







efe-Prima<sup>CC</sup> CONTROL Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS  
 efe-Prima<sup>CC</sup> RIOSTRA F' C - BRB  
 UNIVERSIDAD EIA  
 Ser, Saber y Servir

---

## Investigación y Desarrollo de Riostras de Pandeo Restringido BRB en Colombia

---

**Juan Andrés Oviedo A., PhD**  
 F' C Control y Diseño de Estructuras SAS  
**Carlos Blandón – José Rave,** Universidad EIA


 CONGRESO  
 INTERNACIONAL  
 DE LA CONSTRUCCIÓN  
 CON ACERO


 ICCA  
 INSTITUTO COLOMBIANO DE  
 LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO




 CONGRESO  
 INTERNACIONAL  
 DE LA CONSTRUCCIÓN  
 CON ACERO

**2019** Medellín  
 Junio 19, 20 y 21

## Contenido

---

- Necesidad de Protección Contra los Terremotos
- Desarrollo de Riostras BRB
- Uso de Riostras BRB (Diseño y Reforzamiento)



## Protección Sísmica

Los terremotos son devastadores para:

- Las personas como individuos
- Las familias
- Las comunidades
- Las organizaciones sociales a cualquier nivel
- La economía individual - Negocios
- La economía nacional

Pero, la consecuencia más terrible es la pérdida masiva de vidas. Es acá donde la protección contra terremotos tiene su primera tarea

**¡Reducción de la pérdida de vidas humanas!**



## Protección Sísmica

Las edificaciones son diseñadas para resistir terremotos, pero su fuerza destructora, a menudo, sobrepasa este ideal!!!



Terremoto de Armenia, 1999



## Protección Sísmica



Documental: The Raging Planet Earthquake- Discovery Science



## Protección Sísmica

### Amenaza

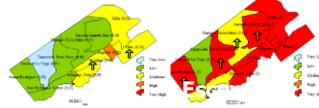
- Exógena

### Vulnerabilidad

- La generamos nosotros
- Se puede reducir con las buena praxis de los Arquitectura e Ingeniería
- ...

### Riesgo

- Antes de un desastre se puede identificar
- ¿Se podrá mitigar?



Jaramillo et al. 2016



## Protección Sísmica

### Alternativas

**E: Eficiencia**

**S: Sostenibilidad**

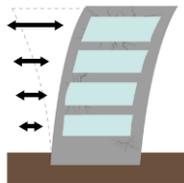
**C: Confiabilidad**

**R: Resiliencia**

Estructuras tradicionales: **E+C**

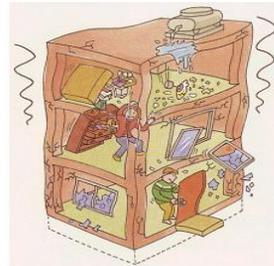
Estructuras en capacidad de resistir terremotos sin presentar daños estructurales graves ni víctimas humanas.

Estructuras **no orientadas** a proteger los contenidos ni la operación.



Estructura  
vibrando  
fuertemente

Daños  
considerables





## Protección Sísmica

### Alternativas

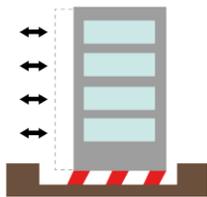
**E: Eficiencia**  
**S: Sostenibilidad**

**C: Confiabilidad**  
**R: Resiliencia**

Estructuras innovadoras (TCRS) : **E+C+S+R**

Estructuras en capacidad de resistir terremotos sin presentar daños estructurales ni víctimas humanas, y de proteger el correcto funcionamiento de las estructuras y sus componentes.

Estructuras **orientadas** hacia un futuro sostenible.



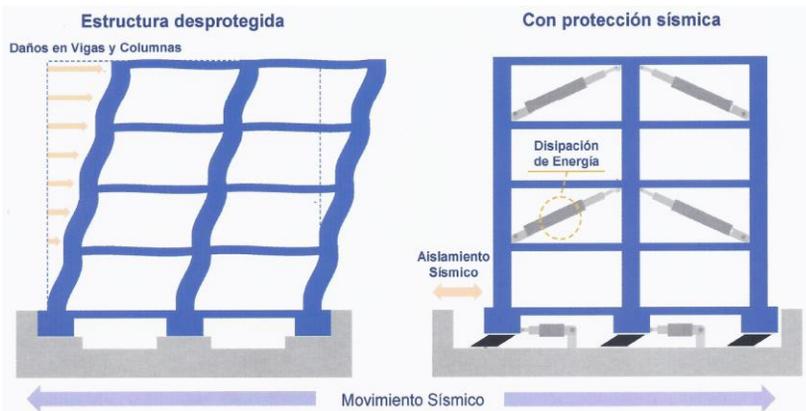
Estructura  
vibrando  
suavemente

No day daños



## Técnicas de Control de Respuesta Sísmica

### Implicación en el desempeño estructural



- Control(reducción) sobre desplazamiento lateral (derivas)
- Control(reducción) sobre la aceleración de piso

## Protección Sísmica con TCRS

---

### Disipación de energía



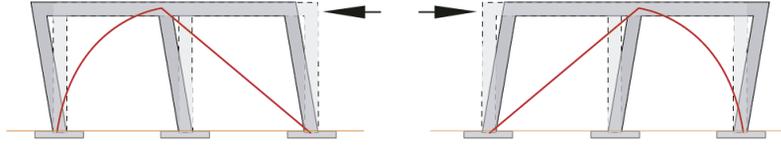
## Contenido

---

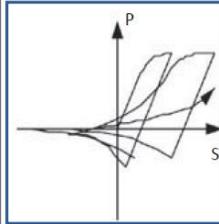
- Necesidad de Protección Contra los Terremotos
- Desarrollo de Riostras BRB
- Uso de Riostras BRB (Diseño y Reforzamiento)

## Riostras Convencionales

### Concepto



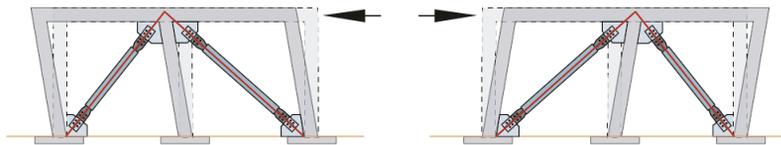
Gráfica 1.  
Comportamiento de riostras convencionales



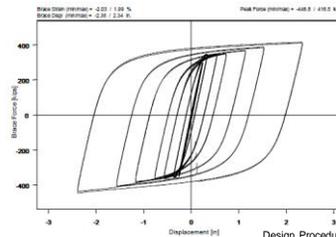
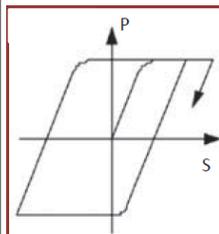
- Se pandean a compresión
- Deterioran la capacidad de carga lateral de la estructura
- Presentan comportamiento desigual a compresión y a tracción
- Tienen un comportamiento "frágil"
- Comportamiento inadecuado ante cargas cíclicas

## Riostras BRB

### Concepto

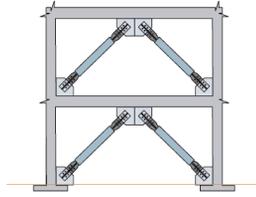


Gráfica 2.  
Comportamiento de Riostras F'C - BRB

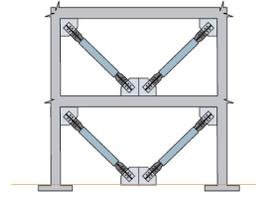


Fuente:  
Design Procedures for Buildings Incorporating Hysteretic Damper Devices

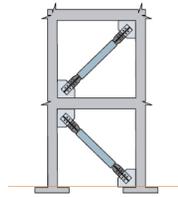
## Riostras BRB



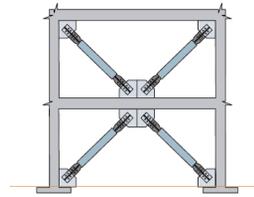
Gráfica 6a.  
Arriostramiento en V-invertida



Gráfica 6b.  
Arriostramiento en V

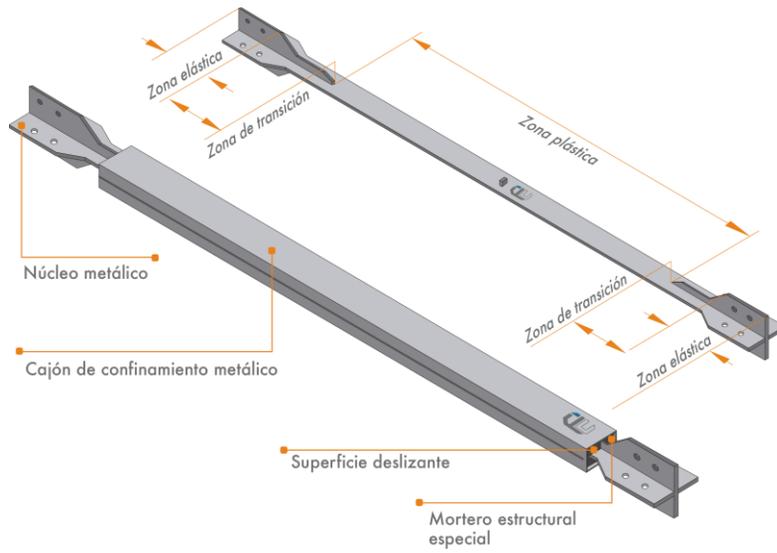


Gráfica 6c.  
Arriostramiento en Diagonal (Zig-Zag)



