objetivos de diseño

ISO 3010:

Bases for design of structures — Seismic actions on structures

Bases du calcul des constructions — Actions sismiques sur les structures

- ESTADO DE SERVICIABILIDAD: Período de retorno 20 años. Nivel de aceleración $1/5$ del último
- ESTADO ULTIMO: Periodo de retorno: 500 años. Nivel de aceleración:

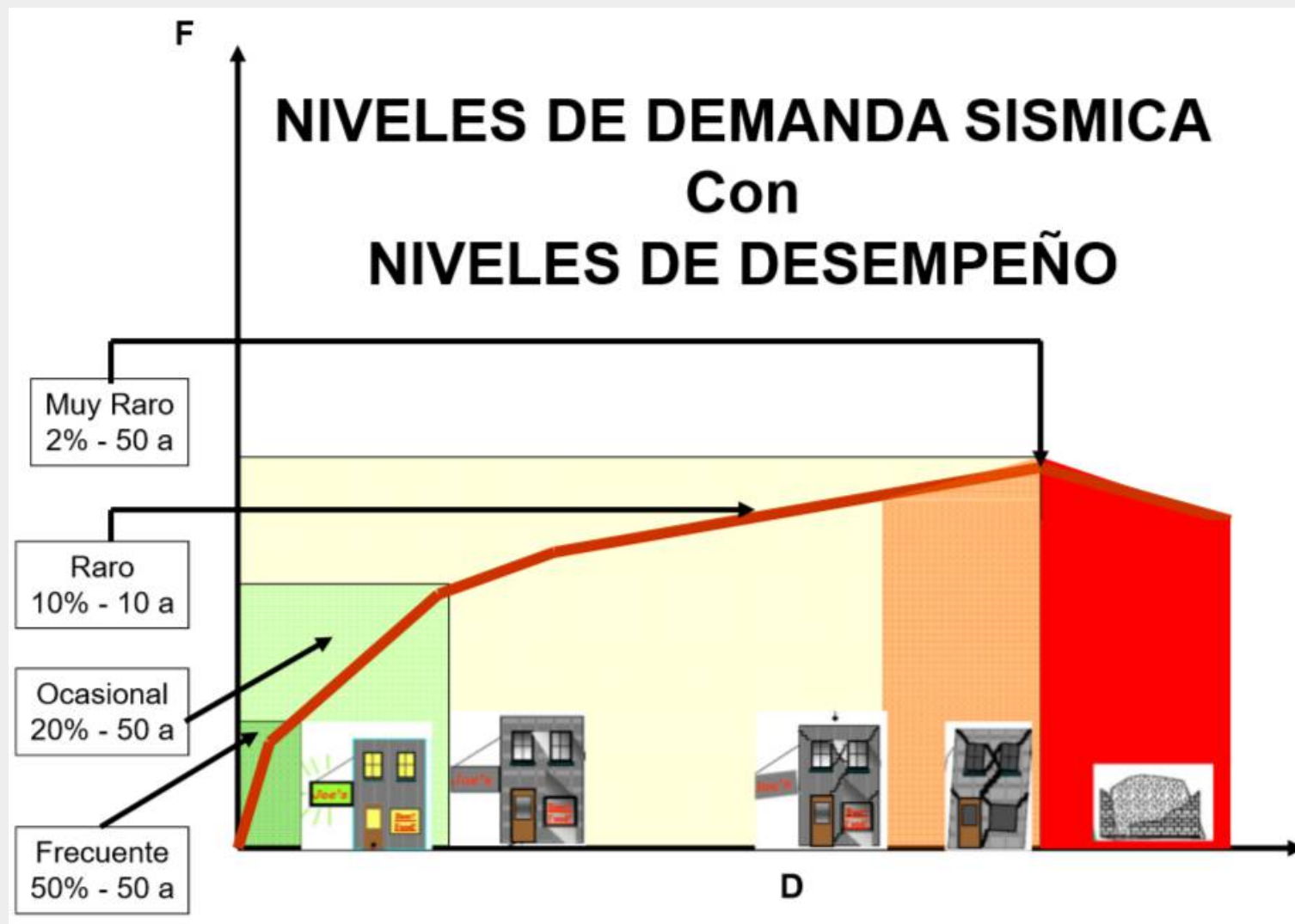
AVANCES: Diseño en estados límites, conocido como el diseño basado en el comportamiento (PBD: “performance based design”).

