

U.N. Sede Medellín

Una universidad con criterio nacional y presencia regional



Centro de proyectos e investigaciones sísmicas



**20 años del desastre por sismo
en el Eje Cafetero**

Facultad de Minas
Sede Medellín



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

TERREMOTO DE 1999 Lecciones aprendidas e Impacto en las Normas de Diseño Sismo Resistente

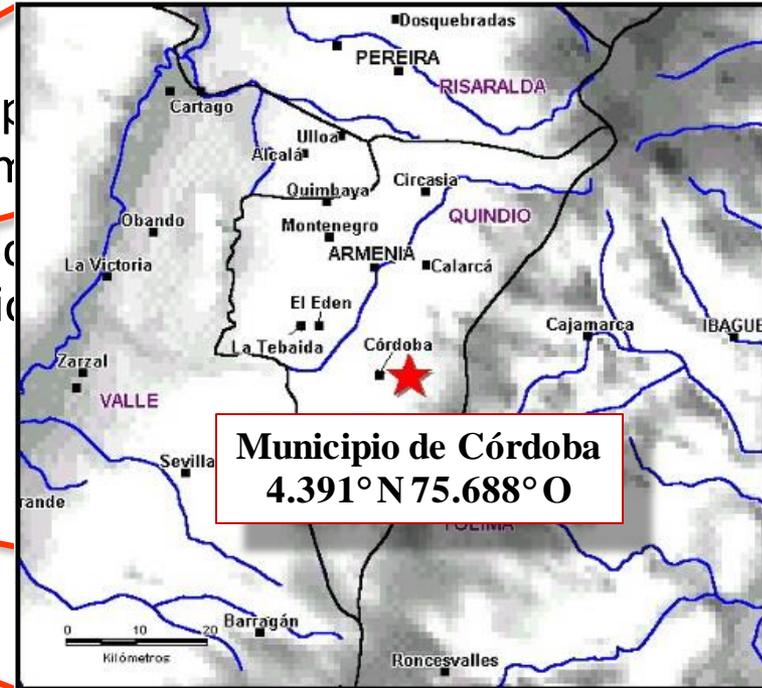
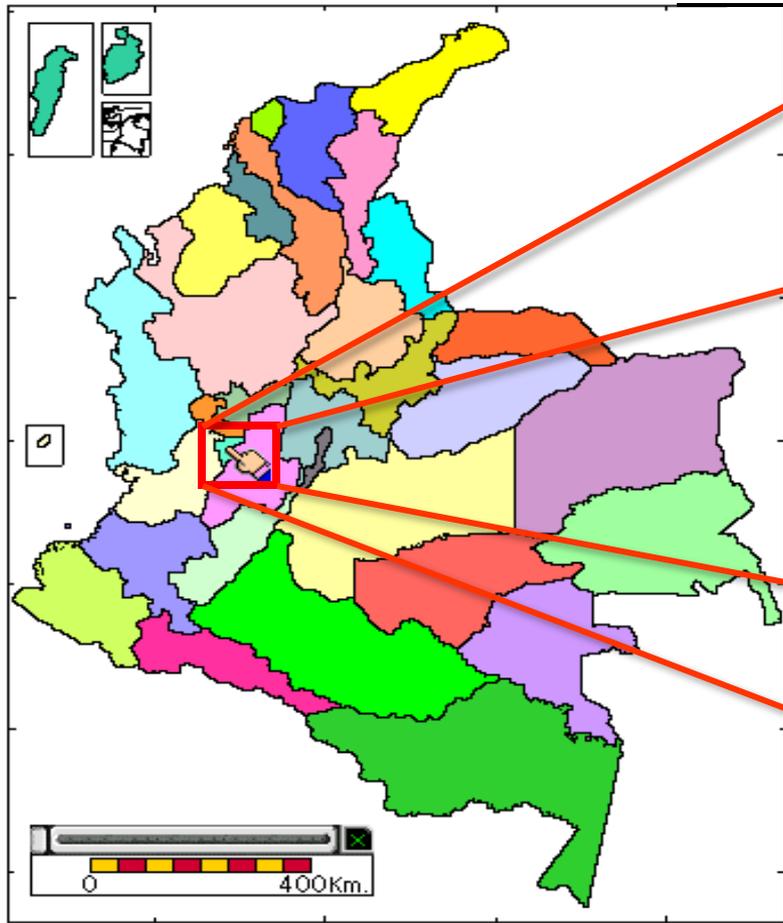
Yosef Farbiarz F., M.S.C.E.

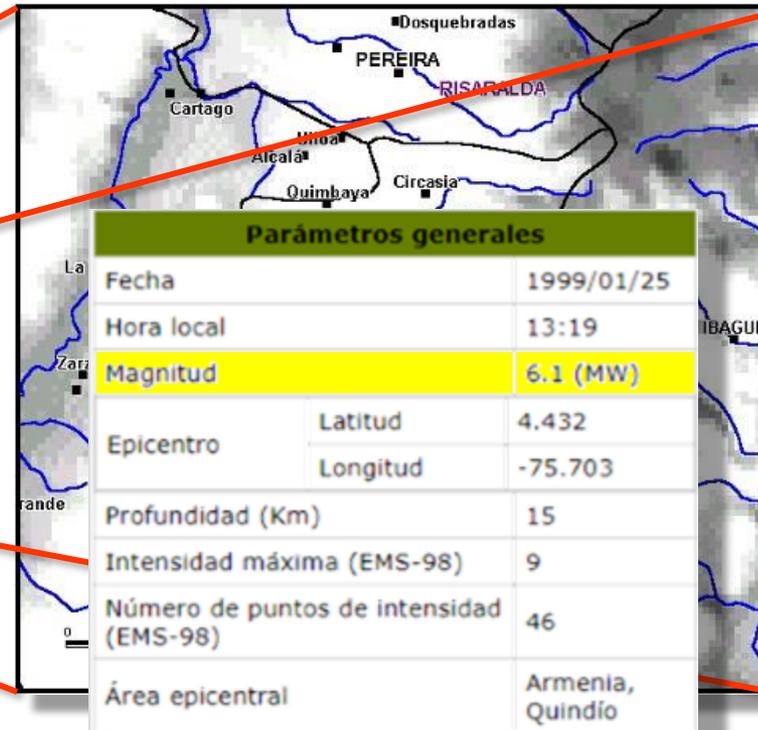
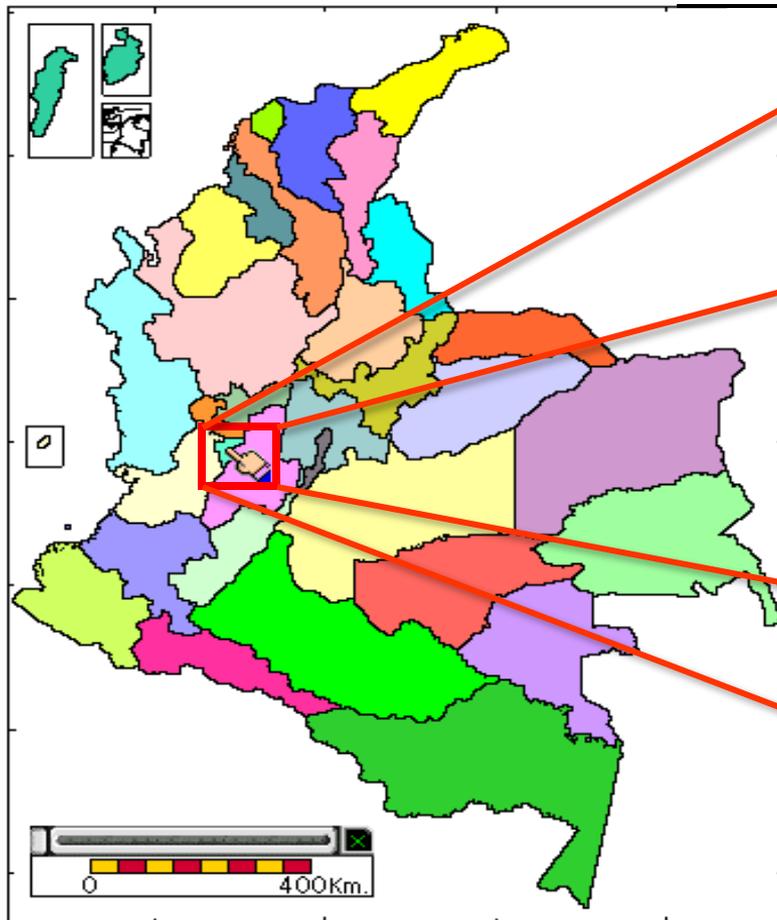
Director

