

ESTUDIO DE PATOLOGÍA, VULNERABILIDAD Y REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES INDISPENSABLES.

CENTRAL TELEFONICA TELEARMENIA TORRES A Y B

JOSE ANTONIO RIVERA ZULUAGA – CARLOS JULIO ARBOLEDA AUDRITO
UNIVERSIDAD DEL QUINDIO – FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

J. RIVERA
INGENIEROS

EDIFICIOS TELEARMENIA



J. RIVERA
INGENIEROS

METODOLOGIA PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD Y DETERMINAR LA NECESIDAD O NO DE REFORZAR

NSR-98 A.10 - Decreto 2809 / 2.000

**Prestandard and Commentary for the
Seismic Rehabilitation of Buildings - FEMA
356**

**Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete
Buildings - ATC 40**

**J. RIVERA
INGENIEROS**

PROCEDIMIENTO

- **RECOPIACION DE INFORMACION SOBRE LA ESTRUCTURA EXISTENTE**

- **EVALUACION DE LA ESTRUCTURA**
 - **Métodos elásticos (estáticos y dinámicos)**
 - **Métodos inelásticos (estáticos y dinámicos)**

- **ELECCION DE LA TECNICA DE REFORZAMIENTO**

**J. RIVERA
INGENIEROS**

TECNICAS DE REFORZAMIENTO

MODIFICACION GENERAL DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

- **Adición de muros estructurales**
- **Riostras metálicas**
- **Aisladores en la base**
- **Dispositivos disipadores de energía**

J. RIVERA
INGENIEROS

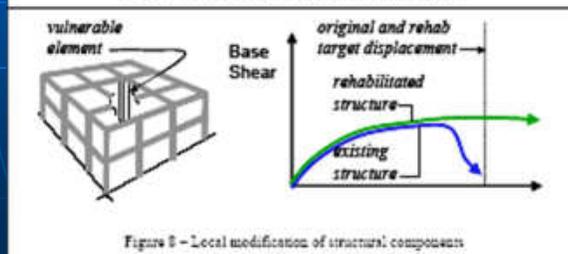
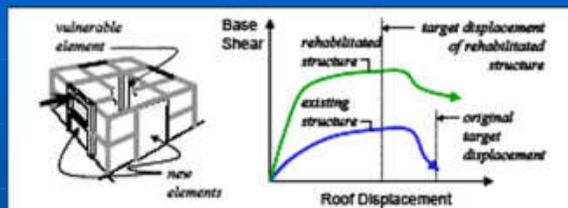
TECNICAS DE REFORZAMIENTO

REFORZAMIENTO LOCAL DE ELEMENTOS

- **Adición de concreto y acero**
- **Fibras de carbono o polímeros**
- **Encamisado de columnas y vigas**

J. RIVERA
INGENIEROS

TECNICAS DE REFORZAMIENTO



Ref: Moehle - 2.000

J. RIVERA
INGENIEROS

ASPECTOS A TENER EN CUENTA:

- **Relación costo / beneficio**
- **Disponibilidad de tecnología, mano de obra, materiales**
- **Duración del trabajo y efectos sobre la ocupación**
- **Necesidades del dueño**
- **Funcionalidad y estética**
- **Importancia histórica, social o patrimonial**

J. RIVERA
INGENIEROS

ASPECTOS A TENER EN CUENTA:

- **Compatibilidad con el sistema estructural existente**
- **Irregularidades en rigidez, resistencia o ductilidad**
- **Control de daño a elementos no estructurales**
- **Capacidad de la cimentación**

J. RIVERA
INGENIEROS

RIOSTRAS METALICAS

- **Concéntricas o excéntricas**
- **Aumentan la resistencia a carga sísmica**
- **Disminuyen la flexibilidad**
- **Al disminuir el período pueden aumentar la carga sísmica a resistir**
- **Pueden incrementar las cargas a cimentación en los apoyos cercanos**
- **Dificultad conexión acero - concreto**

J. RIVERA
INGENIEROS

RIOSTRAS METALICAS

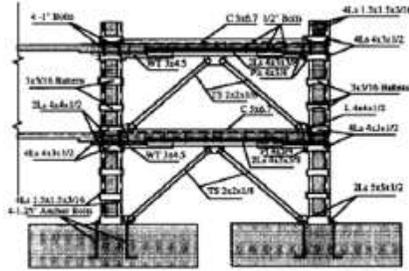


Figure 9. Layout of the braced frame (Goel and Masri 1994).

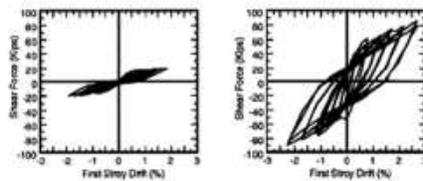


Figure 10. Hysteretic loops of the RC and braced frames (Goel and Masri 1994).

Ref: Goel and Masri - 1.996

J. RIVERA
INGENIEROS

RIOSTRAS METALICAS Y MUROS



Figura 71 – Esquema de Refuerzo Muros Interiores en Concreto

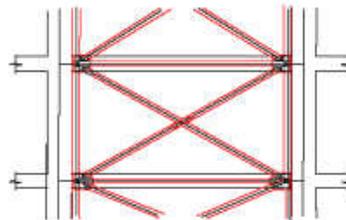


Figura 72 – Esquema de Refuerzo Diagonales Metálicas de Fachada

Ref: Cardona y otros - 2.000

J. RIVERA
INGENIEROS

- **Telearmenia**, atendiendo las recomendaciones de **La Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98)**, contrató el estudio **patología, vulnerabilidad y el reforzamiento estructural de sus edificios.**
- **Torre A - Edificación de los años 70 - Sin normativa sísmica - Edificación de 3 pisos - Pórticos de concreto reforzado - Placas Macizas - Grandes luces centrales <12 m> - Zapatas superficiales sobre lleno.**
- **Torre B - Edificación de 1.989 - Código Colombiano de Construcciones de 1.984 - Edificación de 7 pisos - Pórticos de concreto reforzado - Placas Aligeradas - Luces entre 5 y 9 m - Cimentación profunda pilas y pilotes.**

**J. RIVERA
INGENIEROS**

COMPONENTES DEL ESTUDIO

ESTUDIO TOPOGRAFICO:

Levantamiento
planimétrico
Control de nivelación
Chequeo de verticalidad

ESTUDIO DE SUELOS Y CIMENTACIONES:

Sondeos y apiques
Ensayos de laboratorio
Revisión de cimentación

MAPEO Y SANIDAD AMBIENTAL:

Mapeo de elementos estructurales
Apiques
Ensayos del concreto y del acero
Levantamiento estructural

**J. RIVERA
INGENIEROS**

COMPONENTES DEL ESTUDIO

ANALISIS DE VULNERABILIDAD:

Indices de sobre esfuerzo
Indices de flexibilidad
Indices de vulnerabilidad

DISEÑO DEL REFORZAMIENTO:

Memorias y planos estructurales

ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION

CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

J. RIVERA
INGENIEROS

Telearmenia Torre A-B, luego del sismo de 1999



■ Elementos NO estructurales



J. RIVERA
INGENIEROS

DAÑOS EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES



J. RIVERA
INGENIEROS

TORRE B – 7 PISOS



Vista Fachada principal Edificio Telearmenia Torre B

J. RIVERA
INGENIEROS

Levantamiento Arquitectónico y Topográfico



J. RIVERA
INGENIEROS

La arquitectura coincidía con lo establecido en planos

Estudio de suelos y cimentaciones



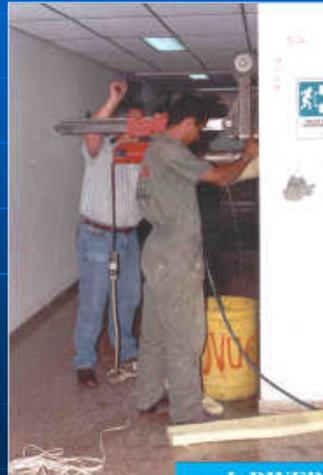
Torre A zapatas – Torre B Pilotes

J. RIVERA
INGENIEROS

ESTUDIO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL

Sanidad y Mapeo Estructural Torre A-B

- Extracción de núcleos
- Carbonatación
- Resistencia del concreto
- Resistencia del acero
- Verificación de cuantías de refuerzo
- Geometría de Vigas / Columnas / Viguetas
- Orientación de la placa



J. RIVERA
INGENIEROS

DATOS DE LA PATOLOGÍA

TORRE B

- Concreto de 3.500 psi vs 3.000 psi
- Geometría coincide con planos
- Disposición de refuerzo coincide con planos
- Concreto sano

- Buena calidad de la construcción
- Interventoría técnica buena
- La obra construida coincide con la especificada en los planos



J. RIVERA
INGENIEROS

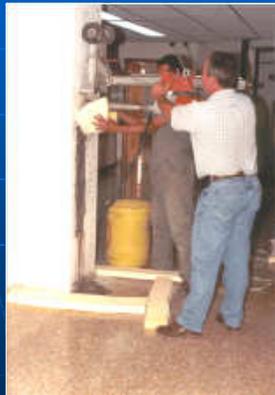
GRANDES ESPESORES DE ACABADOS



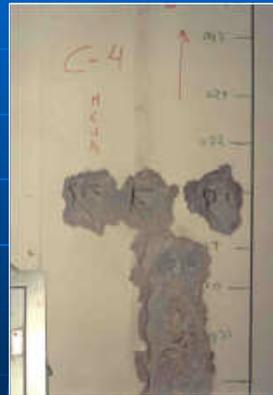
•**SOBRE ESPESORES DE PISOS**
INCREMENTO DE LA CARGA MUERTA
REDUCCION DE LA CAPACIDAD DE LOS
ELEMENTOS

J. RIVERA
INGENIEROS

Ensayos realizados: mapeo del acero, esclerometría y ultrasonido, regatas de inspección, toma de núcleos de concreto, pruebas al acero, levantamiento de fisuras, grietas y averías.



