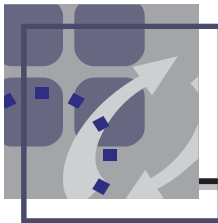

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**“Comportamiento sísmico de
puentes irregulares con
dispositivos elasto-plásticos”**

Presenta:

Efrain González Sánchez

Para obtener el título de Ingeniero Civil

Asesor:

Dr. José Manuel Jara Guerrero

Agosto 2008

ÍNDICE

Capítulo I. CLASIFICACIÓN DE DISPOSITIVOS DE CONTROL	2
1.1 Sistemas de control pasivo	2
1.1.1 Dispositivos de aislamiento de base	3
1.1.1.1 Apoyos elastoméricos laminados	3
1.1.1.2 Apoyos deslizantes	5
1.1.2 Dispositivos disipadores pasivos de energía	6
1.1.2.1 Amortiguadores por fluencia de metales	7
1.1.2.2 Amortiguadores por fricción	11
1.1.2.3 Amortiguadores por extrusión	11
1.1.2.4 Amortiguadores viscoelásticos	12
1.1.2.5 Amortiguadores con fluidos viscosos	14
1.1.2.6 Amortiguadores de masa sincronizada	15
1.1.2.7 Amortiguadores de liquido sincronizado	16
1.2 Sistemas de control activo	17
1.2.1 Sistema amortiguador de masa activa	18
1.2.2 Sistema amortiguador de tendones activos	18
1.3 Sistemas de control híbrido y semiactivo	19
1.3.1 Sistemas híbridos de amortiguadores de masa	19
1.3.2 Amortiguadores semi-activos con fluidos controlables	20
Capítulo II. DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO	22
2.1 Comportamiento del aislamiento sísmico	22
2.1.1 Comportamiento mecánico de aisladores elastoméricos	22
2.2 Comportamiento mecánico de dispositivos de disipación por fluencia de metales	25
2.3 Comportamiento dinámico de sistemas con aislamiento sísmico	27
2.3.1 Formulación de conservación de la energía	30
2.4 Dispositivo propuesto	32

Capítulo III. MODELADO DE PUENTES	35
3.1 Dimensiones	35
3.2 Sistemas de control de vibraciones empleados	37
3.2.1 Dispositivos de aislamiento de base	37
3.2.2 Dispositivos de disipación de energía por fluencia de metales	38
3.3 Cargas aplicadas a la estructura	40
3.3.1 Análisis de cargas muertas	40
3.3.2 Cargas vivas y vehículos de diseño	41
3.3.3 Espectros de diseño sísmico	42
3.4 Consideraciones adicionales	43
Capítulo IV. DESCRIPCIÓN DE SEÑALES SÍSMICAS	45
Capítulo V. ANÁLISIS DE RESULTADOS	65
5.1 Disipación de energía	65
5.2 Desplazamientos del cabezal	65
5.3 Fuerzas horizontales en el cabezal	65
5.4 Gráficos de porcentaje de energía disipada (registros sísmicos zona D)	70
5.5 Gráficos de desplazamientos horizontales en el cabezal (registros sísmicos zona D)	76
5.5.1 Cabezal de Pila 2	78
5.5.2 Cabezal de Pila 3	85
5.5.3 Cabezal de Pila 4	92
5.6 Gráficos de fuerzas horizontales en el cabezal (registros sísmicos zona D)	98
5.6.1 Cabezal de Pila 2	100
5.6.2 Cabezal de Pila 3	107
5.5.3 Cabezal de Pila 4	114
5.7 Gráficos de disipación de energía (registros sísmicos SCT)	121
5.8 Gráficos de desplazamientos horizontales en el cabezal (registros sísmicos SCT)	122
5.8.1 Cabezal de Pila 2	123
5.8.2 Cabezal de Pila 3	124
5.8.3 Cabezal de Pila 4	125

5.9 Gráficos de fuerzas horizontales en el cabezal (registros sísmicos SCT)	126
5.9.1 Cabezal de Pila 2	127
5.9.2 Cabezal de Pila 3	128
5.9.3 Cabezal de Pila 4	129
Capítulo VI. CONCLUSIONES	131
Apéndice A. REFERENCIAS	VII

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Tabla de dimensiones y periodos de puentes modelados	35
Tabla 3.2 Tabla de dimensiones de vigas AASHTO	36
Tabla 3.3 Tabla de dimensiones de apoyos de neopreno laminado	37
Tabla 3.4 Propiedades mecánicas para cada tipo de diámetro de barra	39
Tabla 4.1 Datos de registros sísmicos utilizados	46
Tabla 4.2 Datos de los registros sísmicos utilizados para el análisis	47
Tabla 5.1 Periodos de cada modelo estructural sin disipadores de energía	65
Tabla 5.2 Cantidad de barras para cada modelo en zona sísmica D	66
Tabla 5.3 Cantidad de barras para cada modelo bajo el registro de SCT-EW	66
Tabla 5.4 Periodos de cada modelo al instalar las barras de plomo para zona sísmica D	67
Tabla 5.5 Periodos de cada modelo al instalar las barras de plomo para registro sísmico SCT-EW	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Apoyo elastomérico laminado	4
Figura 1.2 Apoyo elastomérico laminado con núcleo de plomo	4
Figura 1.3 Sistemas de péndulo friccionante	5
Figura 1.4 Dispositivo en forma de “U”	7
Figura 1.5 Comportamiento de aleaciones con memoria de forma, a diferentes temperaturas	8
Figura 1.6a Dispositivo ADAS	8
Figura 1.6b Dispositivo TADAS	8
Figura 1.7 Dispositivo tipo panal	9
Figura 1.8 Barra de acero circular sometida a flexión para disipar energía	9
Figura 1.9 Dispositivo de acero trabajando a torsión	10
Figura 1.10 Sistema Aislador-Disipador con Barras de Plomo o de Acero	10
Figura 1.11 Amortiguador de Fricción en Contravientos	11
Figura 1.12 Disipador de energía por extrusión de plomo	11
Figura 1.13 Configuración típica de un amortiguador viscoelástico	12
Figura 1.14 Ubicación de Amortiguadores viscoelásticos en edificio de 13 pisos, San José, CA	13
Figura 1.15 Configuración de los amortiguadores viscoelásticos, secciones transversales y longitudinal	13
Figura 1.16 Sistema de aislamiento-amortiguador aplicado en el Centro Médico San Bernardino	14
Figura 1.17 Dimensiones del amortiguador VF utilizado en el Centro Médico San Bernardino	14
Figura 1.18 Esquema de Frahm	15
Figura 1.19 Posición del Amortiguador AMD en el edificio Hankyu Chayamachi	18
Figura 1.20 Sistema amortiguador de tendones activos	18
Figura 1.21 Sistema Amortiguador HMD, edificio Sendagaya INTES	19
Figura 1.22 Amortiguador magnetorreológico	20
Figura 2.1 Comparación de apoyos elastoméricos simples y elastoméricos laminados	23
Figura 2.2 Disipación de energía en rango elástico y plástico	25
Figura 2.3 Comportamiento Elastoplástico de un material	26
Figura 2.4 Idealización de un puente con y sin aislamiento sísmico	27
Figura 2.5 Espectro de respuesta de desplazamientos	28
Figura 2.6 Espectro de pseudoaceleraciones	29

Figura 2.7 Espectro de Seudoaceleraciones Sismo SCT-EW	29
Figura 2.8 Funciones de energía para un puente con disipadores pasivos	31
Figura 2.9 Sistema Aislador-Disipador con Barras de Plomo o de Acero	32
Figura 2.10 Curvas histeréticas del Plomo sometido a cargas cíclicas	33
Figura 3.1 Esquema de medidas de puentes modelados (Vista Alzado Longitudinal)	35
Figura 3.2 Distribución de vigas AASHTO sección transversal (vista en planta)	35
Figura 3.3 Cotas de sección transversal de Vigas AASHTO	36
Figura 3.4 Sección transversal de apoyo de neopreno laminado	37
Figura 3.5 Propiedad de Plasticidad de Wen para Deformaciones Uniaxiales	38
Figura 3.6 Colocación de Barras de Plomo	38
Figura 3.7 Configuraciones de carga para vehículos de diseño	41
Figura 4.1 Localización de estaciones sísmicas	45
Figura 5.1 Grupos de barras en cada cabezal	66



Capítulo I

CLASIFICACIÓN DE DISPOSITIVOS DE CONTROL

Contenido:

1.1 Sistemas de control pasivo

- 1.1.1 Dispositivos de aislamiento de base
- 1.1.2 Dispositivos disipadores pasivos de energía

1.2 Sistemas de control activo

- 1.2.1 Sistema amortiguador de masa activa
- 1.2.2 Sistema amortiguador de tendones activos

1.3 Sistemas de control híbrido y semiactivo

- 1.3.1 Sistemas híbridos de amortiguadores de masa
- 1.3.2 Amortiguadores semi-activos con fluidos controlables

CAPÍTULO I

CLASIFICACIÓN DE DISPOSITIVOS DE CONTROL

En los últimos años, se ha visto la necesidad de implantar formas más eficaces de disipar la energía transmitida por los sismos y vientos fuertes a las estructuras, con el objetivo de brindarle seguridad adicional contra este tipo de riesgos naturales y reducir algunas solicitaciones de diseño. Con esto, además de incrementar la seguridad se puede tener también una reducción en las dimensiones de algunos elementos estructurales.

El desarrollo de sistemas de control para la disipación de energía se puede clasificar en función de su forma de trabajo, en tres grandes grupos:

1. Sistemas de Control Pasivo
2. Sistemas de Control Activo
3. Sistemas de Control Híbridos y Semi-Activos

1.1 SISTEMAS DE CONTROL PASIVO

Con el fin de proteger las estructuras contra solicitaciones dinámicas imprevistas, se colocan dispositivos con comportamiento inelástico ocasionando que el daño que puedan sufrir elementos de la estructura, se vea reducido en gran medida. Esta clase de dispositivos se le llaman pasivos, porque no requieren ninguna fuente de energía adicional para operar, activándose sólo con el movimiento originado por algún tipo de sollicitación dinámica.

El uso de los sistemas de control pasivo es más frecuente para mitigar los efectos sísmicos sobre las estructuras. Por esta razón, se diseñan para disipar una gran parte de la energía de entrada producida por un sismo; esto se logra colocando dispositivos con diversos comportamiento, entre los que destacan los histeréticos y los viscoelásticos. Dentro de los dispositivos de comportamiento histerético se incluyen elementos metálicos cuya fluencia se produce por flexión, cortante, torsión causada por el deslizamiento entre dos cuerpos. Todos estos dispositivos básicamente dependen del desplazamiento. Los dispositivos de comportamiento viscoelástico incluyen sólidos viscoelásticos, fluidos viscoelásticos y el paso de algún tipo de fluido por orificios; estos dispositivos dependen esencialmente de la velocidad y algunos de ellos de la frecuencia.

Los sistemas de control pasivo se encuentran clasificados dos tipos: dispositivos de aislamiento de base y dispositivos disipadores de energía.

1.1.1 Dispositivos de aislamiento de base

Los puentes son estructuras vitales, debido a que actúan como un enlace importante dentro de las redes de transporte, por lo que, en caso de que algún puente llegara al colapso durante un sismo complicaría los trabajos de ayuda y rehabilitación a las zonas afectadas. Debido a su simplicidad estructural los puentes son vulnerables al daño e incluso al colapso cuando reciben excitaciones sísmicas. El periodo de vibración fundamental de la mayoría de los puentes de pequeña y media longitud, se encuentra en el intervalo de 0.2 a 1.2 segundos, que coincide con la mayoría de los periodos predominantes de los movimientos sísmicos, generando un incremento en la respuesta de la estructura.

El objetivo de los dispositivos de aislamiento de base es separar la estructura del daño que pueda producir un movimiento sísmico y así prevenir que la estructura absorba toda la energía del sismo. Para un correcto funcionamiento de este sistema toda la superestructura debe estar soportada por aisladores, los cuales tiene características dinámicas que desacoplan la frecuencia de la superestructura de las frecuencias predominantes del terreno. De esta manera, la flexibilidad de los dispositivos aisladores y su fluencia temprana logra reducir las fuerzas de inercia transmitidas a la superestructura, haciendo que esta se comporte como cuerpo rígido. Algunos de estos dispositivos aisladores también son diseñados para añadir amortiguamiento adicional a la estructura.

El aislamiento de base es ahora considerada como una de las tecnologías más comunes para reducir la respuesta sísmica de estructuras por el amplio campo de aplicaciones.

Existen dos tipos básicos de dispositivos de aislamiento de base: apoyos elastoméricos y apoyos deslizantes. Los apoyos elastoméricos con una baja rigidez horizontal cambian el periodo fundamental de la estructura para reducir la demanda sísmica. Los dispositivos de apoyos deslizantes, están basados en el principio de la fricción producida por el deslizamiento entre dos superficies. Algunos parámetros que se deben considerar en la elección de un sistema de aislamiento son:

- Deformabilidad bajo cargas quasi-estaticas frecuentes
- Fuerza de fluencia y desplazamiento
- Capacidad de restitución después de una deformación
- Rigidez Vertical

1.1.1.1 Apoyos elastoméricos laminados

Los apoyos de neopreno laminado (LRB, figura 1.1) son los más comúnmente usados dentro de los sistemas de aislamiento de base. Los componentes básicos del sistema LRB son placas de acero y neopreno unidas en varias capas. Estos dispositivos proveen de flexibilidad horizontal y alta rigidez vertical. Su disipación de energía es poca, la constante de amortiguamiento varia considerablemente con el nivel de deformación, generalmente esta en el orden del 10%. Estos dispositivos pueden ser fabricados fácilmente y son resistentes a los efectos ambientales.

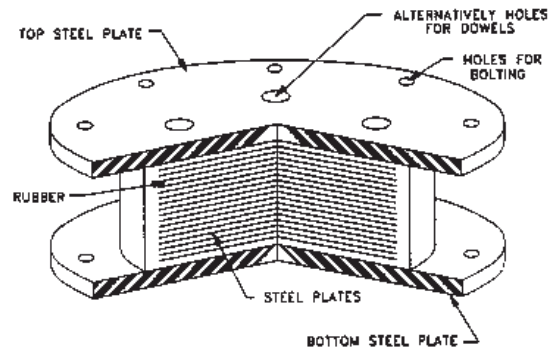


Figura 1.1 Apoyo elastomérico laminado

Otra variante de apoyos elastoméricos laminados, es cuando se le adiciona un elemento de plomo (figura 1.2). Este sistema combina la resistencia a carga vertical, flexibilidad horizontal, fuerza restitutiva y amortiguamiento en un solo dispositivo. Consta de un núcleo central de plomo que es usado para dar disipación de energía adicional al dispositivo; debido a su gran capacidad de disipación histerética, reduce los desplazamientos laterales del aislador y proporciona una fuerza de auto-centrado eliminando los desplazamientos residuales.

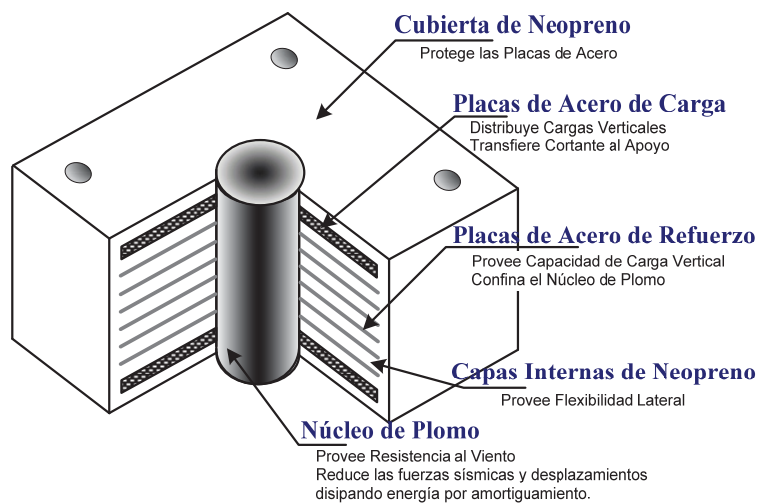


Figura 1.2 Apoyo elastomérico laminado con núcleo de plomo

El plomo fluye a un esfuerzo de 10 MPa en cortante y se comporta aproximadamente como un sólido elastoplástico. Además, el plomo tiene buenas propiedades de fatiga durante cargas cíclicas que ocasionan deformaciones plásticas y esta disponible con una pureza del 99.9% del requerimiento para predecir su comportamiento histerético. En Nueva Zelanda se usan ampliamente este tipo apoyos a los que se les refieren como sistemas N-Z.

1.1.1.2 Apoyos deslizantes

El sistema más común es el péndulo de fricción (figura 1.3), esta basado en el concepto de la fricción causada por el deslizamiento, consiste en un deslizador articulado puesto en una superficie esférica cuya superficie es de cromo pulido. El sistema actúa como un fusible que es activado solo cuando la fuerza de un sismo sobrepasa el valor estático de la fricción, pero si la fricción es superada la ecuación de movimiento de este sistema es similar a la ecuación de movimiento del un péndulo lo que produce una disipación de energía en forma histerética.

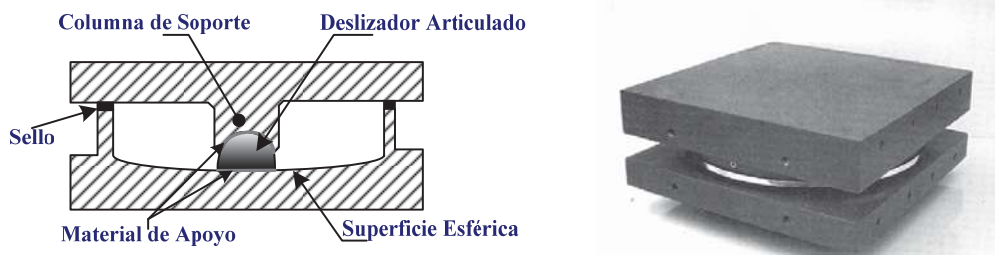


Figura 1.3 Sistemas de péndulo friccionante

Este dispositivo funciona generando una fuerza restitutiva debido al deslizamiento a lo largo de la superficie esférica del aislador, mientras la energía está siendo disipada por la fricción. La fuerza lateral en el aislador F (ecuación 1.1), está relacionada con el desplazamiento del mismo u .

$$F = \frac{W}{R}u + \mu W \operatorname{sgn}(\dot{u}) \quad (1.1)$$

Donde:

- W peso soportado por el aislador.
- R radio de curvatura de la superficie esférica.
- μ coeficiente de fricción.

La fuerza es proporcional al peso soportado. La forma geométrica del sistema hace que la estructura regrese siempre al centro del aislador después de terminada la excitación sísmica. La cantidad W/R representa la rigidez del aislador producida por la componente tangencial del peso. El coeficiente de fricción máximo, a velocidades altas de deslizamiento, es del orden de 0.1 o menos y el coeficiente de fricción mínimo, para velocidades de deslizamientos muy pequeñas, es del orden de 0.05 o menor.

Estos aisladores están caracterizados por la insensibilidad a las frecuencias contenidas en una excitación sísmica, esto es debido a la tendencia del sistema deslizante a reducir y disipar la energía del sismo sobre un pequeño intervalo de frecuencias. Adicionalmente, los efectos torsionantes producidos por la asimetría en edificios se ven disminuidos. Este dispositivo ha tenido aplicaciones en edificios y puentes.

1.1.2 Dispositivos disipadores pasivos de energía

El objetivo de estos sistemas es incrementar la capacidad de disipación de energía de una estructura para reducir significativamente la respuesta a los movimientos sísmicos. Así, se logra disminuir la vulnerabilidad sísmica de la estructura ó mejorar la capacidad de estructuras ya deficientes.

En general, estos dispositivos son caracterizados por incrementar la disipación de energía a través de las deformaciones inelásticas o la fricción concentrada en los dispositivos de disipación, consiguiendo así reducir el daño en los elementos estructurales. Este efecto se logra por la conversión de energía cinética en calor ó transfiriendo la energía a través de los modos de vibrar de la estructura.

Los dispositivos se suelen agrupar como función de su forma de trabajo: el primer grupo incluye dispositivos que operan con principios como son la fricción por deslizamiento, fluencia de los metales, transformación de fase en metales, deformación de sólidos o fluidos viscoelásticos (VE) y por extrusión. Las estructuras que tienen amortiguadores viscosos o dispositivos de fluencia de metales, el amortiguamiento viscoso equivalente se incrementa entre 15% y 25% dependiendo de las características específicas del dispositivo. Otro tipo de dispositivos incluye son los osciladores resonantes que actúan como amortiguadores dinámicos.

Algunos de estos sistemas se enlistan a continuación con los respectivos propietarios de las patentes.

1. Sistemas viscosos y viscoelásticos.

- “Double-layer, constrained-layer viscoelastic shear damper” (VE), 3M Company
- Amortiguadores de fluido viscoso, Taylor Devices, Inc.
- Sistema de muros con amortiguamiento viscoso, Oiles and Sumitomo

2. Dispositivos de fluencia de metales

- “Added Damping and Stiffness Elements” (ADAS), Bechtel Corp.
- “Triangular Added Damping and Stiffness Elements” (TADAS), Sin propietario.
- Dispositivos de extrusión de plomo (LED)
- Aleaciones de memoria de forma (SMA) incluye el dispositivo de tensión Nitinol (Níquel-Titanio) y el dispositivo de torsión Cu-Zn-Al (Cobre-Zinc-Aluminio).

3. Amortiguadores de fricción

- Dispositivo de fricción Sumimoto, Sumimoto Metal Industries, Ltd.
- Dispositivo de fricción Pall, Pall Dynamics, Ltd.
- Restricción de disipación de Energía, Flour Daniel, Inc.
- Conexión ranurada atornillada (SBC), Sin propietario.

Donde existe un mayor uso de estos dispositivos pasivos es en Japón, donde son más de cien las estructuras que han sido construidas usando estas tecnologías. De igual manera, en Norte América se han implementado en aproximadamente 103 edificios y muchos puentes. Actualmente, han sido también utilizados en países como Canadá, México, Italia, Francia, China, Inglaterra, Rusia, Irán, Chile y África del Sur.

1.1.2.1 Amortiguadores por fluencia de metales

Los dispositivos en forma de U (figura 1.4) disipan energía mediante rolado por flexión debido a los desplazamientos entre dos niveles de la estructura, constan de dos placas en forma de U que disipan la energía al desplazarse una cara con respecto a la otra.

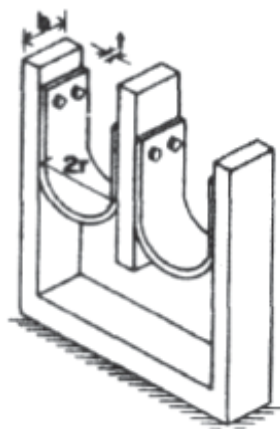


Figura 1.4 Dispositivo en forma de "U"

Recientemente se ha propuesto el uso de aleaciones con memoria de forma que tiene un comportamiento como el mostrado en la figura 1.5. Tienen la característica de transformarse de fase con un incremento de temperatura específico para cada tipo de aleación, cambiando su elasticidad y capacidad de disipación de energía. Las aleaciones de interés para la ingeniería civil son: Níquel Titanio, (Nitinol); aleación de Hierro, Manganeso y Silicio (FeMnSi), aleaciones con base de Cobre y algunas formulaciones especiales con acero inoxidable.

Este tipo de materiales tiene la característica de cambiar de fase con incrementos específicos de temperatura. Cuando la temperatura ambiente corresponde a la de la fase martensítica (temperatura baja) los ciclos histeréticos que se generan bajo carga cíclica son semejantes a los del acero (figura 1.5a). Si la temperatura en el material es mayor que la temperatura de transición a la fase austenítica (temperaturas altas), los ciclos histeréticos no muestran deformaciones residuales al terminar el proceso de carga, efecto conocido como superelasticidad (figura 1.5b). A temperaturas mas elevadas se presenta un comportamiento elástico lineal (figura 1.5c). Debido a este comportamiento se cuenta con una rigidez elevada para pequeñas deformaciones, con capacidad para disipar energía debido al efecto histerético cuando se le somete a deformaciones de mayor amplitud y que no presenta deformaciones residuales.

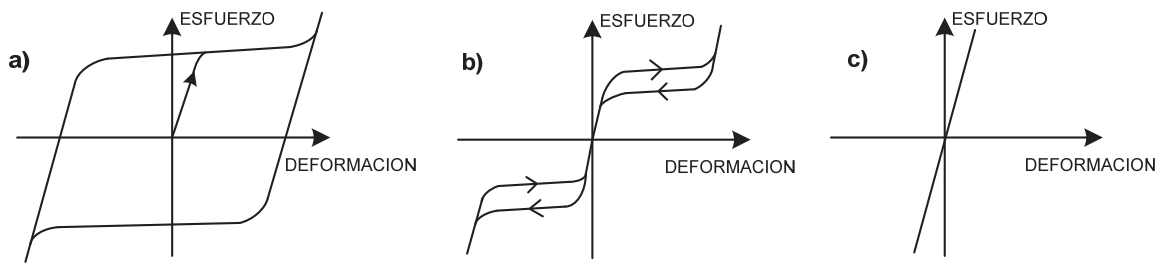


Figura 1.5 Comportamiento de aleaciones con memoria de forma, a diferentes temperaturas.

Graesser y Cozzarelli (1989) han propuesto el uso de aleaciones con memoria de forma para aisladores de base. Materiales con estas características podrían ser los que en un futuro se usen en la construcción.

Uno de los mecanismos más efectivos disponible para disipar energía, es a través de las deformaciones inelásticas de los metales. Algunos de estos dispositivos usan placas de acero templado en forma de X, llamados ADAS (“Added Damping and Stiffness”, figura 1.6a). En estos dispositivos la fluencia se reparte casi uniformemente a través del material deformándose en doble curvatura debido a su forma en X. Se pueden colocar ligadas a un muro ó a una trabe por medio de contravientos en forma de V.

Existe una variante del dispositivo ADAS con forma de un triángulo por lo que se le llama TADAS (“Triangular Added Damping and Stiffness”, figura 1.6b). El comportamiento histerético de esta clase de disipadores es más predecible que los de forma en X debido a que sólo se deforman en curvatura simple y el tipo de conexión de las placas es más sencillo.

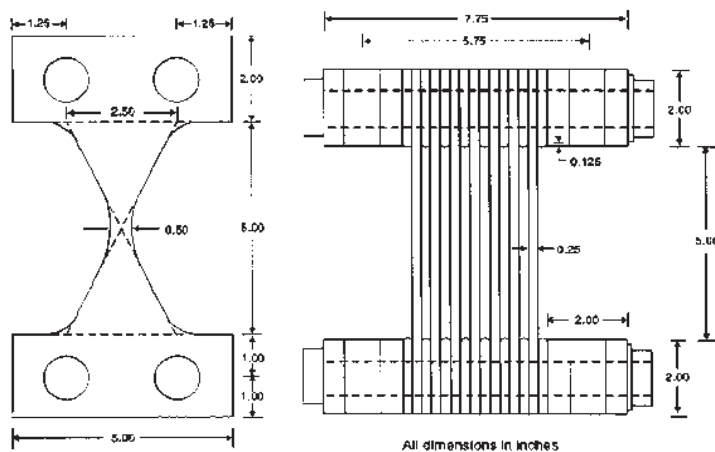


Figura 1.6a Dispositivo ADAS.

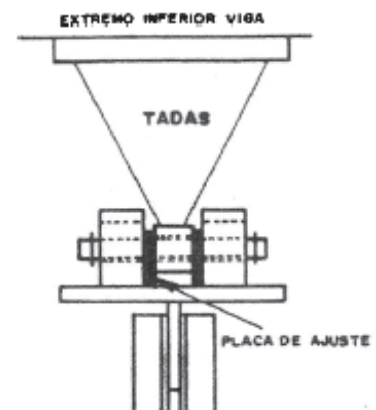


Figura 1.6b Dispositivo TADAS.

Algunas características favorables de estos dispositivos son: su conducta histerética estable, la confiabilidad a largo plazo y una relativa insensibilidad a la temperatura del ambiente. Una de las más recientes aplicaciones, se hicieron en México usando una típica placa en forma de X (amortiguadores ADAS) para rehabilitar sísmicamente un edificio ya existente.

Otra variación de los amortiguadores ADAS es el contraviento de fluencia a tensión y compresión, que opera bajo el mismo principio de fluencia de los metales. Consiste en una placa de acero en el núcleo dentro de un tubo de acero relleno de concreto. Entre el núcleo de acero y el concreto se coloca un recubrimiento especial para evitar la fricción y así el núcleo pueda proveer disipación de energía por fluencia en casos de carga axial de tensión mientras que la parte de concreto que lo rodea soporta el bloque de esfuerzos de compresión.

El dispositivo tipo panel (figura 1.7) es muy similar a los dispositivos anteriores, consta de placas en forma de X que están unidas entre sí por el espesor de las placas. El nombre de tipo panel se le dio por el espacio vacío entre dos placas consecutivas.

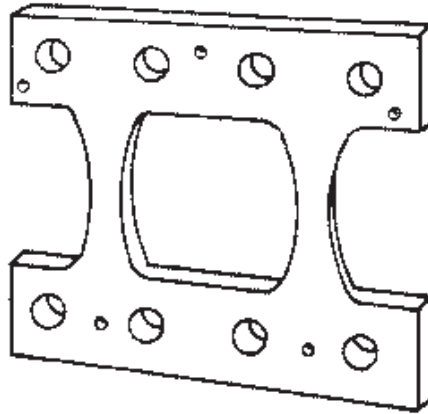


Figura 1.7 Dispositivo tipo panel.

La disipación de energía por fluencia también se logra sometiendo barras de acero circular a flexión (figura 1.8), la cual se deforma hacia arriba y hacia abajo por el movimiento de los dos brazos.

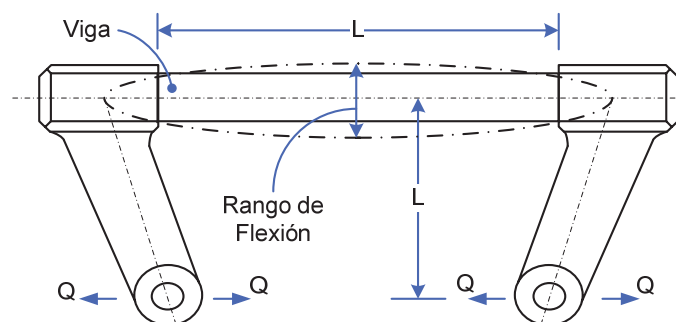


Figura 1.8 Barra de acero circular sometida a flexión para disipar energía.

Existen asimismo dispositivos de disipación de energía por medio de la torsión aplicada a una placa de acero, sujeta por tres brazos (figura 1.9). Se han realizado estudios que muestran que la zona crítica de diseño de estos dispositivos es la unión entre los brazos y la placa que es sometida a torsión. Sin embargo, también se observó en un estudio experimental que estos dispositivos aumentan el amortiguamiento crítico equivalente al plastificarse por la torsión, reduciendo así en gran medida la respuesta de la estructura.

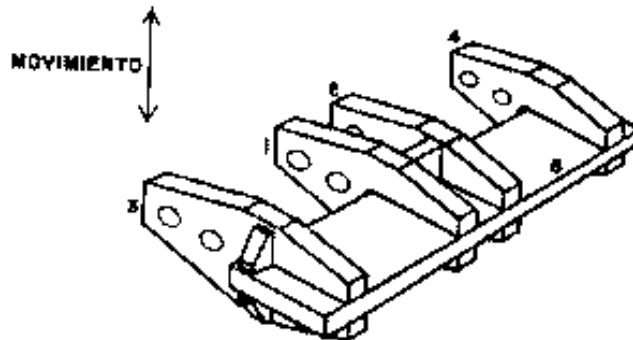


Figura 1.9 Dispositivo de acero trabajando a torsión

Con el fin de mejorar los sistemas de aislamiento de base y disipación de energía, Jara y Jara (2006) proponen un sistema constituido por apoyos de neopreno laminado y barras de plomo o de acero conectadas entre el cabezal de las pilas y el diafragma transversal (figura 1.10), las que se colocan en los apoyos del puente. Las barras disipan energía en forma histerética al deformarse plásticamente por medio de cortante puro, además rigidizan el sistema contra las cargas laterales. Por otra parte, el neopreno laminado proporciona la flexibilidad lateral y rigidez vertical al sistema, al mismo tiempo provee una capacidad de auto-centrado después de la ocurrencia de un sismo importante.

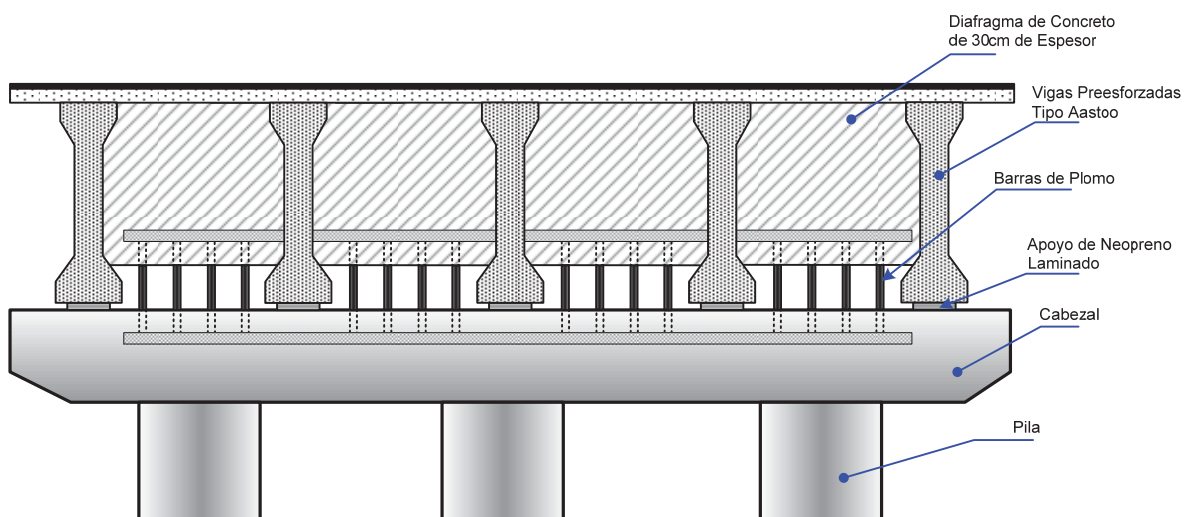


Figura 1.10 Sistema Aislador-Disipador con Barras de Plomo o de Acero

1.1.2.2 Amortiguadores por fricción

Los amortiguadores por fricción utilizan el mecanismo de fricción entre dos cuerpos sólidos para proveer disipación de energía de forma histerética. Un mecanismo amortiguador especial, desarrollado por Pall and Marsh (figura 1.11) permite una operación más efectiva durante las cargas cíclicas, donde se presentan deslizamientos en las direcciones de tensión y compresión. En general, los dispositivos de fricción generan curvas histeréticas rectangulares similares a las características de fricción de Coulomb.

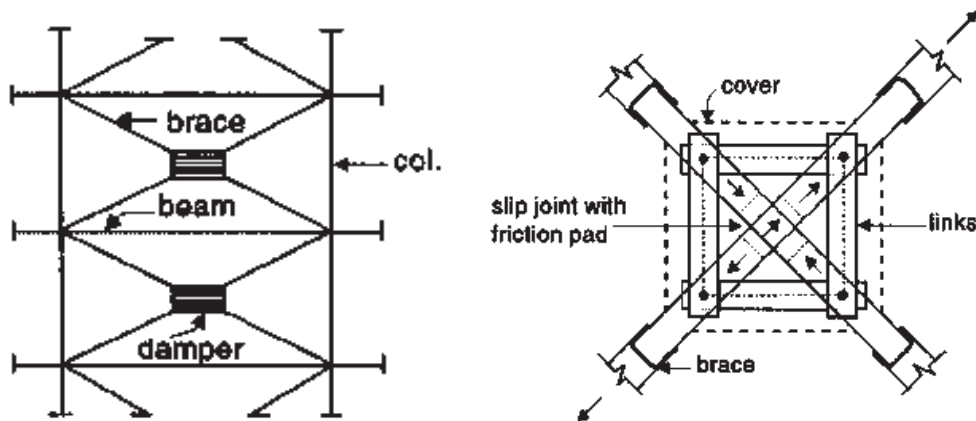


Figura 1.11 Amortiguador de Fricción en Contravientos.

En los últimos años estos dispositivos de fricción Pall se han usado en Canadá. Por ejemplo: en la Biblioteca McConnel de la Universidad de Concordia en Montreal, en la que al usar estos dispositivos se ahorro el 1.5% del costo total del edificio. Este ahorro puede verse aumentado en regiones más vulnerables a sismos.

1.1.2.3 Amortiguadores por extrusión

Estos sistemas disipan energía en forma histerética al extruir el plomo a través de un orificio o estrechamiento, lo que hace que se reduzca el volumen transformando la energía mecánica necesaria para extruir el plomo en calor.

El dispositivo consta de un tubo de acero con plomo en su interior (figura 1.12), el cual al deformarse disipa energía y al volver a su sección original se recrystaliza recuperando así sus propiedades iniciales.

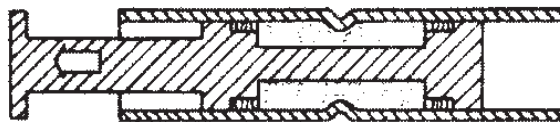


Figura 1.12 Disipador de energía por extrusión de plomo.

1.1.2.4 Amortiguadores viscoelásticos

En este tipo de amortiguadores se usan materiales viscoelásticos (VE) que usualmente son copolímeros o sustancias vítreas que disipan energía a través de las deformaciones por cortante. Un amortiguador VE clásico, consiste en capas de material VE rodeado por placas de acero (figura 1.13).

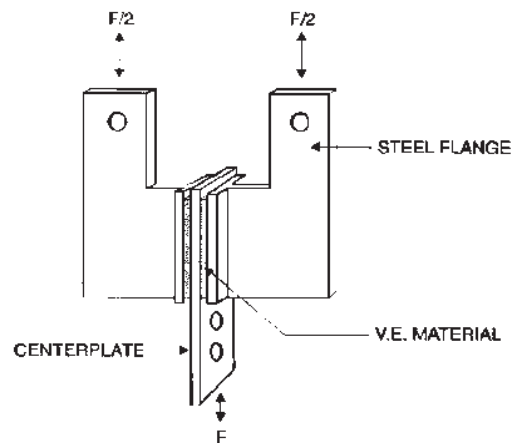


Figura 1.13 Configuración típica de un amortiguador viscoelástico.

Su comportamiento dinámico depende de la frecuencia de vibración y de la temperatura ambiente. Además, una de sus ventajas es que solo provee amortiguamiento viscoso y rigidez lateral a la estructura lo que simplifica el análisis, a diferencia de los dispositivos de fluencia de metales.

Las primeras aplicaciones en estructuras de estos dispositivos fueron para reducir los niveles de aceleración ó para incrementar el confort del usuario, debido al viento. Con este fin, en 1969 se instalaron amortiguadores viscoelásticos en las torres gemelas del World Trade Center en New York alrededor de 10,000 amortiguadores en cada torre distribuidos a través de la estructura desde el piso 10 al 110.

Los amortiguadores Viscoelásticos se comenzaron a usar para mejorar la respuesta sísmica de las estructuras a partir de 1993, implementándose a un edificio de 13 pisos en San José, California. Este edificio situado en una región de alta sismicidad, tenía un amortiguamiento crítico en su modo fundamental menor al 1%. Se le instalaron dos amortiguadores por cada cara del edificio y por cada nivel de piso (figura 1.14 y 1.15), lo cual incremento el amortiguamiento crítico en su modo fundamental hasta 17%.

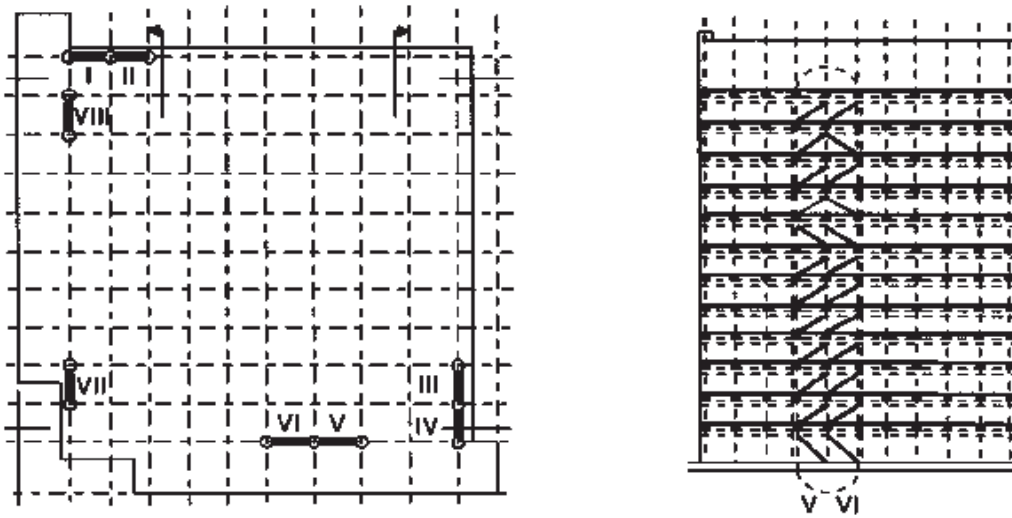


Figura 1.14 Ubicación de Amortiguadores viscoelásticos en edificio de 13 pisos, San José, CA.

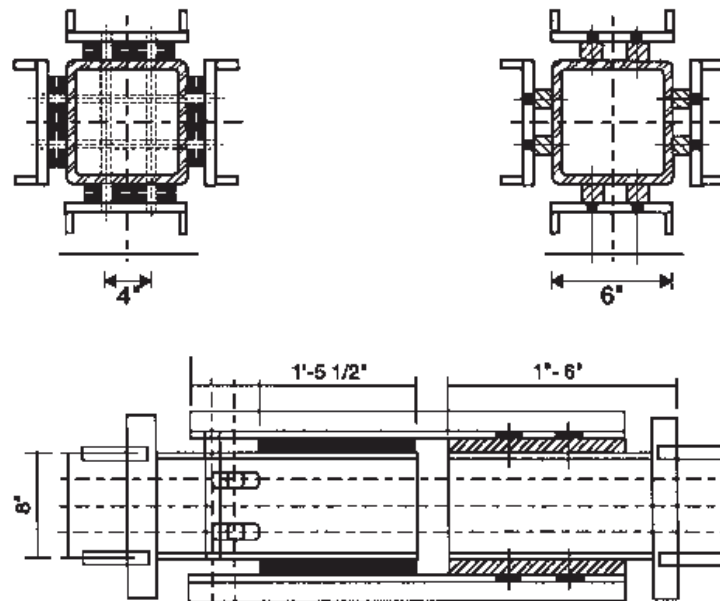


Figura 1.15 Configuración de los amortiguadores viscoelásticos, secciones transversales y longitudinal.

En Japón, la corporación Shimizu desarrollo el dispositivo de paredes Viscoelásticas donde hojas de caucho termoplástico se encuentran dentro de placas de metal.

1.1.2.5 Amortiguadores con fluidos viscosos

Los dispositivos de amortiguamiento basados en el principio del flujo de un fluido de alta velocidad a través de orificios. Se han encontrado numerosas aplicaciones para este tipo de amortiguadores, en aislamiento de impactos y vibraciones, en sistemas de defensa aeroespacial. Los amortiguadores con fluidos viscosos pueden mejorar la capacidad sísmica de una estructura reduciendo el daño, los desplazamientos y además sin incrementar los esfuerzos.

Un amortiguador con fluidos viscosos (VF) consiste generalmente en un pistón dentro de un cárter lleno de un compuesto de silicona o un tipo de aceite similar, este pistón contiene un número de pequeños orificios a través de los cuales el fluido pasa de un lado del pistón al otro. De esta manera, los amortiguadores VF disipan energía.

Algunas de las aplicaciones de estos dispositivos han sido combinándolos con los sistemas de aislamiento de base. En 1995, se incorporaron en el aislamiento de base amortiguadores VF en 5 edificios de San Bernardino County Medical Center, como el que se muestra en la figuras 1.16 y 1.17.

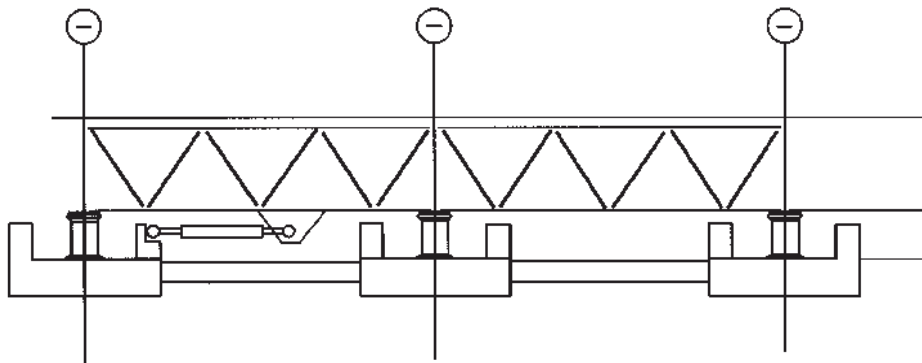


Figura 1.16 Sistema de aislamiento-amortiguador aplicado en el Centro Médico San Bernardino.

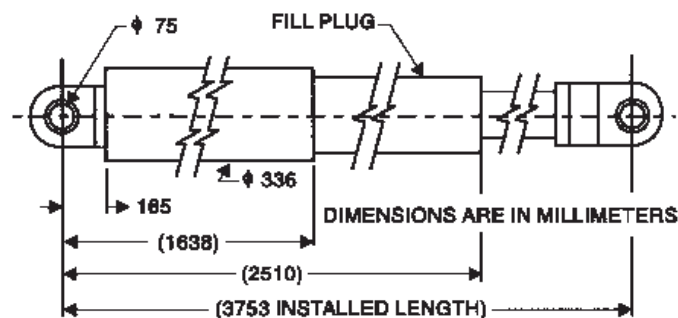


Figura 1.17 Dimensiones del amortiguador VF utilizado en el Centro Médico San Bernardino.

1.1.2.6 Amortiguadores de masa sincronizada

El concepto de los amortiguadores de masa sincronizada (TMD) tiene sus bases en los amortiguadores de vibración dinámica, que fueron estudiados por Frahm en 1909. El esquema de estos amortiguadores de Frahm se muestra en la figura 1.18, el cual consiste de una masa m , un resorte con una rigidez k adherido a la masa principal M , con un resorte de rigidez K . Bajo una carga armónica simple la masa principal M estará completamente estacionaria cuando la frecuencia natural del amortiguador esta sincronizada con la frecuencia de la excitación.

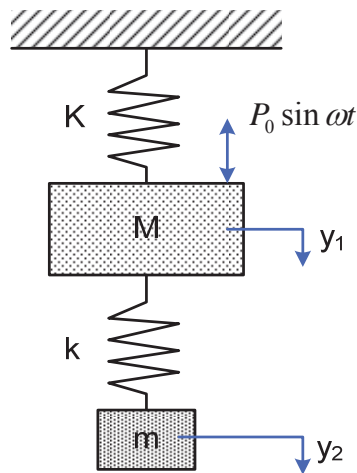


Figura 1.18 Esquema de Frahm.

Este tipo de amortiguadores solo pueden ser sincronizados a una sola frecuencia estructural. Mientras que la respuesta del primero modo de una estructura de múltiples grados de libertad puede ser sustancialmente reducida con un amortiguador TMD, la respuesta del último modo se incrementa con el número de niveles de la estructura. Para una excitación sísmica, la respuesta se reduce en gran cantidad para frecuencias de resonancia de la estructura y va disminuyendo a medida que la frecuencia dominante del suelo se aleja de la frecuencia natural de la estructura para la que el TMD fue sincronizado. También, la efectividad de la disipación de energía de esta clase de dispositivos disminuye al instalarse en una estructura de comportamiento inelástico, por lo cambios de las propiedades dinámicas en el tiempo.

Los primeros usos de los amortiguadores de masas sincronizadas fueron para mitigar los efectos de las excitaciones producidas por el viento. La primera estructura donde se instaló este tipo de dispositivos fue en la Torre Centerpoint en Sydney, Australia. Uno de los dos edificios en EUA. Equipados con un TMD es el Citycorp Center en Nueva York, en donde el TMD está situado en el piso 63, a esta elevación el edificio puede ser representado por una masa modal simple de aproximadamente 20,000 Ton. Lo cual forma un sistema de dos grados de libertad. Pruebas y observaciones recientes han mostrado que el TMD produce un amortiguamiento efectivo aproximadamente de 4% comparado con el 1% del amortiguamiento original de la estructura, lo cual puede reducir el nivel de aceleración del edificio aproximadamente en un 50%.

1.1.2.7 Amortiguadores de líquido sincronizado

El principio básico de los amortiguadores de líquido sincronizado (TLD) es similar al de masas sincronizadas, en el que una segunda masa en este caso un líquido actúa como un amortiguador de vibraciones. En el caso de los amortiguadores de líquido sincronizado la respuesta es altamente no lineal debido a la pérdida de líquido en salpicaduras o por la presencia de orificios.

Los dispositivos TLD también han sido usados para la disminución del efecto del viento en estructuras altas. En comparación con los amortiguadores TMD las ventajas de los dispositivos TLD son su bajo costo inicial, virtualmente libre de mantenimiento y su facilidad para sincronizarlos a una frecuencia específica.

Las primeras aplicaciones de los TLD fueron hechas en Japón, en el Torre del Aeropuerto de Nagasaki y en la Torre Marina de Yokohama, ambos instalados en 1987. En 1992 se instalaron también en el Hotel Shin-Yokohama Prince.

El funcionamiento de los TLD ha sido observado durante varias tormentas. En una de las cuales se registro una velocidad máxima instantánea del viento de 25 m/s (90 Km./hr.), los resultados observados muestran que el TLD redujo la repuesta en las aceleraciones producidas en dirección del viento cerca de un 60% del valor sin la presencia del dispositivo TLD.

1.2 SISTEMAS DE CONTROL ACTIVO

Los sistemas de control estructural activo son la evolución de los sistemas de disipación pasiva. Estos sistemas poseen actuadores para operar amortiguadores especiales o amortiguadores de masas sincronizadas localizados en la estructura, los que puede ejercer una fuerza controlada por un procesamiento en tiempo real de las señales obtenidas de sensores colocados en la estructura y que actúan simultáneamente con la excitación producida para mejorar el comportamiento estructural y así incrementar el nivel de servicio y la seguridad.

Los sistemas de control activo son más complejos que los sistemas pasivos partiendo de que emplean control por computadora, sensores de movimiento, mecanismos de restitución y partes móviles las cuales requieren servicio o mantenimiento. Además, estos dispositivos necesitan una fuente de poder de emergencia para asegurar que siga siendo operable durante un sismo grande o cualquier interrupción del servicio eléctrico.

El proceso que sigue un sistema de control activo es el siguiente:

1. Los sensores instalados a lo largo de la estructura miden las excitaciones externas o las variables de la respuesta estructural, o ambas al mismo tiempo.
2. Se procesa la información de los sensores y se computa en un algoritmo las fuerzas que son necesarias para estabilizar la estructura.
3. Los actuadores producen las fuerzas requeridas, estos son impulsados por una fuente de poder externa.

Cuando sólo las variables de la respuesta de la estructura son medidas, la configuración del control se le llama control de retroacción (“feedback”), estas medidas deben tomarse continuamente para corregir continuamente las fuerzas aplicadas. Un control “feedforward” es cuando las fuerzas aplicadas por el dispositivo de control son reguladas por las mediciones de la excitación. En el caso de poder medir aceleraciones en la base de la estructura y la respuesta de la estructura se le conoce como control “feedback-feedforward”.

En comparación con los sistemas de control pasivo, el control activo tiene las siguientes ventajas:

- Mejora la efectividad de la respuesta del control, el grado de efectividad es sólo limitado por la capacidad del sistema
- Relativa insensibilidad a las condiciones del lugar y movimientos del suelo
- Aplicación para prevención de desastres originados principalmente por sismos o vientos fuertes
- Selección del objetivo del control, por ejemplo: mantener el confort del usuario mientras no haya excitaciones críticas

1.2.1 Sistema amortiguador de masa activa

La función del amortiguador de masa activa ó controlador de masa activa (AMD), es reducir las vibraciones de la estructura bajo fuertes vientos y excitaciones sísmicas moderadas, por lo que consecuentemente se incrementa el confort de los ocupantes de la estructura.