Centro de Proyectos e Investigaciones Sísmicas

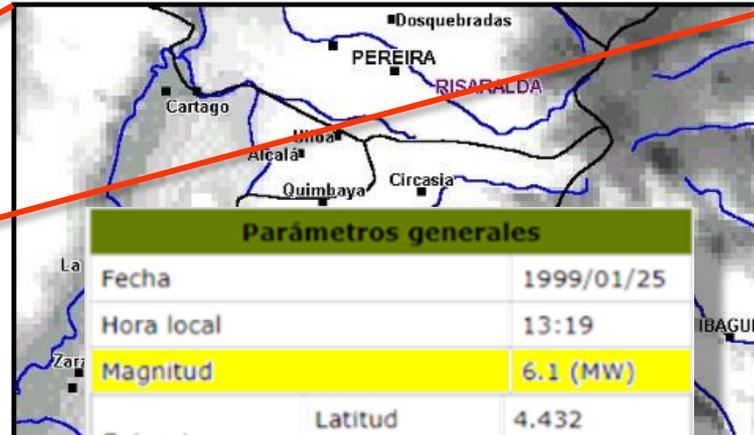
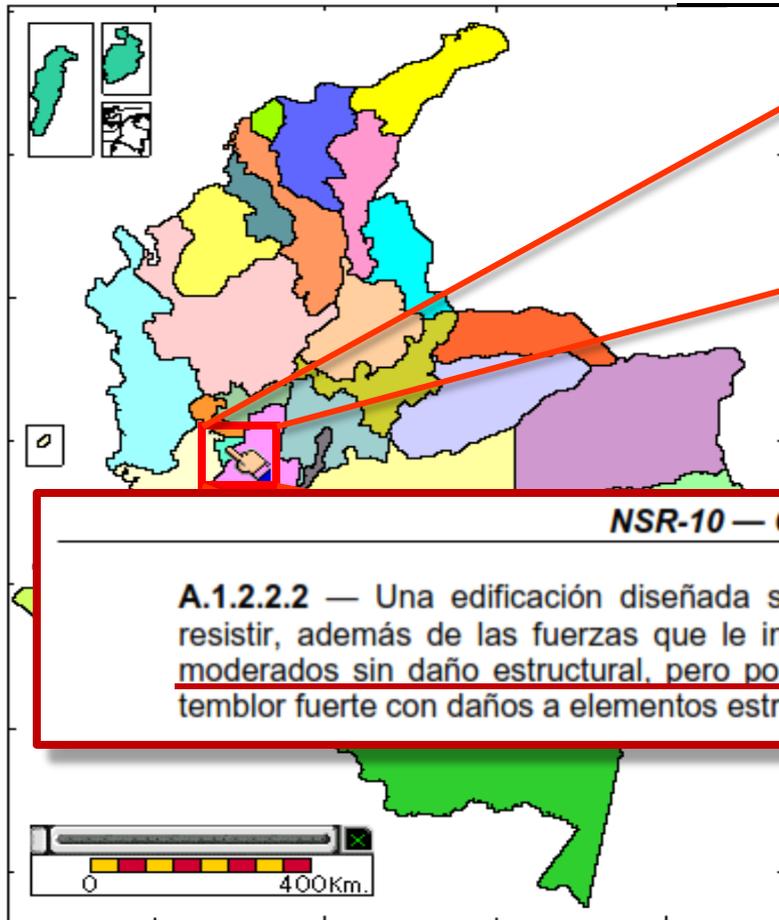
Introducción

- 25 de enero de 1999, 1:19 p.m.
- Fuerte réplica, 17:40 p.m.
- Más de 1 200 víctimas mortales.
- Localización:





Sismicidad histórica de Colombia
Servicio Geológico Colombiano
<http://sish.sgc.gov.co>



NSR-10 — Capítulo A.1 — Introducción

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 con algún daño a los elementos no estructurales y un temblor fuerte con daños a elementos estructurales y no estructurales pero sin colapso.

Sismicidad histórica de Colombia
Servicio Geológico Colombiano
<http://sish.sgc.gov.co>

Introducción

- 25 de enero de 1999: El reloj de péndulo de la oficina del Gobernador del Quindío se detuvo a la 1:19 p.m.
- Durante los próximos 30 segundos murieron más de 1 200 personas bajo los escombros de las edificaciones colapsadas.
- Localización.
- Daños por casi 1 900 millones de dólares.
17% de las exportaciones colombianas de 1998.
- Entre 13 000 y 18 000 casas destruidas y cerca de 50 000 edificaciones afectadas en total.

Efectos del terremoto de enero de 1999 en Colombia, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, abril 29 de 1999.

Daños en edificaciones

- Irregularidades en planta y en altura.



Daños en edificaciones

- Irregularidades en planta y en altura.

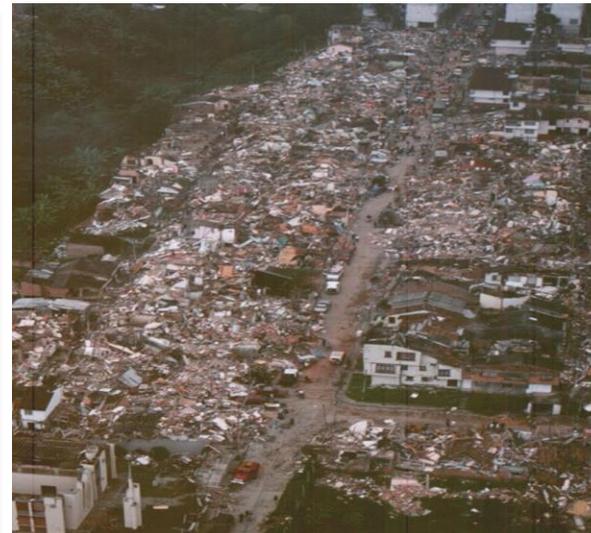


Daños en edificaciones

- Sistema estructural.



Pórticos frágiles de concreto reforzado



Muros de mampostería simple

Daños en edificaciones

- Sistema estructural.



Combinación inadecuada de sistemas estructurales

Daños en edificaciones

- Golpeteo entre edificaciones.



Daños en edificaciones

- Columna cautiva.



Daños en edificaciones

- Escaleras y rampas.