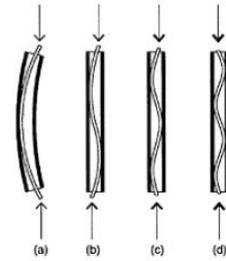
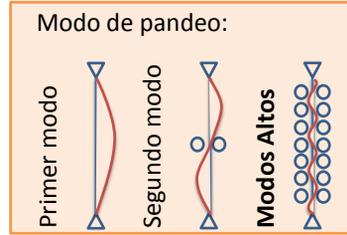
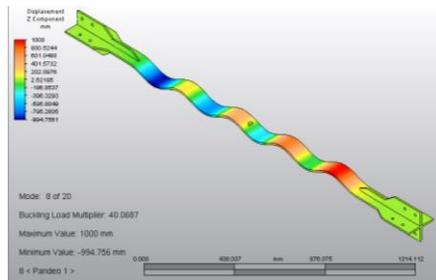
Gráfica 6d.  
Arriostramiento en Multipisos (X)

## Riostras BRB



# Riostras BRB

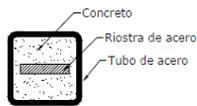
## Concepto



Se prevé pandeo en compresión pero en modos altos

# Riostras BRB

## Tipología



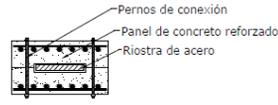
a) Fujimoto et al. (1988)



a) Nagao et al. (1992)



a) Horie et al. (1993)



a) Inoue et al. (1993)

## Riostras con encamisado en acero



a) Suzuki et al. (1994)



b) Tada et al. (1993)



c) Kamiya et al. (1997)



d) Shimizu et al. (1997)

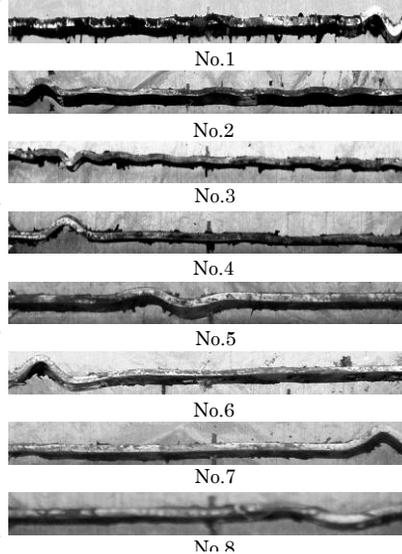
Fuente: Estudio Paramétrico Comparativo para Riostras Convencionales y Riostras Restringidas al Pandeo Lateral

## Riostras BRB

### Desempeño

#### Varios modos

Desempeño  
excelente



#### Pocos modos

Desempeño  
bueno

## Algunos Antecedentes Nacionales

1. Reyes, 2001: *Modelamiento Sísmico no lineal de estructuras de concreto con disipadores de energía.*
2. Tamasco, 2002: *Reforzamiento de estructuras con disipadores de energía por arriostramiento excéntrico.*
3. Toro y Turga, 2004: *Disipadores de energía tipo viscoso y viscoelástico en estructuras.*
4. Marín y Ruiz, 2005: *Rehabilitación de un pórtico de concreto reforzado mediante disipadores de energía pasivos construidos en Colombia.*
5. Oviedo y Kitamura, 2005: *Aplicación de técnicas de control de respuesta sísmica a un edificio diseñado bajo normas colombianas.*
6. Oviedo y Duque, 2006: *Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones.*
7. Oviedo y Duque, 2009: *Situación de las técnicas de control de respuesta sísmica en Colombia.*
8. Oviedo y Duque, 2009: *Disipadores histeréticos metálicos como técnica de control de respuesta sísmica en edificaciones colombianas.*
9. Cancelado, 2011: *Caracterización experimental de riostras de pandeo restringido a escala sometidas a cargas cíclicas.*
10. Oviedo, 2015, 2017, 2018, 2019
11. Otros mas..

**Tendencia hacia la implementación de  
disipadores de energía**

## Algunos Antecedentes Nacionales

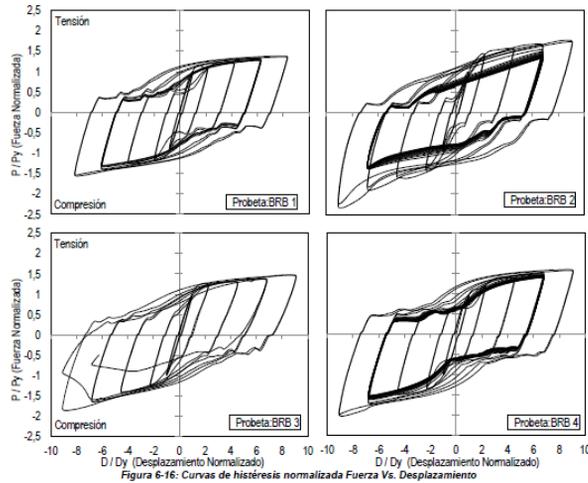
Cancelado, 2011



4 prototipos de riostras BRB  
Escala 1:4  
Ensayo con actuador dinámico

## Algunos Antecedentes Nacionales

Cancelado, 2011



Amortiguamiento histérico	36-37 %
$C_{max} / T_{max}$	1.20 < 1.30

## Proyectos de I+D+i (2006 – presente)

### Riostras con pandeo restringido (BRB)



## Programa Experimental Fase I



2 prototipos de riostras BRB  
 3 especímenes por prototipo  
 Escala real, L=2351 mm  
 Año 2014

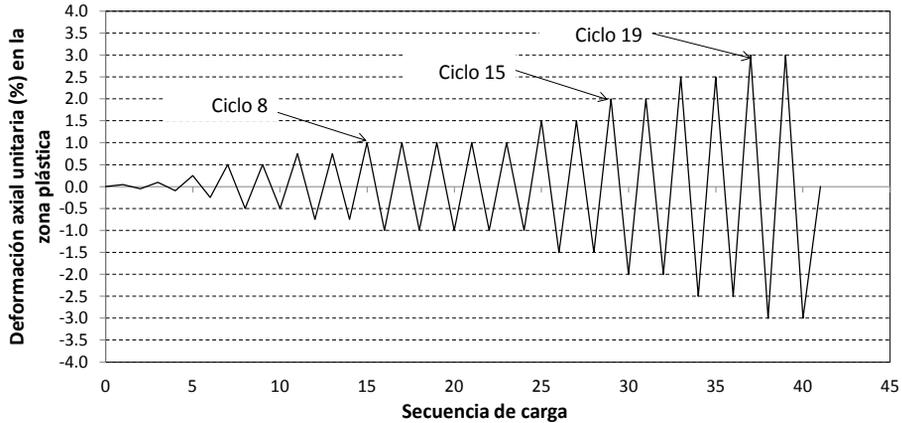


## Programa Experimental Fase I



### Protocolo de carga para el ensayo

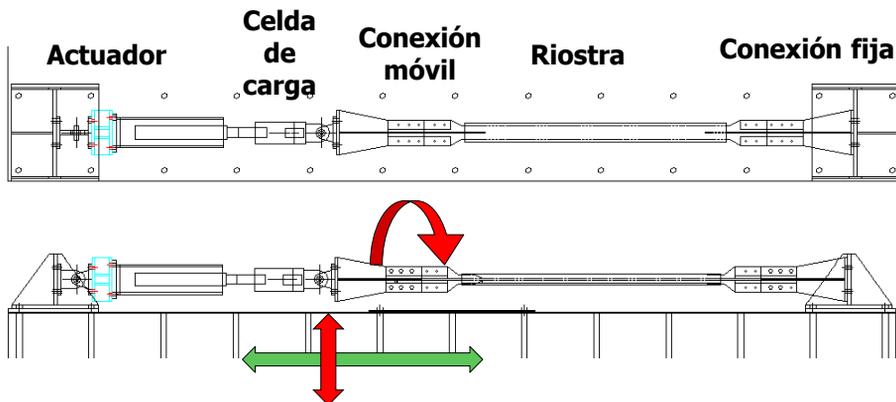
La secuencia de carga supera a la del NSR-10, alcanzando más del 2.00% de deformación en la zona plástica.



## Programa Experimental Fase I



### Montaje en el Laboratorio de Estructuras de EIA

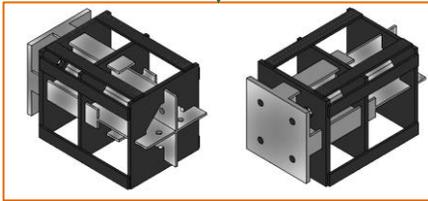
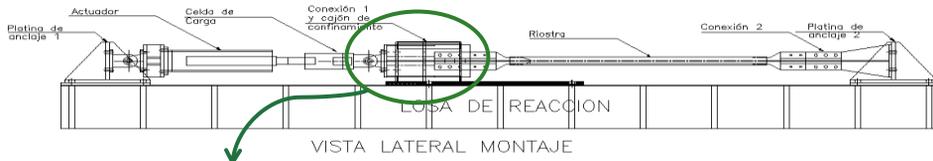


- Se generaron rotaciones y cargas excéntricas en el primer ensayo.
- Modificó la conexión móvil para el montaje definitivo.