Tres técnicas de diseño:

- Espectro de capacidad
- Método N2 (reducción a ESDOF)
- Diseño directamente basado en los desplazamientos

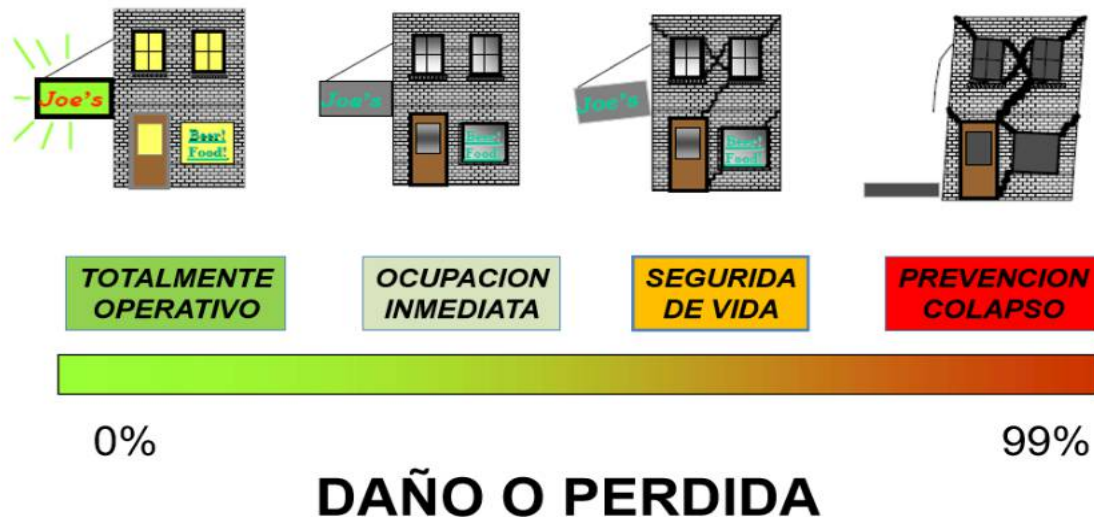
Dos niveles de diseño:

- Iniciación del daño: TR 30 a 50 años . Mas de un evento en la vida útil. Prevenir daño en sistemas y elementos estructurales, acabados exteriores e interiores.
- Seguridad de vida: Ningún piso debe colapsar bajo condiciones extraordinarias. (TR= 500 años). MPE basado en espectro en roca. Método del espectro de capacidad



Diseño por desempeño. Vision 2000

NIVELES COMUNES EN EL DESEMPEÑO



Nivel de Desempeño Sísmico

	Totalmente Operativo	Operativo	Asegura la Vida	Cerca al Colapso
Frecuente (43 años)	●	○	○	○
Ocasional (72 años)	●	●	○	○
Raro (475 años)	●	●	●	○
Muy Raro (970 años)	●	●	●	●

Comportamiento Inaceptable (para construcciones nuevas)