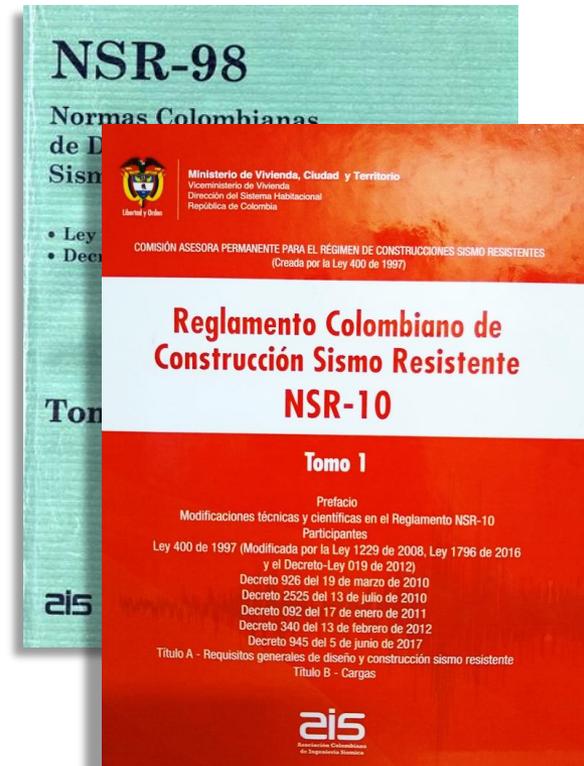
Daños en edificaciones

- Muros no estructurales.



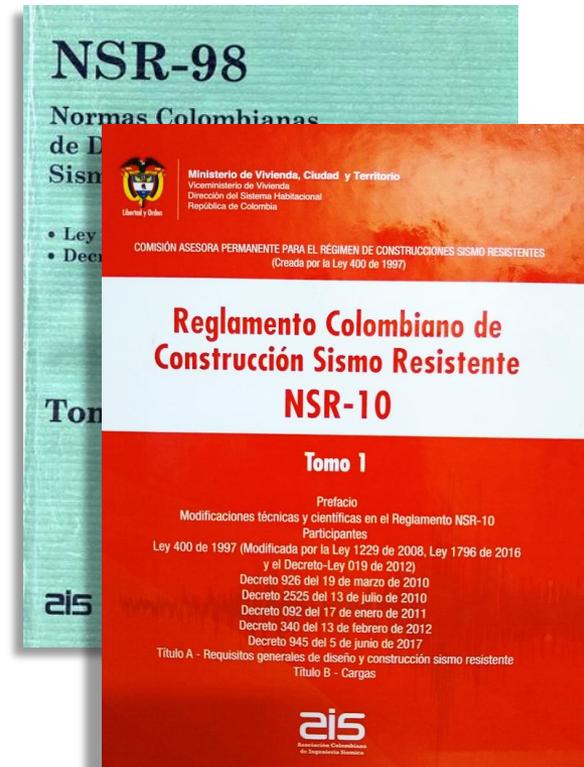
Nueva tragedia, viejas lecciones

- Configuración estructural:
 - ✓ Estructuras irregulares se penalizan.
- Sistemas estructurales:
 - ✓ Pórticos frágiles no se permiten en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta.
- Golpeteo entre edificaciones:
 - ✓ Se especifica separación mínima entre edificaciones.
- Columna cautiva:
 - ✓ Capítulo A.9: Interacción con elementos no estructurales. No trata claramente este aspecto.



Nueva tragedia, viejas lecciones

- Escaleras y rampas:
 - ✓ Capítulo A.8 especifica el análisis en general pero no trata el problema de escaleras y rampas específicamente.
- Muros no estructurales:
 - ✓ Capítulo A.9 especifica el análisis pero no el diseño de muros no estructurales.



Impacto en las NSR

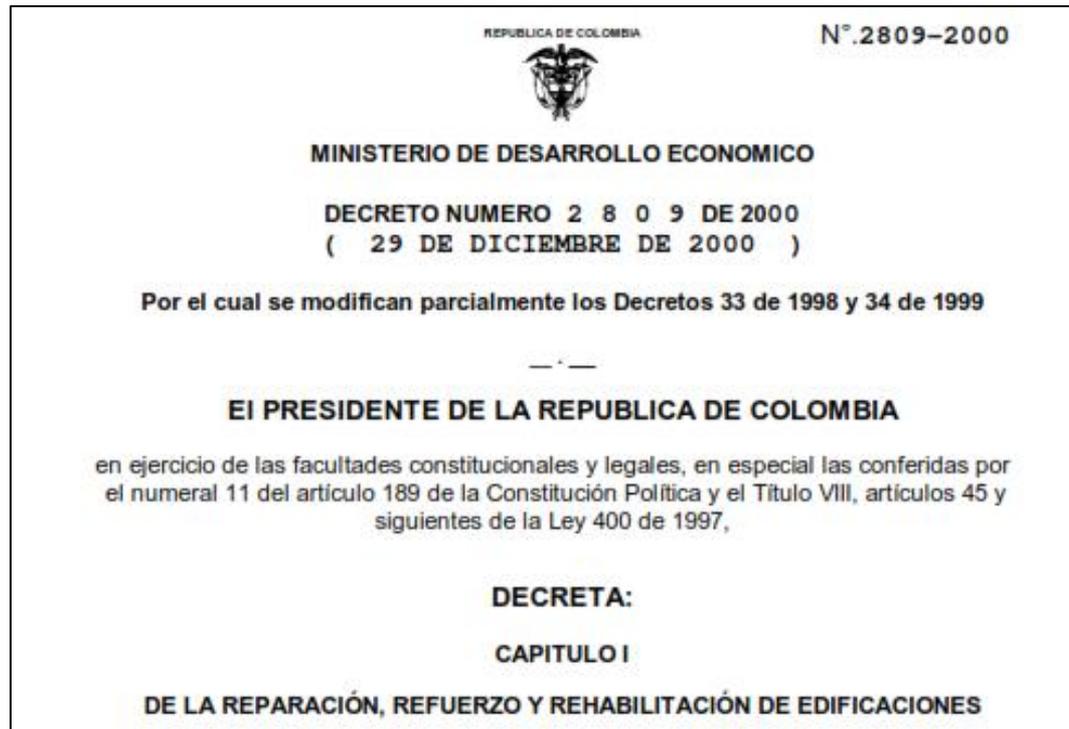
- Necesidad de viviendas nuevas.
- Oferta de viviendas de bahareque.
- Bahareque no estaba incluido en CCCSR-84 ni en NSR-98.
- Poca información acerca del comportamiento de elementos de bahareque.
- Necesidad de especificar soluciones para la vulnerabilidad asociada con columna cautiva, escaleras y rampas y muros no estructurales.

Impacto en las NSR

- NSR-98.
 - ✓ Introducción del requerimientos para adecuación de edificaciones.
 - ✓ Introducción del bahareque encementado en el Título E.
- NSR-10.
 - ✓ Actualización del Título E.
- NSR-20.
 - ✓ Actualización del Título E.
 - ✓ Propuesta de diseño de muros no estructurales.
 - ✓ Propuesta de diseño de escaleras.

NSR-98

- Decreto 2809 de 2000.

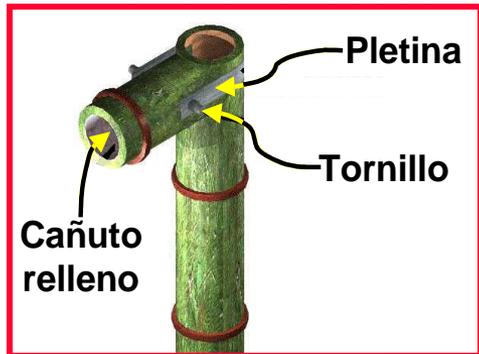


NSR-98

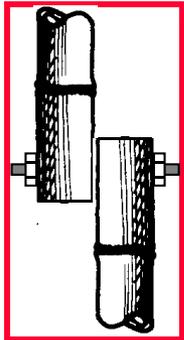
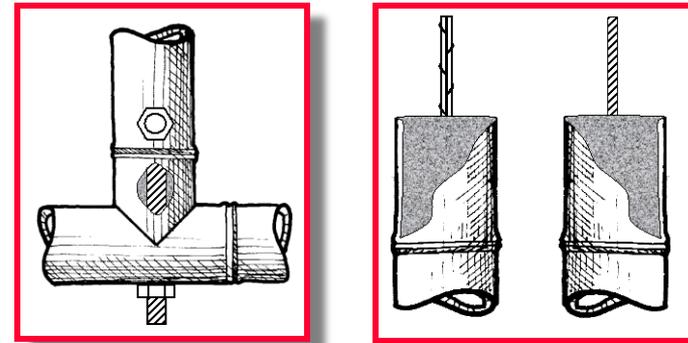
- Bahareque encementado.
 - ✓ Convenio AIS – Corona.
Conexiones.
 - ✓ Contrato AIS – FOREC.
Elementos.
Ensamblés.