# Programa Experimental Fase I



## Montaje definitivo



**Esquema isométrico del sistema utilizado para restringir el movimiento de la conexión móvil**



Conexión fija



Conexión móvil

# Programa Experimental Fase I



## Ubicación potenciómetros



P3  
P4

P2  
P5

P1  
P6

Potenciómetros

Potenciómetro de cuerda

# Programa Experimental Fase I



## Montaje



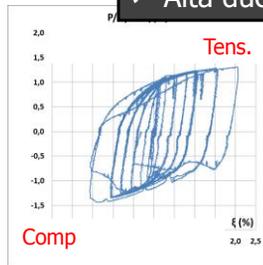
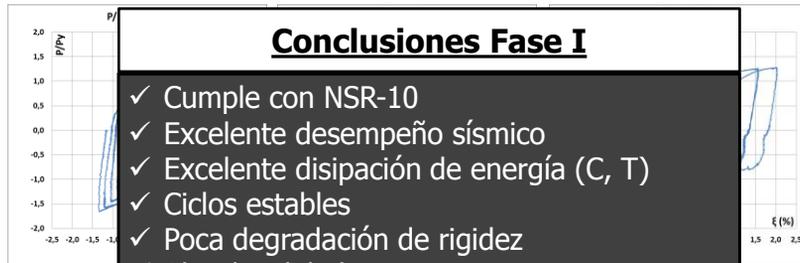
# Programa Experimental Fase I



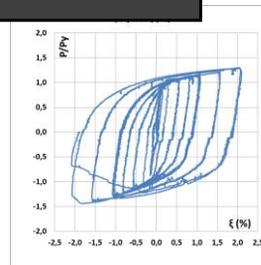
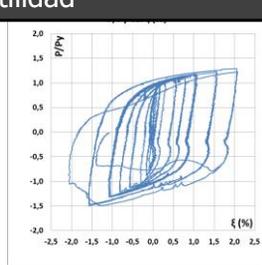
## Resumen de resultados

Prueba #1

Prueba #3

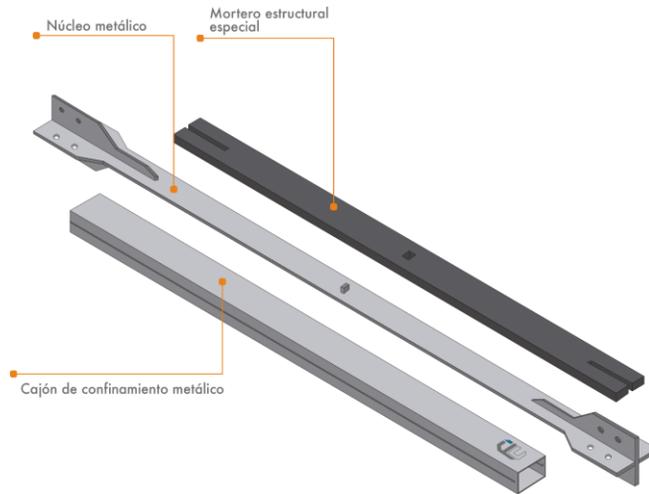


Prueba #4



Prueba #6

## Programa Experimental Fase II



4 prototipos de riostras BRB  
2 especímenes por prototipo  
Escala real, L=2351 mm



## Programa Experimental Fase II



### Características generales de los prototipos

Prototipo	Dimensión núcleo (mm)	Relación ancho/espesor	LP/LB %	FS Pandeo Global	Variable
1	PL-95x9x2351	10.6	63	3.28	FS
2	PL-95x9x2351	10.6	30	3.28	LP
3	PL-95x9x2351	10.6	63	4.72	FS
4	PL-95x9x2351	10.6	63	4.82	Gap



**Prot. 1, 3, 4**



**Prot. 2**



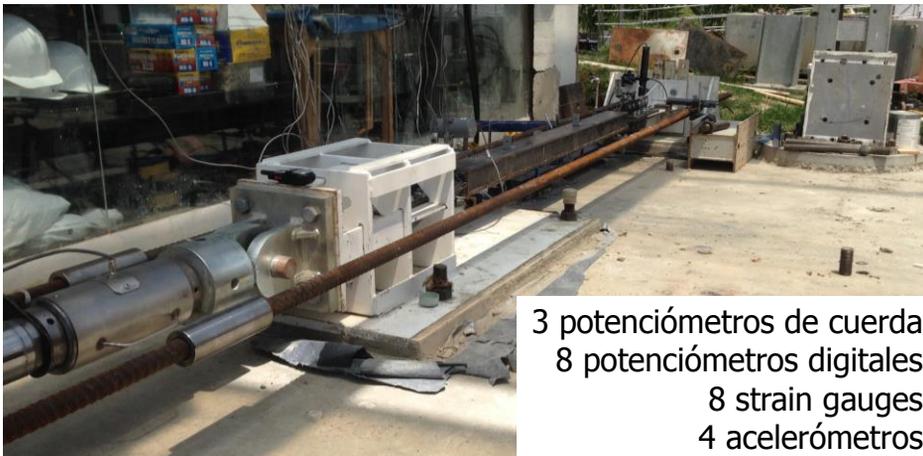
## Programa Experimental Fase II

### Montaje



## Programa Experimental Fase II

### Montaje



3 potenciómetros de cuerda  
8 potenciómetros digitales  
8 strain gauges  
4 acelerómetros

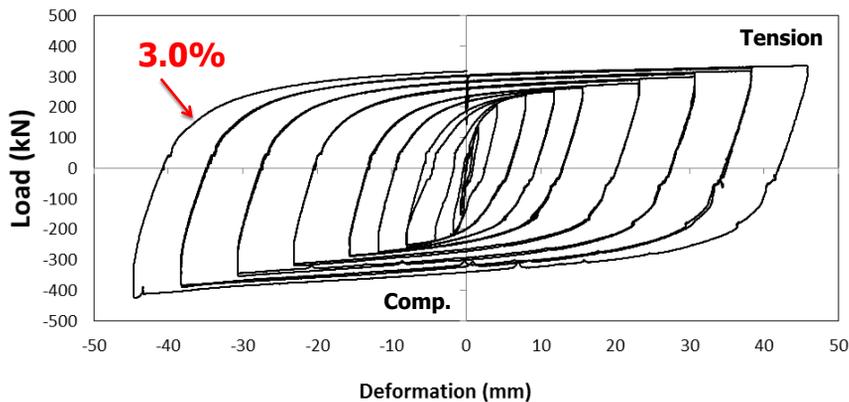
## Programa Experimental Fase II

### Montaje



## Programa Experimental Fase II

### Resultados Prototipo 1, Espécimen 1 (1-1)

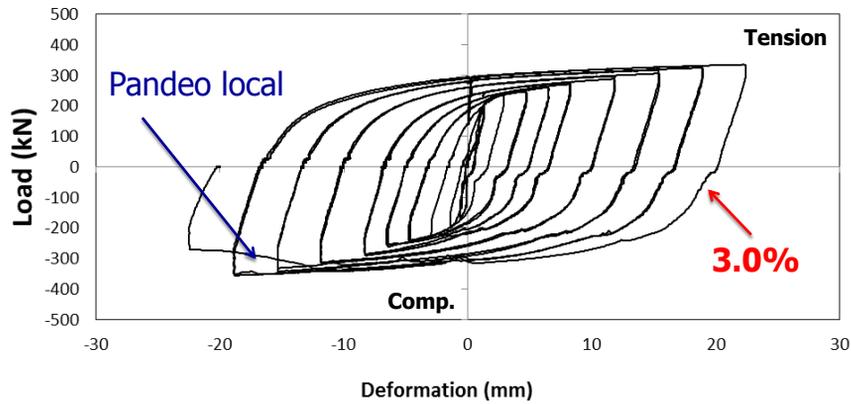


Amortiguamiento histerético	49 %
Cociente de deformación plástica acumulada, $\eta$	$503 * \Delta_{Dy} > 200 * \Delta_{Dy}$
Cociente de energía plástica acumulada, $\varpi$	525
Cmax / Tmax	$1.25 < 1.30$

## Programa Experimental Fase II



### Resultados Prototipo 2, Espécimen 1 (2-1)

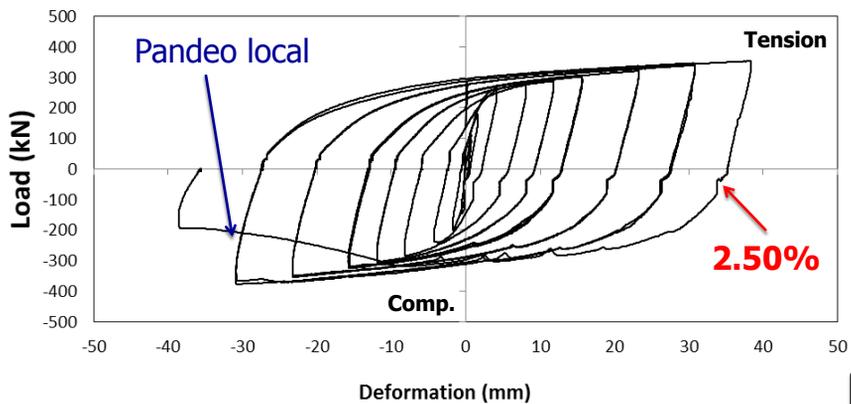


Amortiguamiento hysterético	54 %
Cociente de deformación plástica acumulada, $\eta$	$282 * \Delta_{Dy} > 200 * \Delta_{Dy}$
Cociente de energía plástica acumulada, $\varpi$	286
Cmax / Tmax	$1.10 < 1.30$

## Programa Experimental Fase II



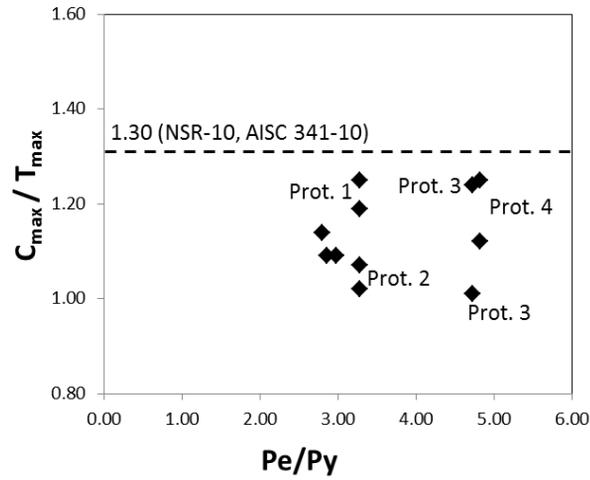
### Resultados Prototipo 3, Espécimen 1 (3-1)