En 1992, un sistema AMD fue instalado en el edificio Hankyu Chayamachi en el piso 34 (figura 1.19). Para este caso el helipuerto en la parte superior del edificio se utilizó como una masa móvil parte del sistema AMD, que pesa 480 Ton., lo que equivale al 3.5% del peso del edificio. Esta masa es movida por 2 actuadores de 5 Ton., instalados en forma horizontal y ortogonales entre sí.

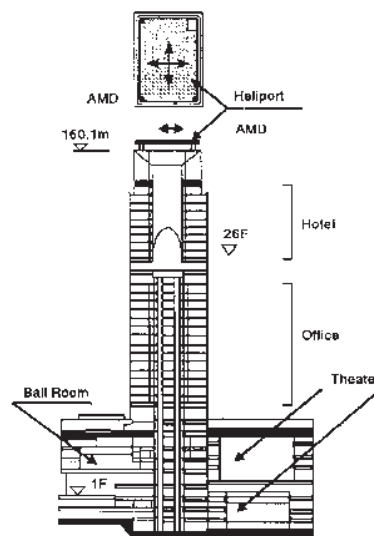


Figura 1.19 Posición del Amortiguador AMD en el edificio Hankyu Chayamachi.

1.2.2 Sistema amortiguador de tendones activos

El sistema de tendones activos, se basa en modificar las propiedades dinámicas de la estructura cambiando la rigidez de los marcos donde son colocados, con el fin de alejar el periodo fundamental de la estructura del intervalo de resonancia de las excitaciones sísmicas. Los tendones activos son contravientos que se colocan en forma de X entre los marcos como muestra la figura 1.20.

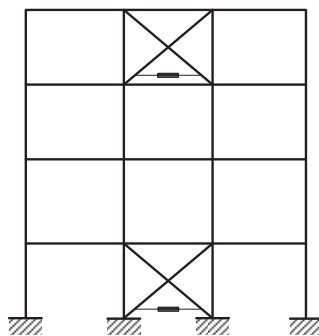


Figura 1.20 Sistema amortiguador de tendones activos.

1.3 SISTEMAS DE CONTROL HÍBRIDO Y SEMI-ACTIVO

Estos sistemas combinan las características de los sistemas de control pasivo y los de control activo. En general, estos sistemas reducen las demandas de grandes fuentes de energía, mejorando la confiabilidad estructural y reduciendo el costo cuando se compara con un sistema totalmente activo.

La diferencia entre estos dos sistemas de control es el modo de operación. En el control semi-activo los actuadores no añaden energía mecánica directamente a la estructura, sólo controlan los dispositivos pasivos instalados en la estructura. Por el contrario, el control híbrido requiere de actuadores que generan fuerzas tanto en el dispositivo pasivo como en la estructura.

Una ventaja de los sistemas de control híbridos y semi-activos, es que en caso de una falta de energía los componentes pasivos del control continúan ofreciendo cierto grado de protección a diferencia de los sistemas completamente activos.

1.3.1 Sistemas híbridos de amortiguadores de masa

El sistema híbrido de amortiguador de masa (HMD), es el dispositivo de control más comúnmente empleado en las aplicaciones de la ingeniería civil, es una combinación del dispositivo pasivo TMD y un actuador activo. La reducción de la respuesta de la estructura con este dispositivo depende principalmente de la frecuencia natural del TMD, debido a que las fuerzas del actuador activo se emplean sólo para incrementar la eficiencia del HMD para los cambios de las características dinámicas de la estructura.

Un sistema HMD fue instalado en el edificio Sendagaya INTES en 1991, en Tokio. Como se muestra en la figura 1.21, consiste en dos masas para controlar los movimientos transversales y torsionantes de la estructura. Cuando el edificio fue sometido a viento con velocidad instantánea de 30.6 m/s., se observó que la respuesta en el modo fundamental de la estructura se redujo en 18% para la traslación y un 28% para lo movimientos por torsión.

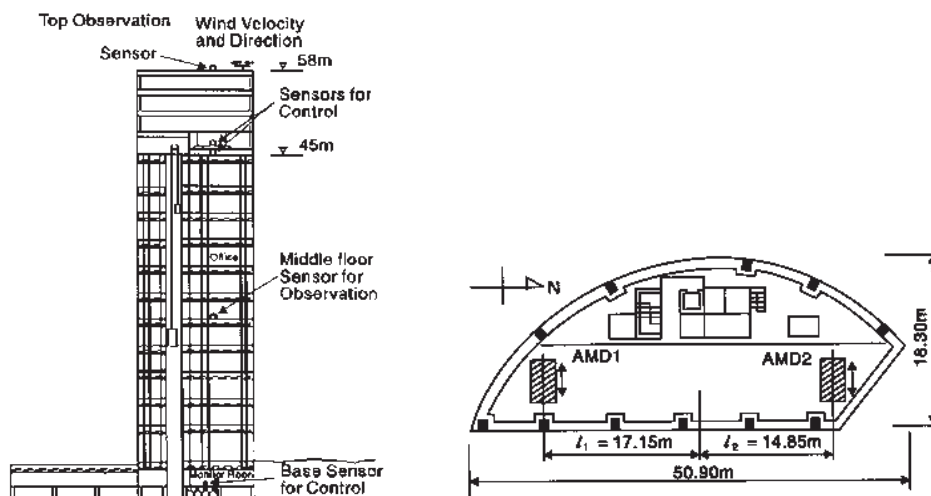


Figura 1.21 Sistema Amortiguador HMD, edificio Sendagaya INTES.

1.3.2 Amortiguadores semi-activos con fluidos controlables

Los sistemas semi-activos combinan las mejores características de los sistemas de control pasivo y activo, para ofrecer la adaptabilidad de los dispositivos de control activo sin requerir grandes cantidades de energía. De hecho, muchos de ellos pueden operar solo con el poder de una batería lo que resulta muy práctico en caso de una falla en el suministro de energía durante a un sismo.

La ventaja de los amortiguadores con fluidos controlables, es que no contienen partes móviles, más que un pistón, lo que los hace simples y más confiables. Dos fluidos que se utilizan en el desarrollo de amortiguadores controlables son:

- Fluidos Electrorreológicos (ER)
- Fluidos Magnetorreológicos (MR)

La principal característica de estos fluidos es su capacidad para cambiar de un estado de flujo libre donde se comporta como un fluido viscoso lineal a un estado semi-sólido controlando su resistencia en milisegundos al exponerlo a un campo eléctrico para fluidos ER ó un campo magnético para fluidos MR.

Por muchos años las investigaciones se concentraron principalmente en los fluidos ER. Sin embargo, se presentaron varios obstáculos como son, la falta de tolerancia a las impurezas (contener agua), además el máximo esfuerzo de fluencia era de 3.0 a 3.5 kPa y el costo para tener un voltaje de 4000 V era muy alto.

Los fluidos MR consisten en partículas microscópicas magnéticamente polarizables, dispersas en un medio transportador que puede ser un aceite mineral o de silicona. Pueden ser operados en temperaturas de -40 a 150°C sólo con pequeñas variaciones en el esfuerzo de fluencia. Además, este sistema no es sensible a las impurezas como los fluidos ER. También, los fluidos MR pueden ser controlados con fuentes de poder muy pequeñas menores que 50W, poco voltaje 12-24V. y de 1-2 amps, por lo que, una batería común puede suministrar estos niveles de energía.

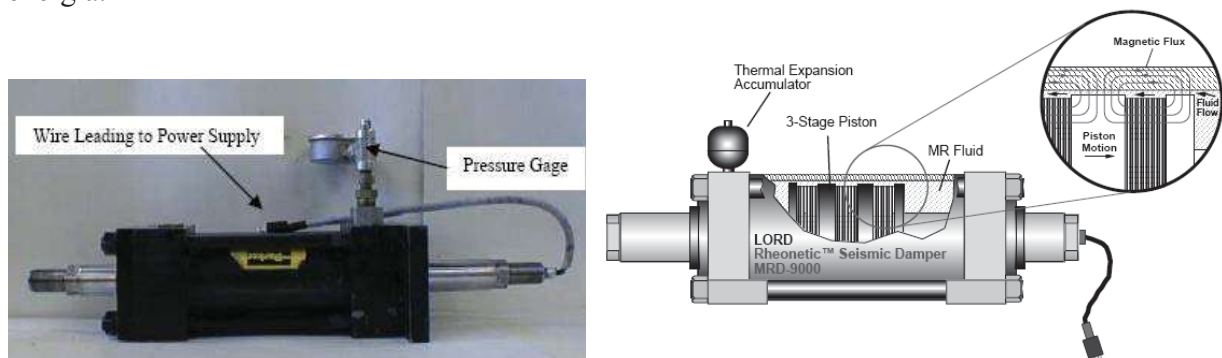
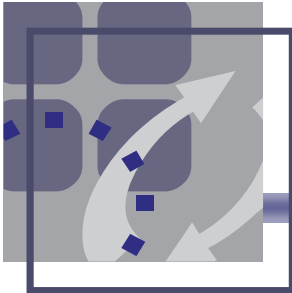


Figura 1.22 Amortiguador magnetorreológico.



Capítulo II

DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO

Contenido:

2.1 Comportamiento del aislamiento sísmico

2.1.1 Comportamiento mecánico de aisladores elastoméricos

2.2 Comportamiento mecánico de dispositivos de disipación por fluencia de metales

2.3 Comportamiento dinámico de sistemas con aislamiento sísmico

2.3.1 Formulaciones de conservación de la energía

2.4 Dispositivo propuesto

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO

Para que una estructura pueda permanecer operable después de fuertes sismos, debe tener la capacidad de disipar la energía de entrada por medio de sus mecanismos intrínsecos de amortiguamiento o a través de las deformaciones inelásticas que pueda experimentar durante el evento. El hecho de disipar de energía se vuelve un problema de consideración en estructuras para puentes, debido a que la mayoría de los puentes, en especial los puentes de claros largos poseen muy poco amortiguamiento que usualmente es alrededor del 5% del crítico o menor.

Los puentes diseñados principalmente por cargas gravitacionales, al ser sometidos a movimientos sísmicos fuertes pueden experimentar deformaciones excesivas lo que los conduce a daños importantes en la estructura o inclusive al colapso.

Los sistemas de control pasivo como son el aislamiento de base y los sistemas de disipación de energía se pueden usar para reducir la energía proveniente de sismos, incrementar la capacidad de la estructura y concentrar las deformaciones inelásticas en los dispositivos empleados, protegiendo así los elementos estructurales críticos de un posible daño.

2.1 COMPORTAMIENTO DEL AISLAMIENTO SÍSMICO

El diseño de un sistema de aislamiento sísmico depende de muchos factores, como son: el periodo de la estructura sin aislamiento, el periodo de la estructura aislada, las características dinámicas del suelo en el sitio de construcción, la forma del espectro de respuesta y de la relación fuerza-desplazamiento para el tipo de dispositivo utilizado. El objetivo principal de este sistema, es desacoplar la estructura de la parte del espectro donde la energía del sismo es mayor.

El aislamiento sísmico en ocasiones es una solución ideal para algunas estructuras, en cambio para otras puede incrementar la respuesta, aumentando aun más las sollicitaciones sísmicas de las que podría ser objeto la estructura. El aislamiento sísmico es más efectivo cuando el periodo natural de la estructura coincide con el periodo predominante del suelo. Asimismo, un factor de gran importancia es el tipo de suelo en el cual estará sustentada la estructura. Por ejemplo, en el caso de un suelo muy blando con una estructura muy rígida el aislamiento sísmico no sería una solución de protección sísmica. Por otro lado, el aislamiento sísmico es más eficiente trabajando en estructuras no muy flexibles cimentadas sobre suelos rígidos en lugares relativamente cercanos a las fuentes sísmicas.

2.1.1 Comportamiento mecánico de aisladores elastoméricos

Los aisladores elastoméricos se instalan entre las pilas del puente o los estribos y la superestructura, están hechos de neopreno comúnmente en forma cilíndrica o rectangular (figura 2.1a). Actualmente, para mejorar su rigidez vertical se le agregan placas horizontales de acero alternándolas con neopreno (figura 2.1b), permaneciendo aún lo suficientemente flexible bajo cargas laterales reduciendo en forma considerable las fuerzas cortantes ocasionadas por sismos.

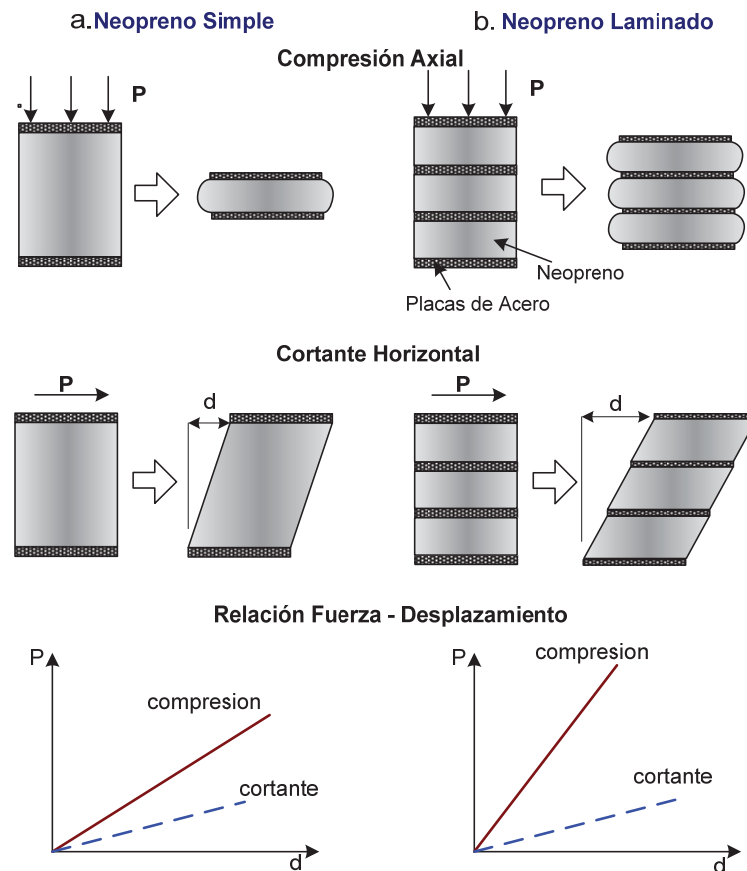


Figura 2.1 Comparación de apoyos elastoméricos simples y elastoméricos laminados

Una desventaja en el uso de este tipo de apoyos, es que el neopreno experimenta grandes deformaciones durante un evento sísmico con poca disipación de energía, por lo que una solución es la de añadir un dispositivo disipador que comúnmente es una barra de plomo. Este material presenta inicialmente una alta rigidez al corte y relativamente una bajo esfuerzo de fluencia al corte. El plomo, además, tiene un comportamiento elastoplástico con gran resistencia a la fatiga.

Este tipo de apoyos se han hecho muy populares en el mundo como en Japón donde su uso se incrementó notablemente después del sismo de Kobe de 1995. El temblor causó grandes daños y sirvió como disparador para el uso de dispositivos de protección sísmica para estructuras.

El diseño sísmico de estructuras comúnmente está enfocado a incrementar la resistencia contra sismos, manteniendo la estructura en el intervalo elástico de deformaciones aun bajo fuertes sismos. Este comportamiento se puede lograr rigidizando la estructura con muros de cortante, contravientos o elementos resistentes a momento. Sin embargo, emplear este tipo de elementos estructurales podría incrementar el costo de la estructura. Por lo que, implementar un sistema de aislamiento de base podría ser una solución económicamente más viable que la forma tradicional de diseño sísmico, sobre todo para estructuras donde los costos de reparación o por pérdida de funcionamiento después de un sismo fueran de consideración.

En caso de estructuras con aislamiento de base localizadas en sitios con fallas sísmicas cercanas los desplazamientos que sufre el aislador son de gran magnitud por lo que en este caso también se recomiendan usar dispositivos disipadores de energía.

Las combinaciones de apoyos elastoméricos con amortiguadores conforman una amplia categoría de dispositivos usados dentro del aislamiento sísmico. Los apoyos elastoméricos usados para combinarlos con amortiguadores usualmente están hechos de neopreno. Dependiendo de la forma en que son combinados estos dos sistemas se pueden clasificar en dos categorías:

- Combinación sencilla.
- Combinación separada.

En la combinación sencilla, un solo dispositivo es el responsable de proveer el aislamiento sísmico por medio de la flexibilidad horizontal y además proporcionar disipación de energía. Un ejemplo de esta categoría es el apoyo elastomérico laminado con núcleo de Plomo (LRB), el cual combina un apoyo elastomérico con una barra de plomo en el núcleo del apoyo.

La combinación separada, consiste en un apoyo elastomérico con disipadores de energía instalados por separado. Estos dispositivos amortiguadores pueden ser de dos tipos:

- Amortiguadores por fluencia de materiales o amortiguadores histeréticos, los cuales están hechos generalmente de placas de metal, barras de acero o plomo, etc.
- Amortiguadores Viscosos que están hechos por materiales viscosos como silicón en forma de fluido, etc.

2.2 COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE DISPOSITIVOS DE DISIPACIÓN POR FLUENCIA DE METALES

Un material con comportamiento elástico lineal (figura 2.2a) escasamente disipa energía debido a que el área debajo de la curva esfuerzo-deformación es muy pequeña. Por esta razón, este tipo de dispositivos suelen tener buena ductilidad para incursionar en el intervalo de deformaciones plásticas, aumentando el área bajo la curva esfuerzo-deformación (figura 2.2b), lo que consecuentemente aumenta la energía disipada.

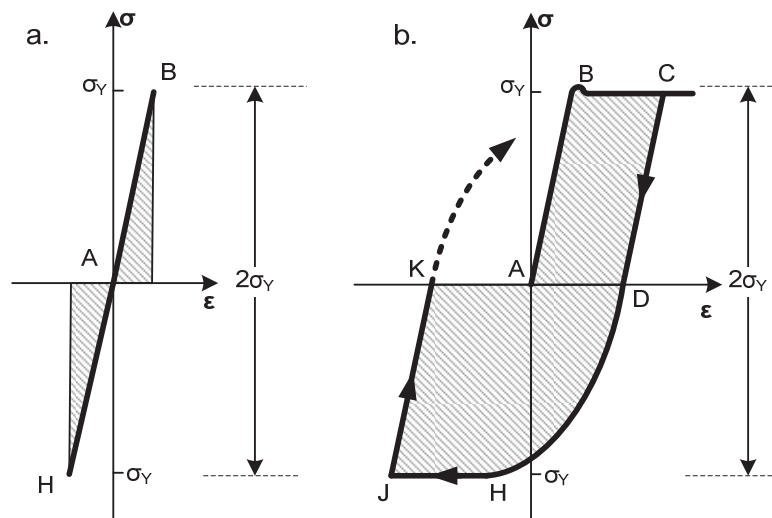


Figura 2.2 Disipación de energía en rango elástico y plástico.

En la mayor parte de los materiales, la deformación plástica no depende sólo del valor del esfuerzo máximo alcanzado, sino también del tiempo transcurrido antes de retirar la carga. La parte de la deformación plástica que depende del esfuerzo se conoce como deslizamiento y la parte dependiente del tiempo, que también depende de la temperatura, se conoce como flujo plástico (“creep”).

Al someter barras de acero o plomo a cargas laterales cíclicas (originadas por sismo), se obtiene un diagrama de esfuerzo-deformación como el que muestra la figura 2.3. Mientras la carga aplicada aumenta, el esfuerzo cortante aumenta dentro del rango elástico y eventualmente pasa por el punto C donde se considera material fluye plásticamente. Al aplicar una carga en sentido contrario, el diagrama esfuerzo-deformación pasa por el punto D hasta llegar al punto H donde el esfuerzo es igual a $-\sigma_y$. La porción DH del diagrama es curva y no muestra un punto de fluencia bien definido, a esta curvatura se le conoce como efecto Bauschinger.

Al continuar con un nuevo ciclo de carga, el esfuerzo retorna del punto J a cero a lo largo de la línea JK con pendiente igual al módulo de elasticidad E , curvándose hacia arriba y a la derecha hasta alcanzar de nuevo el esfuerzo de fluencia σ_y .

Si la carga inicial es suficientemente grande para causar endurecimiento de deformación del material (punto C'), la descarga tendría lugar a lo largo de la línea C' D'. Al aplicar la nueva carga, los esfuerzos alcanzan su valor máximo en H' y manteniéndolo mientras el material fluye a lo largo de la línea H' J'.

Si el punto K o K' coincide con el origen A del diagrama, la deformación permanente es cero y puede parecer que la barra hubiera retornado a su condición inicial. Sin embargo, han ocurrido cambios interiores, y si se repite la misma secuencia de carga, la barra se romperá súbitamente luego de, relativamente, pocas repeticiones. El número de ciclos de carga aumenta con el tipo de material empleado, por ejemplo: el plomo tiene mejor resistencia a la fatiga que el acero, por lo que lo haría un material idóneo para disipar energía por fluencia.

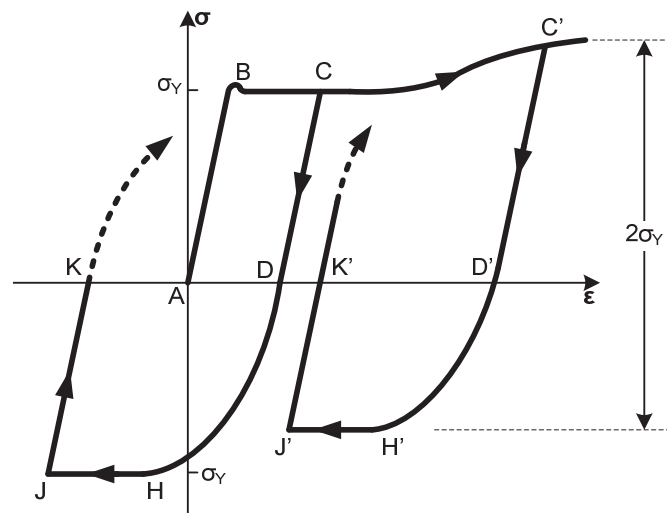


Figura 2.3 Comportamiento Elastoplástico de un material.

Para estructuras con amortiguadores viscosos o con dispositivos de disipación por fluencia de metales, el amortiguamiento viscoso equivalente se ve incrementado entre un 15% y 25% dependiendo de las características específicas del dispositivo.

El aislamiento de base y los sistemas de disipación de energía pueden ser diseñados para tomar ventaja de las características dinámicas y las propiedades no lineales de estos dispositivos, logrando así reducir las aceleraciones y desplazamiento ocasionados por sismos. Ambos de estos dispositivos pueden reducir los daños sísmicos en una estructura. Sin embargo, cada uno de estos dispositivos trabaja mejor para diferentes intervalos de características dinámicas. Mientras que el aislamiento sísmico mejora la respuesta y reduce el daño sísmico en estructuras rígidas; los sistemas de disipación de energía son más efectivos reduciendo el daño sísmico en estructuras flexibles sometidas a eventos de banda angosta y mucho menos efectivos para estructuras rígidas.

2.3 COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE SISTEMAS CON AISLAMIENTO SÍSMICO

Las características dinámicas del aislamiento de base pueden ser modeladas como un sistema de un grado de libertad. En la figura 2.4a, se muestra la idealización de un puente con una sola pila de rigidez k_0 y un coeficiente de amortiguamiento viscoso c_0 , la superestructura esta representada por una masa concentrada m_0 .

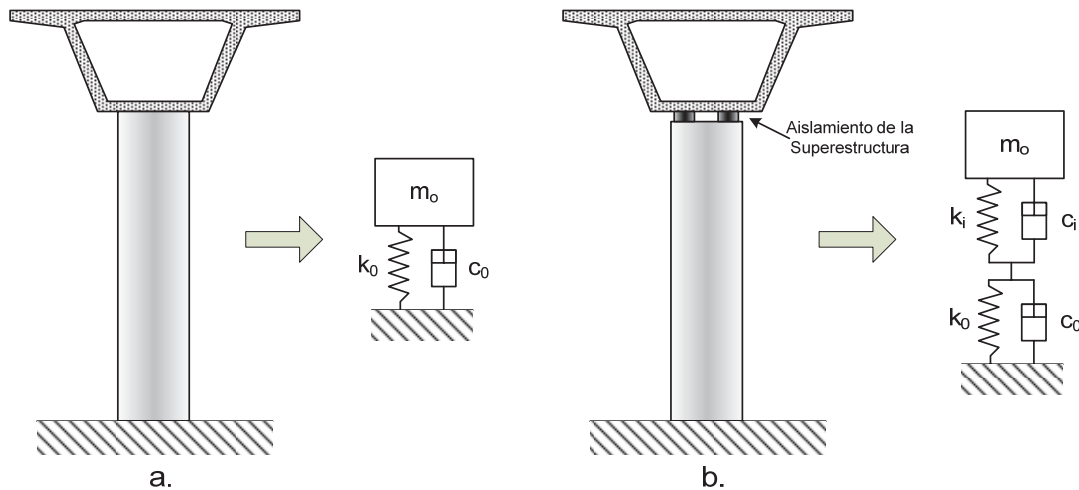


Figura 2.4 Idealización de un puente con y sin aislamiento sísmico.

Cuando a este sistema se le somete a una excitación en la base representada por la función $-m_0\ddot{x}_g$, la ecuación de equilibrio dinámico resulta de la siguiente forma:

$$m_0\ddot{x} + c_0\dot{x} + k_0x = -m_0\ddot{x}_g \quad (1.1)$$

El periodo natural del sistema esta definido por la siguiente ecuación:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m_0}{k_0}} \quad (1.2)$$

Al adicionar un sistema lineal de aislamiento sísmico, la estructura se puede idealizar como lo muestra la figura 2.4b, con una rigidez k_i y un coeficiente de amortiguamiento c_i . Al combinar la rigidez del aislador y de la pila, la rigidez del sistema queda definida como:

$$K = \frac{k_0k_i}{k_0 + k_i} \quad (1.3)$$

Entonces, la ecuación de equilibrio dinámico (1.1) para el sistema de un grado de libertad con aislamiento sísmico es:

$$m_0\ddot{x} + (c_0 + c_i)\dot{x} + Kx = -m_0\ddot{x}_g \quad (1.4)$$

Ahora, el periodo natural de vibración del sistema con aislamiento se convierte en:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m_0}{K}} = 2\pi\sqrt{\frac{m_0(k_0 + k_i)}{k_0 k_i}} \quad (1.5)$$

En la ecuación (1.5), se observa que al ser la rigidez del aislador mucho más pequeña que la rigidez de la pila, el periodo se incrementa. Por ejemplo, si la rigidez del aislador fuera el 10% de la rigidez de la pila el periodo natural de vibración del sistema con aislamiento, se incrementaría más de 3 veces el del sistema sin aislamiento.

La respuesta $x(t)$ del sistema con aislamiento de base se puede determinar utilizando la integral de Duhamel:

$$x(t) = -\frac{1}{\omega_d} \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau) d\tau \quad (1.6)$$

En la respuesta de este sistema de un grado de libertad (ecuación 1.6), se observa que depende sólo del periodo natural de vibración T y de la fracción del amortiguamiento crítico ξ . Manteniendo constante la fracción del amortiguamiento crítico y variando el periodo, se obtienen los desplazamientos máximos para cada periodo formando curvas como la figura 2.5. Este tipo de gráficas se les conoce como espectro de respuesta de desplazamientos.

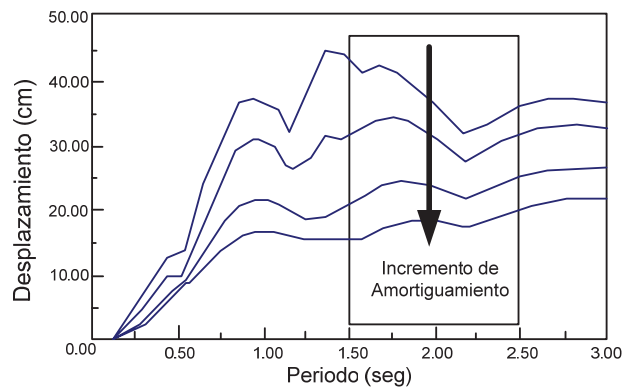


Figura 2.5 Espectro de respuesta de desplazamientos.

Del espectro de desplazamientos se puede obtener un espectro de respuesta de pseudoaceleraciones (figura 2.6) de la siguiente forma.

$$A(t) = \omega^2 x(t) = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 x(t) \quad (1.7)$$

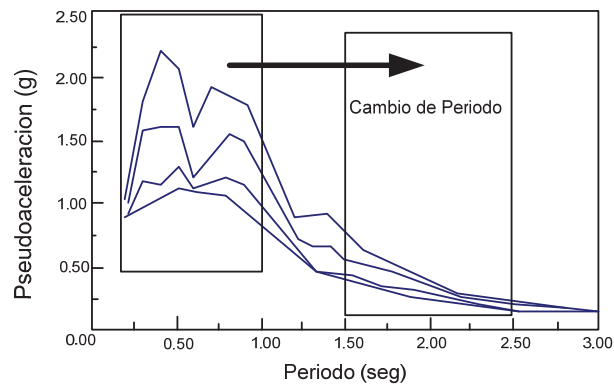


Figura 2.6 Espectro de pseudoaceleraciones.

En las gráficas anteriores se puede observar dos características que serían ideales para mitigar adecuadamente los daños producidos por eventos sísmicos. La primera característica, es el efecto del cambio de periodo (figura 2.6), que origina una drástica disminución de las pseudoaceleraciones que puede ser objeto la estructura. Este efecto es logrado como se mencionó anteriormente con algún sistema de aislamiento sísmico. La segunda característica, es el efecto de disipación de energía (figura 2.5). Este efecto es el resultado de añadir capacidad de disipación de energía a la estructura, logrando así reducir las deformaciones de la estructura y con ello disminuir las demandas de ductilidad en elementos estructurales.

Evidentemente, los beneficios del sistema de aislamiento de base se logra para estructuras más rígidas las cuales tiene un periodo más corto. Otro factor a considerar para la aplicación de este sistema sería las condiciones del suelo, debido a que para suelos duros los movimientos del terreno x_g tiene un alto contenido de frecuencias altas. Mientras, que para suelos blandos predominan las frecuencias bajas.

Existen casos extremos de suelos blandos como es el Sismo de la Ciudad de México donde los movimientos del suelo son dominados por frecuencias bajas y con periodos en el intervalo de 1.5 a 2.5 segundos. Para estructuras con periodos menores que 1.5 segundos, el usar sistemas de aislamiento sísmico podría resultar perjudicial para la estructura, porque el aumento de periodo que se logra puede conducir al sistema a pseudoaceleraciones espectrales son mayores.

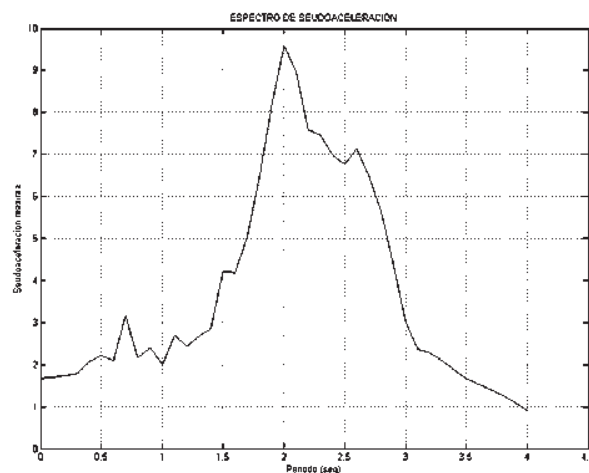


Figura 2.7 Espectro de Seudoaceleraciones Sismo SCT-EW.

2.3.1 Formulaciones de conservación de la energía.

Al instalarse dispositivos disipadores de energía en estructuras, es más adecuado enfocar el diseño hacia los principios de conservación de energía. Cuando una estructura esta sujeta a una historia de aceleraciones en el tiempo, la energía de entrada tiende a equilibrarse con las formas de disipación de energía de la estructura.

La energía al final de una historia de aceleraciones en el tiempo, se determina integrando con respecto al desplazamiento, cada elemento de la ecuación 1.1.

$$m_0\ddot{x} + c_0\dot{x} + k_0x = -m_0\ddot{x}_g \quad (1.1)$$

$$\int m_0\ddot{x}dx + \int c_0\dot{x}dx + \int k_0xdx = -\int m_0\ddot{x}_g dx \quad (1.8a)$$

$$\frac{m_0\dot{x}^2}{2} + \int c_0\dot{x}^2 dt + \frac{k_0x^2}{2} = -\int f dx \quad (1.8b)$$

De la ecuación 1.8b, el equilibrio de energías se puede conceptualizar de la siguiente forma:

$$E_K + E_D + E_S = E_I \quad (1.9)$$

Donde:

E_K , energía cinética

$$E_D = E_V + E_H$$

E_D , energía disipada

E_V , energía viscosa

E_H , energía histerética aportada por dispositivos de disipación.

$$E_S = E_{Se} + E_{Sp}$$

E_S , energía disipada por deformaciones de la estructura.

E_{Se} , energía disipada por deformaciones elásticas de la estructura.

E_{Sp} , energía disipada por deformaciones plásticas de la estructura

$$E_K + E_V + E_H + E_{Se} + E_{Sp} = E_I \quad (1.10)$$

La cantidad de energía que aporta cada elemento de la ecuación 1.10 se muestra en la figura 2.8. Se puede observar que la energía cinética tiene valores muy pequeños y aumenta sólo cuando las aceleraciones del terreno son máximas. En este gráfico, se toma en cuenta la energía potencial la cual tiene un valor muy parecido al de la energía cinética. La energía histerética y la energía de amortiguamiento modal, equilibran casi en su totalidad la energía de entrada.

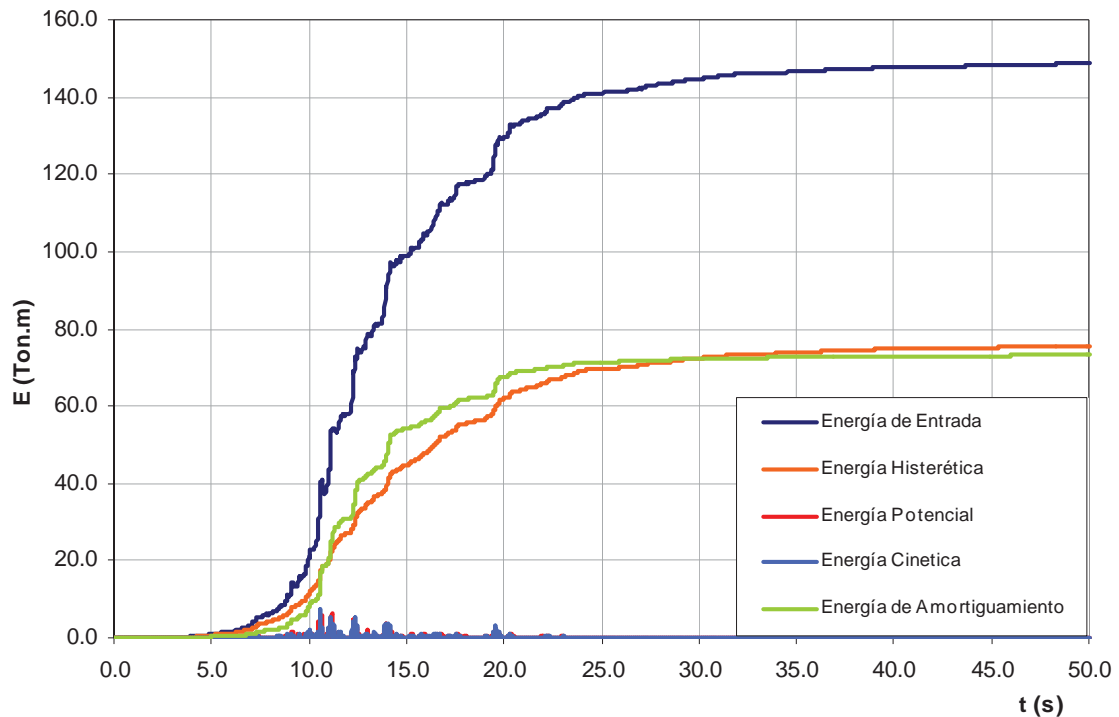


Figura 2.8 Funciones de energía para un puente con disipadores pasivos.

La cantidad de elementos en la ecuación 1.10 depende del tipo de formas de que una estructura pueda disipar energía. La ecuación 1.10 representa sólo el balance de energías cuando se usa un disipador de energía pasivo, en caso de usar un disipador de energía activo habría que agregar su función Γx , la cual depende si el dispositivo es dependiente de la velocidad o del desplazamiento.

2.4 DISPOSITIVO PROPUESTO

El objeto de este estudio es determinar el grado de efectividad del sistema propuesto por Jara y Jara (2006), el cual consiste en un sistema de aislamiento sísmico combinado con un sistema de disipación de energía, dispuesto entre el cabezal de las pilas y el diafragma transversal que generalmente se coloca en los apoyos (figura 2.9).

El sistema propuesto consta de apoyos de neopreno laminado (LRB) que tienen la función de aislar sísmicamente la superestructura del puente. Para controlar los desplazamientos excesivos durante un sismo, incrementar la disipación de energía y dar la capacidad de restitución a la superestructura al finalizar un evento sísmico, se propone disponer un arreglo de barras verticales conectando entre el cabezal de las pilas y la superestructura del puente.

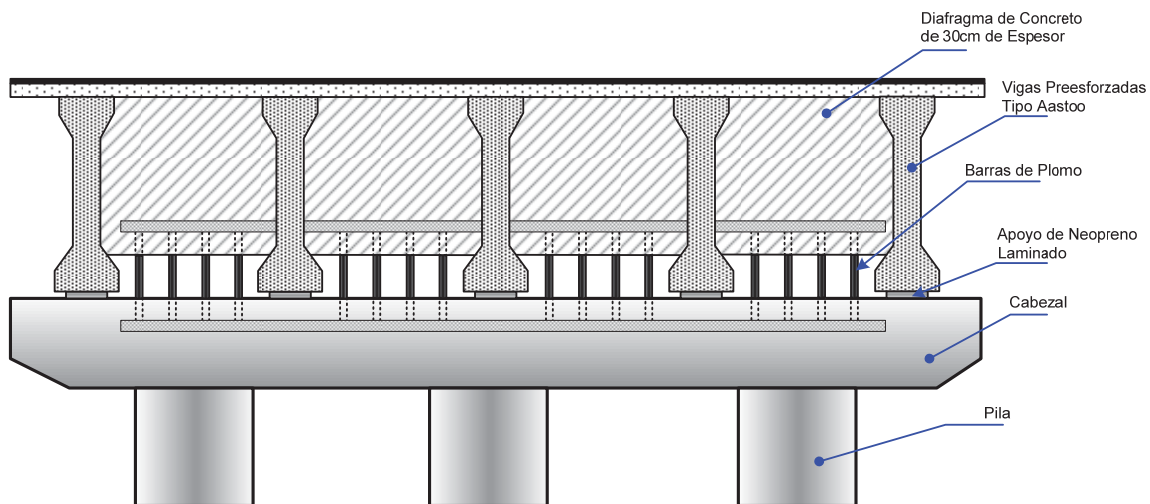


Figura 2.9 Sistema Aislador-Disipador con Barras de Plomo o de Acero

Existen estudios experimentales (Buckle, 1984), que sugieren que los apoyos laminados de neopreno con núcleo de plomo no se deforman bajo cortante puro si el confinamiento o la geometría del núcleo presenta variación con respecto a límites bien definidos, por lo que se reduce su capacidad de disipar energía. Por otro lado, al tener solo un núcleo de plomo este se ve restringido por las dimensiones de los apoyos de neopreno por lo que la energía que puede disipar esta limitada; por esta razón, se propone usar barras de plomo por separado donde evidentemente este no sería un problema.

Se sugiere que las barras sean de plomo debido a que el plomo presenta una alta rigidez inicial al cortante y un esfuerzo de fluencia relativamente bajo al cortante. Además, este material se comporta aproximadamente como un sólido elasto-plástico por lo que presenta un comportamiento histerético estable como lo muestra la figura 2.10, debido a que sus propiedades mecánicas son continuamente recuperadas al recristalizarse a una temperatura normal evitando así que falle por fatiga bajo la aplicación de cargas cíclicas.

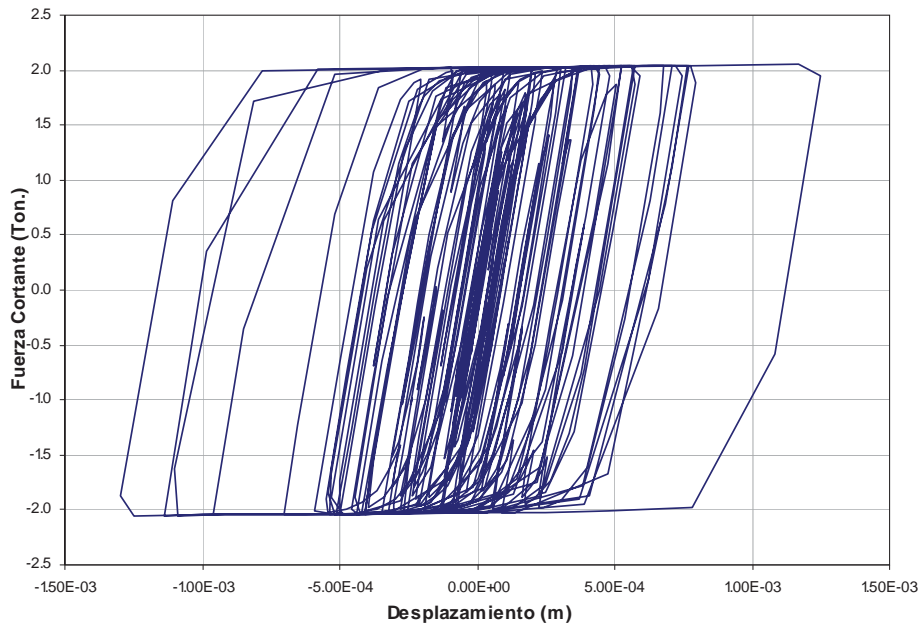
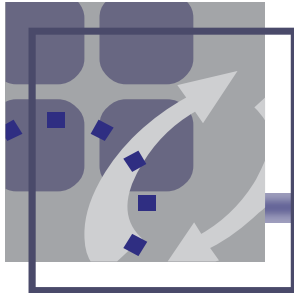


Figura 2.10 Curvas histeréticas del Plomo sometido a cargas cíclicas

En este sistema para que las barras trabajen a cortante puro se prevé que sean de longitud pequeña y con sujeción en cada extremo de las barras por medio de placas de anclaje dispuestas en el cabezal de las pilas y en el diafragma. También, el uso de estas barras proporciona rigidez lateral bajo cargas de servicio y previene la falla del puente por pérdida de apoyo durante un evento sísmico.

Aunque es preferible usar plomo para las barras, también el efecto de disipación de energía se puede lograr colocando barras de acero que son las más comúnmente usadas en la construcción.



Capítulo III

MODELADO DE PUENTES

Contenido:

3.1 Dimensiones

3.2 Sistemas de control de vibraciones empleados

3.2.1 Dispositivos de aislamiento de base

3.2.2 Dispositivos de disipación de energía por fluencia de metales

3.3 Cargas aplicadas a la estructura

3.3.1 Análisis de cargas muertas

3.3.2 Cargas vivas y vehículos de diseño

3.3.3 Espectros de diseño sísmico

3.4 Consideraciones adicionales

CAPÍTULO III MODELADO DE PUENTES

3.1 DIMENSIONES

Con la finalidad de comparar la respuesta que genera el uso de un sistema de disipación de energía con barras de plomo y un sistema con neopreno laminado. Se propuso analizar 4 tipos de puentes con problemas de irregularidad en altura. Los puentes se modelaron utilizando el programa SAP2000 v11.0.0 con las dimensiones mostradas en la tabla 3.1, donde cada cota se indica en la figura 3.1.

Tabla 3.1 Tabla de dimensiones y periodos de puentes modelados.

Nombre	Periodo (s)	Alturas (m)			Claros (m)			
		H ₁	H ₂	H ₃	C1	C2	C3	C4
Puente 1	1.50	10	7	18	21.50	21.50	21.50	21.50
Puente 2	2.00	19	10	26	33.25	33.25	33.25	33.25
Puente 3	2.50	17	37	16	42.75	42.75	42.75	42.75
Puente 4	3.00	33	26	16	47.25	47.25	47.25	47.25

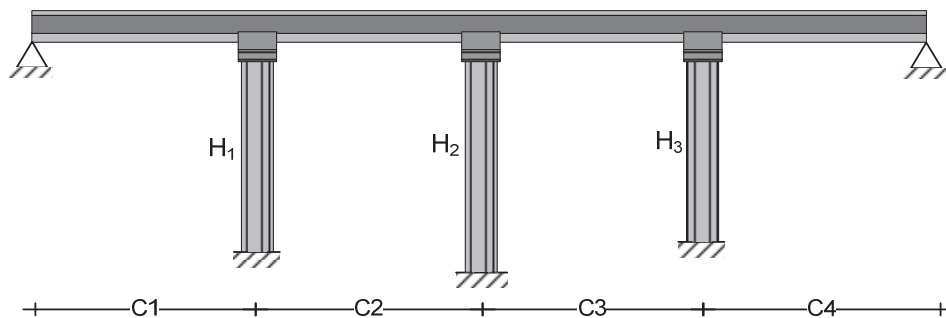


Figura 3.1 Esquema de medidas de puentes modelados (Vista Alzado Longitudinal).

Se utilizarán vigas prefabricadas de concreto presforzado tipo AASHTO distribuidas a cada 1.50 m. a lo largo de la sección transversal del puente, mostradas en la figura 3.2.

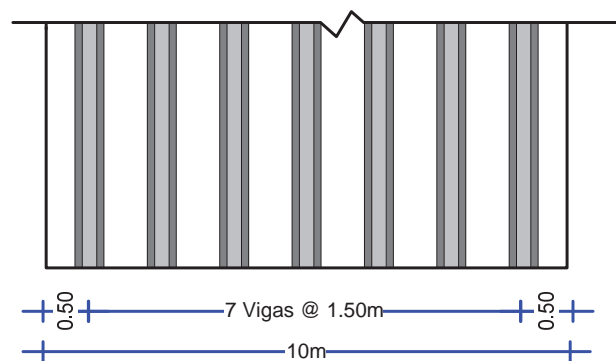


Figura 3.2 Distribución de vigas AASHTO sección transversal (vista en planta).

Las vigas utilizadas tienen las siguientes secciones transversales con sus respectivas propiedades.

Tabla 3.2 Tabla de dimensiones de vigas AASHTO.

Cota	III	IV	V
<i>B1</i>	0.4064	0.508	1.0668
<i>B2</i>	0.5588	0.6604	0.7112
<i>B3</i>	0.1778	0.2032	0.2032
<i>B4</i>	0	0	0.1016
<i>D1</i>	1.143	1.3716	1.6002
<i>D2</i>	0.1778	0.2032	0.127
<i>D3</i>	0.1143	0.1524	0.0762
<i>D4</i>	0	0	0.1016
<i>D5</i>	0.1905	0.2286	0.254
<i>D6</i>	0.1778	0.2032	0.2032

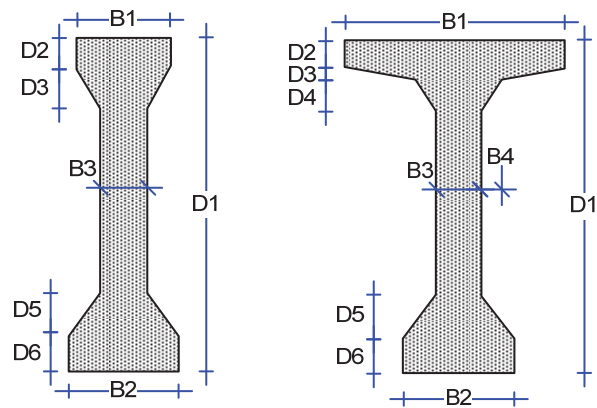


Figura 3.3 Cotas de sección transversal de Vigas AASHTO.

3.2 SISTEMAS DE CONTROL DE VIBRACIONES EMPLEADOS

3.2.1 Dispositivo de aislamiento de base

Como es común en la práctica de la construcción de puentes, cada uno de los puentes cuenta con apoyos de neopreno laminado en cada extremo de las vigas. Los apoyos de neopreno fueron modelados con un elemento “Link” con propiedades de un aislador de caucho linealmente elástico.

El espesor de los apoyos de neopreno es de 41 y 57mm. Alternando las alturas en cada cabezal de columnas, para contar con un apoyo fijo y uno móvil. Las dimensiones del apoyo se presentan en la siguiente tabla con sus respectivas rigideces.

Tabla 3.3 Tabla de dimensiones de apoyos de neopreno laminado

Nombre	Apoyo 41 mm.		Apoyo 57 mm.	
	Dimensiones (cm)	Rigidez (Ton/m)	Dimensiones (cm)	Rigidez (Ton/m)
Puente 1	30 x 30	346.154	30 x 30 cm.	230.769
Puente 2	30 x 30	346.154	30 x 30 cm.	230.769
Puente 3	40 x 40	471.154	40 x 40 cm.	314.103
Puente 4	40 x 40	471.154	40 x 40 cm.	314.103

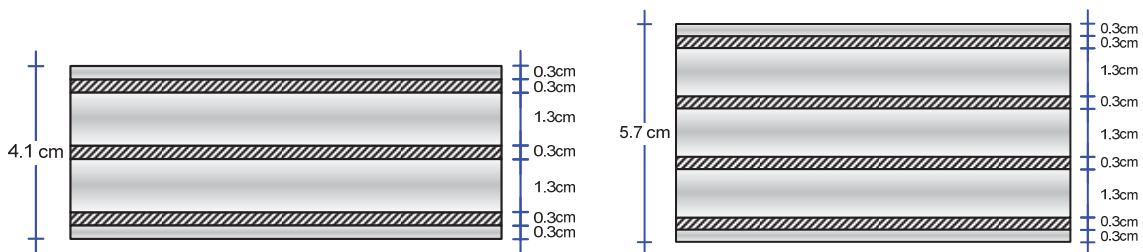


Figura 3.4 Sección transversal de apoyo de neopreno laminado.

3.2.2 Dispositivos de disipación de energía por fluencia de metales

Para modelar el empleo de disipadores de energía por medio de barras de plomo se utilizara un elemento "Link" con base en el comportamiento histerético propuesto por Wen (1976), el cual se muestra en la figura 3.5.

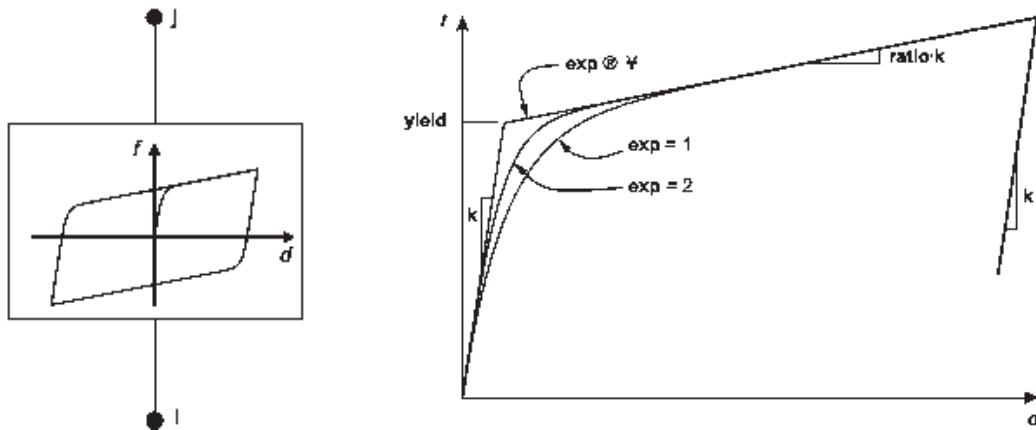


Figura 3.5 Propiedad de Plasticidad de Wen para Deformaciones Uniaxiales

Las propiedades mecánicas del plomo que se utilizaron son las siguientes:

$G_1 = 5.5 \times 10^5 \text{ Ton/m}^2$, modulo elástico de cortante

$G_2 = 800 \text{ Ton/m}^2$, modulo plástico de cortante

$E = 16 \text{ GPa}$, modulo de elasticidad

Relación de post-fluencia = 0.0015

Cada barra de plomo se colocó entre el cabezal de las columnas y el diafragma como se muestra en la figura 3.6.