Conexiones

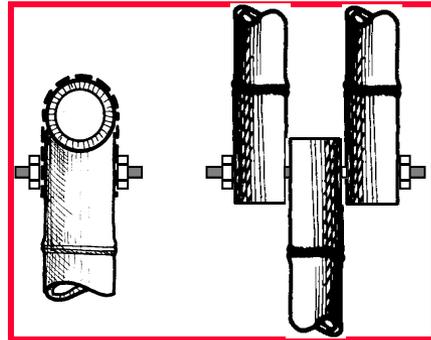
✓ Barra atravesada



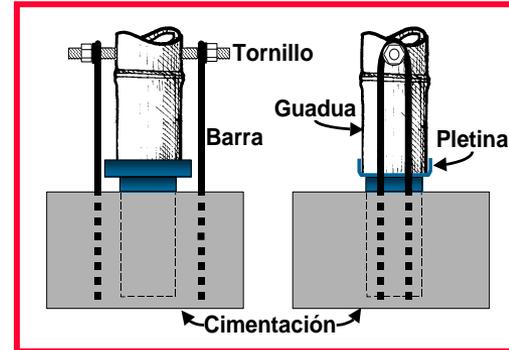
✓ Conexión en T



Carga asimétrica

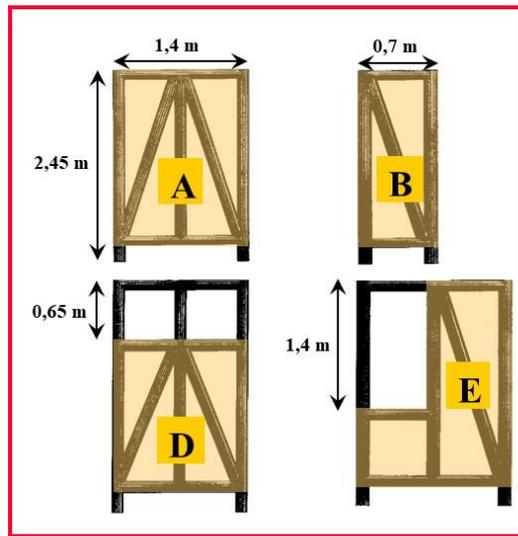


Carga simétrica

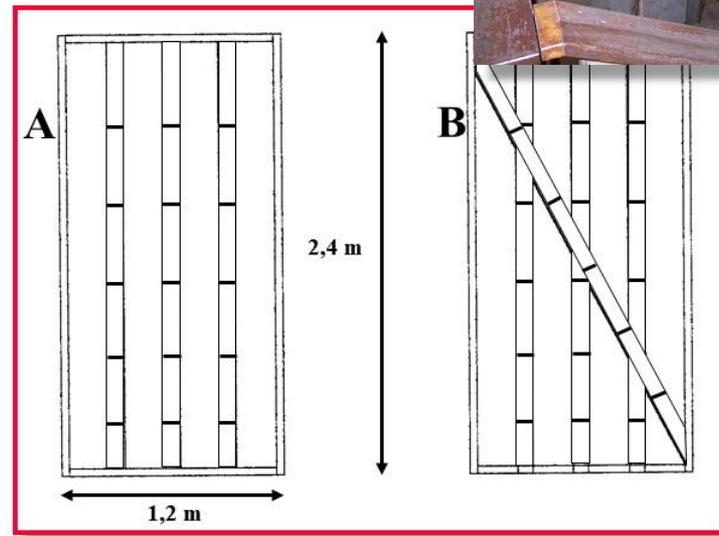


20 años del desastre por sismo en el Eje Cafetero

Elementos ...



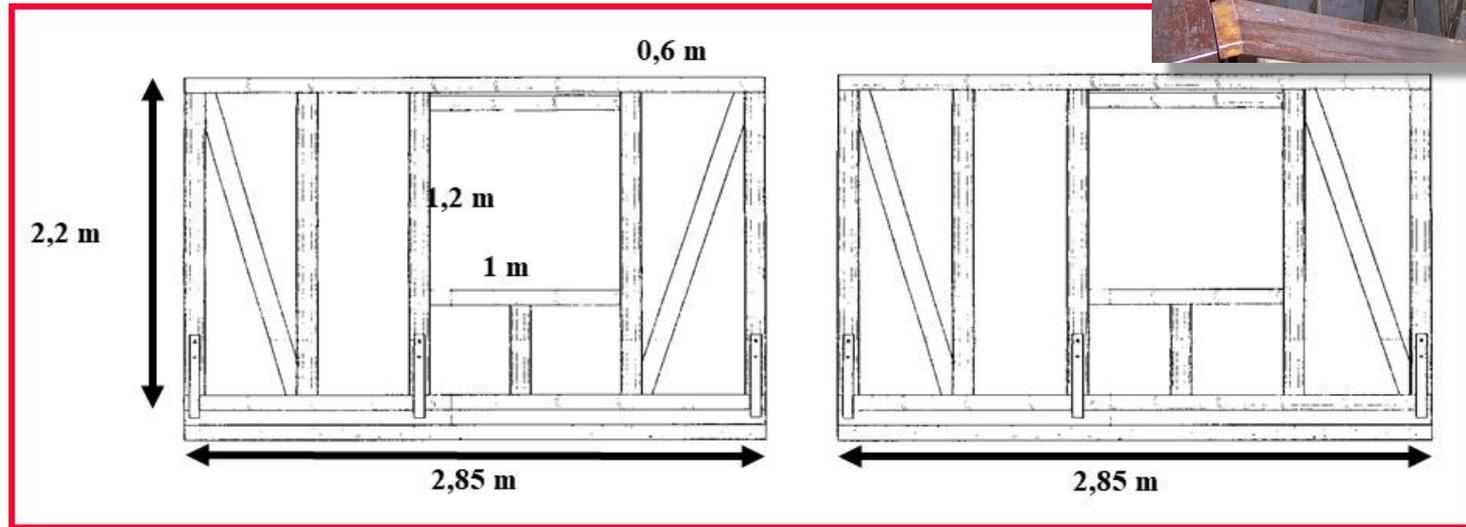
Tipo 1. Taller Casa Partes, Pijao, Quindío



Tipo 2. Premio Corona a la Arquitectura, 1994, Jaime Mogollón, Manizales, Caldas

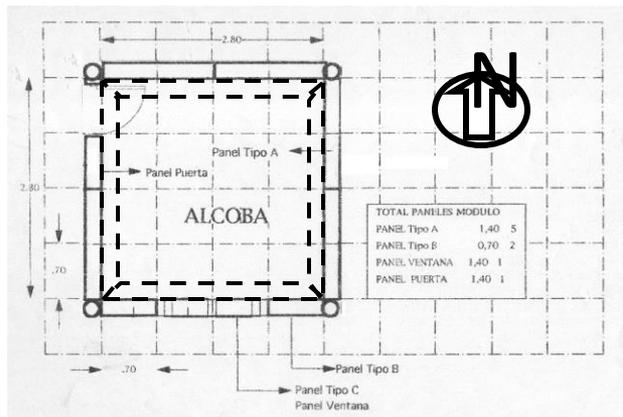


...Elementos...