Toma de Núcleos



Mapeo de refuerzo

J. RIVERA
INGENIEROS

SE PUEDE OBTENER:

- Capacidad de los elementos
- Modelación de la estructura
- Indices demanda / capacidad
- Indices de resistencia
- Indices de flexibilidad

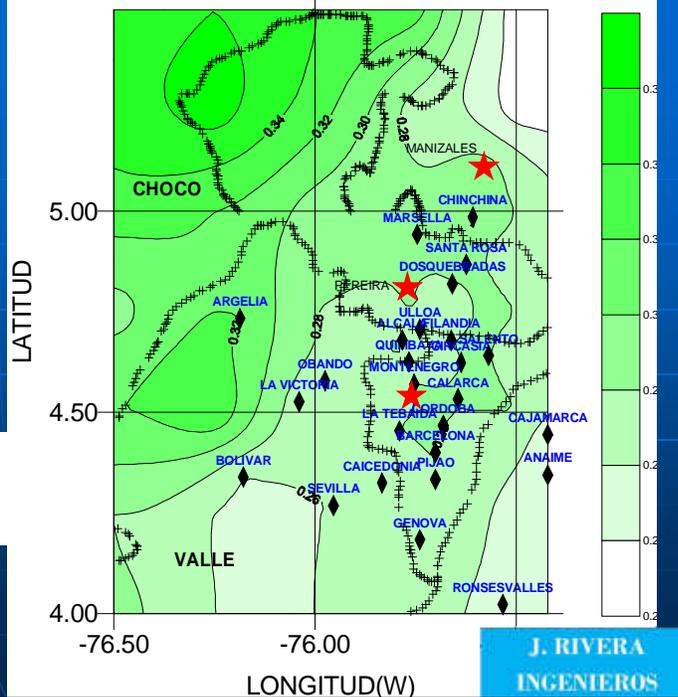


**J. RIVERA
INGENIEROS**

**AMENAZA
SISMICA**

Aa=.28 g

MAPA DE ISOACELERACIONES
EJE CAFETERO
MODELO LINEA FUENTE
q=0.10 Q=50 Años
Periodo de Retorno 475 Años



**J. RIVERA
INGENIEROS**

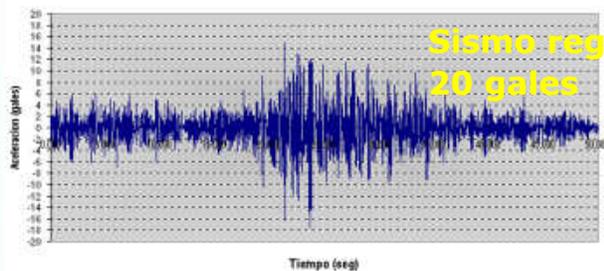
INFORMACION SISMICA

- Red Nacional de Acelerógrafos (RNA)
- Sismos registrados en las Estaciones de Calarca (roca) y la Universidad del Quindío (suelo).
- Armenia 1997 Roca
- Armenia 25 de enero de 1999 Superficie
- Falla del Sistema Romeral
- Sismos de Subducción.

- Sismo de 1.997 en roca ESCALADO
- Sismo de 1.999 en superficie DECONVOLUCION
- Los dos sismos se subieron a superficie en Telearmenia

J. RIVERA
INGENIEROS

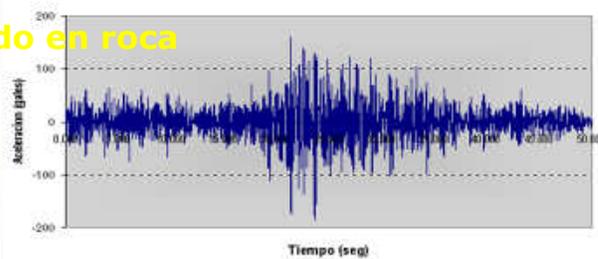
SISMO DE ARMENIA 1997 EN ROCA



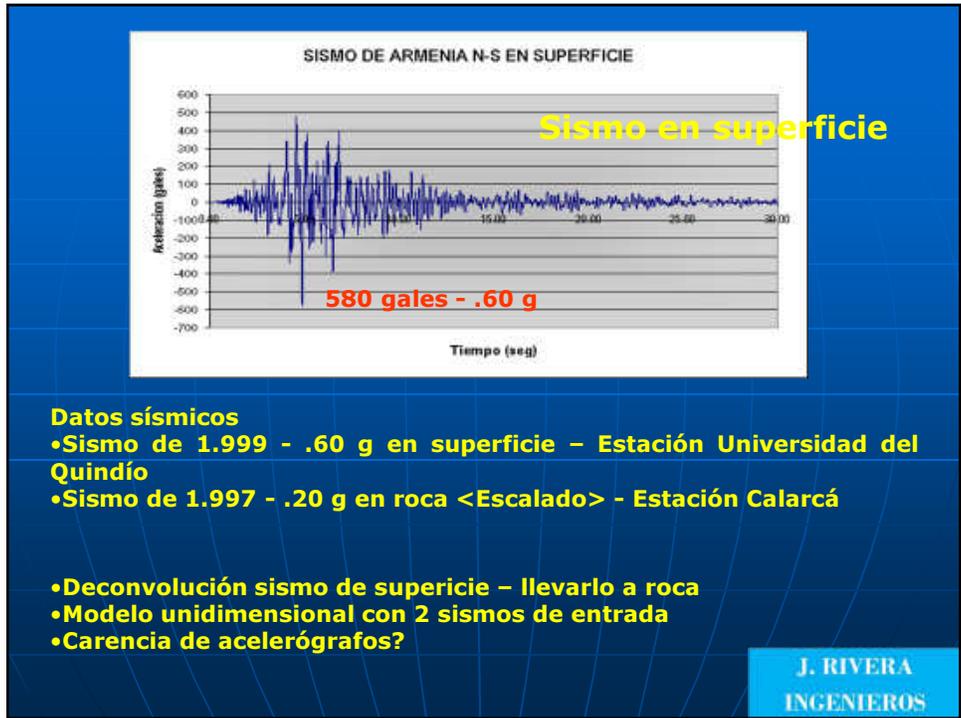
Sismo registrado en roca
20 gales

J. RIVERA
INGENIEROS

SISMO DE ARMENIA 1997 EN ROCA ESCALADO A 186 GALES
EN ACELERACION PICO



Sismo escalado en roca
186 gales

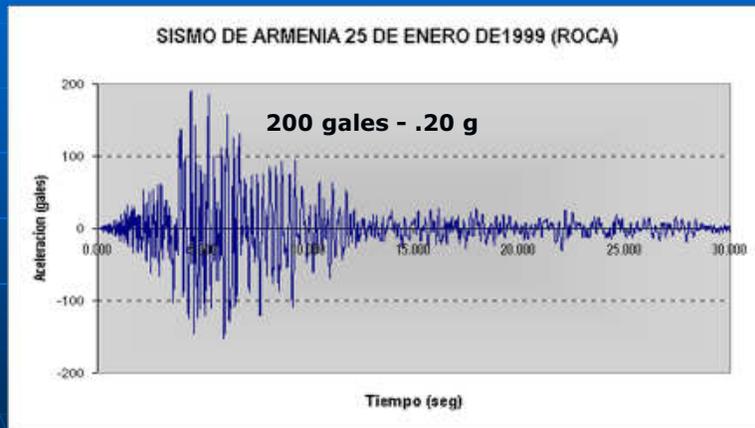


Perfil Columna de suelo Uniquindío

CAPA	PROF.	DESCRIPCION	IP (%)	Peso Unit (ton/m ³)	Vs (m/seg)
1	0-7	Limo arenoso	20	1.6	150
2	7-10	Limo arenoso	80	1.5	150
3	10-13	Limo Areno arcilloso	100	1.4	150
4	13-18	Arcilla limosa con Gravas	30	1.6	200
5	18-22	Arena Limo gravosa	20	1.6	500
6	22-25	Limo Areno arcilloso	30	1.5	500
7	25-27	Limo Areno arcilloso con gravas	40	1.5	610
8	+27	Roca	-	2	1300