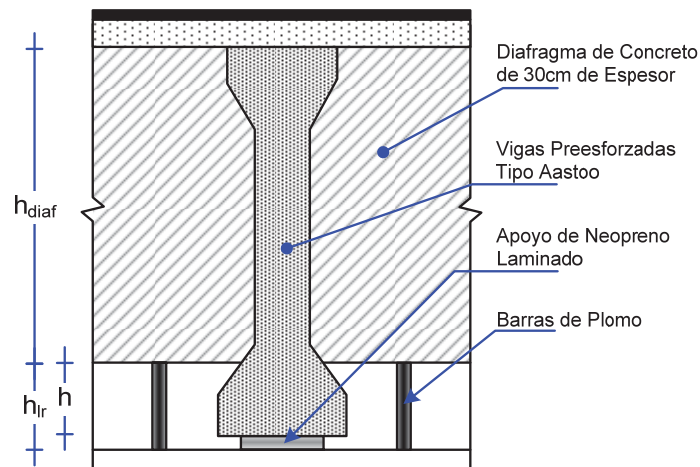


Figura 3.6 Colocación de Barras de Plomo

En cada puente se probaron siete diámetros, tomando en cuenta los diámetros más comerciales. En la tabla 3.4 se muestran las propiedades mecánicas que se aplicaron al cada modelo estructural. Cada diámetro esta tomado con si fueran dos barras, una en cada uno de los dos diafragmas que llegan a cada cabezal. Por último, se propuso una relación $h/d < 3$ para que la barra trabajar en cortante puro.

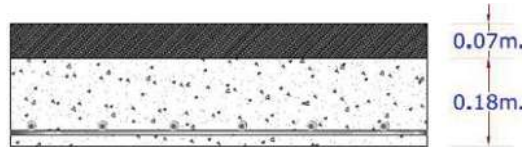
Tabla 3.4 Propiedades mecánicas para cada tipo de diámetro de barra.

Diámetro		Líneas	Área m ²	I m ⁴	h m	h/d	K τ (Ton/m)	ϵ_y (m)	F _y Ton
mm.	in.								
19.05	3/4	2	0.0011	1.034E-07	0.057	2.99	11000.886	0.00010	1.140
25.40	1	2	0.0020	3.269E-07	0.075	2.95	14863.419	0.00014	2.027
38.10	1 1/2	2	0.0046	1.655E-06	0.110	2.89	22801.837	0.00020	4.560
50.80	2	2	0.0081	5.231E-06	0.150	2.95	29726.839	0.00027	8.107
63.50	2 1/2	2	0.0127	1.277E-05	0.185	2.91	37660.691	0.00034	12.668
76.20	3	2	0.0182	2.648E-05	0.225	2.95	44590.258	0.00041	18.241
88.90	3 1/2	2	0.0248	4.906E-05	0.260	2.92	52522.179	0.00047	24.829

3.3 CARGAS APLICADAS A LA ESTRUCTURA

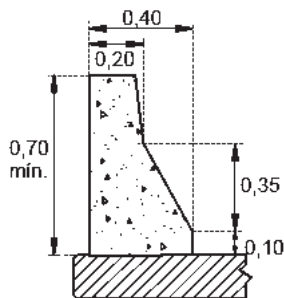
3.3.1 Análisis de cargas muertas

- Losa de concreto



Material	Espesor (m)	Área (m ²)	Peso Vol. (Ton/m ³)	Peso (Ton/m ²)
Concreto asfáltico	0.07	1	2.20	0.154
Concreto hidráulico reforzado	0.18	1	2.40	0.432
			W_{losa}	0.586

- Parapeto para vehículos



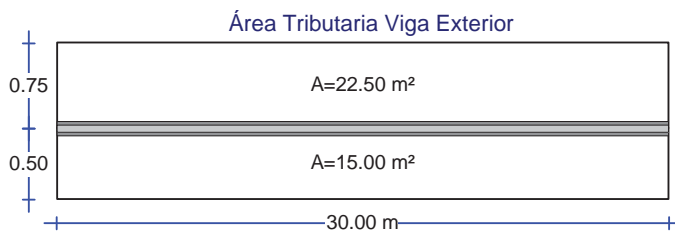
$$A = 0.195 \text{ m}^2$$

$$L = 30 \text{ m}$$

$$W_{vol} = 2.30 \text{ Ton/m}^3$$

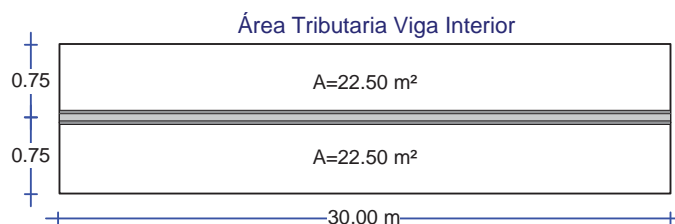
$$W_{parp} = AW = 0.195 \cdot 2.30 = 0.449 \text{ ton/m}$$

Para el modelo de cada puente se tiene dos tipos de vigas con diferentes áreas tributarias que generan teóricamente una carga uniformemente repartida, determinada de la siguiente manera.



$$W_l = \frac{AW_{losa}}{L} + W_{parp} = \frac{37.5 \cdot 0.586}{30} + 0.449$$

$$W_l = 1.182 \text{ Ton/m}$$



$$W_l = \frac{AW_{losa}}{L} = \frac{45 \cdot 0.586}{30}$$

$$W_l = 0.879 \text{ Ton/m}$$

3.3.2 Cargas vivas y vehículos de diseño

Cumpliendo con el reglamento de diseño AASHTO se aplicaron cargas móviles a los modelos estructurales, con los siguientes vehículos tipos para diseño con sus respectivas configuraciones de carga.

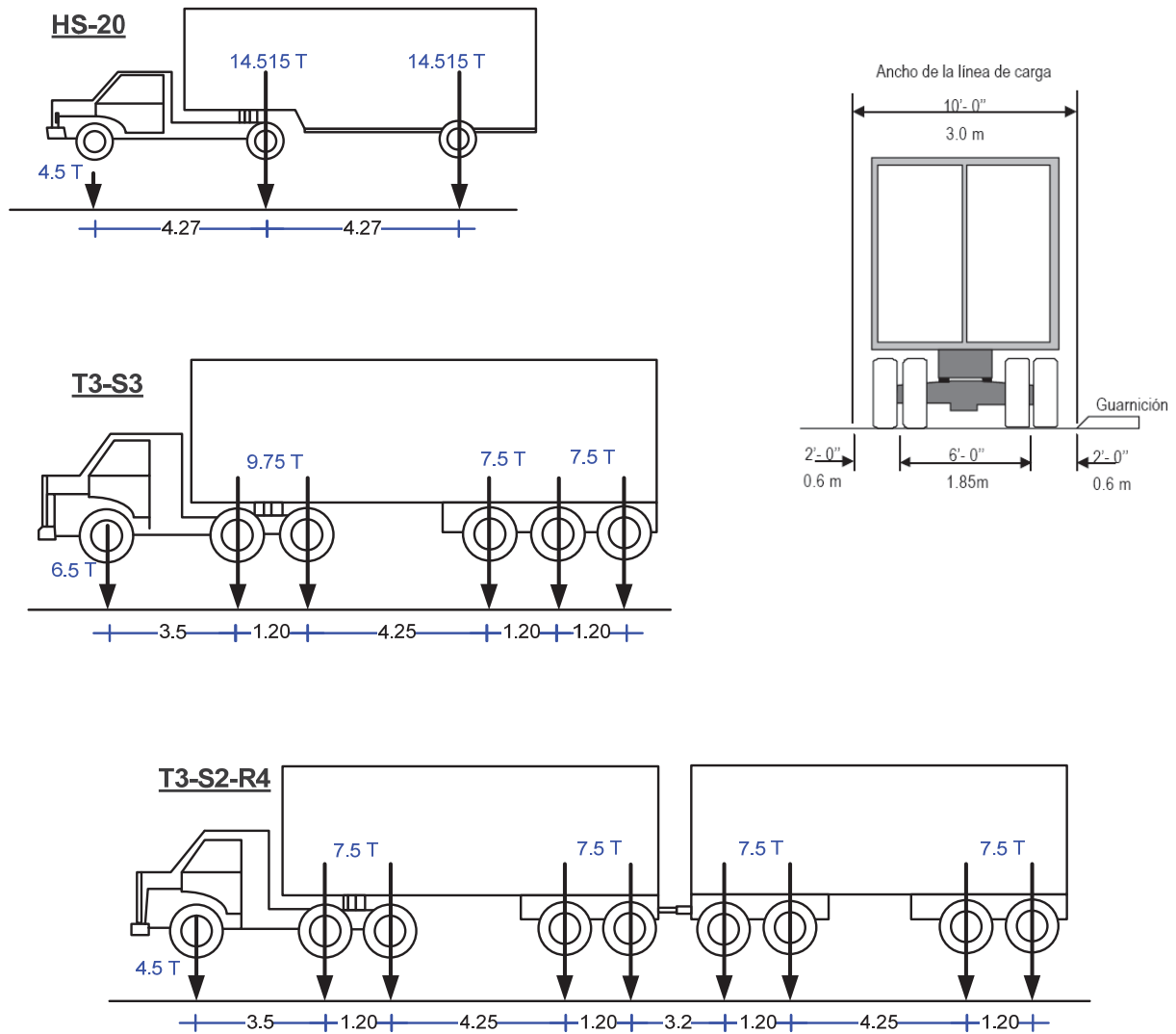


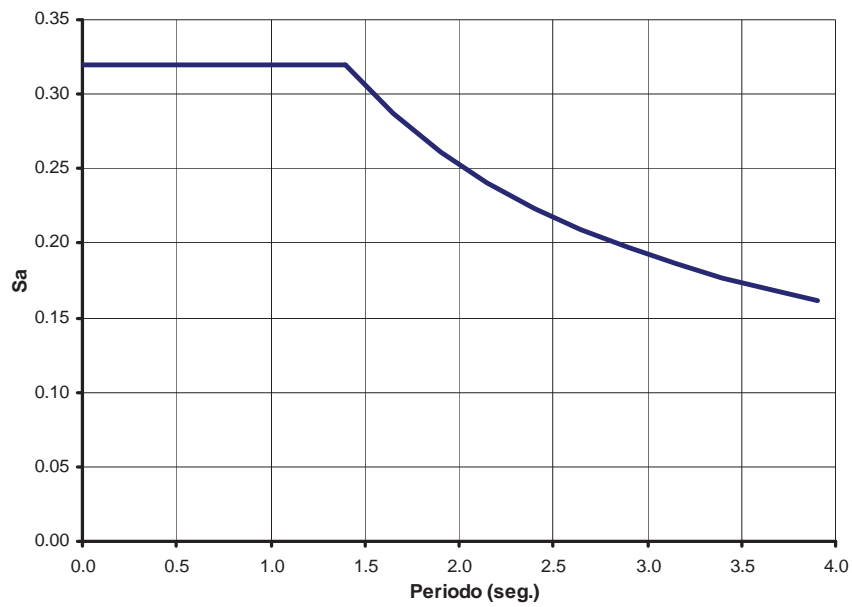
Figura 3.7 Configuraciones de carga para vehículos de diseño.

3.3.3 Espectros de diseño

Con base al manual de diseño por sismo de la CFE se utilizaron los siguientes espectros de diseño sísmico para zonas sísmicas C y D.

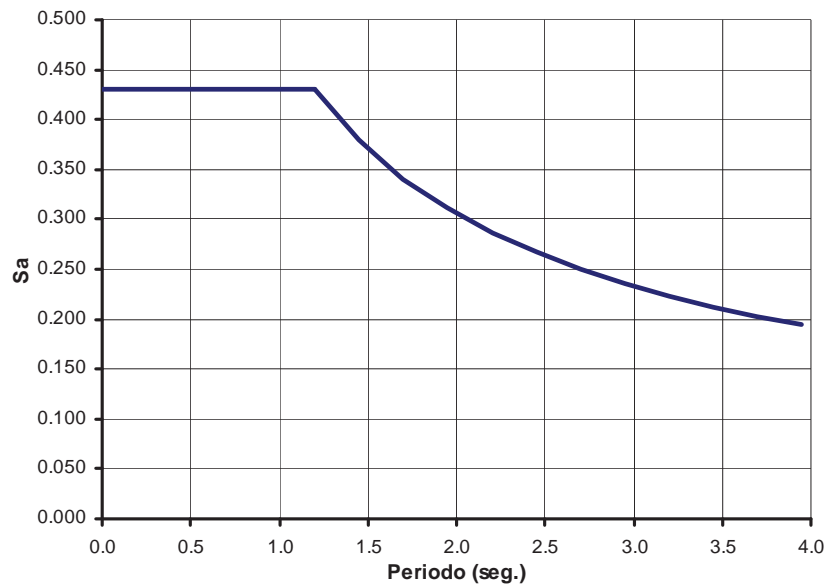
- Zona sísmica C

Zona Sísmica	Tipo de Suelo	a_0	C	T_a (s)	T_b (s)	r	Q
C	II	0.64	0.64	0.0	1.4	2/3	2



- Zona sísmica D

Zona Sísmica	Tipo de Suelo	a_0	C	T_a (s)	T_b (s)	r	Q
D	II	0.86	0.86	0.0	1.2	2/3	2



3.4 CONSIDERACIONES ADICIONALES

- No se tomó para el análisis estructural la interacción suelo-estructura.
- Se consideró un comportamiento lineal y no-lineal de las barras de plomo.
- Las cargas vivas se aplicaron en dos “lanes” al centro de cada carril y fueron distribuidas en cada viga.
- No se consideró ningún otro tipo de carga adicional al puente como podrían ser cargas por viento, por presión del suelo, etc.



Capítulo IV

DESCRIPCIÓN DE SEÑALES SÍSMICAS

CAPÍTULO IV DESCRIPCIÓN DE SEÑALES SÍSMICAS

Con el fin de conocer la respuesta de cada uno de los puentes modelados, se realizó un análisis no-lineal de historia en el tiempo para determinar el comportamiento histerético de las barras de plomo.

El estudio está enfocado a determinar el comportamiento sísmico del dispositivo disipador de energía con barras de plomo dentro de una zona sísmica D, tomando los quince registros sísmicos de la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes, mostradas en la tabla 4.1. Se utilizaron los siguientes criterios para seleccionar las fuentes sísmicas: fuente sísmica de subducción, localización del epicentro menor que 150km. (figura 4.1), terreno duro y magnitud sísmica mayor que 7. Además, se consideró un registro adicional representativo de un terreno blando, para comparar la efectividad del dispositivo en diferentes tipos de terreno.

Aunque, cada registro sísmico inicialmente fue seleccionado para ser razonablemente consistente con la configuración sísmica del terreno en estudio, la aceleración máxima de cada registro difiere en gran medida uno de otro. Por lo que, para reducir la contribución de esta variable en los resultados, se escaló cada acelerograma. El factor de normalización se obtuvo con base en la aceleración máxima del terreno correspondiente al registro sísmico de Manzanillo (MANZORG9502), haciendo que los demás registros tengan la misma aceleración máxima. Al final, se obtuvieron 14 registros sísmicos con sus ordenadas normalizadas con el registro de Manzanillo.

Para obtener el espectro de pseudo-aceleraciones y de desplazamientos de cada registro sísmico, se usó un programa hecho en MATLAB® 7.0 que utiliza el método de Newmark, para evaluar numéricamente la respuesta dinámica de sistema lineales. Todos los registros sísmicos y sus respectivos espectros se muestran en las siguientes páginas.



Figura 4.1 Localización de estaciones sísmicas.

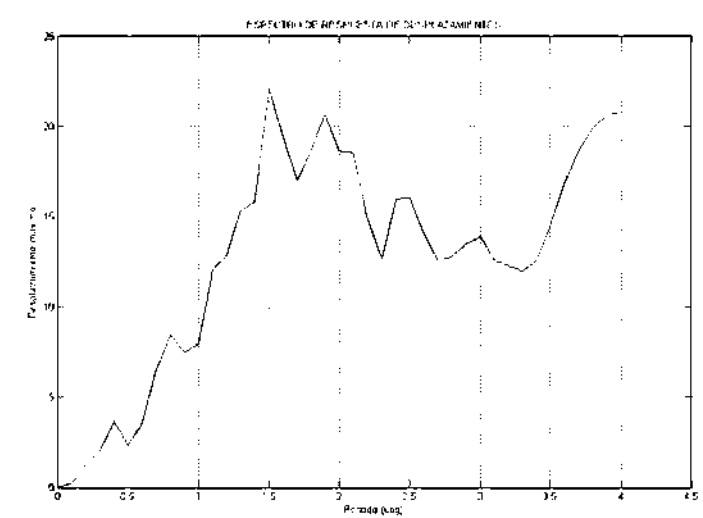
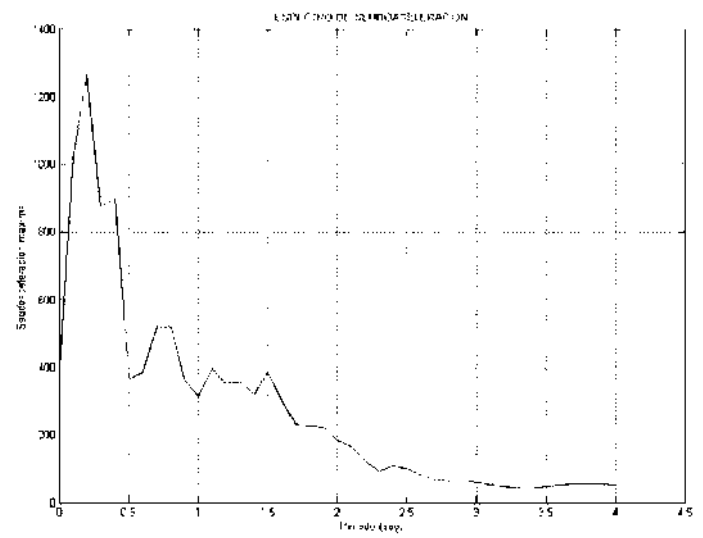
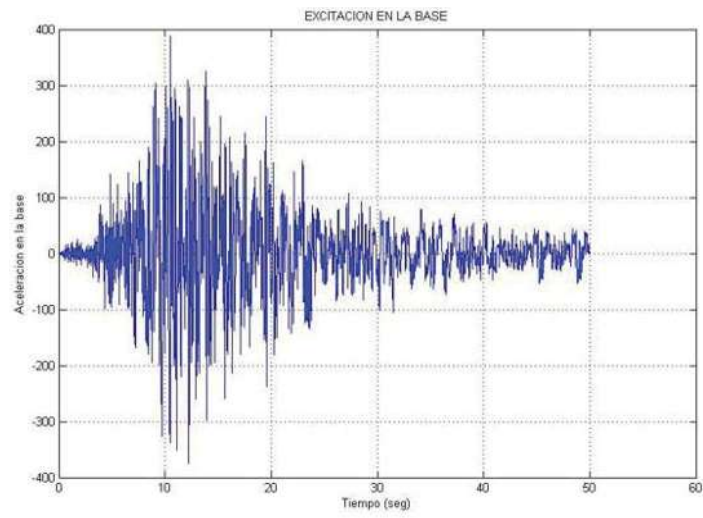
Tabla 4.1 Datos de registros sísmicos utilizados.

Estación	Magnitud	Fecha	Tipo Suelo	Estación		Sismo		R (Km.)
				Lat N	Long. W	Lat N	Long. W	
Para Distancia Epicentral < 50 km								
MANZANILLO	7.6	09/10/1995	-	19.07	104.34	18.74	104.67	50.562
CALETA DE CAMPOS	8.1	19/09/1985	Roca	18.073	102.755	18.081	102.942	19.806
COPALA	7.3	14/09/1995	Roca	16.605	98.974	16.31	98.88	34.333
AEROPUERTO ZIHUATANEJO	7.6	21/09/1985	Roca	17.603	101.455	18.021	101.479	46.594
Para Distancia Epicentral > 50 km y < 150 km								
UNION	8.1	19/09/1985		17.982	101.805	18.081	102.942	120.838
SICARTSA CASETA TESTIGO	7	14/03/1979	-	17.933	102.2	17.49	101.26	111.194
ATOYAC	7.6	21/09/1985	Roca	17.211	100.431	18.021	101.479	143.134
PAPANOA	7.6	21/09/1985	Roca	17.328	101.104	18.021	101.479	86.781
EL SUCHIL	7.6	21/09/1985	Roca	17.226	100.642	18.021	101.479	125.350
ARTEAGA	7	30/04/1986	Roca	18.356	102.293	18.024	103.57	139.994
CALETA DE CAMPOS	7	30/04/1986	Roca	18.073	102.755	18.024	103.57	86.420
COLIMA	7	30/04/1986	Caliza	19.181	103.692	18.024	103.57	129.418
OCOTILLO	7.3	14/09/1995	Roca	17.038	99.875	16.31	98.88	133.492
EL OCOTITO	7.3	14/09/1995	Roca	17.25	99.511	16.31	98.88	124.368
LAS VIGAS	7.3	14/09/1995	Roca	16.757	99.236	16.31	98.88	62.595
Para Distancia Epicentral > 150 km								
SCT1	8.1	19/09/1985	Blando	19.393	99.147	18.081	102.942	425.809

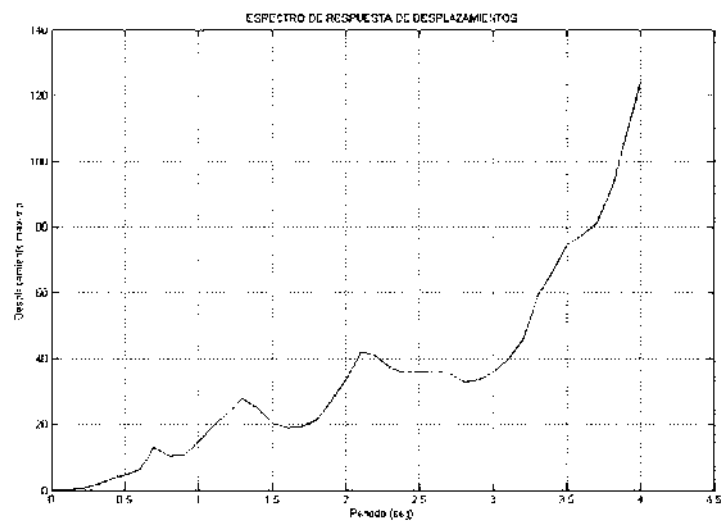
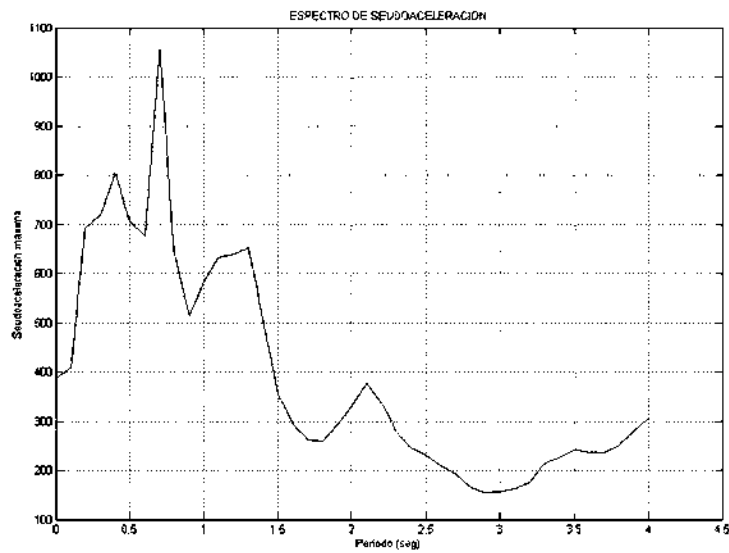
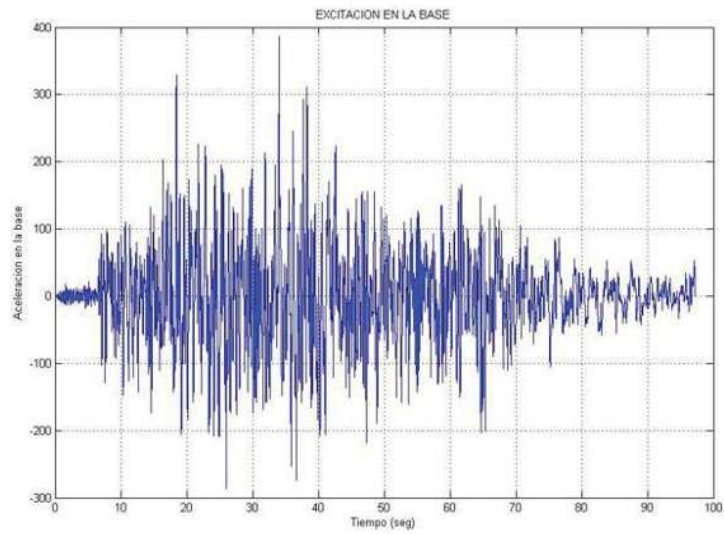
Tabla 4.2 Datos de los registros sísmicos utilizados para el análisis

Estación	Clave S	Δt registro (seg)	Duración (seg)	No. De Muestras
Para Distancia Epicentral < 50 Km.				
MANZANILLO	MANZORG9502	0.02	50	2501
CALETA DE CAMPOS	CALES8502M	0.02	97.24	4863
COPALA	COPALA9501M	0.01	63.15	6315
AEROPUERTO ZIHUATANEJO	AERZIH8501M	0.01	33.86	3386
Para Distancia Epicentral > 50 Km., < 150 Km.				
UNION	UNION8502M	0.02	124.6	6231
SICARTSA CASETA TESTIGO	SICART7902M	0.02	22.02	1101
ATOYAC	ATOYC85005M	0.005	34.55	6910
PAPANOA	PAPNOA8501M	0.01	63.79	6379
EL SUCHIL	SUCHIL8501M	0.01	41.47	4147
ARTEAGA	ARTEAG8601M	0.01	36.47	3647
CALETA DE CAMPOS	CALET86005M	0.005	25.2	5040
COLIMA	COLIMA8602M	0.02	50.7	2535
OCOTILLO	OCTLL95005M	0.005	137	27400
EL OCOTITO	OCTITO9501M	0.01	61	6100
LAS VIGAS	VIGAS95005M	0.005	40.965	8193
Para Distancia Epicentral > 150 km				
SCT1	SCTEW-8504	0.04	60.04	1502

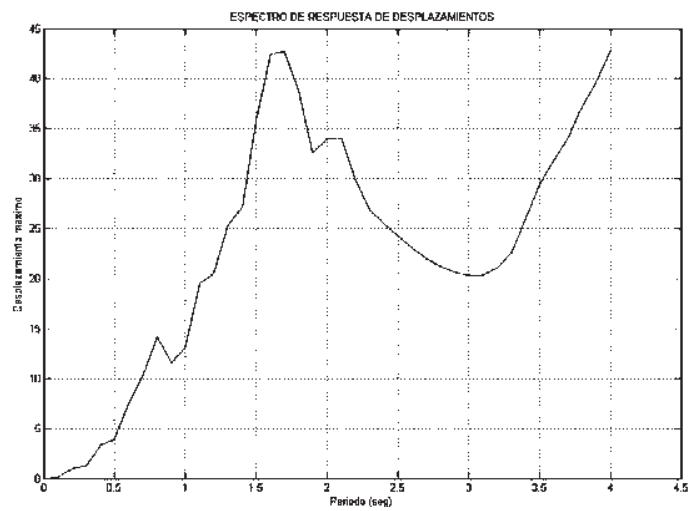
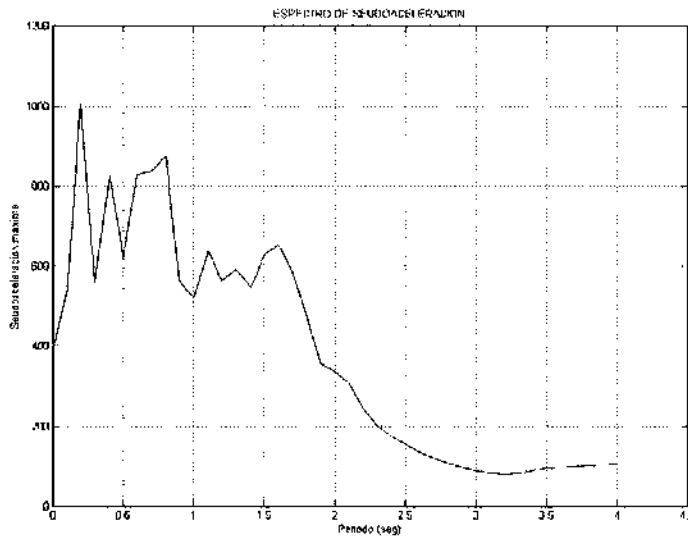
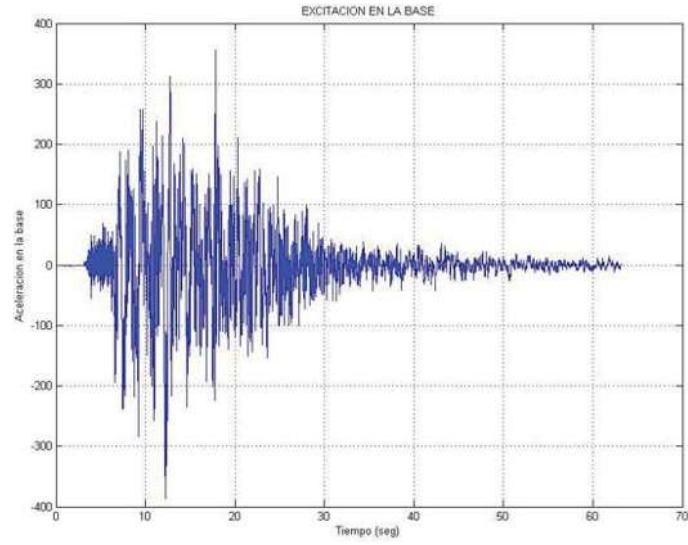
Registro Sísmico de Manzanillo (9/10/1995).



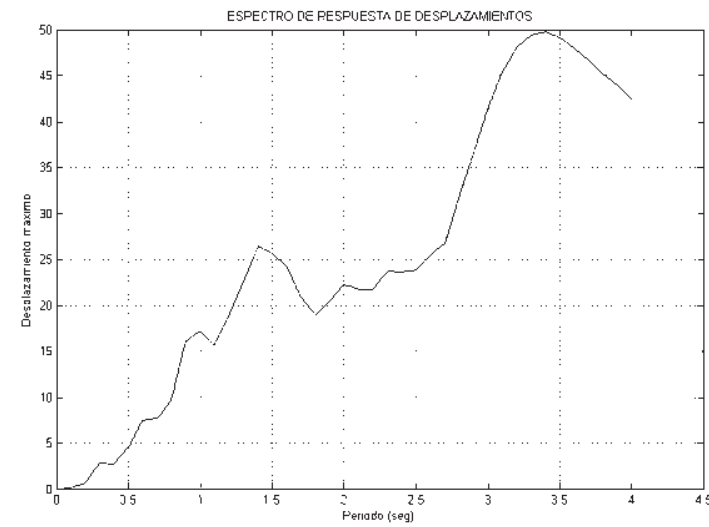
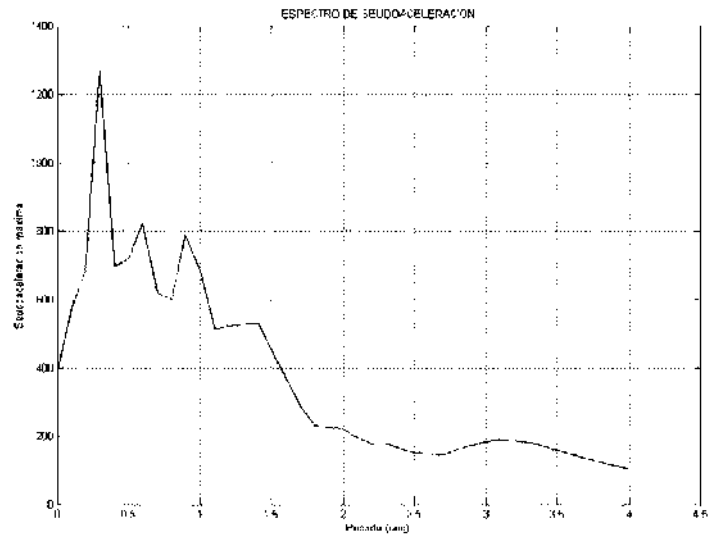
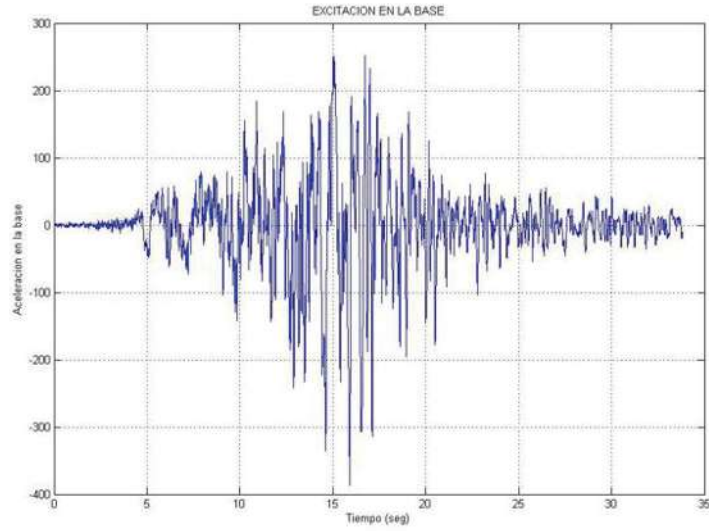
Registro sísmico normalizado de Caleta de Campos (19/09/1985).



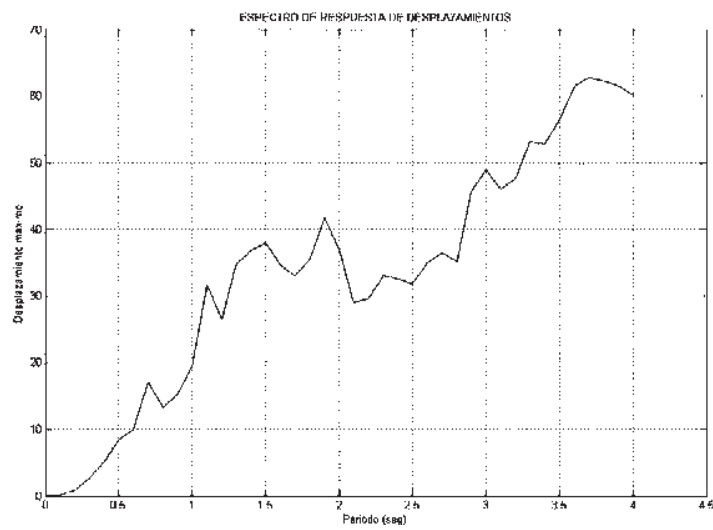
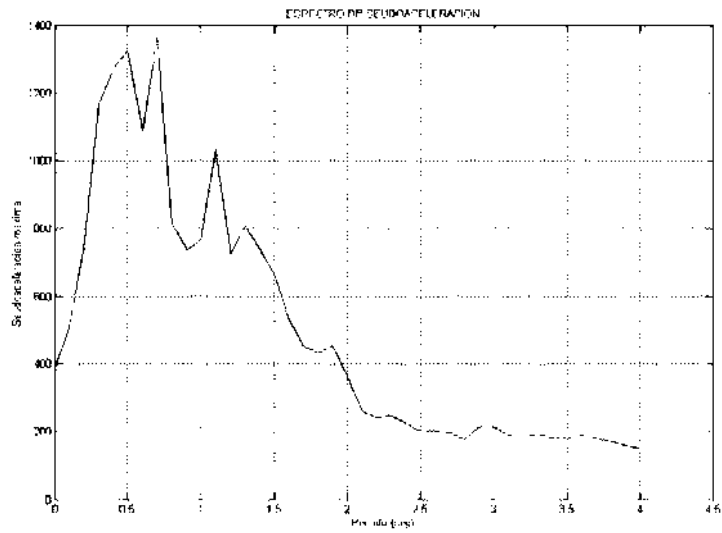
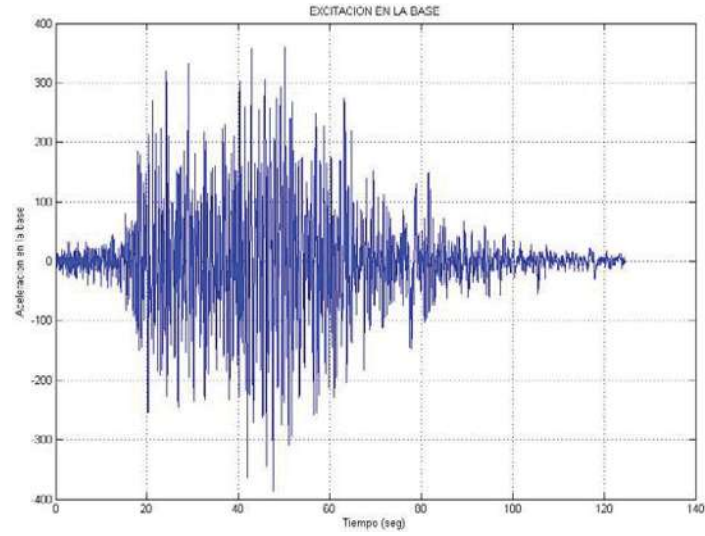
Registro sísmico normalizado de Copala (14/09/1995).



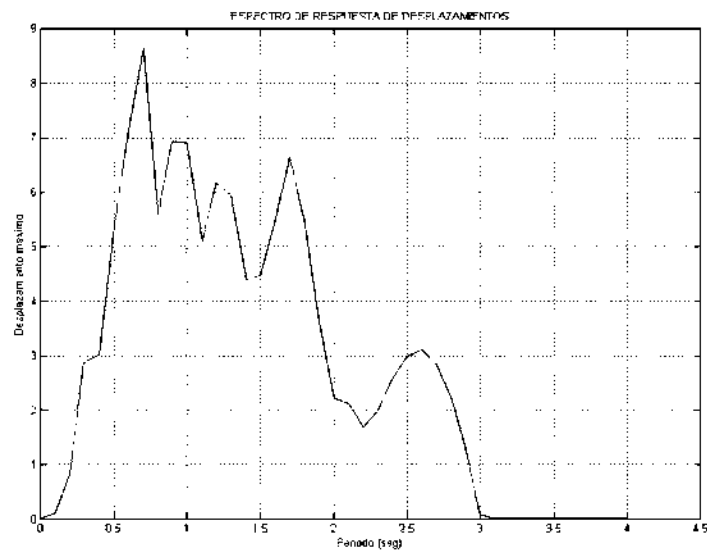
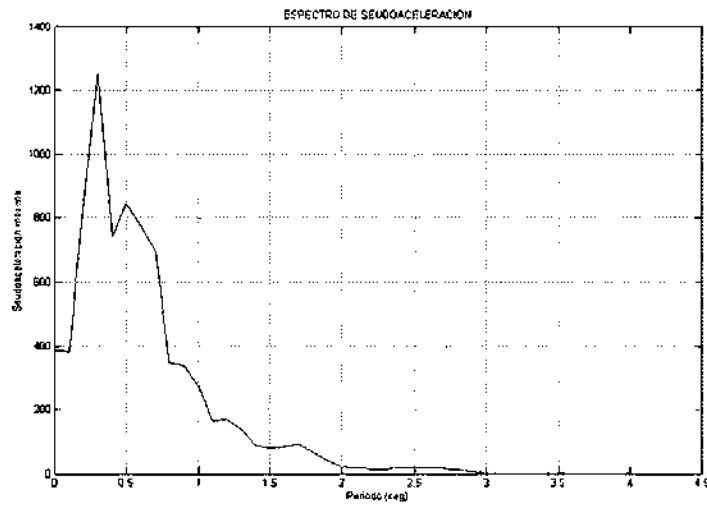
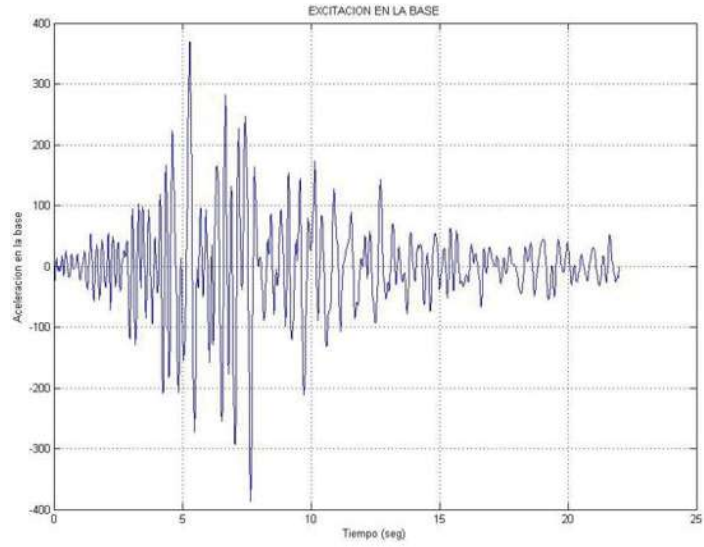
Registro sísmico normalizado de Aeropuerto Zihuatanejo (21/09/1985).



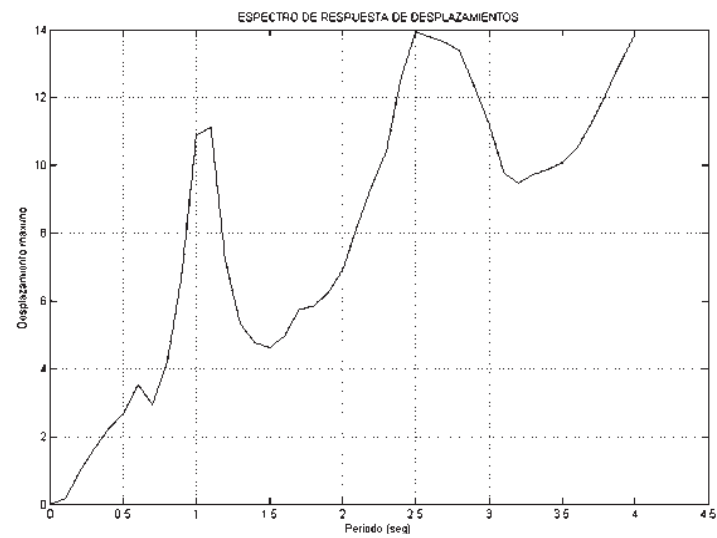
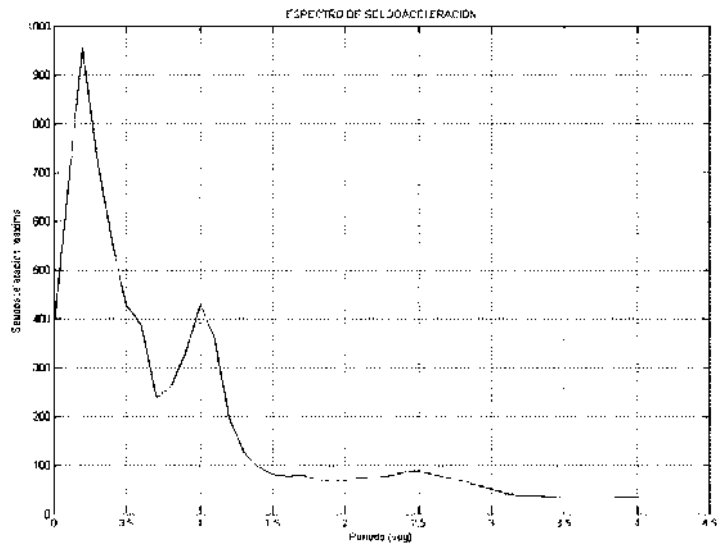
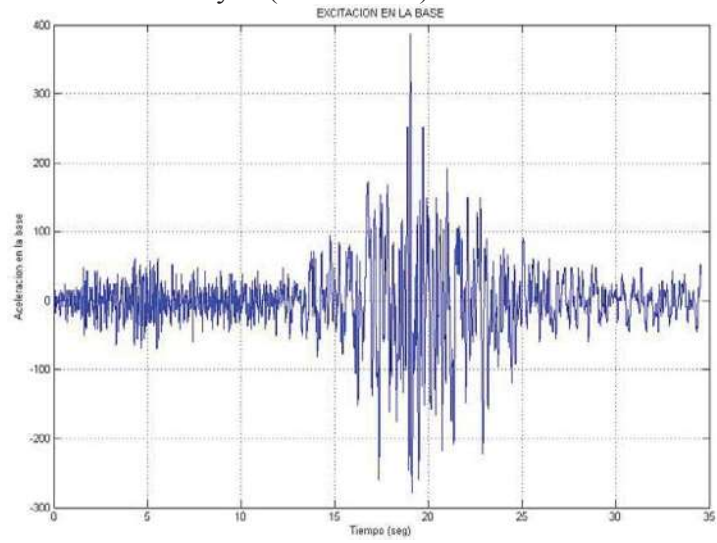
Registro sísmico normalizado de Unión (19/09/1985).



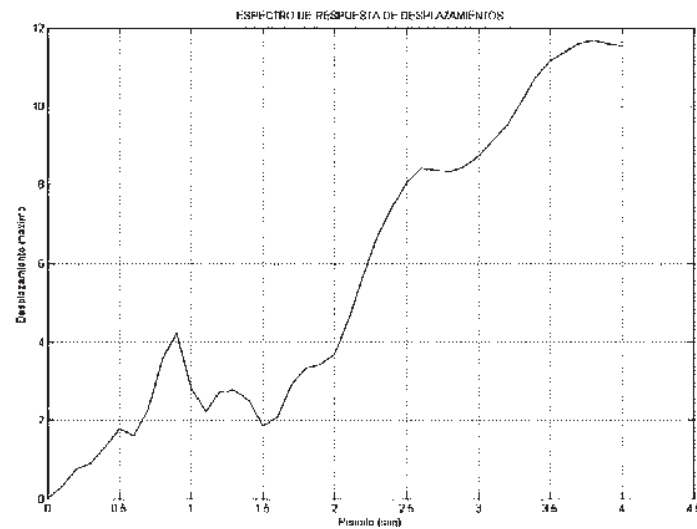
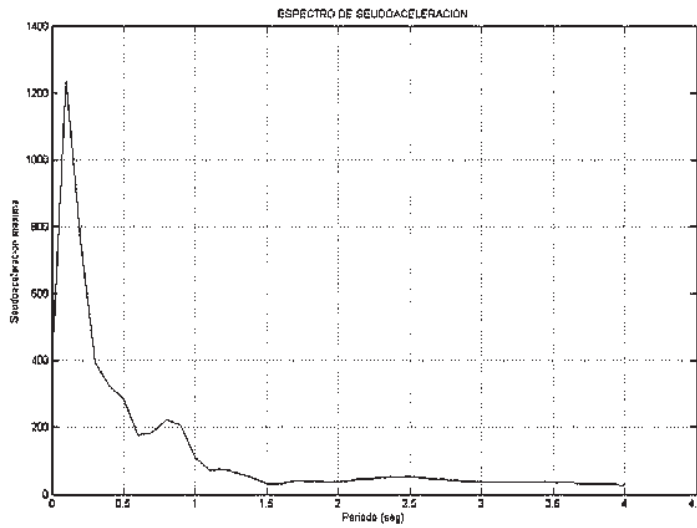
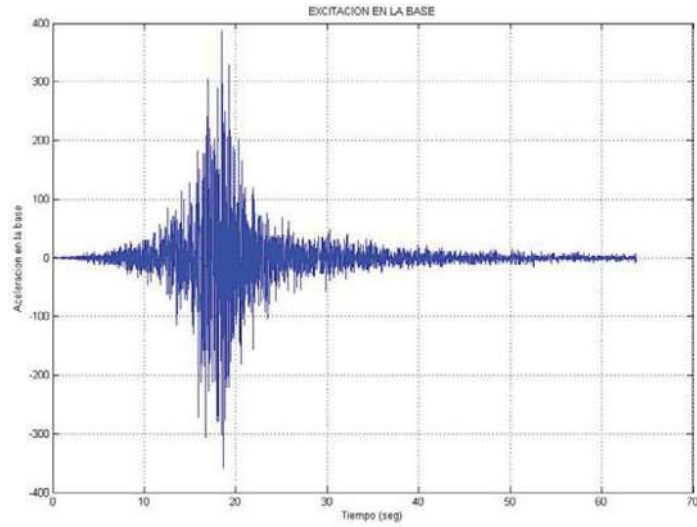
Registro sísmico normalizado de SICARTSA (14/03/1979).



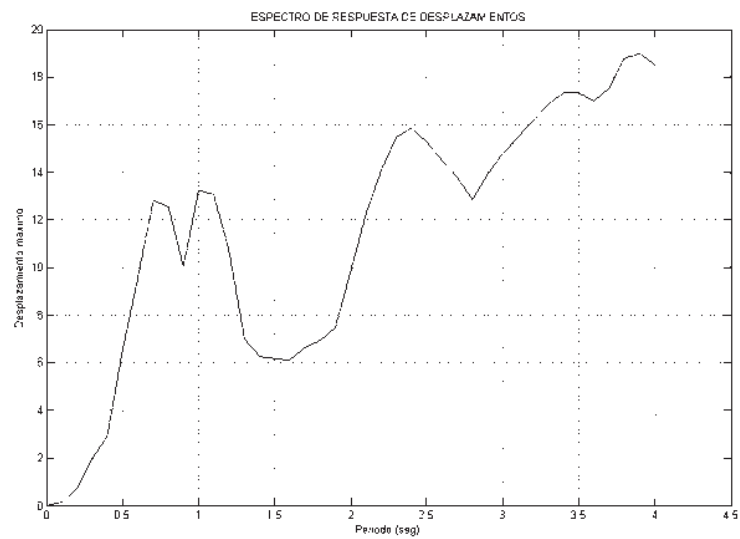
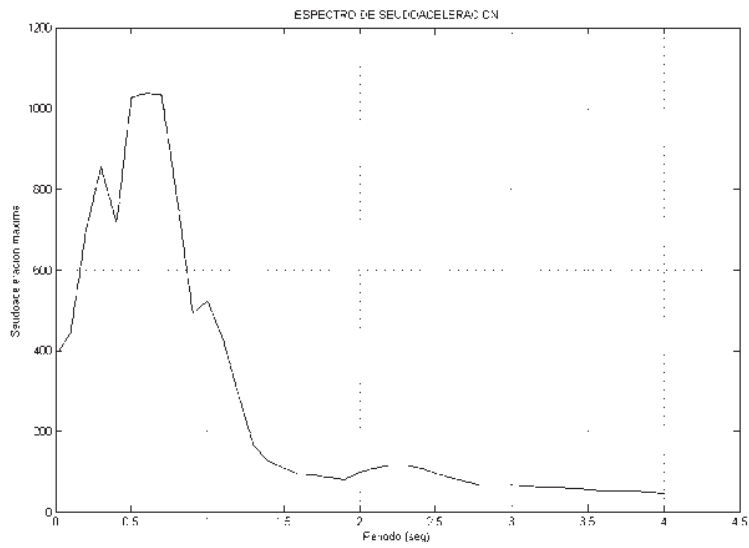
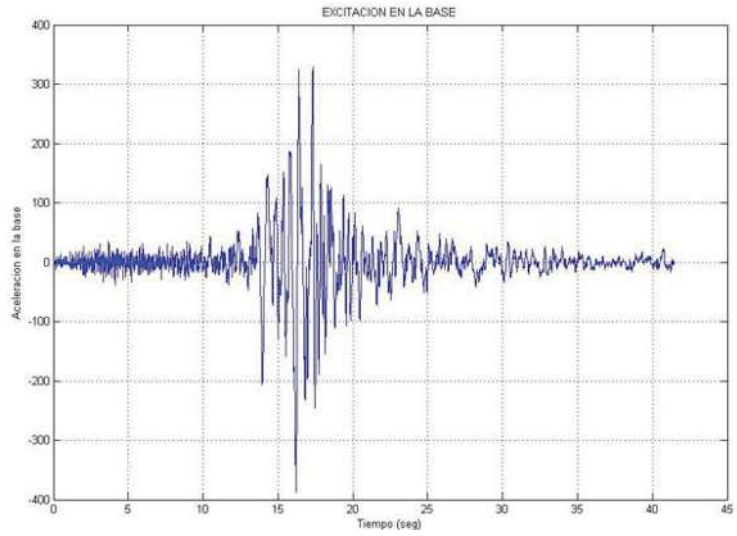
Registro sísmico normalizado de Atoyac (21/09/1985).