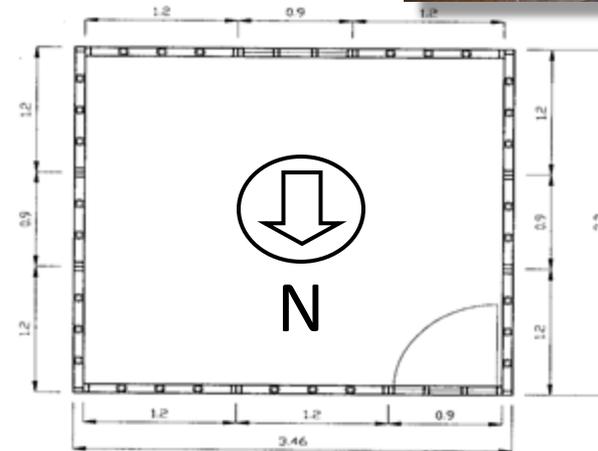


Tipo 3. Pared con esqueleto de guadua.
Forecafé, Armenia, Quindío.

Ensamblajes...



✓ Módulo con esqueleto de guadua.



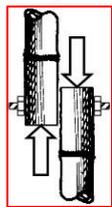
✓ Módulo con esqueleto de guadua y madera.

Resultados en conexiones...

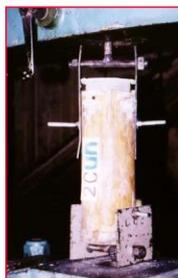
✓ Barra atravesada – Carga asimétrica



- ✓ Función del diámetro.
- ✓ Independiente del espesor.



✓ Barra atravesada – Carga simétrica

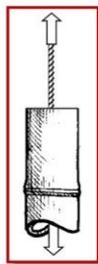


✓ Conexión en T: Aleta



- ✓ Resistencia última: 13,5 kN
- ✓ Similar a barra atravesada y carga asimétrica.

✓ Conexión en T: Alma



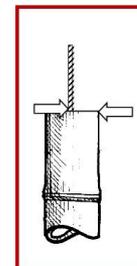
- ✓ Similar a carga simétrica.
- ✓ Resistencias últimas del orden de 2 kN.

✓ Conexión en T: Alma



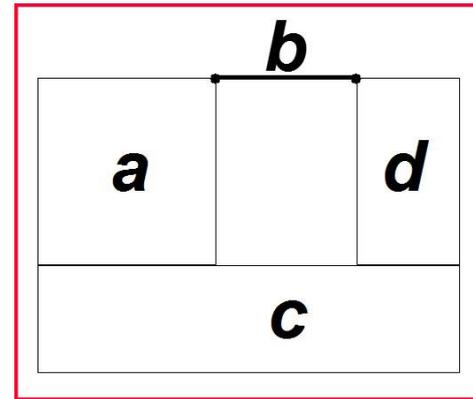
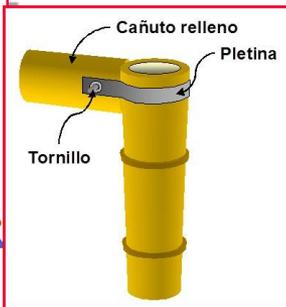
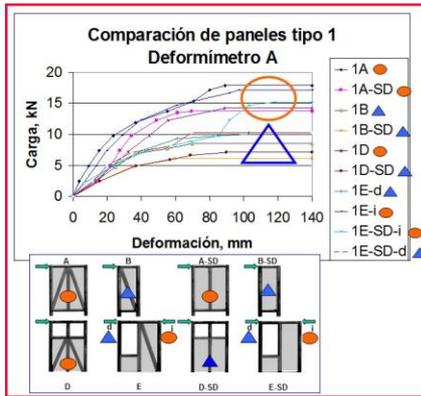
- ✓ Resistencias cerca de cinco veces mayores que sin nudo.

✓ Conexión en T: Alma



- ✓ Resistencias del orden de 2 kN.

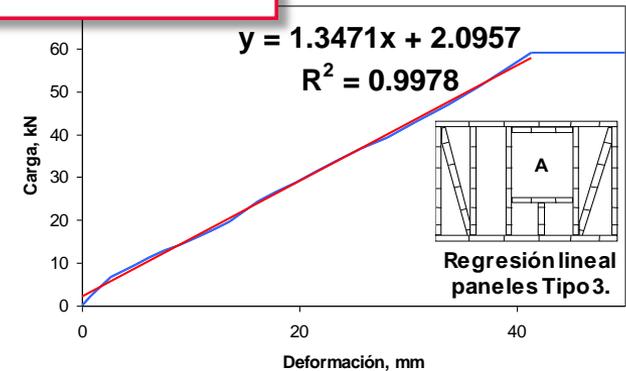
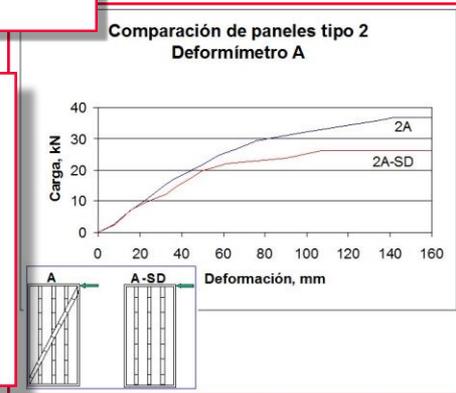
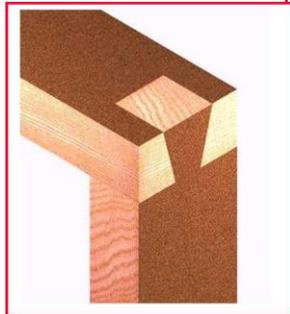
Resultados en elementos



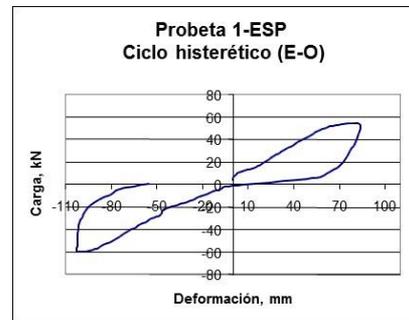
$$K_{calc} = 1,43 \text{ kN/mm}$$

$$K_{exp} = 1,35 \text{ kN/mm}$$

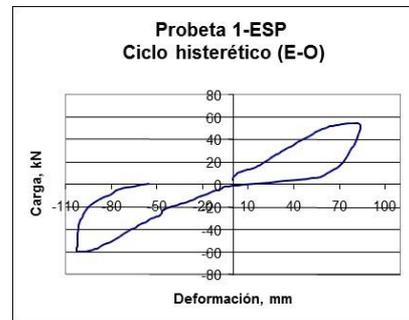
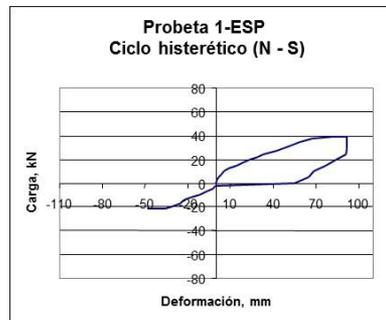
$$\frac{K_{calc}}{K_{exp}} = 1.06$$