**J. RIVERA
INGENIEROS**

Deconvolución sismo en superficie

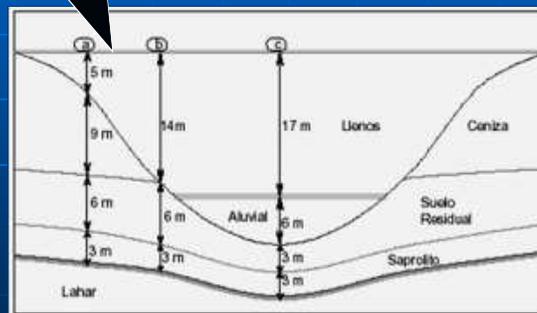


J. RIVERA
INGENIEROS

COLUMNA DE SUELO - TELEARMENIA

EDIFICIOS TELEARMENIA

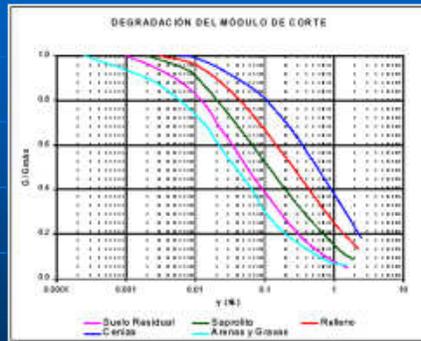
- Quebrada Armenia
- Zona de Llenos
- Profundidad Variable
- Resonancia
- Período suelo/estructura
- Amplificación



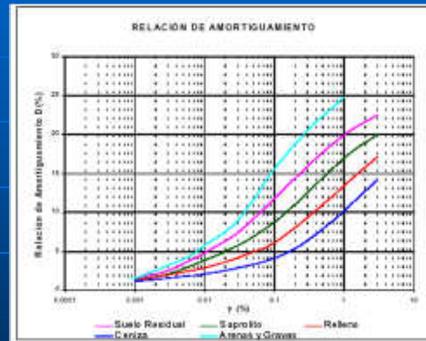
J. RIVERA
INGENIEROS

ENSAYOS DINAMICOS COLUMNA DE SUELO

MODULO DE CORTE



AMORTIGUAMIENTO



J. RIVERA
INGENIEROS

PARAMETROS DE LA COLUMNA DE SUELO

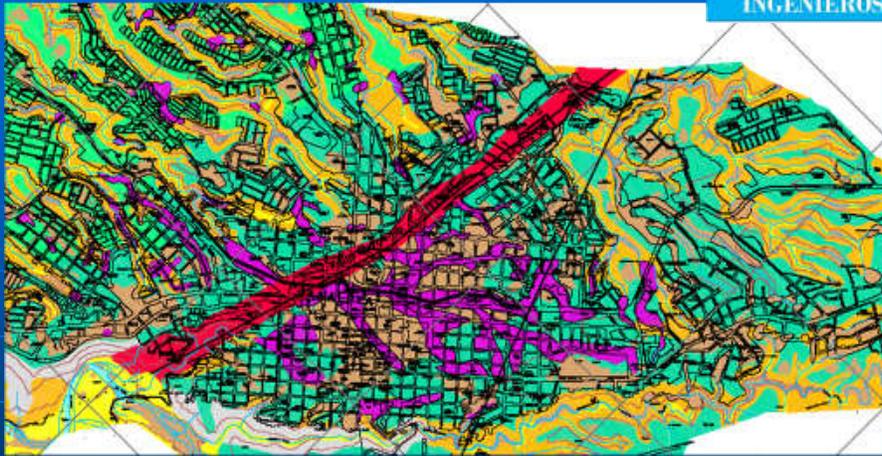
- Velocidad de onda de corte baja
- Período de la columna de suelo
- Profundidad relativamente pequeña
- Modelo unidimensional

DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD(M)	PESO UNIT. (TON/M ³)	Vs(M/SEG)
Lleno	0-7	1.4	70
Ceniza	7-15	1.45	150
S. Residual	15-21	1.5	320
Saprofito	21-24	1.75	400