Amortiguamiento hysterético	49 %
Cociente de deformación plástica acumulada, $\eta$	$364 * \Delta_{Dy} > 200 * \Delta_{Dy}$
Cociente de energía plástica acumulada, $\varpi$	372
Cmax / Tmax	$1.25 < 1.30$

## Programa Experimental Fase II

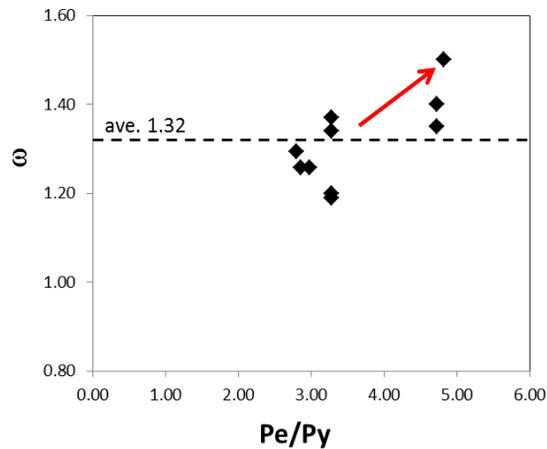
### Fuerza máxima alcanzada



## Programa Experimental Fase II

### Factores de ajuste de resistencia

$\omega$ : factor de ajuste por endurecimiento por deformación  
 $T_{\max} = \omega P_y$   
 $\omega_{\max} \approx 1.50$



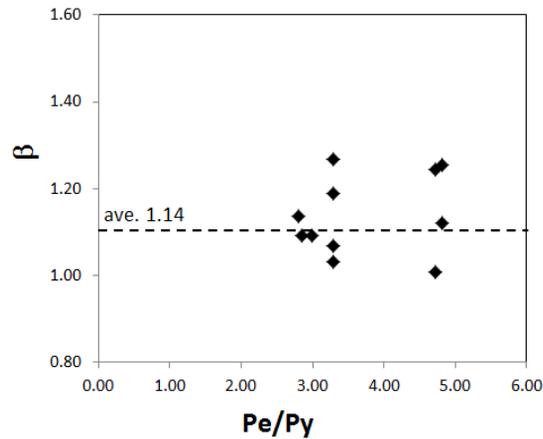
## Programa Experimental Fase II

### Factores de ajuste de resistencia

$\beta$ : factor de ajuste por resistencia en compresión

$$C_{\max} = \omega \beta P_y$$

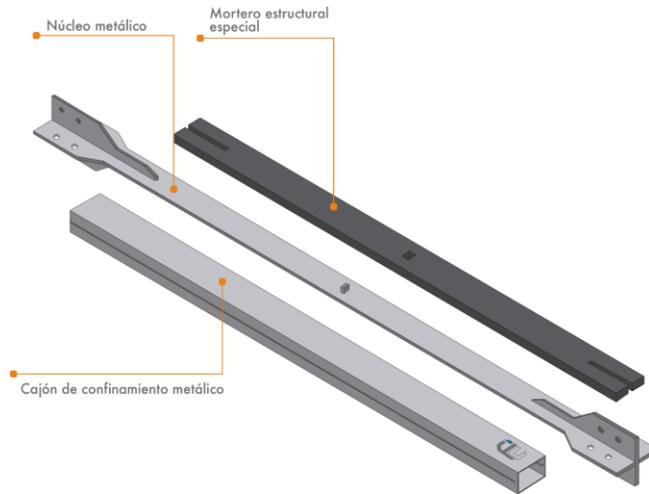
$$\beta_{\max} = 1.27 \leq 1.30$$



## Conclusiones Fase II

1. Los resultados obtenidos indican que con la tecnología, los materiales, mano de obra disponibles en el medio local y con los cambios realizados en los prototipos **es posible fabricar dispositivos BRB con un excelente desempeño estructural, cumpliendo con la NSR-10.**
2. Los prototipos con **mayor longitud de plástica** efectivamente mostraron una **capacidad de disipación de energía superior.**
3. Los **factores de ajuste de resistencia** por deformación y por resistencia a compresión están dentro de los **límites de los materiales usados y de las especificaciones dadas por normas internacionales.**

## Programa Experimental Fase III



2 prototipos de riostras BRB  
5 especímenes  
Escala real, L=2351 mm  
Año 2017-2018



## Programa Experimental Fase III

### Comportamiento ante fatiga

Prototipo	Núcleo (mm)	ancho/espesor	LP/LB %	FS
1	PL-95x9x2351	10.5	54	3.10
2	PL-95x9x2351	10.5	30	3.10



**Prot. 1**



**Prot. 2**



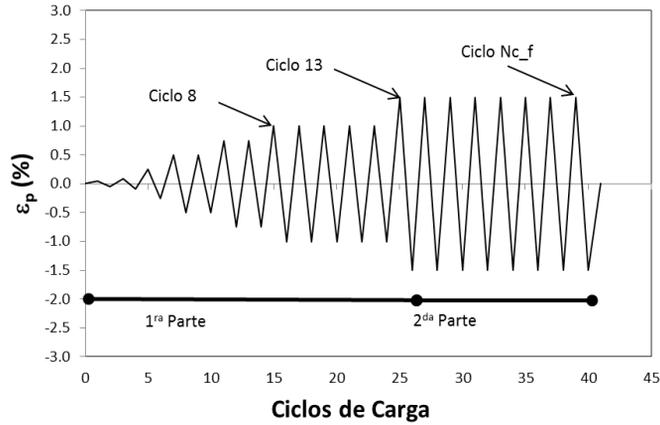
## Programa Experimental Fase III



### Protocolo de carga

Parte 1: Similar a las Fases I y II

Parte 2: ciclos con amplitud constante,  $\varepsilon_p = 1.50\%$

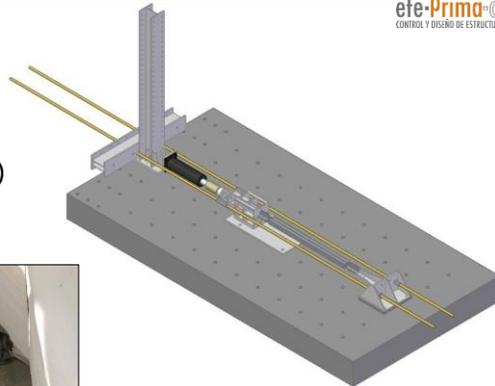


## Programa Experimental Fase III



### Montaje

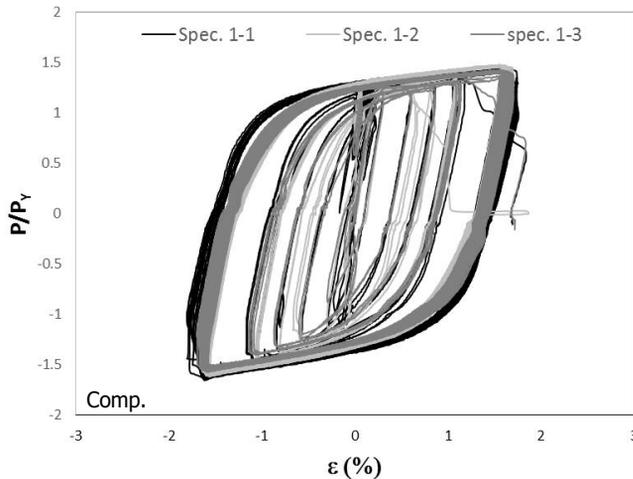
- Carga axial guiada
- Protección de la losa de reacción
- Instrumentación (potenciómetros y acelerómetros)



## Programa Experimental Fase III



### Trabajo inelástico a fatiga – Prototipo 1



$N_{c\_f} = 60$

$\eta \geq 1,400$

$\beta \approx 1.07 \leq 1.30$

$\varpi \approx 1,800$

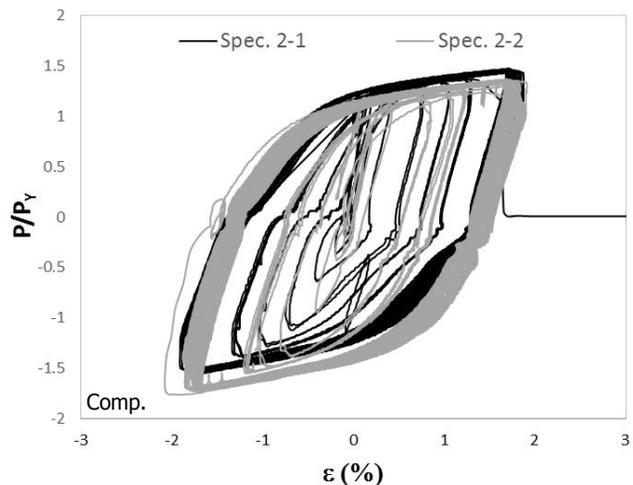
- Ciclos estables, completos
- Falla por tracción en el núcleo
- No se presentó pandeo local

$\eta$ : Def. plástica acumulada  
 $\beta$ :  $P_{\text{máx-C}} / P_{\text{máx-T}}$   
 $\varpi$ : Energía disipada