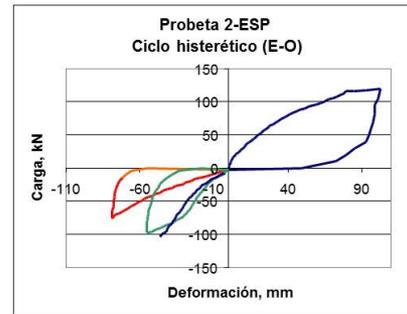
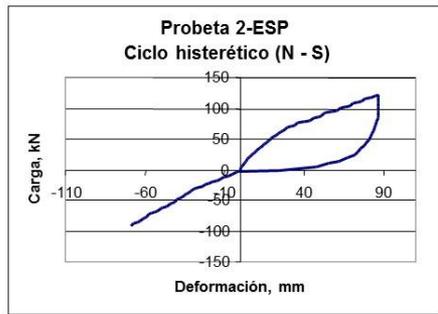
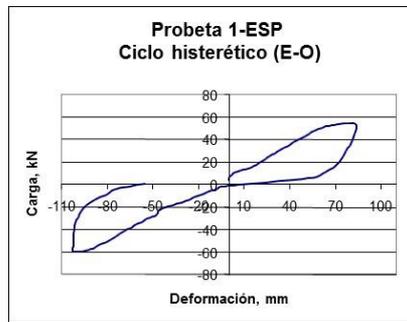
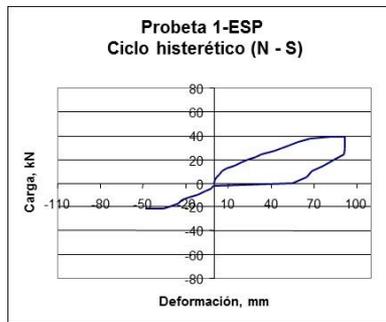
Resultados en ensambles...



Resultados en ensambles...



...Resultados en ensambles



Resistencia basada en longitud de muros...

$$V_B = S_a g m$$

donde:

V_B = Cortante basal, kN

S_a = Coeficiente de aceleración, g

g = Aceleración de la gravedad, m/s²

m = Masa de la construcción, kg

$$V_B = R L_T$$

donde:

V_B = Cortante basal, kN

R = Resistencia promedio por unidad de longitud, kN/m

L_T = Longitud total de muros, en cada dirección, m


$$L_T = \frac{S_a g m}{R}$$


$$L_T \text{ (m)} = \frac{S_a 9,81 \text{ m/s}^2 \times 150 \text{ kg/m}^2}{R \text{ (kN/m)}} A_p \text{ (m}^2\text{)}$$


$$L_T \text{ (m)} = \frac{S_a 1,47 \text{ kN/m}^2}{R \text{ (kN/m)}} A_p \text{ (m}^2\text{)}$$

...Resistencia basada en longitud de muros...

Suponiendo:

- ✓ La resistencia admisible obtenida, por unidad de longitud: 9.66 kN/m
- ✓ $\phi = 0,6$
- ✓ Mayoración de 1,25
- ✓ Respuesta en la meseta del espectro NSR-98

$$L_T \text{ (m)} = \frac{1,25 \times 2,5 A_a \times 1,47 \text{ kN/m}^2}{0,6 \times 9,66 \text{ kN/m}} A_P \text{ (m}^2\text{)}$$

➔ $L_T \text{ (m)} = \underbrace{0,79}_{C_B} A_a \text{ (m}^{-1}\text{)} A_P \text{ (m}^2\text{)}$

...Resistencia basada en longitud de muros

✓ Longitud mínima

$$L_T = C_B A_P$$

donde:

L_T = Longitud total de muros, en cada dirección

A_P = Area de la cubierta o entrepiso

C_B = Coeficiente de densidad de muros

Amenaza Sísmica	Aa	C _B
Alta	0,40	0,32
	0,35	0,28
	0,30	0,24
Intermedia	0,25	0,20
	0,20	0,16
	0,15	0,16
Baja	0,10	0,16
	0,05	0,16

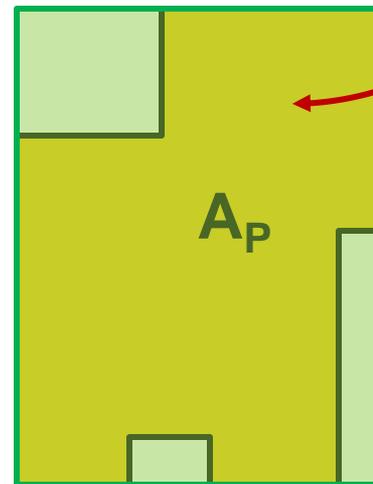
Simetría de muros

$$\frac{\sum(L_i \cdot b)}{B^2} \leq 0,15$$

donde:

- L_T = Longitud de cada muro, en la dirección i
- b = Distancia perpendicular desde cada muro, en la dirección i , hasta un extremo del rectángulo menor que contiene el área de la cubierta o entrepiso
- B = El lado, perpendicular al muro, del rectángulo menor que contiene el área de la cubierta o entrepiso