J. RIVERA
INGENIEROS

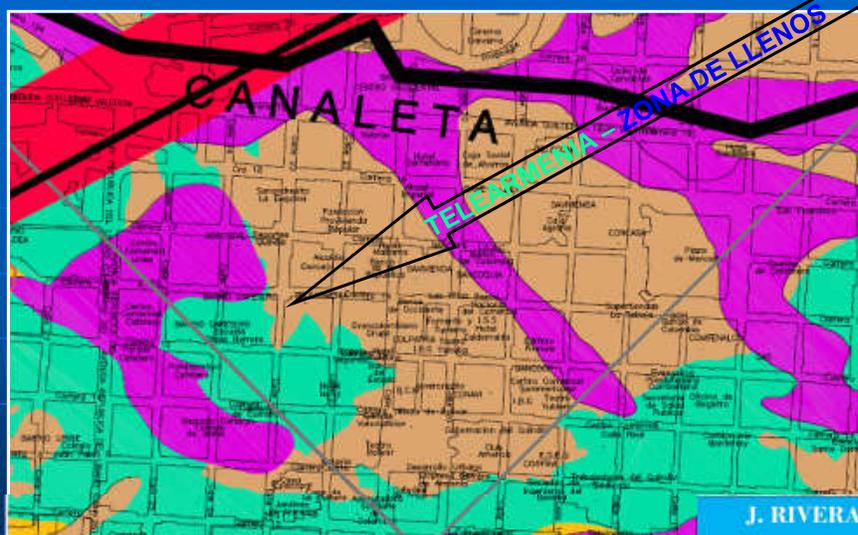
UBICACIÓN ESPACIAL

J. RIVERA
INGENIEROS



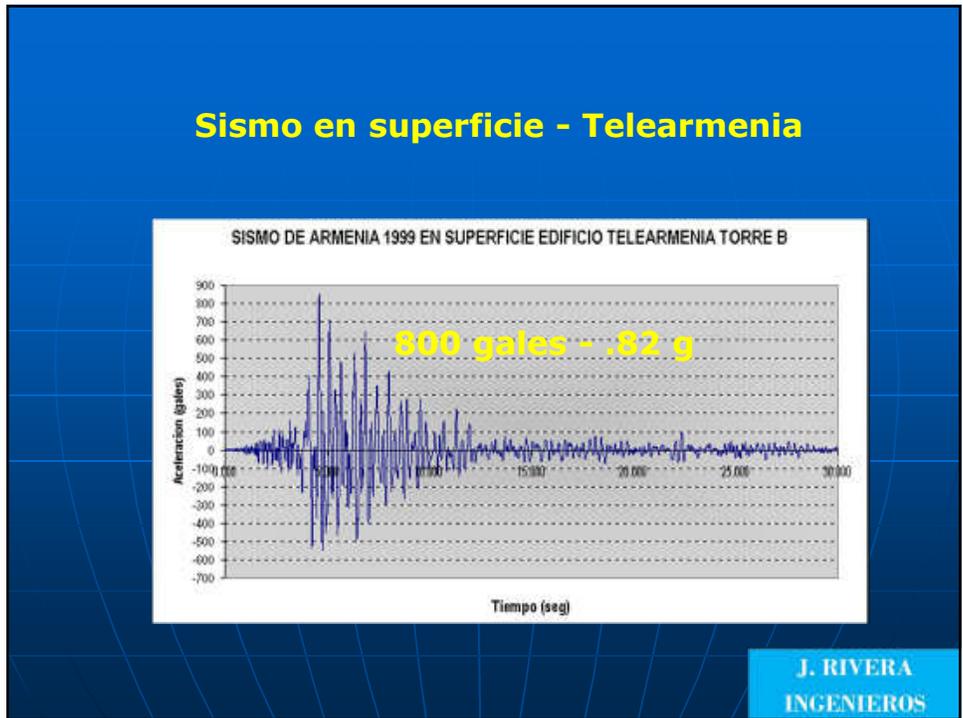
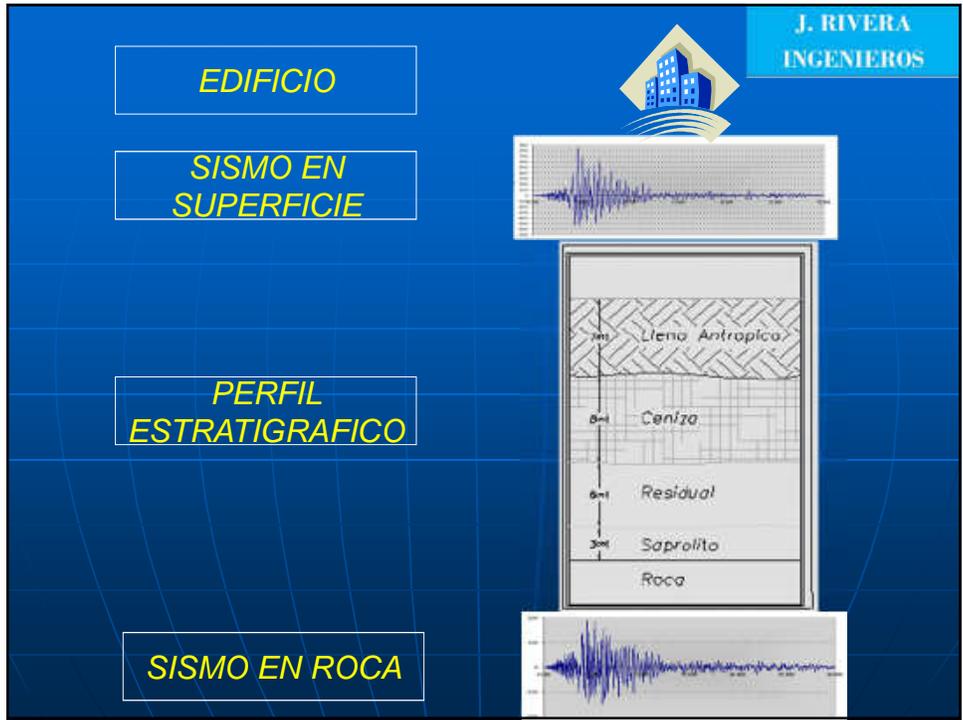
- ZONA 2 - CENIZAS 2** - (Incluye tipo de Cenizas 2 y 3), con espesores mayores o iguales a 13m en zonas de pendiente moderada. Amplificaciones medias a altas. Debe emplearse el espectro de diseño para la Zona 2.
- ZONA 3 - LLENOS 1** - Llenos mecánicos (Material VII) con espesores menores de 6m sobre por lo menos 1m de cenizas volcánicas (Material I) y llenos naturales (Material X), ubicados en zonas de pendiente moderada. Amplificaciones elevadas. Debe emplearse el espectro de diseño para la Zona 3.
- ZONA 4 - LLENOS 2** - (Incluye Llenos 2 y 3), Llenos mecánicos (Material VII) con espesores superiores a 6m, ubicados en zonas de pendiente moderada sobre materiales residuales (Material II), flujos volcánicos (Material IV) o materiales aluviales (Materiales VI o VII). Amplificaciones medias a bajas. Debe emplearse el espectro de diseño para la Zona 4.

CARACTERIZACION GEOTECNICA

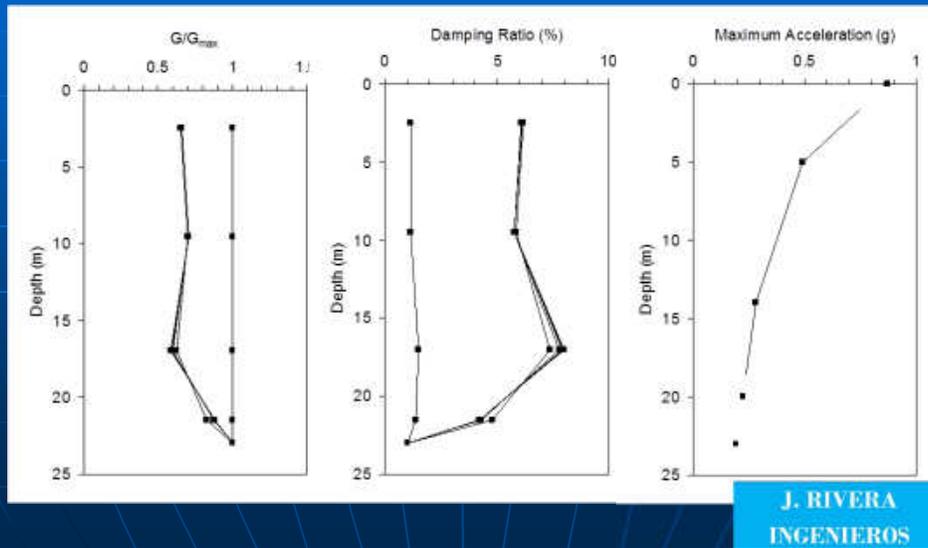


J. RIVERA
INGENIEROS

- ZONA 3 - LLENOS 1** - Llenos mecánicos (Material VII) con espesores menores de 6m sobre por lo menos 1m de cenizas volcánicas (Material I) y llenos naturales (Material X), ubicados en zonas de pendiente moderada. Amplificaciones elevadas. Debe emplearse el espectro de diseño para la Zona 3.

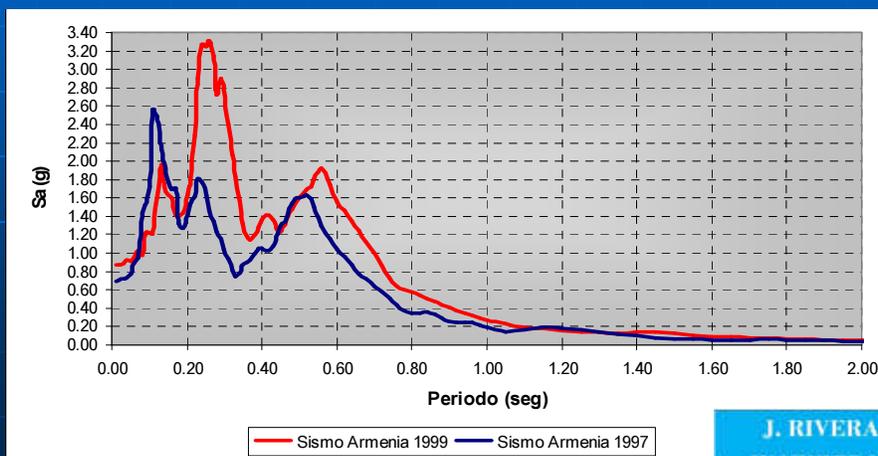


PARAMETROS DE SUELO T = 0.44 seg



Espectro de respuesta de la zona - Telearmenia

- Amortiguamiento 5%
- Señal en superficie de los 2 sismos
- Grandes amplificaciones
- 2 picos - T = .30 seg - T = .58 seg



Espectros de Fourier



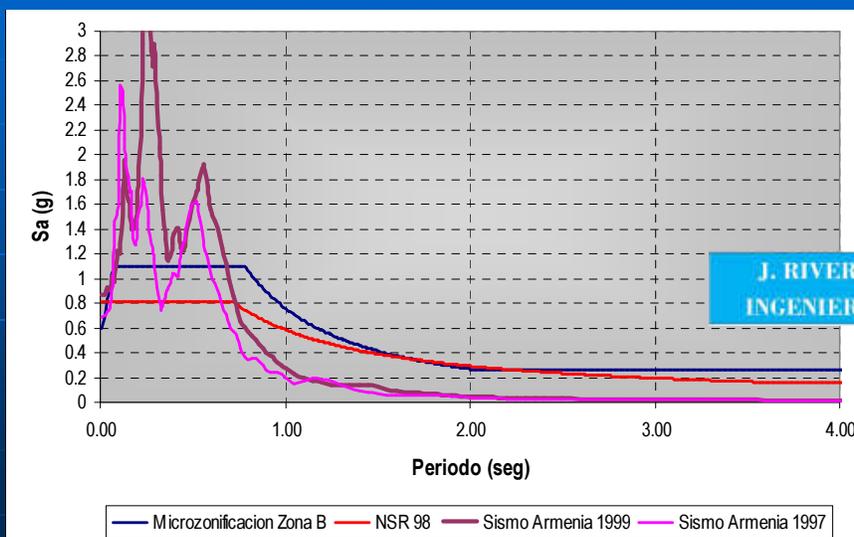
Energía Periodo
0.58 seg
T_{edf}: 2.48 seg

Energía Periodo
0.53 seg

J. RIVERA
INGENIEROS



Espectro de respuesta vs. Espectro de diseño de NSR-98 vs Microzonificación Armenia



J. RIVERA
INGENIEROS

Qué se tiene hasta el momento ?