## Programa Experimental Fase III



### Trabajo inelástico a fatiga – Prototipo 2



$N_{c\_f} = 75$

$\eta \geq 800$

$\beta \approx 1.15 \leq 1.30$

$\varpi \approx 1,200$

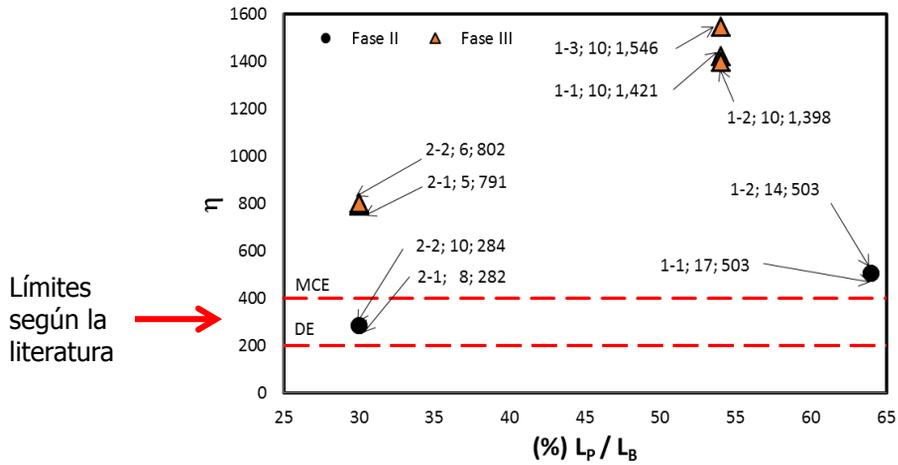
- Ciclos estables, completos
- Falla por tracción en el núcleo
- No se presentó pandeo local

$\eta$ : Def. plástica acumulada  
 $\beta$ :  $P_{\text{máx-C}} / P_{\text{máx-T}}$   
 $\varpi$ : Energía disipada

## Programa Experimental Fase III



### Capacidad de deformación inelástica

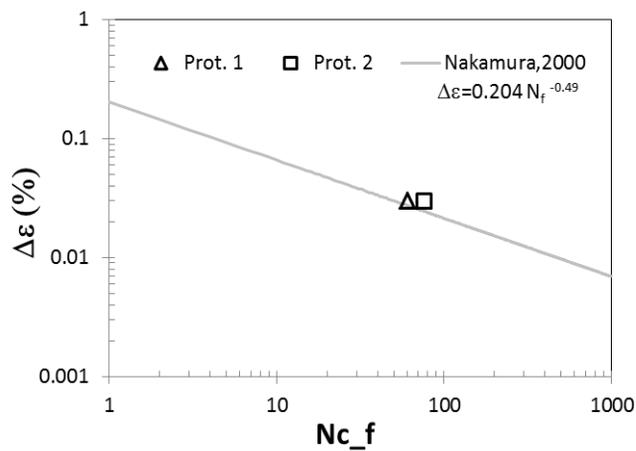


- A menor  $L_p$ , mayor cantidad de ciclos de fatiga para un mismo  $\varepsilon_p$ , y menor  $\eta$ .
- $\eta$  (Fase II) <  $\eta$  (Fase III) -> protocolo de carga, modo de falla

## Programa Experimental Fase III



### Curva de fatiga



## Conclusiones Fase III

1. La **falla por fatiga se presentó por rotura por tracción** en el núcleo por el agrietamiento gradual del mismo, debido a aplicaciones repetidas de esfuerzos insuficientes para causar la falla en una sola aplicación;
2. los **cajones de restricción** de todas las riostras no presentaron daño; y
3. la deformación acumulada resultó mayor que límites establecidos para diferentes niveles de intensidad sísmica (sismo de diseño y máximo), indicando **suficiente capacidad de disipación de energía**.

## Programa Experimental Fase IV



6 prototipos de Riostras BRB  
25 especímenes  
Escala real  
Año 2019-2021

UNIVERSIDAD  
**EIA**  
Ser, Saber y Servir

**efe-Prima-CE**  
CONTROL Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS

- Mayor capacidad (resistencia, deformación)
- Mayor longitud
- Otros materiales
- Fatiga
- Construcción de un nuevo marco de carga

PREMIO A LA  
**INNOVACIÓN**  
G A M A G O L  
A N T I O Q U I A



## 1<sup>er</sup> Puesto (06-03-19)

Desempeño de un Elemento Estructural  
de Disipación de Energía por Deformación  
por F' C SAS



CONGRESO  
INTERNACIONAL  
DE LA CONSTRUCCIÓN  
CON ACERO

2019 Medellín

Años 18, 19 y 21

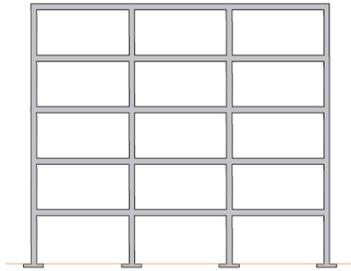


## Contenido

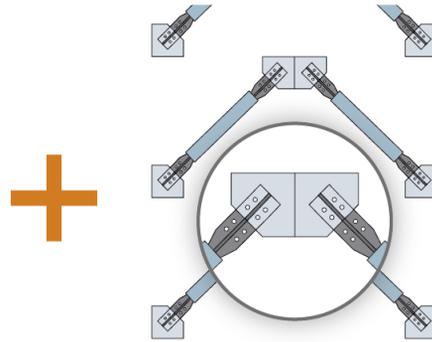
- Necesidad de Protección Contra los Terremotos
- Desarrollo de Riostras BRB
- Uso de Riostras BRB (Diseño y Reforzamiento)

## Aplicación en Edificaciones

### Pórticos + Riostras BRB



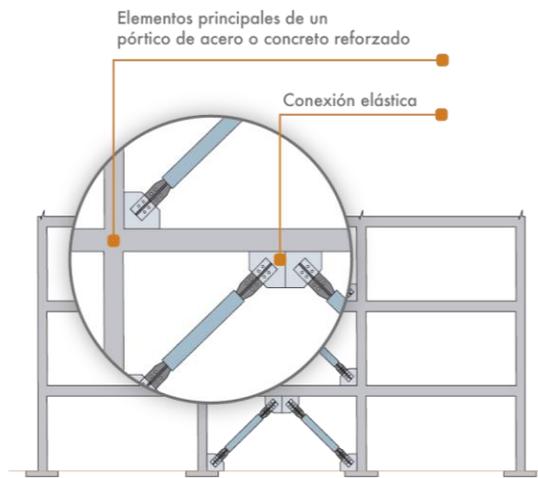
Gráfica 3.  
Pórtico principal



Gráfica 4.  
Sistema de disipadores

## Aplicación en Edificaciones

### Sistema pórtico-disipador (pórtico-BRB)



Gráfica 5.  
Sistema Pórtico-disipador

## Enfoque de Diseño

### Alternativas

- Alternativa 1: como **"Riostras avanzadas"**  
Elementos que resisten cargas de tracción y compresión  
NSR-10  
Análisis y diseño convencional
- Alternativa 2: como **"Disipadores de energía"**  
Amortiguamiento adicionado  
ASCE 7-16 (Cap.18)  
AIS 700-20  
Análisis y diseño cronológico

## Enfoque de Diseño

### Alternativa 1: como riostras avanzadas

Tabla A.3-2: Sistema Combinado, NSR-10

Elementos de acero									
3. Pórticos con diagonales concéntricas									
a. Pórticos de acero con diagonales concéntricas (DES)	pórticos de acero no resistentes a momentos	5.0	2.5	si	30 m	si	45 m	si	60 m
b. Pórticos de acero con diagonales concéntricas (DMI)	pórticos de acero no resistentes a momentos	4.0	2.5	no se permite		si	10 m	si	60 m
c. Pórticos mixtos con diagonales concéntricas (DES)	pórticos de acero resistentes o no a momentos	5.0	2.0	si	50 m	si	sin límite	si	sin límite
d. Pórticos mixtos con diagonales concéntricas (DMI)	pórticos de acero resistentes o no a momentos	3.0	2.0	no se permite (nota 5)		no se permite (nota 5)		si	sin límite
e. Pórticos de acero con diagonales concéntricas restringidas a pandeo, con conexiones viga-columna resistentes a momento	pórticos de acero no resistentes a momentos	7.0	2.5	si	30 m	si	45 m	si	sin límite
f. Pórticos de acero con diagonales concéntricas restringidas a pandeo, con conexiones viga-columna no resistentes a momento	pórticos de acero no resistentes a momentos	6.0	2.5	si	30 m	si	45 m	si	sin límite
g. Pórticos de concreto con diagonales concéntricas con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	3.5	2.5	no se permite		si	24 m	si	30 m

## Enfoque de Diseño

### Alternativa 1: como riostras avanzadas

Tabla A.3-4: Sistema Dual, NSR-10

3. Pórticos con diagonales concéntricas									
a. De acero con capacidad especial de disipación de energía (DES)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	6.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. De acero con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	3.0	2.5	no se permite		si	60 m	si	sin límite
c. De concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	4.0	2.5	no se permite		si	24 m	si	30 m
d. Pórticos mixtos con diagonales concéntricas (DES)	pórticos de acero con alma llena con conexiones rígidas (DES)	6.0	2.5	si	Sin límite	si	Sin límite	si	Sin límite
e. Pórticos de acero con diagonales concéntricas restringidas al pandeo	pórticos de acero con alma llena con conexiones rígidas (DES)	7.0	2.5	si	Sin límite	si	Sin límite	si	Sin límite
f. Pórticos de acero con diagonales concéntricas (DES)	pórticos de acero con alma llena con conexiones rígidas (DMO)	6.0	2.5	no se permite		si	10 m	si	Sin límite
g. Pórticos mixtos con diagonales concéntricas (DES)	pórticos de acero con alma llena con conexiones rígidas (DMO)	5.5	2.5	si	50 m	si	30 m	si	Sin límite
h. Pórticos con diagonales concéntricas que resistan solo a tensión	El mismo	3.0	2.5	no se permite (nota 4)					

## Enfoque de Diseño

### Alternativa 2: como disipadores de energía

#### A.3.9 — USO DE ELEMENTOS DISIPADORES DE ENERGÍA

A.3.9.1 — Se permite el empleo de elementos disipadores de energía, siempre y cuando se cumplan en su totalidad los requisitos al respecto de uno de los dos documentos siguientes:

- (a) "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings — Provisions and Commentary", 2003 Edition, Federal Emergency Management Agency, FEMA 450, Building Seismic

A-50

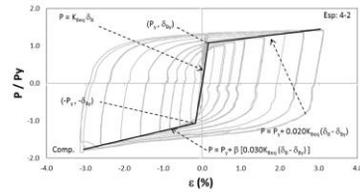
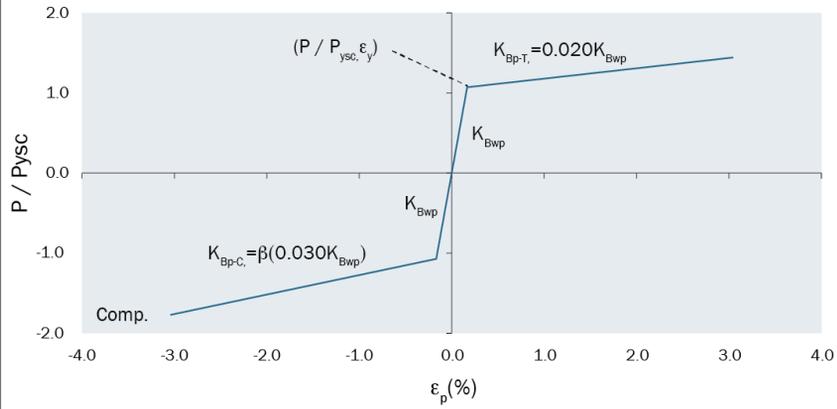
#### NSR-10 — Capítulo A.3 — Requisitos generales de diseño sísmo resistente

- Safety Council, National Institute of Buildings Sciences, Washington, D.C., USA, 2004  
 (b) "Minimum Design Loads for Building and Other Structures", ASCE/SEI 7-05, Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA, 2006

## Norma AIS 700-20 : Aislamiento Sísmico y Disipación de Energía

Basada en el documento ASCE 7-16 + investigación nacional

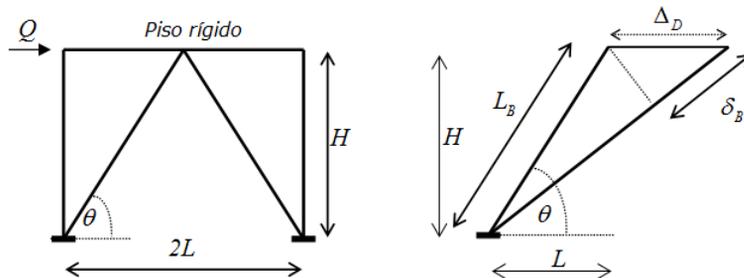
## Curva Característica



## Capacidad de Deformación

### Deriva alcanzada

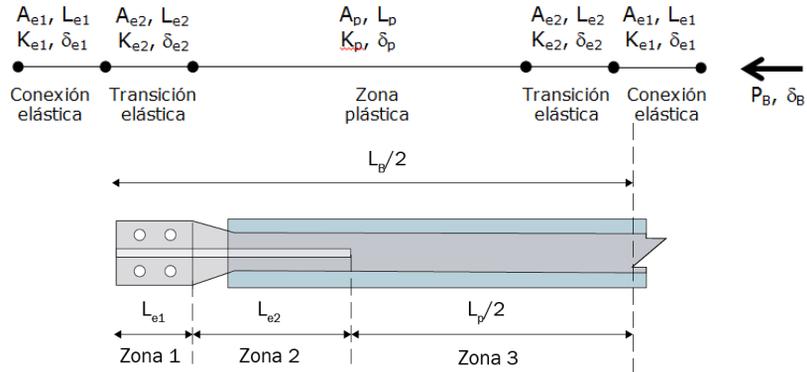
El AISC 341 dice que las BRB deben ser diseñadas, ensayadas y detalladas para acomodar **2 x Deriva de diseño o 2%Hpiso**



$$\Delta = \frac{\delta_B}{\cos\theta}$$

## Derivas Alcanzadas

### Idealización



$$\delta_B = 2\delta_{e1} + 2\delta_{e2} + \delta_p$$

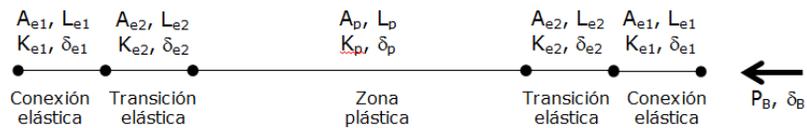
$$\lambda_1 = \frac{L_{e1}}{L_B}, \quad \lambda_2 = \frac{L_{e2}}{L_B}, \quad \lambda_p = \frac{L_p}{L_B}$$

$$\frac{1}{K_{Beq}} = \frac{2}{K_{e1}} + \frac{2}{K_{e2}} + \frac{1}{K_p}$$

$$\alpha_1 = \frac{A_{e1}}{A_p}, \quad \alpha_2 = \frac{A_{e2}}{A_p}$$

## Derivas Alcanzadas

### Idealización



$$\delta_B = 2\delta_{e1} + 2\delta_{e2} + \delta_p$$

$$\frac{1}{K_{Beq}} = \frac{2}{K_{e1}} + \frac{2}{K_{e2}} + \frac{1}{K_p}$$

### En fluencia en $L_p$ :

$$\delta_{By} = 2\delta_{e1} + 2\delta_{e2} + \delta_{py}$$

$$\lambda_1 = \frac{L_{e1}}{L_B}, \quad \lambda_2 = \frac{L_{e2}}{L_B}, \quad \lambda_p = \frac{L_p}{L_B}$$

$$\delta_{By} = \frac{2P_y L_B}{EA_p} \left[ \frac{\lambda_1}{\alpha_1} + \frac{1-2\lambda_1-\lambda_p}{2\alpha_2} + \frac{\lambda_p}{2} \right] \quad \alpha_1 = \frac{A_{e1}}{A_p}, \quad \alpha_2 = \frac{A_{e2}}{A_p}$$



## Derivas Alcanzadas

**En fluencia en  $L_p$ :**

$$\delta_{By} = 2\delta_{e1} + 2\delta_{e2} + \delta_{py} \quad \delta_{By} = \frac{2P_y L_B}{EA_p} \left[ \frac{\lambda_1}{\alpha_1} + \frac{1-2\lambda_1-\lambda_p}{2\alpha_2} + \frac{\lambda_p}{2} \right]$$

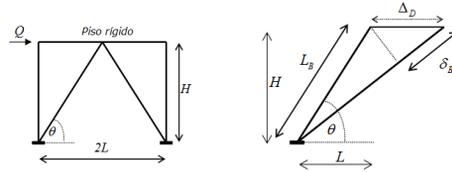
**Post-fluencia en  $L_p$ :**

$$\delta_{B-\varepsilon p} \approx \frac{2P_y L_B}{EA_p} \left[ \frac{\lambda_1}{\alpha_1} + \frac{1-2\lambda_1-\lambda_p}{2\alpha_2} \right] + \varepsilon_p L_p$$

**Según resultados experimentales,  $\varepsilon_p$  se limita a 2.5%:**

$$\delta_{Bmax} = \frac{2P_y L_B}{EA_p} \left[ \frac{\lambda_1}{\alpha_1} + \frac{1-2\lambda_1-\lambda_p}{2\alpha_2} \right] + 0.025 L_p$$

$$\Delta_{max} = \frac{\delta_{Bmax}}{\cos \theta}$$



## Derivas Alcanzadas

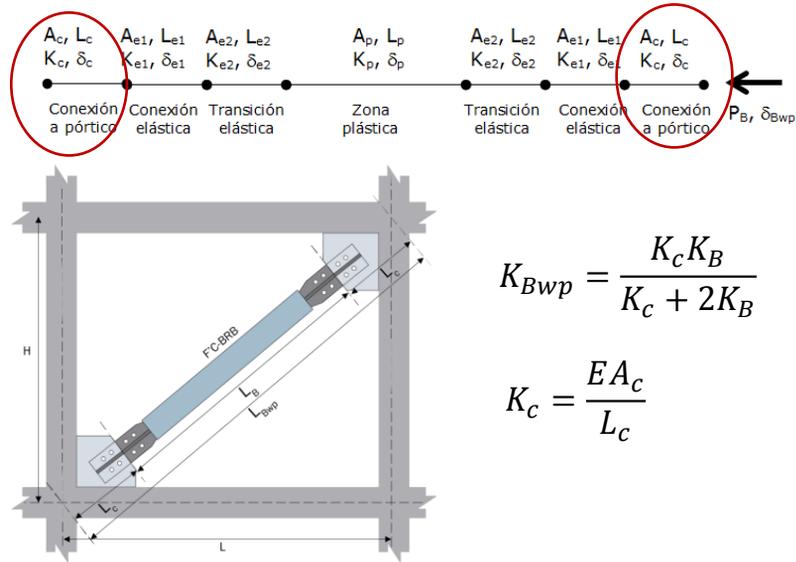
**Derivas máximas con  $\varepsilon_p = 2.5\%$**