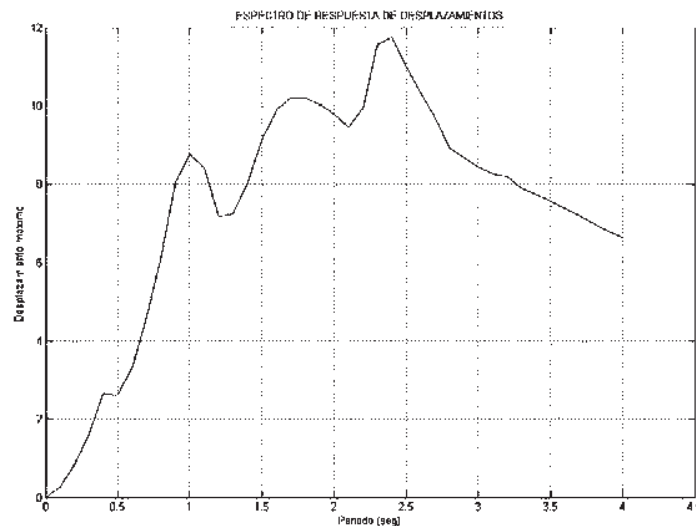
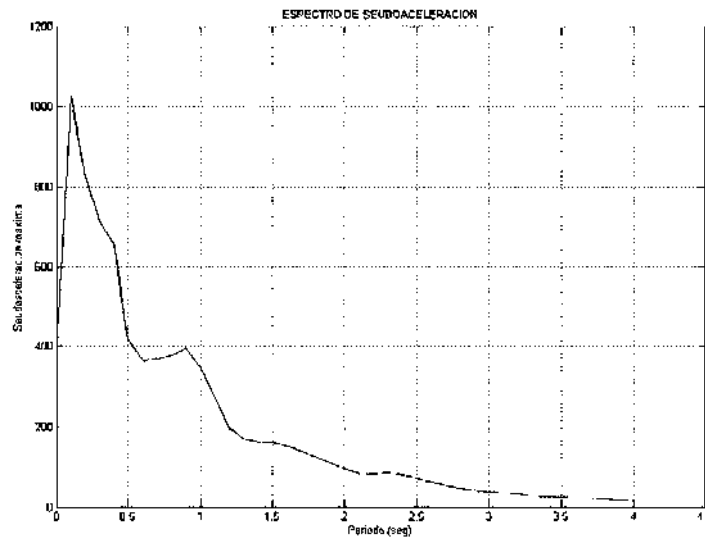
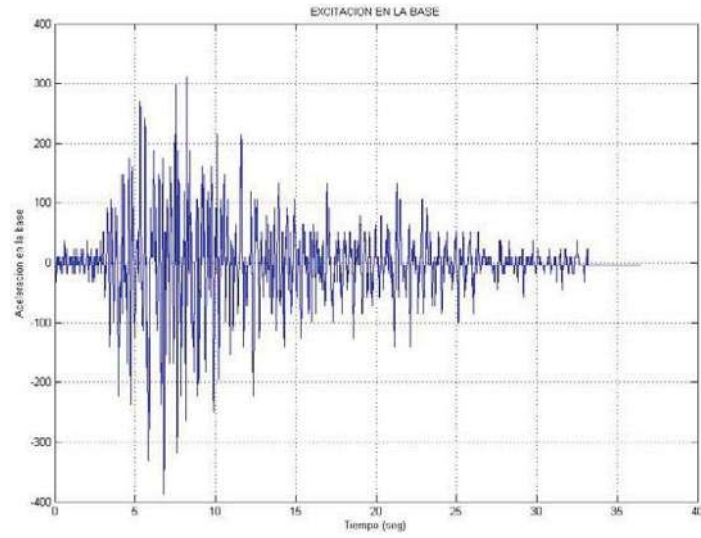
Registro sísmico normalizado de Papanoa (21/09/1985).



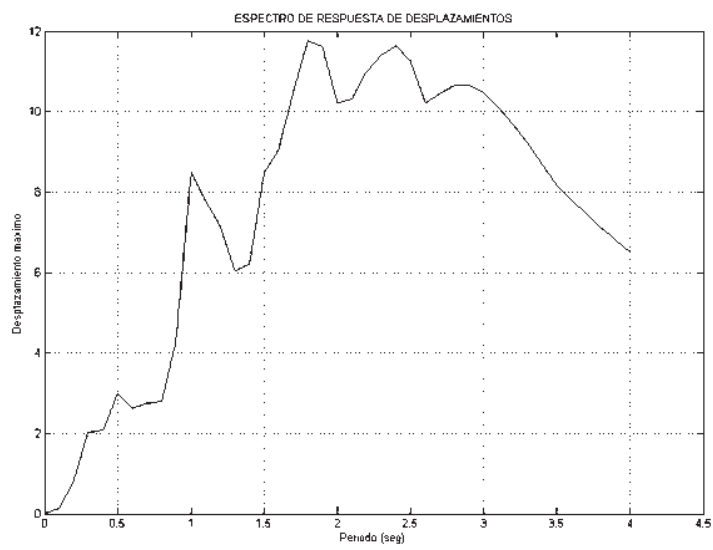
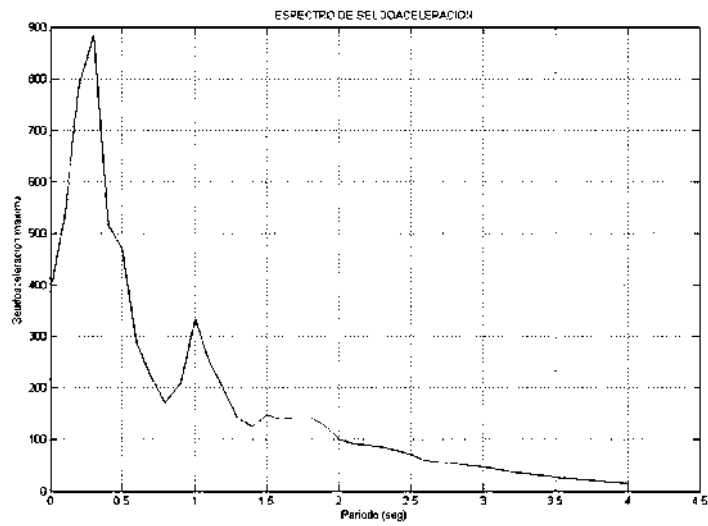
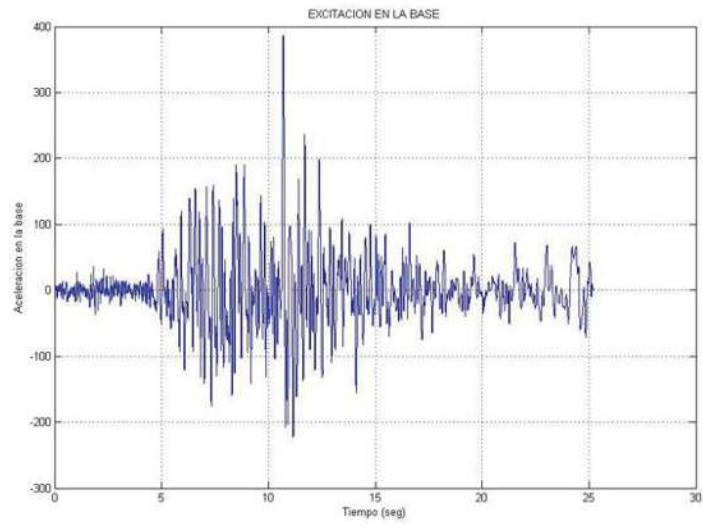
Registro sísmico normalizado de El Suchil (21/09/1985).



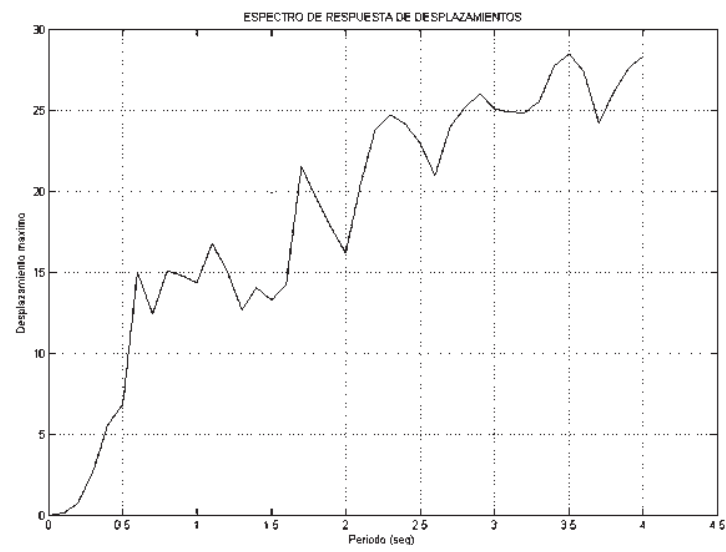
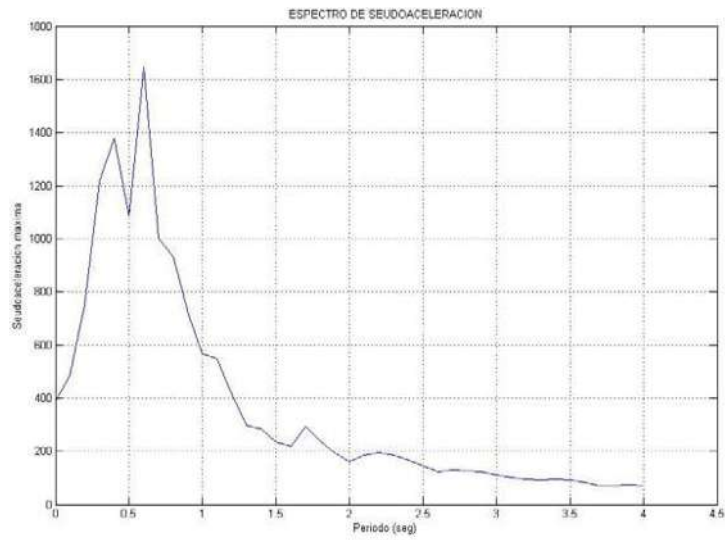
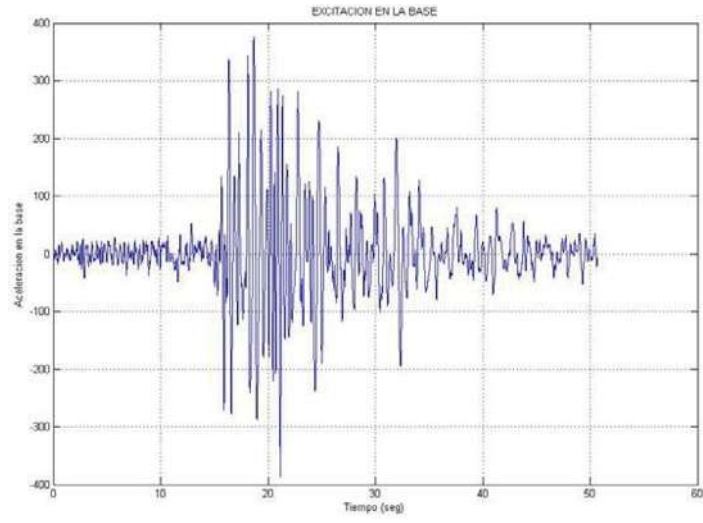
Registro sísmico normalizado de Arteaga (30/04/1986).



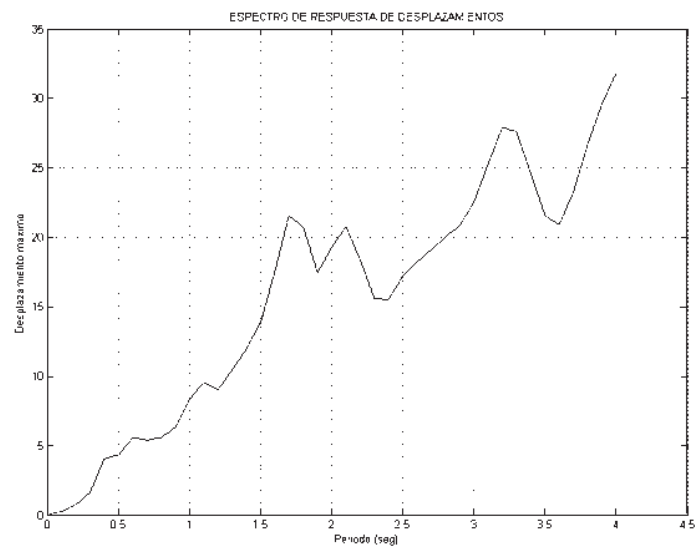
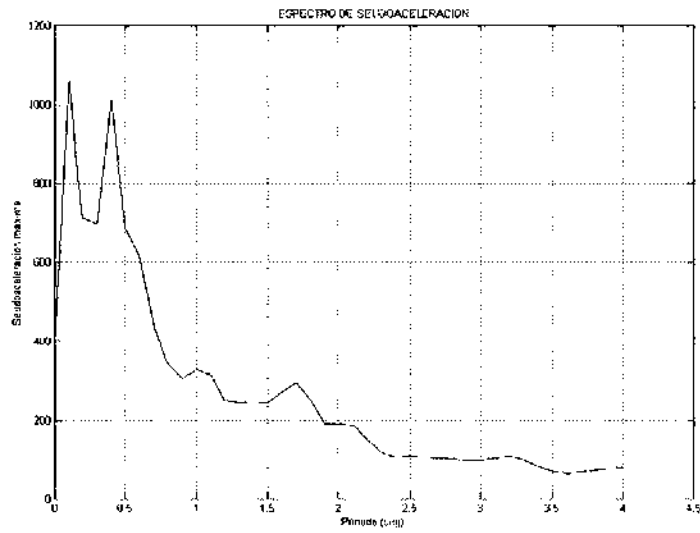
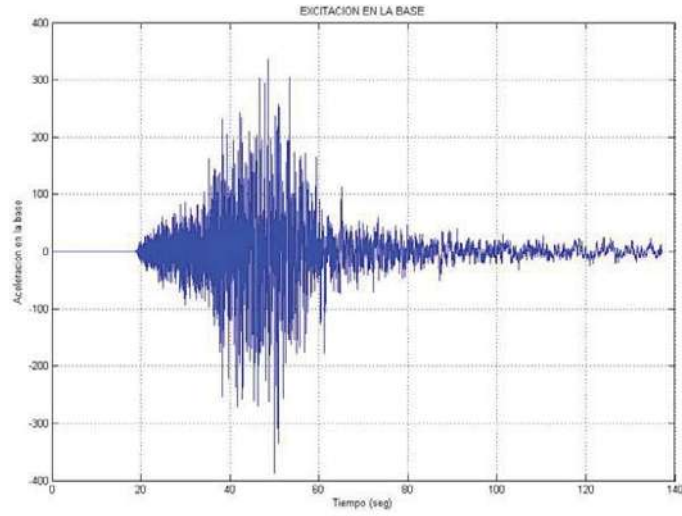
Registro sísmico normalizado de Caleta de Campos (30/04/1986).



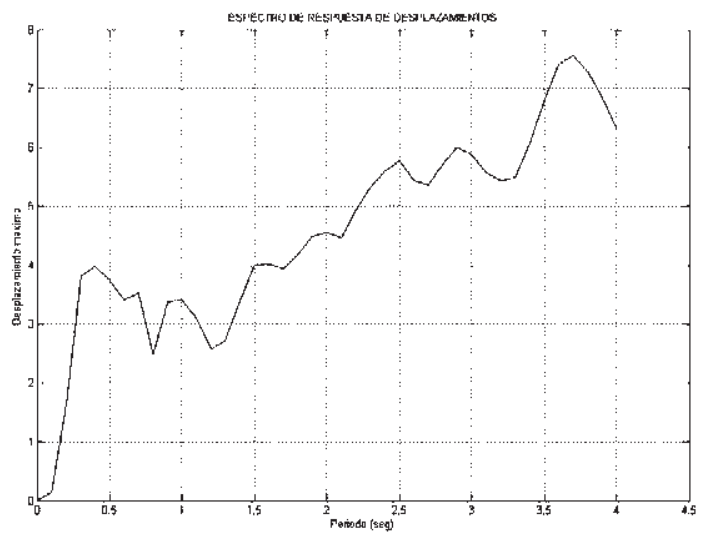
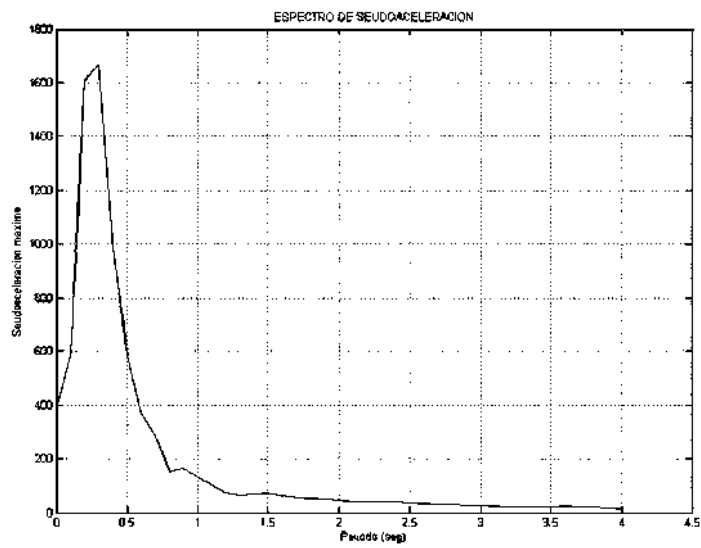
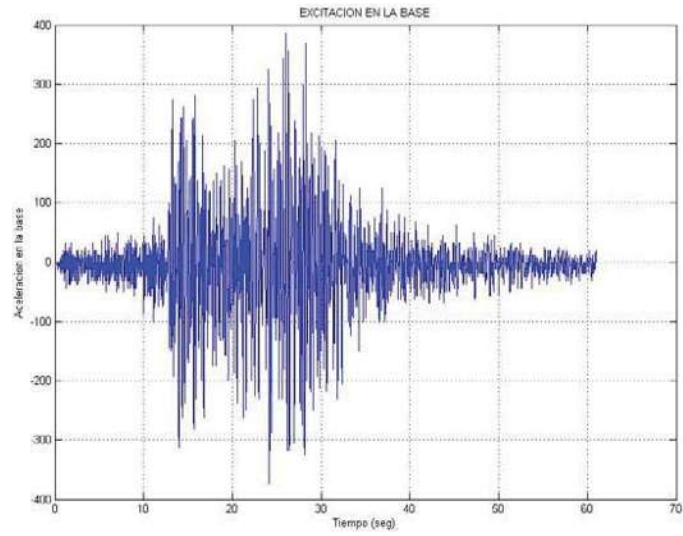
Registro sísmico normalizado de Colima (30/04/1986).



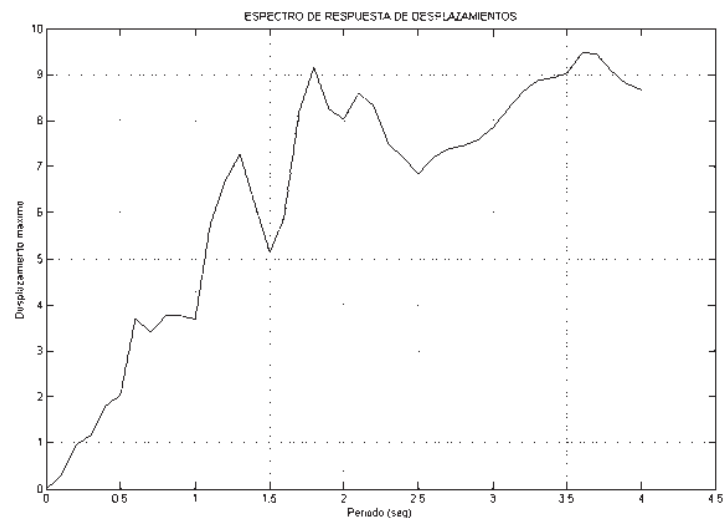
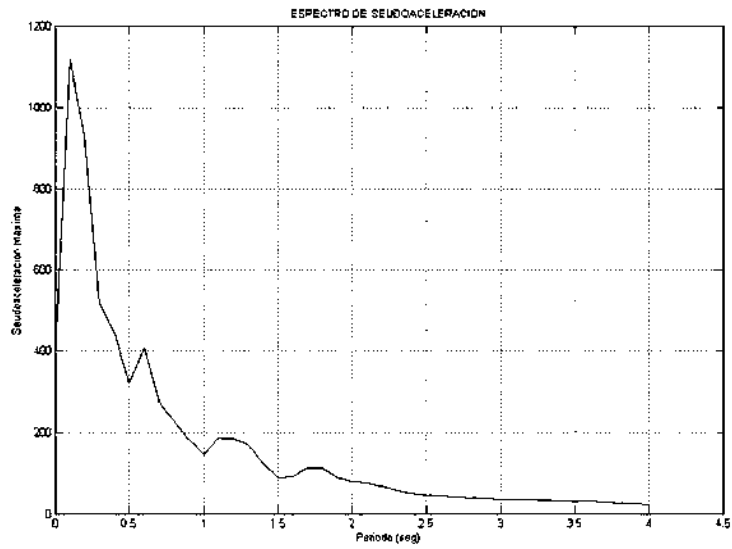
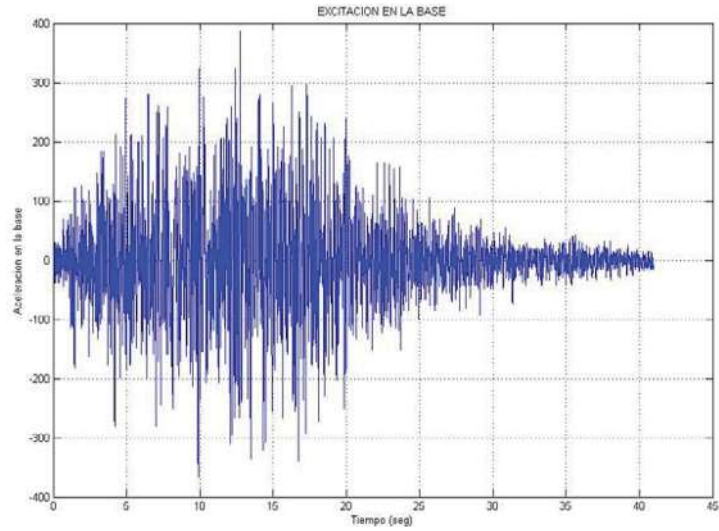
Registro sísmico normalizado de Ocotillo (14/09/1995).



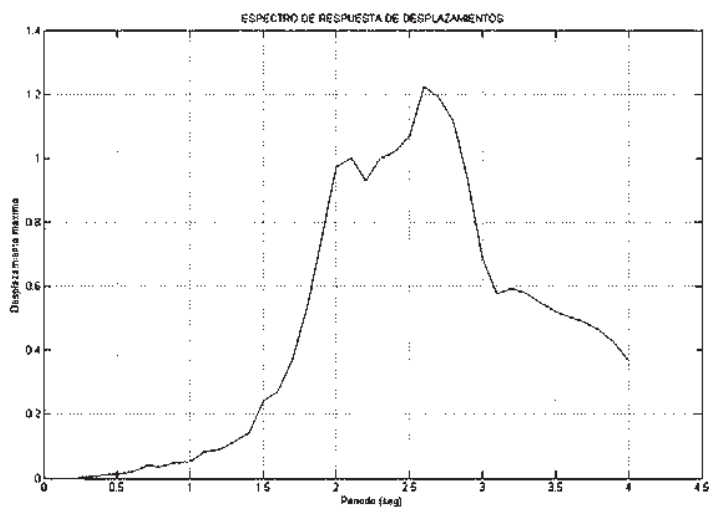
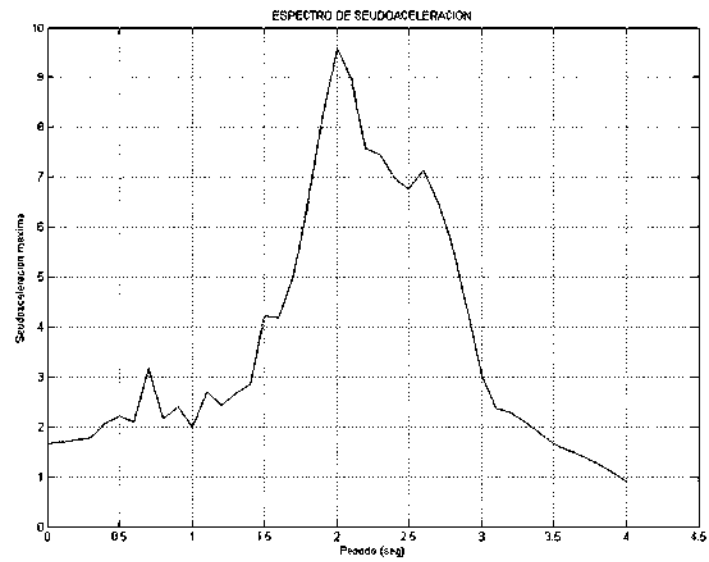
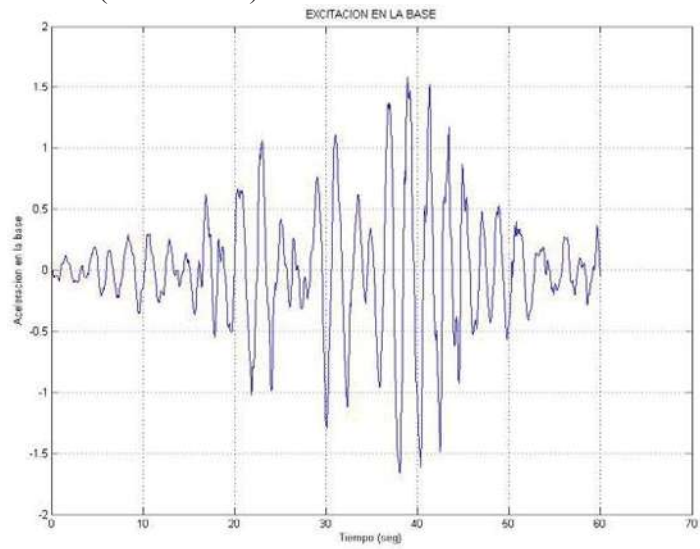
Registro sísmico normalizado de El Ocotito (14/09/1995).



Registro sísmico normalizado de Las Vigas (14/09/1995).



Registro Sísmico SCT-EW (19/09/1985).





Capítulo V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Contenido:

- 5.1 Disipación de energía
- 5.2 Desplazamientos del cabezal
- 5.3 Fuerzas horizontales en el cabezal
- 5.4 Gráficos de disipación de energía (registros sísmicos zona D)
- 5.5 Gráficos de desplazamientos horizontales en el cabezal
(registros sísmicos zona D)
- 5.6 Gráficos de fuerzas horizontales en el cabezal
(registros sísmicos zona D)
- 5.7 Gráficos de disipación de energía
(registros sísmicos SCT)
- 5.8 Gráficos de desplazamientos horizontales en el cabezal
(registros sísmicos SCT)
- 5.9 Gráficos de fuerzas horizontales en el cabezal
(registros sísmicos SCT)

CAPÍTULO V ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con el fin de demostrar la influencia del dispositivo disipador por la fluencia de barras de plomo, en la respuesta de los puentes, se evaluaron tres parámetros: disipación de energía, desplazamientos del cabezal y fuerzas horizontales actuando en el cabezal.

Se graficaron siete registros de forma individual, los cuales aportan una mayor cantidad de energía de entrada a los modelos estructurales. También, se graficó el promedio de la respuesta de todos los registros sísmicos, con la finalidad de obtener resultados más generales del comportamiento.

Al cambiar el periodo, la estructura es objeto de un cambio en la energía de entrada y en los desplazamientos. Con el propósito de evaluar el efecto de los cambios de periodo de los modelos estructurales, en la tabla 5.1 se muestran los periodos fundamentales correspondientes a cada modelo estructural con apoyos de neopreno laminado únicamente.

Tabla 5.1 Periodos de cada modelo estructural sin disipadores de energía.

	Periodos (seg.)	
	Longitudinal	Transversal
Puente 1	1.50	1.30
Puente 2	2.00	1.65
Puente 3	2.50	1.90
Puente 4	3.00	2.34

5.1 DISIPACIÓN DE ENERGÍA

La efectividad para disipar energía del dispositivo con barras de plomo, se cuantificó como el porcentaje que, de la energía de entrada, representa la energía histerética disipada $\%EH$ por el disipador.

5.2 DESPLAZAMIENTOS DEL CABEZAL

Para valorar el comportamiento del dispositivo para reducir desplazamientos se utilizó la relación del desplazamiento del modelo con barras de plomo Xr dividido entre el desplazamiento sin barras Xb .

5.3 FUERZAS HORIZONTALES EN EL CABEZAL

Las ordenadas de los gráficos de fuerza horizontal, se obtuvieron como la relación de la fuerza horizontal experimentada por el cabezal con barras de plomo Fr entre la fuerza horizontal sin barras de plomo Fb .

La distribución de varillas es función del diámetro y del periodo fundamental del puente. En cada puente se ajustó la rigidez del sistema de barras, con el fin de que la demanda de ductilidad fuera adecuada (<16). La cantidad de barras usadas en cada modelo estructural y diámetro se muestran en la tabla 5.2. Con la finalidad de mantener cierta simetría entre los arreglos de barras, se agruparon en grupos como lo muestra la figura 5.1.

Tabla 5.2 Cantidad de barras para cada modelo en zona sísmica D.

Diámetro mm.	Puente 1		Puente 2		Puente 3		Puente 4	
	Grupos fuera del Análisis	No. Barras	Grupos fuera del Análisis	No. Barras	Grupos fuera del Análisis	No. Barras	Grupos fuera del Análisis	No. Barras
19.05	-	26	-	26	-	26	-	26
25.40	-	26	-	26	-	26	-	26
38.10	A y B	14	-	26	-	26	A	20
50.80	A - C	8	A	20	-	26	A - C	8
63.50	A - C	8	A y B	14	A	20	A - D	6
76.20	A - C	8	A - C	8	A y B	14	A - E	4
88.90	A - D	6	A - D	6	A y B	14	A - E	4

Tabla 5.3 Cantidad de barras para cada modelo bajo el registro de SCT-EW.

Diámetro mm.	Puente 1		Puente 2		Puente 3		Puente 4	
	Grupos fuera del Análisis	No. Barras	Grupos fuera del Análisis	No. Barras	Grupos fuera del Análisis	No. Barras	Grupos fuera del Análisis	No. Barras
19.05	A	20	-	26	-	26	-	26
25.40	A	20	-	26	-	26	-	26
38.10	A y B	14	A - C	8	-	26	A	20
50.80	A - D	6	A - C	8	A y B	14	A - C	8
63.50	A - E	4	A - D	6	A y B	14	A - C	8
76.20	A - E	4	A - E	4	A - C	8	A - E	4
88.90	A - E	4	A - E	4	A - C	8	A - E	4

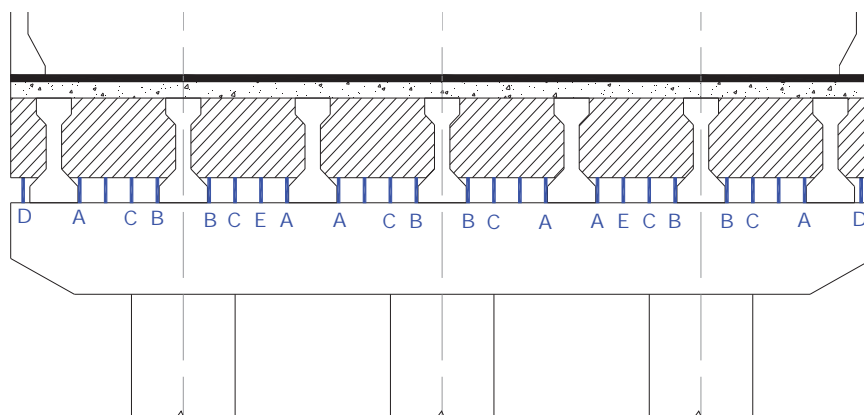


Figura 5.1 Grupos de barras en cada cabezal.

Durante cada análisis se analizaron diferentes arreglos de barras de plomo para determinar una distribución aproximada en el que las barras trabajaran en el intervalo plástico, es decir, con una demanda de ductilidad mayor que la unidad. Además, se buscó también que estos arreglos no produjeran demandas de ductilidad mayores que 16.

Tabla 5.4 Periodos de cada modelo al instalar las barras de plomo para zona sísmica D.

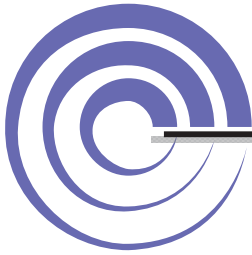
		Diámetros (mm.)						
		19	25	38	50	63	76	88
Puente 1	Periodo Long.	0.54	0.539	0.54	0.541	0.54	0.539	0.54
	Modo	2	2	2	2	2	2	2
	Periodo Trans.	0.121	0.107	0.116	0.132	0.119	0.111	0.117
	Modo	3	3	3	3	3	3	3
Puente 2	Periodo Long.	1.282	1.281	1.28	1.28	1.28	1.281	1.282
	Modo	1	1	1	1	1	1	1
	Periodo Trans.	0.157	0.136	0.112	0.112	0.119	0.143	0.151
	Modo	3	3	4	4	3	3	3
Puente 3	Periodo Long.	2.076	2.075	2.075	2.074	2.074	2.075	2.075
	Modo	1	1	1	1	1	1	1
	Periodo Trans.	0.2	0.174	0.142	0.125	0.127	0.139	0.129
	Modo	3	3	3	5	5	4	5
Puente 4	Periodo Long.	2.764	2.763	2.763	2.764	2.764	2.765	2.764
	Modo	1	1	1	1	1	1	1
	Periodo Trans.	0.394	0.379	0.383	0.459	0.468	0.536	0.527
	Modo	3	3	3	2	2	2	2

Tabla 5.5 Periodos de cada modelo al instalar las barras de plomo para registro sísmico SCT-EW.

		Diámetros (mm.)						
		19	25	38	50	63	76	88
Puente 1	Periodo Long.	0.541	0.54	0.54	0.543	0.544	0.54	0.542
	Modo	2	2	2	2	2	2	2
	Periodo Trans.	0.135	0.119	0.116	0.148	0.159	0.149	0.139
	Modo	3	3	3	3	3	3	3
Puente 2		1.282	1.281	1.284	1.283	1.283	1.285	1.284
	Modo	1	1	1	1	1	1	1
	Periodo Trans.	0.157	0.136	0.194	0.172	0.176	0.197	0.183
	Modo	3	3	3	3	3	3	3
Puente 3	Periodo Long.	2.076	2.075	2.075	2.075	2.075	2.076	2.075
	Modo	1	1	1	1	1	1	1
	Periodo Trans.	0.201	0.174	0.142	0.168	0.151	0.182	0.168
	Modo	3	3	3	3	3	3	3
Puente 4	Periodo Long.	2.764	2.763	2.763	2.764	2.764	2.765	2.765
	Modo	1	1	1	1	1	1	1
	Periodo Trans.	0.394	0.379	0.383	0.459	0.446	0.536	0.527
	Modo	3	3	3	2	3	2	2

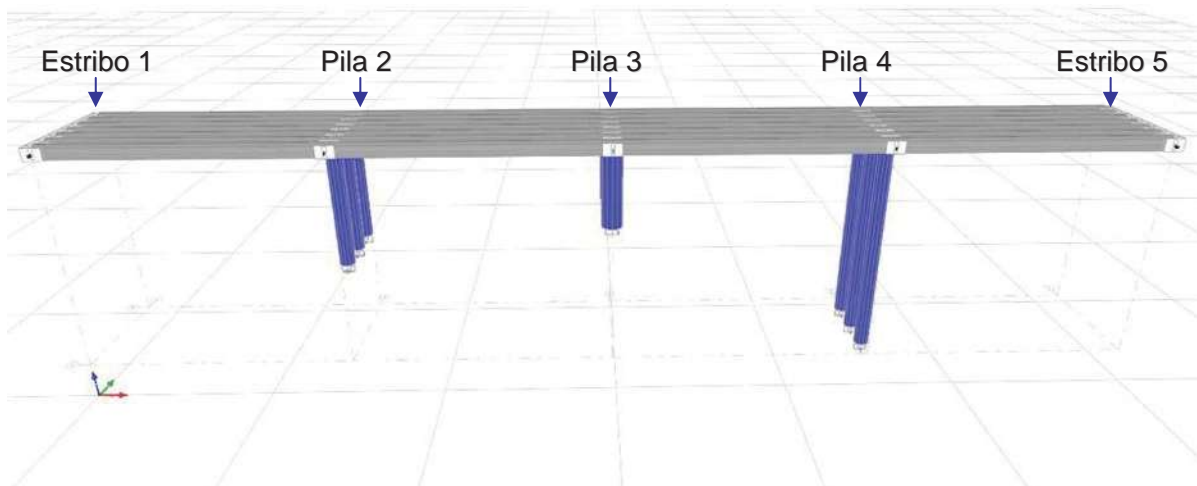
Más adelante, se muestran las figuras obtenidas con cada uno de los registros sísmicos y para cada cabezal del puente, numerados del dos al cuatro en el mismo orden que se describió las alturas de las pilas. Cuando los valores de la ductilidad excedían el valor de 16, o cuando las barras permanecían trabajando en el intervalo elástico, se dejó en blanco el valor correspondiente a ese caso.

En cada columna de datos correspondiente a cada puente se obtuvieron tres parámetros estadísticos para determinar la tendencia central y la dispersión de los datos. Estos tres parámetros estadísticos son: la media μ , la desviación estándar S y el coeficiente de variación CV .



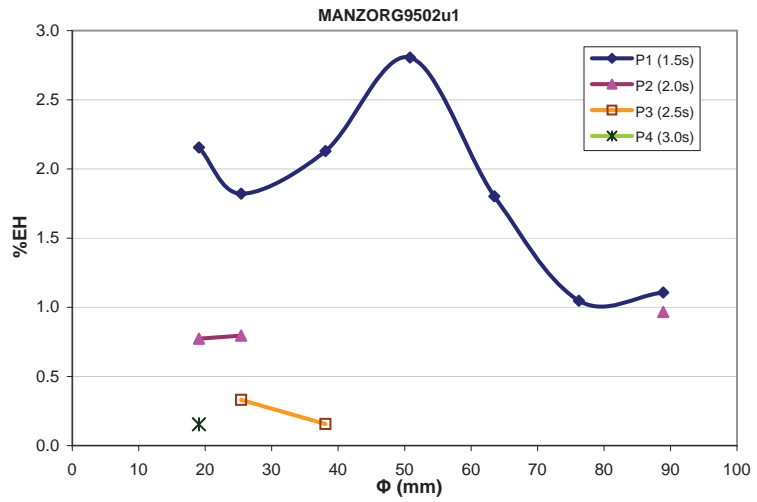
PORCENTAJE DE ENERGÍA DISIPADA

Registros sísmicos zona D



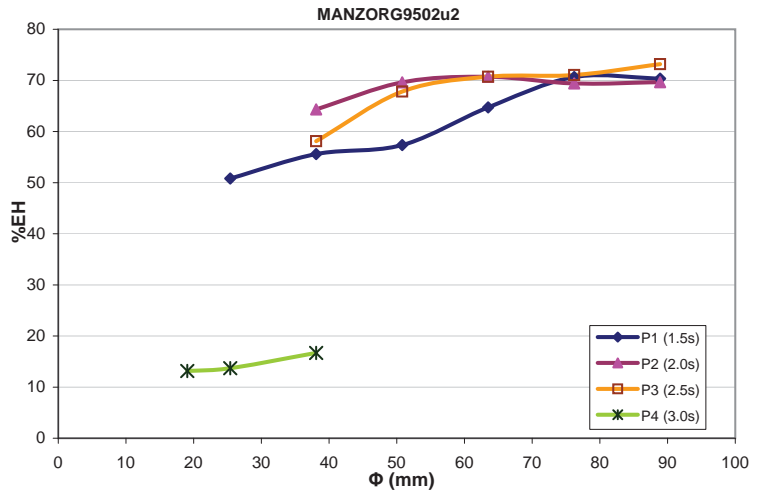
MANZORG9502u1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	2.155	0.773		0.155
25.40	1.821	0.795	0.331	
38.10	2.130		0.157	
50.80	2.805			
63.50	1.801			
76.20	1.048			
88.90	1.107	0.966		
μ =	1.838	0.845	0.244	
S=	0.617	0.106	0.123	
CV=	33.6%	12.5%	50.5%	



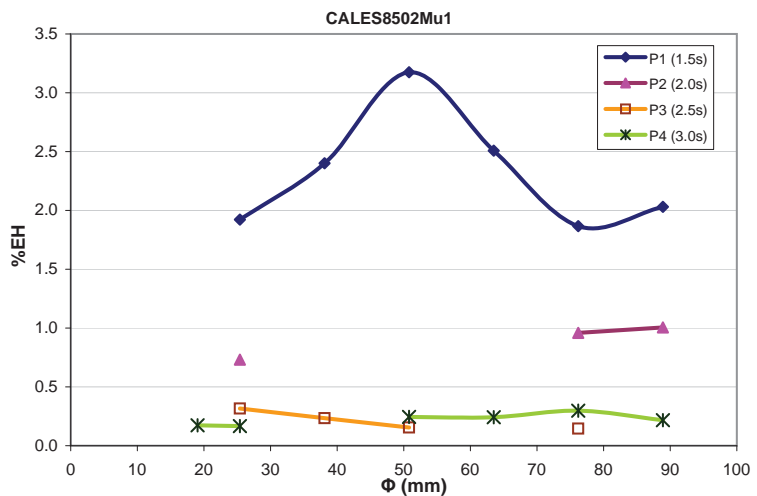
MANZORG9502u2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				13.139
25.40	50.820			13.707
38.10	55.579	64.312	58.110	16.684
50.80	57.364	69.609	67.838	
63.50	64.717	70.727	70.725	
76.20	70.642	69.413	71.041	
88.90	70.337	69.663	73.190	
μ =	61.576	68.745	68.181	14.510
S=	8.225	2.531	5.943	1.904
CV=	13.4%	3.7%	8.7%	13.1%



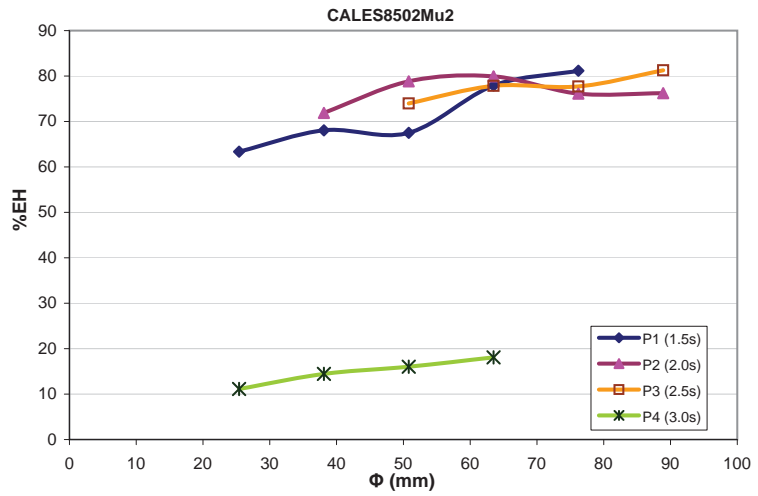
CALES8502Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				0.174
25.40	1.922	0.731	0.316	0.166
38.10	2.401		0.234	
50.80	3.174		0.155	0.244
63.50	2.508			0.242
76.20	1.867	0.959	0.146	0.297
88.90	2.031	1.005		0.217
μ =	2.317	0.898	0.213	0.223
S=	0.494	0.147	0.080	0.049
CV=	21.3%	16.3%	37.4%	21.9%



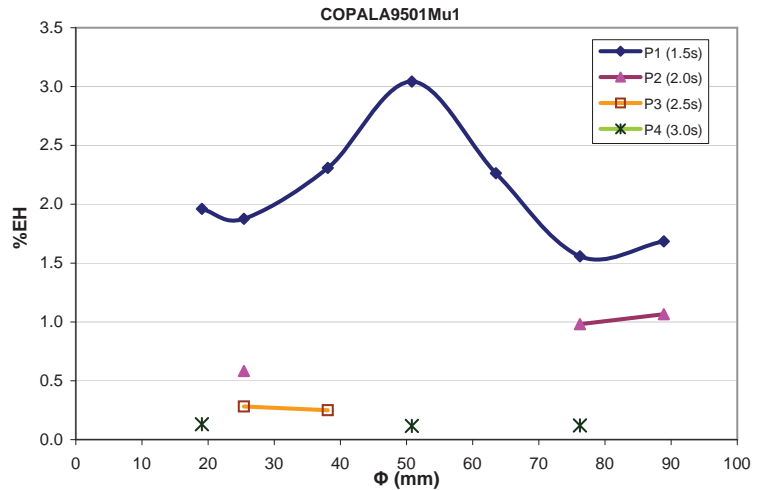
CALES8502Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				
25.40	63.363			11.119
38.10	68.064	71.870		14.449
50.80	67.502	78.845	73.977	16.021
63.50	77.911	79.945	77.831	18.078
76.20	81.154	76.144	77.706	
88.90		76.249	81.277	
$\mu=$	71.599	76.611	77.698	14.917
$S=$	7.554	3.120	2.982	2.936
$CV=$	10.6%	4.1%	3.8%	19.7%



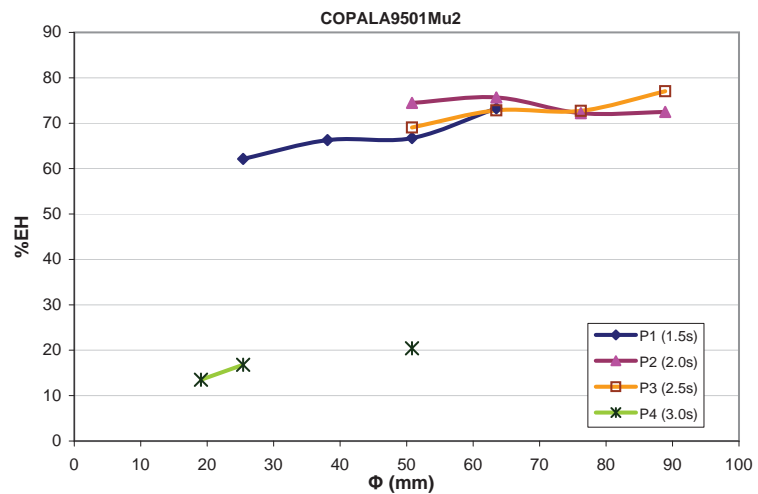
COPALA9501Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.960			0.131
25.40	1.876	0.583	0.282	
38.10	2.308		0.249	
50.80	3.043			0.116
63.50	2.264			
76.20	1.557	0.981		0.120
88.90	1.684	1.065		
$\mu=$	2.099	0.877	0.266	0.123
$S=$	0.499	0.258	0.023	0.008
$CV=$	23.8%	29.4%	8.7%	6.1%



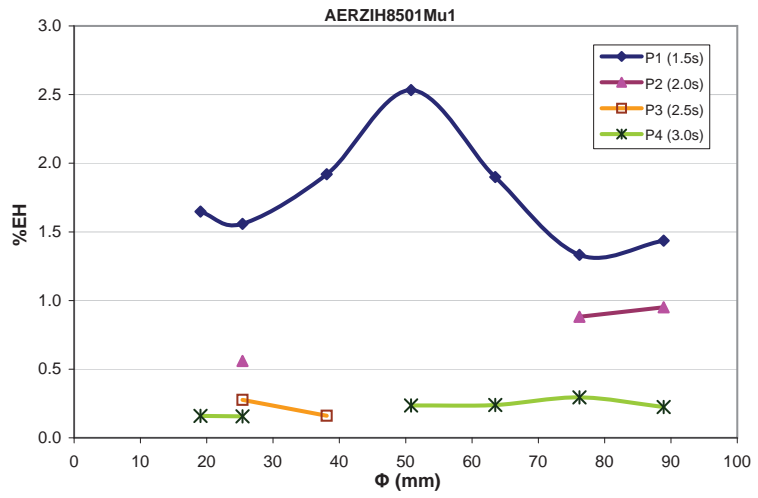
COPALA9501Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				13.495
25.40	62.144			16.799
38.10	66.297			
50.80	66.728	74.462	69.061	20.409
63.50	73.271	75.684	72.821	
76.20		72.208	72.727	
88.90		72.501	77.049	
$\mu=$	67.110	73.714	72.914	16.901
$S=$	4.598	1.651	3.265	3.459
$CV=$	6.9%	2.2%	4.5%	20.5%



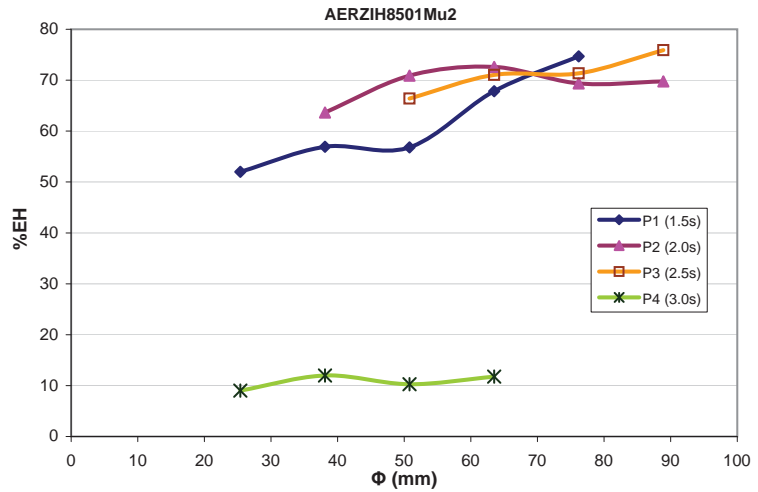
AERZIH8501Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.648			0.160
25.40	1.558	0.559	0.276	0.156
38.10	1.920		0.160	
50.80	2.534			0.236
63.50	1.900			0.239
76.20	1.333	0.881		0.294
88.90	1.436	0.951		0.224
$\mu=$	1.761	0.797	0.218	0.218
$S=$	0.405	0.209	0.082	0.053
$CV=$	23.0%	26.2%	37.5%	24.2%



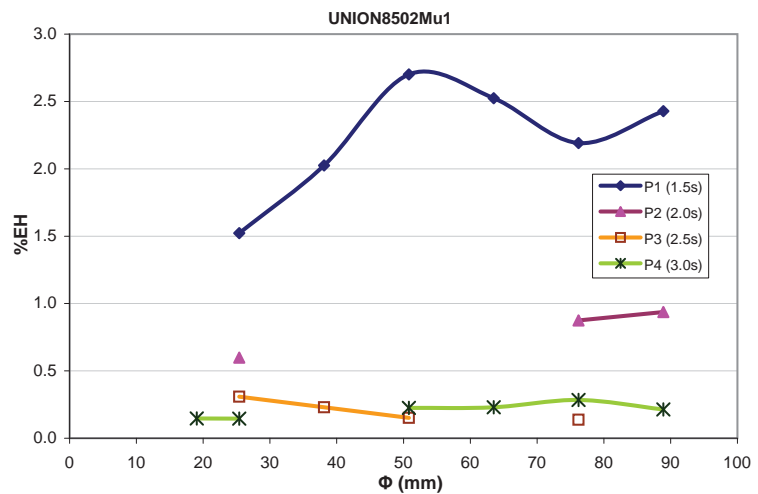
AERZIH8501Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				
25.40	52.001			9.026
38.10	56.931	63.655		11.987
50.80	56.797	70.892	66.406	10.260
63.50	67.828	72.598	71.028	11.775
76.20	74.688	69.371	71.345	
88.90		69.767	75.889	
$\mu=$	61.649	69.256	71.167	10.762
$S=$	9.315	3.372	3.874	1.390
$CV=$	15.1%	4.9%	5.4%	12.9%



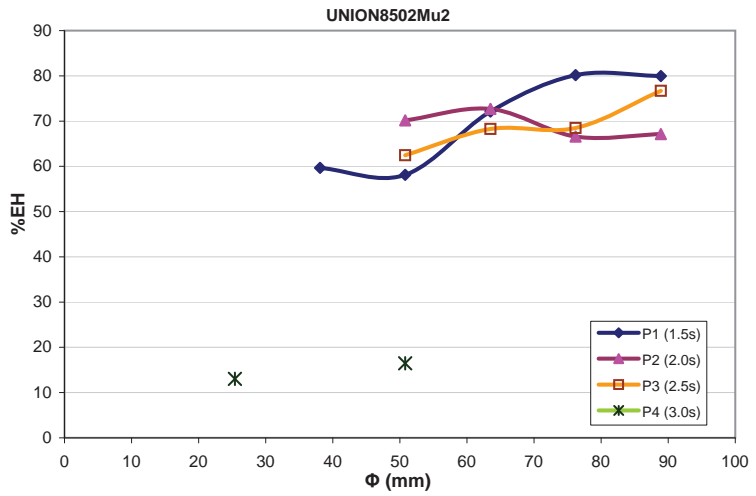
UNION8502Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				0.147
25.40	1.523	0.598	0.308	0.145
38.10	2.025		0.230	
50.80	2.701		0.151	0.225
63.50	2.524			0.229
76.20	2.191	0.875	0.137	0.284
88.90	2.428	0.937		0.214
$\mu=$	2.232	0.803	0.206	0.207
$S=$	0.422	0.181	0.079	0.053
$CV=$	18.9%	22.5%	38.3%	25.7%