- Geometría
- Cantidad de refuerzo y disposición
- Cargas actuantes verticales
- Espectros de respuesta y diseño en el sitio
- Acelerogramas en superficie

Tenemos lo necesario para analizar la VULNERABILIDAD DE LA ESTRUCTURA

- PROCEDEMOS A CONSTRUIR EL MODELO PARA IDENTIFICAR POSIBLES DEFICIENCIAS

J. RIVERA
INGENIEROS

MODOS DE VIBRACION

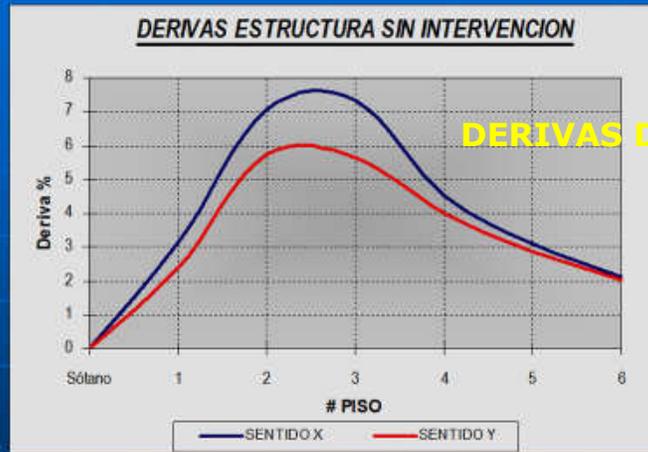
MODO	PERIODO (SEG)	FRECUENCIA
1	2.48	0.4
2	1.95	0.51
3	1.71	0.59
4	0.67	1.5
5	0.56	1.78
6	0.47	2.13
7	0.42	2.38
8	0.36	2.75
9	0.3	3.36
10	0.29	3.47

Período fundamental de la estructura de 2.48 seg
Relación rigidez / masa desproporcionado
Excesiva flexibilidad
Efectos de segundo orden elevados
DERIVAS ?

ESTA ESTRUCTURA TIENE PROBLEMAS?

J. RIVERA
INGENIEROS

DERIVAS CON LA NSR-98 – ANALISIS ESPECTRAL

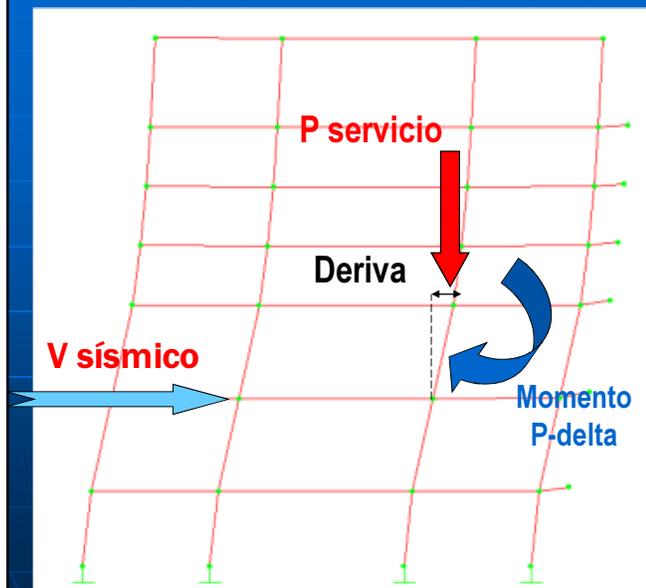


DERIVAS DE 8%!

- Excesivo desplazamiento lateral
- Daño en elementos No estructurales
- SE DEBE RIGIDIZAR

J. RIVERA
INGENIEROS

EFECTO P-DELTA



- AUMENTO DE FUERZAS
- DAÑOS MUROS
- VOLCAMIENTO
- DESPLAZAMIENTOS

J. RIVERA
INGENIEROS

Modelación Espectro de respuesta del sismo de 25 de enero de 1999



- No es tan crítico – $T_{suelo}=0.44$ seg
- Espectro con aceleraciones altas en períodos bajos – $T_{edf}=2.48$ seg
- DERIVAS DE 2.5%

J. RIVERA
INGENIEROS

Índices de Flexibilidad, Sobre esfuerzo y Vulnerabilidad

Evaluación con el espectro de la NSR 98

NIVEL	DERIVA X (%)	DERIVA Y (%)	ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD
Sótano	0	0	0
1	3.15	2.39	3.15
2	7.07	5.74	7.07
3	7.35	5.67	7.35
4	4.54	3.98	4.54
5	3.1	2.87	3.1
6	2.1	2.01	2.1

MUY ELEVADO



J. RIVERA
INGENIEROS

Índices de Sobre esfuerzo Estructura sin Intervenir

VIGA EJE 1 PISO 1 (A-B)

(D/C)	
M izq. (-)	chk
M der (-)	chk
M eje (+)	0.47
V izq	chk
V eje	chk
V der	chk

VIGA EJE 1 PISO 2 (A-B)

(D/C)	
M izq. (-)	chk
M der (-)	chk
M eje (+)	0.47
V izq	chk
V eje	chk
V der	chk

VIGA EJE 1 PISO 3 (A-B)

(D/C)	
M izq. (-)	chk
M der (-)	chk
M eje (+)	0.47
V izq	chk
V eje	chk
V der	chk

VIGA EJE 2 PISO 1 (B-C)

(D/C)	
M izq. (-)	chk
M der (-)	chk
M eje (+)	0.91
V izq	chk
V eje	chk
V der	chk

VIGA EJE 2 PISO 2 (B-C)

(D/C)	
M izq. (-)	chk
M der (-)	chk
M eje (+)	0.91
V izq	chk
V eje	chk
V der	chk

VIGA EJE 2 PISO 3 (B-C)

(D/C)	
M izq. (-)	chk
M der (-)	chk
M eje (+)	0.91
V izq	chk
V eje	chk
V der	chk

**75% de elementos
NO APTOS**

**Falla compresión
Cuantía > .75 RoBal**

**Falla Corte
Falla súbita**

**Ductilidad
R
Articulaciones
Disipación Energía**

**J. RIVERA
INGENIEROS**

CALCULO DE VULNERABILIDAD SEGUN A.10.8

HIPOTESIS DE SECUENCIA DE FALLA:

- a) Falla de vigas de carga en sentido Y
- c) Falla de columnas de piso 1

INDICE DE SOBRE ESFUERZO GENERAL DE LA EDIFICACION:

Tomando como elementos mas importantes las columnas y las vigas de carga

Índice de sobre esfuerzo	3.67	
Vulnerabilidad	0.27	VULNERABLE

INDICE DE FLEXIBILIDAD GENERAL DE LA EDIFICACION:

Índice de flexibilidad	7.35	
Vulnerabilidad	0.14	MUY VULNERABLE

**EDIFICACION VULNERABLE
COLAPSO DE COLUMNAS ANTES QUE VIGAS
GRAN FLEXIBILIDAD
POSIBILIDAD DE COLAPSO PARA SISMOS MODERADOS Y FUERTES
POCA DISIPACION DE ENERGIA**

ES NECESARIA LA INTERVENCION DE LA EDIFICACION

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE REFORZAMIENTO

- **OPCIONES**
 - ENCAMISADO DE COLUMNAS Y VIGAS
 - MUROS ESTRUCTURALES
 - FIBRAS DE CARBONO
 - ARRIOSTRAMIENTO METALICO
- **RESTRICCIONES**
 - LA PLANTA NO PUEDE SALIR DE OPERACION
 - RUIDO
 - INTERVENCION LIMPIA
 - COSTO

J. RIVERA
INGENIEROS

QUE SISTEMA DE REFORZAMIENTO SE ESCOGE?

- ENCAMISADO DE COLUMNAS Y VIGAS - GRAN AFECTACION
- MUROS ESTRUCTURALES EFICIENTES PERO GENERA TRAUMATISMO EN LA OPERATIVIDAD
- FIBRAS DE CARBONO REFUERZO SECUNDARIO
- ARRIOSTRAMIENTO METALICO SISTEMA ELEGIDO