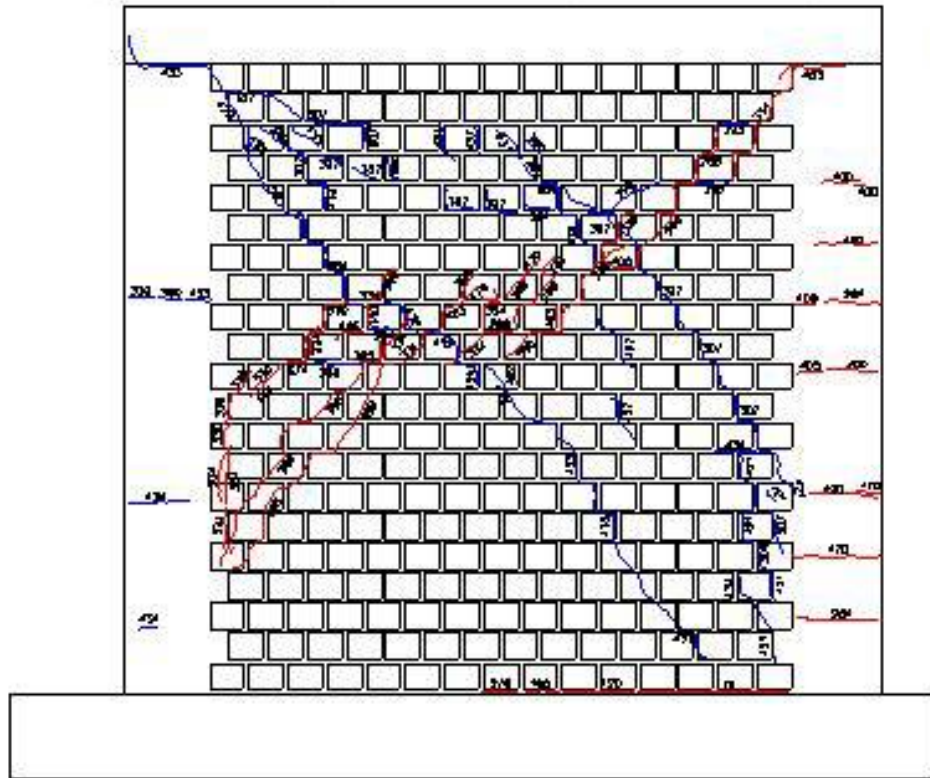
Objetivo Básico

Objetivo de Riesgo Esencial

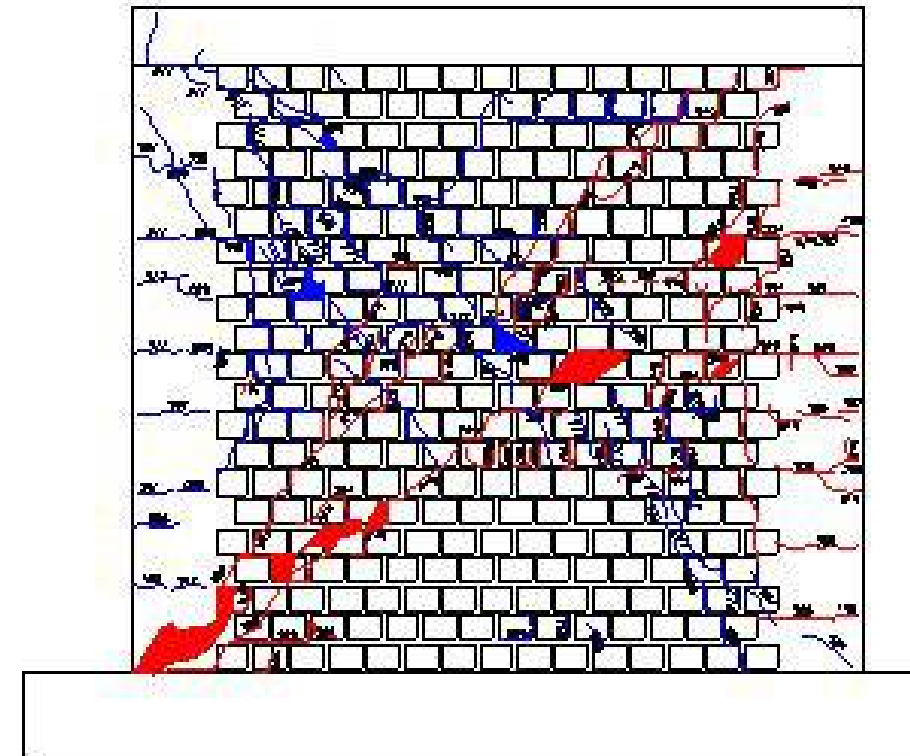
Objetivo de Seguridad Crítica

Objetivos de diseño por desempeño [16] Vision 2000.