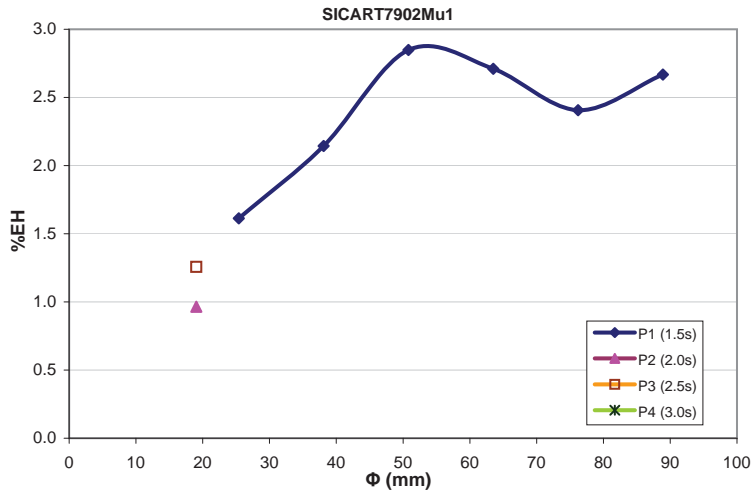
UNION8502Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				
25.40				13.043
38.10	59.673			
50.80	58.112	70.168	62.455	16.471
63.50	72.101	72.708	68.265	
76.20	80.176	66.594	68.481	
88.90	79.954	67.142	76.702	
$\mu=$	70.003	69.153	68.976	14.757
$S=$	10.666	2.844	5.858	2.424
$CV=$	15.2%	4.1%	8.5%	16.4%



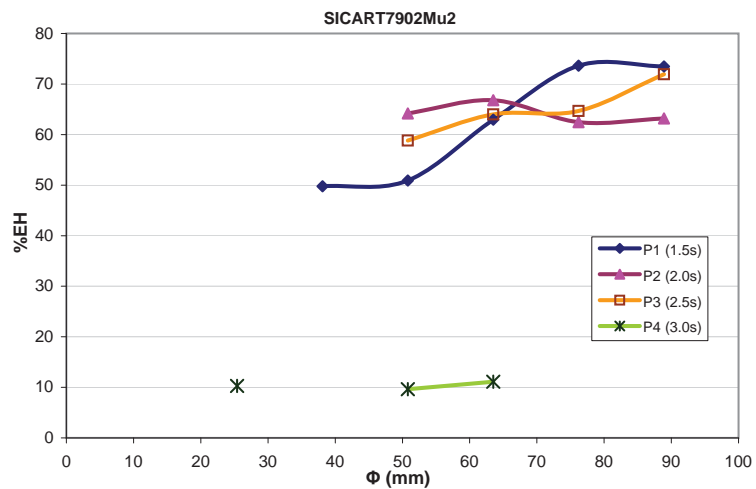
SICART7902Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05		0.964	1.256	
25.40	1.613			
38.10	2.144			
50.80	2.848			
63.50	2.710			
76.20	2.407			
88.90	2.667			
$\mu=$	2.398			
$S=$	0.459			
$CV=$	19.1%			



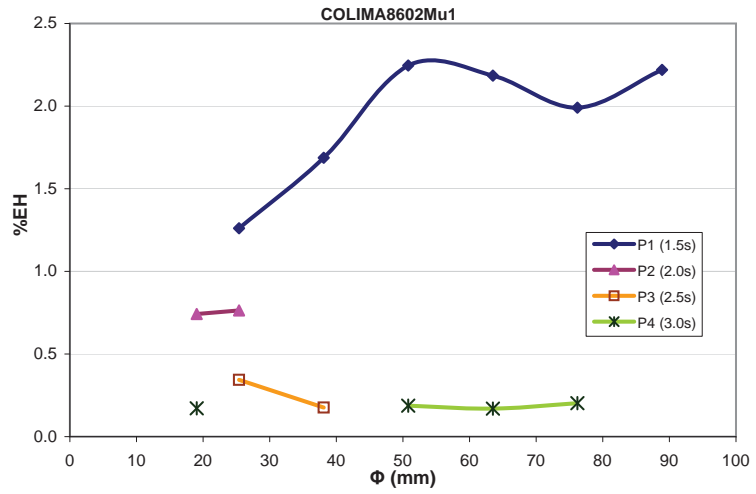
SICART7902Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				
25.40				10.278
38.10	49.776			
50.80	50.926	64.164	58.813	9.624
63.50	62.956	66.807	64.005	11.116
76.20	73.641	62.456	64.675	
88.90	73.479	63.189	71.947	
$\mu=$	62.156	64.154	64.860	10.339
$S=$	11.621	1.902	5.402	0.748
$CV=$	18.7%	3.0%	8.3%	7.2%



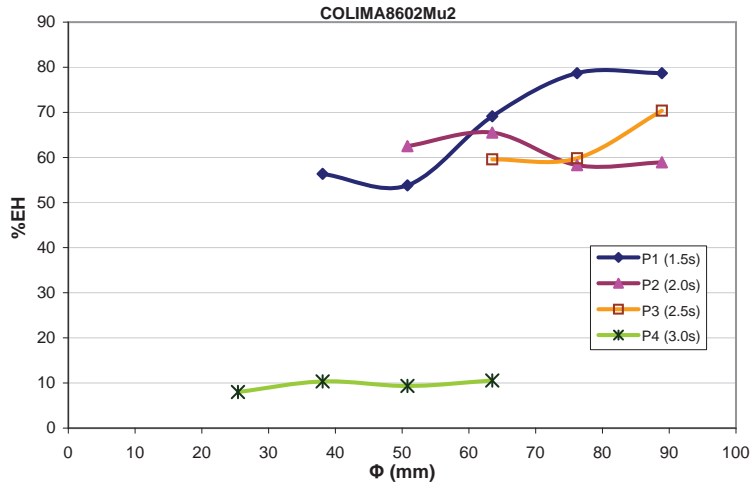
COLIMA8602Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05		0.742		0.171
25.40	1.261	0.764	0.344	
38.10	1.687		0.176	
50.80	2.246			0.188
63.50	2.184			0.169
76.20	1.991			0.203
88.90	2.219			
$\mu=$	1.931	0.753	0.260	0.183
$S=$	0.389	0.015	0.119	0.016
$CV=$	20.2%	2.0%	45.7%	8.5%



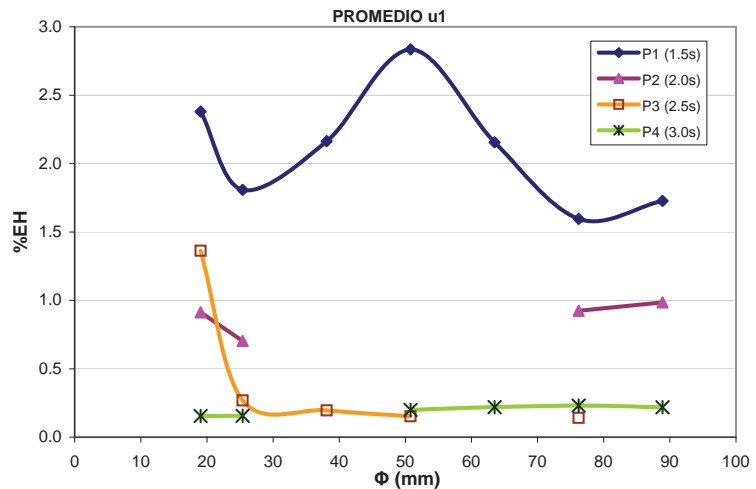
COLIMA8602Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				
25.40				8.018
38.10	56.374			10.346
50.80	53.824	62.495		9.358
63.50	69.128	65.514	59.589	10.551
76.20	78.688	58.308	59.833	
88.90	78.682	58.919	70.361	
$\mu=$	67.339	61.309	63.261	9.568
$S=$	11.870	3.357	6.150	1.157
$CV=$	17.6%	5.5%	9.7%	12.1%



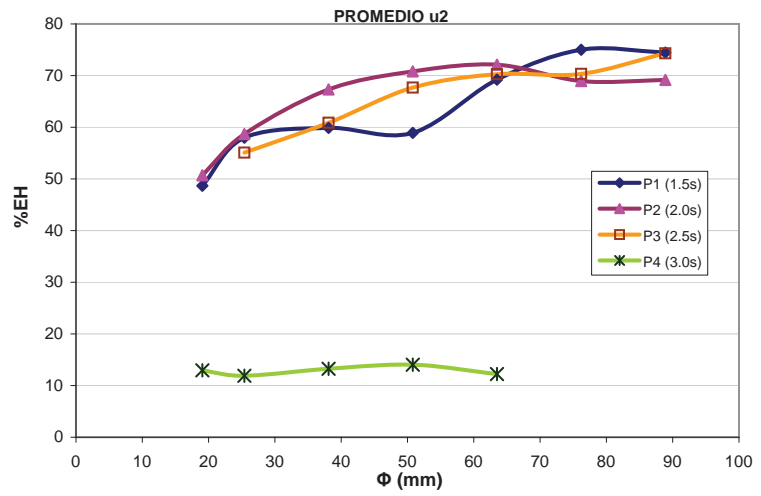
PROMEDIO μ_1

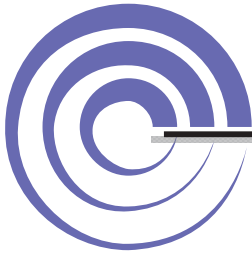
Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	2.380	0.912	1.363	0.155
25.40	1.808	0.703	0.269	0.156
38.10	2.164		0.196	
50.80	2.835		0.153	0.199
63.50	2.156			0.220
76.20	1.596	0.924	0.141	0.231
88.90	1.727	0.985		0.218
$\mu=$	2.095	0.881	0.424	0.197
$S=$	0.429	0.123	0.527	0.034
$CV=$	20.5%	13.9%	124.2%	17.0%



PROMEDIO u2

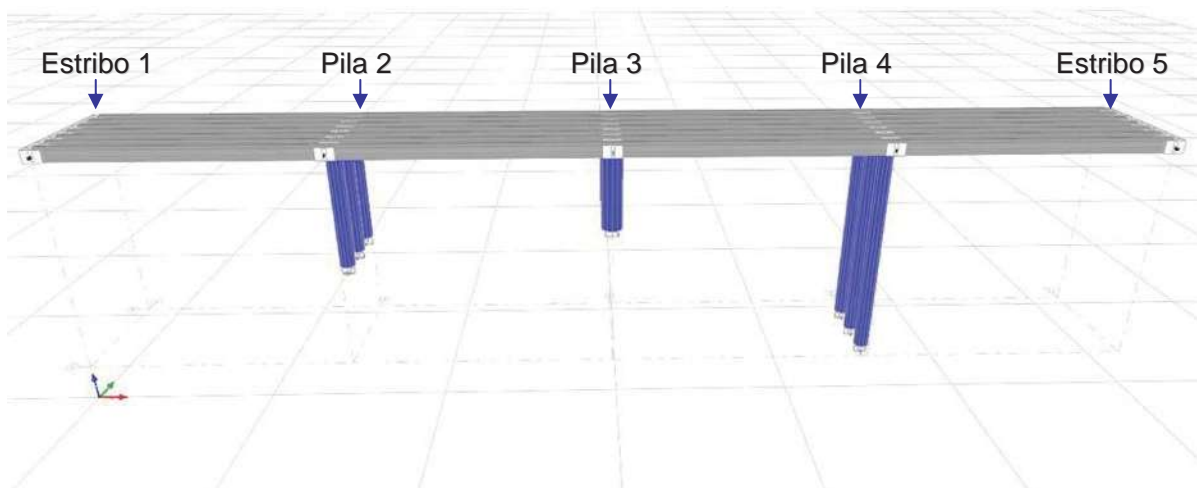
Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	48.689	50.693		12.940
25.40	57.976	58.684	55.087	11.910
38.10	59.890	67.309	60.870	13.267
50.80	58.914	70.818	67.687	14.045
63.50	69.203	72.123	70.283	12.238
76.20	75.001	68.938	70.333	
88.90	74.459	69.162	74.300	
$\mu=$	63.447	65.390	66.427	12.880
$S=$	9.737	7.813	7.116	0.846
$CV=$	15.3%	11.9%	10.7%	6.6%





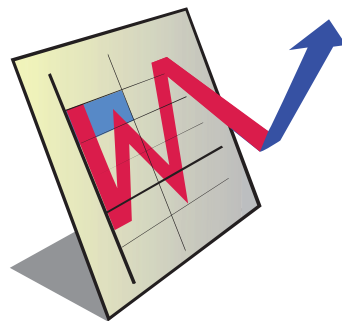
RELACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES

Registros sísmicos zona D



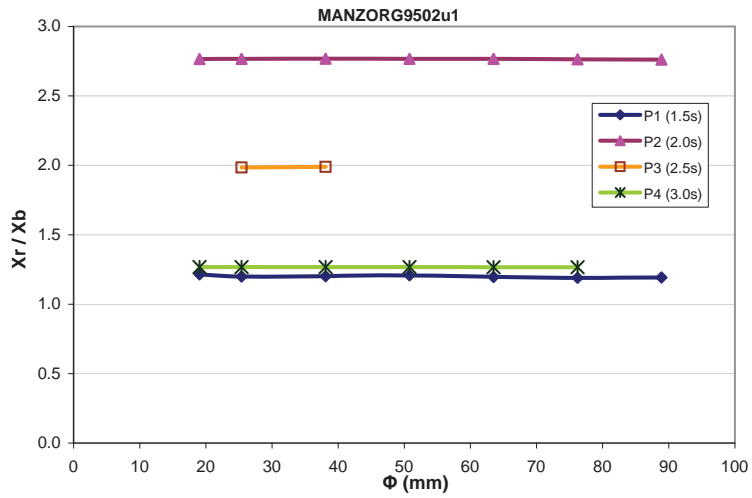
Gráficos

Cabezal de Pila 2



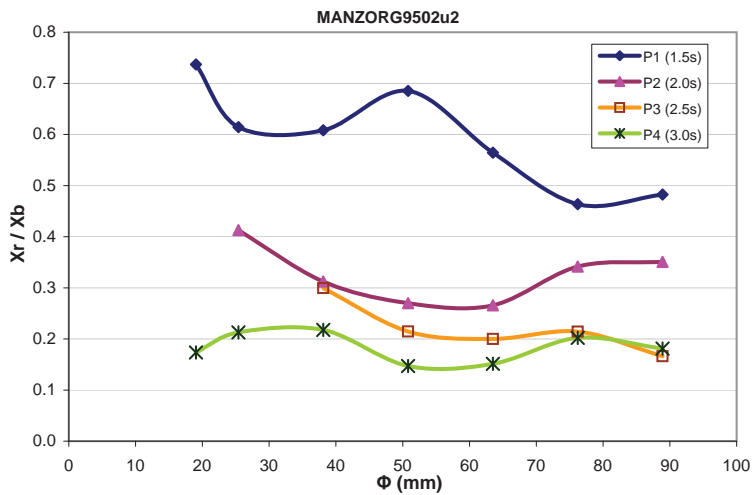
MANZORG9502u1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.214	2.766		1.267
25.40	1.199	2.767	1.985	1.268
38.10	1.201	2.768	1.989	1.268
50.80	1.208	2.767		1.267
63.50	1.196	2.766		1.267
76.20	1.190	2.763		1.266
88.90	1.193	2.761		
$\mu=$	1.200	2.766	1.987	1.267
$S=$	0.009	0.002	0.003	0.001
$CV=$	0.7%	0.1%	0.2%	0.1%



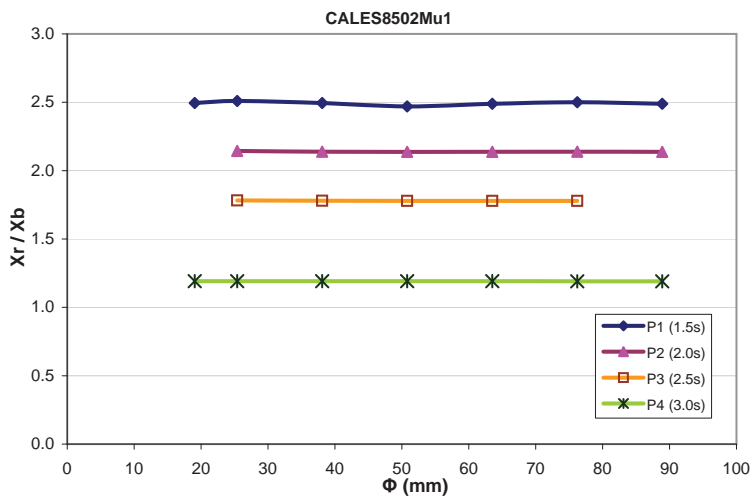
MANZORG9502u2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.737			0.174
25.40	0.614	0.413		0.213
38.10	0.608	0.312	0.300	0.218
50.80	0.685	0.270	0.215	0.147
63.50	0.564	0.266	0.200	0.151
76.20	0.463	0.342	0.214	0.202
88.90	0.482	0.351	0.166	0.181
$\mu=$	0.594	0.326	0.219	0.184
$S=$	0.100	0.055	0.049	0.028
$CV=$	16.8%	17.0%	22.5%	15.4%



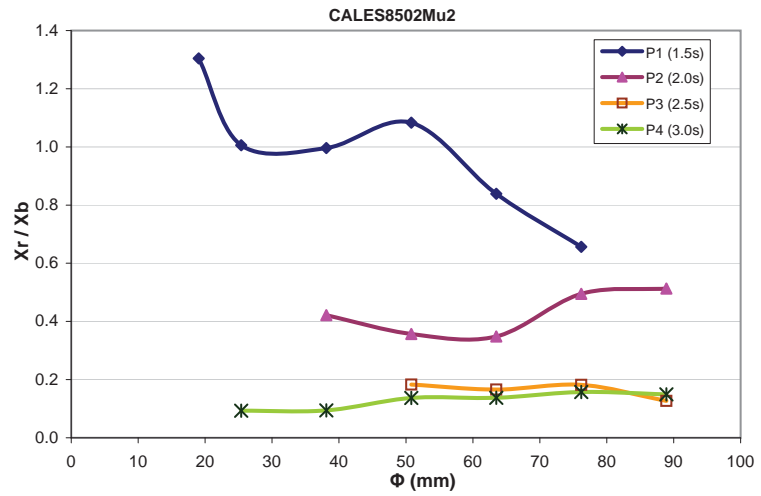
CALES8502Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	2.494			1.192
25.40	2.509	2.144	1.782	1.192
38.10	2.494	2.139	1.779	1.192
50.80	2.470	2.137	1.779	1.191
63.50	2.489	2.137	1.779	1.191
76.20	2.500	2.138	1.779	1.190
88.90	2.489	2.138		1.191
$\mu=$	2.492	2.139	1.780	1.191
$S=$	0.012	0.003	0.001	0.001
$CV=$	0.5%	0.1%	0.1%	0.1%



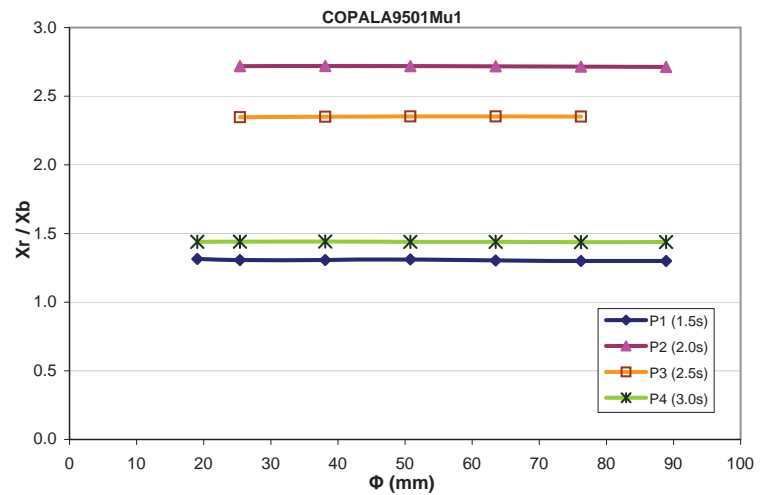
CALES8502Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.304			
25.40	1.006			0.093
38.10	0.996	0.422		0.094
50.80	1.083	0.357	0.183	0.137
63.50	0.839	0.348	0.166	0.138
76.20	0.656	0.495	0.182	0.157
88.90		0.513	0.127	0.149
$\mu=$	0.981	0.427	0.164	0.128
$S=$	0.220	0.076	0.026	0.028
$CV=$	22.4%	17.8%	16.0%	21.7%



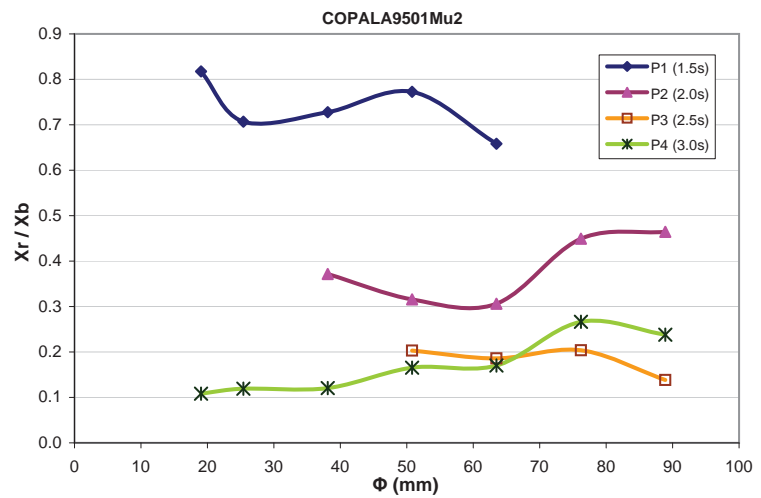
COPALA9501Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.315			1.440
25.40	1.306	2.719	2.348	1.441
38.10	1.307	2.720	2.351	1.441
50.80	1.311	2.719	2.353	1.439
63.50	1.304	2.718	2.353	1.439
76.20	1.300	2.716	2.352	1.438
88.90	1.300	2.714		1.438
$\mu=$	1.306	2.717	2.351	1.439
$S=$	0.006	0.002	0.002	0.001
$CV=$	0.4%	0.1%	0.1%	0.1%



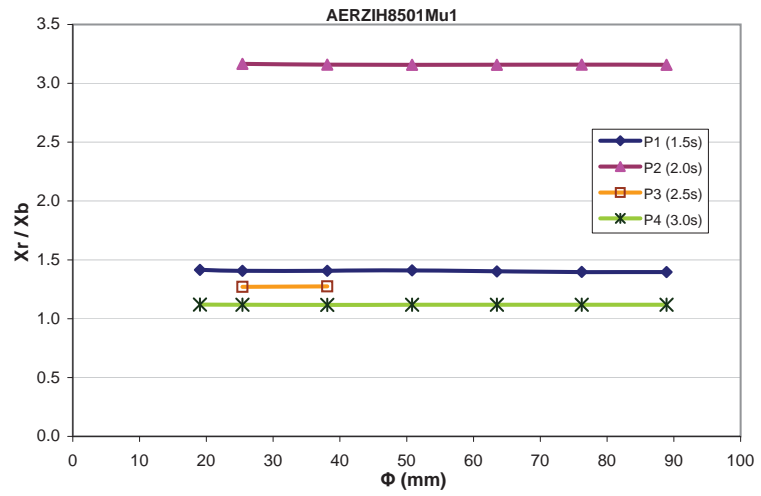
COPALA9501Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.818			0.108
25.40	0.707			0.119
38.10	0.728	0.372		0.121
50.80	0.773	0.316	0.203	0.165
63.50	0.658	0.306	0.186	0.170
76.20		0.449	0.204	0.266
88.90		0.464	0.138	0.238
$\mu=$	0.737	0.381	0.183	0.170
$S=$	0.061	0.073	0.031	0.062
$CV=$	8.3%	19.2%	16.8%	36.3%



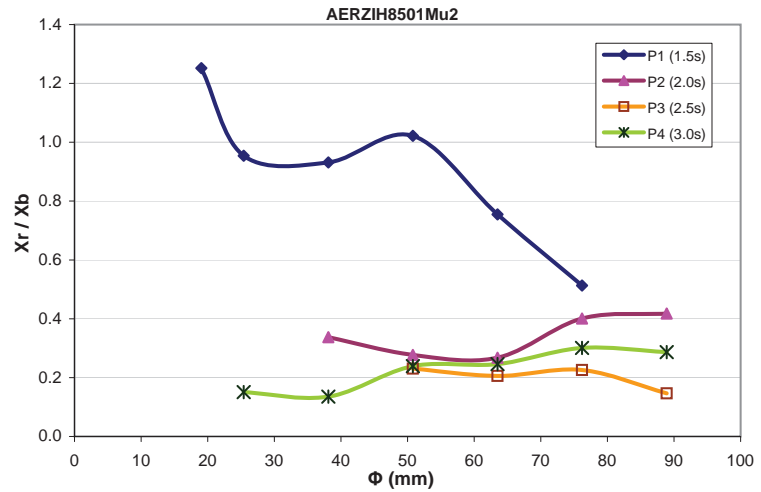
AERZIH8501Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.415			1.119
25.40	1.406	3.166	1.271	1.118
38.10	1.406	3.160	1.274	1.118
50.80	1.411	3.158		1.119
63.50	1.401	3.158		1.119
76.20	1.397	3.159		1.119
88.90	1.396	3.158		1.118
$\mu=$	1.405	3.160	1.273	1.119
$S=$	0.007	0.003	0.002	0.000
$CV=$	0.5%	0.1%	0.2%	0.0%



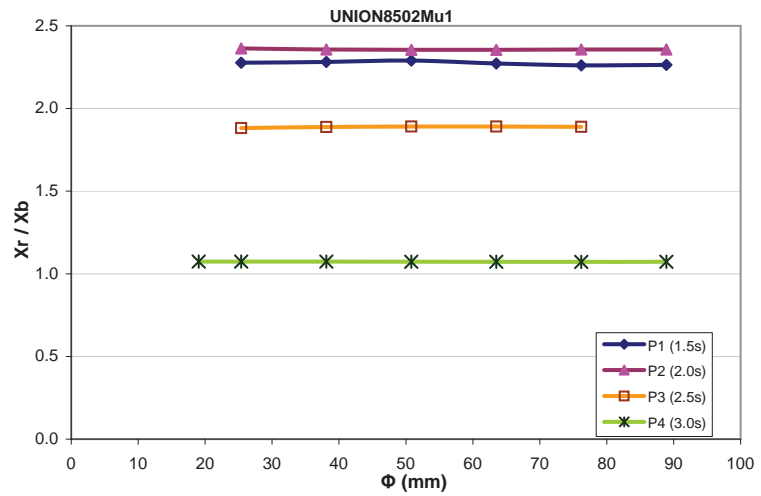
AERZIH8501Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.252			0.151
25.40	0.954			0.151
38.10	0.931	0.337		0.136
50.80	1.022	0.277	0.230	0.239
63.50	0.755	0.268	0.206	0.246
76.20	0.513	0.401	0.226	0.301
88.90		0.418	0.147	0.287
$\mu=$	0.905	0.340	0.202	0.227
$S=$	0.250	0.069	0.038	0.069
$CV=$	27.7%	20.3%	19.0%	30.4%



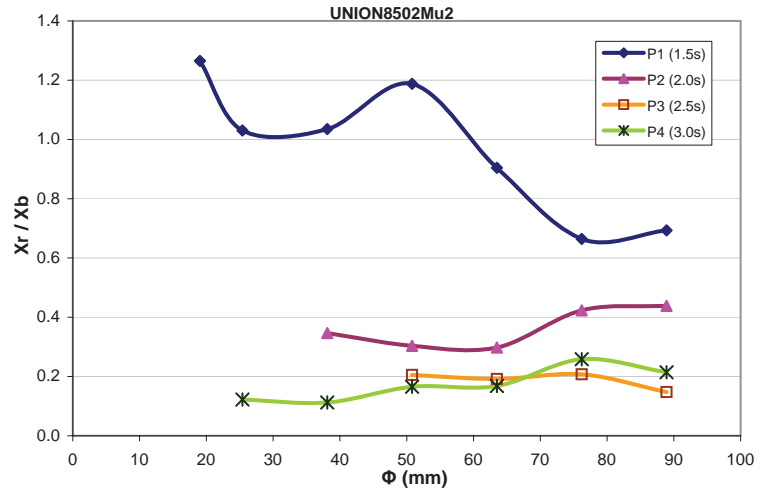
UNION8502Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				1.074
25.40	2.277	2.363	1.882	1.074
38.10	2.281	2.357	1.888	1.074
50.80	2.290	2.355	1.891	1.073
63.50	2.273	2.355	1.891	1.073
76.20	2.261	2.357	1.889	1.072
88.90	2.264	2.357		1.073
$\mu=$	2.274	2.357	1.888	1.073
$S=$	0.011	0.003	0.004	0.001
$CV=$	0.5%	0.1%	0.2%	0.1%



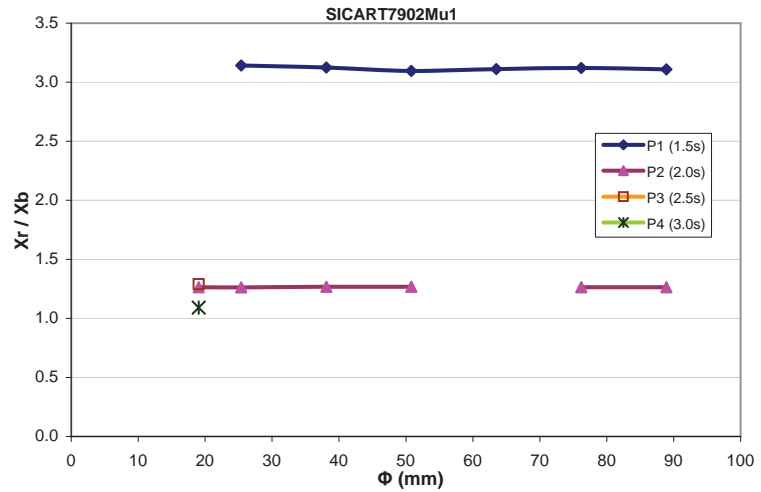
UNION8502Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.265			
25.40	1.030			0.123
38.10	1.035	0.347		0.112
50.80	1.188	0.303	0.205	0.165
63.50	0.904	0.298	0.192	0.168
76.20	0.664	0.423	0.208	0.258
88.90	0.693	0.439	0.147	0.214
$\mu=$	0.969	0.362	0.188	0.174
$S=$	0.230	0.066	0.028	0.055
$CV=$	23.7%	18.2%	14.9%	31.9%



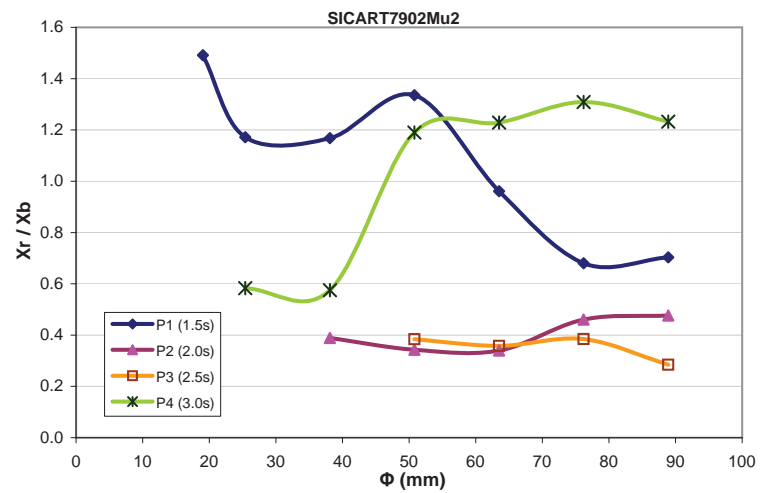
SICART7902Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05		1.263	1.290	1.091
25.40	3.141	1.263		
38.10	3.124	1.267		
50.80	3.096	1.268		
63.50	3.111			
76.20	3.121	1.264		
88.90	3.109	1.263		
$\mu=$	3.117	1.265		
$S=$	0.016	0.002		
$CV=$	0.5%	0.2%		



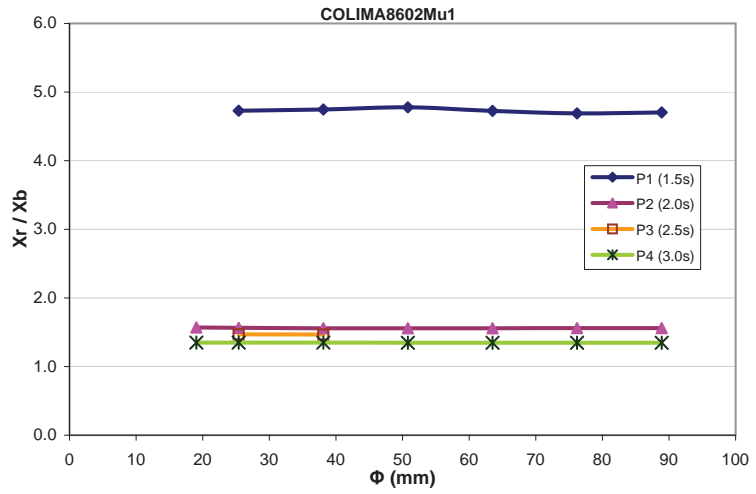
SICART7902Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.491			
25.40	1.172			0.583
38.10	1.168	0.389		0.575
50.80	1.336	0.343	0.384	1.190
63.50	0.961	0.340	0.358	1.228
76.20	0.680	0.460	0.385	1.309
88.90	0.703	0.476	0.285	1.232
$\mu=$	1.073	0.402	0.353	1.020
$S=$	0.307	0.064	0.047	0.343
$CV=$	28.6%	16.0%	13.4%	33.7%



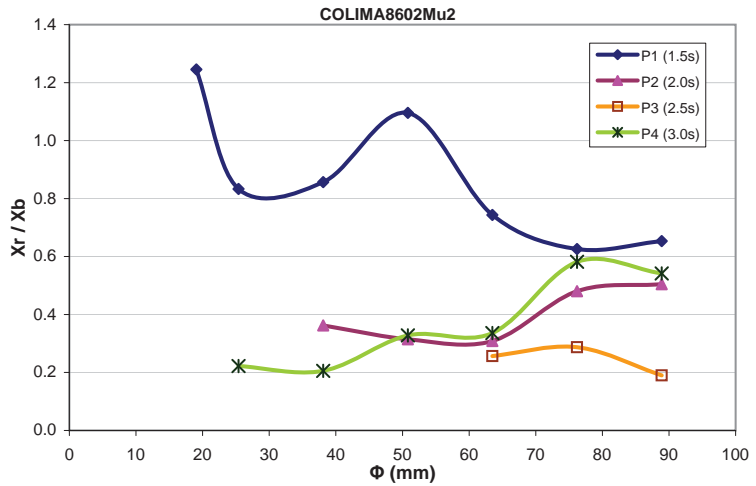
COLIMA8602Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05		1.568		1.348
25.40	4.729	1.563	1.468	1.349
38.10	4.747	1.558	1.468	1.349
50.80	4.779	1.558		1.348
63.50	4.726	1.558		1.348
76.20	4.689	1.560		1.347
88.90	4.702	1.561		1.348
$\mu=$	4.729	1.561	1.468	1.348
$S=$	0.032	0.004	0.001	0.001
$CV=$	0.7%	0.2%	0.0%	0.1%



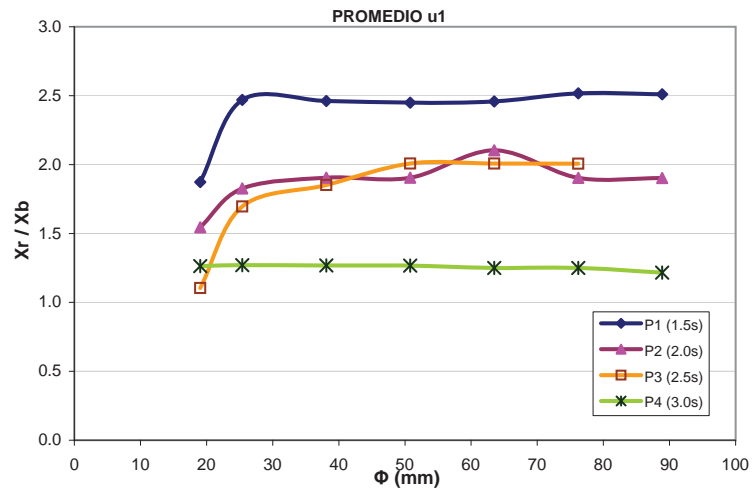
COLIMA8602Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.245			
25.40	0.833			0.222
38.10	0.857	0.363		0.205
50.80	1.095	0.315		0.328
63.50	0.744	0.308	0.257	0.336
76.20	0.626	0.480	0.287	0.582
88.90	0.654	0.504	0.190	0.541
$\mu=$	0.865	0.394	0.245	0.369
$S=$	0.229	0.093	0.050	0.159
$CV=$	26.5%	23.5%	20.3%	43.0%



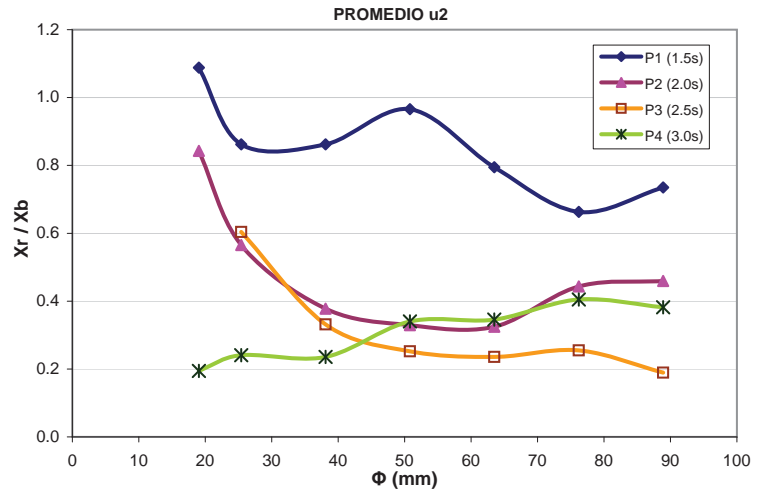
PROMEDIO u1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.873	1.545	1.104	1.264
25.40	2.470	1.827	1.696	1.270
38.10	2.462	1.905	1.851	1.268
50.80	2.449	1.905	2.007	1.267
63.50	2.458	2.104	2.007	1.250
76.20	2.516	1.904	2.007	1.250
88.90	2.510	1.903		1.217
$\mu=$	2.391	1.870	1.779	1.255
$S=$	0.230	0.167	0.353	0.019
$CV=$	9.6%	8.9%	19.8%	1.5%



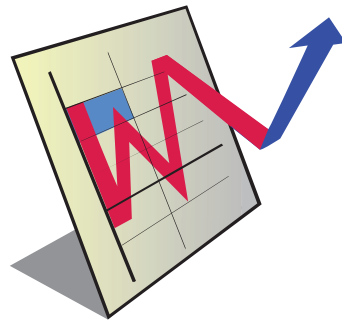
PROMEDIO u2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.088	0.843		0.194
25.40	0.862	0.565	0.604	0.241
38.10	0.862	0.378	0.332	0.235
50.80	0.966	0.329	0.252	0.340
63.50	0.795	0.325	0.236	0.346
76.20	0.663	0.443	0.255	0.405
88.90	0.735	0.460	0.189	0.382
$\mu=$	0.853	0.477	0.311	0.306
$S=$	0.142	0.182	0.151	0.082
$CV=$	16.7%	38.0%	48.4%	26.7%



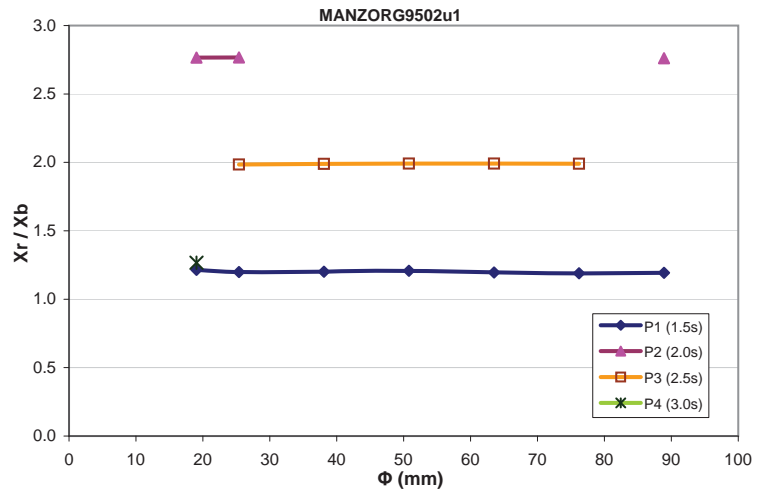
Gráficos

Cabezal de Pila 3



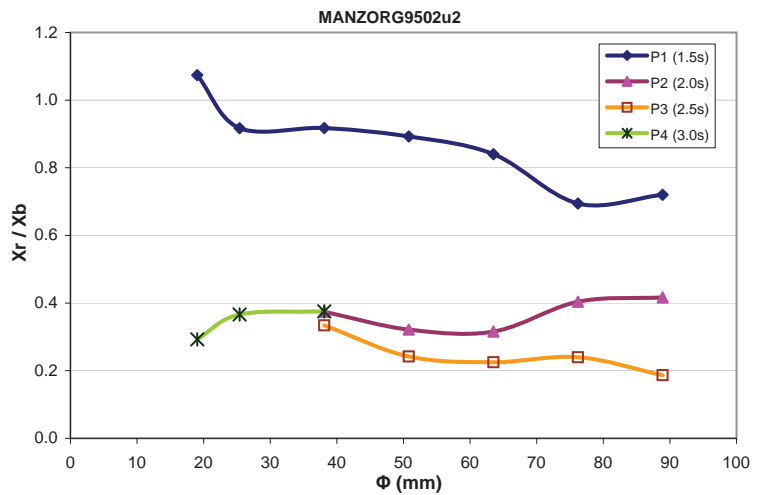
MANZORG9502u1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.214	2.766		1.267
25.40	1.199	2.767		
38.10	1.201		1.989	
50.80	1.208		1.992	
63.50	1.196		1.992	
76.20	1.190		1.991	
88.90	1.193	2.761		
$\mu=$	1.200	2.765	1.990	
$S=$	0.009	0.003	0.003	
$CV=$	0.7%	0.1%	0.1%	



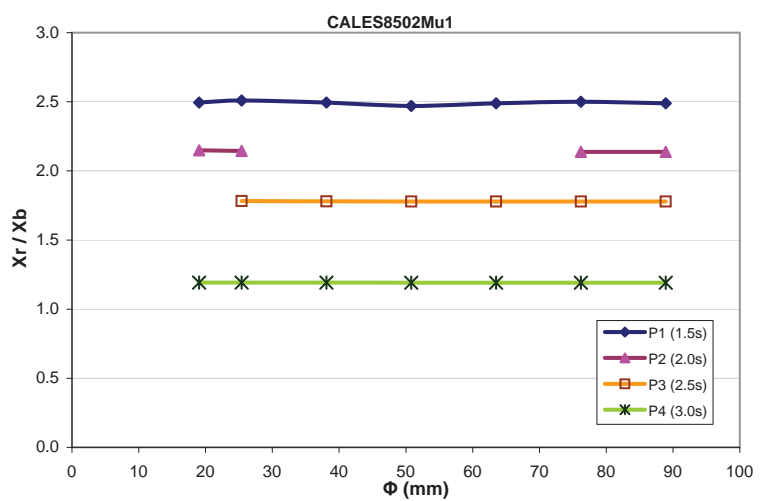
MANZORG9502u2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.074			0.293
25.40	0.917			0.366
38.10	0.918	0.374	0.334	0.375
50.80	0.893	0.322	0.242	
63.50	0.840	0.316	0.225	
76.20	0.694	0.404	0.240	
88.90	0.720	0.416	0.187	
$\mu=$	0.865	0.366	0.245	0.345
$S=$	0.130	0.046	0.054	0.045
$CV=$	15.0%	12.6%	22.1%	13.2%



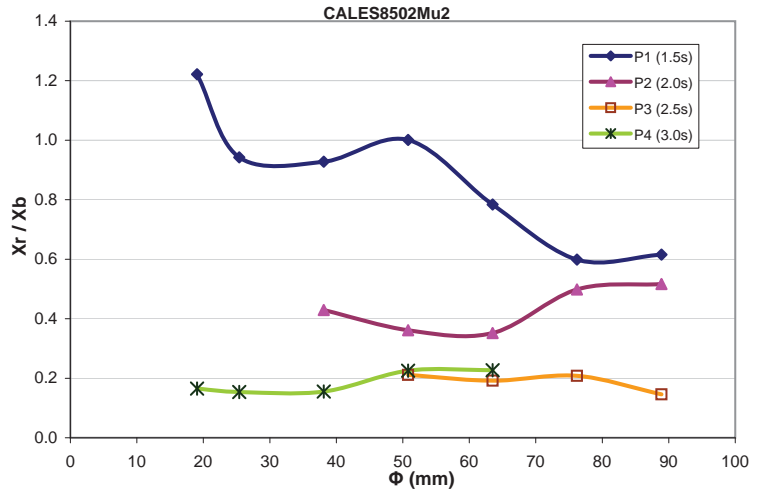
CALES8502Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	2.494	2.149		1.192
25.40	2.509	2.144	1.782	1.192
38.10	2.494		1.779	1.192
50.80	2.470		1.779	1.191
63.50	2.489		1.779	1.191
76.20	2.500	2.138	1.779	1.190
88.90	2.489	2.138	1.779	1.191
$\mu=$	2.492	2.142	1.779	1.191
$S=$	0.012	0.005	0.001	0.001
$CV=$	0.5%	0.2%	0.1%	0.1%



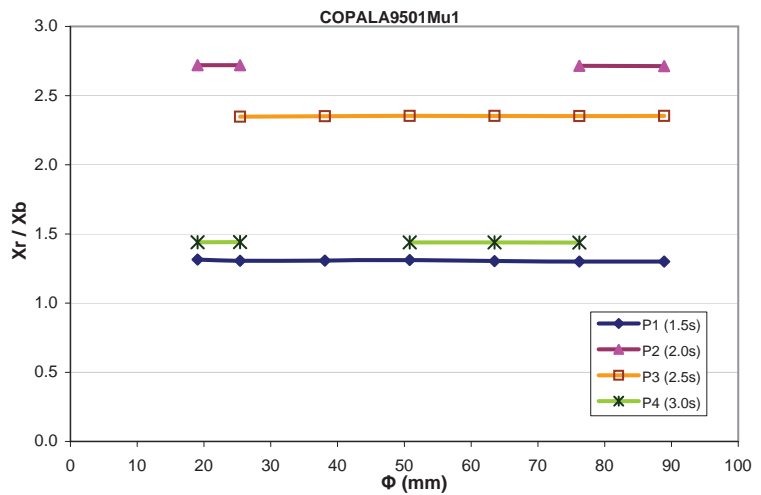
CALES8502Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.222			0.165
25.40	0.943			0.154
38.10	0.928	0.430		0.155
50.80	1.001	0.362	0.212	0.225
63.50	0.784	0.352	0.192	0.227
76.20	0.599	0.498	0.208	
88.90	0.616	0.516	0.146	
$\mu=$	0.870	0.432	0.189	0.185
$S=$	0.222	0.076	0.030	0.037
$CV=$	25.5%	17.6%	16.0%	20.2%



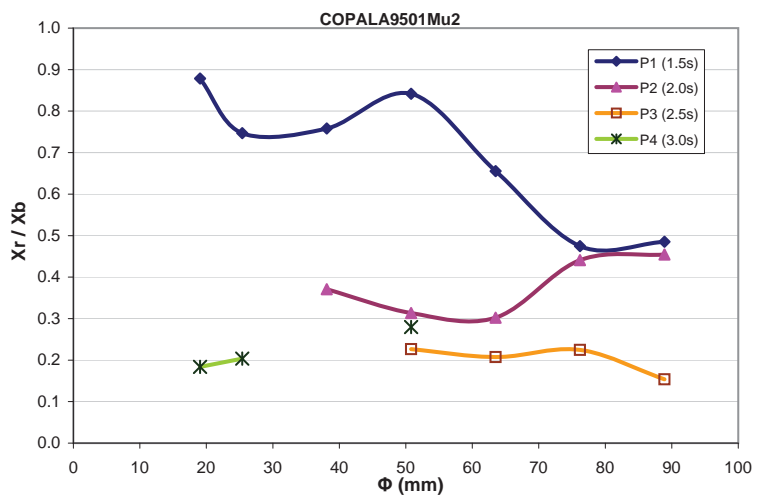
COPALA9501Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.315	2.719		1.440
25.40	1.306	2.719	2.348	1.441
38.10	1.307		2.351	
50.80	1.311		2.353	1.439
63.50	1.304		2.353	1.439
76.20	1.300	2.716	2.352	1.438
88.90	1.300	2.714	2.353	
$\mu=$	1.306	2.717	2.351	1.439
$S=$	0.006	0.003	0.002	0.001
$CV=$	0.4%	0.1%	0.1%	0.1%



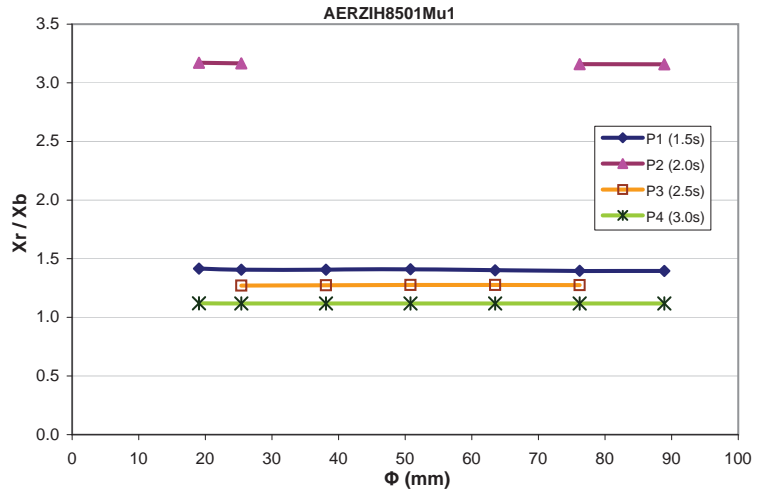
COPALA9501Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.879			0.184
25.40	0.747			0.204
38.10	0.758	0.371		
50.80	0.842	0.313	0.226	0.280
63.50	0.655	0.302	0.207	
76.20	0.475	0.441	0.225	
88.90	0.485	0.455	0.154	
$\mu=$	0.691	0.376	0.203	0.222
$S=$	0.161	0.070	0.034	0.051
$CV=$	23.3%	18.7%	16.7%	22.8%



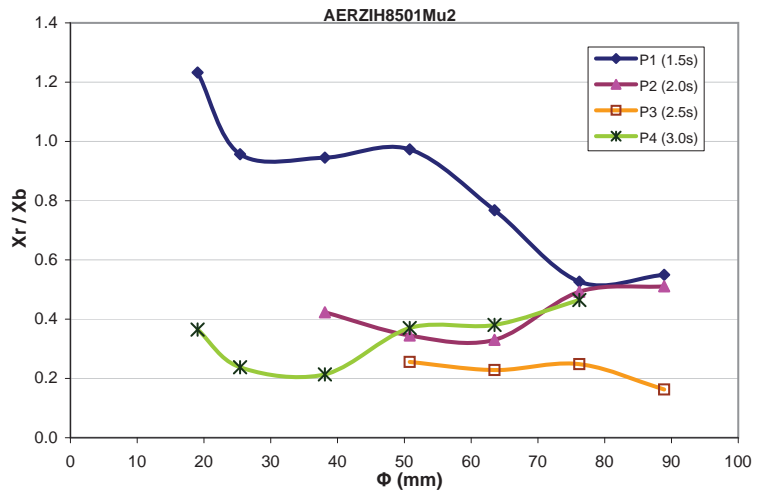
AERZIH8501Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.415	3.171		1.119
25.40	1.406	3.166	1.271	1.118
38.10	1.406		1.274	1.118
50.80	1.411		1.276	1.119
63.50	1.401		1.276	1.119
76.20	1.397	3.159	1.275	1.119
88.90	1.396	3.158		1.118
$\mu=$	1.405	3.163	1.274	1.119
S=	0.007	0.006	0.002	0.000
CV=	0.5%	0.2%	0.1%	0.0%