**EL EDIFICIO SE REFORZARA CON
ARRIOSTRAMIENTOS METALICOS
CONCENTRICOS**

J. RIVERA
INGENIEROS

ENCAMISADO COLUMNAS



**J. RIVERA
INGENIEROS**

PANTALLAS



**J. RIVERA
INGENIEROS**

PANTALLAS



**J. RIVERA
INGENIEROS**

ENCAMISADO COLUMNAS



**J. RIVERA
INGENIEROS**

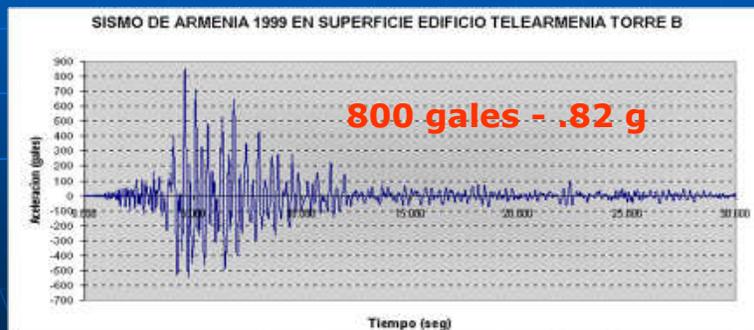
ENCAMISADO VIGAS



J. RIVERA
INGENIEROS

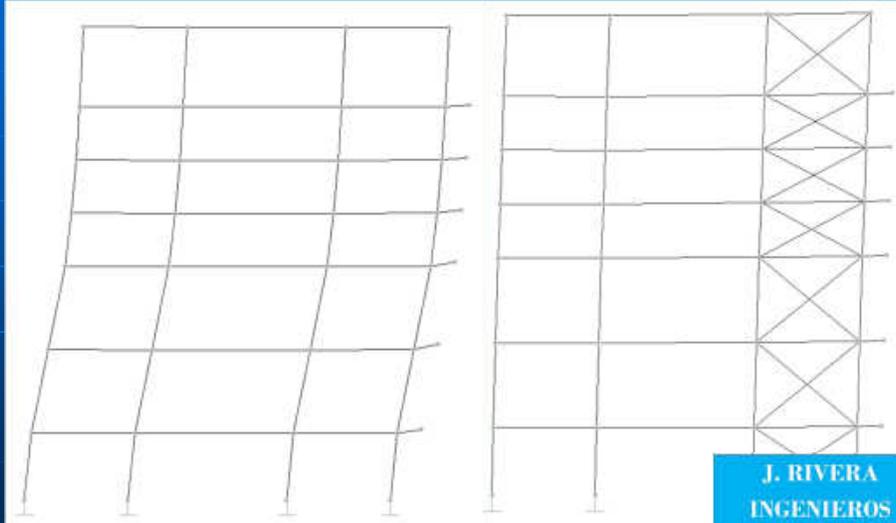
Modelación estructural cronológica elástica con el sismo de 1.999

- Señal en superficie
- Amplificación elevada
- Modos de vibración
- Ecuaciones desacopladas
- Fuerzas en cada tiempo como contribución de todos los modos



J. RIVERA
INGENIEROS

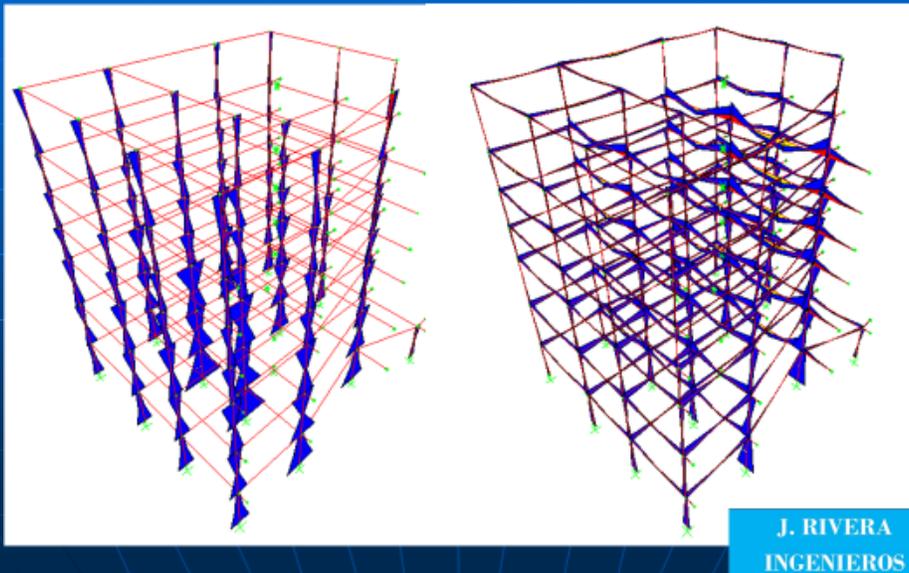
Reducción de la flexibilidad



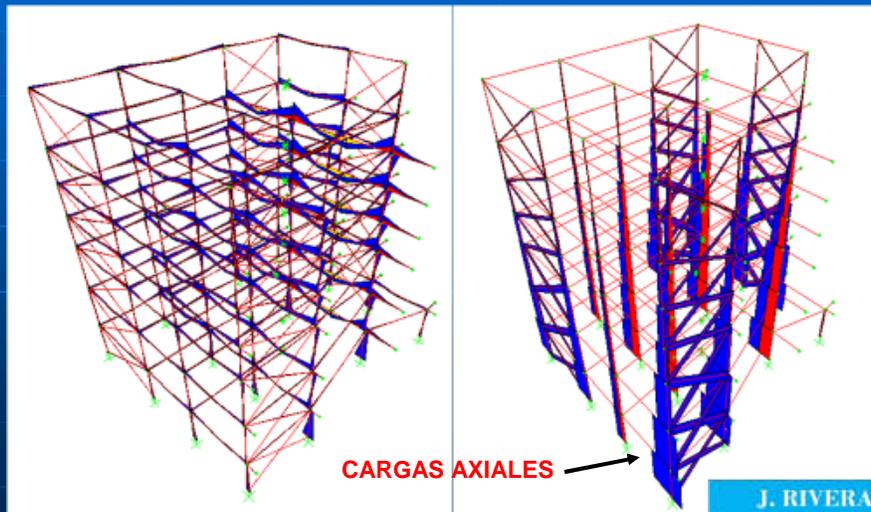
Sin intervención

Con arriostramiento

ENVOLVENTE DE MOMENTOS EDIFICACION SIN INTERVENCION

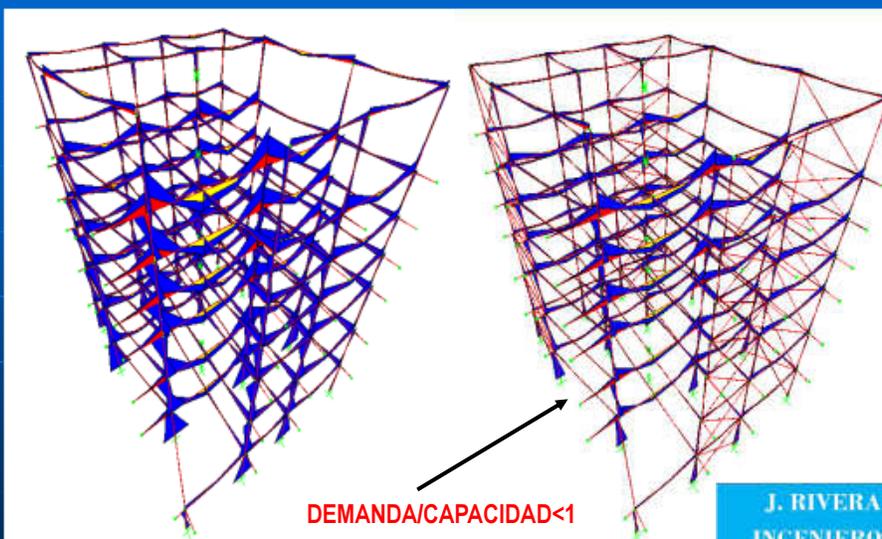


ENVOLVENTE DE MOMENTOS Y AXIALES CON ARRIOSTRAMIENTO



J. RIVERA
INGENIEROS

REDUCCION DE DEMANDAS



SIN RIOSTRAS

CON RIOSTRAS

J. RIVERA
INGENIEROS

ARRIOSTRAMIENTO METALICO



J. RIVERA
INGENIEROS

ARRIOSTRAMIENTO METALICO



J. RIVERA
INGENIEROS

ESPECIFICACIONES

- Tubo de 260x260x11 mm (A-500C)
- Cartelas de 1" extremos
- Pernos 1" grado 8 - <A-490> extremos
- Cartelas de 5/8" nudo central
- Pernos 3/4" grado 8 - <A-490> nudo central