Ensayos de muros de albañilería: CISMID



Muro A2-3
Distorsión 1/400
Cara Frontal



Muro A1-3
Distorsión 1/100
Cara Frontal



3. La realidad “sismorresistente”

**¡SISMOS
SEVEROS
FRECUENTES!**

Concepción 2010



LUGAR	FECHA	Ms	Mw
VALDIVIA	22/05/1960	8.5	9.5
ALGARROBO (VIÑA)	03/03/1985	7.8	8
ANTOFAGASTA	30/07/1995	7.3	8
CAUQUINES (CONCEPCIÓN)	27/02/2010	-	8.8
IQUIQUE	01/04/2014	-	8.2
COQUIMBO	16/09/2015	-	8.4

TERREMOTOS SEVEROS EN CHILE (1960 – 2015)

Prof. Rodolfo **SARAGONI**(XVI WCEE). : Frecuencia de los sismos y resiliencia

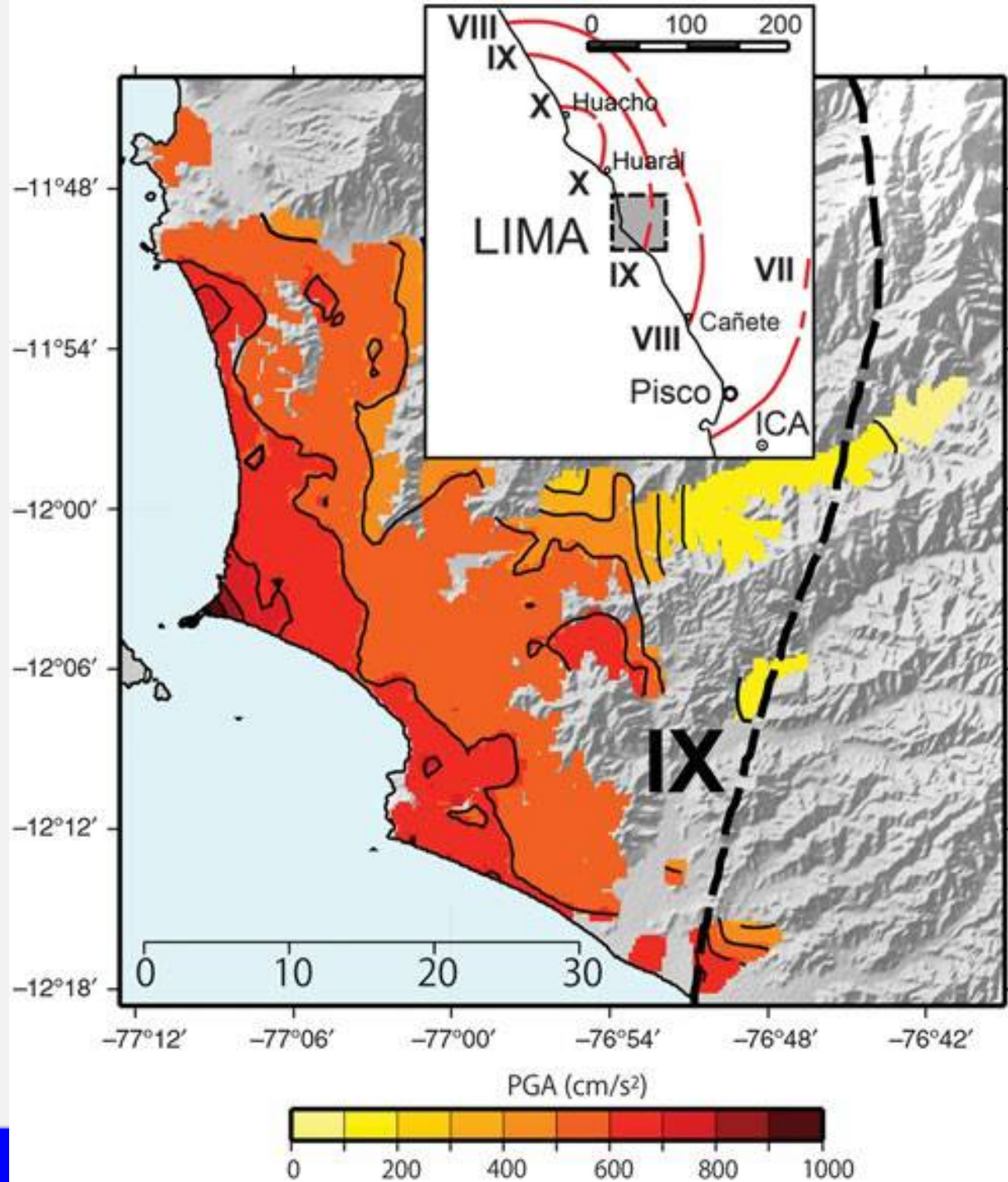
- **Resiliencia** significa que los actuales criterios de diseño sísmico de “seguridad de vida” requiriendo que los edificios no colapsen debe ser remplazados por normas que permitan que las ciudades continúen operativas en pocos días.
- El mejor ejemplo es lo que pasó con los terremotos que ocurrieron en la ciudad de Christchurch en Nueva Zelanda, 2010 y 2011, 6 años después la ciudad todavía no se recupera.
- Este PARADIGMA no es fácil de lograr. Probabilístico vs. Determinístico