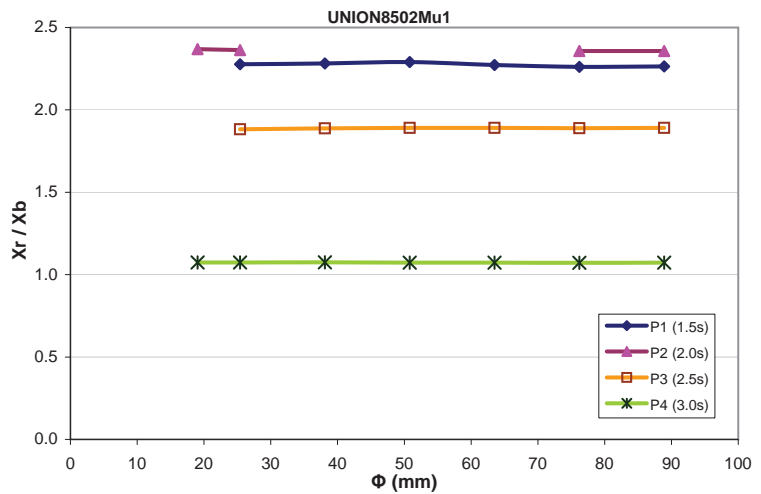
AERZIH8501Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.232			0.365
25.40	0.957			0.238
38.10	0.945	0.423		0.214
50.80	0.973	0.345	0.256	0.370
63.50	0.768	0.330	0.228	0.381
76.20	0.526	0.493	0.248	0.465
88.90	0.550	0.511	0.163	
$\mu=$	0.850	0.420	0.224	0.339
S=	0.253	0.083	0.042	0.095
CV=	29.7%	19.6%	18.9%	28.1%



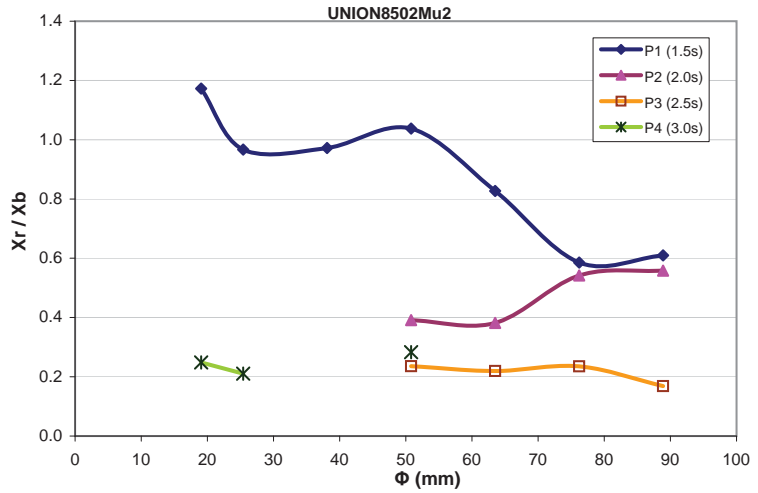
UNION8502Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05		2.368		1.074
25.40	2.277	2.363	1.882	1.074
38.10	2.281		1.888	1.074
50.80	2.290		1.891	1.073
63.50	2.273		1.891	1.073
76.20	2.261	2.357	1.889	1.072
88.90	2.264	2.357	1.891	1.073
$\mu=$	2.274	2.361	1.888	1.073
S=	0.011	0.005	0.003	0.001
CV=	0.5%	0.2%	0.2%	0.1%



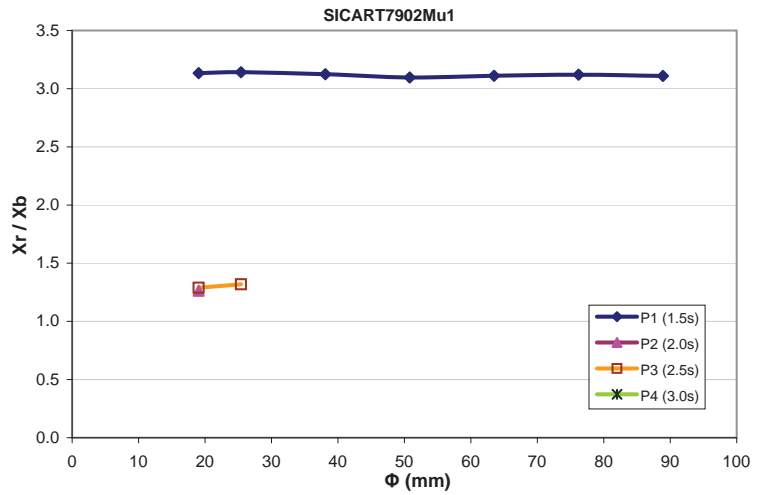
UNION8502Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.173			0.249
25.40	0.967			0.211
38.10	0.972			
50.80	1.037	0.391	0.236	0.283
63.50	0.827	0.382	0.220	
76.20	0.585	0.542	0.235	
88.90	0.610	0.558	0.169	
$\mu=$	0.882	0.468	0.215	0.247
$S=$	0.220	0.095	0.032	0.036
$CV=$	24.9%	20.2%	14.8%	14.7%



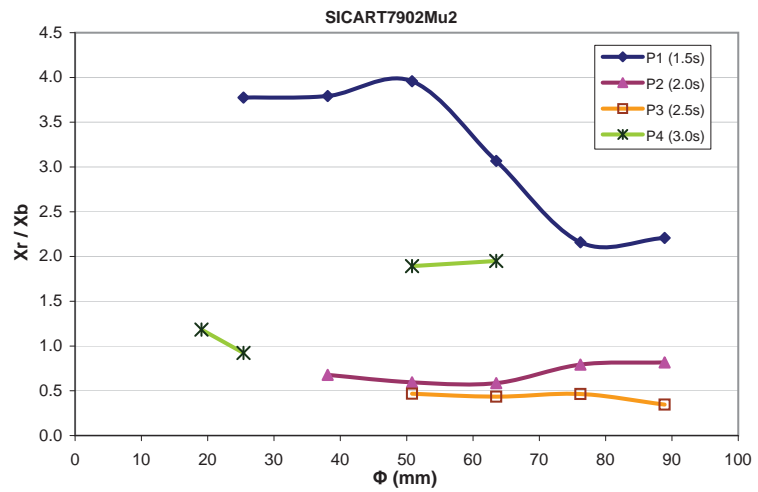
SICART7902Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	3.134	1.263	1.290	
25.40	3.141		1.318	
38.10	3.124			
50.80	3.096			
63.50	3.111			
76.20	3.121			
88.90	3.109			
$\mu=$	3.119		1.304	
$S=$	0.016		0.020	
$CV=$	0.5%		1.5%	



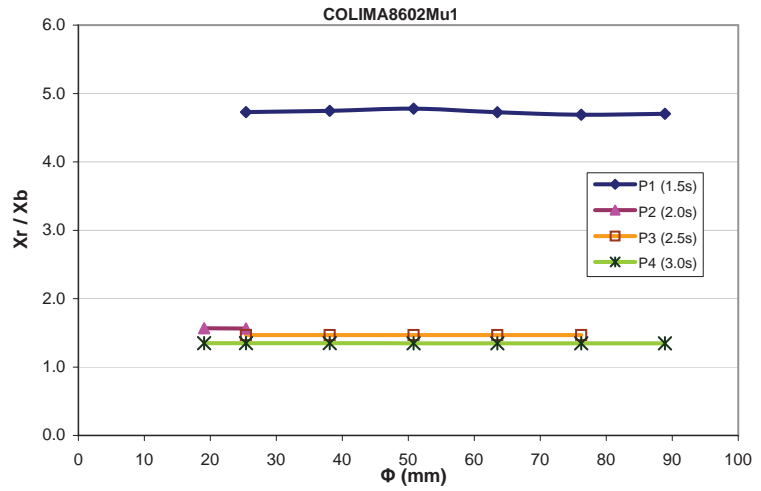
SICART7902Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				1.184
25.40	3.776			0.924
38.10	3.793	0.678		
50.80	3.958	0.594	0.467	1.893
63.50	3.068	0.586	0.435	1.950
76.20	2.160	0.793	0.464	
88.90	2.208	0.817	0.345	
$\mu=$	3.160	0.693	0.428	1.487
$S=$	0.817	0.108	0.057	0.513
$CV=$	25.8%	15.6%	13.3%	34.5%



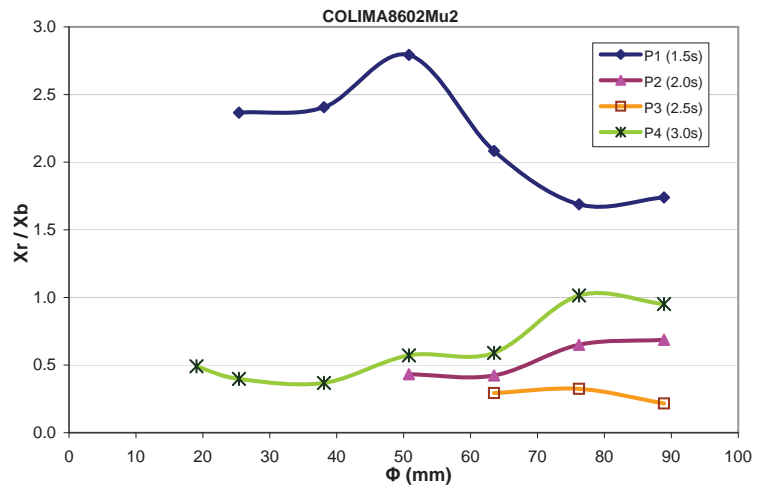
COLIMA8602Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05		1.568		1.348
25.40	4.729	1.563	1.468	1.349
38.10	4.747		1.468	1.349
50.80	4.779		1.468	1.348
63.50	4.726		1.468	1.348
76.20	4.689		1.468	1.347
88.90	4.702			1.348
$\mu=$	4.729	1.566	1.468	1.348
$S=$	0.032	0.003	0.000	0.001
$CV=$	0.7%	0.2%	0.0%	0.1%



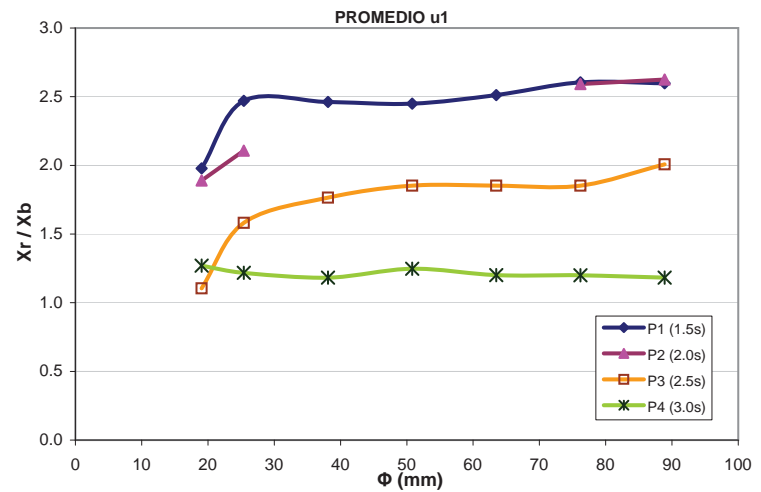
COLIMA8602Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				0.491
25.40	2.366			0.398
38.10	2.407			0.369
50.80	2.793	0.432		0.572
63.50	2.083	0.423	0.293	0.590
76.20	1.688	0.650	0.324	1.015
88.90	1.739	0.687	0.216	0.951
$\mu=$	2.180	0.548	0.278	0.626
$S=$	0.426	0.140	0.055	0.257
$CV=$	19.5%	25.5%	19.9%	41.1%



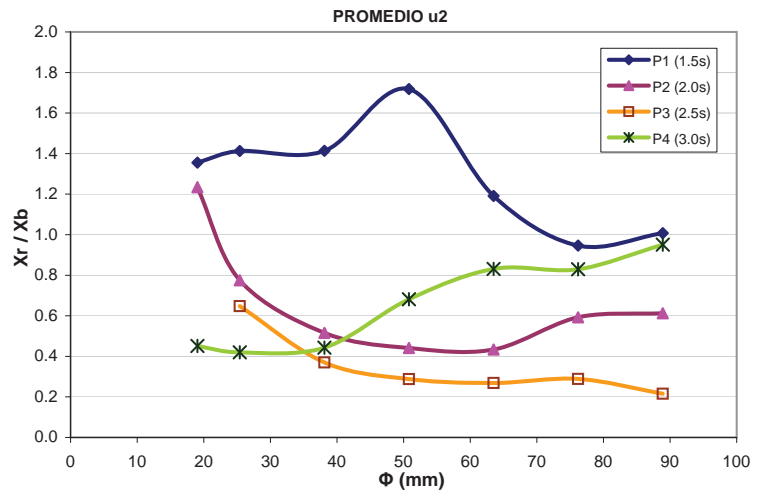
PROMEDIO u1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.978	1.889	1.104	1.269
25.40	2.470	2.107	1.582	1.218
38.10	2.462		1.765	1.183
50.80	2.449		1.853	1.247
63.50	2.512		1.853	1.201
76.20	2.604	2.592	1.852	1.200
88.90	2.598	2.626	2.008	1.182
$\mu=$	2.439	2.304	1.717	1.214
$S=$	0.213	0.364	0.299	0.033
$CV=$	8.7%	15.8%	17.4%	2.7%



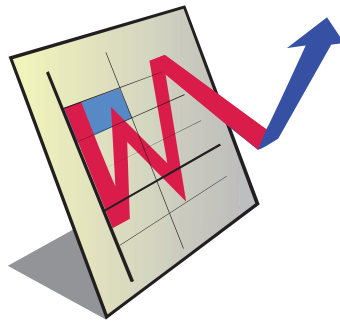
PROMEDIO u2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.355	1.234		0.451
25.40	1.413	0.775	0.648	0.420
38.10	1.414	0.515	0.370	0.443
50.80	1.718	0.441	0.288	0.682
63.50	1.191	0.434	0.269	0.831
76.20	0.946	0.592	0.288	0.830
88.90	1.008	0.613	0.216	0.951
$\mu=$	1.292	0.658	0.346	0.658
$S=$	0.266	0.280	0.156	0.221
$CV=$	20.6%	42.5%	44.9%	33.5%



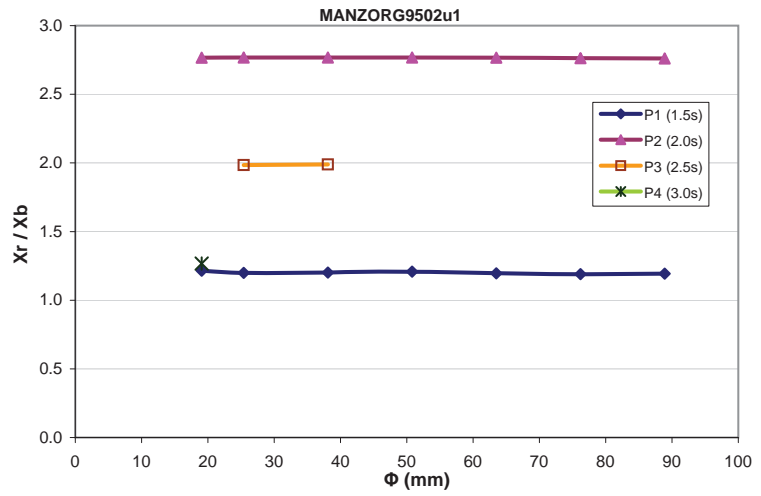
Gráficos

Cabezal de Pila 4



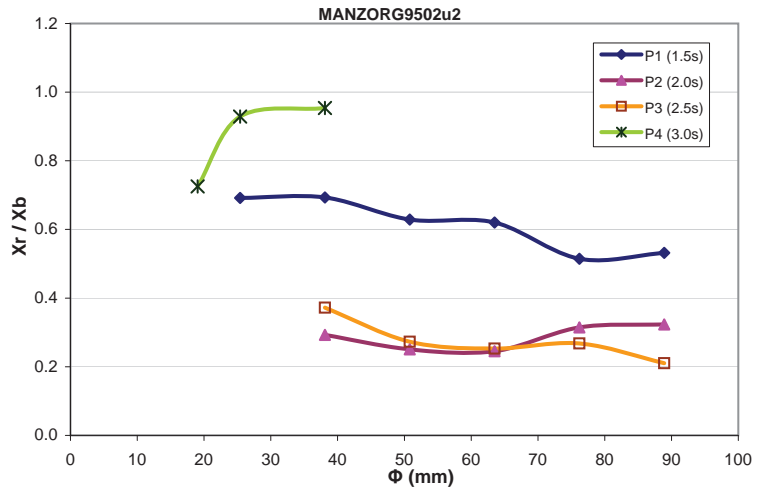
MANZORG9502u1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.214	2.766		1.267
25.40	1.199	2.767	1.985	
38.10	1.201	2.768	1.989	
50.80	1.208	2.767		
63.50	1.196	2.766		
76.20	1.190	2.763		
88.90	1.193	2.761		
$\mu=$	1.200	2.766	1.987	
$S=$	0.009	0.002	0.003	
$CV=$	0.7%	0.1%	0.2%	



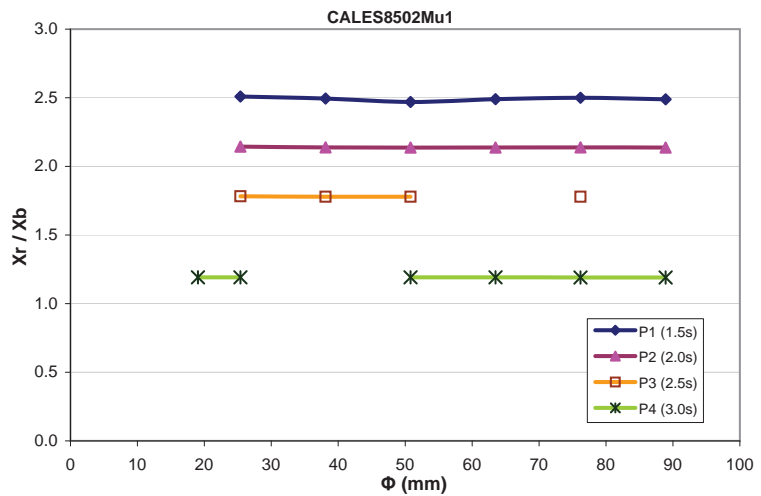
MANZORG9502u2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				0.725
25.40	0.692			0.929
38.10	0.693	0.293	0.372	0.954
50.80	0.629	0.251	0.273	
63.50	0.620	0.245	0.253	
76.20	0.514	0.315	0.268	
88.90	0.532	0.323	0.210	
$\mu=$	0.613	0.285	0.275	0.870
$S=$	0.077	0.036	0.060	0.125
$CV=$	12.5%	12.6%	21.6%	14.4%



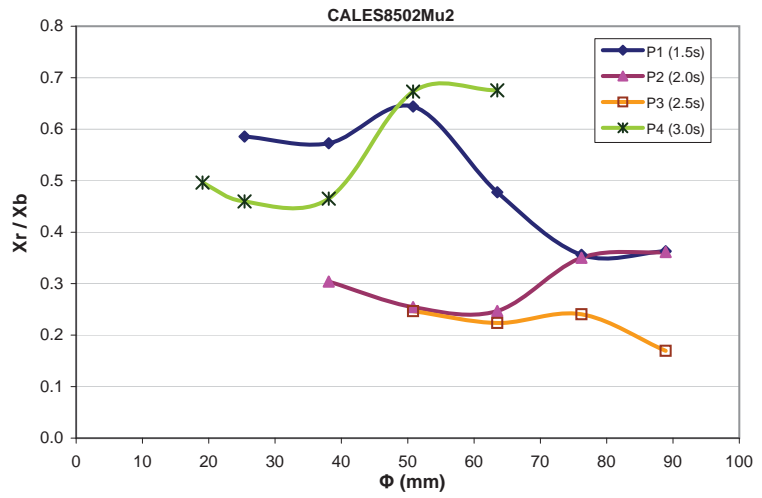
CALES8502Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				1.192
25.40	2.509	2.144	1.782	1.192
38.10	2.494	2.139	1.779	
50.80	2.470	2.137	1.779	1.191
63.50	2.489	2.137		1.191
76.20	2.500	2.138	1.779	1.190
88.90	2.489	2.138		1.191
$\mu=$	2.492	2.139	1.780	1.191
$S=$	0.013	0.003	0.001	0.001
$CV=$	0.5%	0.1%	0.1%	0.1%



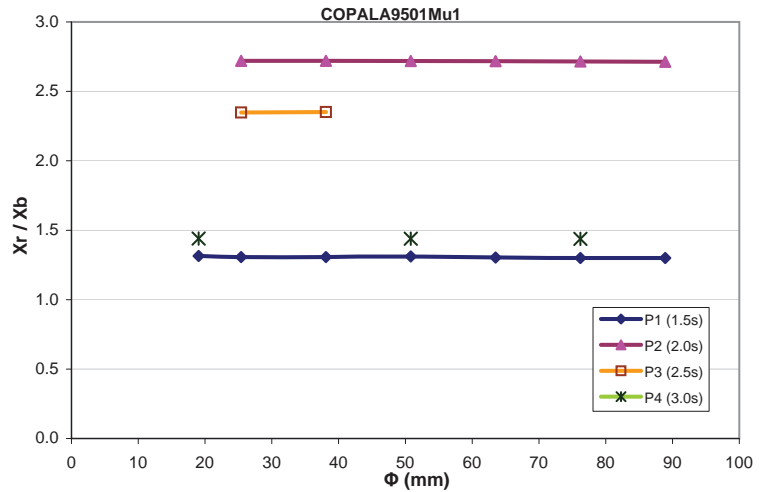
CALES8502Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				0.496
25.40	0.586			0.460
38.10	0.573	0.304		0.465
50.80	0.644	0.255	0.247	0.673
63.50	0.477	0.247	0.224	0.675
76.20	0.356	0.350	0.240	
88.90	0.363	0.361	0.169	
$\mu=$	0.500	0.303	0.220	0.554
$S=$	0.121	0.053	0.035	0.111
$CV=$	24.2%	17.4%	16.0%	20.0%



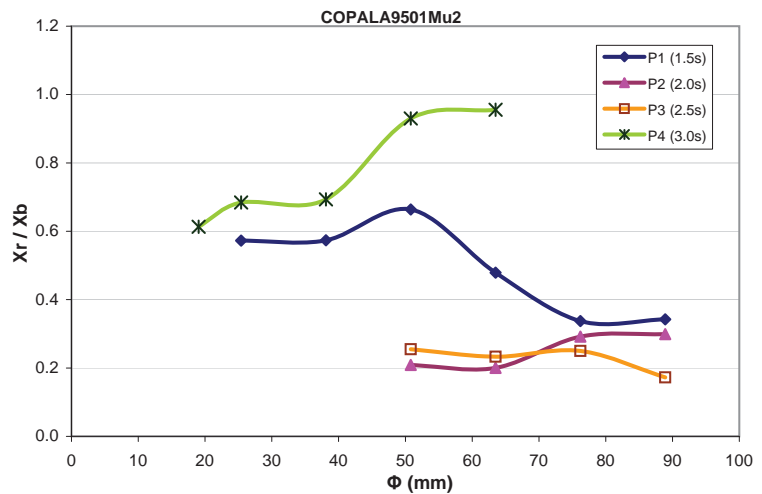
COPALA9501Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.315			1.440
25.40	1.306	2.719	2.348	
38.10	1.307	2.720	2.351	
50.80	1.311	2.719		1.439
63.50	1.304	2.718		
76.20	1.300	2.716		1.438
88.90	1.300	2.714		
$\mu=$	1.306	2.717	2.349	1.439
$S=$	0.006	0.002	0.002	0.001
$CV=$	0.4%	0.1%	0.1%	0.1%



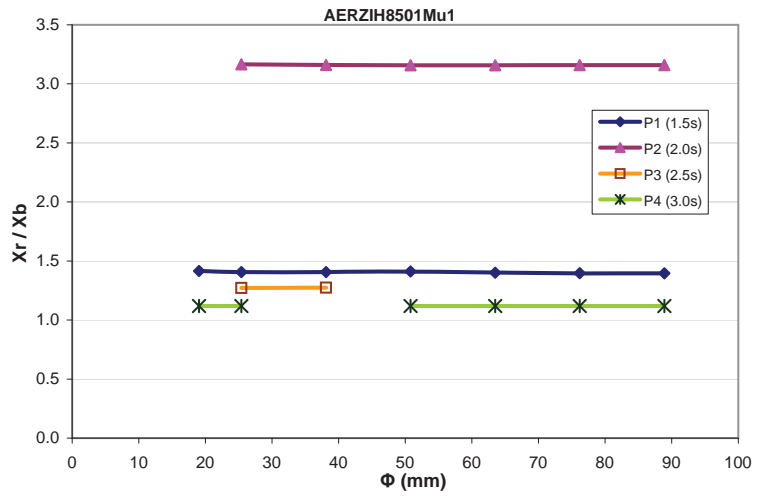
COPALA9501Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				0.613
25.40	0.573			0.684
38.10	0.573			0.693
50.80	0.664	0.209	0.255	0.930
63.50	0.479	0.200	0.233	0.955
76.20	0.338	0.292	0.250	
88.90	0.342	0.299	0.172	
$\mu=$	0.495	0.250	0.228	0.775
$S=$	0.133	0.053	0.038	0.156
$CV=$	27.0%	21.1%	16.7%	20.2%



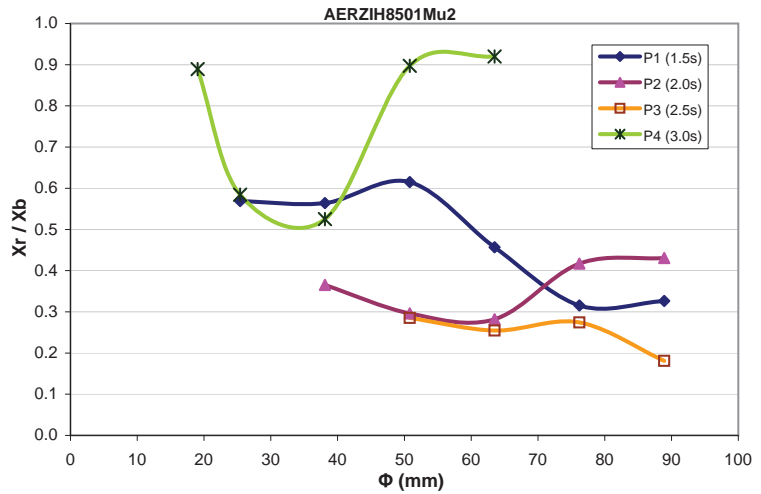
AERZIH8501Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.415			1.119
25.40	1.406	3.166	1.271	1.118
38.10	1.406	3.160	1.274	
50.80	1.411	3.158		1.119
63.50	1.401	3.158		1.119
76.20	1.397	3.159		1.119
88.90	1.396	3.158		1.118
$\mu=$	1.405	3.160	1.273	1.119
$S=$	0.007	0.003	0.002	0.000
$CV=$	0.5%	0.1%	0.2%	0.0%



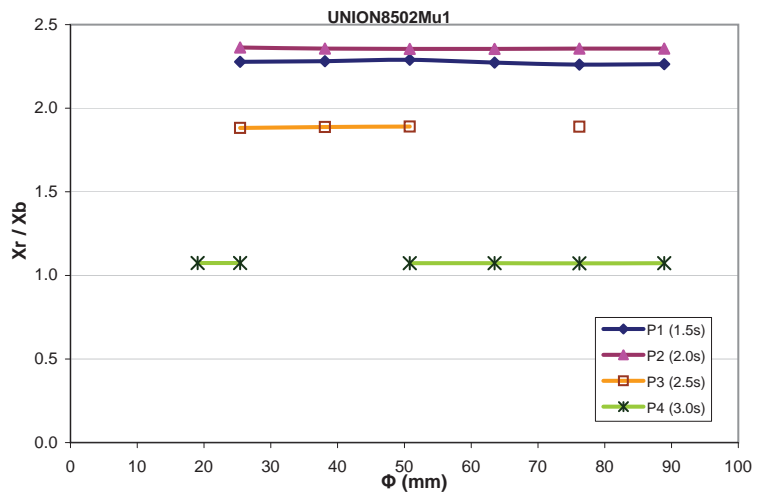
AERZIH8501Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				0.889
25.40	0.569			0.584
38.10	0.564	0.365		0.525
50.80	0.615	0.296	0.285	0.897
63.50	0.457	0.282	0.255	0.920
76.20	0.316	0.417	0.274	
88.90	0.326	0.431	0.181	
$\mu=$	0.474	0.358	0.249	0.763
$S=$	0.130	0.068	0.047	0.192
$CV=$	27.3%	19.0%	18.9%	25.1%



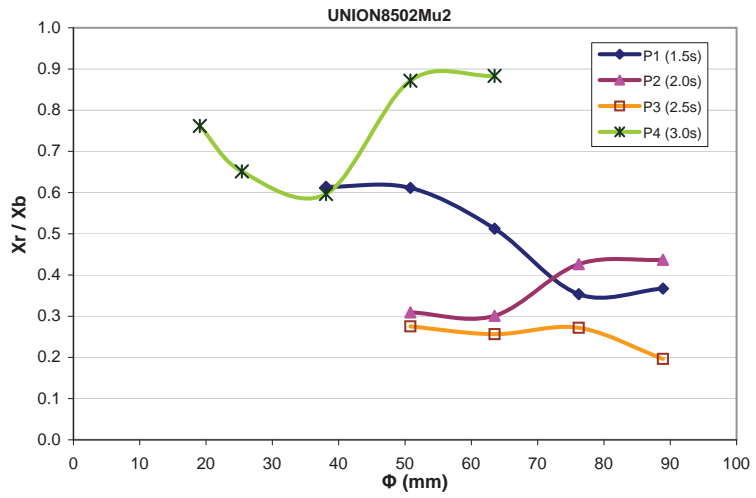
UNION8502Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				1.074
25.40	2.277	2.363	1.882	1.074
38.10	2.281	2.357	1.888	
50.80	2.290	2.355	1.891	1.073
63.50	2.273	2.355		1.073
76.20	2.261	2.357	1.889	1.072
88.90	2.264	2.357		1.073
$\mu=$	2.274	2.357	1.887	1.073
$S=$	0.011	0.003	0.004	0.001
$CV=$	0.5%	0.1%	0.2%	0.1%



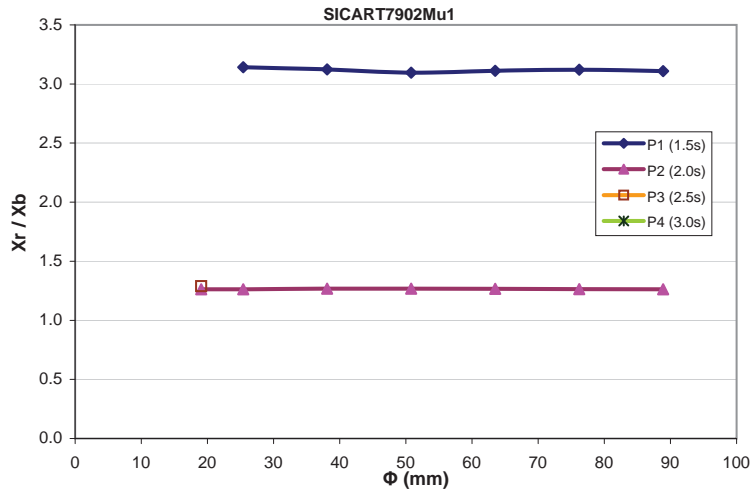
UNION8502Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				0.762
25.40				0.651
38.10	0.614			0.597
50.80	0.611	0.309	0.275	0.872
63.50	0.512	0.301	0.257	0.883
76.20	0.353	0.426	0.272	
88.90	0.367	0.437	0.197	
$\mu=$	0.492	0.368	0.250	0.753
$S=$	0.127	0.073	0.037	0.128
$CV=$	25.8%	19.9%	14.7%	17.1%



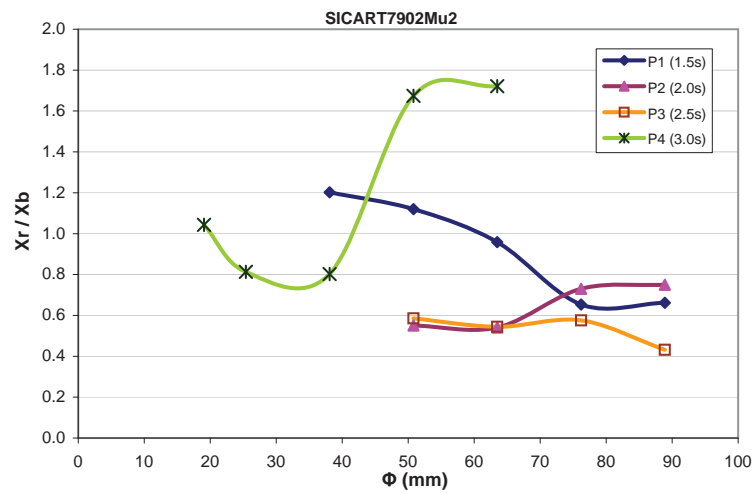
SICART7902Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05		1.263	1.290	
25.40	3.141	1.263		
38.10	3.124	1.267		
50.80	3.096	1.268		
63.50	3.111	1.267		
76.20	3.121	1.264		
88.90	3.109	1.263		
$\mu=$	3.117	1.265		
$S=$	0.016	0.002		
$CV=$	0.5%	0.2%		



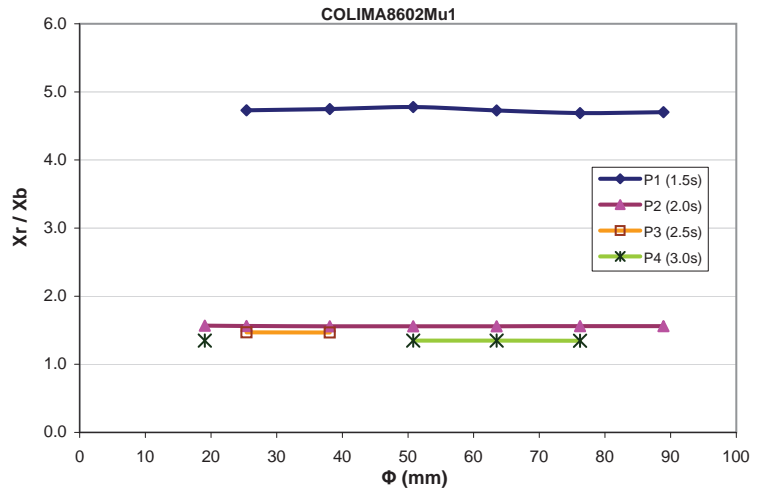
SICART7902Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				1.043
25.40				0.813
38.10	1.202			0.803
50.80	1.120	0.550	0.586	1.674
63.50	0.958	0.540	0.545	1.721
76.20	0.653	0.730	0.576	
88.90	0.661	0.750	0.432	
$\mu=$	0.919	0.643	0.534	1.211
$S=$	0.255	0.113	0.070	0.455
$CV=$	27.7%	17.6%	13.2%	37.6%



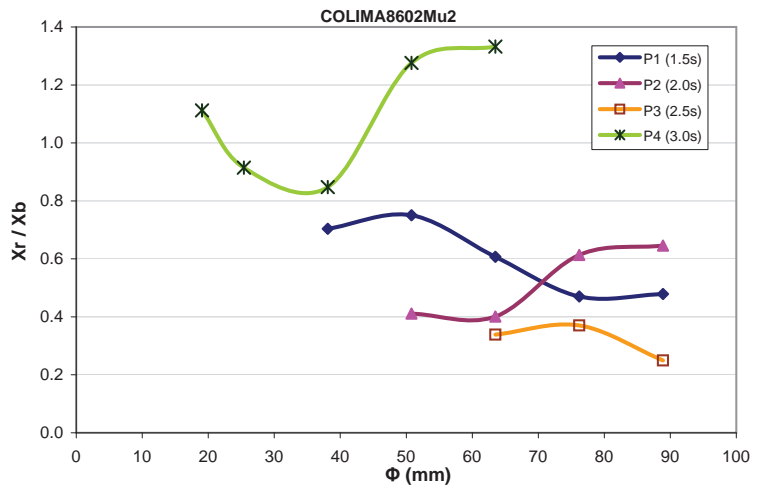
COLIMA8602Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05		1.568		1.348
25.40	4.729	1.563	1.468	
38.10	4.747	1.558	1.468	
50.80	4.779	1.558		1.348
63.50	4.726	1.558		1.348
76.20	4.689	1.560		1.347
88.90	4.702	1.561		
$\mu=$	4.729	1.561	1.468	1.348
$S=$	0.032	0.004	0.001	0.001
$CV=$	0.7%	0.2%	0.0%	0.1%



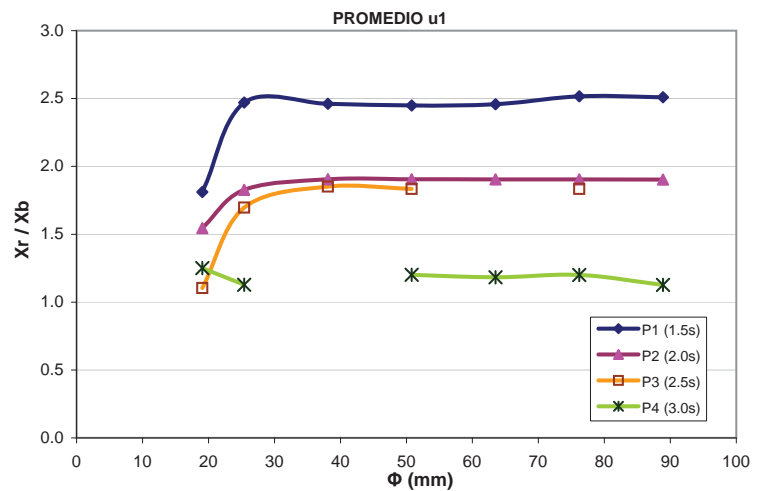
COLIMA8602Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				1.112
25.40				0.915
38.10	0.704			0.848
50.80	0.751	0.411		1.276
63.50	0.607	0.401	0.339	1.332
76.20	0.470	0.614	0.371	
88.90	0.479	0.646	0.250	
$\mu=$	0.602	0.518	0.320	1.097
$S=$	0.128	0.130	0.063	0.214
$CV=$	21.2%	25.1%	19.6%	19.5%



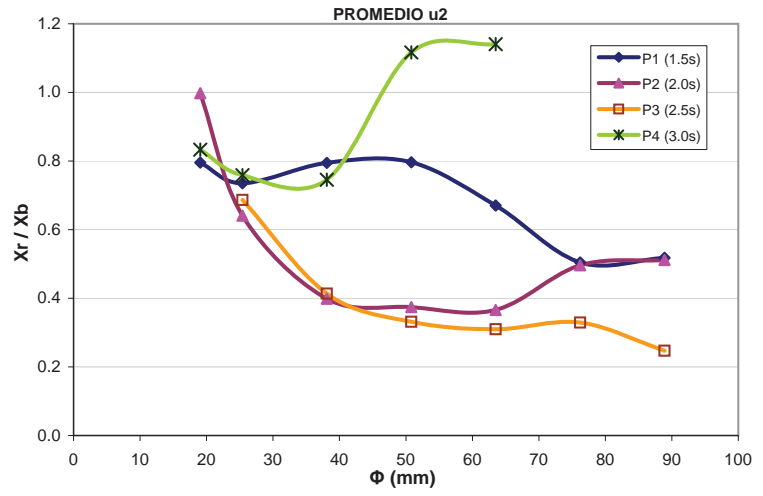
PROMEDIO u1

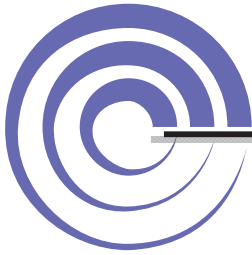
Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.811	1.545	1.104	1.251
25.40	2.470	1.827	1.696	1.128
38.10	2.462	1.905	1.851	
50.80	2.449	1.905	1.835	1.201
63.50	2.458	1.904		1.183
76.20	2.516	1.904	1.834	1.200
88.90	2.510	1.903		1.127
$\mu=$	2.382	1.842	1.664	1.182
$S=$	0.253	0.134	0.319	0.048
$CV=$	10.6%	7.3%	19.2%	4.0%



PROMEDIO u2

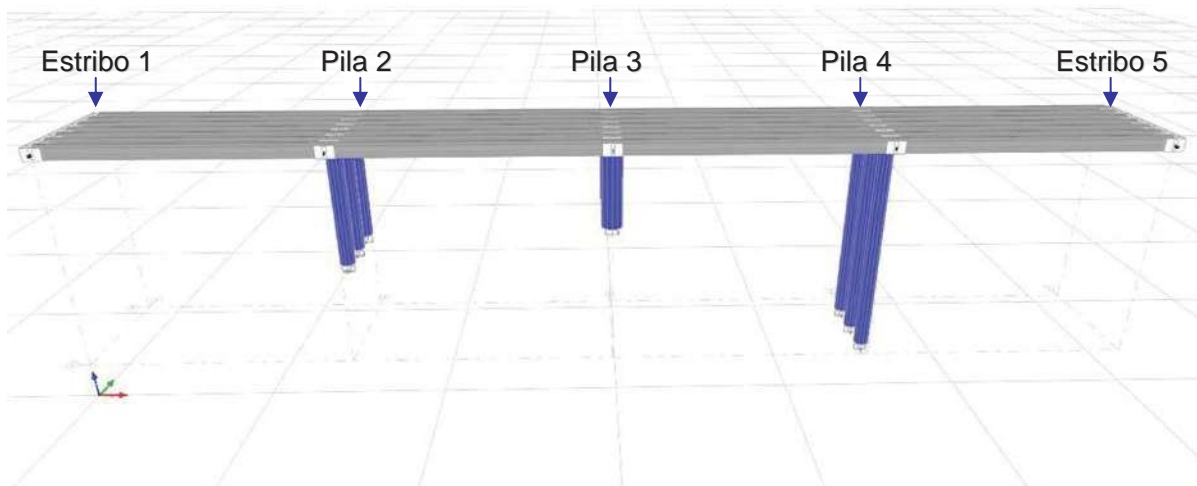
Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.796	0.998		0.833
25.40	0.735	0.641	0.687	0.759
38.10	0.795	0.399	0.414	0.746
50.80	0.796	0.374	0.331	1.117
63.50	0.670	0.366	0.310	1.140
76.20	0.504	0.496	0.329	
88.90	0.518	0.511	0.247	
$\mu=$	0.688	0.541	0.386	0.919
$S=$	0.129	0.224	0.157	0.194
$CV=$	18.8%	41.4%	40.5%	21.2%





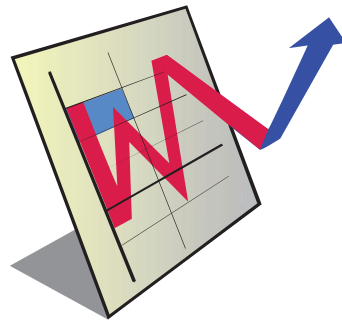
RELACIÓN DE FUERZAS HORIZONTALES EN EL CABEZAL

Registros sísmicos zona D



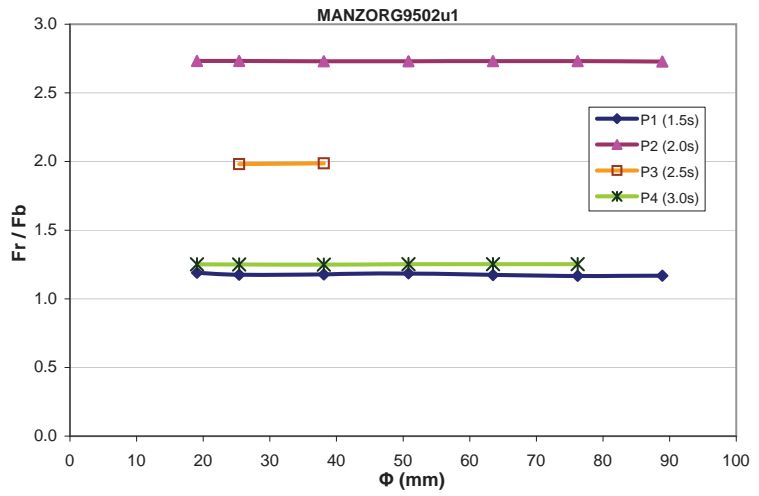
Gráficos

Cabezal de Pila 2



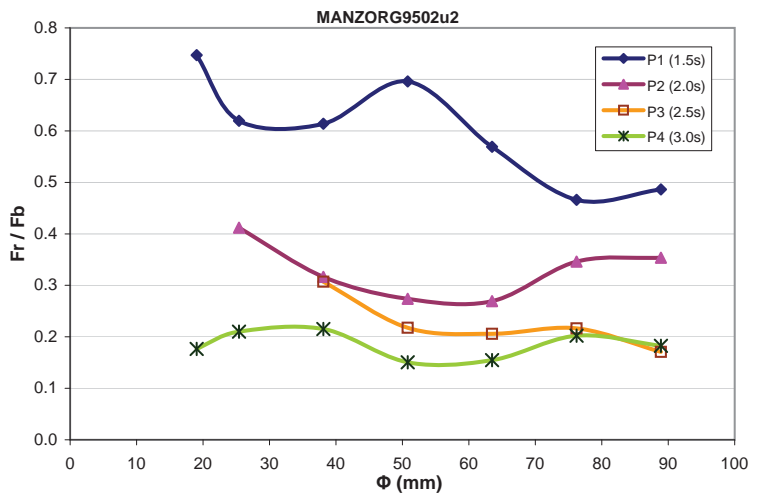
MANZORG9502u1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.190	2.733		1.251
25.40	1.175	2.733	1.982	1.250
38.10	1.178	2.730	1.986	1.249
50.80	1.185	2.730		1.253
63.50	1.173	2.731		1.252
76.20	1.167	2.731		1.253
88.90	1.169	2.728		
$\mu=$	1.177	2.731	1.984	1.251
$S=$	0.008	0.002	0.003	0.001
$CV=$	0.7%	0.1%	0.2%	0.1%



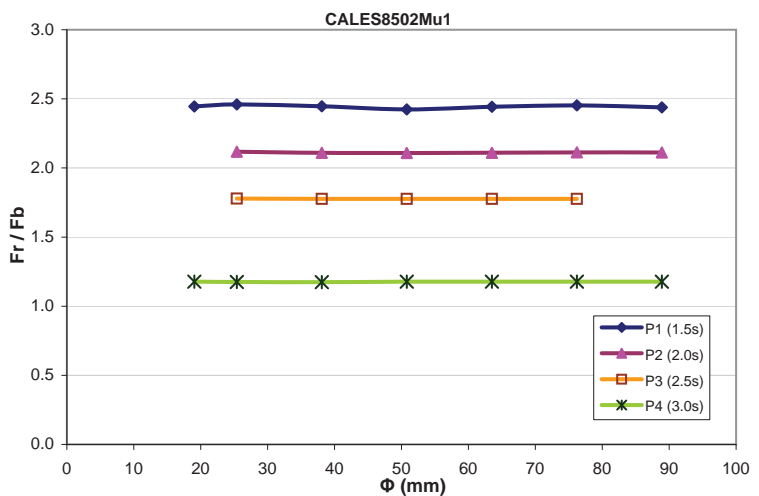
MANZORG9502u2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.747			0.177
25.40	0.620	0.412		0.210
38.10	0.614	0.316	0.307	0.215
50.80	0.696	0.274	0.218	0.151
63.50	0.569	0.269	0.206	0.155
76.20	0.466	0.346	0.217	0.202
88.90	0.486	0.354	0.171	0.183
$\mu=$	0.600	0.329	0.224	0.185
$S=$	0.103	0.054	0.050	0.026
$CV=$	17.1%	16.4%	22.6%	14.0%



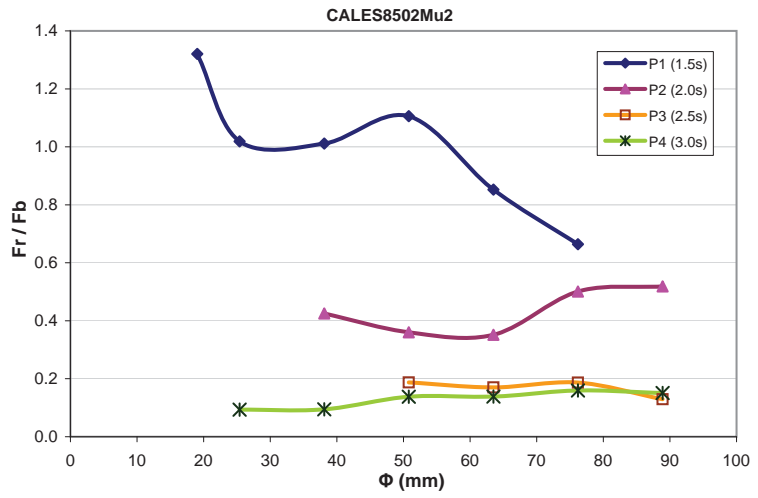
CALES8502Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	2.445			1.177
25.40	2.460	2.117	1.779	1.175
38.10	2.446	2.110	1.777	1.174
50.80	2.423	2.108	1.776	1.178
63.50	2.443	2.110	1.776	1.177
76.20	2.453	2.113	1.776	1.178
88.90	2.439	2.112		1.178
$\mu=$	2.444	2.112	1.777	1.177
$S=$	0.011	0.003	0.001	0.001
$CV=$	0.5%	0.2%	0.1%	0.1%



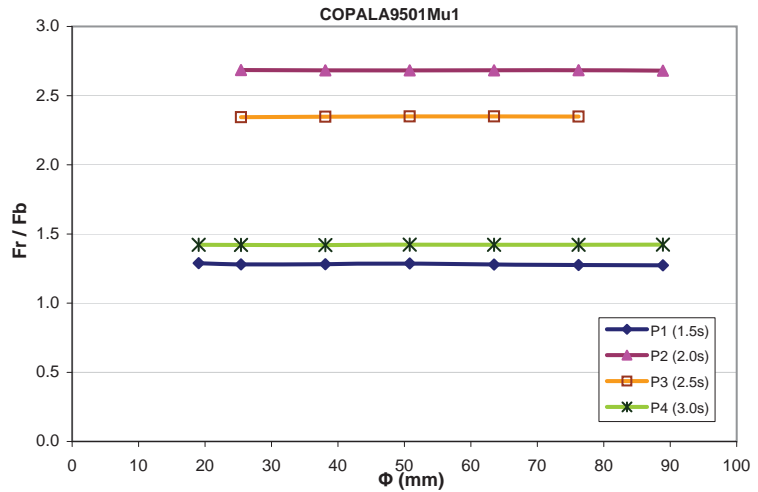
CALES8502Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.321			
25.40	1.019			0.094
38.10	1.011	0.425		0.095
50.80	1.106	0.360	0.187	0.138
63.50	0.853	0.351	0.170	0.139
76.20	0.664	0.501	0.187	0.160
88.90		0.519	0.130	0.151
$\mu=$	0.996	0.431	0.168	0.129
$S=$	0.223	0.077	0.027	0.028
$CV=$	22.4%	17.9%	16.1%	22.0%



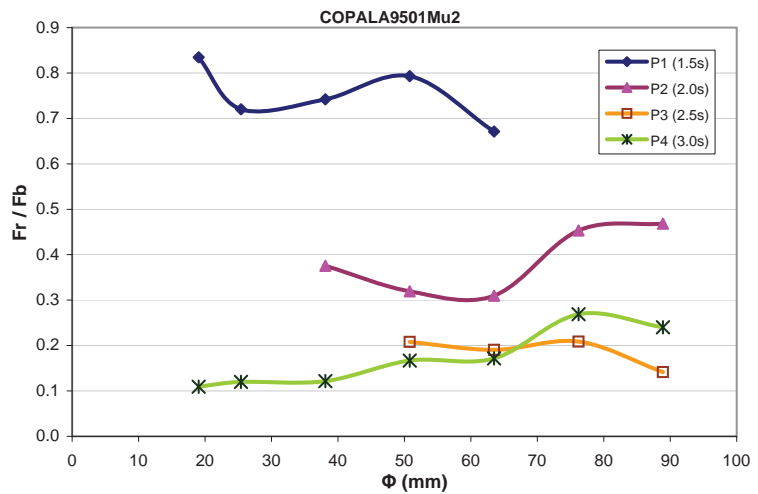
COPALA9501Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.289			1.422
25.40	1.280	2.685	2.344	1.421
38.10	1.282	2.683	2.347	1.420
50.80	1.287	2.682	2.349	1.423
63.50	1.279	2.683	2.349	1.422
76.20	1.275	2.684	2.348	1.422
88.90	1.274	2.681		1.423
$\mu=$	1.281	2.683	2.348	1.422
$S=$	0.006	0.002	0.002	0.001
$CV=$	0.4%	0.1%	0.1%	0.1%