$L_B$ (mm)	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_p$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\theta$ (grados)	$\delta_{bmax}$ (mm)	$\Delta_{max}$ (mm)	H (m)	L (m)	$\Delta_{max}$ (%)
2351 <sup>(1)</sup>	0.08	0.10	0.64	8.52	1.72	30	38	44	1.18	2.04	3.76
2351 <sup>(1)</sup>	0.08	0.10	0.64	8.52	1.72	45	38	54	1.66	1.66	3.25
2351 <sup>(1)</sup>	0.08	0.10	0.64	8.52	1.72	60	38	76	2.04	1.18	3.76
2351 <sup>(2)</sup>	0.08	0.27	0.30	8.52	1.72	30	19	22	1.18	2.04	1.84
2351 <sup>(2)</sup>	0.08	0.27	0.30	8.52	1.72	45	19	27	1.66	1.66	1.60
2351 <sup>(2)</sup>	0.08	0.27	0.30	8.52	1.72	60	19	38	2.04	1.18	1.84
3000 <sup>(3)</sup>	0.10	0.10	0.60	8.52	1.72	45	46	64	2.12	2.12	3.04
4000 <sup>(3)</sup>	0.10	0.10	0.60	8.52	1.72	45	61	86	2.83	2.83	3.04
5000 <sup>(3)</sup>	0.10	0.10	0.60	8.52	1.72	45	76	107	3.54	3.54	3.04
3000 <sup>(3)</sup>	0.10	0.20	0.40	8.52	1.72	45	31	44	2.12	2.12	2.07
4000 <sup>(3)</sup>	0.10	0.20	0.40	8.52	1.72	45	41	59	2.83	2.83	2.07
5000 <sup>(3)</sup>	0.10	0.20	0.40	8.52	1.72	45	52	73	3.54	3.54	2.07

(1)Prototipo 1, (2)Prototipo 2, (3)Pe/Py=3.30

## Modelo Matemático

### Rigidez nodo a nodo, $K_{Bwp}$



## Modelo Matemático

### Alternativas

- Alternativa 1: como un elemento prismático

$$K_{Bmodel} = KF [K_{scwp}] = KF \left[ \frac{A_{sc} E}{L_{Bwp}} \right]$$

$$1.50 < KF < 2.20$$

- Alternativa 2: como un elemento tipo *Link*

$$K_B = \frac{EA_{sc}}{L_B} \left[ \frac{\alpha_1 \alpha_2}{2\lambda_1 \alpha_2 + 2\lambda_2 \alpha_1 + \lambda_p \alpha_1 \alpha_2} \right]$$



$$K_{Bmodel} = K_{Bwp} = \frac{K_c K_B}{K_c + 2K_B}$$

## Herramientas de Diseño

### Software Riostras F'C-BRB

Buckling-Restrained Brace-Fc-BRB

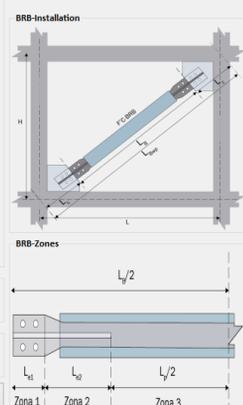
Brace ID: 001 Project name: Ejemplo riostras Prepared by: Shago

BRB-Parameters		BRB-Properties	
ID:	001	Le1:	400 mm
H:	3,500 mm	Le2:	400 mm
L:	3,500 mm	Lp:	2,400 mm
E:	204,000 MPa	$\lambda_p$ :	0.60
Lb:	4,000 mm ✓	$\alpha_1$ :	8.52 ✓
$E_p$ :	0.0155	$\alpha_2$ :	1.72 ✓
$\lambda_1$ :	0.10	Py:	1,260 kN
$\lambda_2$ :	0.10	$\theta$ :	45 °
Ae1:	42,920 mm <sup>2</sup>	$\delta B_{ep}$ :	37.89 mm
Ae2:	8,648 mm <sup>2</sup>	$\delta B_{ep}$ :	53.58 mm
Ap:	5,040 mm <sup>2</sup>	Lwp:	4,950 mm
FySc:	250 MPa	Lc:	475 mm ✓
$\alpha_c$ :	11.00	$\lambda_c$ :	0.12
$\lambda$ :		$\lambda$ :	1.24
Ltotal:	4,950 mm	$\alpha_{min}$ :	10.11
Acmin:	50,954 mm <sup>2</sup>	$\delta w_p$ :	37.99 mm
Ac:	55,440 mm <sup>2</sup> ✓	$\delta w_p / \delta B$ :	1.00
Kc:	23,816.35 kN/mm		

Theoretical Total Elastic Stiffness  
 KB: 347.33 kN/mm KBwp: 337.49 kN/mm KBwp/KB: 0.97 KF: 1.62

Post-elastic Stiffness  
 KBp-T: 6.75 kN/mm KBp-C: 10.97 kN/mm

Buttons: Calculate Save Open Graphics Print Report Manual Tecnico

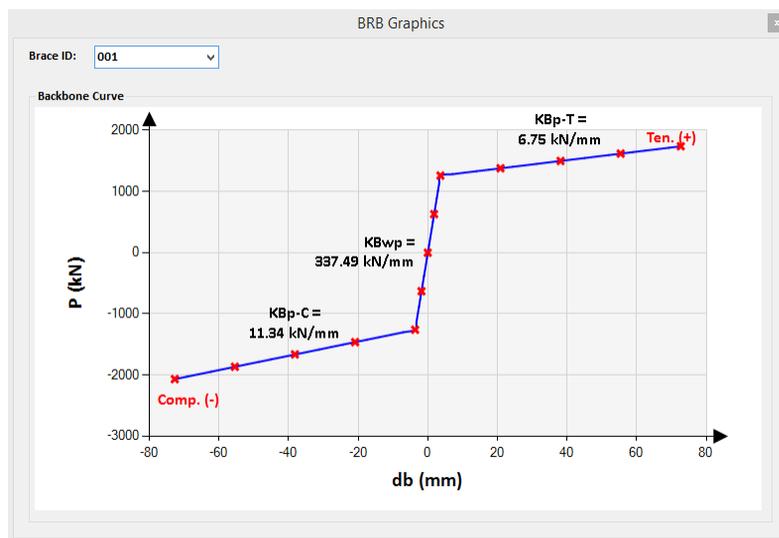


BRB-installation diagram showing a diagonal brace in a frame with dimensions L, H, and Lp. BRB-Zones diagram showing three zones (Zona 1, Zona 2, Zona 3) with lengths L1, L2, and L3, and a total length Lp/2.

Disponible en [www.efeprimace.co](http://www.efeprimace.co)

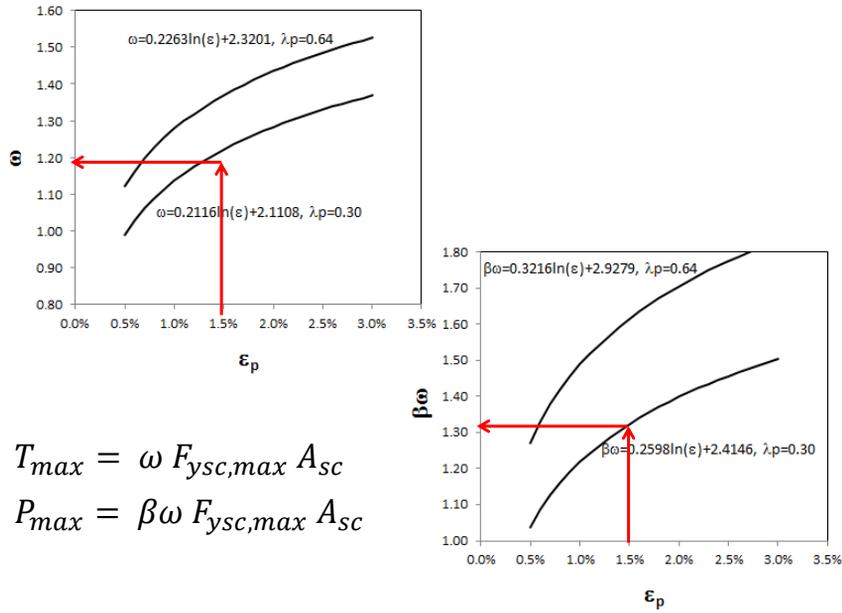
## Herramientas de Diseño

### Software Riostras F'C-BRB



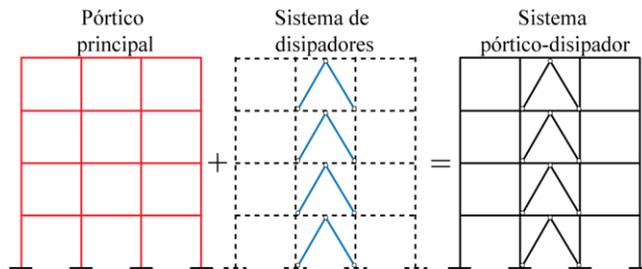
Disponible en [www.efeprimace.co](http://www.efeprimace.co)

## Factores de Ajuste de Resistencia



## Amortiguamiento

### Contribución al sistema completo



$$\beta_{V1} = \frac{1}{4\pi} \frac{\sum W_j}{W_k} \xrightarrow[n \text{ pisos}]{k \text{ dispositivos}} \beta_{V1} = \frac{1}{4\pi} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k W_j}{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [F_i \delta_i]}$$

El sistema de riostras BRB, cuando se consideran como disipadores de energía, puede contribuir fácilmente con un amortiguamiento adicional  $\beta_{V1}$  entre un 10 y 20%; puede ser mayor dependiendo del diseño.

## Estrategias de Reforzamiento

1. Reducir el peso de la estructura
2. Adicionar nuevos elementos estructurales
3. Reforzar elementos existentes
4. Reducir la energía sísmica a la estructura

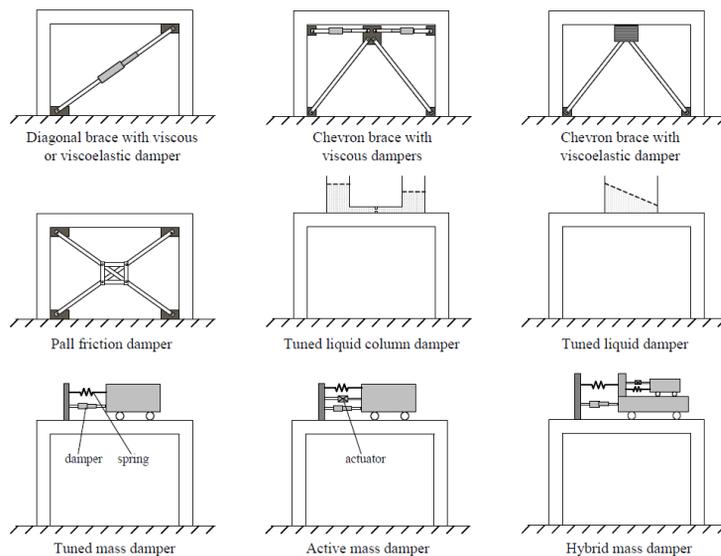
### 4. Reducir la energía sísmica a la estructura

Instalación de dispositivos de aislamiento, disipación de energía.