Sismo en Lima

$M_w=8,9$ (Pulido et al.)

Máxima aceleración del suelo promedio más un s para Lima.

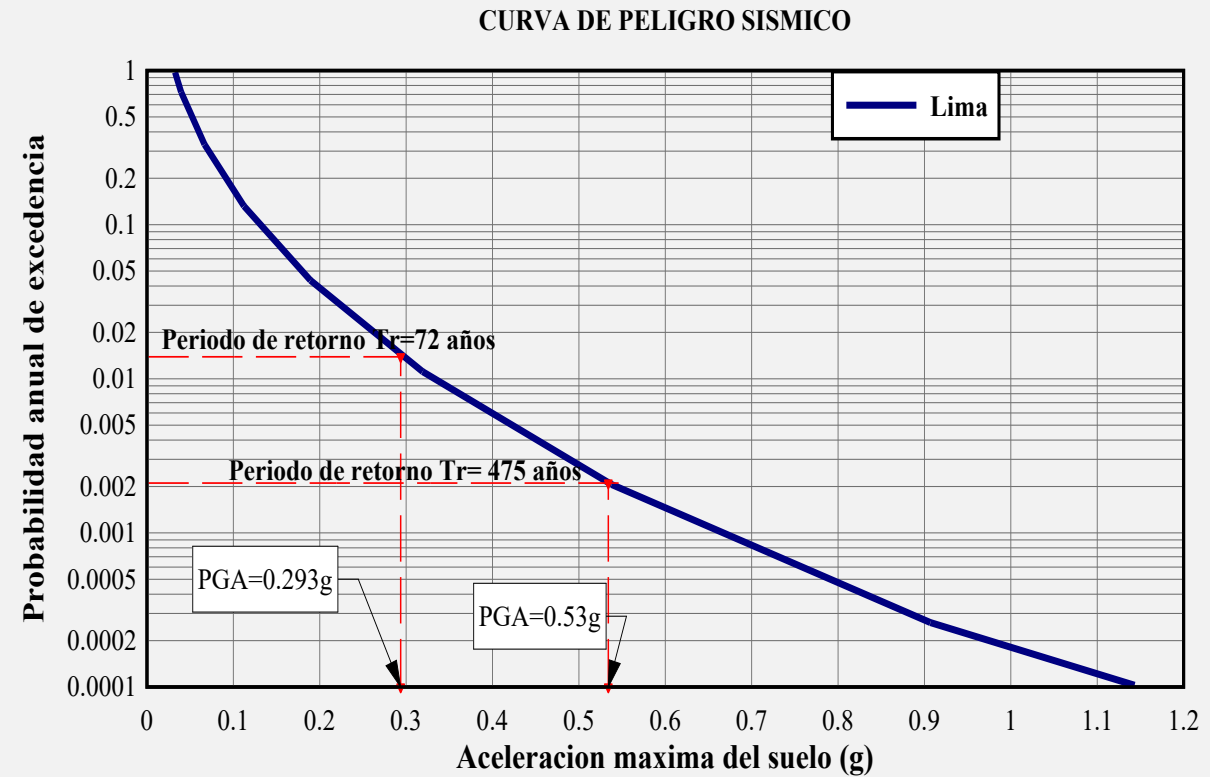
El recuadro muestra la distribución de intensidades para el sismo de 1746, según Alva (Alva et al., 1984).