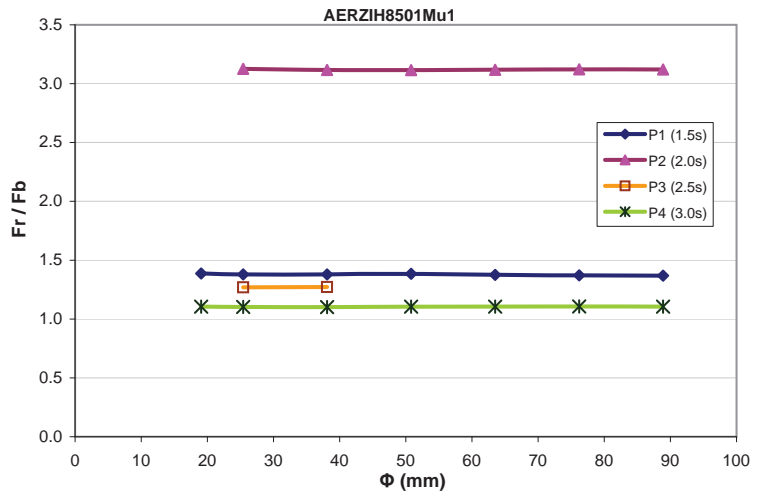
COPALA9501Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.835			0.109
25.40	0.720			0.120
38.10	0.742	0.375		0.121
50.80	0.793	0.319	0.208	0.167
63.50	0.671	0.310	0.191	0.172
76.20		0.453	0.209	0.269
88.90		0.468	0.142	0.240
$\mu=$	0.752	0.385	0.187	0.171
$S=$	0.064	0.074	0.032	0.062
$CV=$	8.4%	19.1%	16.8%	36.3%



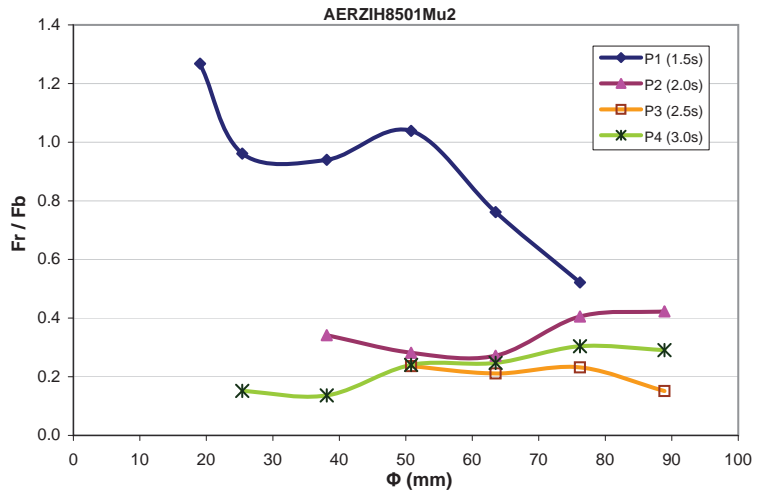
AERZIH8501Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.387			1.105
25.40	1.379	3.126	1.269	1.103
38.10	1.380	3.117	1.272	1.101
50.80	1.385	3.116		1.106
63.50	1.375	3.118		1.106
76.20	1.371	3.122		1.107
88.90	1.368	3.120		1.106
$\mu=$	1.378	3.120	1.271	1.105
$S=$	0.007	0.004	0.002	0.002
$CV=$	0.5%	0.1%	0.2%	0.2%



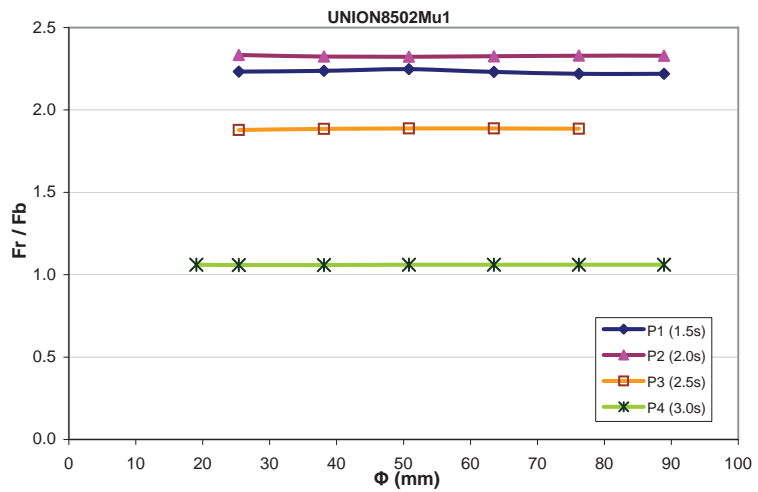
AERZIH8501Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.268			
25.40	0.961			0.152
38.10	0.940	0.342		0.136
50.80	1.038	0.282	0.236	0.240
63.50	0.762	0.272	0.211	0.247
76.20	0.521	0.406	0.232	0.304
88.90		0.423	0.151	0.291
$\mu=$	0.915	0.345	0.208	0.228
$S=$	0.253	0.069	0.039	0.070
$CV=$	27.7%	20.0%	18.9%	30.6%



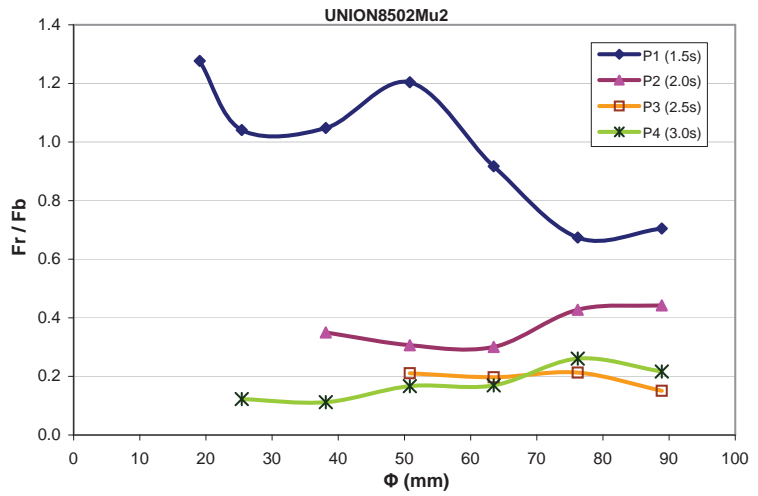
UNION8502Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				1.060
25.40	2.232	2.334	1.879	1.059
38.10	2.238	2.325	1.885	1.058
50.80	2.248	2.323	1.888	1.061
63.50	2.231	2.325	1.888	1.061
76.20	2.219	2.330	1.886	1.061
88.90	2.219	2.329		1.061
$\mu=$	2.231	2.328	1.885	1.060
$S=$	0.011	0.004	0.004	0.001
$CV=$	0.5%	0.2%	0.2%	0.1%



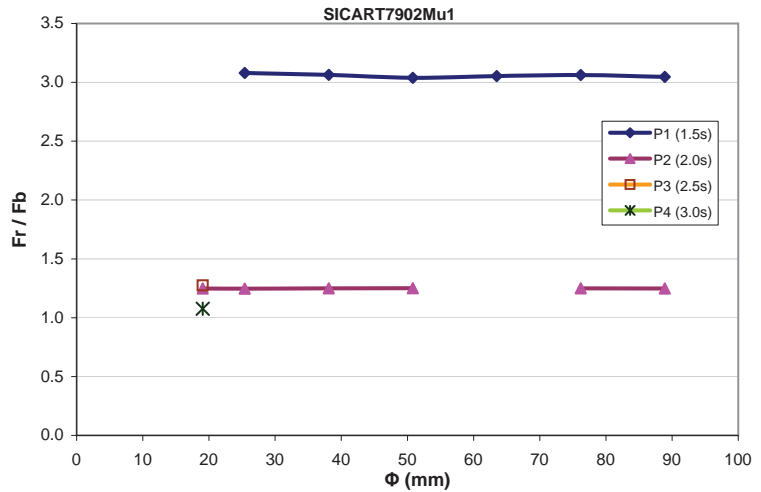
UNION8502Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.277			
25.40	1.041			0.123
38.10	1.048	0.350		0.112
50.80	1.204	0.306	0.211	0.167
63.50	0.917	0.301	0.197	0.169
76.20	0.674	0.427	0.213	0.261
88.90	0.705	0.443	0.151	0.217
$\mu=$	0.981	0.365	0.193	0.175
$S=$	0.231	0.067	0.029	0.056
$CV=$	23.6%	18.2%	15.0%	32.2%



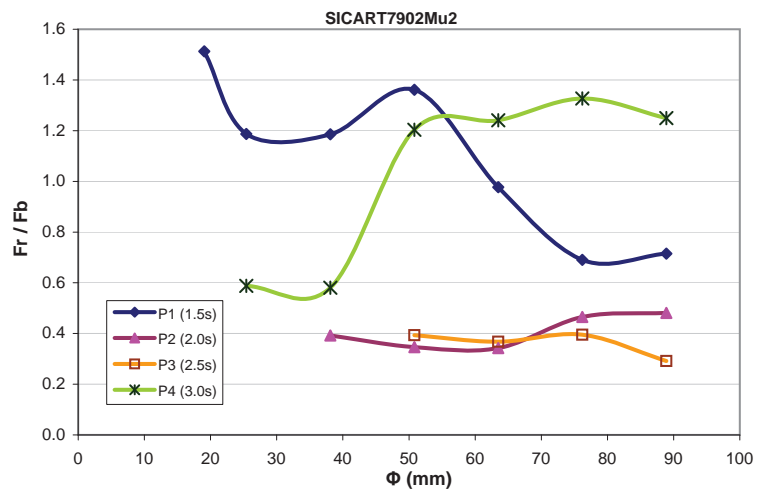
SICART7902Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05		1.248	1.275	1.077
25.40	3.079	1.247		
38.10	3.064	1.250		
50.80	3.038	1.251		
63.50	3.054			
76.20	3.062	1.249		
88.90	3.047	1.248		
$\mu=$	3.057	1.249		
$S=$	0.014	0.001		
$CV=$	0.5%	0.1%		



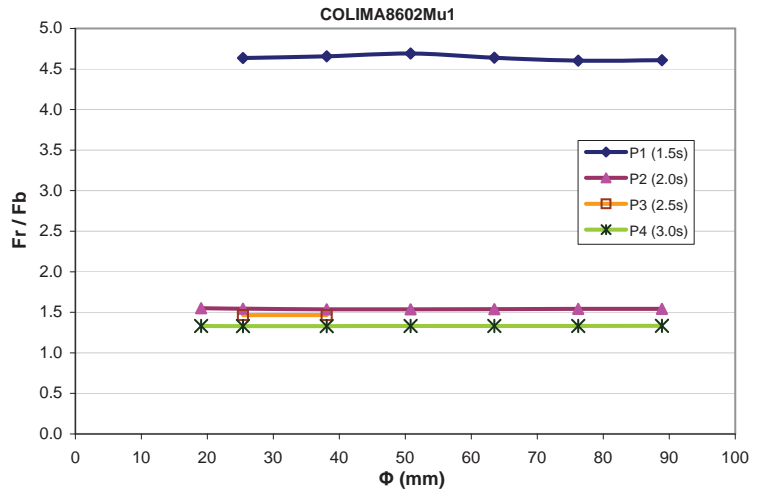
SICART7902Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.513			
25.40	1.187			0.588
38.10	1.186	0.392		0.580
50.80	1.361	0.346	0.393	1.203
63.50	0.977	0.342	0.368	1.241
76.20	0.690	0.465	0.395	1.327
88.90	0.715	0.481	0.292	1.249
$\mu=$	1.090	0.405	0.362	1.032
$S=$	0.312	0.065	0.048	0.349
$CV=$	28.6%	16.1%	13.4%	33.8%



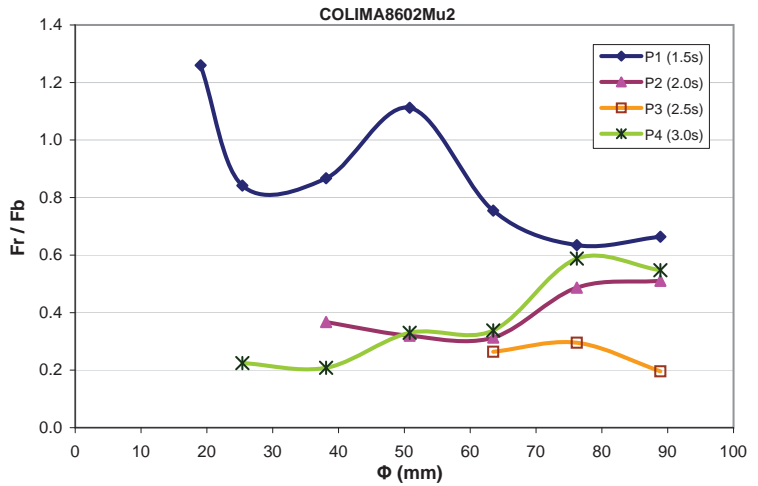
COLIMA8602Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05		1.550		1.332
25.40	4.636	1.544	1.466	1.330
38.10	4.656	1.537	1.465	1.329
50.80	4.690	1.537		1.332
63.50	4.639	1.538		1.332
76.20	4.602	1.542		1.332
88.90	4.609	1.542		1.333
$\mu=$	4.638	1.541	1.466	1.331
$S=$	0.032	0.005	0.000	0.001
$CV=$	0.7%	0.3%	0.0%	0.1%



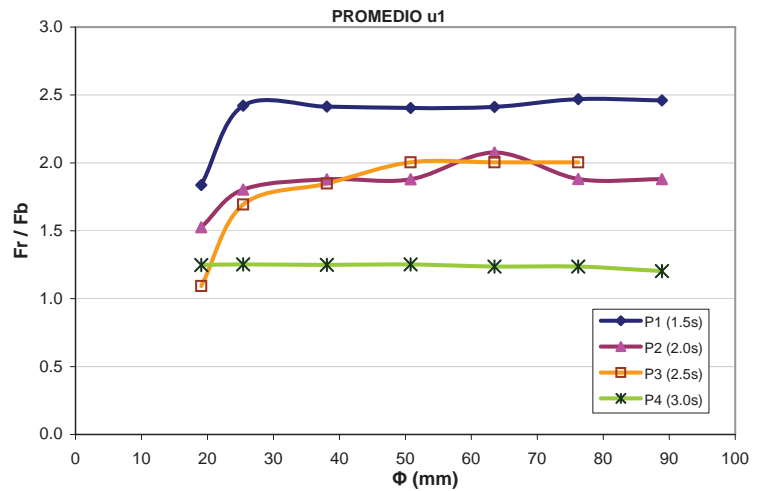
COLIMA8602Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.260			
25.40	0.842			0.225
38.10	0.867	0.368		0.208
50.80	1.112	0.320		0.330
63.50	0.755	0.313	0.264	0.338
76.20	0.635	0.487	0.295	0.588
88.90	0.664	0.511	0.196	0.547
$\mu=$	0.876	0.400	0.252	0.373
$S=$	0.232	0.093	0.051	0.161
$CV=$	26.5%	23.4%	20.3%	43.1%



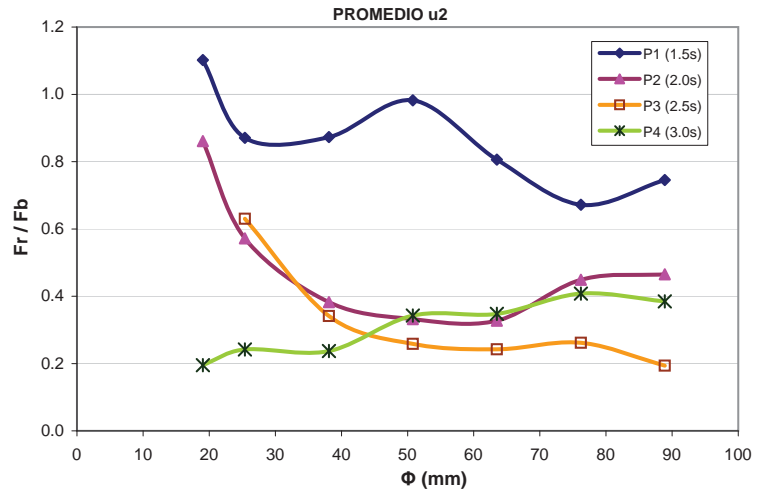
PROMEDIO u1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.837	1.526	1.094	1.248
25.40	2.421	1.804	1.694	1.252
38.10	2.414	1.879	1.848	1.250
50.80	2.404	1.879	2.004	1.253
63.50	2.412	2.077	2.004	1.236
76.20	2.469	1.881	2.004	1.236
88.90	2.460	1.880		1.203
$\mu=$	2.345	1.847	1.775	1.240
$S=$	0.226	0.164	0.356	0.018
$CV=$	9.6%	8.9%	20.1%	1.4%



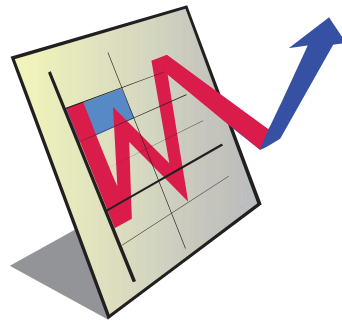
PROMEDIO u2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.102	0.861		0.195
25.40	0.871	0.572	0.630	0.242
38.10	0.873	0.382	0.341	0.237
50.80	0.982	0.332	0.259	0.343
63.50	0.806	0.327	0.242	0.348
76.20	0.672	0.449	0.262	0.408
88.90	0.746	0.465	0.194	0.385
$\mu=$	0.864	0.484	0.321	0.308
$S=$	0.144	0.187	0.159	0.082
$CV=$	16.7%	38.6%	49.4%	26.7%



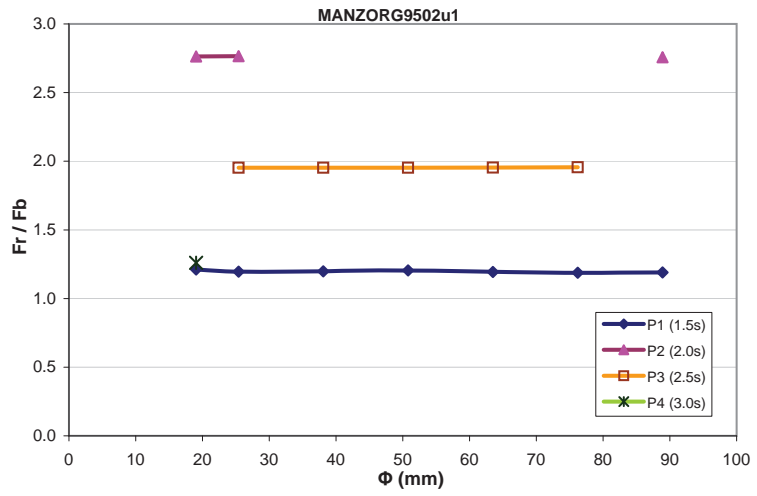
Gráficos

Cabezal de Pila 3



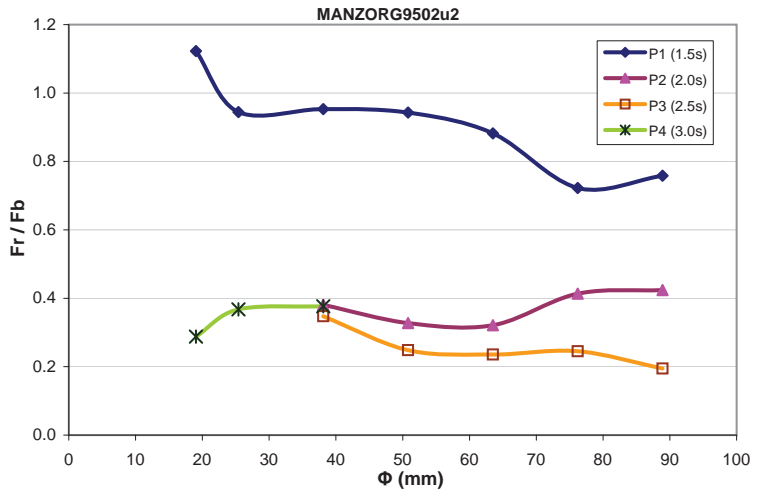
MANZORG9502u1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.211	2.763		1.260
25.40	1.196	2.765	1.952	
38.10	1.198		1.953	
50.80	1.205		1.953	
63.50	1.193		1.954	
76.20	1.187		1.956	
88.90	1.190	2.758		
$\mu=$	1.197	2.762	1.954	
$S=$	0.009	0.004	0.001	
$CV=$	0.7%	0.1%	0.1%	



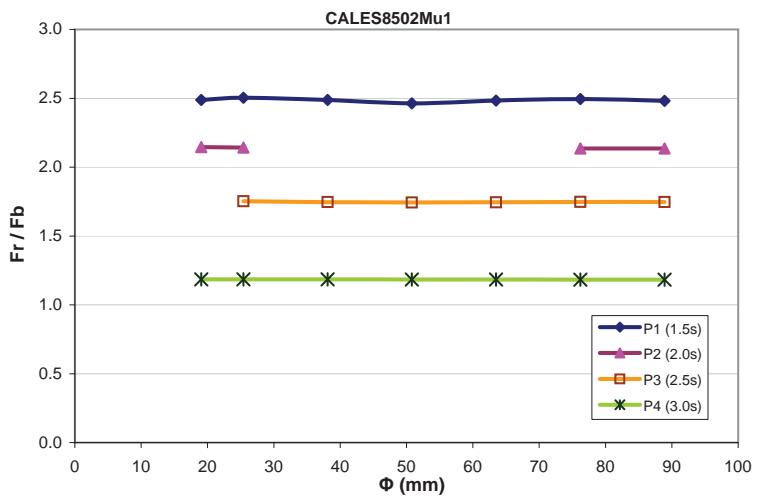
MANZORG9502u2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.123			0.288
25.40	0.945			0.367
38.10	0.953	0.381	0.347	0.377
50.80	0.943	0.327	0.248	
63.50	0.882	0.321	0.236	
76.20	0.722	0.413	0.245	
88.90	0.758	0.424	0.195	
$\mu=$	0.904	0.373	0.254	0.344
$S=$	0.134	0.048	0.056	0.049
$CV=$	14.9%	12.7%	22.2%	14.1%



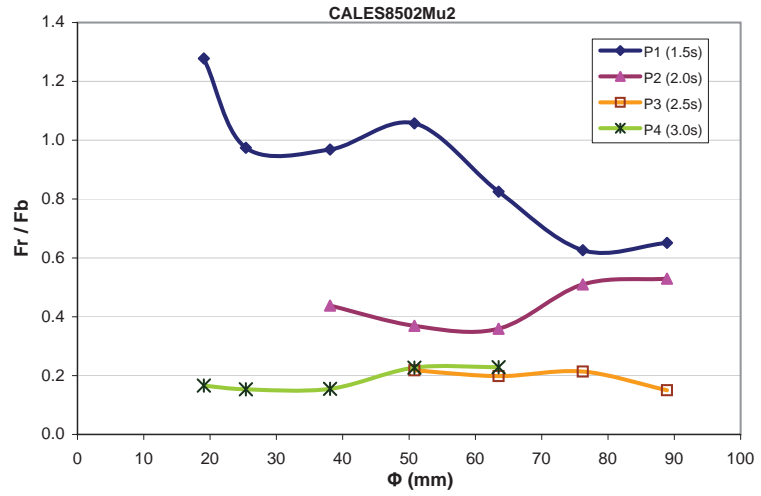
CALES8502Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	2.488	2.146		1.185
25.40	2.503	2.143	1.753	1.186
38.10	2.488		1.747	1.186
50.80	2.464		1.744	1.184
63.50	2.484		1.745	1.184
76.20	2.495	2.136	1.748	1.183
88.90	2.482	2.135	1.746	1.184
$\mu=$	2.486	2.140	1.747	1.184
$S=$	0.012	0.005	0.003	0.001
$CV=$	0.5%	0.2%	0.2%	0.1%



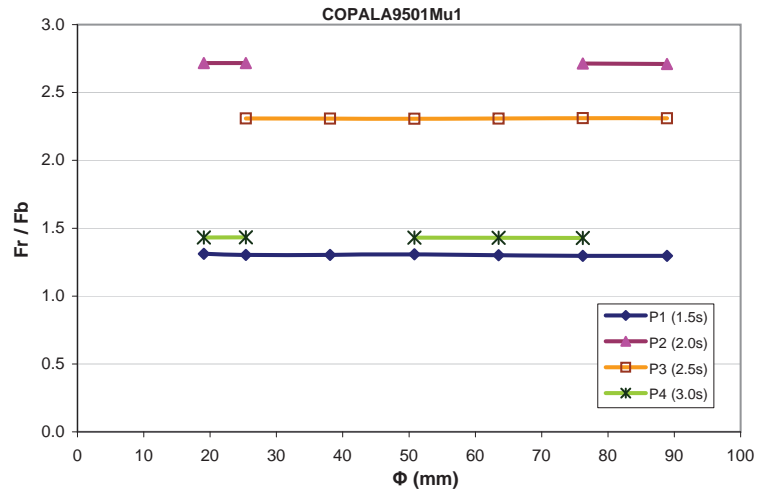
CALES8502Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.278			0.166
25.40	0.974			0.153
38.10	0.968	0.438		0.155
50.80	1.057	0.369	0.218	0.227
63.50	0.825	0.359	0.198	0.228
76.20	0.626	0.510	0.214	
88.90	0.651	0.529	0.150	
$\mu=$	0.911	0.441	0.195	0.186
$S=$	0.231	0.078	0.031	0.038
$CV=$	25.3%	17.7%	15.9%	20.6%



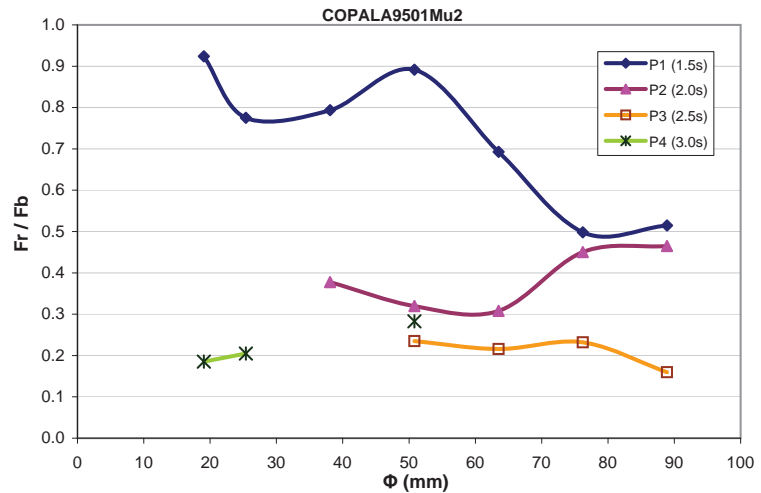
COPALA9501Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.312	2.716		1.432
25.40	1.303	2.717	2.309	1.433
38.10	1.304		2.308	
50.80	1.308		2.307	1.431
63.50	1.301		2.308	1.430
76.20	1.297	2.713	2.311	1.429
88.90	1.296	2.710	2.310	
$\mu=$	1.303	2.714	2.309	1.431
$S=$	0.006	0.003	0.001	0.002
$CV=$	0.4%	0.1%	0.1%	0.1%



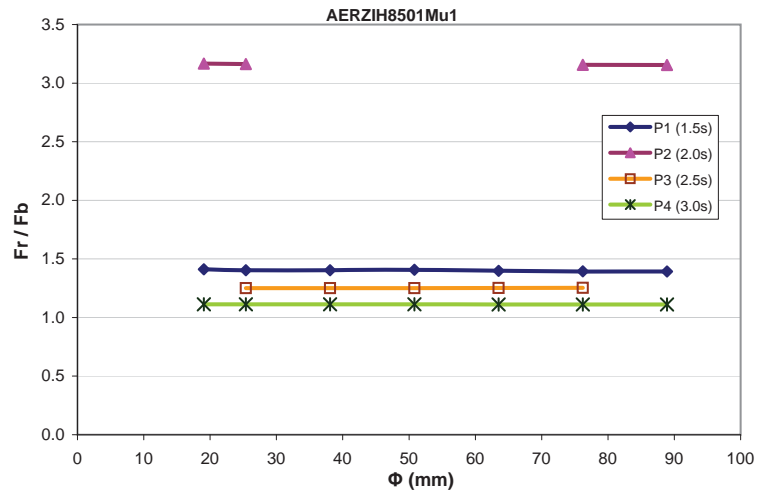
COPALA9501Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.924			0.185
25.40	0.775			0.205
38.10	0.794	0.378		
50.80	0.891	0.320	0.235	0.283
63.50	0.693	0.308	0.216	
76.20	0.498	0.450	0.232	
88.90	0.515	0.465	0.159	
$\mu=$	0.727	0.384	0.211	0.224
$S=$	0.169	0.072	0.035	0.052
$CV=$	23.2%	18.8%	16.6%	23.1%



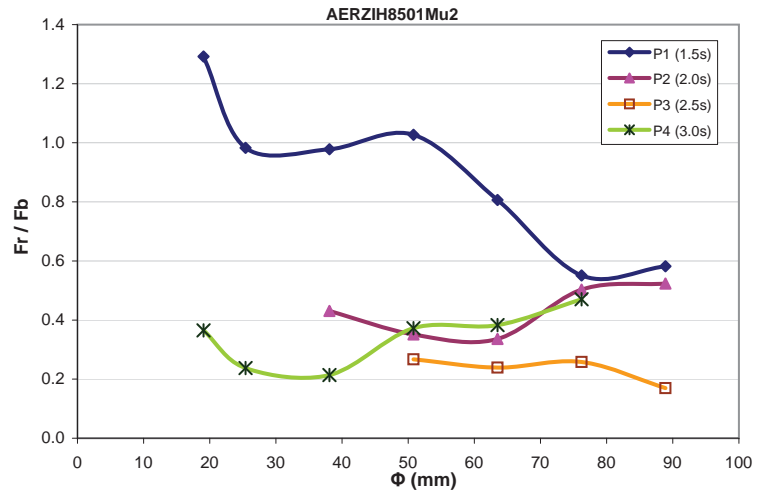
AERZIH8501Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.411	3.167		1.113
25.40	1.403	3.163	1.250	1.112
38.10	1.403		1.251	1.112
50.80	1.407		1.251	1.112
63.50	1.398		1.252	1.112
76.20	1.394	3.156	1.253	1.112
88.90	1.392	3.154		1.111
$\mu=$	1.401	3.160	1.251	1.112
$S=$	0.007	0.006	0.001	0.000
$CV=$	0.5%	0.2%	0.1%	0.0%



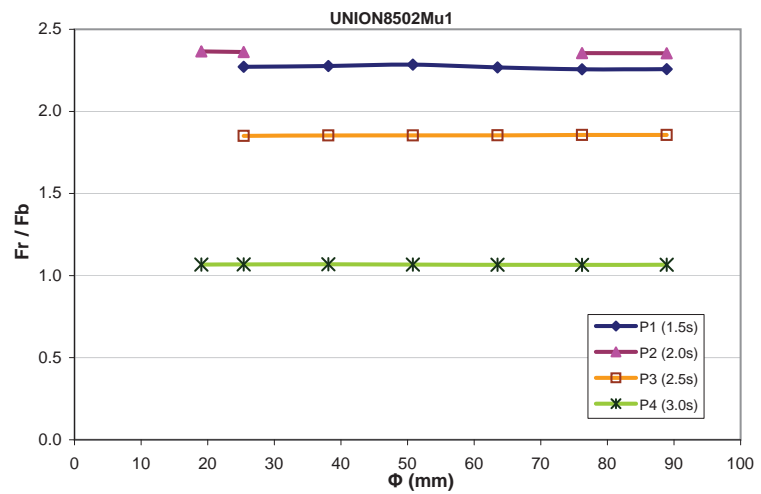
AERZIH8501Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.292			0.365
25.40	0.983			0.238
38.10	0.978	0.431		0.214
50.80	1.027	0.351	0.267	0.372
63.50	0.806	0.336	0.239	0.383
76.20	0.551	0.503	0.258	0.470
88.90	0.582	0.524	0.170	
$\mu=$	0.888	0.429	0.233	0.340
$S=$	0.262	0.085	0.044	0.097
$CV=$	29.5%	19.9%	18.9%	28.5%



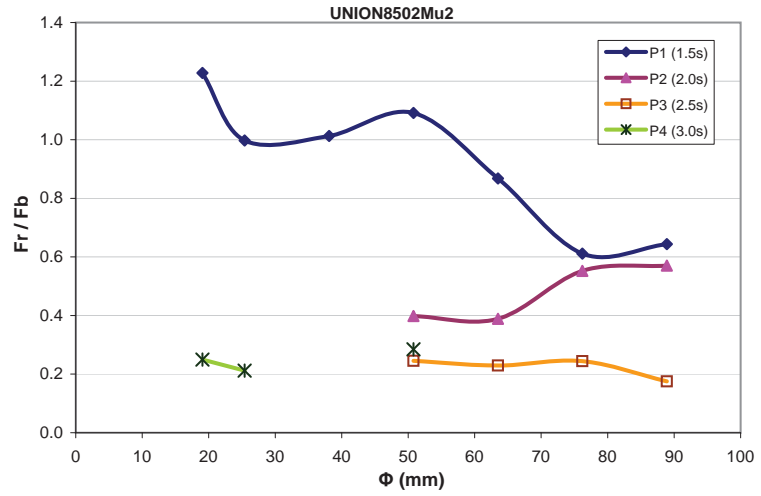
UNION8502Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05		2.366		1.067
25.40	2.272	2.361	1.851	1.068
38.10	2.276		1.853	1.069
50.80	2.285		1.854	1.067
63.50	2.268		1.855	1.066
76.20	2.256	2.355	1.856	1.065
88.90	2.258	2.354	1.856	1.066
$\mu=$	2.269	2.359	1.854	1.067
$S=$	0.011	0.005	0.002	0.001
$CV=$	0.5%	0.2%	0.1%	0.1%



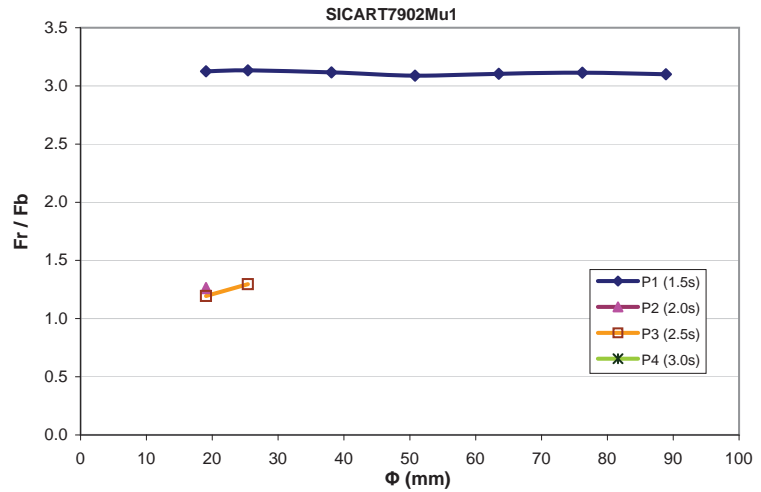
UNION8502Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.228			0.249
25.40	0.997			0.212
38.10	1.013			
50.80	1.091	0.398	0.245	0.285
63.50	0.868	0.389	0.230	
76.20	0.612	0.552	0.244	
88.90	0.644	0.570	0.175	
$\mu=$	0.922	0.478	0.224	0.249
$S=$	0.228	0.097	0.033	0.036
$CV=$	24.8%	20.3%	14.8%	14.6%



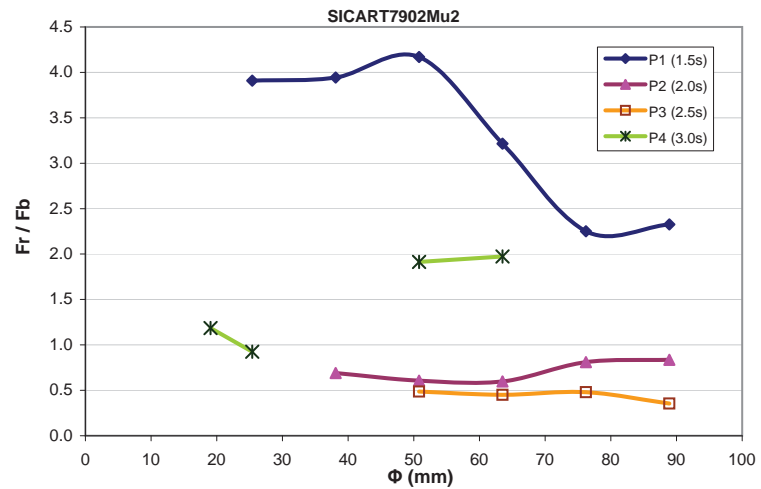
SICART7902Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	3.126	1.262	1.194	
25.40	3.134		1.297	
38.10	3.116			
50.80	3.088			
63.50	3.105			
76.20	3.114			
88.90	3.101			
$\mu=$	3.112		1.245	
$S=$	0.015		0.072	
$CV=$	0.5%		5.8%	



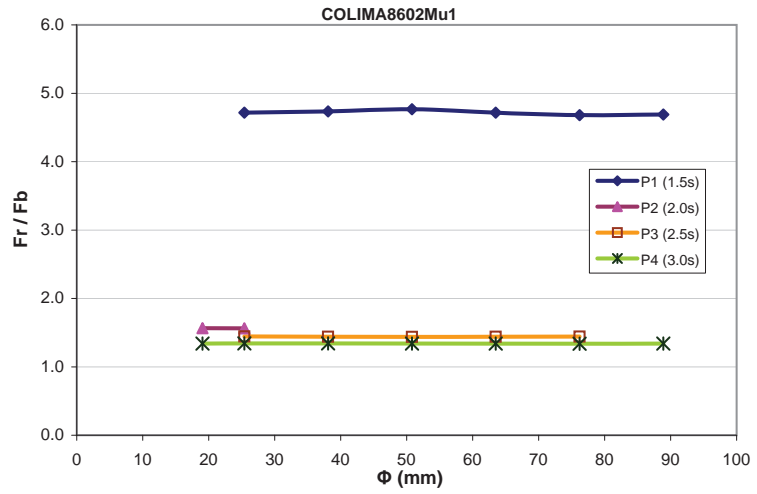
SICART7902Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				1.186
25.40	3.908			0.925
38.10	3.943	0.691		
50.80	4.170	0.606	0.486	1.914
63.50	3.216	0.597	0.450	1.973
76.20	2.251	0.810	0.480	
88.90	2.326	0.837	0.355	
$\mu=$	3.302	0.708	0.443	1.499
$S=$	0.848	0.112	0.060	0.524
$CV=$	25.7%	15.8%	13.6%	35.0%



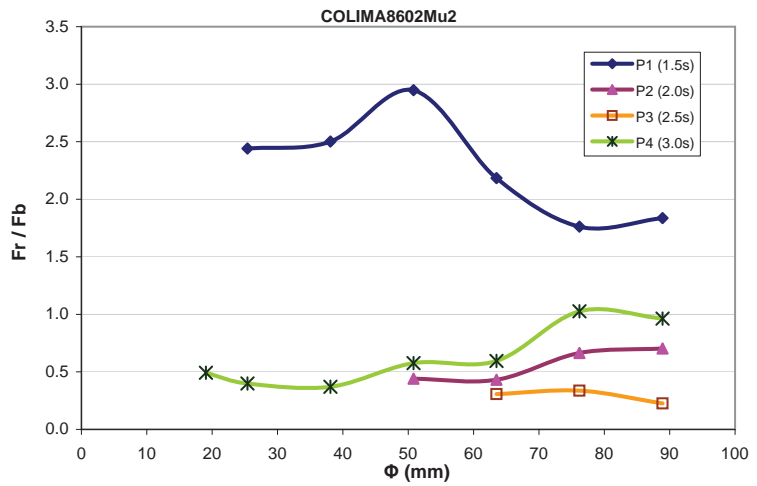
COLIMA8602Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05		1.567		1.341
25.40	4.717	1.562	1.444	1.341
38.10	4.736		1.441	1.342
50.80	4.768		1.439	1.340
63.50	4.716		1.440	1.339
76.20	4.679		1.443	1.338
88.90	4.689			1.339
$\mu=$	4.718	1.564	1.441	1.340
$S=$	0.032	0.003	0.002	0.001
$CV=$	0.7%	0.2%	0.1%	0.1%



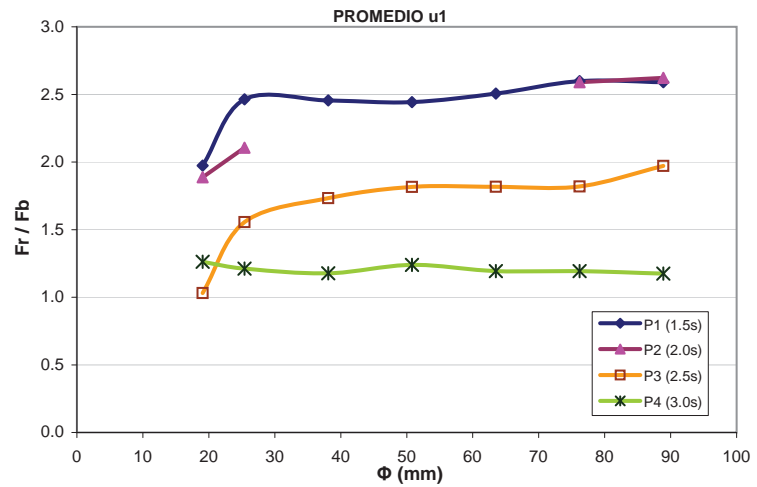
COLIMA8602Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				0.492
25.40	2.441			0.399
38.10	2.502			0.370
50.80	2.948	0.441		0.576
63.50	2.184	0.432	0.307	0.595
76.20	1.763	0.665	0.337	1.027
88.90	1.836	0.703	0.226	0.962
$\mu=$	2.279	0.560	0.290	0.632
$S=$	0.446	0.144	0.057	0.262
$CV=$	19.6%	25.7%	19.8%	41.5%



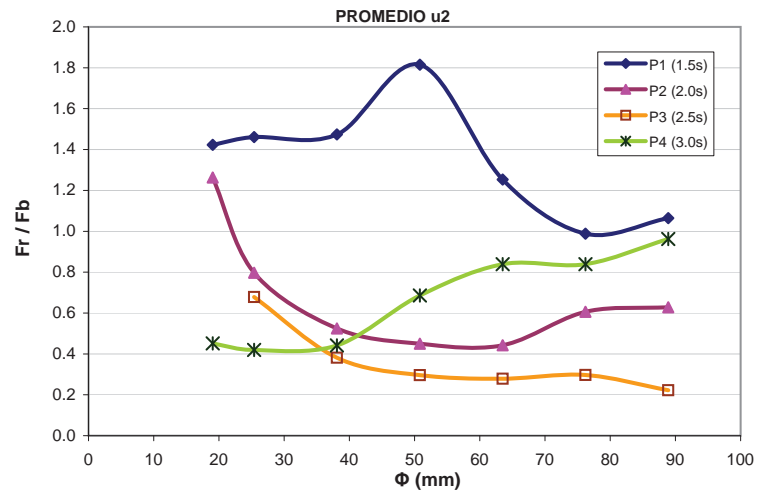
PROMEDIO u1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.973	1.887	1.031	1.262
25.40	2.464	2.106	1.556	1.211
38.10	2.456		1.733	1.177
50.80	2.443		1.816	1.240
63.50	2.506		1.817	1.194
76.20	2.599	2.590	1.820	1.193
88.90	2.591	2.622	1.971	1.175
$\mu=$	2.433	2.301	1.678	1.207
$S=$	0.212	0.363	0.311	0.033
$CV=$	8.7%	15.8%	18.5%	2.7%



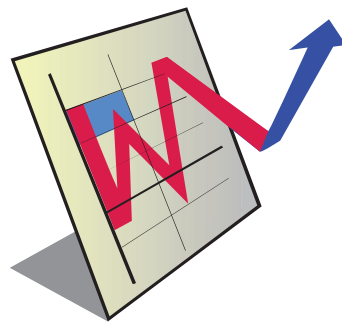
PROMEDIO u2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.423	1.263		0.452
25.40	1.461	0.797	0.678	0.419
38.10	1.474	0.525	0.382	0.442
50.80	1.815	0.450	0.296	0.686
63.50	1.253	0.442	0.279	0.839
76.20	0.988	0.606	0.297	0.839
88.90	1.065	0.628	0.222	0.962
$\mu=$	1.354	0.673	0.359	0.663
$S=$	0.280	0.287	0.165	0.225
$CV=$	20.7%	42.7%	45.9%	34.0%



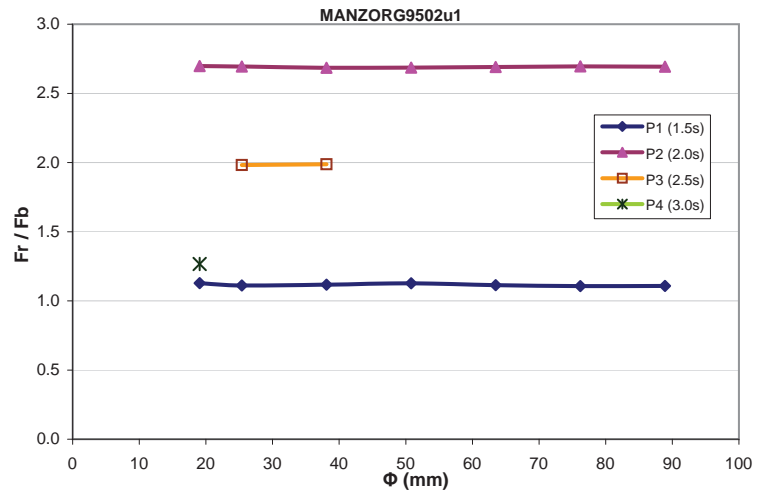
Gráficos

Cabezal de Pila 4



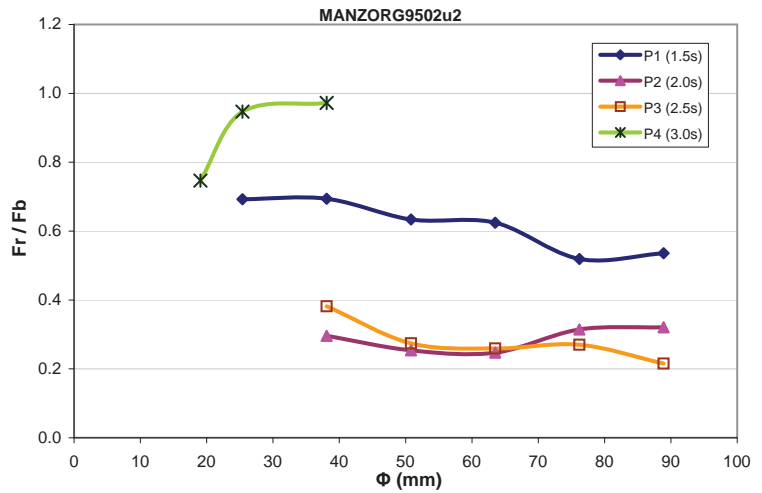
MANZORG9502u1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.129	2.698		1.267
25.40	1.111	2.694	1.982	
38.10	1.117	2.686	1.987	
50.80	1.127	2.686		
63.50	1.114	2.691		
76.20	1.107	2.695		
88.90	1.108	2.693		
$\mu=$	1.116	2.692	1.985	
$S=$	0.009	0.005	0.004	
$CV=$	0.8%	0.2%	0.2%	



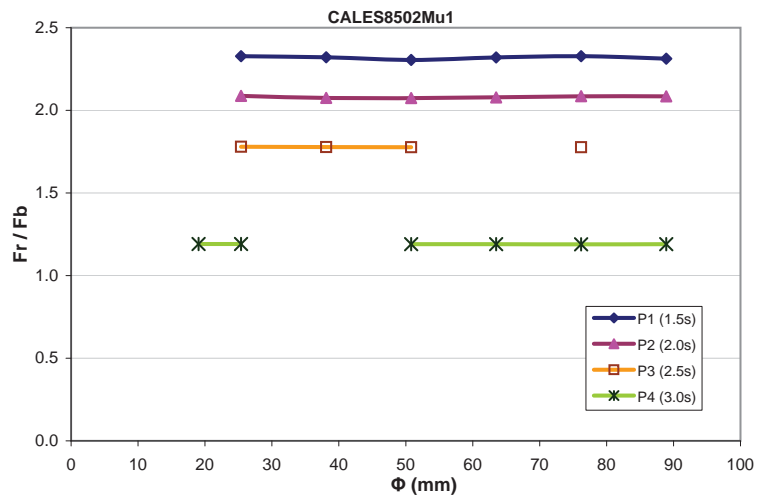
MANZORG9502u2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				0.747
25.40	0.693			0.947
38.10	0.694	0.296	0.382	0.972
50.80	0.634	0.254	0.274	
63.50	0.624	0.247	0.260	
76.20	0.519	0.315	0.270	
88.90	0.536	0.321	0.215	
$\mu=$	0.617	0.286	0.280	0.889
$S=$	0.075	0.034	0.061	0.124
$CV=$	12.2%	11.9%	21.9%	13.9%



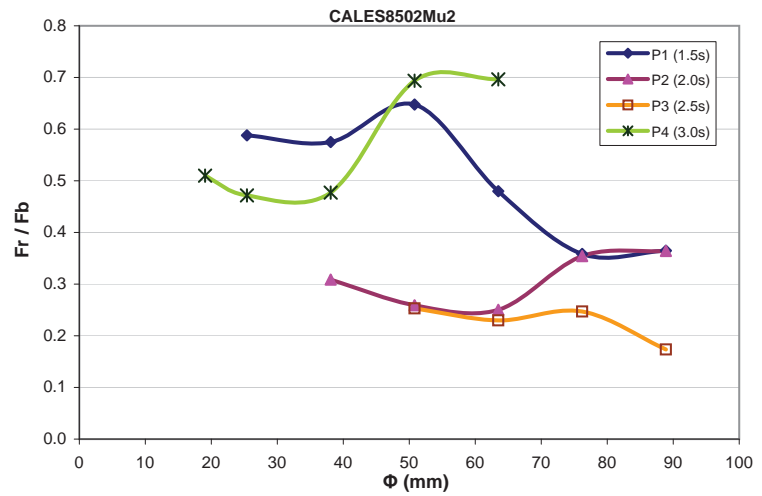
CALES8502Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				1.191
25.40	2.327	2.088	1.780	1.191
38.10	2.321	2.075	1.777	
50.80	2.305	2.075	1.777	1.191
63.50	2.320	2.078		1.190
76.20	2.327	2.085	1.777	1.190
88.90	2.313	2.085		1.190
$\mu=$	2.319	2.081	1.778	1.190
$S=$	0.009	0.006	0.001	0.001
$CV=$	0.4%	0.3%	0.1%	0.1%



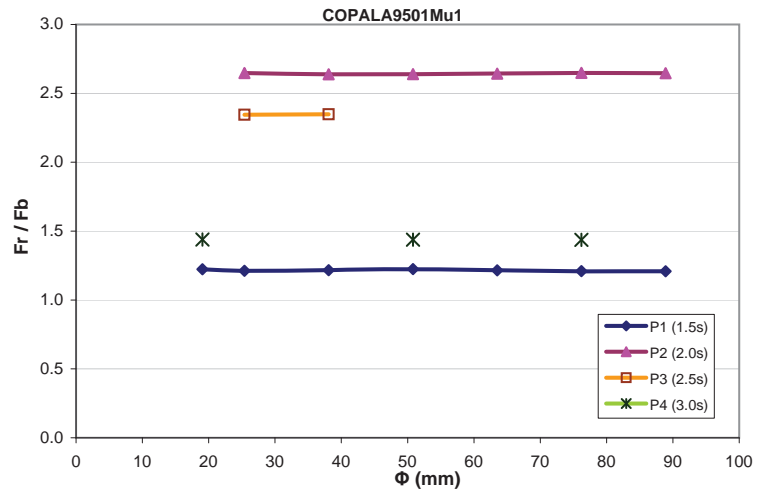
CALES8502Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				0.510
25.40	0.588			0.472
38.10	0.575	0.309		0.477
50.80	0.648	0.259	0.253	0.694
63.50	0.480	0.250	0.230	0.696
76.20	0.358	0.354	0.247	
88.90	0.365	0.364	0.174	
$\mu=$	0.502	0.307	0.226	0.570
$S=$	0.122	0.052	0.036	0.115
$CV=$	24.2%	17.1%	16.0%	20.2%