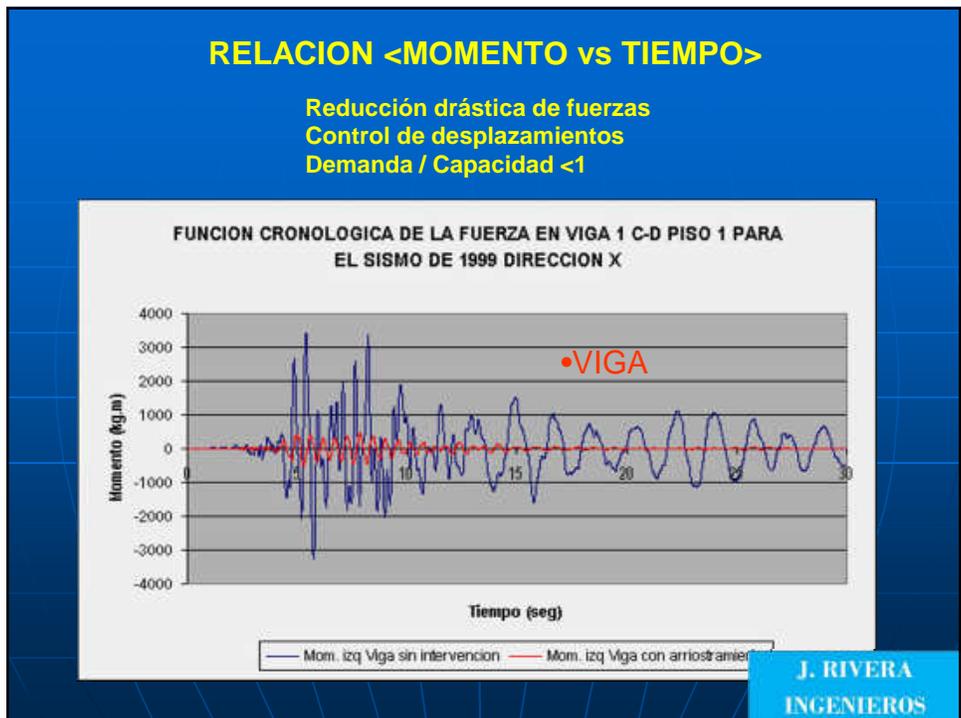
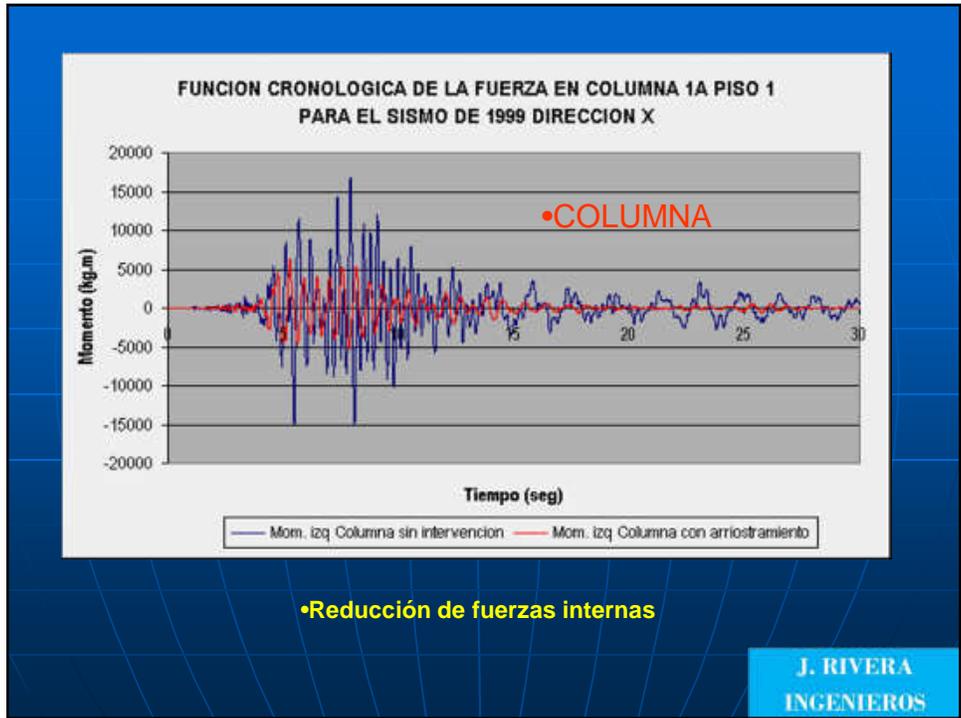
J. RIVERA
INGENIEROS

MODOS DE VIBRACION DE LA ESTRUCTURA INTERVENIDA

MODO	PERIODO (SEG)	FRECUENCIA
1	0.89	1.12
2	0.88	1.13
3	0.57	1.75
4	0.23	4.33
5	0.23	4.42
6	0.15	6.7
7	0.12	8.2
8	0.12	8.3
9	0.12	8.41
10	0.11	9.09

- **Período de 0.89 seg vs 2.48 seg**
- **Desplazamientos laterales adecuados**
 - **Efectos de segundo orden**

J. RIVERA
INGENIEROS



Demanda / capacidad en los elementos estructurales

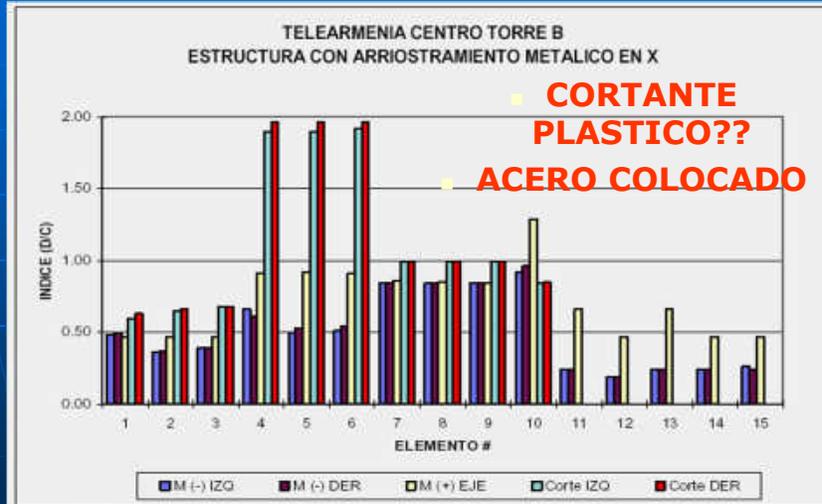
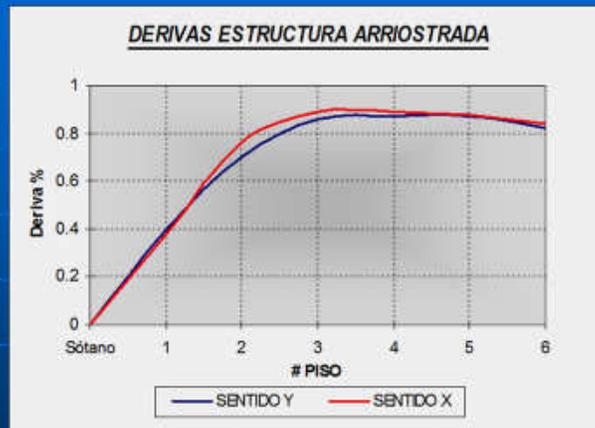


Figura 19. Índices de sobre esfuerzo de los elementos estructurales de la edificación con arriost

**J. RIVERA
INGENIEROS**

Derivas Arriostramiento



- Valores menores al 1% - OK
- Reducción de daño en elementos NO estructurales

**J. RIVERA
INGENIEROS**



ARQUITECTURA - INGENIERIA

SE VE BIEN!



J. RIVERA
INGENIEROS

NUDO CENTRAL RIOSTRAS



J. RIVERA
INGENIEROS



NUDO CENTRAL RIOSTRAS



J. RIVERA
INGENIEROS



EXTREMO RIOSTRAS



J. RIVERA
INGENIEROS

REFORZAMIENTO CON PANTALLAS

Aplicable en algunos casos!!!



J. RIVERA
INGENIEROS

PROBLEMAS DE LA INSTALACION

- ACERO EXISTENTE COLUMNA / VIGA
- ESCANEO DE CADA SITIO
- EFECTIVIDAD DEL ESCANER
- TIPOLOGIA DIFERENTE
- PLANTILLA UNICA PARA CADA NUDO
- FABRICACION