Control del daño sísmico estructural, disminución de trabajos de reforzamiento en la estructura, protección de contenidos valiosos, protección del patrimonio cultural.

## Estrategias de Reforzamiento

### 4. Reducir la energía sísmica a la estructura



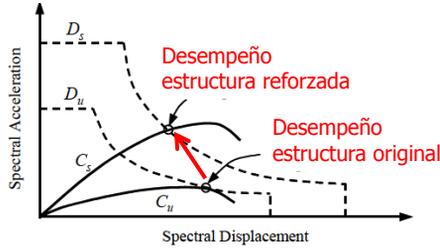
## Efecto de las Estrategias de Reforzamiento

$C_s$  = Capacity curve for strengthened structure

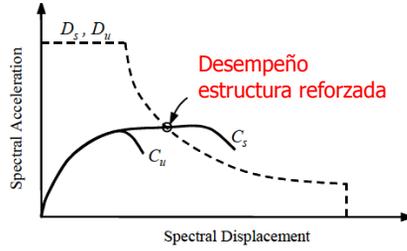
$D_s$  = Demand curve for strengthened structure

$C_u$  = Capacity curve for unstrengthened structure

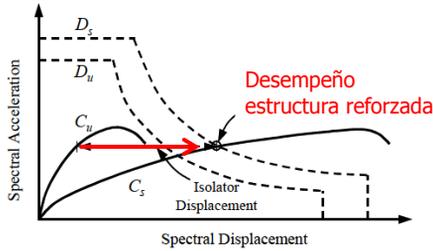
$D_u$  = Demand curve for unstrengthened structure



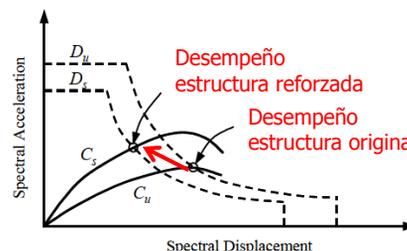
Reforzamiento estructural



Mejora de deformación(ductilidad)



Aislamiento sísmico



Disipación de energía

efe-Prima-CG



## U. of California at Berkeley

### Reforzamiento con BRBs



## Bennett Federal Bldg (Salt Lake City)

### Reforzamiento con BRBs



## Otras Aplicaciones (USA)

### Aplicación de BRBs



U. of California  
San Francisco



Kaiser Medical Center

## H. San Vicente de Paul (Med., Col)

### Reforzamiento con disipadores de fricción



- Sin suspender el servicio.
- Sin generar lucro cesante.
- 24 disipadores.
- 60 días de intervención.
- Ahorro del 33% frente sistemas convencionales.
- La alternativa convencional implicada evacuación del 46% de la edificación, 11 meses de intervención, alto lucro cesante.

Foto cortesía: Ing. Jorge Salazar

## H. San Juan de Dios (Armenia, Col)

### Reforzamiento con disipadores de fricción



Hospital San Juan de Dios  
Hospital San Juan de Dios

## H. San Juan de Dios (Armenia, Col)

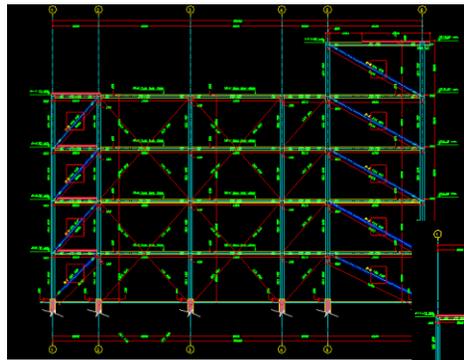
### Reforzamiento con disipadores de fricción



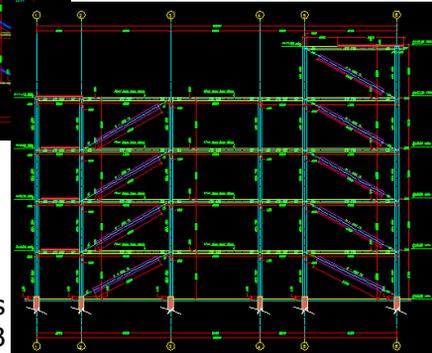
Foto cortesía: Ing. William Valencia

## GAP Ingeniería SAS (Cali, Col)

### Reforzamiento con Riostras BRB



Reforzamiento con riostras convencionales



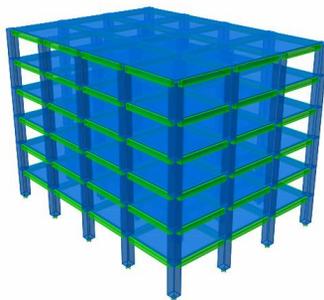
Reforzamiento con riostras F'C-BRB

## Tips Importantes para Reforzamiento

Aspecto	Muros de Concreto	Disipadores 
Duración de la intervención	Largo	Corto (reducción del 60-75%)
Costo directo	Alto	Reducción del 40% al 60%
Cantidad de demolición	Alta	Baja
Daño en acabados	Alto	Baja
Polución ambiental	Alta	Muy baja
Desempeño estructural	Bueno	Excelente
Control de daño	Aceptable*	Alto
Control de derivas	Aceptable*	Alto

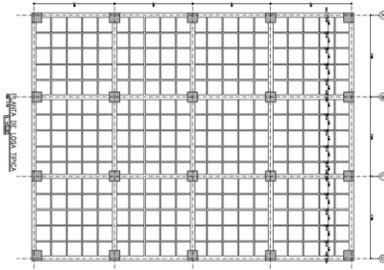
## Ejemplo de Diseño

### Hospital en Armenia (amenaza sísmica alta)



Pórticos de concreto DES

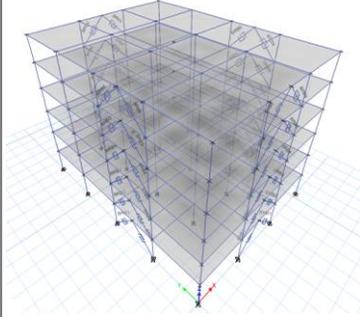
- 6 niveles
- Luces 7 x 7 m
- Altura de piso 3.50 m
- Vigas 40 x 60 cm
- Columnas 90 x 90 cm
- $R_0 = 7.0$
- $\Omega_0 = 3.0$



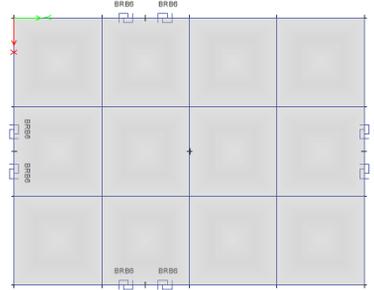
## Ejemplo de Diseño

### Hospital en Armenia

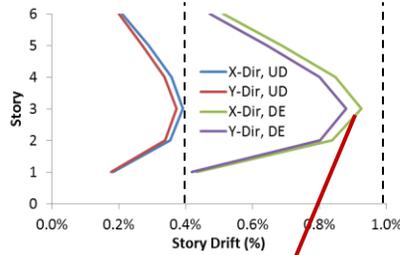
Pórticos de concreto DES + Riostras BRB



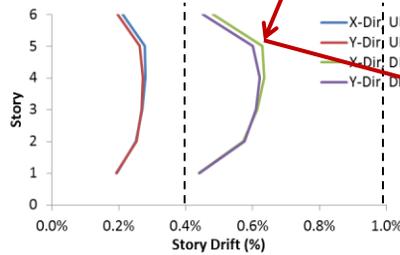
- 24 Riostras F'C-BRB en cada dir.
- **Vigas: 40 x 60 -> 40 x 55 cm**
- **Columnas: 90 x 90 -> 60 x 60 cm**
- $R_0 = 7.0$
- $\Omega_0 = 3.0$



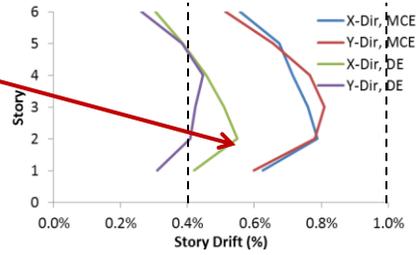
## Ejemplo de Diseño – Deriva máxima



Sistema convencional  
Pórticos DES



Como "riostros avanzadas"



Como disipadores de energía

### 3 Tips Importantes sobre BRB



En EUA las **Riostras BRB** se prefieren sobre los otros sistemas convencionales de reforzamiento (desempeño + costo)



En Colombia estamos fabricando las riostras BRB con un excelente desempeño sísmico

#### Disponibles comercialmente



En Colombia, tendremos la norma sobre aislamiento sísmico y disipación de energía para el año 2020. **Norma AIS 700-20**



CONGRESO  
INTERNACIONAL  
DE LA CONSTRUCCIÓN  
CON ACERO

2019 Medellín  
Años 19, 20 y 21



## Investigación y Desarrollo de Riostras de Pandeo Restringido BRB en Colombia

**Muchas gracias por su atención!!!**

**Juan Andrés Oviedo A., PhD**

F' C Control y Diseño de Estructuras SAS