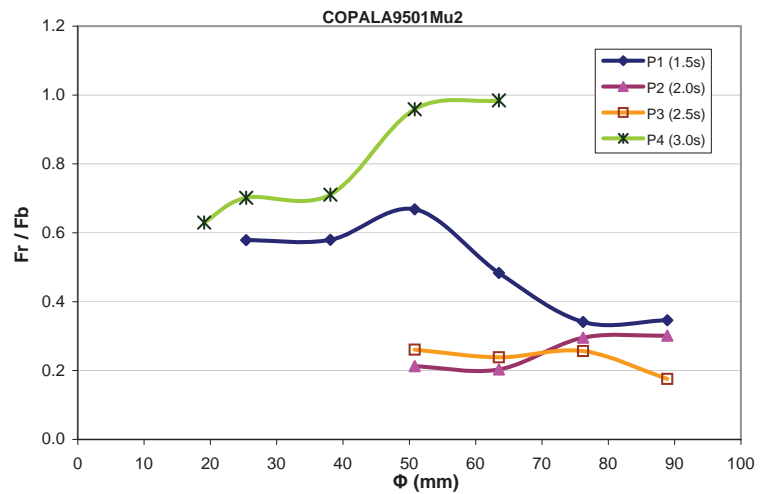
COPALA9501Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.223			1.439
25.40	1.212	2.648	2.345	
38.10	1.216	2.639	2.348	
50.80	1.224	2.639		1.438
63.50	1.215	2.643		
76.20	1.210	2.649		1.436
88.90	1.208	2.647		
$\mu=$	1.215	2.644	2.346	1.438
$S=$	0.006	0.004	0.003	0.001
$CV=$	0.5%	0.2%	0.1%	0.1%



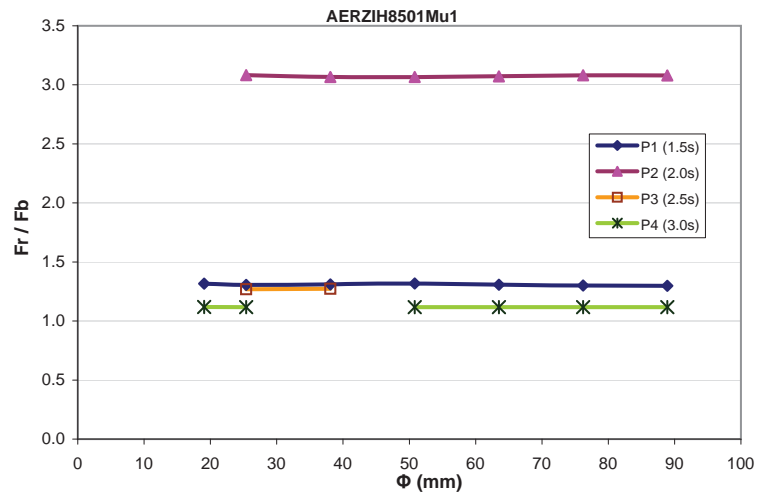
COPALA9501Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				0.630
25.40	0.579			0.701
38.10	0.580			0.711
50.80	0.668	0.213	0.261	0.959
63.50	0.484	0.203	0.239	0.984
76.20	0.341	0.295	0.256	
88.90	0.346	0.301	0.176	
$\mu=$	0.500	0.253	0.233	0.797
$S=$	0.134	0.052	0.039	0.163
$CV=$	26.9%	20.7%	16.8%	20.4%



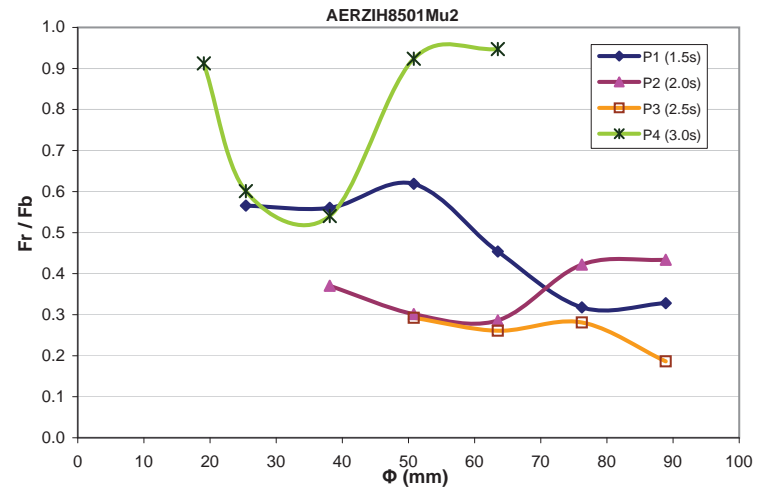
AERZIH8501Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.317			1.119
25.40	1.305	3.082	1.270	1.118
38.10	1.309	3.066	1.273	
50.80	1.317	3.066		1.118
63.50	1.307	3.071		1.118
76.20	1.301	3.081		1.118
88.90	1.298	3.080		1.118
$\mu=$	1.308	3.075	1.271	1.118
$S=$	0.007	0.008	0.002	0.000
$CV=$	0.6%	0.2%	0.2%	0.0%



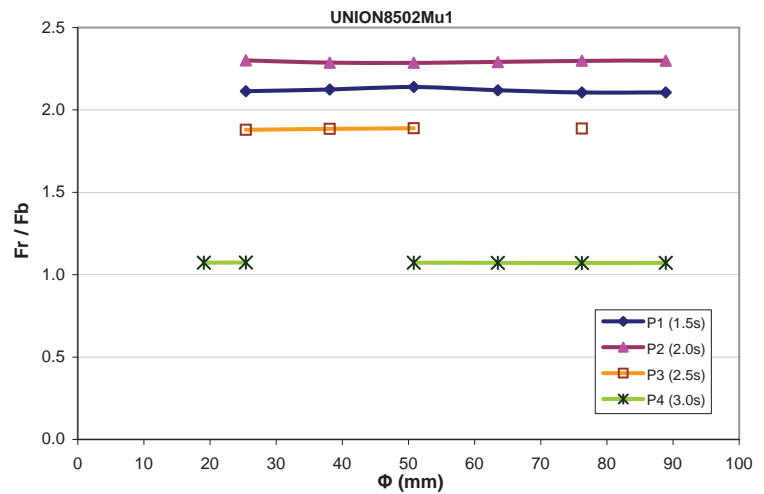
AERZIH8501Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				0.912
25.40	0.566			0.601
38.10	0.561	0.371		0.540
50.80	0.619	0.302	0.292	0.924
63.50	0.454	0.286	0.261	0.947
76.20	0.318	0.422	0.281	
88.90	0.328	0.434	0.186	
$\mu=$	0.474	0.363	0.255	0.785
$S=$	0.129	0.068	0.048	0.197
$CV=$	27.2%	18.6%	18.8%	25.1%



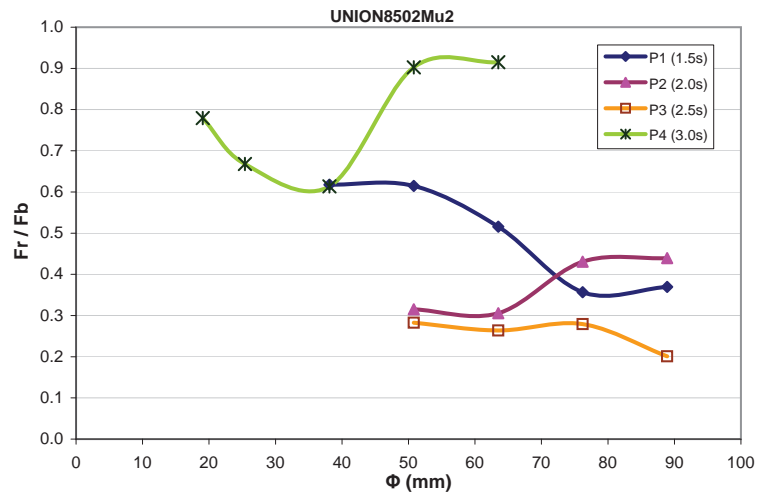
UNION8502Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				1.073
25.40	2.114	2.301	1.879	1.074
38.10	2.124	2.287	1.886	
50.80	2.139	2.286	1.889	1.073
63.50	2.120	2.291		1.072
76.20	2.106	2.299	1.887	1.071
88.90	2.106	2.299	1.072	
$\mu=$	2.118	2.294	1.885	1.072
$S=$	0.013	0.007	0.004	0.001
$CV=$	0.6%	0.3%	0.2%	0.1%



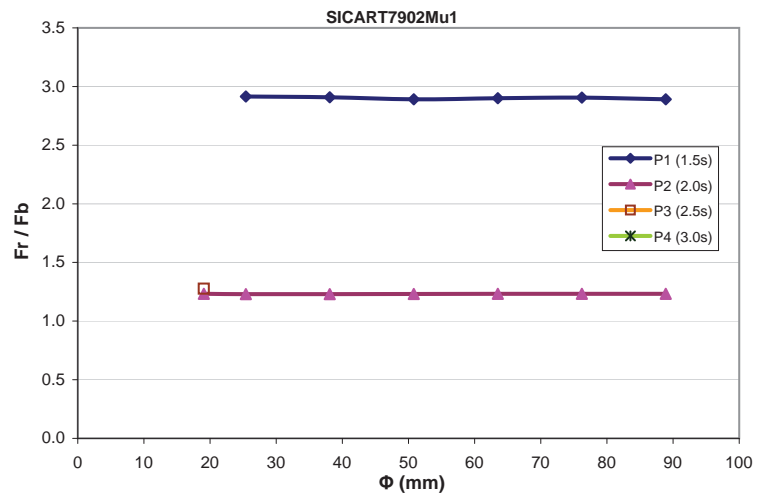
UNION8502Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				0.779
25.40				0.668
38.10	0.618			0.614
50.80	0.615	0.315	0.283	0.902
63.50	0.516	0.306	0.264	0.915
76.20	0.356	0.431	0.279	
88.90	0.369	0.440	0.201	
μ =	0.495	0.373	0.257	0.776
S=	0.127	0.072	0.038	0.135
CV=	25.7%	19.4%	14.8%	17.5%



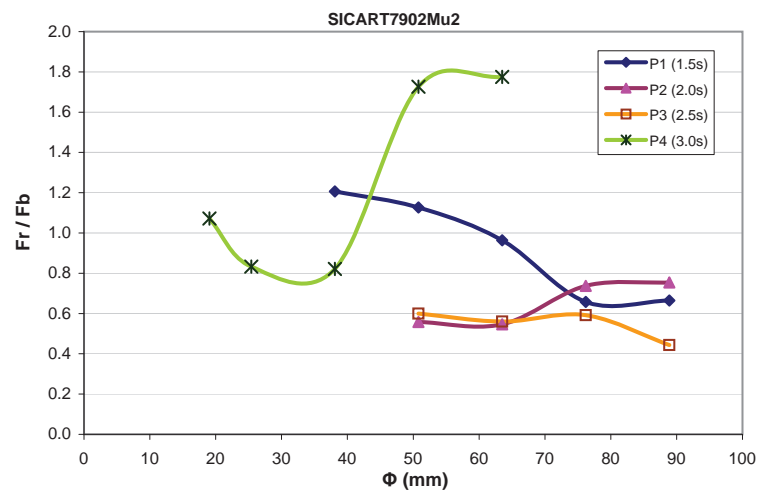
SICART7902Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05		1.232	1.277	
25.40	2.915	1.230		
38.10	2.908	1.230		
50.80	2.891	1.231		
63.50	2.901	1.233		
76.20	2.906	1.233		
88.90	2.891	1.232		
μ =	2.902	1.232		
S=	0.010	0.001		
CV=	0.3%	0.1%		



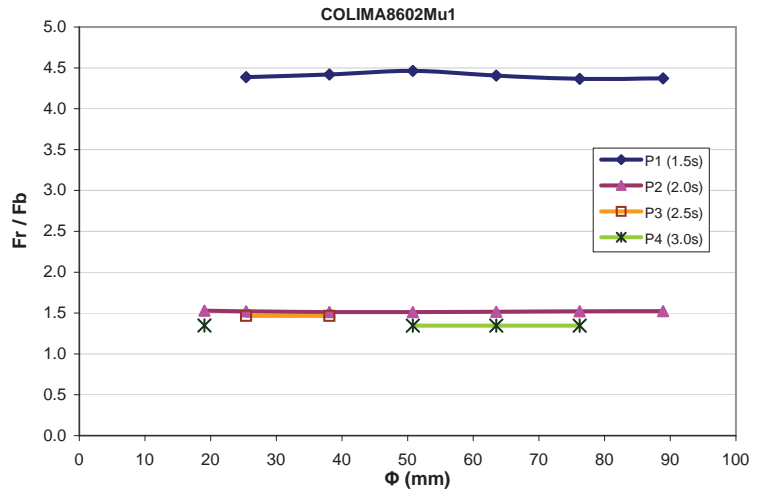
SICART7902Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				1.072
25.40				0.833
38.10	1.206			0.822
50.80	1.127	0.558	0.599	1.726
63.50	0.963	0.547	0.560	1.775
76.20	0.657	0.737	0.592	
88.90	0.665	0.754	0.443	
μ =	0.924	0.649	0.549	1.246
S=	0.255	0.112	0.072	0.472
CV=	27.6%	17.3%	13.2%	37.9%



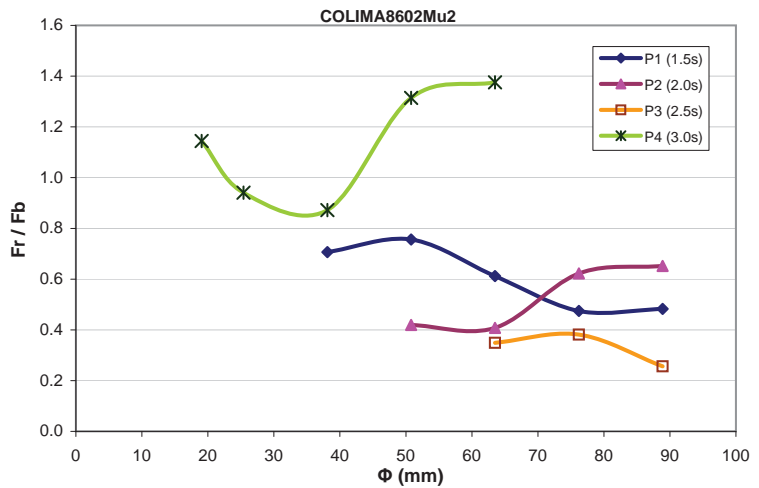
COLIMA8602Mu1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05		1.530		1.348
25.40	4.388	1.522	1.467	
38.10	4.419	1.512	1.466	
50.80	4.462	1.512		1.347
63.50	4.407	1.515		1.347
76.20	4.367	1.522		1.346
88.90	4.372	1.522		
$\mu=$	4.402	1.519	1.466	1.347
S=	0.035	0.006	0.000	0.001
CV=	0.8%	0.4%	0.0%	0.1%



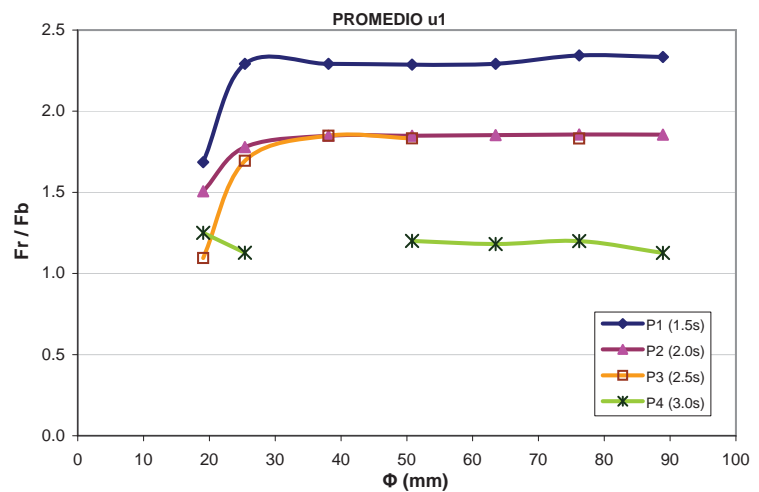
COLIMA8602Mu2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05				1.144
25.40				0.941
38.10	0.706			0.872
50.80	0.756	0.420		1.314
63.50	0.612	0.408	0.349	1.376
76.20	0.475	0.623	0.381	
88.90	0.483	0.652	0.256	
$\mu=$	0.606	0.526	0.329	1.129
S=	0.128	0.130	0.065	0.222
CV=	21.0%	24.7%	19.8%	19.7%



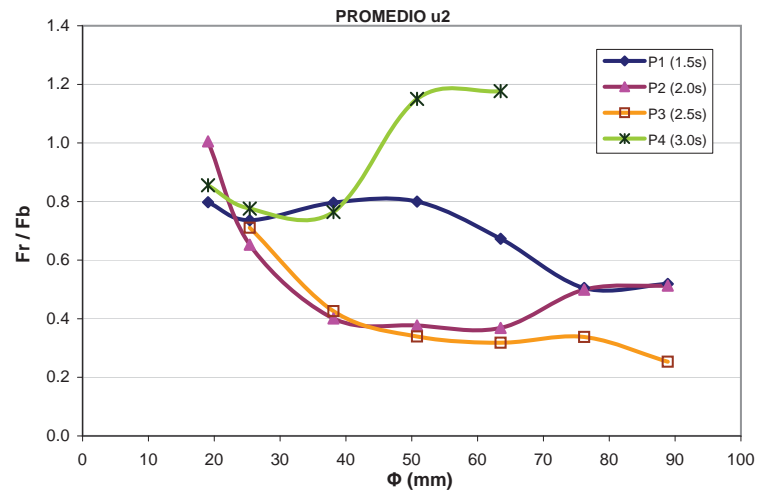
PROMEDIO u1

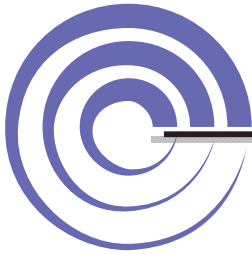
Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.686	1.507	1.095	1.250
25.40	2.292	1.779	1.694	1.128
38.10	2.292	1.849	1.849	
50.80	2.287	1.849	1.833	1.200
63.50	2.292	1.852		1.182
76.20	2.344	1.857	1.832	1.199
88.90	2.334	1.856		1.126
$\mu=$	2.218	1.793	1.661	1.181
S=	0.236	0.129	0.322	0.048
CV=	10.6%	7.2%	19.4%	4.0%



PROMEDIO u2

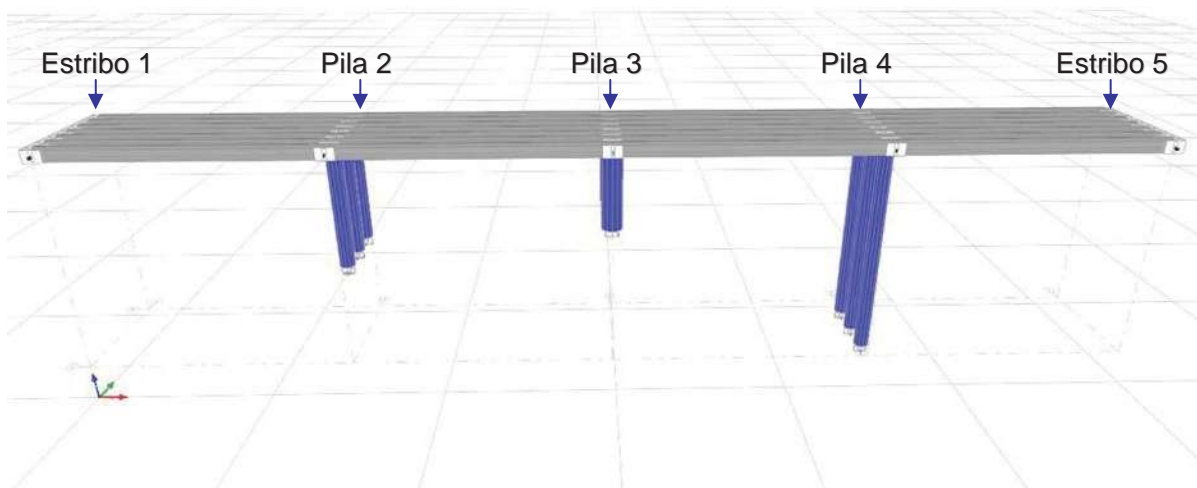
Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.798	1.005		0.856
25.40	0.736	0.653	0.711	0.776
38.10	0.796	0.401	0.426	0.764
50.80	0.800	0.377	0.340	1.150
63.50	0.673	0.369	0.318	1.177
76.20	0.505	0.499	0.338	
88.90	0.519	0.513	0.253	
$\mu=$	0.690	0.545	0.398	0.945
$S=$	0.130	0.226	0.163	0.203
$CV=$	18.8%	41.4%	41.0%	21.5%





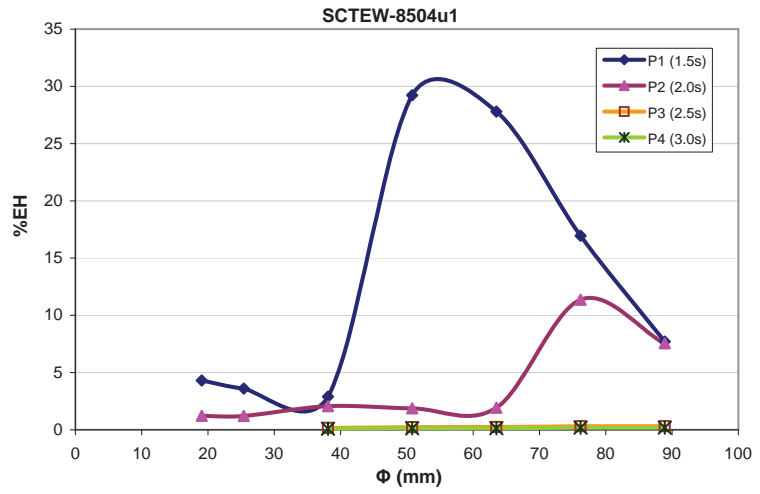
PORCENTAJE DE ENERGÍA DISIPADA

Registro sísmico SCT-EW



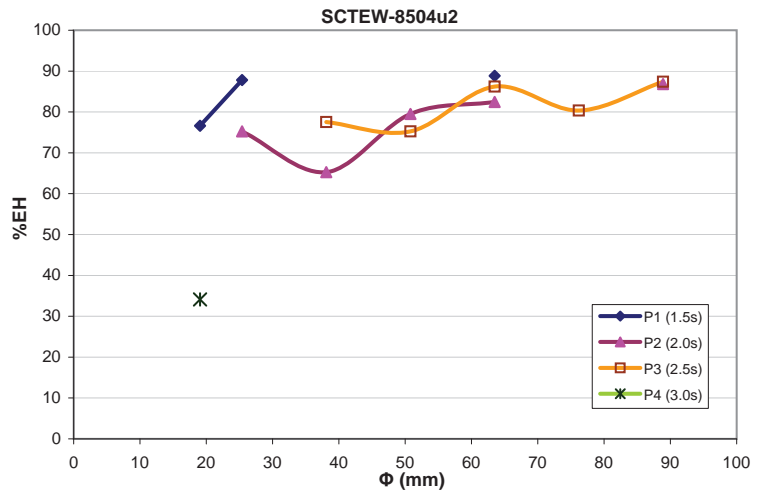
SCTEW-8504u1

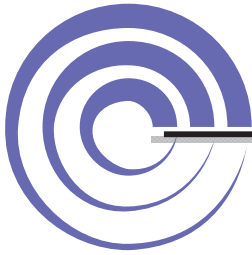
Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	4.304	1.229		
25.40	3.604	1.214		
38.10	2.898	2.062	0.170	0.090
50.80	29.226	1.873	0.234	0.134
63.50	27.791	1.930	0.241	0.138
76.20	16.946	11.361	0.319	0.191
88.90	7.708	7.557	0.316	0.192
$\mu=$	13.211	3.889	0.256	0.149
$S=$	11.484	3.974	0.063	0.043
$CV=$	86.9%	102.2%	24.5%	29.0%



SCTEW-8504u2

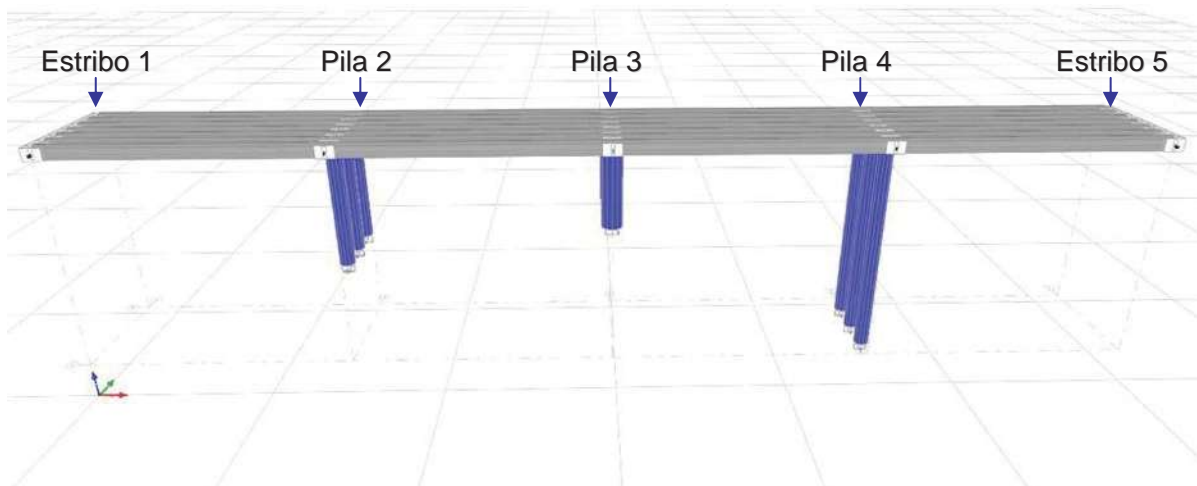
Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	76.633			34.128
25.40	87.819	75.252		
38.10		65.271	77.537	
50.80		79.512	75.264	
63.50	88.828	82.451	86.207	
76.20			80.351	
88.90		86.829	87.408	
$\mu=$	84.427	77.863	81.353	
$S=$	6.768	8.209	5.312	
$CV=$	8.0%	10.5%	6.5%	





RELACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES

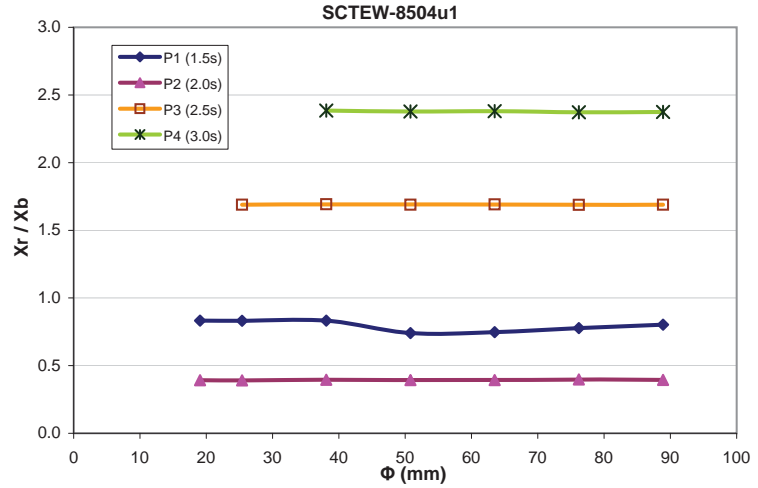
Registro sísmico SCT-EW



CABEZAL DE PILA 2

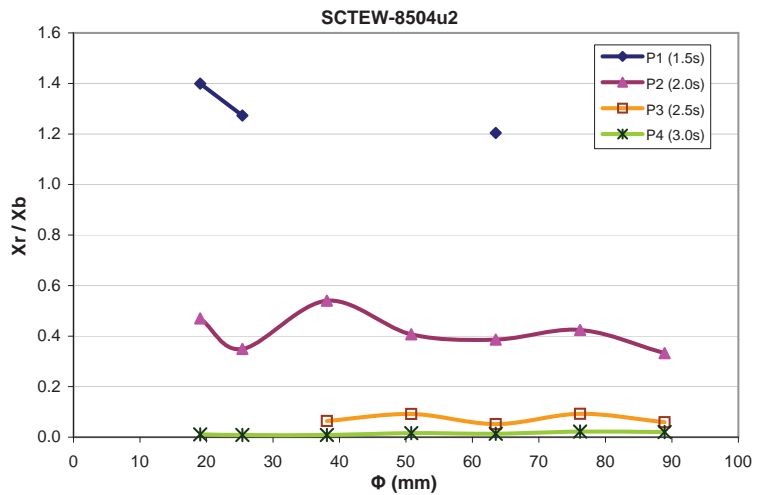
SCTEW-8504u1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.832	0.393		
25.40	0.831	0.391	1.690	
38.10	0.832	0.396	1.692	2.384
50.80	0.741	0.393	1.689	2.378
63.50	0.747	0.393	1.691	2.381
76.20	0.778	0.397	1.688	2.372
88.90	0.803	0.394	1.689	2.375
$\mu=$	0.795	0.394	1.690	2.378
$S=$	0.040	0.002	0.002	0.005
$CV=$	5.1%	0.6%	0.1%	0.2%



SCTEW-8504u2

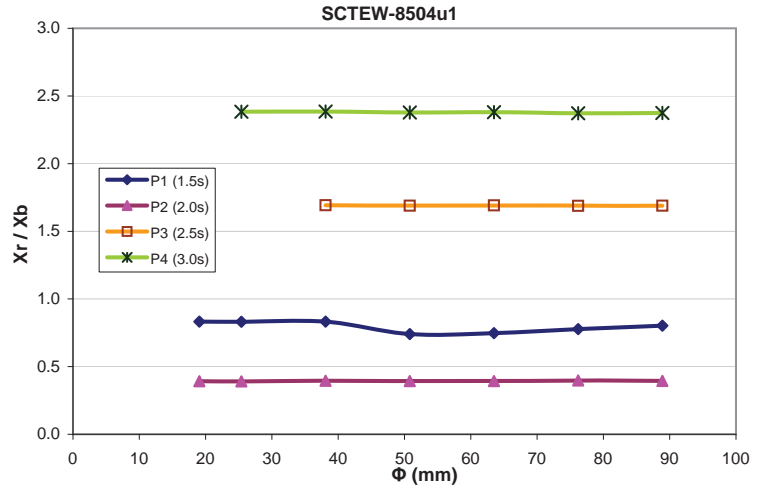
Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.400	0.470		0.011
25.40	1.273	0.349		0.009
38.10		0.540	0.064	0.008
50.80		0.407	0.092	0.016
63.50	1.204	0.386	0.052	0.014
76.20		0.424	0.092	0.022
88.90		0.333	0.059	0.021
$\mu=$	1.292	0.416	0.072	0.014
$S=$	0.099	0.072	0.019	0.005
$CV=$	7.7%	17.2%	26.5%	38.2%



CABEZAL DE PILA 3

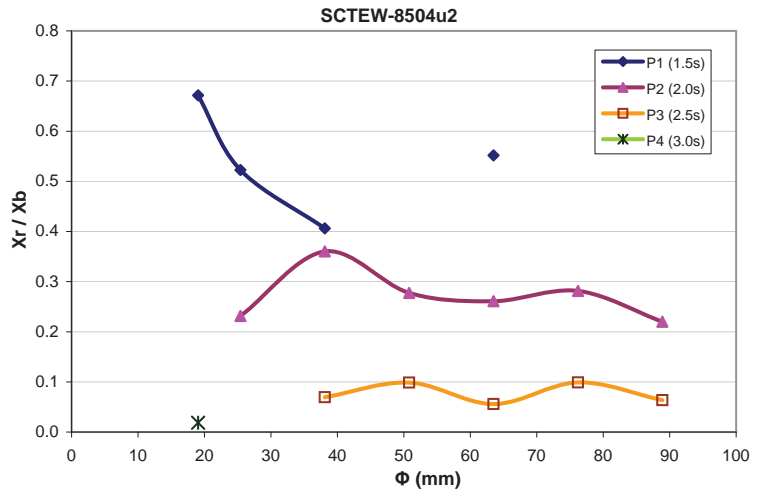
SCTEW-8504u1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.832	0.393		
25.40	0.831	0.391		2.383
38.10	0.832	0.396	1.692	2.384
50.80	0.741	0.393	1.689	2.378
63.50	0.747	0.393	1.691	2.381
76.20	0.778	0.397	1.688	2.372
88.90	0.803	0.394	1.689	2.375
$\mu=$	0.795	0.394	1.690	2.379
$S=$	0.040	0.002	0.002	0.005
$CV=$	5.1%	0.6%	0.1%	0.2%



SCTEW-8504u2

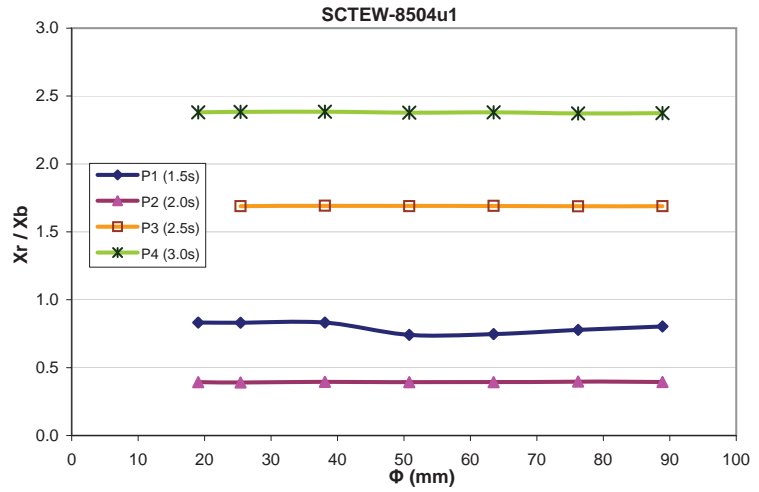
Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.672			0.019
25.40	0.523	0.231		
38.10	0.406	0.360	0.070	
50.80		0.277	0.099	
63.50	0.552	0.261	0.056	
76.20		0.281	0.099	
88.90		0.220	0.063	
$\mu=$	0.538	0.272	0.077	
$S=$	0.109	0.050	0.020	
$CV=$	20.3%	18.3%	26.1%	



CABEZAL DE PILA 4

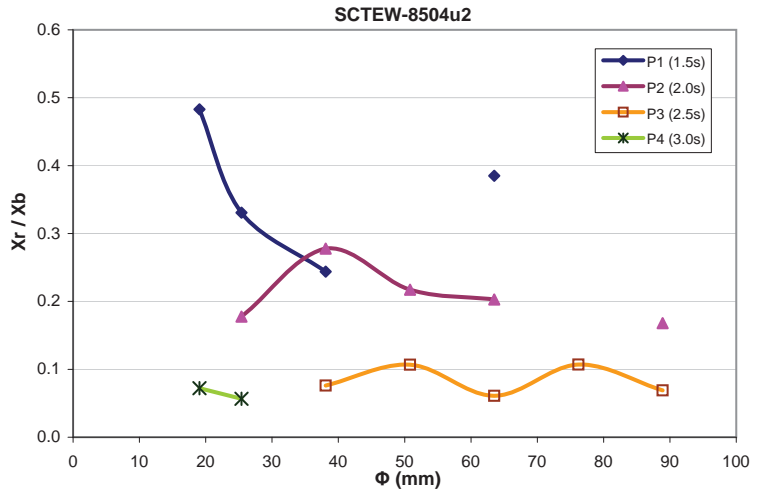
SCTEW-8504u1

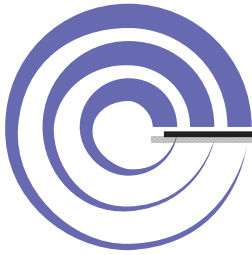
Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.832	0.393		2.381
25.40	0.831	0.391	1.690	2.383
38.10	0.832	0.396	1.692	2.384
50.80	0.741	0.393	1.689	2.378
63.50	0.747	0.393	1.691	2.381
76.20	0.778	0.397	1.688	2.372
88.90	0.803	0.394	1.689	2.375
$\mu=$	0.795	0.394	1.690	2.379
$S=$	0.040	0.002	0.002	0.005
$CV=$	5.1%	0.6%	0.1%	0.2%



SCTEW-8504u2

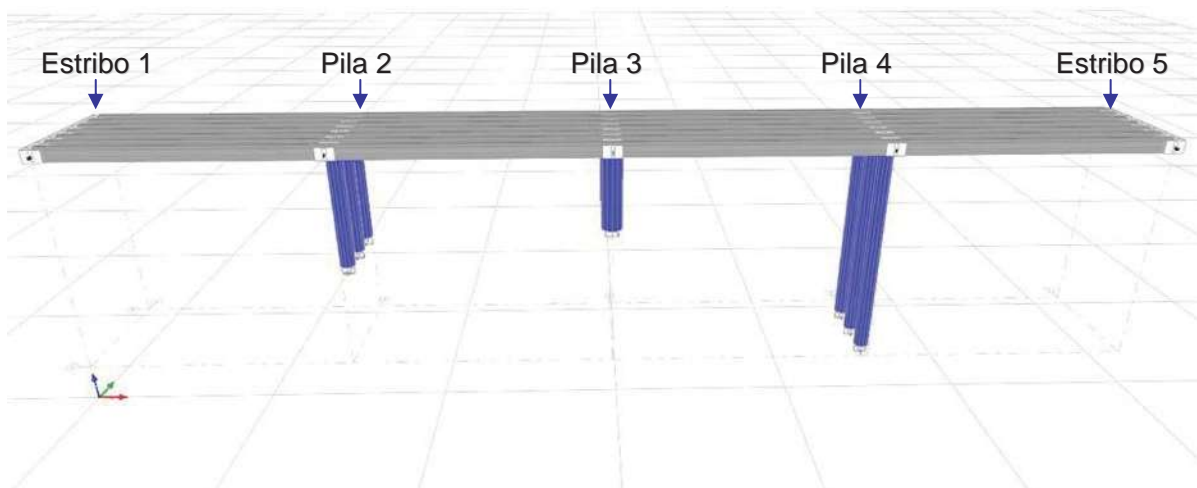
Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.483			0.072
25.40	0.331	0.178		0.057
38.10	0.244	0.278	0.076	
50.80		0.217	0.107	
63.50	0.385	0.203	0.061	
76.20			0.107	
88.90		0.168	0.069	
$\mu=$	0.361	0.209	0.084	0.064
$S=$	0.100	0.043	0.022	0.011
$CV=$	27.8%	20.7%	25.7%	16.9%





RELACIÓN DE FUERZAS EN HORIZONTALES EN EL CABEZAL

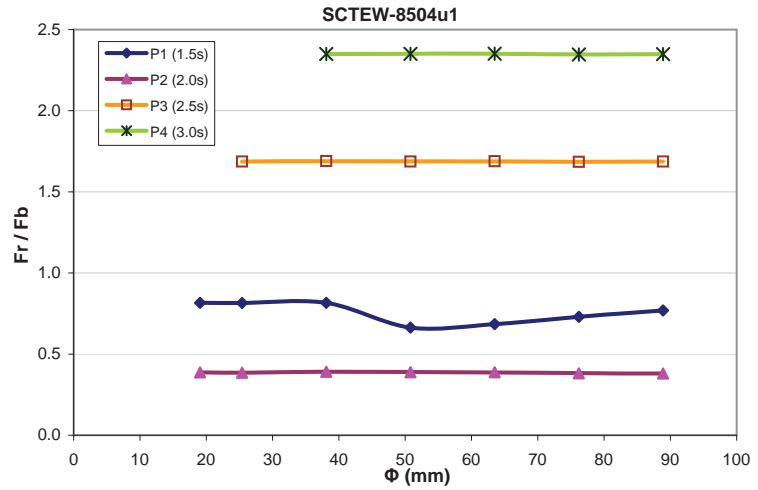
Registro sísmico SCT-EW



CABEZAL DE PILA 2

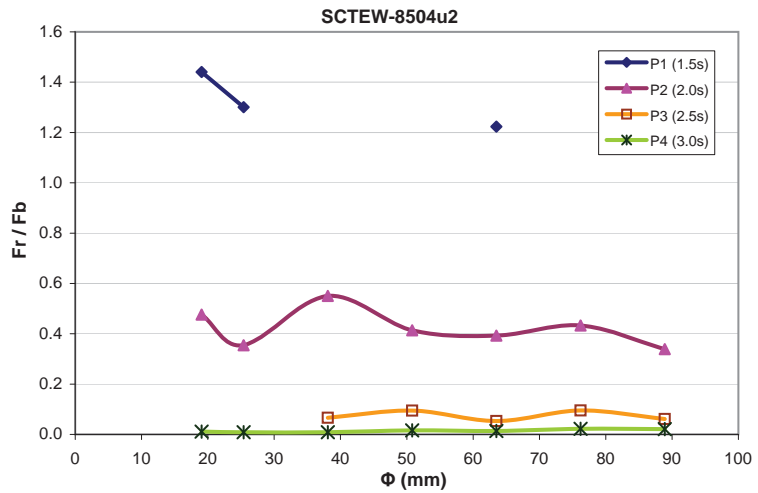
SCTEW-8504u1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.816	0.388		
25.40	0.815	0.386	1.687	
38.10	0.816	0.391	1.690	2.349
50.80	0.664	0.388	1.687	2.351
63.50	0.685	0.388	1.689	2.351
76.20	0.730	0.381	1.685	2.346
88.90	0.769	0.381	1.687	2.348
$\mu=$	0.756	0.386	1.687	2.349
$S=$	0.065	0.004	0.002	0.002
$CV=$	8.5%	1.0%	0.1%	0.1%



SCTEW-8504u2

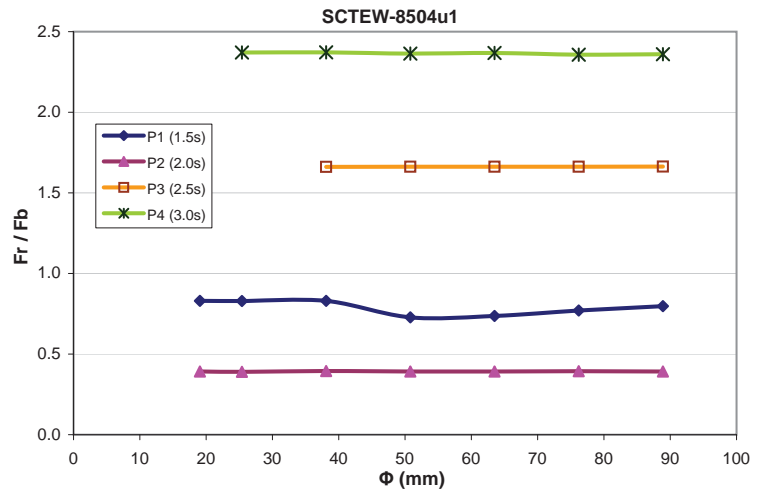
Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	1.440	0.476		0.011
25.40	1.301	0.355		0.009
38.10		0.551	0.066	0.009
50.80		0.414	0.095	0.016
63.50	1.223	0.393	0.053	0.014
76.20		0.433	0.095	0.022
88.90		0.339	0.061	0.021
$\mu=$	1.321	0.423	0.074	0.015
$S=$	0.110	0.073	0.020	0.006
$CV=$	8.3%	17.3%	26.4%	38.0%



CABEZAL DE PILA 3

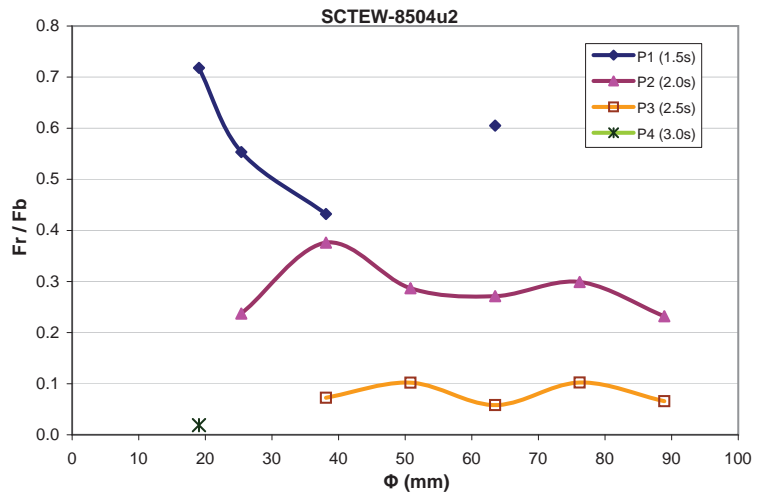
SCTEW-8504u1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.830	0.392		
25.40	0.829	0.390		2.370
38.10	0.830	0.395	1.662	2.372
50.80	0.728	0.392	1.662	2.364
63.50	0.737	0.392	1.663	2.367
76.20	0.770	0.394	1.662	2.357
88.90	0.797	0.391	1.663	2.360
$\mu=$	0.789	0.393	1.662	2.365
$S=$	0.044	0.002	0.000	0.006
$CV=$	5.6%	0.4%	0.0%	0.3%



SCTEW-8504u2

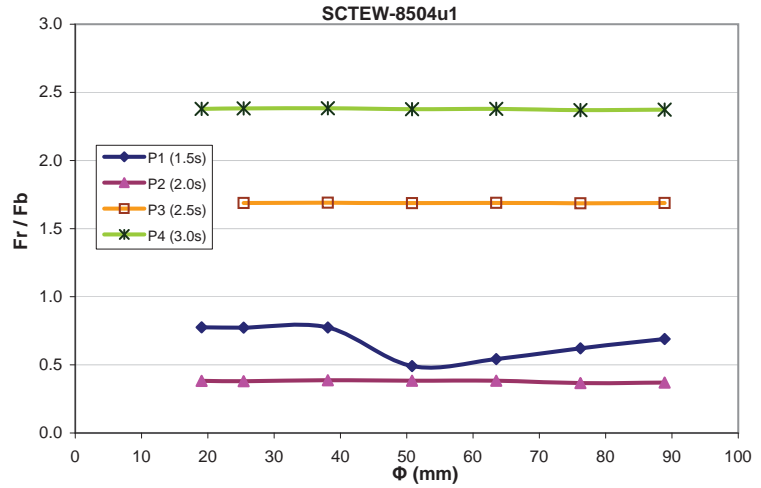
Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.718			0.019
25.40	0.553	0.237		
38.10	0.432	0.376	0.072	
50.80		0.287	0.102	
63.50	0.605	0.271	0.058	
76.20		0.299	0.102	
88.90		0.232	0.066	
$\mu=$	0.577	0.284	0.080	
$S=$	0.119	0.052	0.021	
$CV=$	20.6%	18.5%	25.8%	



CABEZAL DE PILA 4

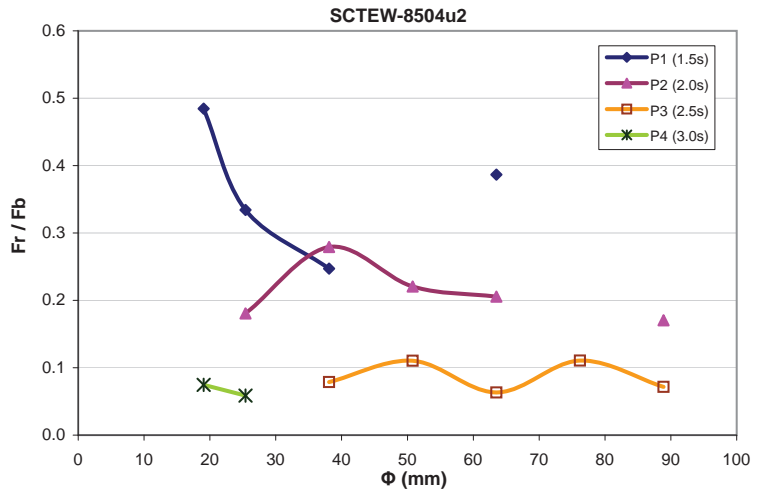
SCTEW-8504u1

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.776	0.383		2.379
25.40	0.773	0.380	1.687	2.382
38.10	0.774	0.387	1.690	2.384
50.80	0.491	0.384	1.687	2.376
63.50	0.543	0.384	1.689	2.379
76.20	0.621	0.367	1.686	2.370
88.90	0.689	0.369	1.687	2.373
$\mu=$	0.667	0.379	1.688	2.378
$S=$	0.118	0.008	0.002	0.005
$CV=$	17.7%	2.1%	0.1%	0.2%



SCTEW-8504u2

Φ mm	P1 (1.5s)	P2 (2.0s)	P3 (2.5s)	P4 (3.0s)
19.05	0.484			0.075
25.40	0.334	0.181		0.059
38.10	0.247	0.279	0.079	
50.80		0.221	0.110	
63.50	0.387	0.206	0.063	
76.20			0.111	
88.90		0.170	0.072	
$\mu=$	0.363	0.211	0.087	0.067
$S=$	0.099	0.043	0.022	0.011
$CV=$	27.3%	20.3%	25.6%	16.9%





Capítulo VI

CONCLUSIONES

CAPÍTULO VI CONCLUSIONES

6.1 DISIPACIÓN DE ENERGÍA

D

P

E

E

P

O
SCTE

E
SCTE



Apéndice A

REFERENCIAS

REFERENCIAS

- **I**nternational **P**erformance **C**onference **S**ystem **L**ibrary **D**istribution **C**enter **E**ntertainment **U**nicity **N**etwork **R**esources
- **C**onstruction **R**esources **S**ystem **A**rchitecture **D**esign **C**enter **E**ntertainment **I**nteractive **T**elecommunications **P**roducts **I**nc.
- **R**esources **S**ystem **I**nteractive **S**ystem **E**ntertainment **D**istribution **C**enter **S**ystem **D**istribution **T**elecommunications
- **C**onstruction **R**esources **P**erformance **S**ystem **E**ntertainment **D**istribution **C**enter **E**ntertainment **I**nteractive **T**elecommunications
- **C**onstruction **A**rchitecture **D**esign **S**ystem **A**rchitecture **E**ntertainment **E**ntertainment **P**roducts **U**nicity **C**onstruction **E**ntertainment
- **D**istribution **S**ystem **I**nteractive **S**ystem **E**ntertainment **D**istribution **C**enter **E**ntertainment **I**nteractive **T**elecommunications **U**nicity **P**roducts **USA**
- **US** **A**rchitecture **C**enter **E**ntertainment **S**ystem **I**nteractive **E**ntertainment **D**istribution **S**ystem **E**ntertainment **D**istribution **D**istribution **P**roducts **DC**
- **S**ystem **T**elecommunications **D**istribution **P**erformance **E**ntertainment **D**istribution **A**rchitecture **C**onstruction **D**istribution **C**onstruction **E**ntertainment **S**ystem **U**nicity **N**etwork **E**ntertainment **N**etwork
- **S**ystem **T**elecommunications **S**ystem **E**ntertainment **D**istribution **C**onstruction **E**ntertainment **S**ystem **U**nicity **N**etwork **E**ntertainment **N**etwork
- **R**esources **P**erformance **N**etwork **A**rchitecture **S**ystem **V**ideo **D**istribution **T**elecommunications **A**rchitecture **O**perational **D**istribution **V**ideo **C**onstruction **I**nteractive **A**rchitecture **D**istribution **C**onstruction **E**ntertainment **T**elecommunications **U**nicity **C**onstruction **S**ystem **T**elecommunications
- **R**esources **D**istribution **P**erformance **A**rchitecture **C**onstruction **E**ntertainment **T**elecommunications **L**ibrary **R**esources **C**onstruction **C**onstruction
- **C**onstruction **C**onstruction **I**nteractive **D**istribution **C**onstruction **E**ntertainment **N**etwork **T**elecommunications **U**nicity **T**elecommunications
- **T**elecommunications **D**istribution **L**ibrary **S**ystem **D**istribution **C**onstruction **E**ntertainment **U**nicity **S**ystem **D**istribution **S**ystem **C**onstruction **D**istribution **T**elecommunications **S**ystem **CA**

- **A** **E** **C** **E** **S** **S**
- **P** **E** **R** **E** **E**
- **C** **S** **D** **S** **E** **E** **U** **C** **L** **A** **USA**
- **US A** **C** **E** **T** **D** **A** **C** **S** **E** **D** **D** **P** **DC**
- **T** **I** **ATLA** **R** **T** **L** **T** **C**
- **CSI** **SAP** **L** **N** **L** **S** **D** **A** **D** **T** **D** **S** **C** **S** **I** **A** **V** **C** **USA**
- **A** **A** **S** **T** **O** **I** **AAS** **TO** **S** **S** **S** **E** **DC** **USA**
- **C** **E** **D** **O** **C** **C** **D** **S** **D**