Sismo ocasional en Lima (Casimiro, Piqué.)

Máxima aceleración del suelo para sismo moderado $T_R = 72$ años = 0.29g!!!.

Según Taype = 0.20g



Sismo (Mw 7.1) Puebla, México. 19/09/2017

M. RODRÍGUEZ: Si consideramos que el terremoto del 19 de Septiembre de 2017 tuvo una intensidad por debajo del sismo de diseño, **los resultados encontrados en este trabajo indica la necesidad de cambios en la práctica de diseño por sismo en México**



Sismo (Mw 7.1) Puebla, México. 19/09/2017

M. RODRÍGUEZ: LA filosofía de diseño por sismo .. en el mundo, como es el caso de México, se basa **en aceptar daños estructurales para el sismo de diseño.** Estructuras esenciales, por ejemplo, hospitales, **no se deberían diseñar con esta filosofía, ... se deben emplear soluciones estructurales innovadoras que permitan que este tipo de estructuras sigan operando aun después de un terremoto.**



Turquía 2023 Mw = 7.8 y 7.5



Edificios sin
daño??

También hay
buena
ingeniería

Damage to buildings in Gaziantep

Before



After



Source: Google, Getty

P. Heresi, E. Miranda

(Stanford University. XVI WCEE. Santiago 2017)

- Aunque en general estas estructuras (de muros) han mostrado un comportamiento sísmico aceptable en términos de seguridad al colapso, han resultado en pérdidas multimillonarias que tienen un gran impacto económico regional.
- Adicionalmente, aun si se evita el colapso, el daño puede conducir que los ocupantes sean desplazados de sus residencias, lo que hace necesario suministrar vivienda temporal a miles de personas.
- En Stanford han desarrollado una estrategia que permite un significativo incremento de la Resistencia lateral, pero **particularmente la rigidez lateral** de construcción ligera residencial. Prácticamente permanecen elásticos

4.Propuestas

para el Diseño Sismorresistente

A CAMBIAR LOS PARADIGMAS

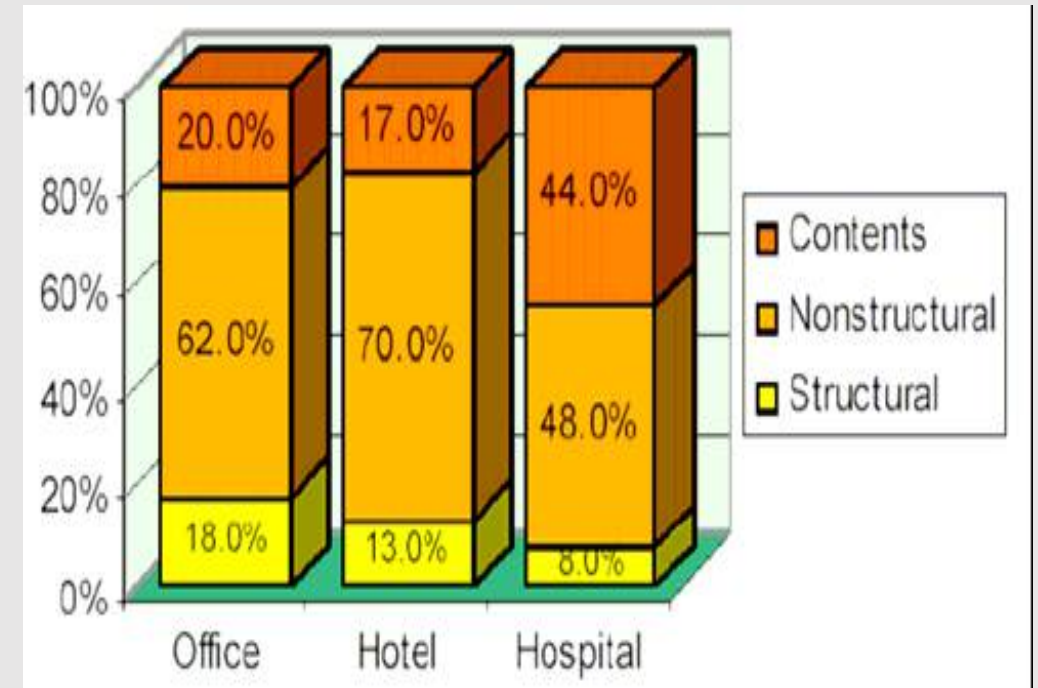
Es indispensable diseñar para dos estados límites:

- servicio o limitación del daño y
- Estado último o seguridad de la vida de los ocupantes.

¿Qué comportamiento o “performance” esperar para cada nivel de sismo. Es indispensable diseñar específicamente para cada nivel y hay que diferenciar los límites

A CAMBIAR LOS PARADIGMAS

- Se propone que el “**Estado de servicio o limitación del daño**”, sea realmente SIN DAÑO, para el sismo moderado ($T_R = 72$ años). O sea volver a lo que se entendía como una edificación “antisísmica”, para ese nivel.
- El mayor costo del daño para el sismo moderado se da en el contenido y los elementos no estructurales, según Taghavi y Miranda (2003)



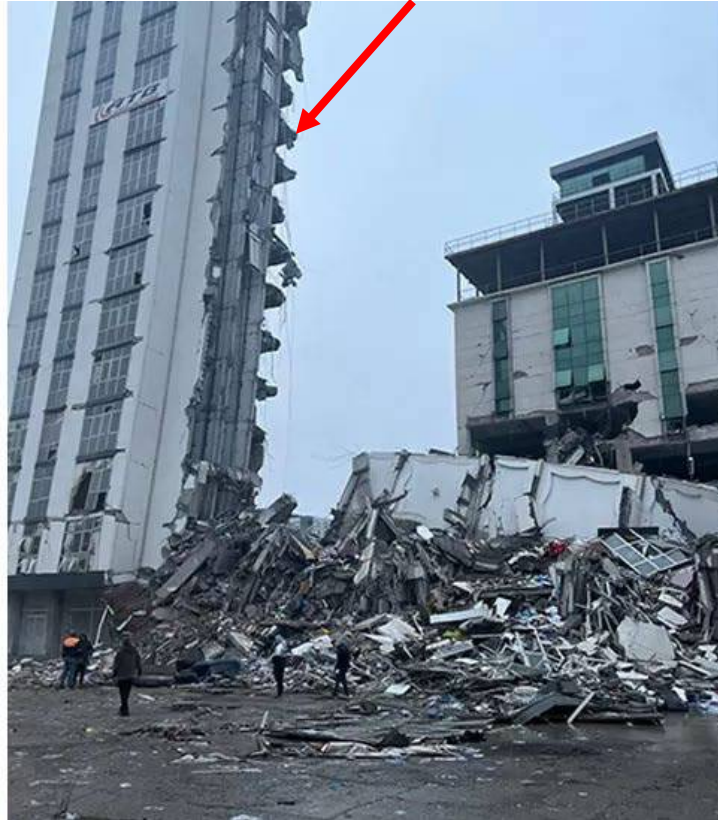
Los muros estructurales “usualmente” son garantía de supervivencia

ASCENSORES



TURQUIA 2023

VIGAS FALLADAS



ALASKA 1964
Mw = 9.2



A CAMBIAR LOS PARADIGMAS

Estado límite de seguridad de vida:

- Sistemas estructurales con mecanismos últimos estables: ej. Sistemas duales que impiden el colapso
- Verificación de la resistencia del mecanismo último, en cada piso, para que sea mayor que la demanda sísmica última $T_R = 475$ años. O el máximo sismo posible (MCE) en edificaciones esenciales ($T_R = 2500$ años)

Manos a la obra

Gracias