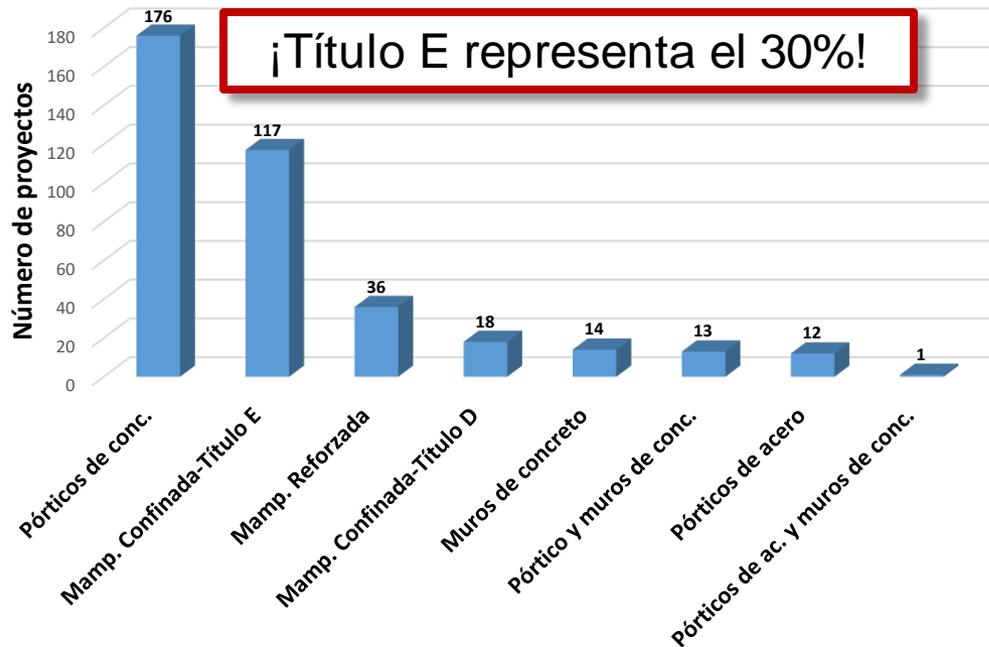
Planta de la edificación



Rectángulo menor que contiene el área de cubierta o entrepiso

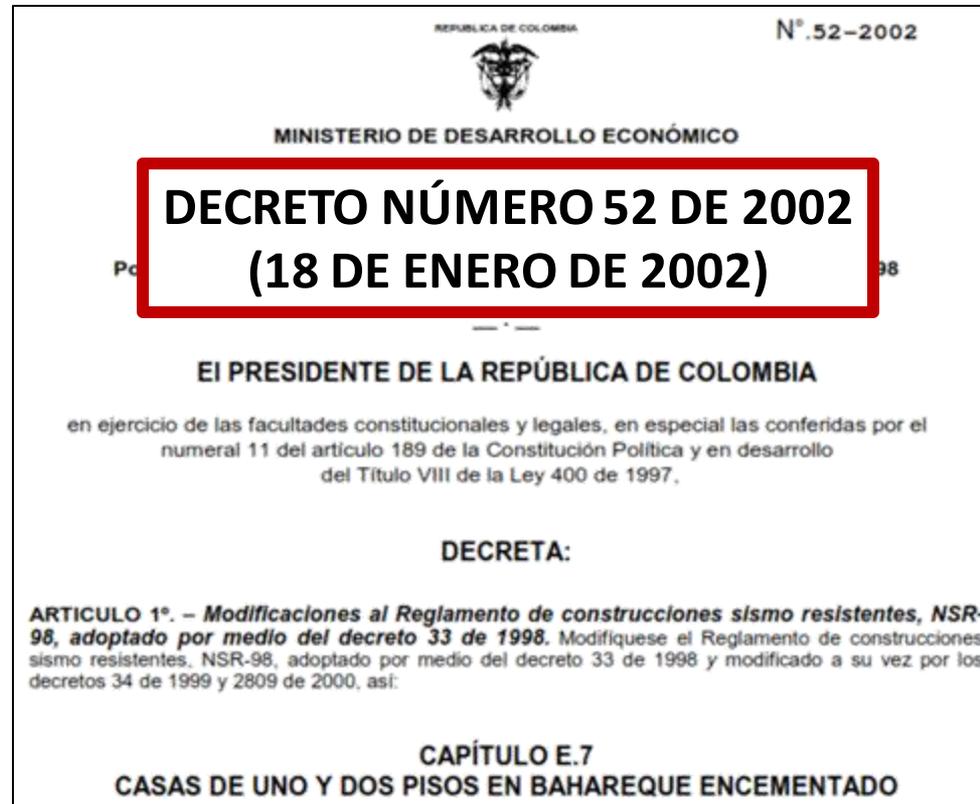
NSR-98

- Título E.



Licencias solicitadas en el primer semestre de 2018.
(Curaduría Primera de Pereira)

NSR-98



NSR-10

✓ Corrección de errores.

Enmienda de errores detectados en las ediciones anteriores.

- Diseño, continuidad y anclajes de columnas de guadua.

NSR-10

- ✓ Corrección de errores.
- ✓ Ampliación de Alcance y procedimientos.
 - Generalización del alcance incluyendo el bahareque encementado.
 - Identificación de conceptos introducidos en el Capítulo E.7 aplicables a todo el Título.

NSR-10

- ✓ Corrección de errores.
- ✓ Ampliación de Alcance y procedimientos.
- ✓ Uniformidad y concordancia entre capítulos.
 - Reorganización general de capítulos, secciones y artículos.
 - Unificación de nomenclatura, definiciones y conceptos
 - Eliminación de repeticiones y/o redundancias innecesarias o contradictorias y ambiguas.

NSR-10

- ✓ Corrección de errores.
- ✓ Ampliación de Alcance y procedimientos.
- ✓ Uniformidad y concordancia entre capítulos.
- ✓ Incorporación de nuevos elementos.

Requisitos para dimensionamiento de cimentaciones, entrepisos y cubiertas.

Capítulos nuevos.

- ✓ Capítulo E.8 – Entrepisos y uniones en bahareque encementado.
- ✓ Capítulo E.9 – Cubiertas para construcción en bahareque encementado.

NSR-10

- ✓ Corrección de errores.
- ✓ Ampliación de Alcance y procedimientos.
- ✓ Uniformidad y concordancia entre capítulos.
- ✓ Incorporación de nuevos elementos.

Requisitos para dimensionamiento de cimentaciones, entrepisos y cubiertas.

Capítulos nuevos.

- Aberturas en muros.
- Espesor y refuerzo mínimo de losas y viguetas de concreto reforzado.
- Entrepisos de madera.
- Entrepisos de guadua.

Secciones requeridas para entresijos con viguetas de guadua*

Luz	Espaciamento S (m)			
	0,25	0,5	0,75	1
2	1 guaduas	2 guaduas V	2 guaduas V	2 guaduas V
2,5	2 guaduas V	2 guaduas V	2 guaduas V	2 guaduas V
3	2 guaduas V	2 guaduas V	2 guaduas V	3 guaduas V
3,5	2 guaduas V	2 guaduas V	3 guaduas V	3 guaduas V
4	2 guaduas V	3 guaduas V	3 guaduas V	3 guaduas V
4,5	2 guaduas V	3 guaduas V	3 guaduas V	X
5	3 guaduas V	3 guaduas V	X	X

Secciones requeridas para cubiertas con correas de guadua*

Luz	Espaciamento S (m)					
	0,5	1	1,5	2	2,5	3
2	1 guadua	2 guaduas V				
2,5	2 guaduas V	2 guaduas V	2 guaduas V	2 guaduas V	2 guaduas V	3 guaduas V
3	2 guaduas V	2 guaduas V	2 guaduas V	3 guaduas V	3 guaduas V	3 guaduas V
3,5	2 guaduas V	3 guaduas V	3 guaduas V	3 guaduas V	3 guaduas V	3 guaduas V
4	2 guaduas V	3 guaduas V	3 guaduas V	3 guaduas V	X	X
4,5	3 guaduas V	3 guaduas V	3 guaduas V	X	X	X

✓ Incorporación de nuevos elementos

Secciones requeridas para entresijos con viguetas de madera A* (cm)

Luz (m)	Secciones requeridas para entresijos con viguetas de madera B* (cm)		Secciones requeridas para entresijos con viguetas de madera C* (cm)			
	0,25	Luz (m)	Espaciamento S (m)			
			0,25	0,5	0,75	1
2	4x8	2	4x13	4x13	4x18	4x18
2,5	4x13	2,5	4x13	4x18	4x18	4x18
3	4x13	3	4x18	4x18	8x18	8x18
3,5	4x18	3,5	4x18	8x18	8x23	8x23
4	4x18	4	4x18	8x23	8x23	8x23
4,5	4x18	4,5	8x18	8x23	8x28	8x28
5	8x18	5	8x18	8x23	8x28	13x28

• Entresijos de

aciones, entresijos y

NSR-20

✓ Actualización del Título E.

- En función de la Norma Andina para diseño y construcción de casas de uno y dos pisos en bahareque encementado.

Amenaza sísmica	A _s	C _B
Alta	0.50	0.38
	0.45	0.34
	0.40	0.30
	0.35	0.26
	0.30	0.22
	0.25	0.18
Intermedia	0.20	0.15
	0.15	0.15
Baja	0.10	0.12
	0.05	0.12

Red Internacional para el Desarrollo del Bambú y el Ratán, Oficina para América Latina y el Caribe – INBAR, Quito, Ecuador, julio de 2015.

NSR-20

✓ Actualización del Título E.

- En función de la Norma Andina para diseño y construcción de casas de uno y dos pisos en bahareque encementado.

Tabla E.7.10-1. Carga admisible en columnas de guadua, kN

Altura columna (m)	Diámetro exterior (mm)			
	10	11	12	13
2	22	28	34	40
3	12	16	20	25
4	6.7	9.1	12	15
5	4.4	6	7.9	10

Red Internacional para el Desarrollo del Bambú y el Ratán, Oficina para América Latina y el Caribe – INBAR, Quito, Ecuador, julio de 2015.

NSR-20

✓ Actualización del Título E.

- En función de la Norma Andina para diseño y construcción de casas de uno y dos pisos en bahareque encementado.
- Capítulos 8 y 9, Entrepisos y Cubierta, se modifican completamente.
- Se introduce el Capítulo E.10, uniones para bahareque encementado.

Red Internacional para el Desarrollo del Bambú y el Ratán, Oficina para América Latina y el Caribe – INBAR, Quito, Ecuador, julio de 2015.