J. RIVERA
INGENIEROS

PLANOS ESTRUCTURALES

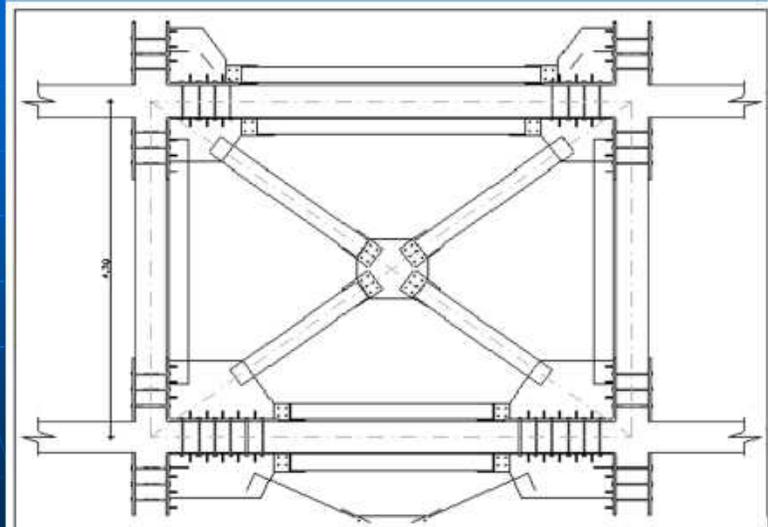
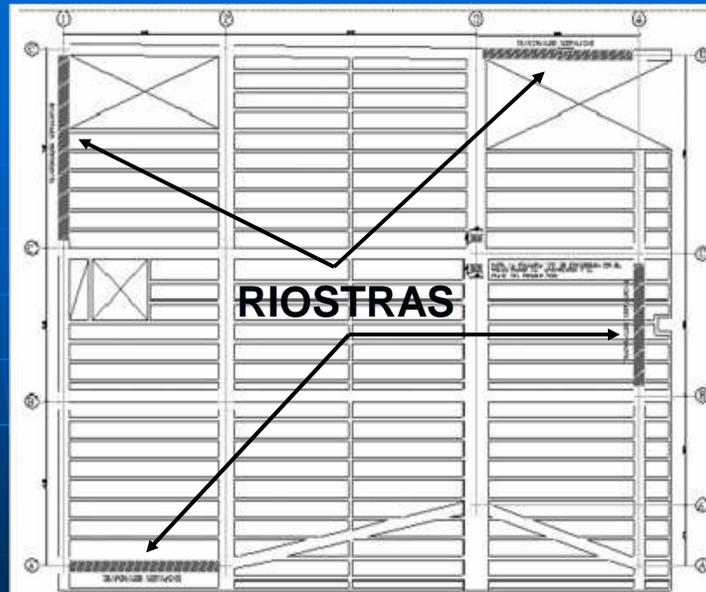


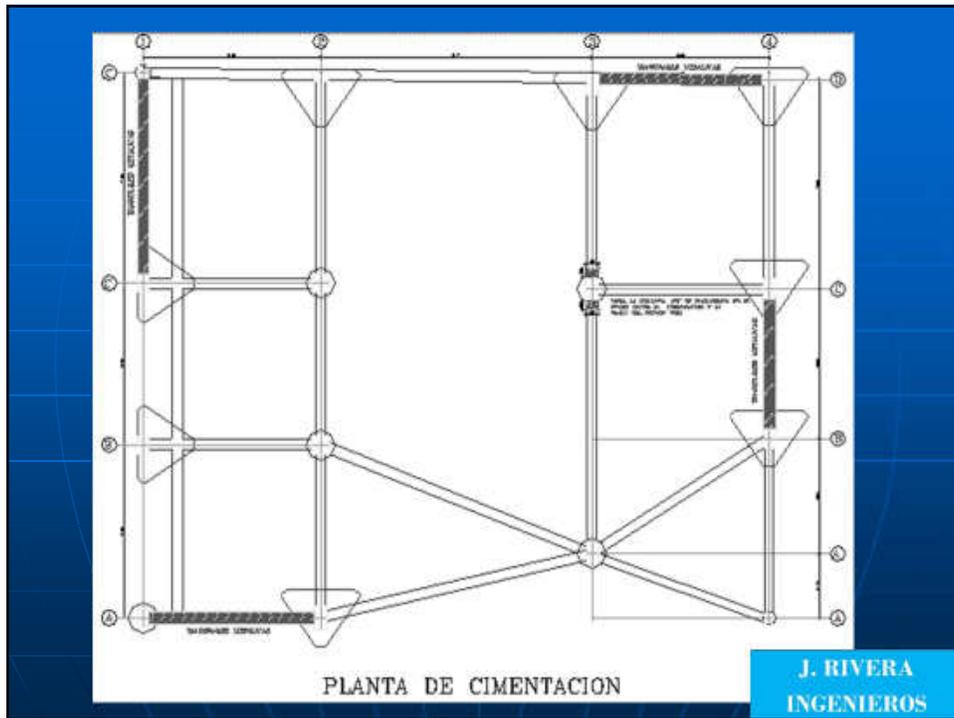
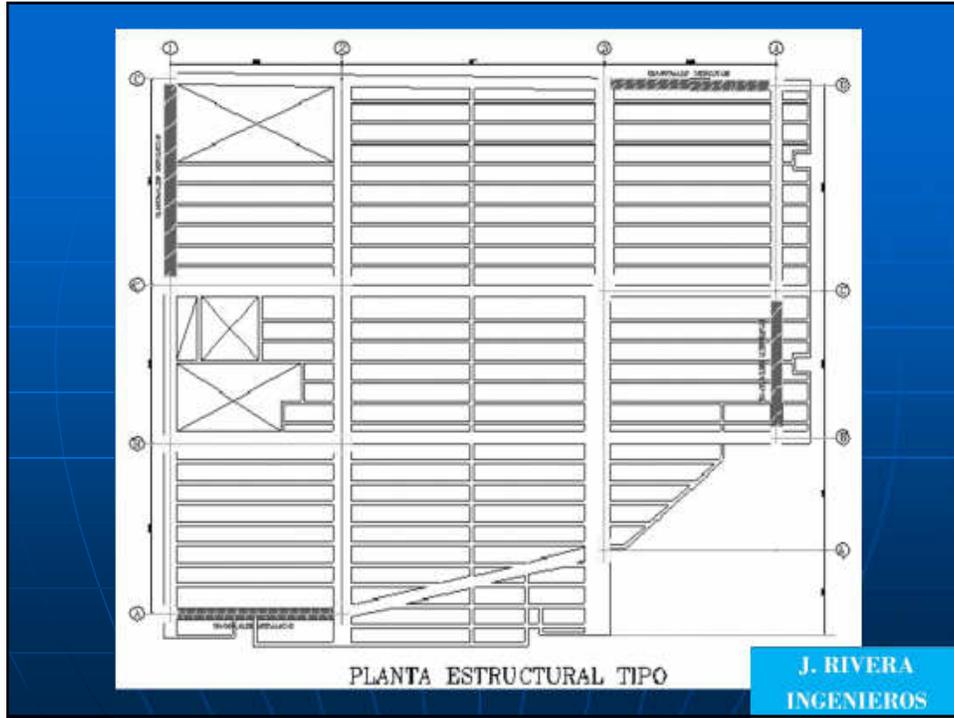
Figura 21. Amostramiento metálico concéntrico

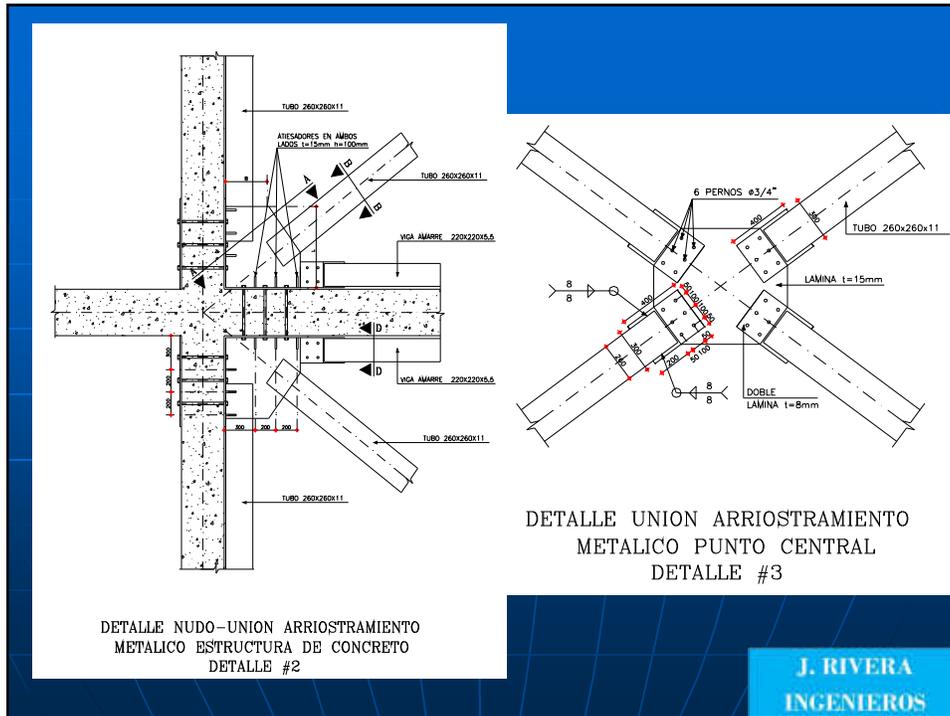
J. RIVERA
INGENIEROS



PLANTA ESTRUCTURAL 1 PISO

J. RIVERA
INGENIEROS





CONCLUSIONES

- El reforzamiento es un método efectivo para reducir el riesgo en estructuras deficientes.
- Existen varias técnicas de rehabilitación, debe escogerse la más apropiada.
- Se requiere saber cómo está construido el edificio, hacer un análisis sísmico apropiado y seleccionar el método de reforzamiento.
- Deben considerarse otros aspectos diferentes a los meramente técnicos.

J. RIVERA
INGENIEROS