NSR-20

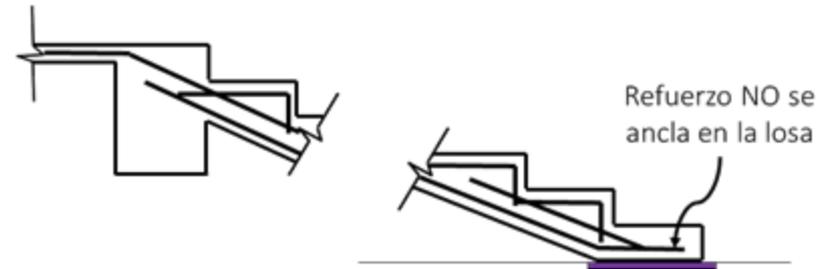
- ✓ Actualización del Título E.
- ✓ Propuesta de diseño de muros no estructurales.
 - Capítulo D.16
 - ✓ MUROS DE FACHADA
 - ✓ MUROS INTERIORES
 - ✓ CHAPAS Y PEGANTES
 - ✓ MUROS ADOSADOS
 - ✓ MUROS ATICOS, PARAPETOS, ANTEPECHOS, CIERRE DE ESTACIONAMIENTOS
 - ✓ MODELOS MATEMATICOS DE ANALISIS
 - ✓ CARGAS PARALELAS AL PLANO
 - ✓ CARGAS PERPENDICULARES AL PLANO
 - ✓ ANALISIS UNIDIRECCIONAL
 - ✓ ANALISIS BIDIRECCIONAL
 - ✓ MUROS SIMPLEMENTE APOYADOS
 - ✓ MUROS EN VOLADIZO

NSR-20

- ✓ Actualización del Título E.
- ✓ Propuesta de diseño de muros no estructurales.
 - Capítulo D.16
 - ✓ EFECTO P-DELTA
 - ✓ CONTROL DE COMPRESION
 - ✓ CONTROL DE TRACCION POR FLEXION
 - ✓ CONTROL DE CORTANTE
 - ✓ REFORZAMIENTO
 - ✓ SOPORTES LATERALES
 - ✓ AISLAMIENTOS
 - ✓ METODO ANALITICO DISEÑO
 - ✓ METODO PRESCRIPTIVO DE DISEÑO
 - ✓ ESPESOR MINIMO
 - ✓ ABERTURAS

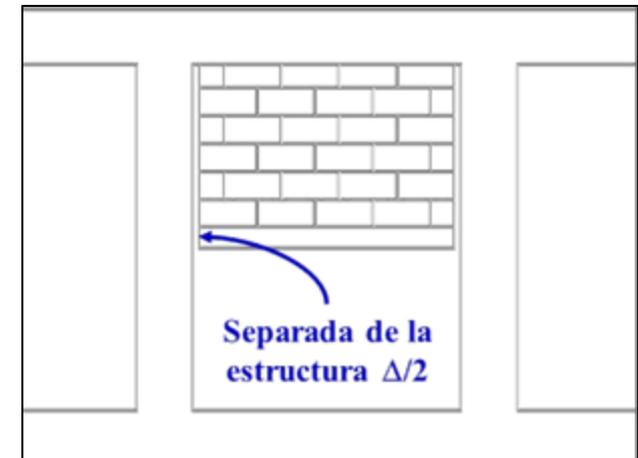
NSR-20

- ✓ Actualización del Título E.
- ✓ Propuesta de diseño de muros no estructurales.
- ✓ Propuesta de diseño de escaleras.
 - Sin anclaje en el extremo inferior.



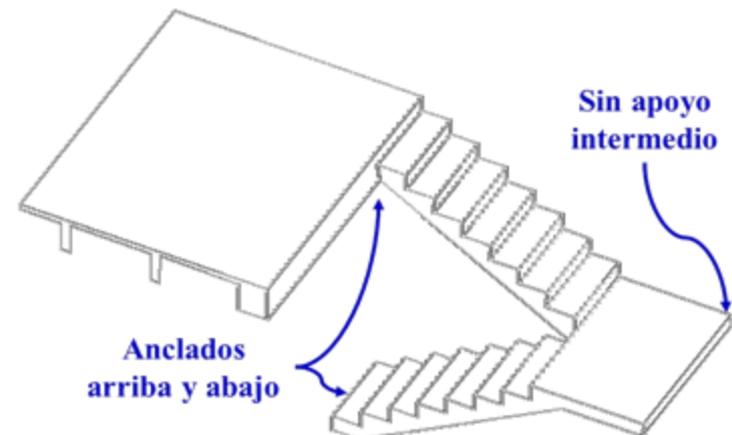
NSR-20

- ✓ Actualización del Título E.
- ✓ Propuesta de diseño de muros no estructurales.
- ✓ Propuesta de diseño de escaleras.
 - Sin anclaje en el extremo inferior.
 - Sin anclajes laterales en descansos.



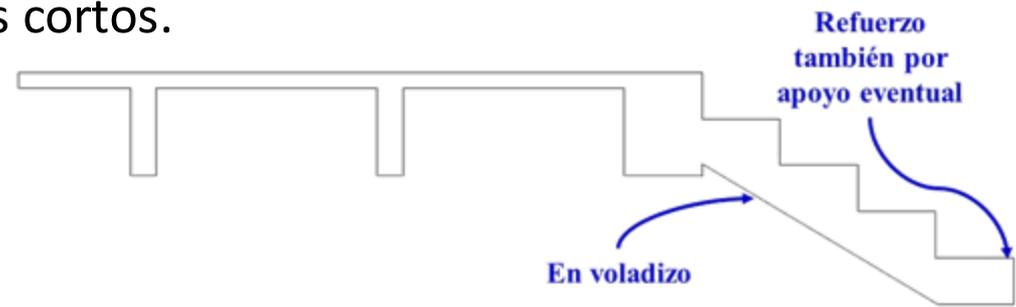
NSR-20

- ✓ Actualización del Título E.
- ✓ Propuesta de diseño de muros no estructurales.
- ✓ Propuesta de diseño de escaleras.
 - Sin anclaje en el extremo inferior.
 - Sin anclajes laterales en descansos.
 - Autoportantes.



NSR-20

- ✓ Actualización del Título E.
- ✓ Propuesta de diseño de muros no estructurales.
- ✓ Propuesta de diseño de escaleras.
 - Sin anclaje en el extremo inferior.
 - Sin anclajes laterales en descansos.
 - Autoportantes.
 - Como voladizos en tramos cortos.



CONCLUSIONES

- ✓ La mayoría de daños en edificaciones no representó un comportamiento inesperado.
- ✓ El desastre natural evidenció la cruda realidad de una infraestructura envejecida e inadecuada, combinada con un significativo desarrollo informal urbano y rural.
- ✓ La mayoría de las víctimas pudieron haberse evitado si la construcción de edificaciones siguiera los requisitos mínimos establecidos por la normatividad vigente desde 1984.
- ✓ Si las irregularidades en planta y en altura no pueden evitarse, la estructura debe diseñarse consecuentemente, teniendo en cuenta las condiciones específicas generadas por las variaciones en la rigidez en cada caso.

CONCLUSIONES

- ✓ Materiales y procedimientos de buena calidad, y la implementación de supervisión técnica adecuada, son fundamentales para proveer una respuesta dinámica apropiada bajo cargas sísmicas.
- ✓ La mampostería simple es muy vulnerable ante cargas sísmicas.
- ✓ La reducción de la vulnerabilidad de estructuras existentes es un reto constante para la ingeniería.
- ✓ La normativa colombiana sigue desarrollándose para disminuir la vulnerabilidad de las edificaciones evidenciada por el sismo del Eje Cafetero.

U.N. Sede Medellín

Una universidad con criterio nacional y presencia regional



Centro de proyectos e investigaciones sísmicas

CPIS

MINARIO
CULTURA
RAMÍREZ

Facultad de Minas
Sede Medellín



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA