



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

TEMA:

**Evaluación de la capacidad de recentrado de sistemas de 1
grado de libertad con comportamiento histerético.**

AUTOR:

Pinos Salamea, José Adrián

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Hernández Barredo, Jaime Francisco

Guayaquil, Ecuador

6 de marzo del 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Pinos Salamea, José Adrián**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**

TUTOR:

f. _____
Hernández Barredo, Jaime Francisco

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____
Alcívar Bastidas, Stefany Esther

Guayaquil, a los 6 del mes de marzo del año 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Pinos Salamea, José Adrián**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Evaluación de la capacidad de recentrado de sistemas de 1 grado de libertad con comportamiento histerético** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 6 del mes de marzo del año 2020

EL AUTOR:

f. _____
Pinos Salamea, José Adrián



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Pinos Salamea, José Adrián**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Evaluación de la capacidad de recentrado de sistemas de 1 grado de libertad con comportamiento histerético**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 6 del mes de marzo del año 2020

EL AUTOR:

f. _____
Pinos Salamea, José Adrián

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TRABAJO DE TITULACIÓN ADRIÁN PINOS.pdf (D65346810)
Submitted: 3/13/2020 1:30:00 AM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 1 %

Sources included in the report:

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/download/629/690/>

Instances where selected sources appear:

1

AGRADECIMIENTO

A mi Familia.

A mi tutor.

DEDICATORIA

A todas aquellas personas cuya contribución ha sido aporte fundamental para convertirme en el profesional que soy el día de hoy. Dedico este trabajo especialmente a mi madre, esposa e hijo, cuyo apoyo incondicional es y será mi más grande motivación.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ALCIVAR BASTIDAS STEFANY ESTHER
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

VILLACREZ SANCHEZ ALEX RAUL
DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

BARROS CABEZAS JOSE ANDRES
OPONENTE

ÍNDICE

RESUMEN	2
CAPÍTULO 1	3
1 Introducción.....	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
CAPÍTULO 2.....	5
2 Marco Teórico	5
2.1 Sistemas de un grado de libertad (SUGL)	5
2.2 Dispositivos de aislación sísmica como sistemas de un grado de libertad.....	7
2.2.1 Criterio para la evaluación de la capacidad de recentrado para sistemas de aislación sísmica según la norma ASCE 7-16.....	8
2.3 Respuesta dinámica de un sistema de un grado de libertad	10
2.4 Excitación	12
2.4.1 Registros sísmicos	12
2.4.2 Excitación armónica	13
2.5 Mc Rae y K. Kawashima – 1997.....	13
2.5.1 Registros sísmicos	14
2.5.2 Cálculo de la respuesta dinámica de sistemas de un grado de libertad.	16
2.5.3 Cálculo de deformaciones residuales.....	16
2.5.4 Deformación residual normalizada (drr)	17
2.5.5 Resultados	18
CAPÍTULO 3.....	26

3	Metodología.....	26
3.1	Excitación	26
3.1.1	Registros sísmicos	26
3.1.2	Excitaciones armónicas.....	26
3.2	Análisis historia – tiempo	27
3.3	Deformaciones residuales normalizadas	27
3.4	Cálculo de deformación residual (D_{RES} , D_{MR})	28
3.5	Propiedades del modelo del aislador.....	28
3.6	Desplazamientos objetivos	29
3.7	Parámetros de estudio.....	29
3.7.1	Comparación de resultados con los obtenidos por Kawashima y Mc Rae (1997).....	29
3.7.2	Capacidad de recentrado en aisladores sísmicos.....	30
	CAPÍTULO 4.....	33
4	Resultados	33
4.1	Evaluación de resultados de McRae y Kawashima (1997).....	33
4.1.1	Efectos de rigidez post-elástica.....	33
4.1.2	Efectos del nivel de inelasticidad	35
4.2	Evaluación de la capacidad de recentrado en aisladores.....	37
4.2.1	Resultados organizados de acuerdo al valor r	37
4.2.2	Resultados organizados de acuerdo a la excitación	38
4.3	Comparación de resultados con el criterio de la Norma ASCE 7-1640	
	CAPÍTULO 5.....	41
5	Conclusiones y recomendaciones.....	41
5.1	Conclusiones	41
5.2	Recomendaciones	42
	REFERENCIAS	43

ANEXOS.....44

INDICE DE GRÁFICAS

Figura 2-1: Idealización de un sistema de un grado de libertad por medio de un bloque con ruedas sobre una superficie con fricción nula. Imagen tomada de Chopra (2014)	5
Figura 2-2 Relación fuerza-desplazamiento de un sistema de un grado de libertad elástico lineal.	5
Figura 2-3: Relación fuerza-desplazamiento de un sistema de un grado inelástico	6
Figura 2-4: Histéresis bilineal típica de un aislador. Figura tomada del ASCE 7-16	7
Figura 2-5: Ilustración del criterio presentado por la norma ASCE 7-10 para la capacidad de recentrado de dispositivos de aislación sísmica.....	9
Figura 2-6: Asunciones del método de Newmark para el cálculo de la respuesta de un sgl ante una excitación que varía arbitrariamente en el tiempo.....	10
Figura 2-7: Definiciones de deformación residual (D_{RES}), Deformación residual máxima posible (D_{MR}) y deformación máxima (D_{MAX})	17
Figura 2-8: Deformaciones residuales normalizadas en función del periodo para varios valores de r	19
Figura 2-9: Valores d_{rr} promedios para todos los registros empleados.....	21
Figura 2-10: Aceleraciones y desplazamientos en función del tiempo e histéresis para un sistema con degradación de resistencia	23
Figura 2-11: Aceleraciones y desplazamientos en función del tiempo e histéresis para un sistema elastoplástico	24
Figura 2-12: Aceleraciones y desplazamientos en función del tiempo e histéresis para un sistema con endurecimiento por deformación.....	25
Figura 4-1: Deformaciones residuales normalizadas propuesta por Kawashima (1997) en función del periodo para varios valores de r , para el registros de APED-EO.....	34
Figura 4-2: Variación de d_{rr} en función de la razón r para el promedio de resultados de todos los registros empleados (Tabla 3-1)	35

Figura 4-3: Variación de D_{res} (promedio para el set de registros de la Tabla 3-1) en función del periodo para varios factores de ductilidad. 36

Figura 4-4: d_{rr} en función de el valor r para varios factores de ductilidad.... 36

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Registros sísmico usados por Kawashima y MacRae (1995).....	15
Tabla 3-1 Acelerogramas empleados en el análisis historia-tiempo	31
Tabla 3-2: Registros seleccionados para evaluación de capacidad de recentrado en aisladores.	32

INDICE DE ANEXOS

Anexo A: Comportamiento histerético (fuerza vs deformación) para varios desplazamientos objetivos (sección 3.6), de varios sistema de un grado de libertad caracterizados por su relación de rigidez post-elástica a rigidez elástica (r), organizados de acuerdo al set de registros (tabla 3.1.1) para los cuales fueron analizados. (a) $D_{max}=5cm$ (b) $D_{max}=10cm$ (c) $D_{max}=15cm$ (d) $D_{max}=20cm$ (e) $D_{max}=30cm$ (f) $D_{max}=35cm$ (g) $D_{max}=40cm$ (h) $D_{max}=45cm$ (i) $D_{max}=50cm$	44
Anexo B: Resumen de resultados mostrados en el Anexo A, en términos de las definiciones para recentrado propuestas en este estudio (sección 3.3) y las propuestas por Kawashima y McRae (1997), en función de los desplazamientos objetivos definidos en la sección 3.6, organizados respecto a los valores de r empleados (sección 3.7). (a) D_{RES} , (b) d_{rr} , (c) d_{rr3} , (d) d_{rr4} , (e) d_{rr5}	165
Anexo C: Resumen de resultados mostrados en el Anexo A, en términos de las definiciones para recentrado propuestas en este estudio (sección 3.3) y las propuestas por Kawashima y McRae (1997), junto con los límites especificados por la norma ASCE 7-16 (revisar sección 2.2.1) presentados de forma gráfica a través de las líneas punteadas azules y los valores de r en porcentaje junto a estas, en función de los desplazamientos objetivos definidos en la sección 3.6, organizados respecto al set de registros de la Tabla 3-2. (a) D_{RES} , (b) d_{rr} , (c) d_{rr3} , (d) d_{rr4} , (e) d_{rr5}	172
Anexo D: Resumen de resultados del análisis de los SUGL sometidos a las excitaciones armónicas definidas en la sección 3.1.2 (caracterizadas por su periodo de vibración, T_{exc}), en términos de las definiciones para recentrado propuestas en este estudio (sección 3.3) y las propuestas por Kawashima y McRae (1997), en función de los desplazamientos objetivos definidos en la sección 3.6, organizados respecto al valor de r que caracteriza cada sistema. (a) D_{RES} , (b) d_{rr} , (c) d_{rr3} , (d) d_{rr4} , (e) d_{rr5} .	183
Anexo E: Resumen de resultados del análisis de los SUGL sometidos a las excitaciones armónicas definidas en la sección 3.1.2 (caracterizadas por	

su periodo de vibración, T_{exc}), en términos de las definiciones para recentrado propuestas en este estudio (sección 3.3) y las propuestas por Kawashima y McRae (1997), en función de los desplazamientos objetivos definidos en la sección 3.6, organizados respecto al periodo de la excitación armónica (T_{exc}). (a) D_{RES} , (b) d_{rr} , (c) d_{rr3} , (d) d_{rr4} , (e) d_{rr5} .	190
Anexo F: Resultados presentados en el Anexo D, en función de los periodos efectivos (T_{eff}) de los SUGL, organizados respecto al valor r que los caracteriza.....	201
Anexo G: Resultados presentados en el Anexo E, en función de los periodos efectivos (T_{eff}) de los SUGL, organizados respecto al periodo de vibración de la excitación armónica (T_{exc}).	208

RESUMEN

En este trabajo, la capacidad de recentrado de sistemas de un grado de libertad con comportamiento histerético es evaluada en términos de desplazamientos residuales normalizados. Para esto, se realizaron múltiples análisis historia-tiempo de sistemas de un grado de libertad con periodos elásticos fundamentales que van desde 0.5 a 5s y modelos bilineales con razones de rigidez post-elástica a rigidez elástica de 0 a 0.5, sometidos a 58 registros correspondientes a 29 estaciones acelerográficas, captados durante el sismo de pedernales 2016, y a un conjunto de excitaciones armónicas caracterizadas por su periodo.

Los resultados fueron comparados con los obtenidos en el trabajo realizado por Kawashima y McRae (1997) y resultan consistentes. Adicionalmente el criterio para la capacidad de recentrado en sistemas de aislación sísmica, definido por la sociedad americana de ingenieros civiles (ASCE 7-16), es comparado con los resultados obtenidos en este estudio. Se concluye que el criterio de la ASCE 7-16 no es capaz de identificar de manera apropiada a los sistemas con poca capacidad de recentrado.

Palabras Claves: *deformación residual, sistemas de un grado de libertad, capacidad de recentrado, Histéresis bilineal, sistemas de aislación sísmica, sismo de pedernales 2016, ASCE 7-10.*

CAPÍTULO 1

1 Introducción

Las provisiones actuales para el diseño sismo-resistente permiten la incursión de las estructuras en el rango inelástico. Es decir, permiten el daño como medio de disipación de la energía de la demanda de los movimientos del terreno. Los criterios para un buen desempeño estructural y prevención de daño estructural se basan en limitar las deformaciones laterales a un límite permisible para la carga de diseño probabilísticamente posible, sin embargo, las deformaciones residuales en estructuras podrían ser un parámetro importante en la evaluación de las mismas para determinar si estas pueden continuar su función luego de un evento sísmico.

Aunque las deformaciones residuales en estructuras comunes son inevitables una vez que estas han cedido, existen sistemas en los cuales la capacidad de recentrado es una de las principales funciones y calificativos de buen desempeño, tal es el caso de los sistemas estructurales equipados con dispositivos de aislación sísmica.

Este trabajo tiene la finalidad de estudiar las características más influyentes en la capacidad de recentrado de los sistemas estructurales con comportamiento histerético, los cuales pueden, de manera simplificada, ser modelados como sistemas de un grado de libertad.

1.1 Antecedentes

La capacidad de recentrado ha sido tema de varios trabajos hasta la fecha. Se dice que los pioneros en determinar resultados significativos fueron Newmark y Riddle (1979a, b), estos concluyeron que las deformaciones residuales se ven afectadas en gran medida por las reglas de las histéresis adoptadas. En su estudio encontraron que sistemas de un grado de libertad con modelos histeréticos con degradación de rigidez o con incremento de resistencia presentan menores deformaciones residuales, por otro lado, sistemas de un grado de libertad con histéresis elastoplásticas e histéresis con pérdida de resistencia presentan comportamientos inestables y

deformaciones residuales significativas. Ruiz y Garcia (2005; 2006a, b; 2008) realizaron extensos estudios acerca de la deformación residual en estructuras con uno y varios grados de libertad, estos propusieron ecuaciones para la determinación de las deformaciones residuales promedio y concluyeron que las deformaciones residuales dependen del tipo de sistema estructural, sobre resistencia y comportamiento histerético.

Mc Rae y Kawashima (1997) realizaron un estudio acerca de las deformaciones residuales en sistemas de un grado de libertad con histéresis bilineales con rigidez post-elástica negativa, nula y positiva, estos emplearon 11 registros y factores de ductilidad de 2, 4 y 6. Los autores concluyeron que la deformación residual en sistemas de un grado de libertad se ve fuertemente influenciada por la razón entre la rigidez post-elástica a la elástica.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar cuáles son los parámetros más influyentes en la capacidad de recentrado en sistemas de un grado de libertad con comportamiento histerético bilineal.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la respuesta y desplazamiento residual de los sistemas de un grado de libertad con comportamiento histerético sometidos a 58 registros sísmicos.
- Proponer nuevas definiciones para la capacidad de recentrado en sistemas de un grado de libertad.
- Comparar los resultados obtenidos por Kawashima y McRae (1997), y los obtenidos en este estudio para todos los registros empleados
- Comparar los resultados obtenidos en este estudio en términos de las definiciones de recentrado propuestas con el criterio de la Norma ASCE 7- 16.

CAPÍTULO 2

2 Marco Teórico

2.1 Sistemas de un grado de libertad (SUGL)

Los sistemas de un grado de libertad elásticos lineales pueden ser idealizados mediante un bloque con ruedas sobre una superficie sin fricción, conectados a un resorte con rigidez K y a una barra con coeficiente de amortiguamiento c , sometidos a una fuerza que varía en el tiempo $p(t)$ (Figura 2-1). Esta idealización pretende modelar un sistema cuya fuerza restauradora (f_s) es función únicamente de la rigidez del resorte (Figura 2-2).

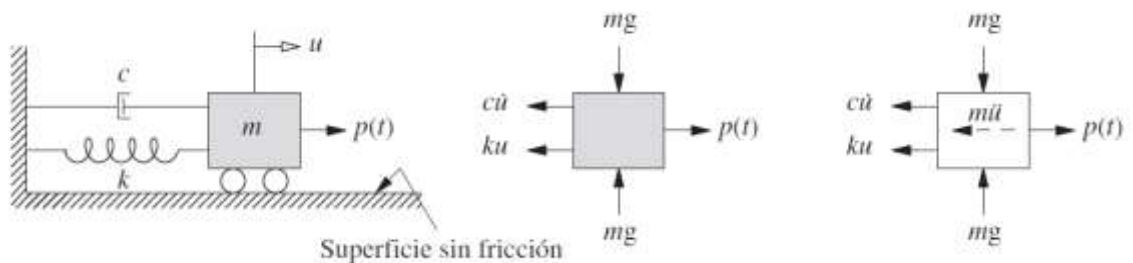


Figura 2-1: Idealización de un sistema de un grado de libertad por medio de un bloque con ruedas sobre una superficie con fricción nula. Imagen tomada de Chopra (2014)

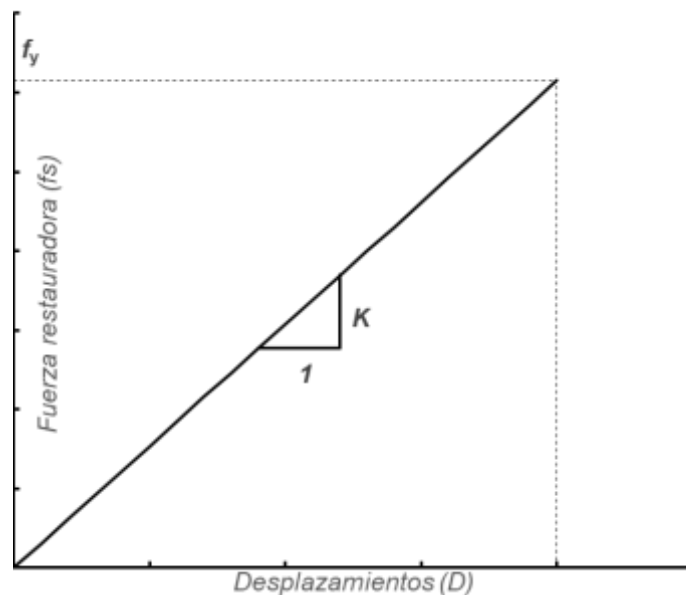


Figura 2-2 Relación fuerza-desplazamiento de un sistema de un grado de libertad elástico lineal.

En este caso el sistema oscilará alrededor del origen una y otra vez, ya que este nunca excede su fuerza resistente (f_y).

Cuando la excitación demanda una fuerza mayor a la fuerza resistente del sistema, se dice que este es inelástico. La relación fuerza-desplazamiento de los sistemas inelásticos (Figura 2-3) puede ser representada mediante histéresis bilineales, las cuales representan dos comportamientos definidos: el comportamiento elástico, cuando el sistema oscila sin generar una fuerza mayor a la resistente, y el comportamiento inelástico, cuando el sistema excede dicha fuerza y se desplaza hacia una nueva posición de equilibrio.

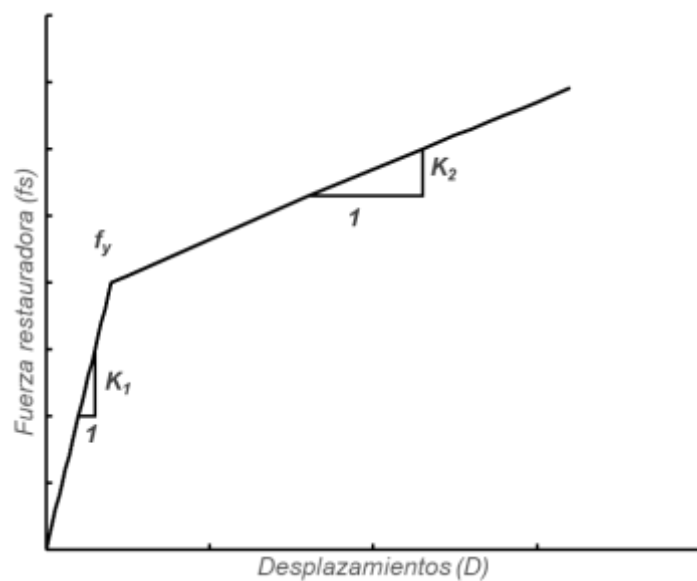


Figura 2-3: Relación fuerza-desplazamiento de un sistema de un grado inelástico

La fuerza restauradora de estos sistemas es función de las rigideces K y K_2 :

$$f_s = \begin{cases} f_s(D_i) = f_s(D_{i-1}) + K * (D_i - D_{i-1}) & \text{si } f_s(D) \leq f_y \\ f_s(D_i) = f_s(D_{i-1}) + K_2 * (D_i - D_{i-1}) & \text{si } f_s(D) > f_y \end{cases}$$

2.2 Dispositivos de aislación sísmica como sistemas de un grado de libertad

Los aisladores de fricción de péndulo simple y de caucho pueden ser tratados como SUGL y modelados mediante una histéresis bilineal con rigidez post-elástica positiva mayor a 0 (Petty et al, 2013). Las fuerzas que intervienen en estos elementos se muestran de forma gráfica en la Figura 2-4 donde:

- f_o = Fuerza característica
- f_M = Fuerza máxima
- f_y = Fuerza de fluencia
- d_n = Desplazamiento o deformación de fluencia
- D_m = deformación máxima
- K_d = rigidez post-elástica (representada como K_2 en este estudio)
- K_1 = rigidez inicial
- E_{loop} = Energía histerética disipada (área de la histéresis)

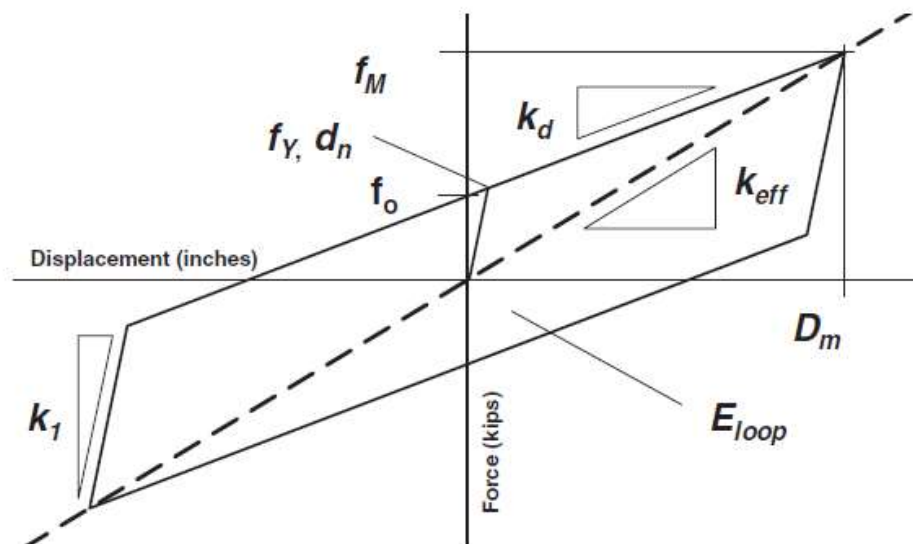


Figura 2-4: Histéresis bilineal típica de un aislador. Figura tomada del ASCE 7-16

Tal como se explicó en la sección 2.1, para que un sistema de un grado de libertad con comportamiento histerético (sistema inelástico) fluya, la excitación debe demandar una fuerza mayor a su fuerza resistente. En el caso de los

aisladores de fricción de péndulo simple, esta fuerza es la fuerza de fricción generada por el peso de la superestructura, para el caso de los aisladores de caucho es la fuerza de fluencia del plomo.

Tanto para los aisladores de fricción de péndulo simple como para los aisladores de caucho o elastómeros, las deformaciones en el rango lineal de comportamiento son prácticamente nulas debido a su alta rigidez.

2.2.1 Criterio para la evaluación de la capacidad de recentrado para sistemas de aislación sísmica según la norma ASCE 7-16

La asociación americana de ingenieros civiles (ASCE 7-16) presenta el siguiente criterio para la evaluación de la capacidad de recentrado en dispositivos de aislación sísmica:

“La fuerza restauradora a un desplazamiento igual al desplazamiento total de diseño deberá ser al menor $0.025W$ veces mayor a la fuerza lateral producida a un desplazamiento igual al 50% del desplazamiento máximo de diseño”.

Donde W representa el peso sobre el aislador proveniente de la superestructura.

De esta forma la ASCE7-10 busca incluir en el diseño de los dispositivos de aislación sísmica una óptima capacidad de recentrado.

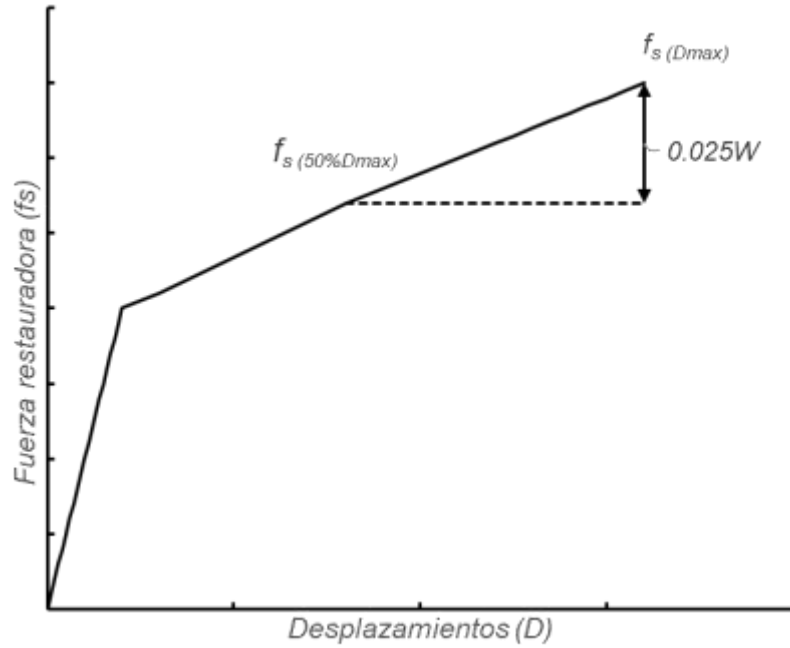


Figura 2-5: Ilustración del criterio presentado por la norma ASCE 7-10 para la capacidad de recentrado de dispositivos de aislación sísmica.

Este criterio puede ser expresado de forma matemática como se demuestra a continuación:

$$f_{s(D_{max})} = f_o + K * D_{max} \quad (1)$$

$$f_{s(50\%D_{max})} = f_o + 0.5 * K * D_{max} \quad (2)$$

El criterio en forma matemática establece que:

$$f_o + K * D_{max} - (f_o + 0.5 * K * D_{max}) = 0.025W \quad (3)$$

De esta forma se obtiene:

$$K = \frac{0.05W}{D_{max}} \quad (4)$$

De esta forma, aquellos aisladores cuya rigidez post-elástica K no cumple con la ecuación (4), no poseen una buena capacidad de recentrado

2.3 Respuesta dinámica de un sistema de un grado de libertad

La ecuación que gobierna la respuesta dinámica de un sistema de un grado de libertad es:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + fs(u, \dot{u}) = p(t) \quad (5)$$

Donde:

- m = la masa del sistema
- c = coeficiente de amortiguamiento
- fs = fuerza restauradora (sección 2.1)

\ddot{u}, \dot{u} y u representan las aceleraciones, velocidades y desplazamientos relativos del sistema y $p(t)$ representa la excitación como función del tiempo t .

Para determinar la respuesta de un SUGL se empleó el método de integración paso a paso en el tiempo de Newmark (Chopra 2014). Este método se basa en la asunción de que la excitación varía ya sea lineal o constantemente en cada paso de tiempo (Figura 2-6).

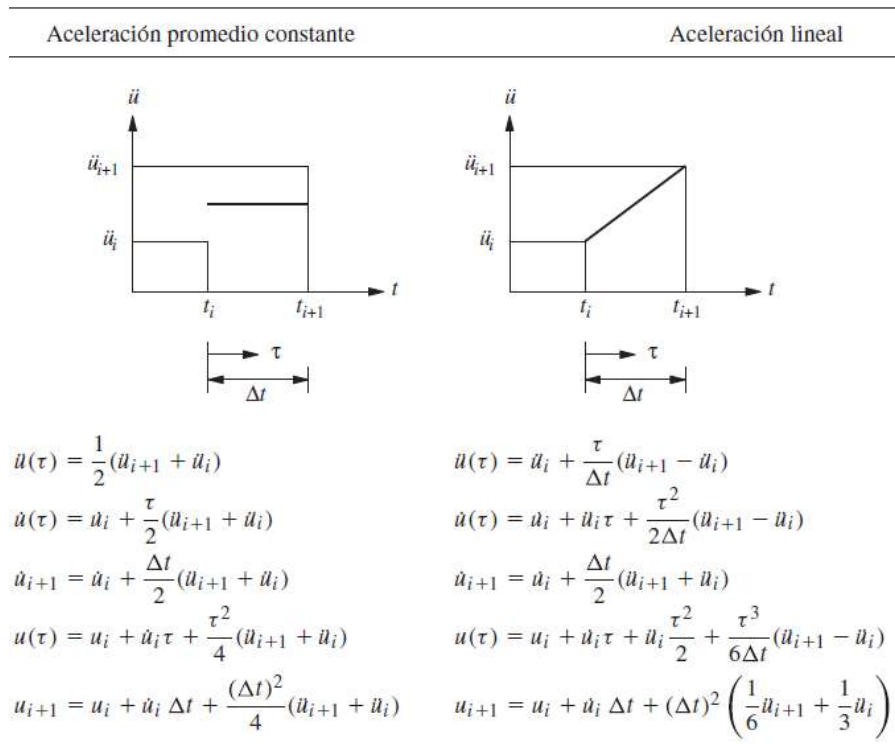


Figura 2-6: Asumpciones del método de Newmark para el cálculo de la respuesta de un sugl ante una excitación que varía arbitrariamente en el tiempo

Bajo estas asunciones el método permite determinar las respuestas del sistema (aceleración, velocidad y desplazamiento) en el paso de tiempo $i+1$ a partir del paso de tiempo i , reemplazando la variable t por Δt en las ecuaciones mostradas.

Los métodos de aceleración promedio constante y aceleración son parte de una familia de métodos creadas por Newmark, las cuales se basan en las siguientes ecuaciones:

$$\ddot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + [(1 - \gamma)\Delta t]\ddot{u}_i + (\gamma\Delta t)\ddot{u}_{i+1} \quad (6)$$

$$u_{i+1} = u_i + (\Delta t)\dot{u}_i + [(0.5 - \beta)(\Delta t)^2]\ddot{u}_i + [\beta(\Delta t)^2]\ddot{u}_{i+1} \quad (7)$$

El algoritmo se desarrolla a través de una serie de sustituciones de las ecuaciones (2) y (3) en la ecuación (4) como se muestra a continuación:

La ecuación de movimiento (1), representada en términos del paso de tiempo $i+1$ es

$$m\ddot{u}_{i+1} + c\dot{u}_{i+1} + fs(u_{i+1}) = p_{i+1} \quad (8)$$

Expresando \ddot{u}_{i+1} en la ecuación (3) en términos de u_{i+1} queda

$$\ddot{u}_{i+1} = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2}(u_{i+1} - u_i) - \frac{1}{\beta\Delta t}\dot{u}_i - \left(\frac{1}{2\beta} - 1\right)\ddot{u}_i \quad (9)$$

Sustituyendo la ecuación (5) en la ecuación (2), se obtiene

$$\ddot{u}_{i+1} = \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)}(u_{i+1} - u_i) + \left(1 - \frac{\gamma}{\beta}\right)\dot{u}_i + \Delta t\left(1 - \frac{\gamma}{2\beta}\right)\ddot{u}_i \quad (10)$$

Luego, las ecuaciones (5) y (6) se sustituyen en la ecuación que controla el movimiento, esta sustitución resulta en

$$\hat{k}u_{i+1} = \hat{p}_{i+1} \quad (11)$$

donde

$$\hat{k} = k + \frac{\gamma}{\beta\Delta t}c + \frac{1}{\beta(\Delta t)^2}m \quad (12)$$

Y

$$\begin{aligned} \hat{p}_{i+1} = p_{i+1} + & \left[\frac{1}{\beta(\Delta t)^2} + \frac{\gamma}{\beta\Delta t}c \right] u_i + \left[\frac{1}{\beta\Delta t}m + \left(\frac{\gamma}{\beta} - 1 \right) c \right] \dot{u}_i \\ & + \left[\left(\frac{1}{2\beta} - 1 \right) m + \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) c \right] \ddot{u}_i \end{aligned} \quad (13)$$

Con \hat{k} y \hat{p}_{i+1} conocidas a partir de las propiedades del sistema m , k y c , los parámetros del algoritmo γ y β , y el estado del sistema en el tiempo i definido por u_i , \dot{u}_i y \ddot{u}_i , el desplazamiento en el tiempo \ddot{u}_{i+1} se calcula como

$$u_{i+1} = \frac{\hat{p}_{i+1}}{\hat{k}} \quad (14)$$

Cuando el sistema es inelástico su relación fuerza-desplazamiento deja de ser lineal, por lo cual la ecuación (10) deja de ser válida ya que la rigidez del sistema varía en el tiempo y es función del desplazamiento y la velocidad en el tiempo i . Para resolver la ecuación de movimiento de un sistema inelástico, se debe realizar un proceso iterativo con el objetivo de determinar los cambios de rigidez a lo largo del tiempo, para este estudio se empleó el algoritmo de Newton Raphson (Chopra 2014).

2.4 Excitación

2.4.1 Registros sísmicos

Los registros sísmicos o acelerogramas son la representación cuantitativa del movimiento del terreno durante un evento sísmico. Estos son captados por dispositivos especiales (acelerógrafos) ubicados en zonas estratégicas, capaces de detectar ondas con un rango predeterminado de frecuencias. Una vez que la aceleración inducida por el terreno al dispositivo alcanza y supera la aceleración mínima para la cual estos dispositivos son sensibles (umbral de aceleración), estos se activan y comienzan a registrar el movimiento, sin embargo, en la actualidad estos dispositivos cuentan con una memoria interna cuyo propósito es registrar un periodo de tiempo previo a la activación y un periodo de tiempo posterior a su desactivación.

Las características de los acelerogramas son función del tipo de fuente, la distancia desde el epicentro al acelerógrafo, el tipo de suelo, entre otros factores menos influyentes.

2.4.2 Excitación armónica

Para definir la excitación armónica se utilizó una función cosenoidal, cuyas características se describen a continuación:

- n = número de ciclos definidos.
- ω = Frecuencia
- T_{exc} = Periodo
- A = amplitud
- t = tiempo de duración

La ecuación que describe esta función es:

$$\ddot{u}(t) = A \times \cos(\omega t)$$

el tiempo de duración de la función es dependiente del periodo de esta y de la cantidad de ciclos, por lo tanto:

$$t = T_{exc} \times n$$

2.5 Mc Rae y K. Kawashima – 1997

Los autores estudiaron los desplazamientos residuales de SUGL con distintos tipos de histéresis para un rango de periodos de 0.1 a 3s, sometidos a fuerzas provocadas por movimientos del terreno. Los efectos de endurecimiento (rigidez post-elástica positiva), y de degradación de resistencia (rigidez post-elástica negativa) son estudiados en términos de desplazamientos residuales. Los autores concluyen que el factor más influyente en los desplazamientos residuales es la razón de la rigidez post-elástica a la rigidez elástica (r), la razón de esta dependencia es descrita mediante el concepto de la estabilidad dinámica.

2.5.1 Registros sísmicos

Se emplearon 11 acelerogramas para su estudio, los cuales se muestran en la Tabla 2-1. Un mínimo de tres acelerogramas para suelos de consistencia blanda, intermedia y dura forman parte de este set de registros. Estos registros fueron obtenidos de un reporte de Kawashima et al (1985).

Un tiempo de 18s adicionales fue añadido a cada uno de los acelerogramas para lograr que los osciladores entren una fase de vibración libre y así poder determinar los desplazamientos residuales al final del registro.

Table I. Earthquake record characteristics

Record number	Record name	Component	Earthquake name	Date of occurrence	Maximum acceleration (cm/sec ²)	Record duration (sec)	Ground type	Record classification
Ia	Kaihoku Bridge	Transverse	Miyagikenoki	12.06.1978	413.5	38.93	I	302-GR-35
Ib	Kaihoku Bridge	Transverse	Miyagikenoki	20.12.1978	161.3	28.99	I	302-GR-34
Ic	Oita Port	East-West	Ehimeken west coast	21.04.1975	145.3	29.50	I	701-GR-1-2
Id	Kaihoku Bridge	Longitudinal	Miyagikenoki	12.06.1978	363.8	38.89	I	302-GR-35
IIa	Itajima Bridge	Transverse	Oitaken chubu	06.08.1968	615.4	36.67	II	308-GR-4
IIb	Hosojima Port	Transverse	Hyuganada	01.04.1968	302.6	80.00	II	702-GR-1-1
IIc	Ofunato Port	E41S	Miyagikenoki	12.06.1978	226.4	58.00	II	706-GR-2-3
IIId	Itajima Bridge	Longitudinal	Ehimeken west coast	06.08.1968	594.5	36.01	II	308-GR-4
IIIa	Kochi Port	Transverse	Hyuganada	01.04.1968	106.6	80.00	III	602-GR-1-1
IIIb	Aomori Port	Transverse	Aomorikenseihooki	16.05.1968	101.1	80.00	III	201-GR-1-2
IIIc	Kinuura Port	Transverse	Gifuken chubu	09.09.1969	84.58	40.50	III	403-GR-1-1

Tabla 2-1 Registros sísmico usados por Kawashima y MacRae (1995).

2.5.2 Cálculo de la respuesta dinámica de sistemas de un grado de libertad.

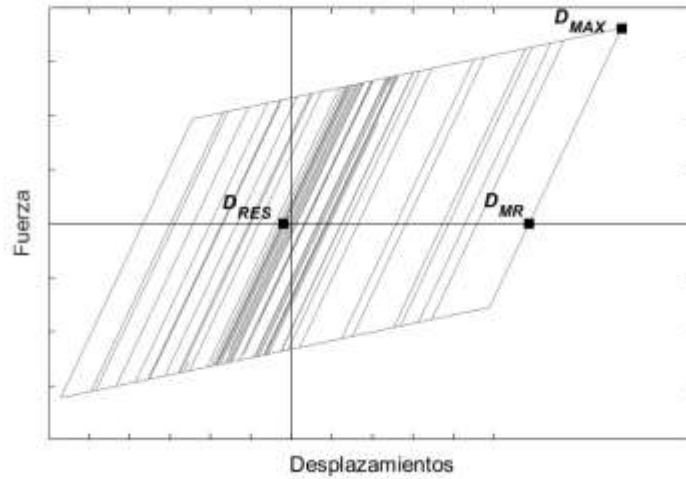
Para determinar la respuesta de desplazamientos de un sistema estructural se debe resolver la ecuación que rige el comportamiento dinámico del mismo (1) (sección 2.3)

Los autores emplearon el método de integración paso a paso desarrollado por Newmark (Chopra, 2014) para resolver la ecuación de movimiento. El análisis historia-tiempo se realizó para factores de ductilidad de 2, 4 y 6. Para esto fue necesario un proceso iterativo en el cual se reduce la resistencia a la cedencia del oscilador con el fin de obtener el desplazamiento máximo que produzca la ductilidad requerida. Si la resistencia especificada (o reducida) no produce una ductilidad igual a la requerida, esta se reduce (o aumenta) aún más hasta lograr convergencia.

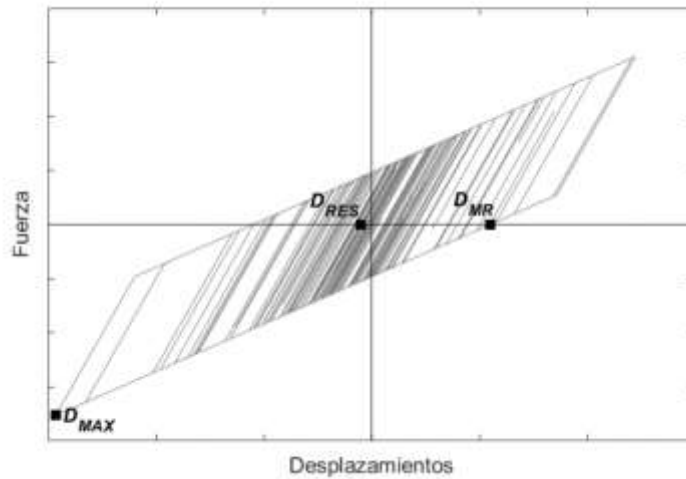
2.5.3 Cálculo de deformaciones residuales

A medida que el sistema cede a causa de la excitación, este acumula desplazamientos residuales y tiende a oscilar alrededor de nuevas posiciones de equilibrio. Una vez que cesa su movimiento, esta nueva posición de equilibrio es la que se denomina deformación residual. La máxima deformación residual que el sistema puede alcanzar (D_{MR}), junto con la deformación residual al final del movimiento (D_{RES}) se presentan de forma gráfica en la Figura 2-7

Para el cálculo de desplazamientos residuales, es necesario determinar la línea sobre la cual el sistema está oscilando e interpolar para su punto de equilibrio, es decir $\Sigma \text{fuerzas} = 0$.



(a) D_{MR} en rama elástica de histéresis



(b) D_{MR} en rama inelástica de histéresis

Figura 2-7: Definiciones de deformación residual (D_{RES}), Deformación residual máxima posible (D_{MR}) y deformación máxima (D_{MAX})

2.5.4 Deformación residual normalizada (drr)

Los autores propusieron la razón entre el desplazamiento residual (D_{RES}) y el máximo desplazamiento residual posible (D_{MR}) para su estudio.

$$drr = D_{RES}/D_{MR}$$

Esta relación implica que, si su valor es igual a la unidad, el sistema no tiene capacidad de recentrado.

2.5.5 Resultados

Los autores evaluaron la deformación residual o capacidad de recentrado para sistemas de un grado de libertad caracterizados por un rango de periodos elásticos de 0.1 a 3s, variando la razón r (sección 2.5) desde -0.25 a 0.75, para razones de ductilidad de 2, 4 y 6. Estos análisis historia-tiempo se realizaron empleando los 11 acelerogramas antes descritos en la sección 2.5.1.

En la Figura 2-8 se grafican valores de drr en función del periodo para varias razones de rigidez post-elástica (r) y para un registro en particular. En la Figura 2-9 a-d, se muestran valores drr promedios entre todos los periodos para cada registro individual, y promediados nuevamente entre todos los promedios de cada registro individual para los 11 registros empleados. Los parámetros que se evalúan en las Figura 2-9 a-d son la posible dispersión entre datos, el factor de ductilidad, el tipo de suelo y periodo del sistema respectivamente.

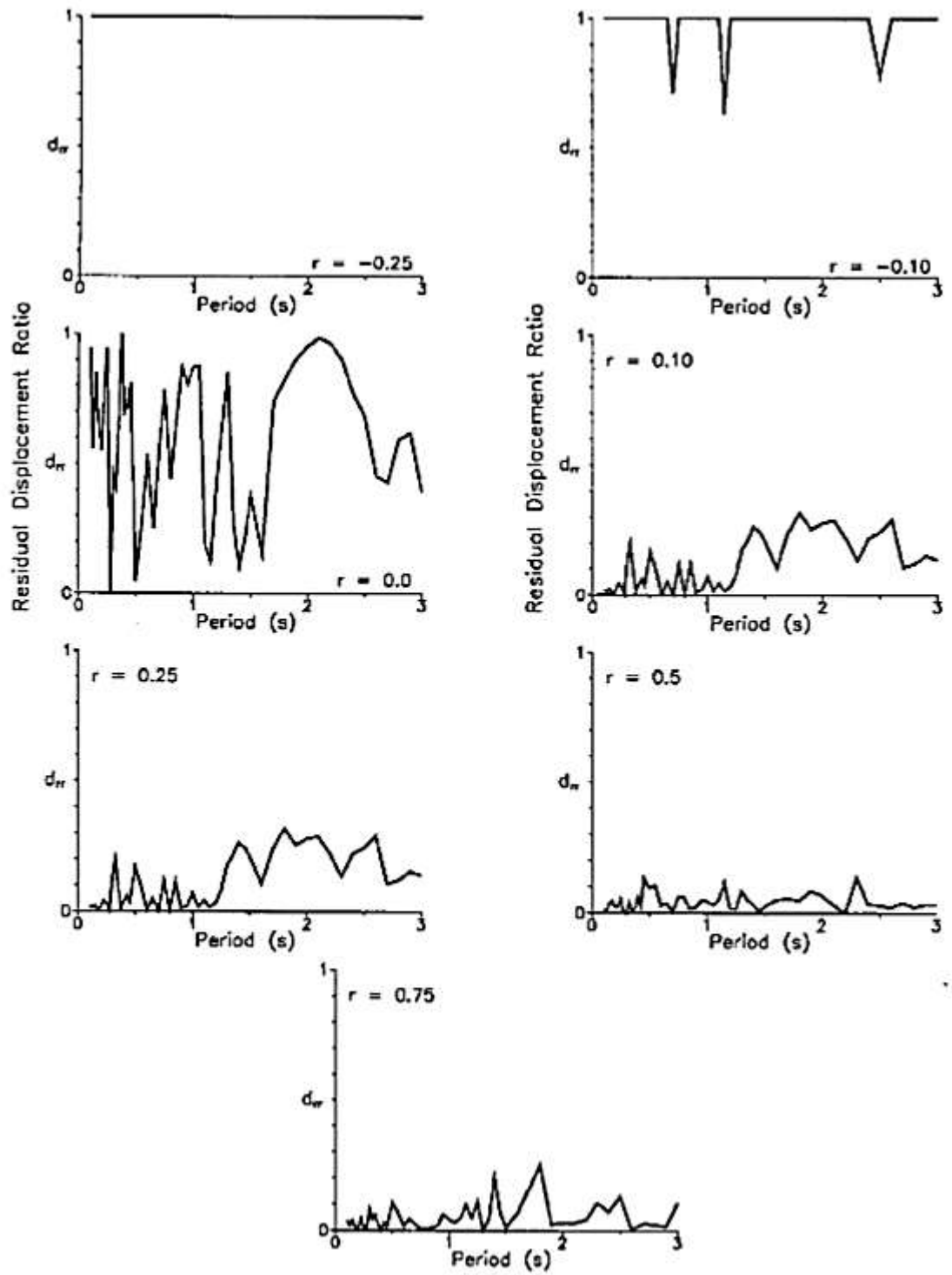
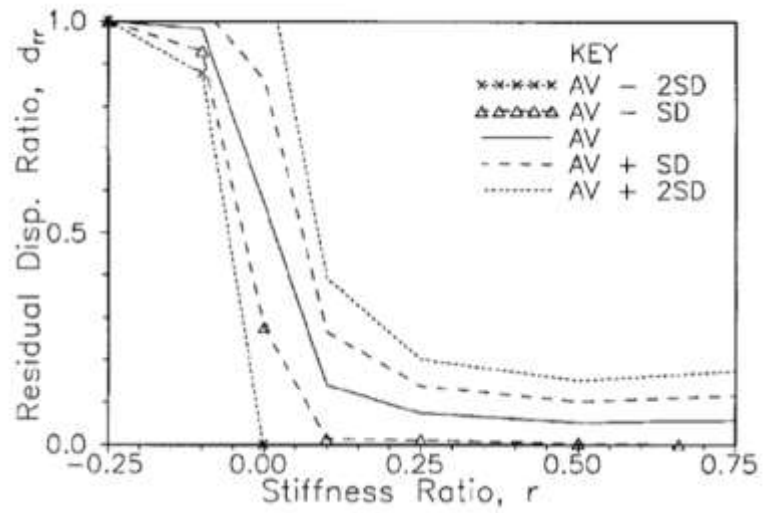
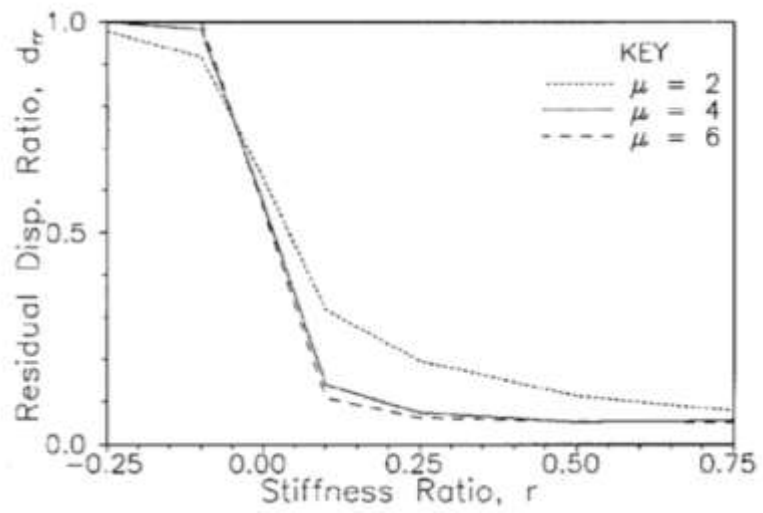


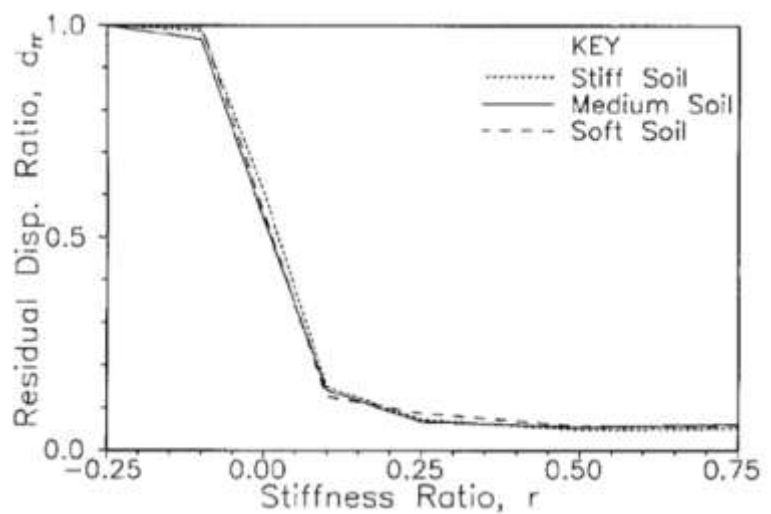
Figura 2-8: Deformaciones residuales normalizadas en función del periodo para varios valores de r .



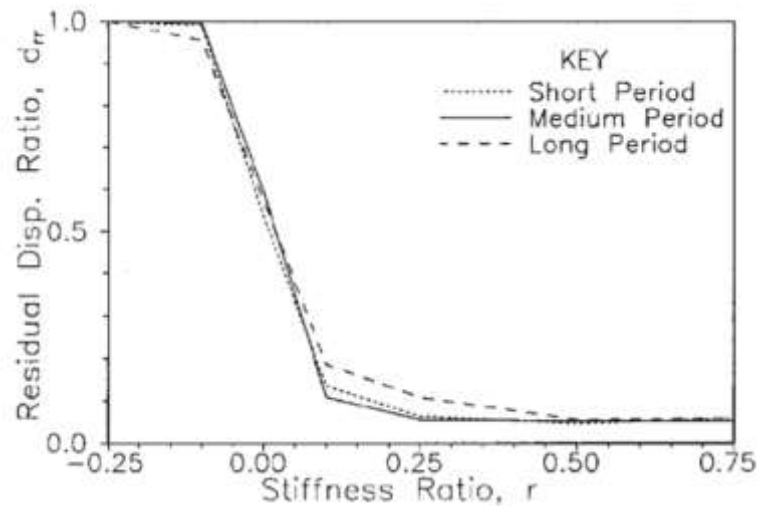
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2-9: Valores d_{rr} promedios para todos los registros empleados

Como conclusión, en base a las Figura 2-9 a-d, los autores definen que el factor más influyente en la capacidad de recentrado de sistemas de un grado de libertad es la razón de rigidez post-elástica a rigidez elástica (r).

Según los autores, esta tendencia puede ser explicada por medio de las Figura 2-10, Figura 2-11 y Figura 2-12. En estas imágenes se muestran las histéresis, historias de aceleraciones y desplazamientos para un sistema de igual periodo, con valores de r diferentes (negativo, 0 y positivo). Los autores describen que dado que la amplitud de las aceleraciones en el tiempo es muy parecida en cada dirección (positiva y negativa), los sistemas tenderán a ceder hacia la dirección cuya línea de cedencia se encuentra más cercana al eje de 0 fuerzas (revisar histéresis).

Por lo tanto, para un sistema con un valor de r negativo y con un desplazamiento inicial positivo, la línea de cedencia estará más cercana al eje de cero fuerzas, haciendo que este sistema ceda en esa dirección y a medida que lo haga, se aleje más del origen. Debido a que la resistencia de este sistema se degrada a medida que se aleja del origen, este tenderá a ceder hacia la misma dirección una y otra vez, reduciendo su capacidad de recentrado e incrementando la deformación residual.

Los sistemas con una histéresis elastoplástica ($r = 0$) no exhiben un comportamiento tan definido como los sistemas con r distinto de 0, es decir,

estos pueden plastificarse en ambas direcciones dado que la línea de cedencia se encuentra a la misma distancia en ambos sentidos para cualquier desplazamiento. Este comportamiento se ve reflejado en la Figura 2-8.

En el caso de los sistemas con un valor de r mayor a 0, la resistencia a la cedencia aumenta a medida que se incrementa en desplazamientos (en valor absoluto). Este comportamiento hace que el sistema siempre oscile alrededor de su origen, traduciéndose en una mayor capacidad de recentrado y menores desplazamientos residuales.

En conclusión, un sistema con un valor de r negativo o 0, se define como un sistema dinámicamente inestable y un sistema con un valor de r positivo se define como un sistema dinámicamente estable.

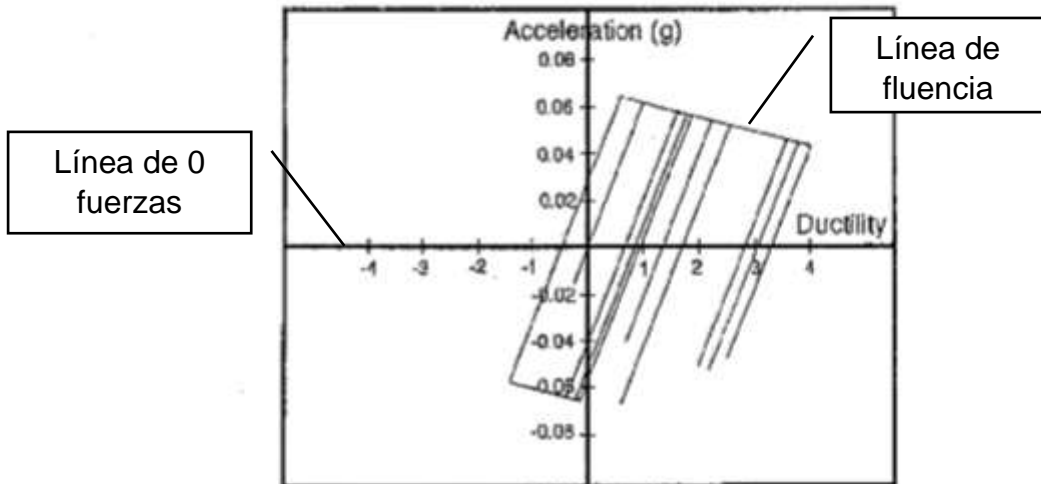
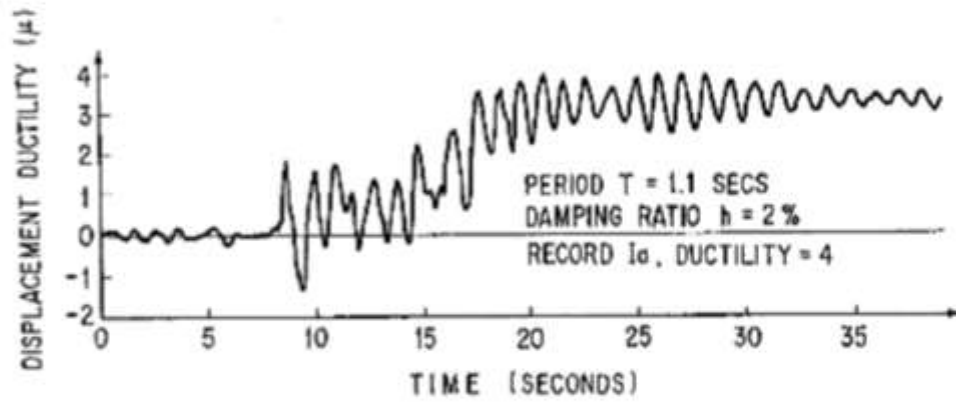
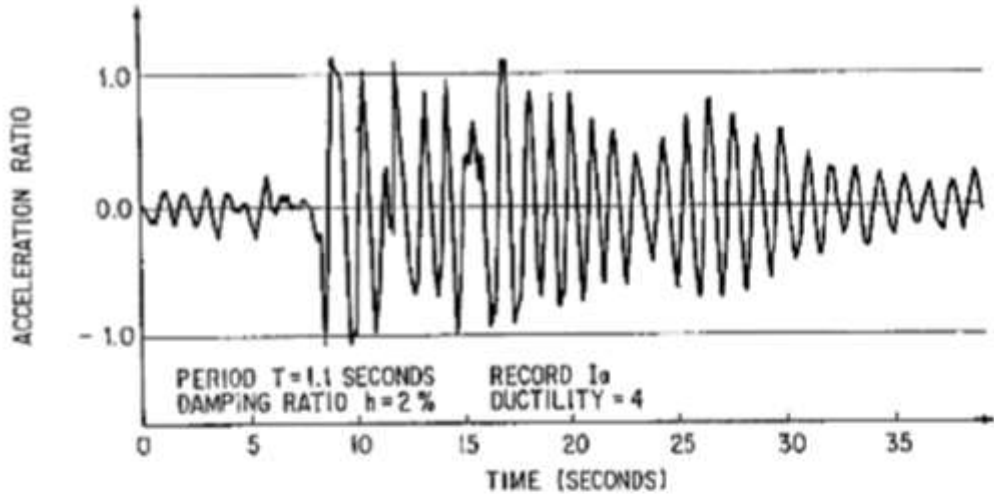


Figura 2-10: Aceleraciones y desplazamientos en función del tiempo e histéresis para un sistema con degradación de resistencia

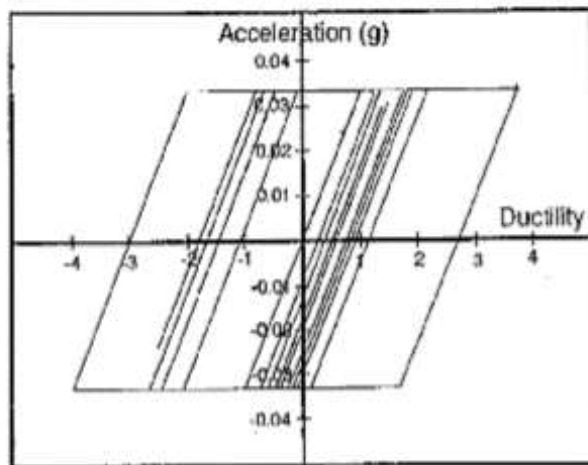
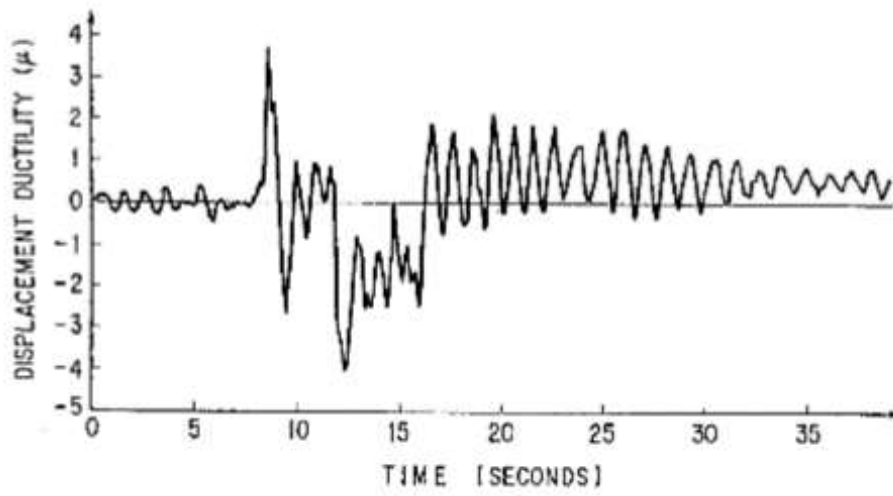
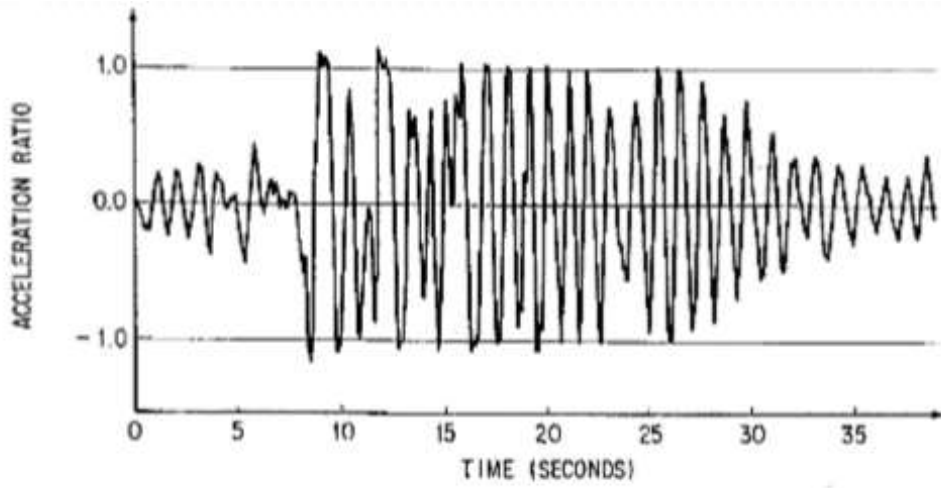


Figura 2-11: Aceleraciones y desplazamientos en función del tiempo e histéresis para un sistema elastoplástico

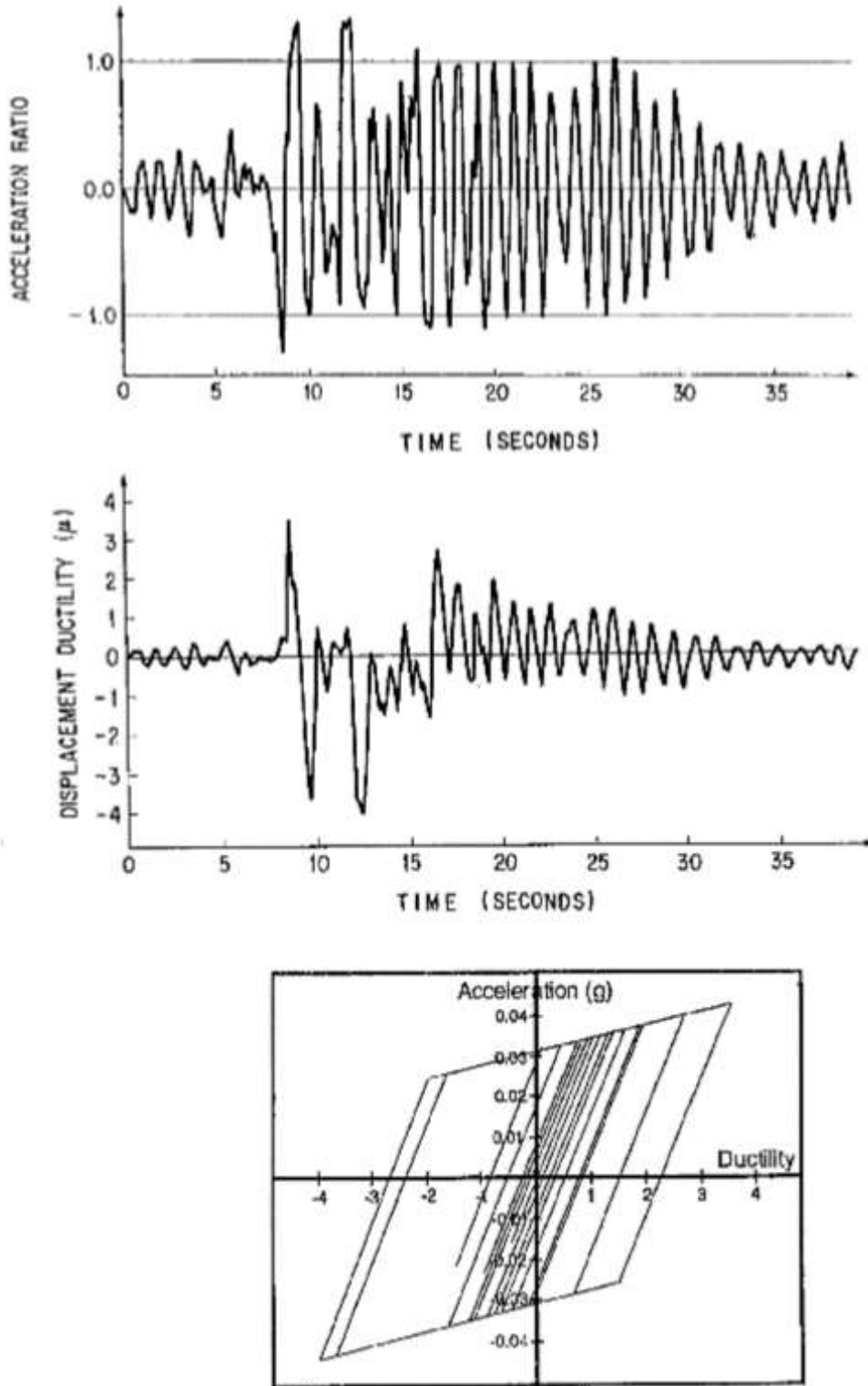


Figura 2-12: Aceleraciones y desplazamientos en función del tiempo e histéresis para un sistema con endurecimiento por deformación

CAPÍTULO 3

3 Metodología

Para este trabajo se han propuesto 3 definiciones adicionales (sección 3.3) para la evaluación de la capacidad de recentrado de sistemas de un grado de libertad, con el objetivo de evaluar cuál de estas resulta más apropiada para los resultados obtenidos. La definición propuesta por Kawashima (1997) se emplea para el set de registros descrito en la (sección 3.1.1), y se realiza un análisis parecido con el afán de comparar resultados con un set de registros más amplio. Luego, para evaluar la capacidad de recentrado en dispositivos de aislación sísmica, se emplean las tres definiciones propuestas en este trabajo y la propuesta por Kawashima (1997) para un grupo de registros con diferentes características (Dist, PGA), proveniente del set de registros descrito en la sección 3.1.1 y un conjunto de excitaciones armónicas caracterizadas por su periodo (sección 3.1.2)

3.1 Excitación

3.1.1 Registros sísmicos

Para el presente trabajo se usaron 58 de registros, correspondientes a las componentes horizontales captadas por los 29 acelerógrafos durante el sismo de pedernales, Ecuador 2016, disponibles en la red nacional de acelerógrafos (RENAC), estos se presentan en la Tabla 3-1.

3.1.2 Excitaciones armónicas

Se emplearon un total de 10 funciones armónicas caracterizadas por su periodo (sección 2.4.2), las cuales van desde 0.5s a 5s con un paso de 0.5s, para considerar todos los periodos efectivos de cada uno de los aisladores empleados en este estudio. A cada una de las funciones se les asignó una amplitud igual a 1g, la cual, al igual que en el caso de los registros sísmicos fue amplificada por un factor de escala hasta conseguir el desplazamiento máximo objetivo (sección 3.6)

3.2 Análisis historia – tiempo

La respuesta dinámica de cada uno de estos sistemas fue determinada mediante el método de integración de Newmark para sistemas no lineales, con asunción de aceleración constante (sección 1.2). Este algoritmo fue implementado en un programa de análisis numérico para agilizar el procesamiento de datos. La razón de amortiguamiento viscoso equivalente fue del 2% para los sistemas de un grado de libertad en general y del 1% para aquellos que pretenden modelar un aislador.

Los SUGL se caracterizan por su periodo de vibración, para la comparación de los resultados obtenidos en este trabajo con los resultados obtenidos por kawashima este va desde 0.5 a 5s. Para el caso de la evaluación de la capacidad de recentrado de aisladores, el periodo fundamental de vibración es constante y es definido a partir de K1 (sección 3.5).

3.3 Deformaciones residuales normalizadas

Para evaluar la capacidad de recentrado en sistemas de un grado de libertad se han adoptado las siguientes definiciones:

$$drr = \frac{D_{res}}{D_{mr}}$$

$$drr_3 = \frac{D_{mr} - D_{res}}{D_{res}}$$

$$drr_4 = \frac{D_{res}}{D_{max1}}$$

$$drr_5 = \frac{D_{max1} - D_{res}}{D_{max1}}$$

Donde:

D_{res} = Es la deformación residual al final de la excitación (ver sección 1.1.3)

$D_{mr} =$ La máxima deformación que puede alcanzar el sistema estando en equilibrio (ver sección 1.1.3) y que comparte el mismo signo que D_{res}

$D_{max1} =$ La máxima deformación que puede alcanzar el sistema durante el movimiento y que comparte el mismo signo que D_{res} .

3.4 Cálculo de deformación residual (D_{RES} , D_{MR})

Para el cálculo de las deformaciones residuales se realizó un procedimiento similar al detallado en la sección 1.1.3.

El tamaño del vector de aceleraciones nulas (ruido blanco) adicionado al final de cada acelerograma fue de 1/3 del tamaño de cada acelerograma. Este valor no tiene ningún fundamento teórico, es de naturaleza empírica.

Se debe advertir que el tamaño del vector de aceleraciones nulas (cantidad de tiempo adicionado), depende del periodo. Es decir, no todos los periodos requieren de la misma cantidad de tiempo para poder alcanzar una amplitud de desplazamientos en vibración libre lo suficientemente pequeña para poder definir la deformación residual. Sin embargo, este problema no afecta el análisis ya que debido a la interpolación no se necesita que la estructura llegue a su estado de reposo, más bien se requiere encontrar la línea sobre la cual está oscilando elásticamente antes de finalizar su movimiento para luego interpolar.

3.5 Propiedades del modelo del aislador

Para este trabajo se ha optado por modelar un aislador de fricción de péndulo simple, debido a que su fuerza característica (f_0 o Q_d) es proporcional al peso de la superestructura. Con esto, se espera, que la evaluación de resultados con el criterio de la norma ASCE 7-16 (sección 2.2.1) sea más directa.

Las propiedades del aislador de fricción de péndulo simples son las siguientes:

$$W = 1250 \text{ Ton}$$

$$u = 0.04$$

$$Qd = 50 \text{ Ton}$$

$$K1 = 29.85 \text{ Ton/cm}$$

Las relaciones $K2/K1$ (o valor r) fueron del 5, 10, 20, 30, 40 y 50%.

3.6 Desplazamientos objetivos

Cada uno de los aisladores analizados fueron excitados hasta alcanzar un desplazamiento objetivo igual a 5, 10, 20, 30, 40 y 50 cm. Este procedimiento consistió en iterar el factor de escala de cada uno de los registros empleados hasta lograr el desplazamiento requerido. Una vez que se lograba el desplazamiento requerido, los resultados D_{res} , D_{mr} y D_{max1} (sección 3.3) se almacenaban.

3.7 Parámetros de estudio

3.7.1 Comparación de resultados con los obtenidos por Kawashima y Mc Rae (1997).

Para evaluar los resultados de Kawashima y McRae (1997) se adoptaron valores de r desde -0.1 a 0.75 y factores de ductilidad de 2, 4 y 6. Los SUGL analizados fueron definidos de acuerdo a su periodo fundamental de vibración en el rango elástico, los cuales van desde 0.05s a 5s. Las propiedades de amortiguamiento de los sistemas fueron modeladas a través de un amortiguamiento viscoso equivalente con una relación con el amortiguamiento crítico (ξ) del 2% (al igual que los autores), y los registros empleados fueron aquellos descritos en la sección 3.1.1.

Al igual que los autores, el valor de la resistencia a la cedencia (f_y), fue aleatorio, pues está se modificaba cuando parámetros como el periodo de vibración, registro, razón r , o factor de ductilidad cambiaban.

Se debe tener en cuenta que la finalidad de esta comparación, fue la de evaluar los resultados de los autores con una cantidad de registros mayor.

3.7.2 Capacidad de recentrado en aisladores sísmicos

Para evaluar la capacidad de recentrado en aisladores sísmicos, modelados como SUGL (sección 2.2), se han adoptado nuevas definiciones para la capacidad de recentrado, las mismas que fueron detalladas en la sección 3.3.











Las propiedades del modelo del aislador, como Q_d y K_1 , se mantuvieron constantes para todos los análisis historia tiempo realizados (sección 3.5). Esto fue posible gracias a una iteración del PGA del registro analizado. Esta iteración se basó en modificar la amplitud máxima de cada señal hasta que resulte en el Q_d presentado en la sección 3.5. De esta forma, los parámetros que varían son la rigidez post-elástica (K_2), la resistencia a la cedencia y la deformación de fluencia.

Para evaluar la capacidad de recentrado en aisladores se han adoptado los valores de r desde 0 a 0.5, manteniendo las otras propiedades constantes. Los registros empleados fueron escogidos a partir del set de registros descrito en la sección 3.1.1 y se muestran en la Tabla 3-2

Tabla 3-1 Acelerogramas empleados en el análisis historia-tiempo

ESTACIONES	Dist. (Km)	E-O	PGA (g)	N-S	PGA (g)
AAM2	235		0.03		0.04
ACH1	407		0.03		0.02
ACHN	120		0.33		0.37
ACUE	381		0.04		0.03
AES2	76		0.15		0.11
AGY1	270		0.06		0.07
AGY2	270		0.09		0.10
AGYE	270		0.02		0.02
AIB1	202		0.05		0.06
AIB2	204		0.02		0.03
ALAT	206		0.03		0.03
ALIB	308		0.04		0.04
ALJ1	492		0.02		0.02
ALOR	159		0.03		0.03
AMA1	67		0.41		0.20
AMIL	288		0.05		0.05
AMNT	171		0.40		0.52
AOTA	188		0.04		0.04
APED	36		1.41		0.83
APO1	167		0.32		0.38
APR2	113		0.10		0.11
APS4	220		0.01		0.01
ASDO	115		0.21		0.11
ATUL	251		0.02		0.02
AV11	181		0.03		0.04
AV18	52		0.15		0.12
AV21	54		0.16		0.15
EPNL	174		0.03		0.02
PDNS	29		1.03		0.94

Tabla 3-2: Registros seleccionados para evaluación de capacidad de recentrado en aisladores.

ESTACIONES	Dist. (Km)	E-O	PGA (g)
AAM2	235		0.03
ACHN	120		0.33
AGY1	270		0.06
AGY2	270		0.09
AGYE	270		0.02
AMA1	67		0.41
AMNT	171		0.40
APED	36		1.41
APO1	167		0.32
PDNS	29		1.03

CAPÍTULO 4

4 Resultados

4.1 Evaluación de resultados de McRae y Kawashima (1997)

4.1.1 Efectos de rigidez post-elástica

Kawashima y McRae (1997) definieron que el parámetro más influyente sobre la deformación residual o capacidad de recentrado es la razón entre la rigidez post-elástica y la rigidez elástica, r (sección 2.5.5). La Figura 4-1 muestra la deformación residual normalizada propuesta por los autores, d_{rr} , en función del periodo para varios valores de r , para el registro de pedernales (APED) este-oeste. Se puede observar que los desplazamientos residuales siguen la misma tendencia descrita por los autores. Estos tienden a disminuir a medida que la rigidez post-elástica incrementa desde un valor negativo a uno positivo. Para el sistema elastoplástico se observa una dispersión considerable, esto fue explicado en la sección 2.5.5, y se debe a que estos sistemas requieren de la misma aceleración para ceder en ambas direcciones, lo cual hace que estos no presenten una plastificación recurrente en un solo sentido.

En la Figura 4-2, se muestra el valor d_{rr} en función de la razón r . Para esto se han determinado resultados como los que se muestran en la (Figura 4-1) para cada uno de los acelerogramas empleados, luego, para obtener el valor d_{rr} representativo a cada valor de r (es decir, para cada gráfica mostrada en la Figura 4-1), se han promediado los resultados d_{rr} entre todos los periodos; finalmente estos valores d_{rr} en función de r han sido promediados entre todos los acelerogramas en la Tabla 3-1. Con el objetivo de evaluar la posible dispersión entre datos, se han superpuesto estas gráficas promedio \pm la desviación estándar (SD).

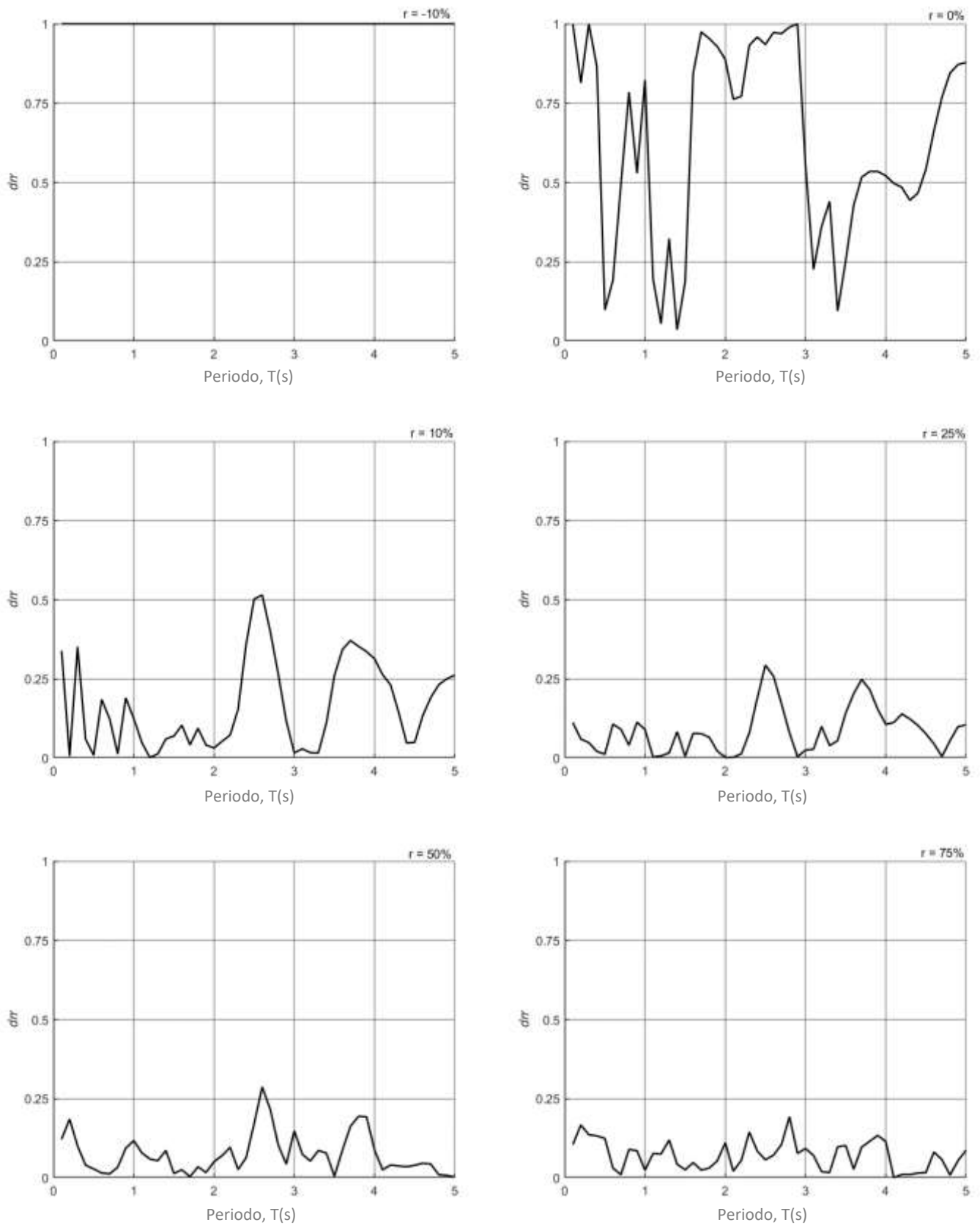


Figura 4-1: Deformaciones residuales normalizadas propuesta por Kawashima (1997) en función del periodo para varios valores de r , para el registros de APED-EO.

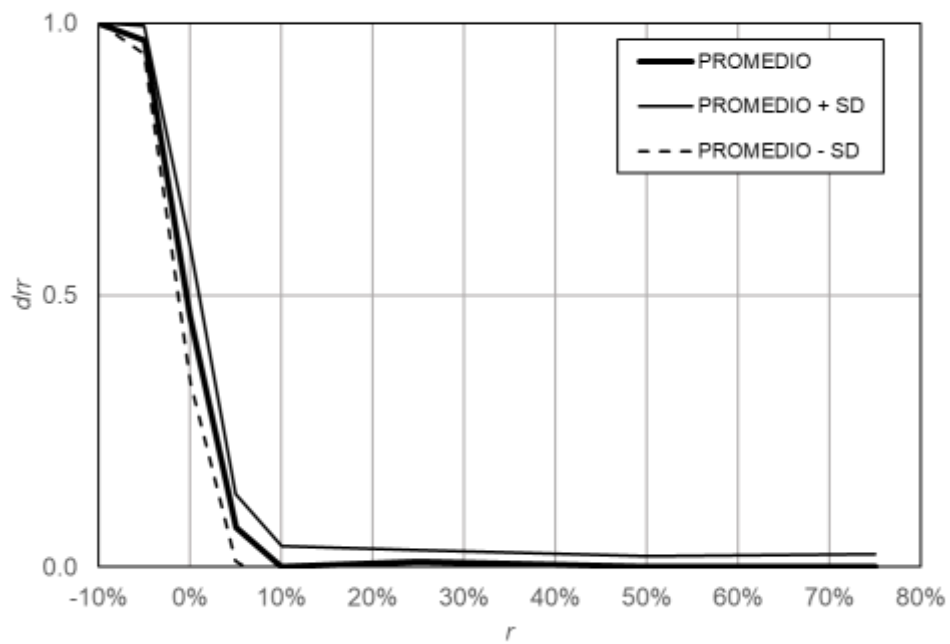


Figura 4-2: Variación de drr en función de la razón r para el promedio de resultados de todos los registros empleados (Tabla 3-1)

4.1.2 Efectos del nivel de inelasticidad

Los desplazamientos residuales tienden a incrementar a medida que el sistema se vuelve más inelástico Figura 4-3. Para evaluar este parámetro se han graficado valores drr promedios entre todos los registros en función de la razón r para factores de ductilidad de 2, 4 y 6, estos se muestran en la Figura 4-4. Como se puede observar la variación entre estas gráficas es pequeña entre las curvas para factores de ductilidad de 4 y 6. La curva correspondiente al factor de ductilidad de 2 muestra una ligera variación y esto se debe a que medida que la inelasticidad es menor, un sistema con r mayor a 0 se asemeja a un sistema con r igual a 0.

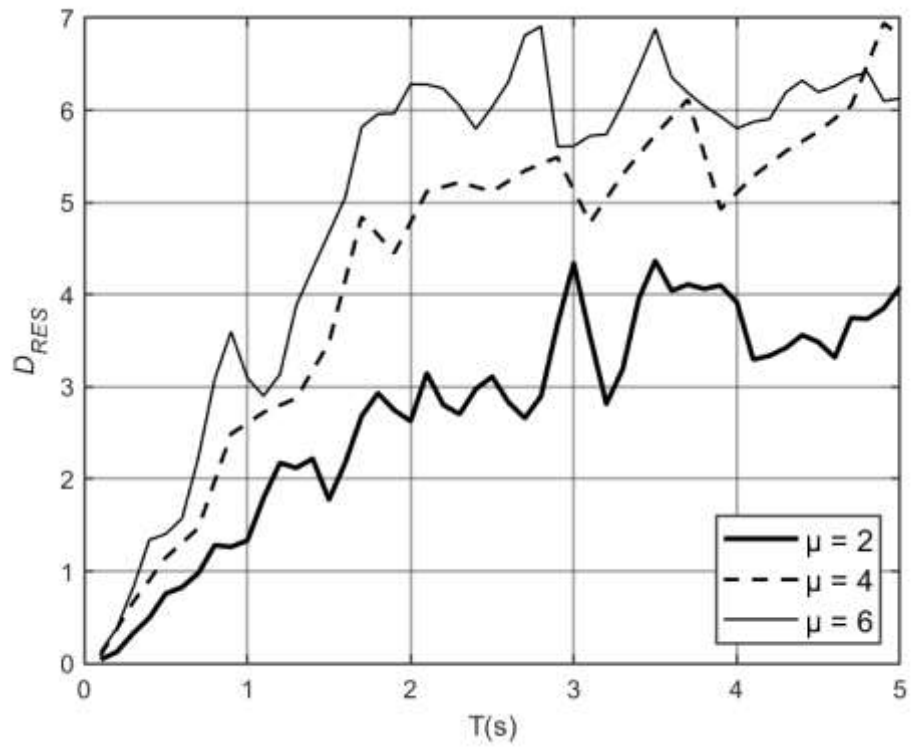


Figura 4-3: Variación de D_{RES} (promedio para el set de registros de la Tabla 3-1) en función del periodo para varios factores de ductilidad.

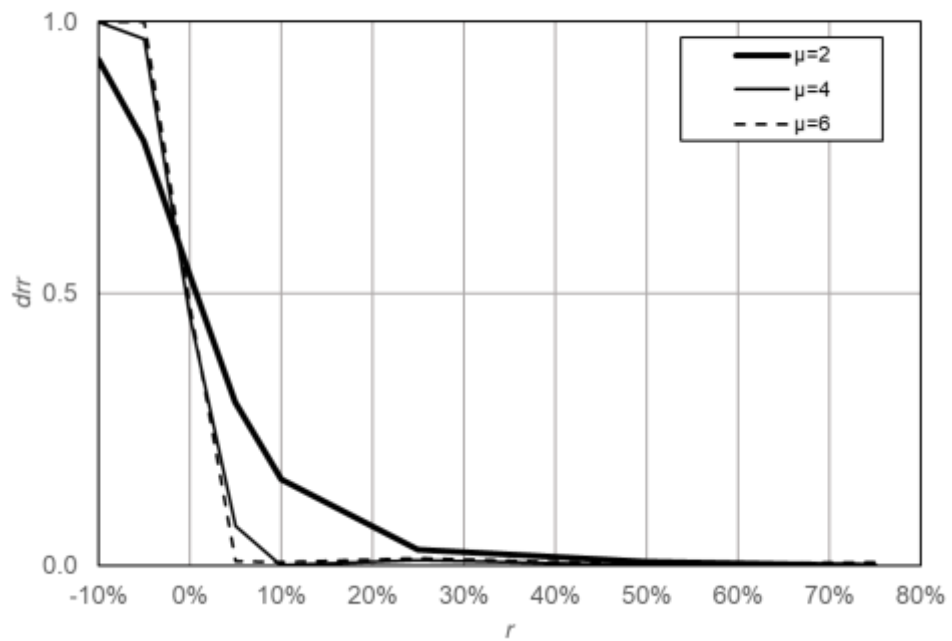


Figura 4-4: d_{rr} en función de el valor r para varios factores de ductilidad.

4.2 Evaluación de la capacidad de recentrado en aisladores.

4.2.1 Resultados organizados de acuerdo al valor r

4.2.1.1 Registros sísmicos

En los anexos A-1 a A-60 se muestran graficadas las relaciones fuerza desplazamiento para varios aisladores categorizados por diferentes valores de r , cada uno analizado para el set de registros mostrado en la Tabla 3-2. Para cada sistema analizado se presentan 10 gráficas, las cuales corresponden a los diferentes desplazamientos objetivos planteados en la sección 3.6 e incluido en las gráficas se presentan los valores D_{max} , D_{res} y D_{mr} descritos en la sección 3.3.

Los anexos B-1 a B-6 muestran los resultados obtenidos para los valores de D_{res} y drr estudiados por Kawashima y McRae (1997) y para las definiciones presentadas en este estudio (drr_3 , drr_4 , y drr_5 ver sección 3.3) en función de los desplazamientos objetivos definidos en la sección 3.6. Cada línea en la gráfica representa un registro de los presentados en la Tabla 3-2. En cada página se muestran las gráficas correspondientes a un valor de r . Como se puede observar en las gráficas, los valores de D_{res} , drr y drr_4 disminuyen a medida que incrementan el valor de r , y los valores de drr_3 y drr_5 aumentan. Esto demuestra que la capacidad de recentrada mejora a medida el valor de r aumenta, lo cual es consistente con lo expuesto en la sección 4.1.1.

Para valores de r mayores o igual al 30% y desplazamientos objetivos, D_{max} , menores a 10cm, se presentan valores altos de drr y valores bajos de drr_3 . En términos generales esto indicaría que los sistemas estudiados tienen poca capacidad de recentrado. Por otro lado, los parámetros drr_4 y drr_5 , presentan valores bajos y altos, respectivamente, para valores de r mayores a 30%, independientemente del valor de D_{max} , indicando una buena capacidad de recentrado.

En conclusión, se podría decir que las definiciones drr y drr_3 presentan variaciones importantes para situaciones específicas que no permitirían evaluar apropiadamente el recentrado de sistemas estructurales. Las

definiciones drr4 y drr5, por el contrario, proveen resultados más consistentes con la definición de recentrado

4.2.1.2 Excitaciones armónicas

Los anexos D-1 a D-6 muestran los resultados obtenidos para los valores de Dres y drr estudiados por Kawashima y McRae (1997) y para las definiciones presentadas en este estudio (drr3, drr4, y drr5 ver sección 3.3) en función de los desplazamientos objetivos definidos en la sección 3.6. Cada línea en la gráfica representa una de las 10 funciones armónicas definidas en la sección 3.1.2. En cada página se muestran las gráficas correspondientes a un valor de r .

Como se puede observar en las gráficas, los valores Dres., drr4 y drr5 muestran un incremento en la capacidad de recentrado a medida que incrementa el valor r , este resultado es similar al obtenido usando registros sísmicos. Las definiciones drr y drr3 muestran un comportamiento similar, pero en menor grado.

A partir de un valor $r = 10\%$ (Anexo D-3 a Anexo D-6) y de valores de desplazamiento objetivo mayores a 10 o 15cm, se puede observar que las definiciones Dres, drr, drr3, drr4 y drr5 muestran una mejora en la capacidad de recentrado. Entre los anexos D -1 a D-2 y los anexos D-3 a D-6, pareciera que existen dos tipos de comportamientos, uno aleatorio para el primer set y uno más controlado y homogéneo para el segundo set.

4.2.2 Resultados organizados de acuerdo a la excitación

4.2.2.1 Registros sísmicos

Los anexos C-1 a C-10 muestran los resultados obtenidos para los valores de Dres y drr estudiados por Kawashima y McRae (1997) y los parámetros presentados en este estudio (drr3, drr4, y drr5 ver Sección 3.3) en función de los desplazamientos objetivos definidos en la sección 3.6. Cada línea en la gráfica representa un valor de r ($K2/K1$). En cada página se muestran las gráficas correspondientes a un registro de los presentados en la Tabla 3-2.

Se puede notar que, para un mismo registro, los parámetros drr4 y drr5 presentan menos variaciones que los parámetros drr y drr3.

Para la mayoría de los registros, los valores de drr4 y drr5 sufren pocas variaciones en función de los valores de r ($K2/K1$). El registro que presentó mayores dispersiones fue AMNTE para valores de r de 5% y 10%. Luego los registros AGYEE y AMA1E presentan cierta dispersión para valores de D_{max} mayores a 25cm y entre 10 y 35cm, respectivamente, para valores de r de 5% y 10%. Los registros APEDE, APO1E y PDNSE, presentan ciertas dispersiones para valores de D_{max} menores a 10cm para valores de r de 5%. El resto de los registros (AAM2E, ACHNE, AGY1E, y AGY2E) muestran resultados similares, independientes al valor de r y el valor de D_{max} . En conclusión, los parámetros drr4 y drr5 o la capacidad de recentrado sería dependiente de la excitación (registro sísmico) en primer lugar, y luego de la relación r si este es menor a 10%.

4.2.2.2 Excitaciones armónicas

Los anexos E-1 a E-10 se muestran los resultados obtenidos para los valores de D_{res} y drr estudiados por Kawashima y McRae (1997) y para las definiciones presentadas en este estudio (drr3, drr4, y drr5 ver sección 3.3) en función de los desplazamientos objetivos definidos en la sección 3.6. Cada línea en la gráfica representa un aislador en términos de su valor r . En cada página se muestran las gráficas correspondientes al valor del periodo de excitación T_{exc} (sección 2.4.2).

Al igual que en los análisis previos, a medida que el valor r incrementa las deformaciones residuales; D_{res} ; y las deformaciones residuales normalizadas, drr, drr3, drr4 y drr5 presentan una mejora en la capacidad de recentrado.

La diferencia en comportamientos entre sistemas con un valor r mayor a 10%, descrita en la sección 4.2.1.2, es más notoria en esta organización de resultados.

4.3 Comparación de resultados con el criterio de la Norma ASCE 7-16

En la sección 2.3.1 se presentó el criterio de la Norma ASCE7-16 para la definición de “fuerza restitutiva” la cual está ligada a la capacidad de recentrado. La capacidad de recentrado, según el criterio del ASCE7-16, está en función del valor r y D_{max} . En los anexos C-1 a C-10, se indica con línea punteada azul los límites de D_{max} con su correspondiente valor de r , de tal forma que para valores de D_{max} mayores a los límites la estructura en estudio tendría capacidad de centrado.

De acuerdo con el criterio de la norma, un aislador con r igual a 5% posee capacidad de recentrado para desplazamientos objetivos iguales o mayores a 30cm, y un aislador con r igual a 10% para 20 cm en adelante. De acuerdo a los resultados obtenidos, este no siempre es el caso, ya que para los registros AMNTE, APEDE y AGYE, estos aisladores alcanzan sus máximas deformaciones residuales (D_{res}) a partir de estos desplazamientos.

Por otro lado, si se obvia la dispersión de resultados para desplazamientos objetivos menores a 10 cm, para un aislador con r igual a 40% o 30%, se observa consistencia entre la especificación de la norma y los resultados obtenidos para todas las definiciones de capacidad de recentrado propuestas (sección 3.3), incluyendo las definiciones propuestas por Kawashima y McRae (1997).

En conclusión, la norma presenta un criterio para la capacidad de recentrado basado en fuerzas, el cual, basándose en los resultados obtenidos, resulta ineficaz para proveer una capacidad de recentrado apropiada a un sistema de aislación sísmica.

CAPÍTULO 5

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Los resultados obtenidos en este estudio usando los parámetros propuestos por Kawashima y McRae (1997) son consistentes con los resultados de los autores. La razón de rigidez post-elástica a rigidez elástica r parece ser el parámetro más influyente en la capacidad de recentrado de sistemas de un grado de libertad con comportamiento histerético.
- La definición propuesta para la capacidad de recentro por Kawashima y McRae (1997), d_{rr} , presentan variaciones importantes para situaciones específicas que no permitirían evaluar de forma apropiada la capacidad de recentrado de sistemas estructurales. Las definiciones propuestas en este estudio d_{rr4} y d_{rr5} , por el contrario, proveen resultados más consistentes
- A partir de los resultados con excitaciones armónicas se puede concluir que, los parámetros d_{rr4} y d_{rr5} o la capacidad de recentrado sería dependiente de la excitación (registro sísmico) en primer lugar, luego de la relación r si este es menor a 10%.
- Según los resultados obtenidos, la norma ASCE 7-16 no provee de manera precisa a los aisladores con capacidad de recentrado.
- De acuerdo a las definiciones para la capacidad de recentrado presentadas en función de los desplazamientos máximo-objetivos, la capacidad de recentrado es más crítica para desplazamientos menores a 30 cm y periodos de excitación altos.

5.2 Recomendaciones

- Presentar los resultados para las definiciones de recentrado adoptadas, en función de los periodos efectivos de los aisladores en busca de algún efecto de resonancia.
- Evaluar sistemas de un grado de libertad con otros tipos de histéresis.
- Usar un paso más pequeño tanto para los desplazamientos objetivos, como para los valores r para una mejor precisión en resultados
- Proponer nuevas definiciones de recentrado

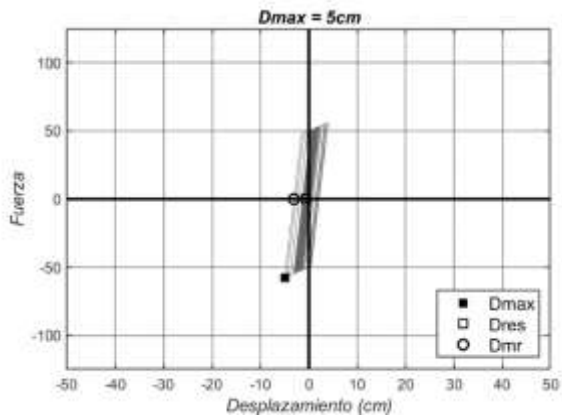
REFERENCIAS

- ASCE 7. (2016). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.
- Base de datos de Registros Acelerográficos de la Red Sísmica Mexicana. (n.d.).
Retrieved from <http://aplicaciones.iingen.unam.mx/AcelerogramasRSM/>
- Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de estructuras*. México: Pearson.
- Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (n.d.). Retrieved from
<http://www.igeptn.edu.ec/informes-sismicos/sismicos-especiales/sisme-2016/14805-informe-sismico-especial-n-18-2016/file>
- Katsaras CP, Panagiotakos TB, Koliass B (2008). *Restoring capability of bilinear hysteretic systems*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 37;557-575
- Kawashima and Mc Rae (1997). *Post earthquake residual displacement of bilinear oscillators*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 26(7):701-716.
- Riddell R, Newmark Nm (1979). *Statistical analysis of the response of nonlinear systems subjected to earthquakes*. Research Report 468. University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana.
- Ruiz-Garcia J, Miranda E (2006a). Residual displacement ratios of SDOF systems subjected to near-fault ground motion. Proceedings of the 8th. US National conference on Earthquake Engineering, EERI, Paper No. 380, San Francisco, California.

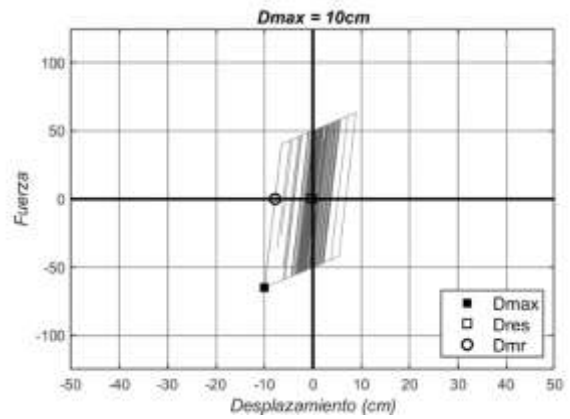
ANEXOS

Anexo A: *Comportamiento histerético (fuerza vs deformación) para varios desplazamientos objetivos (sección 3.6), de varios sistema de un grado de libertad caracterizados por su relación de rigidez post-elástica a rigidez elástica (r), organizados de acuerdo al set de registros (tabla 3.1.1) para los cuales fueron analizados. (a) $D_{max}=5cm$ (b) $D_{max}=10cm$ (c) $D_{max}=15cm$ (d) $D_{max}=20cm$ (e) $D_{max}=30cm$ (f) $D_{max}=35cm$ (g) $D_{max}=40cm$ (h) $D_{max}=45cm$ (i) $D_{max}=50cm$.*

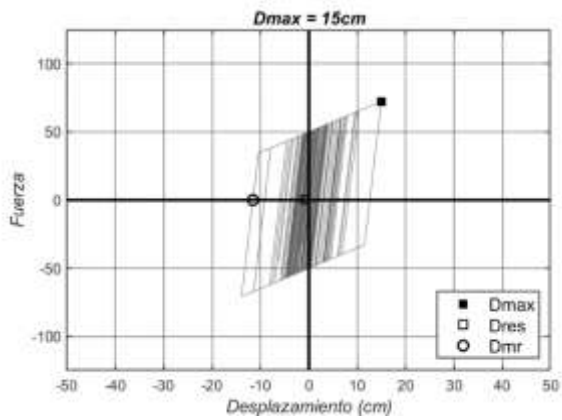
Anexo A-1: Registros AAM2E, SUGL con $r = 5\%$



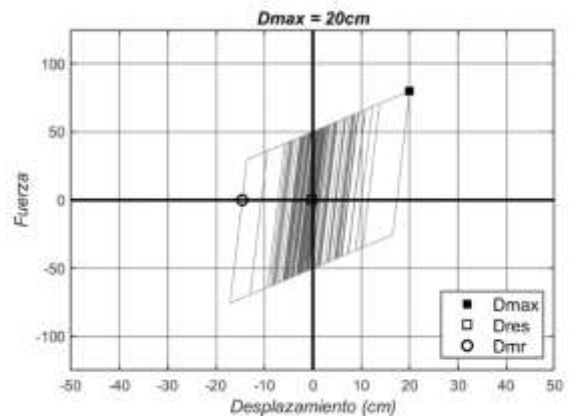
(a)



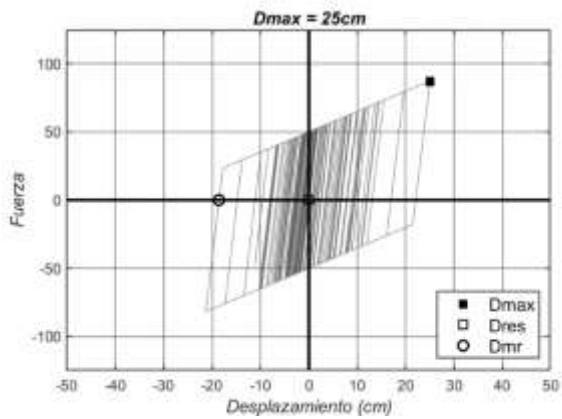
(b)



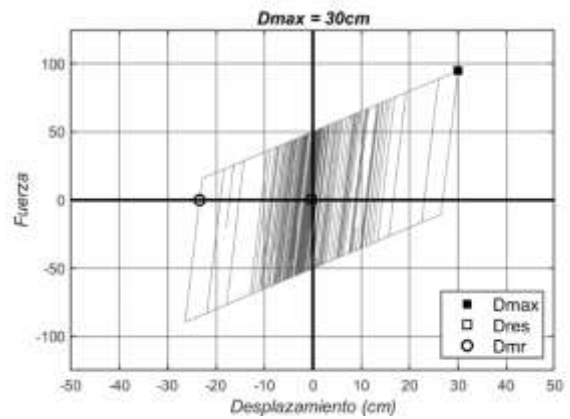
(c)



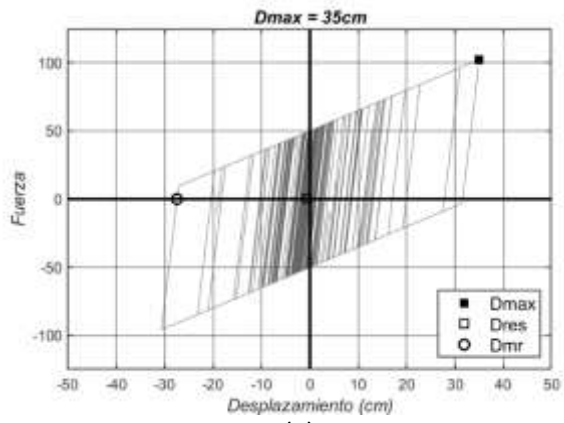
(d)



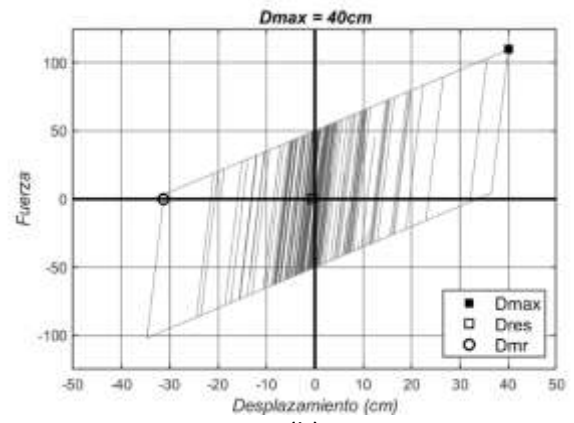
(e)



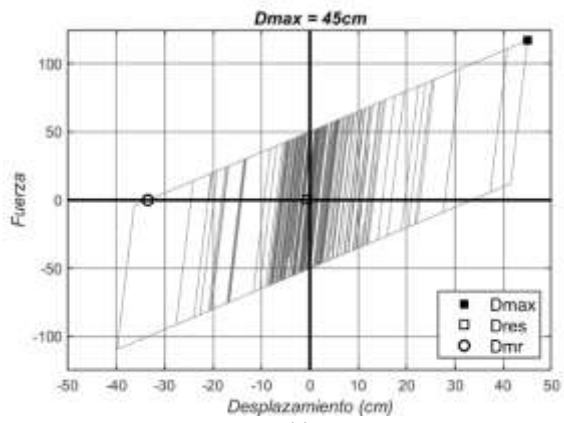
(f)



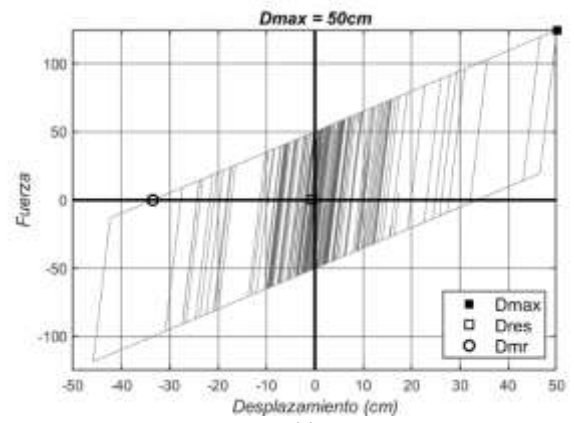
(g)



(h)

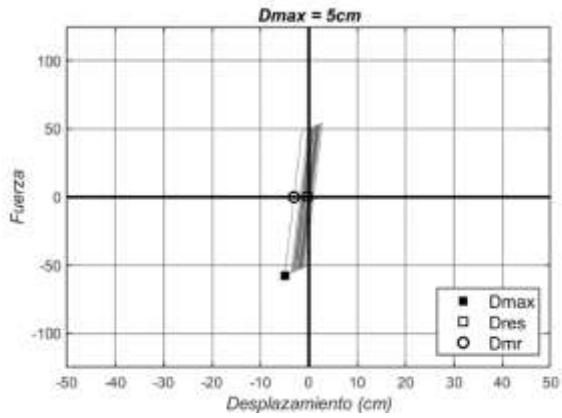


(i)

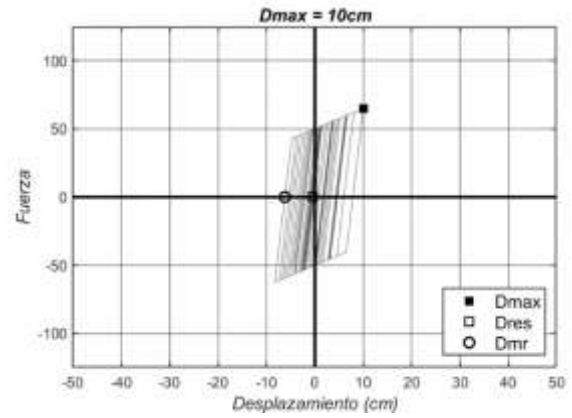


(j)

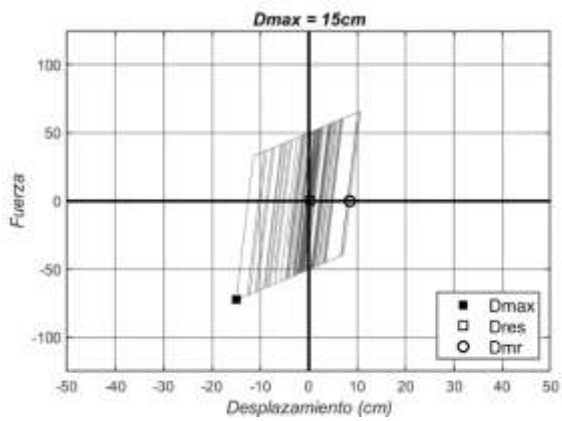
Anexo A-2: Registros ACHNE, SUGL con $r = 5\%$



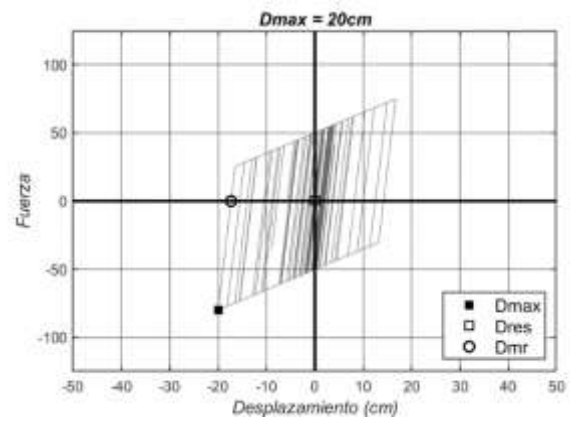
(a)



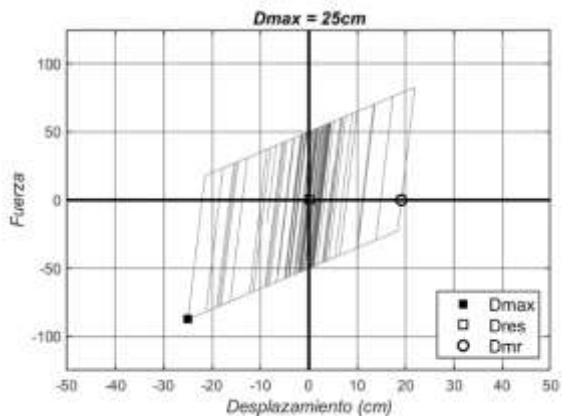
(b)



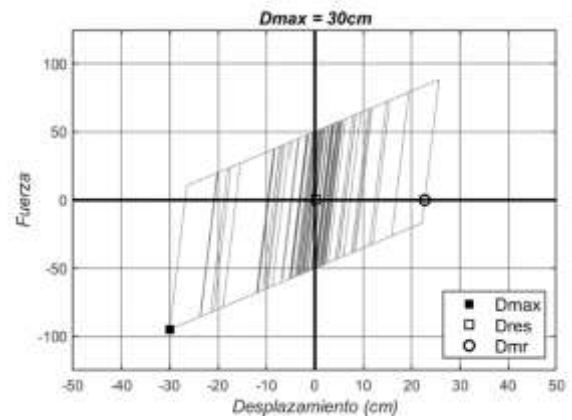
(c)



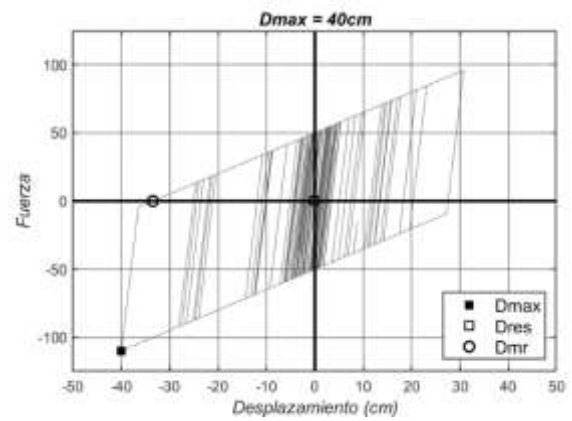
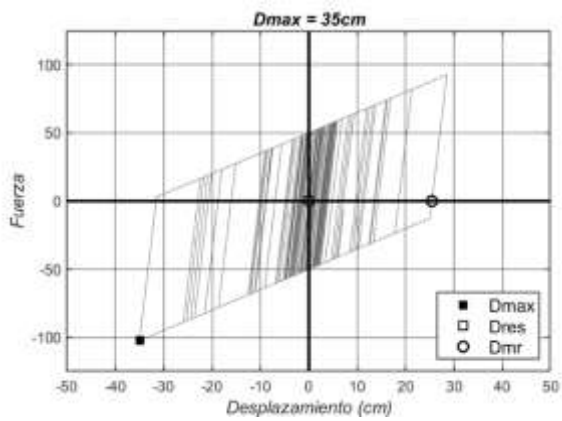
(d)



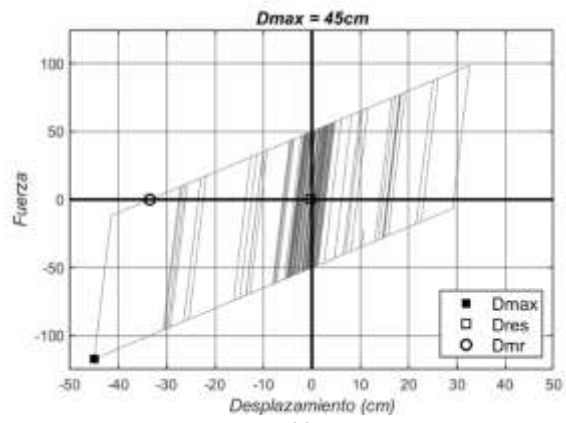
(e)



(f)

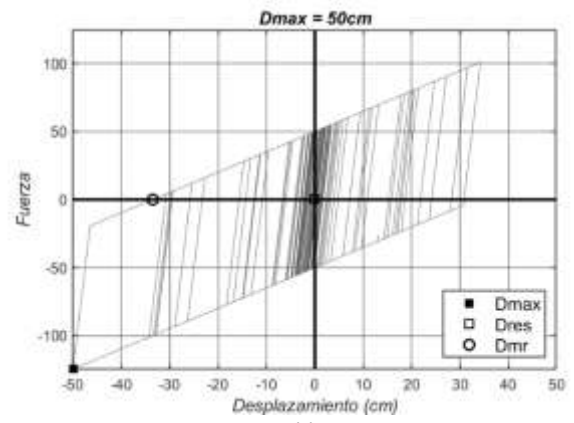


(g)



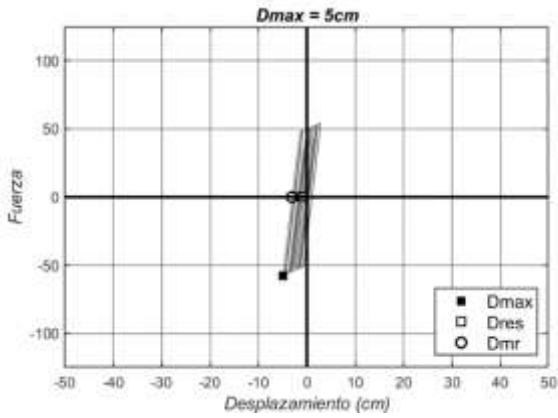
(i)

(h)

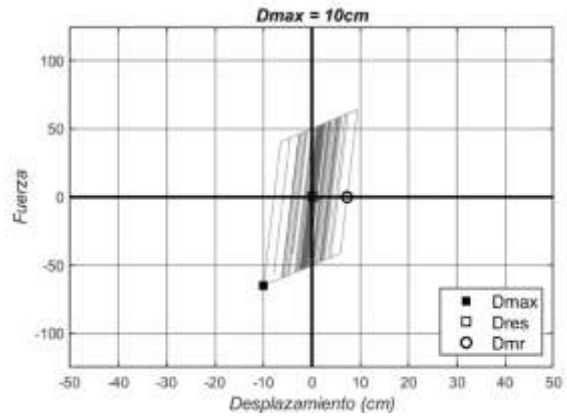


(j)

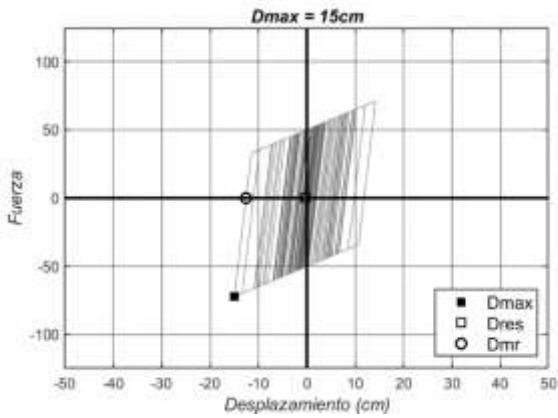
Anexo A-3: Registros AGY1E, SUGL con $r = 5\%$



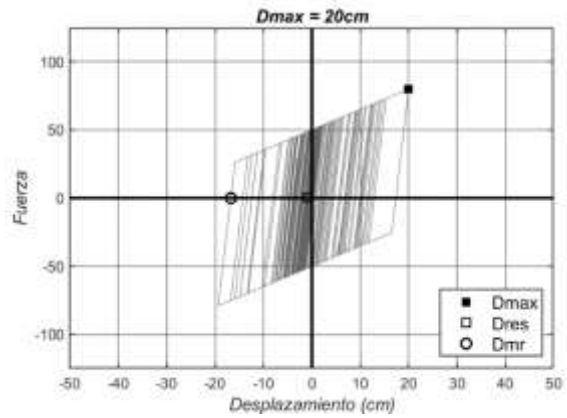
(a)



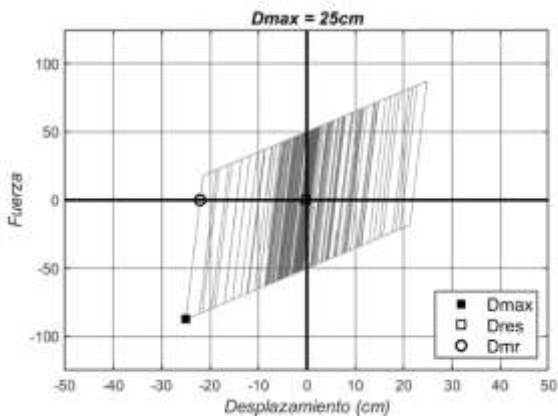
(b)



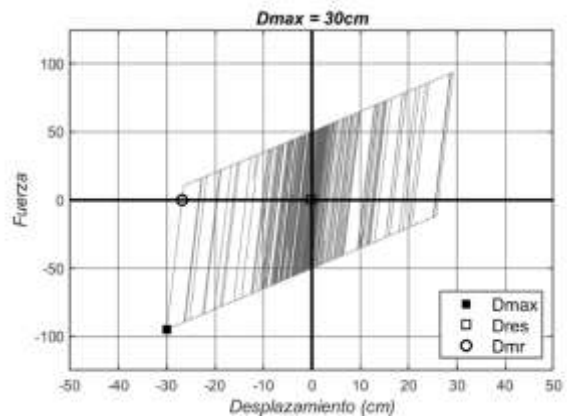
(c)



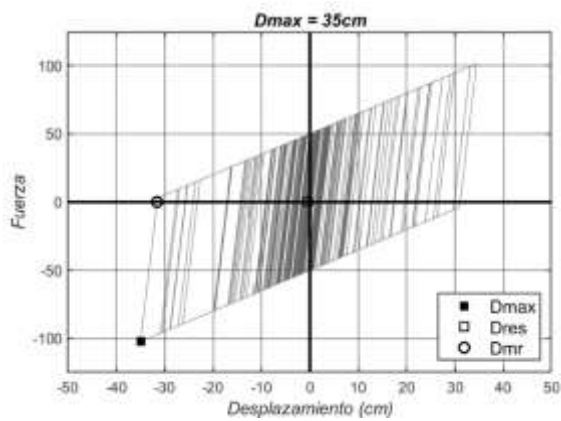
(d)



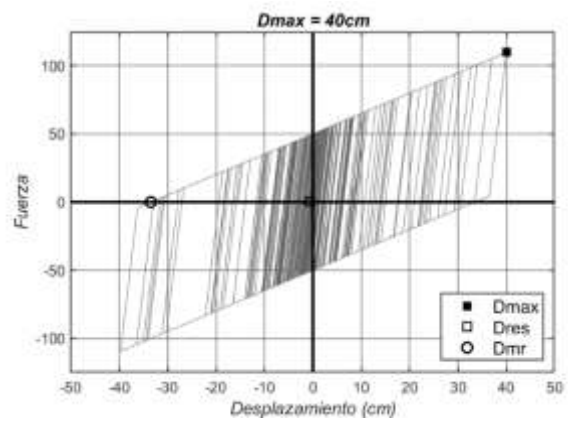
(e)



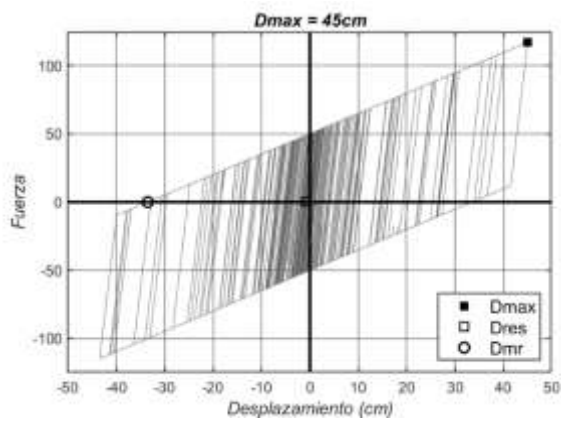
(f)



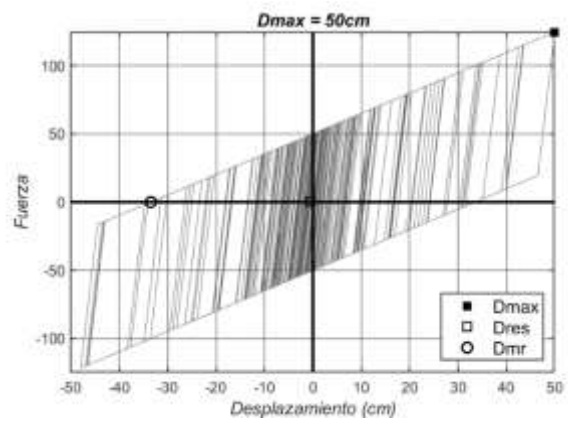
(g)



(h)

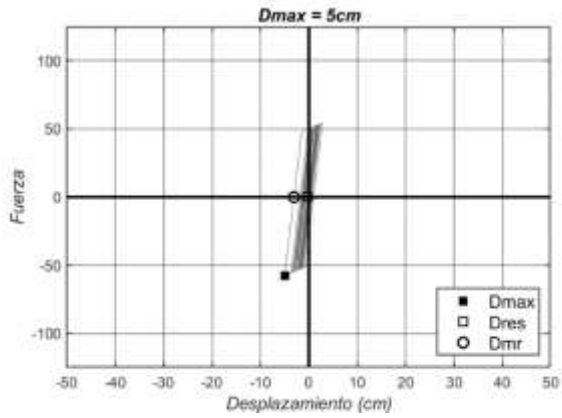


(i)

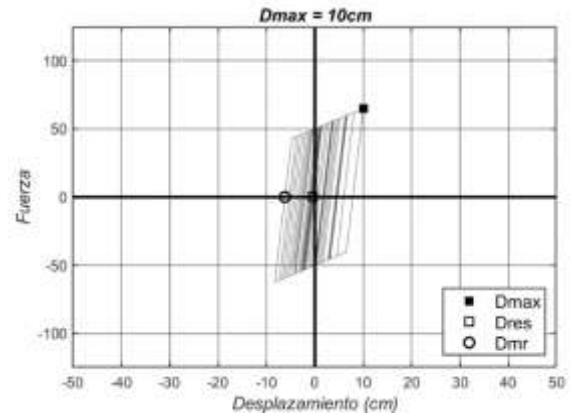


(j)

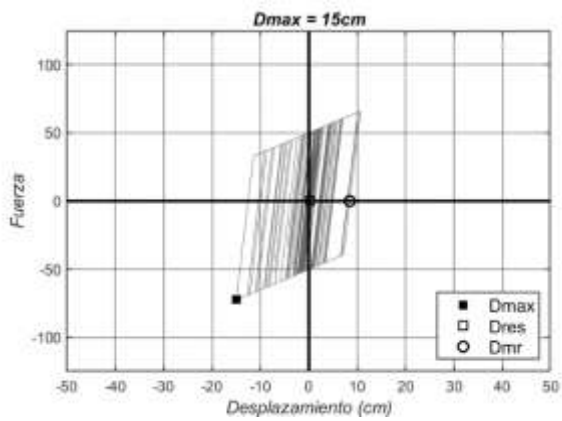
Anexo A-4: Registros ACHNE, SUGL con $r = 5\%$



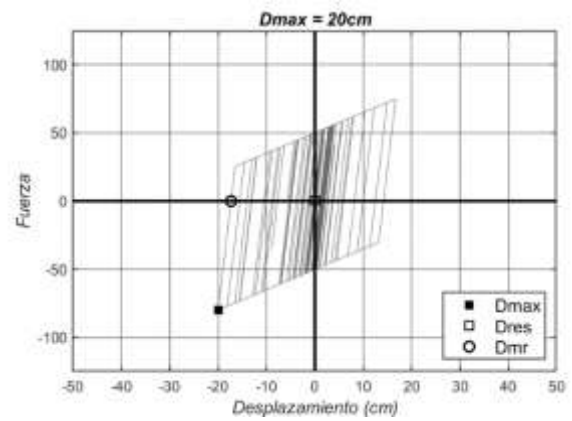
(a)



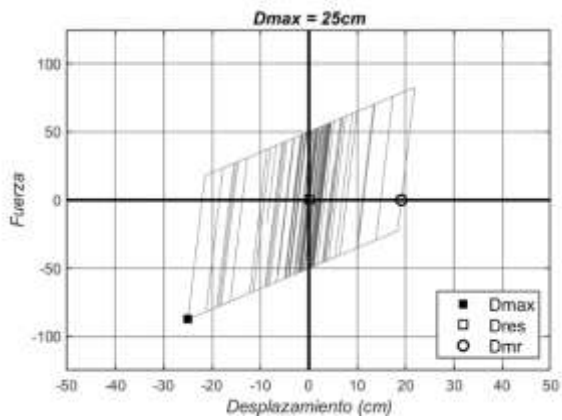
(b)



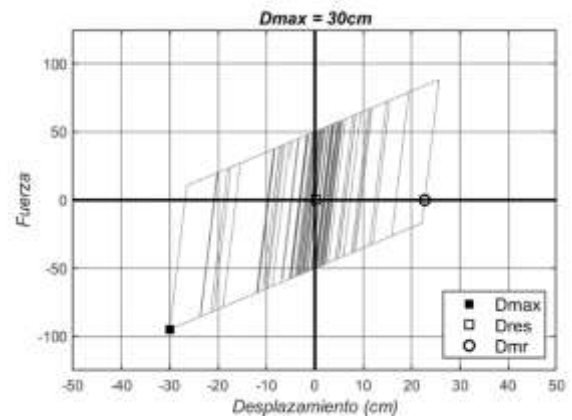
(c)



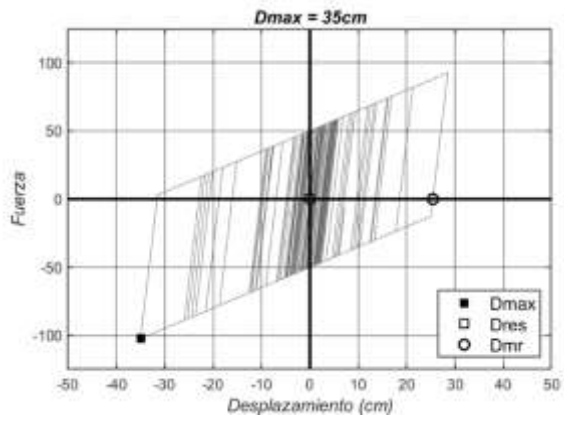
(d)



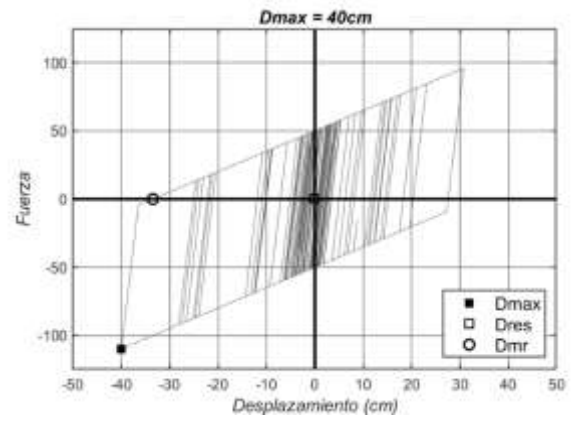
(e)



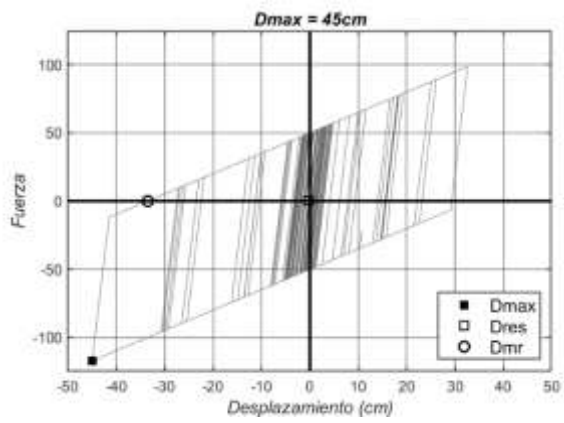
(f)



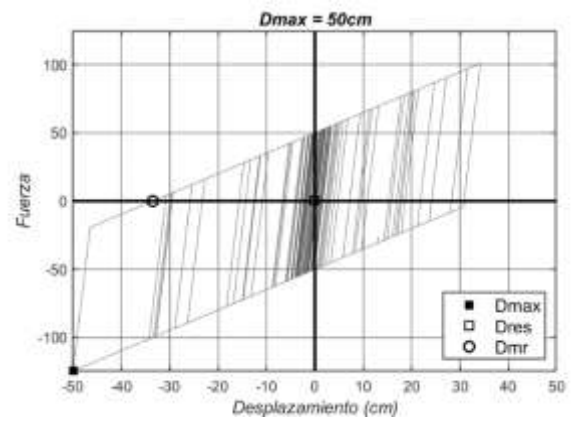
(g)



(h)

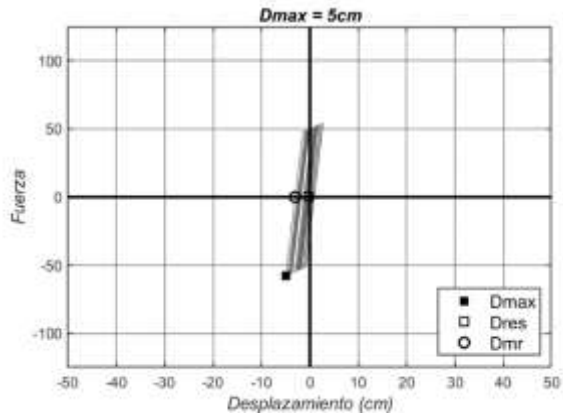


(i)

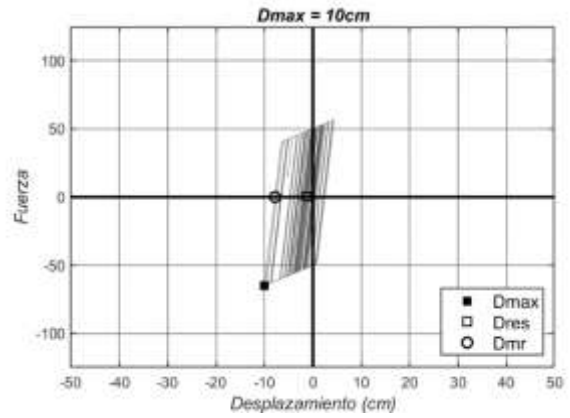


(j)

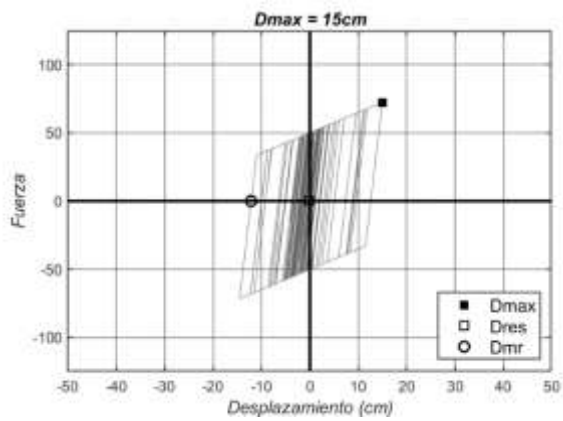
Anexo A-5: Registros AGYEE, SUGL con $r = 5\%$



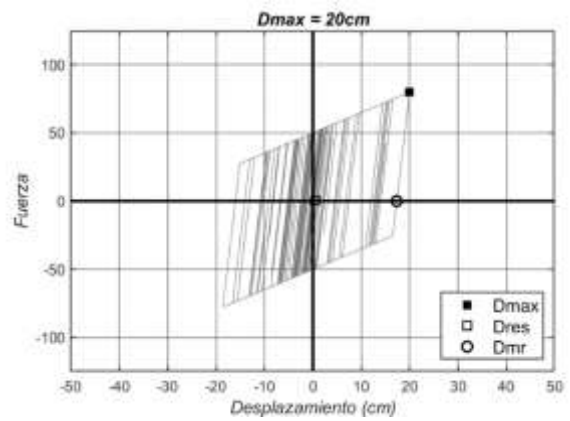
(a)



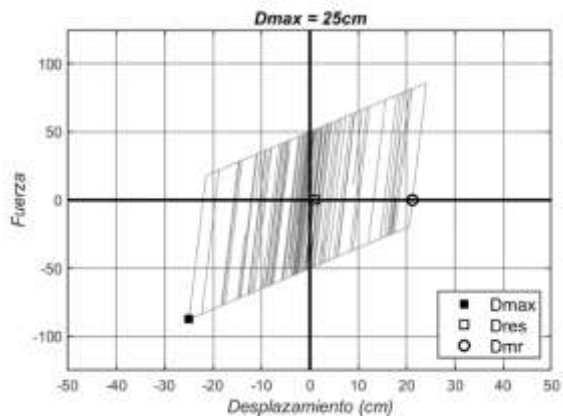
(b)



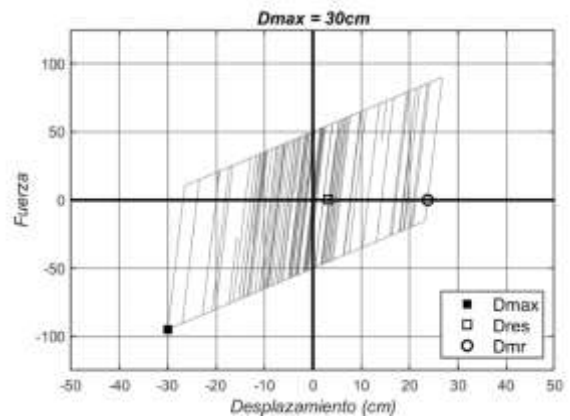
(c)



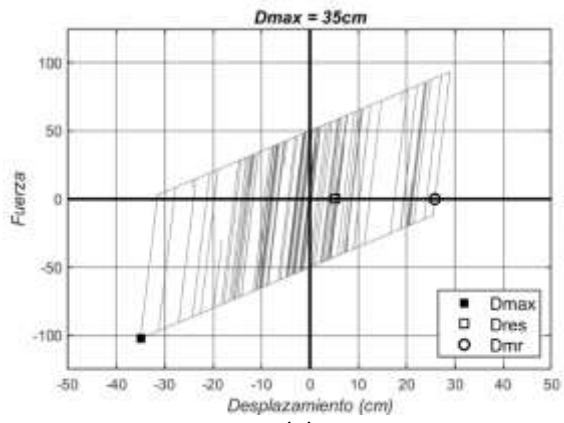
(d)



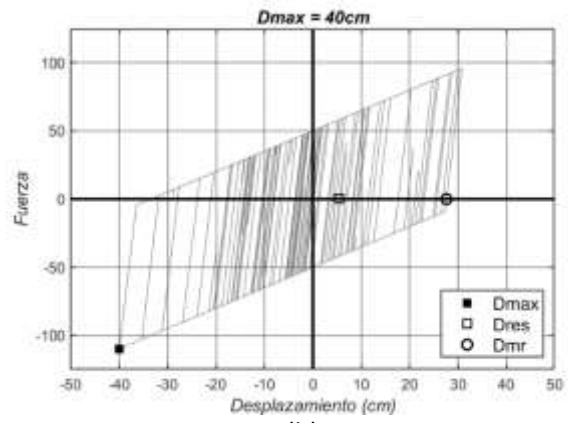
(e)



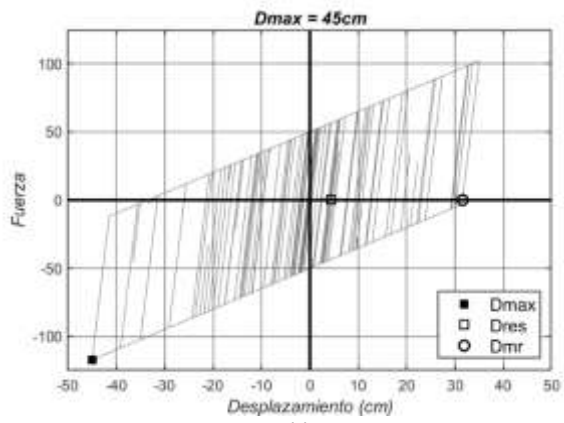
(f)



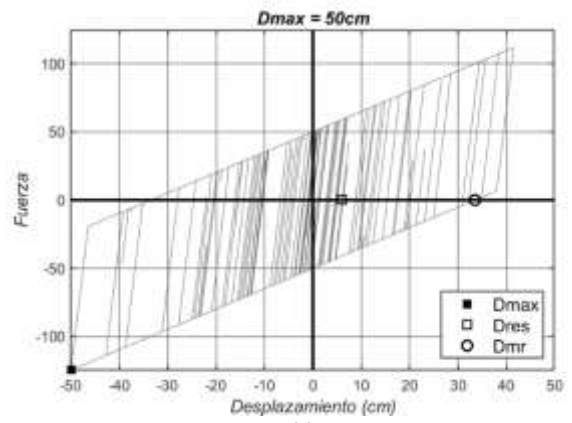
(g)



(h)

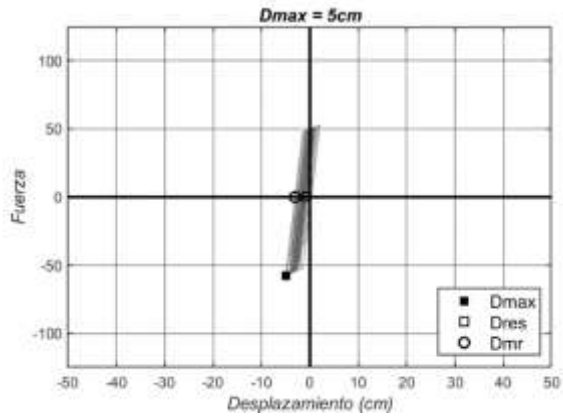


(i)

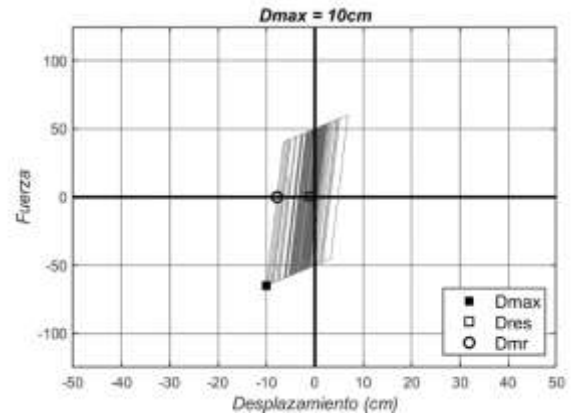


(j)

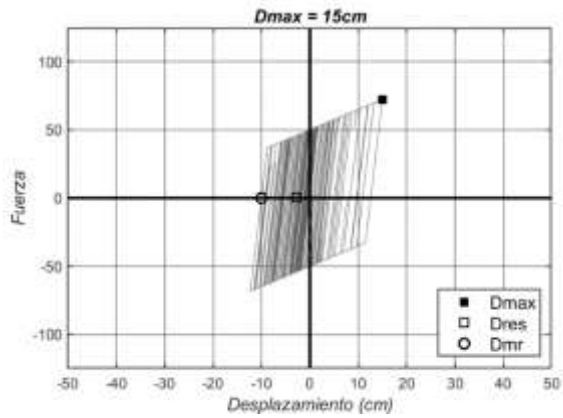
Anexo A-6: Registros AMA1E, SUGL con $r = 5\%$



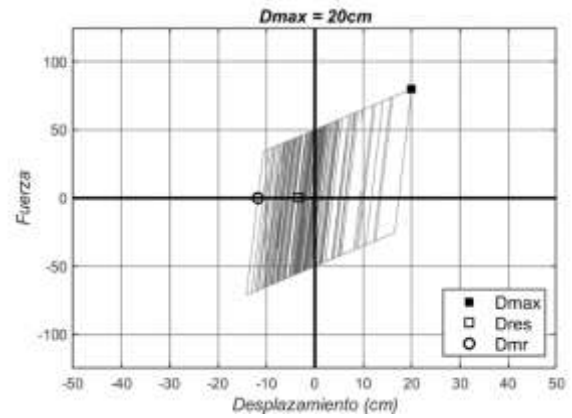
(a)



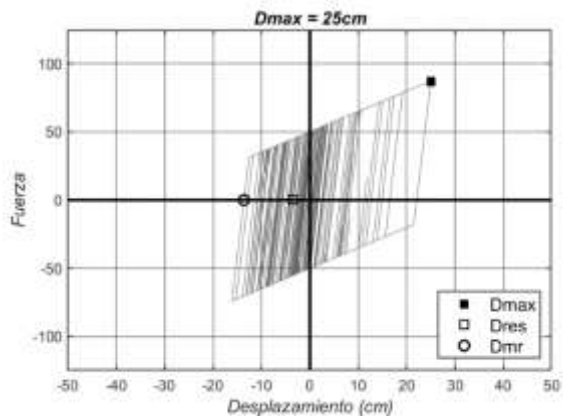
(b)



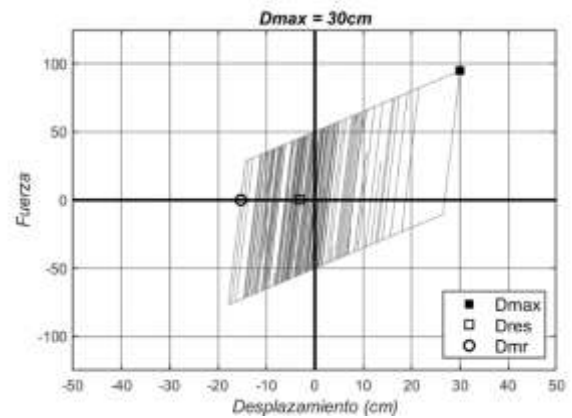
(c)



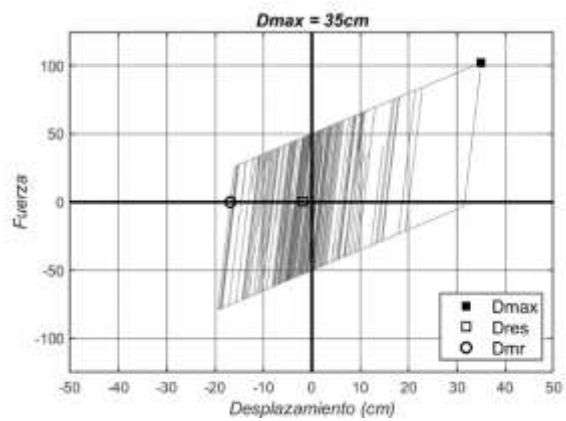
(d)



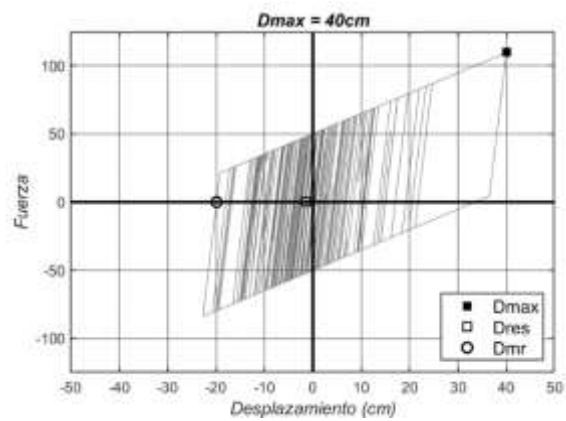
(e)



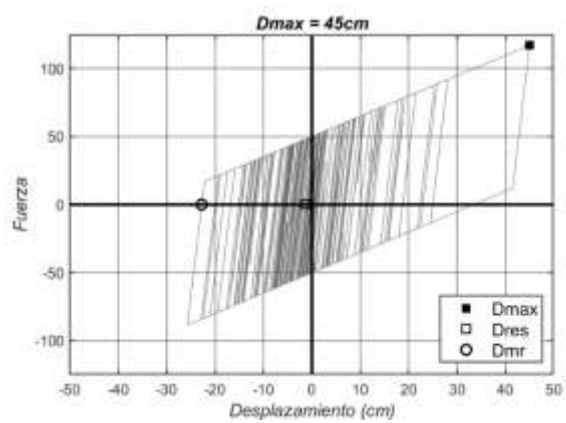
(f)



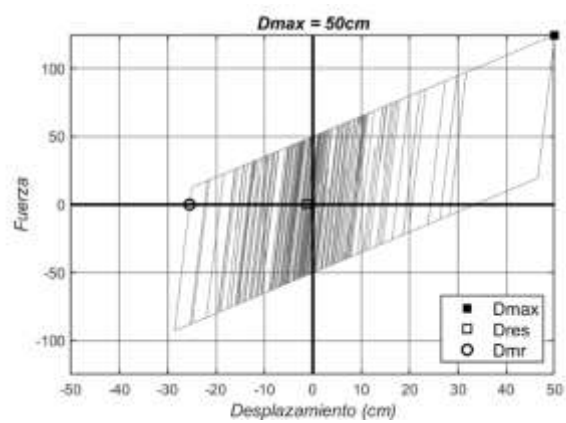
(g)



(h)

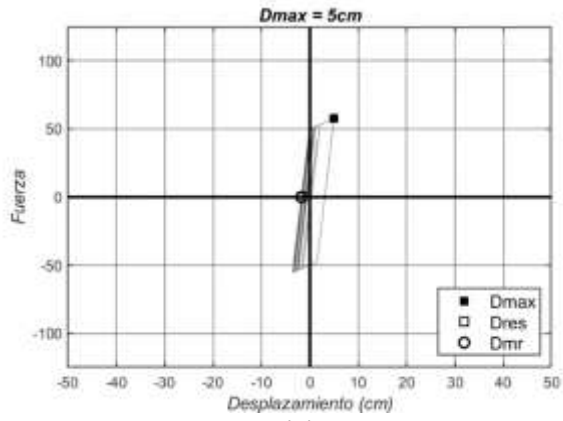


(i)

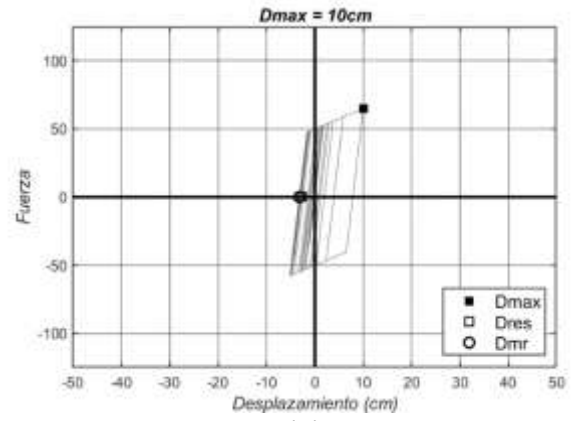


(j)

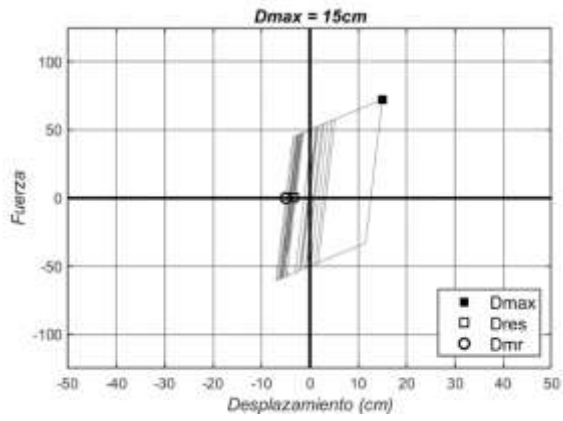
Anexo A-7: Registros AMNTE, SUGL con $r = 5\%$



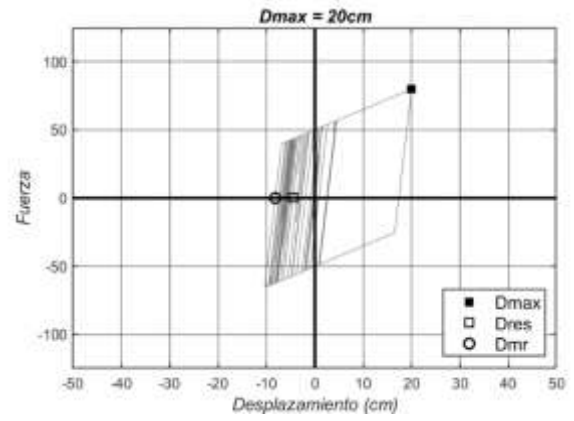
(a)



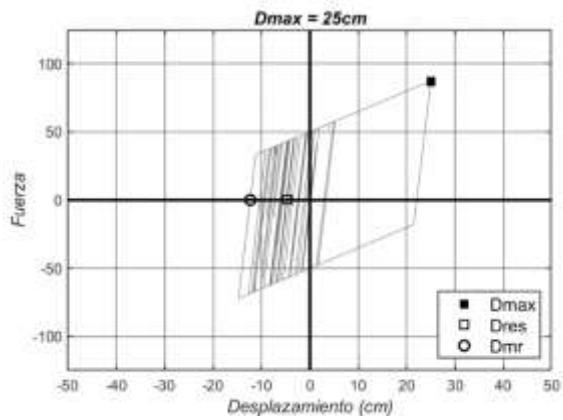
(b)



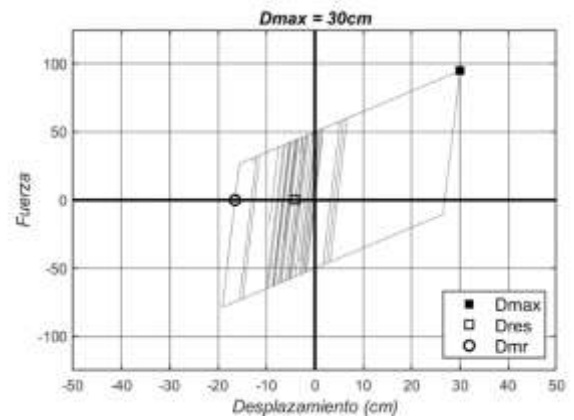
(c)



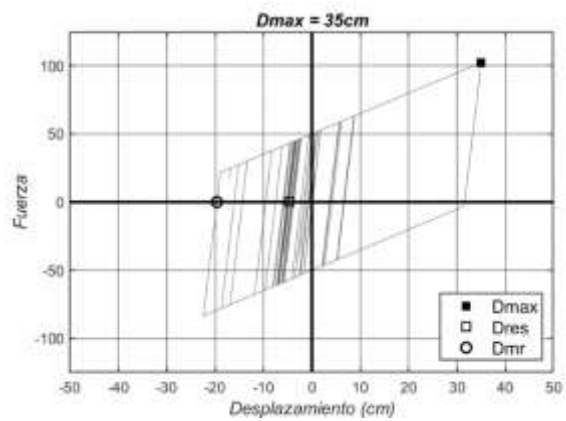
(d)



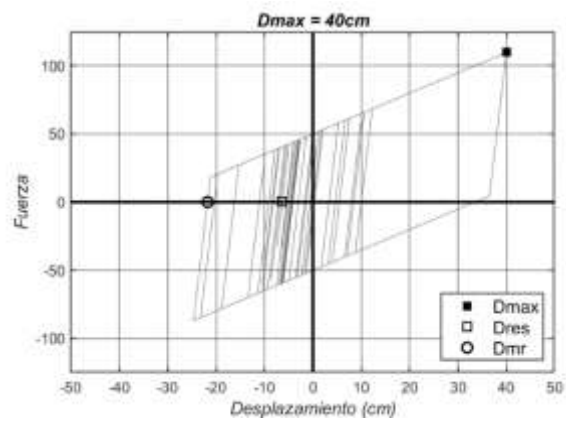
(e)



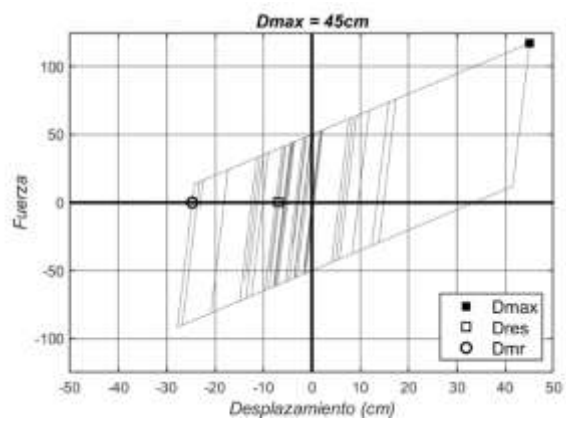
(f)



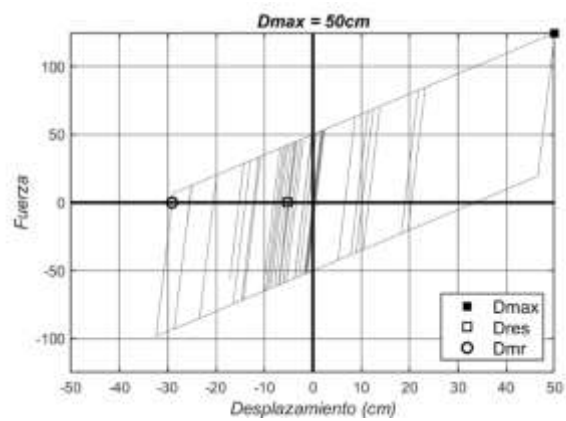
(g)



(h)

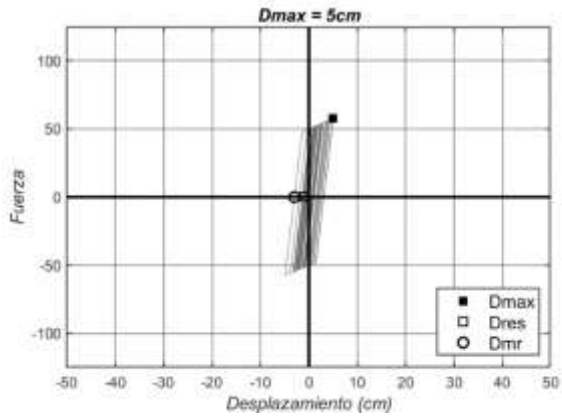


(i)

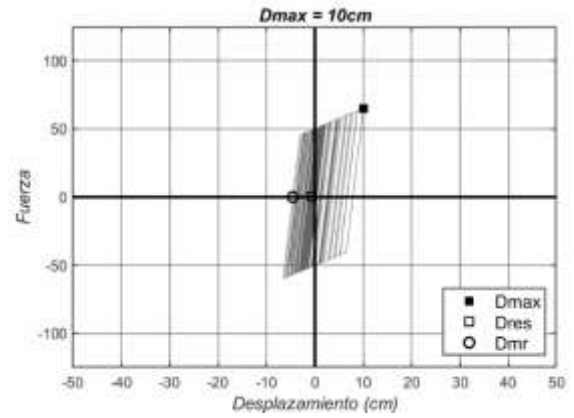


(j)

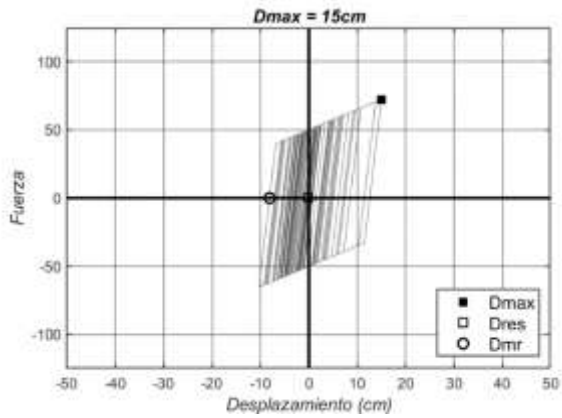
Anexo A-8: Registros APEDE, SUGL con $r = 5\%$



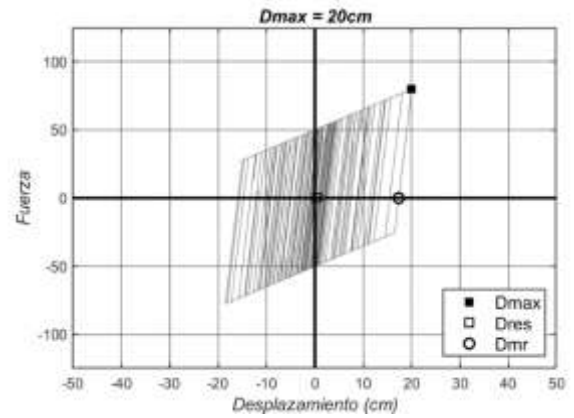
(a)



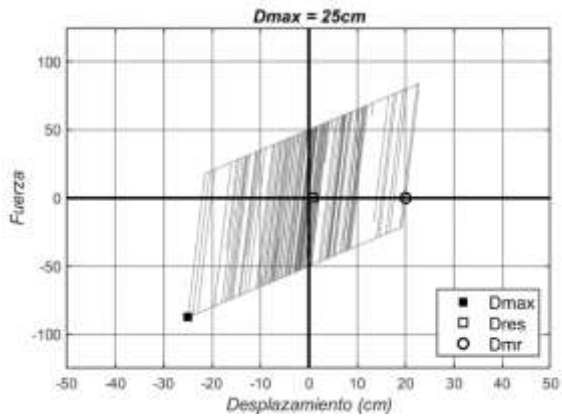
(b)



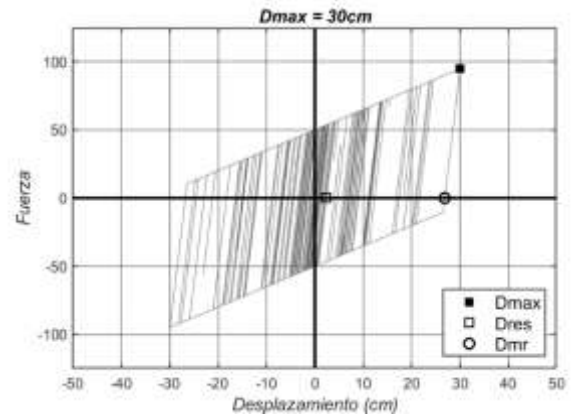
(c)



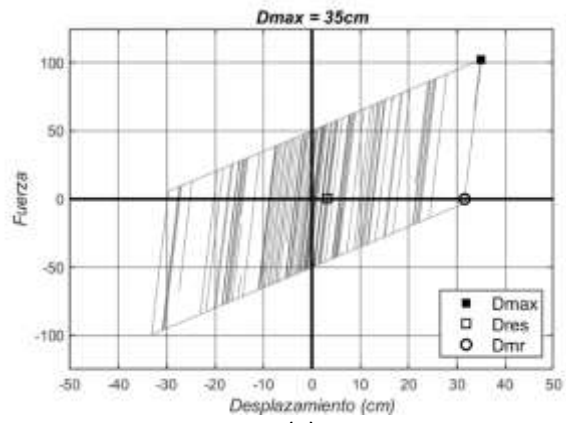
(d)



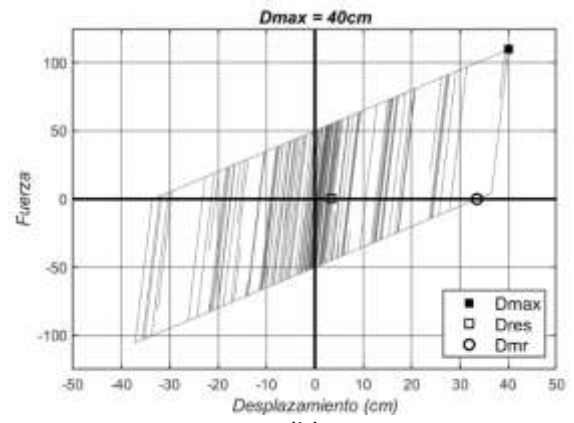
(e)



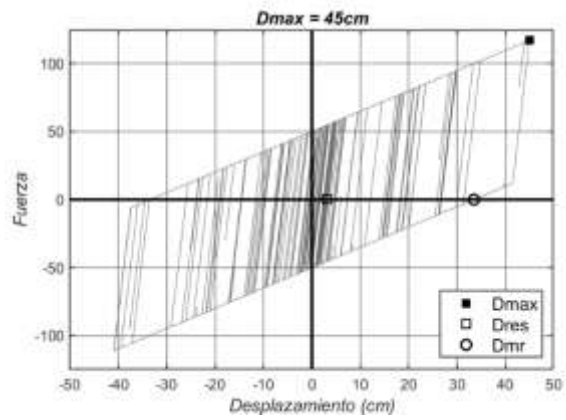
(f)



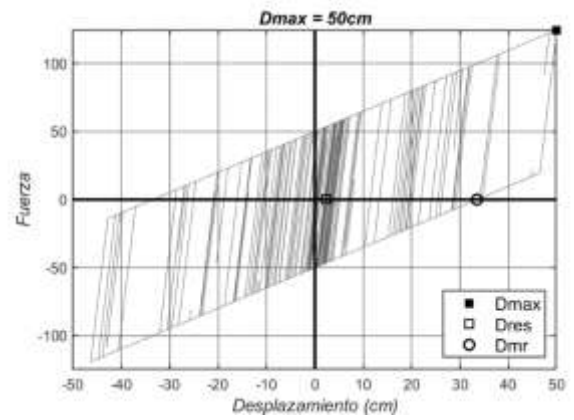
(g)



(h)

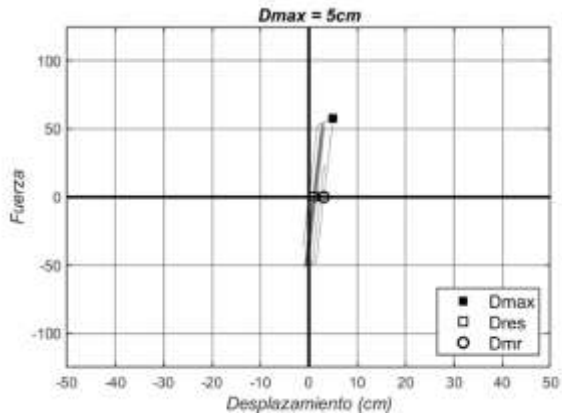


(i)

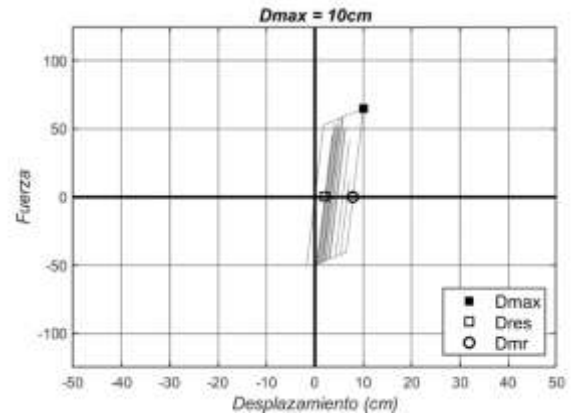


(j)

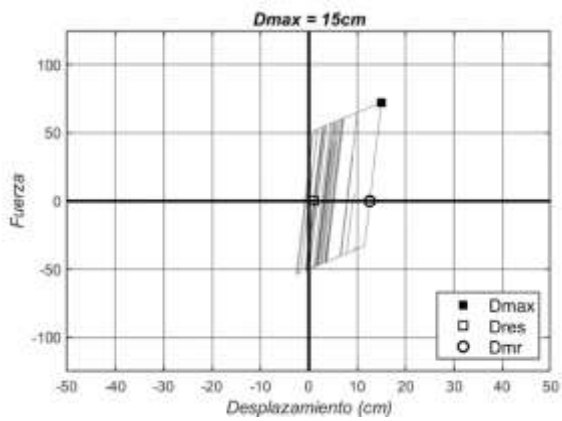
Anexo A-9: Registros APO1E, SUGL con $r = 5\%$



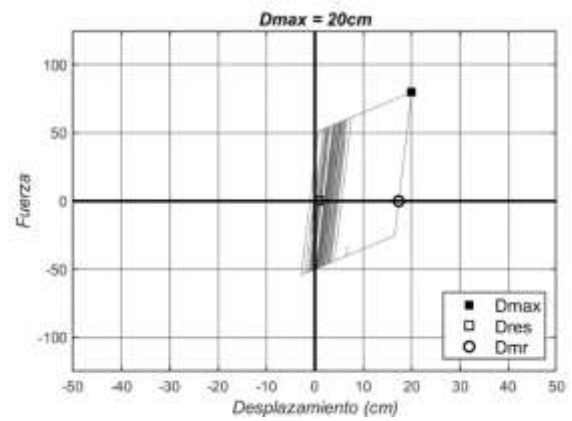
(a)



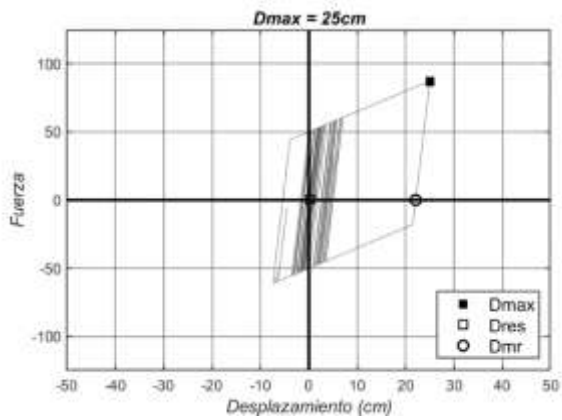
(b)



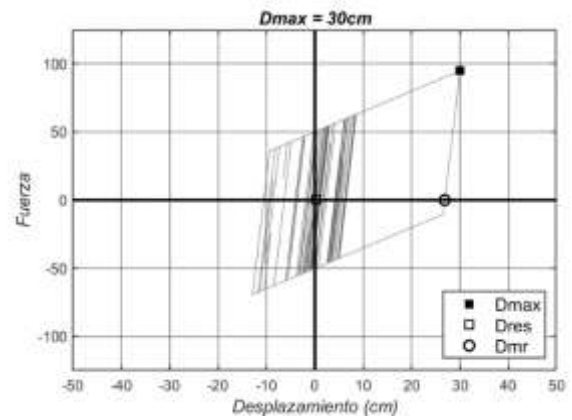
(c)



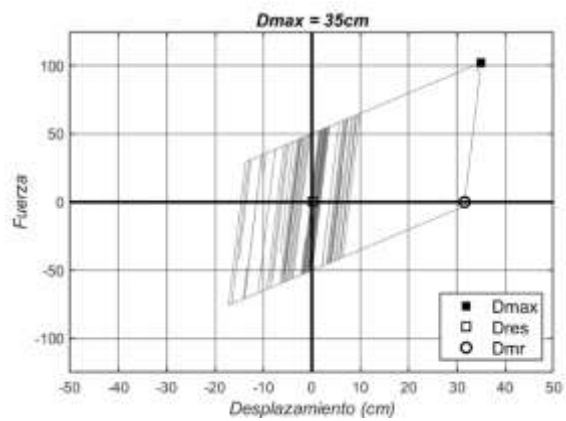
(d)



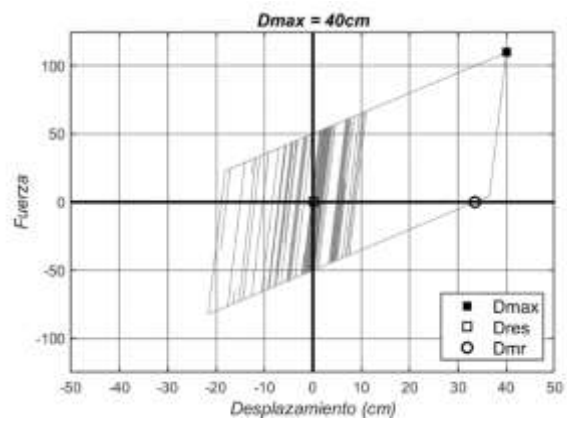
(e)



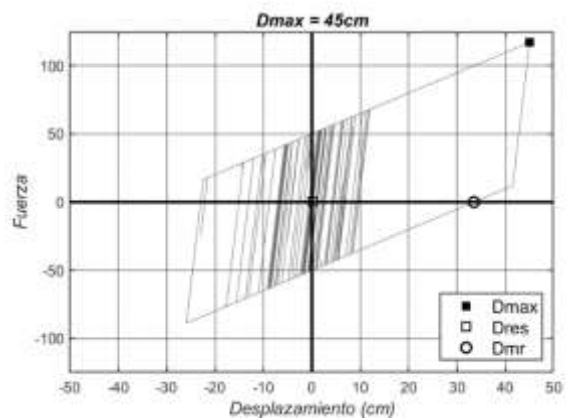
(f)



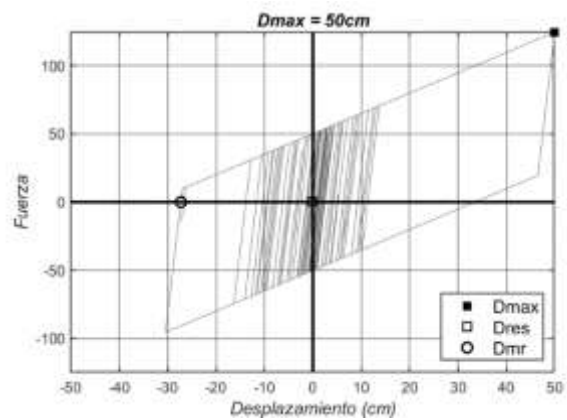
(g)



(h)

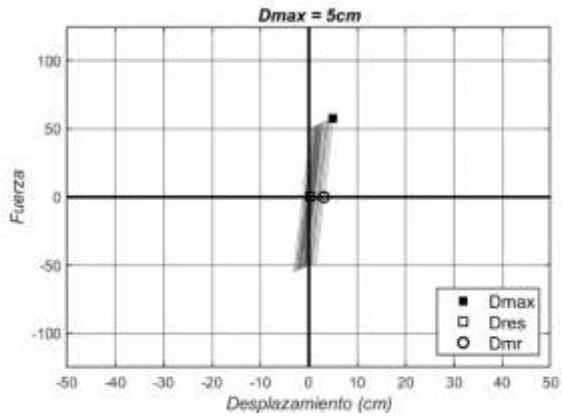


(i)

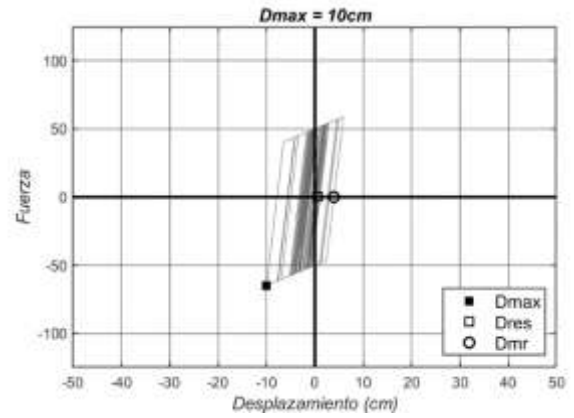


(j)

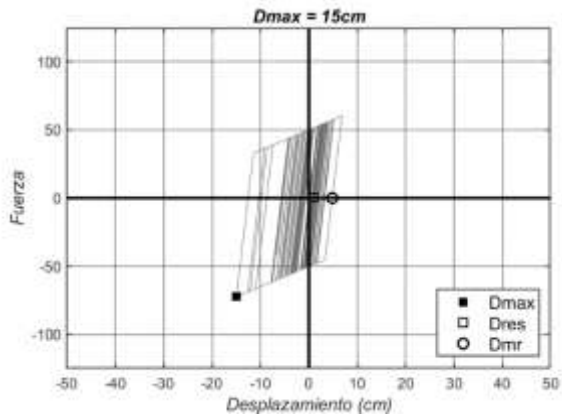
Anexo A-10: Registros PDNSE, SUGL con $r = 5\%$



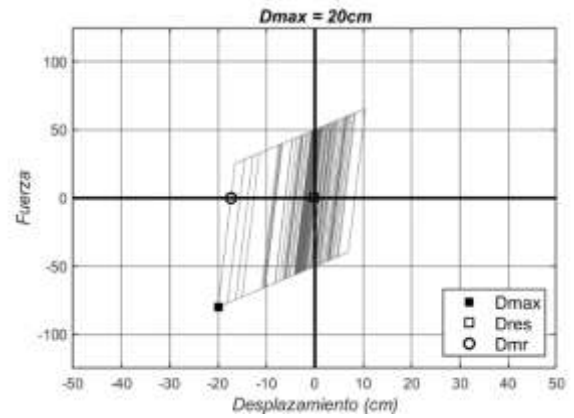
(a)



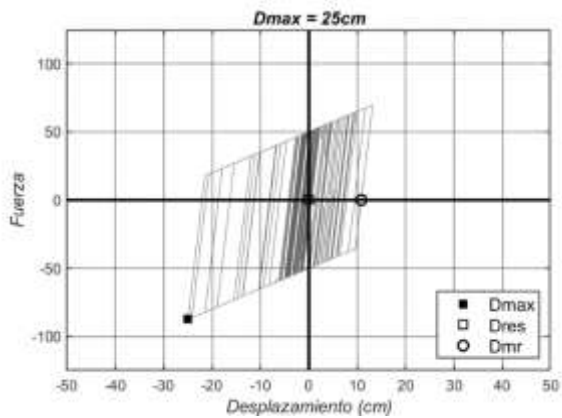
(b)



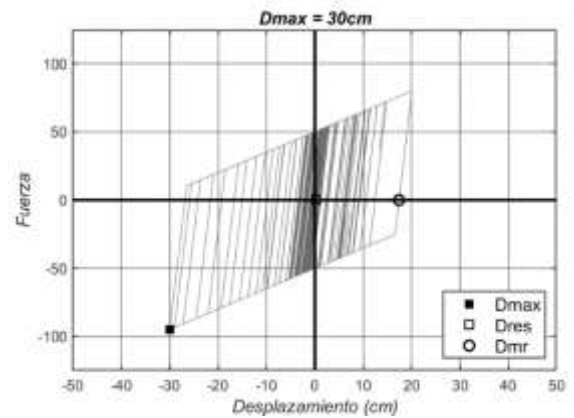
(c)



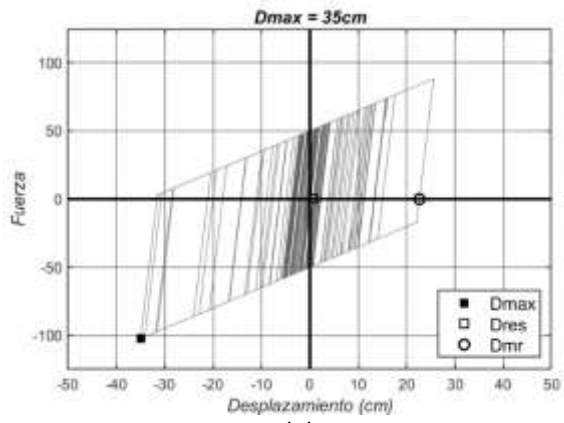
(d)



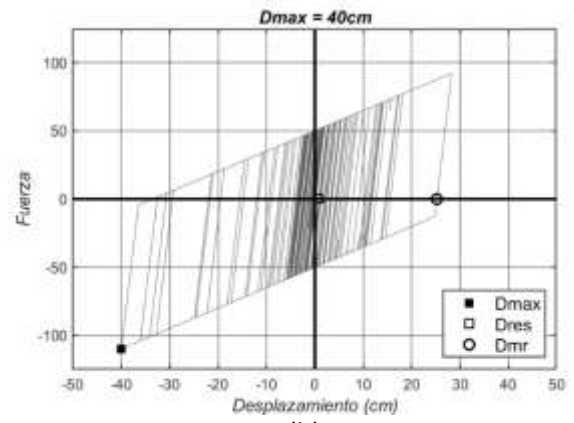
(e)



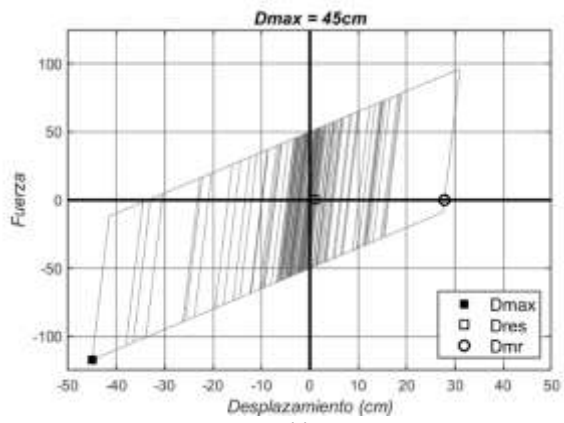
(f)



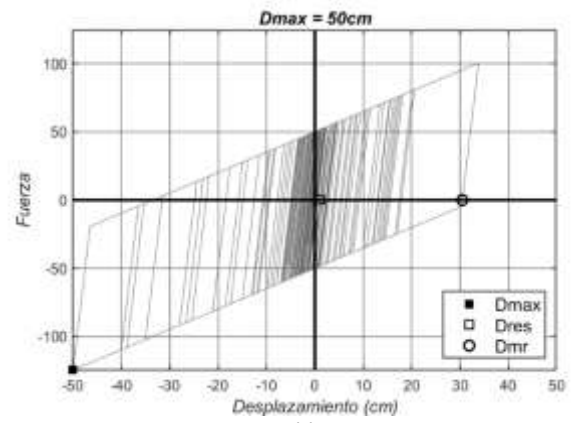
(g)



(h)

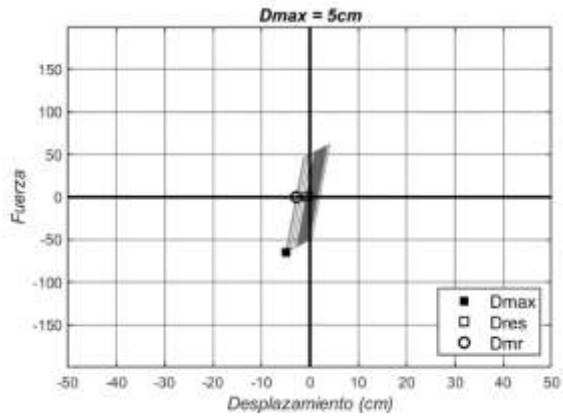


(i)

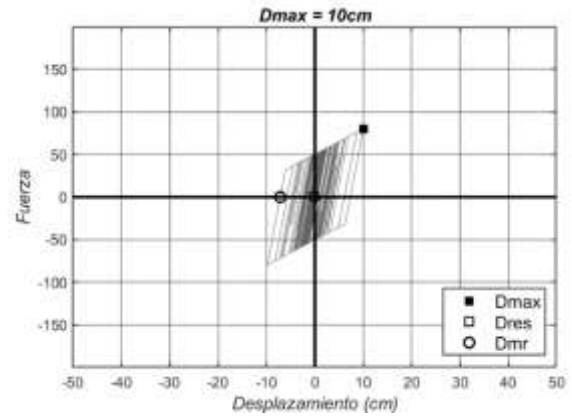


(j)

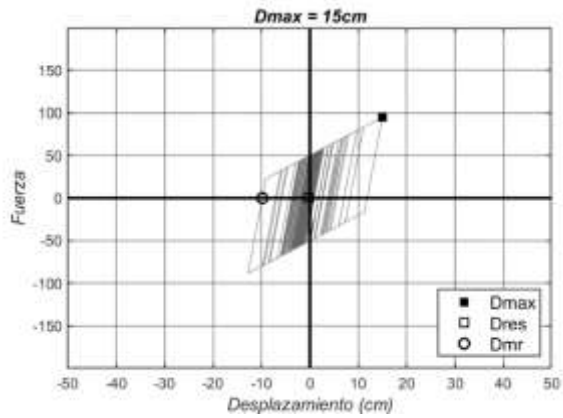
Anexo A-11: Registros AAM2E, SUGL con $r = 10\%$



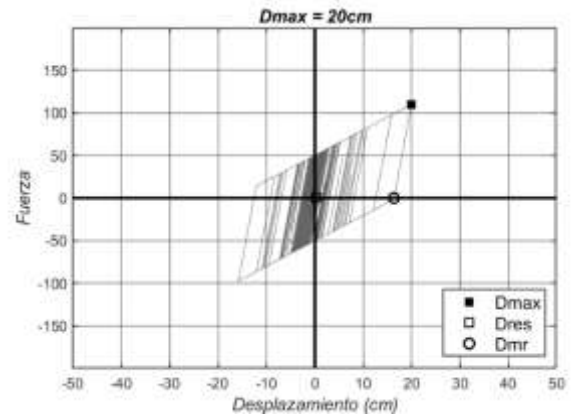
(a)



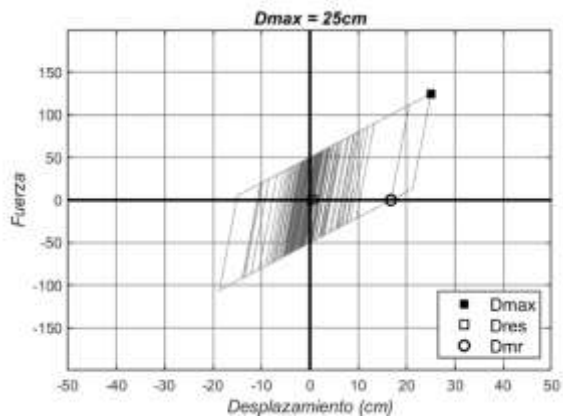
(b)



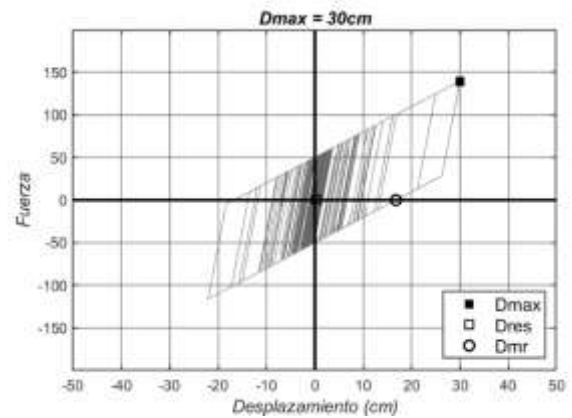
(c)



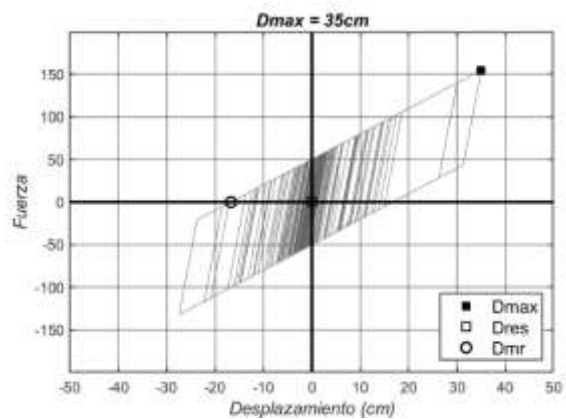
(d)



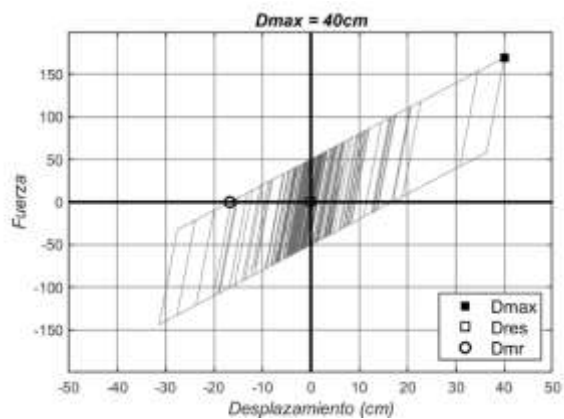
(e)



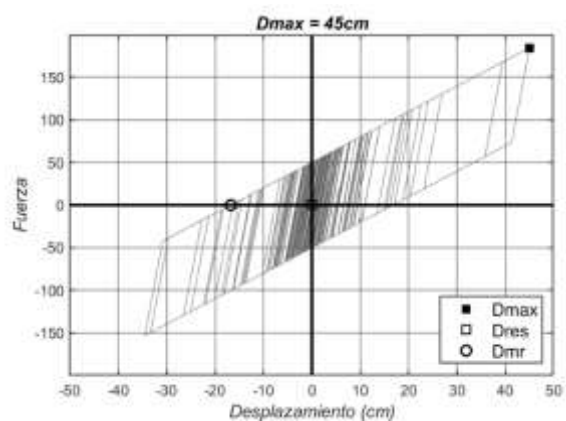
(f)



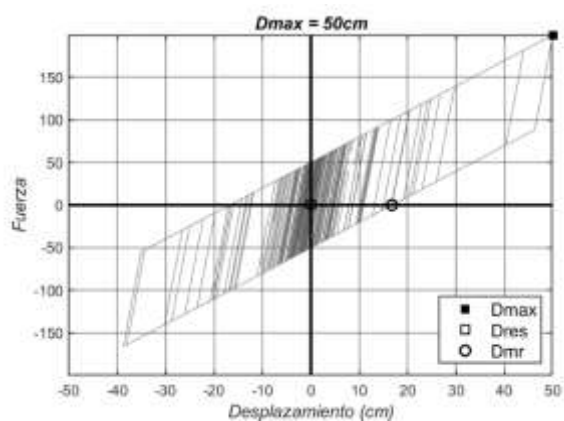
(g)



(h)

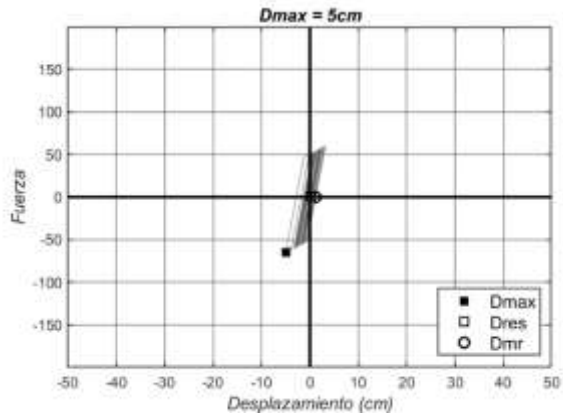


(i)

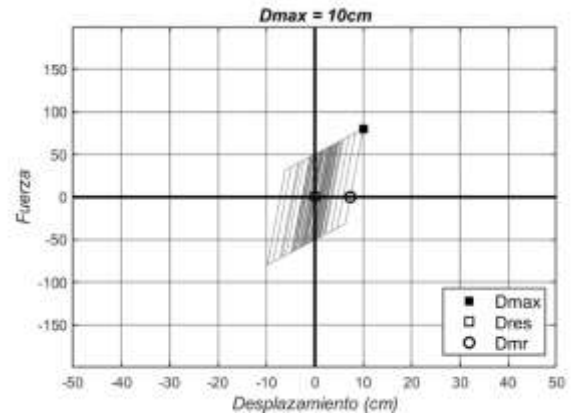


(j)

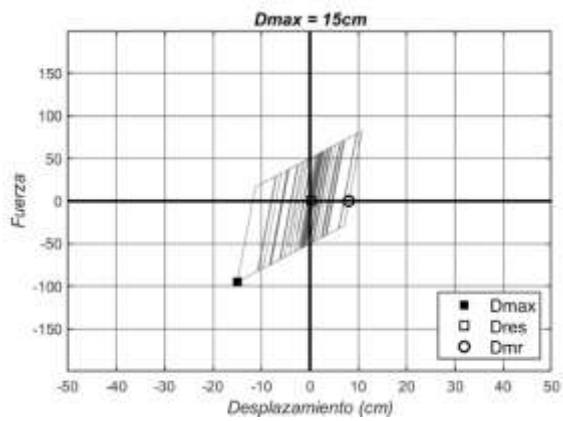
Anexo A-12: Registros ACHNE, SUGL con $r = 10\%$



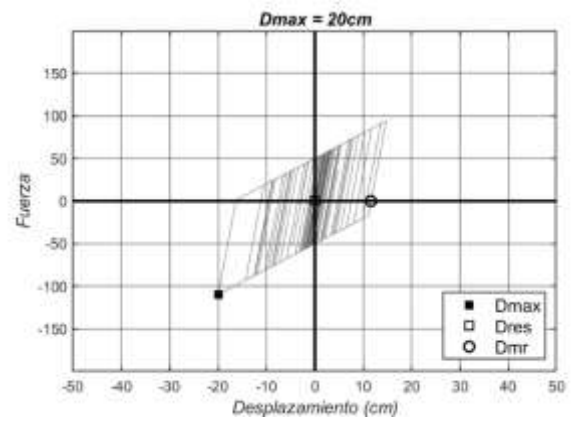
(a)



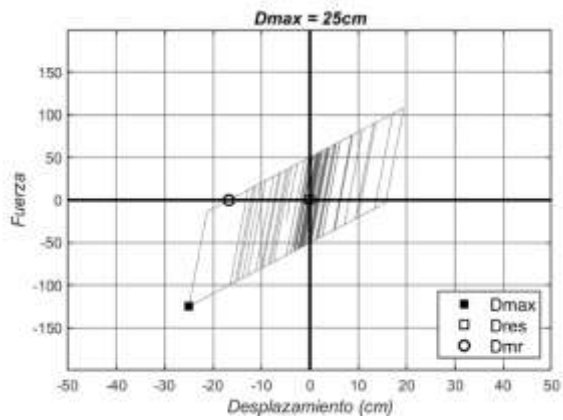
(b)



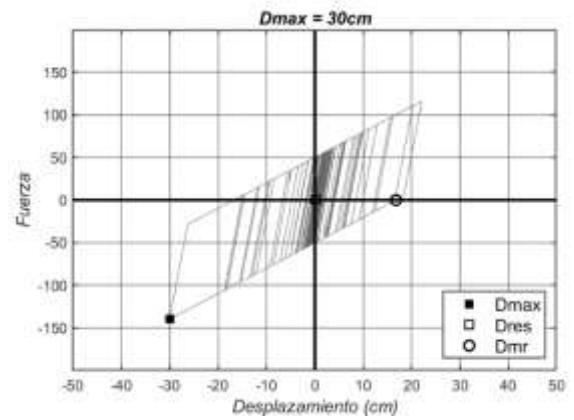
(c)



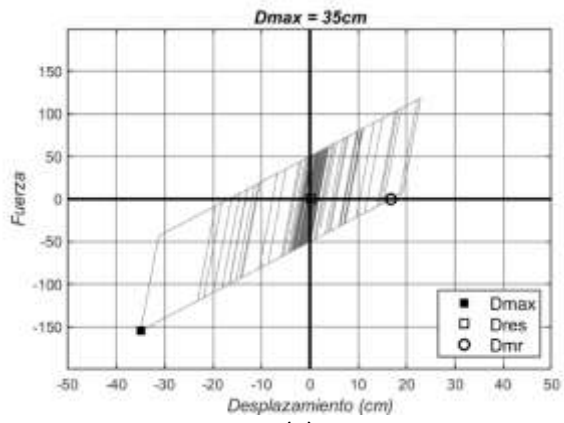
(d)



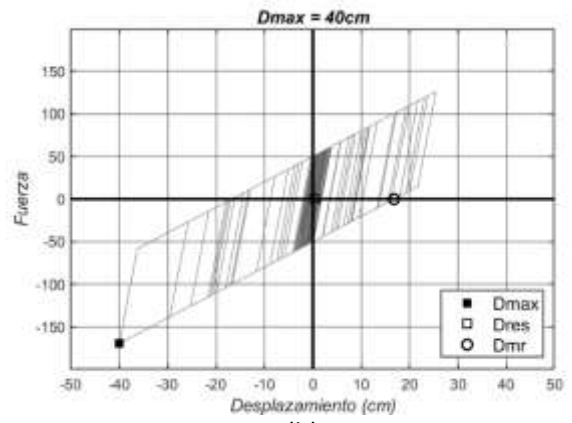
(e)



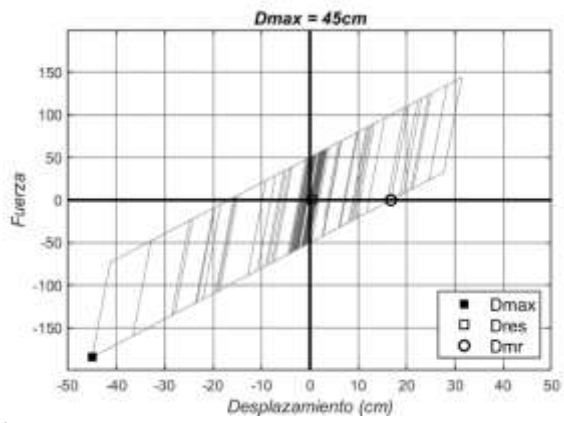
(f)



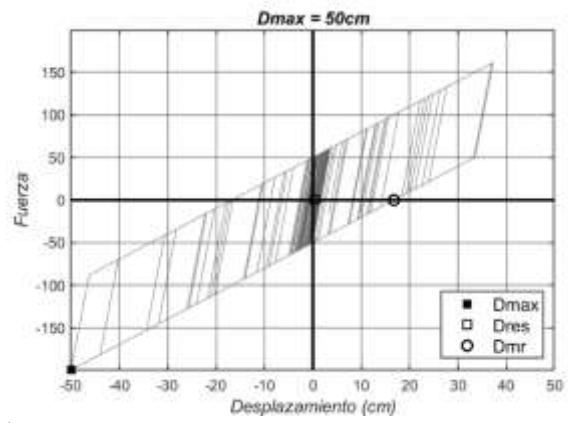
(g)



(h)

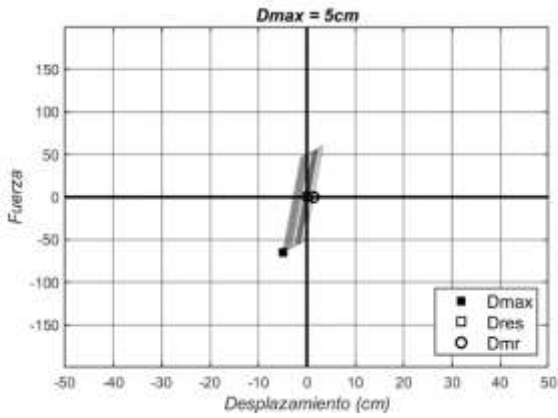


(i)

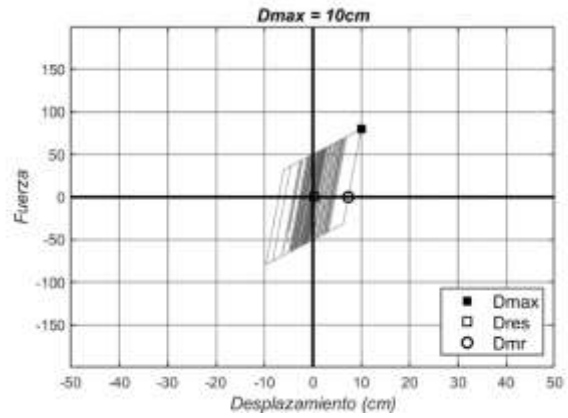


(j)

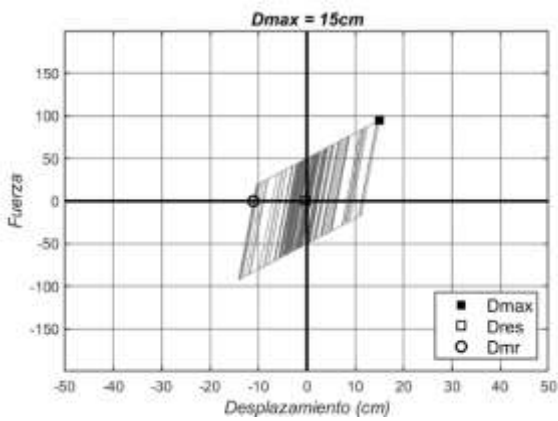
Anexo A-13: Registros AGY1E, SUGL con $r = 10\%$



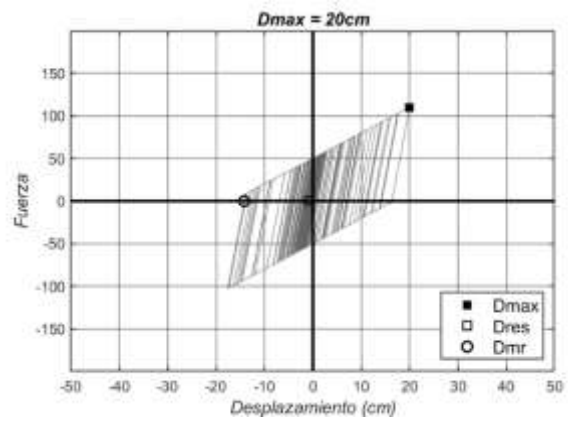
(a)



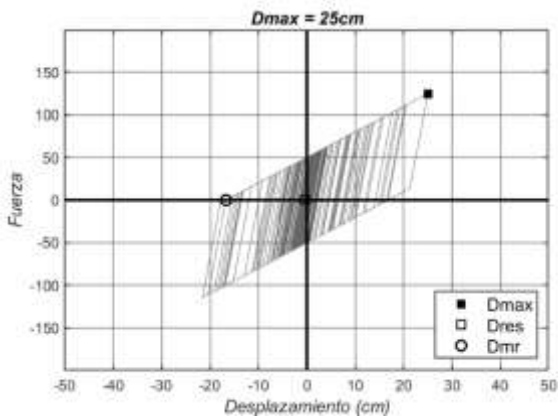
(b)



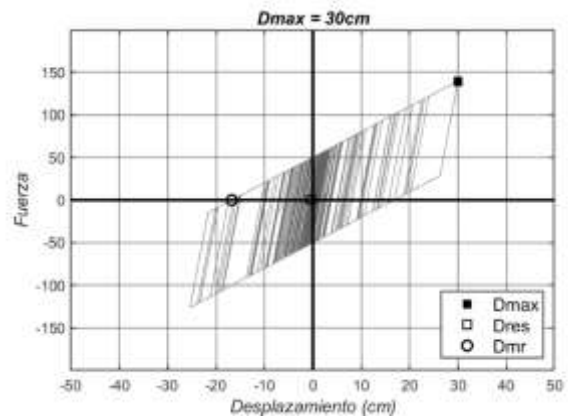
(c)



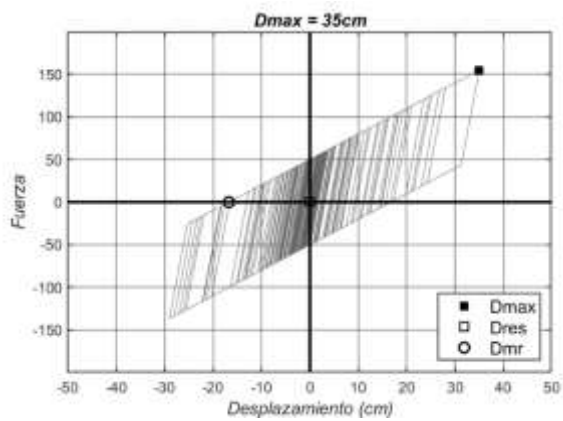
(d)



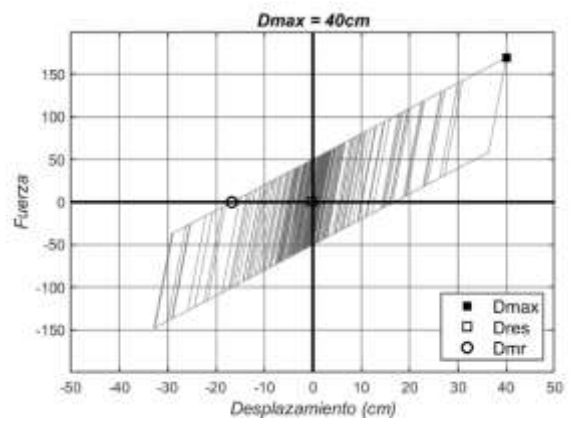
(e)



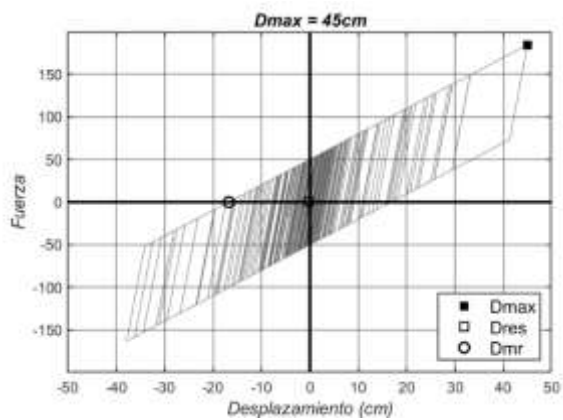
(f)



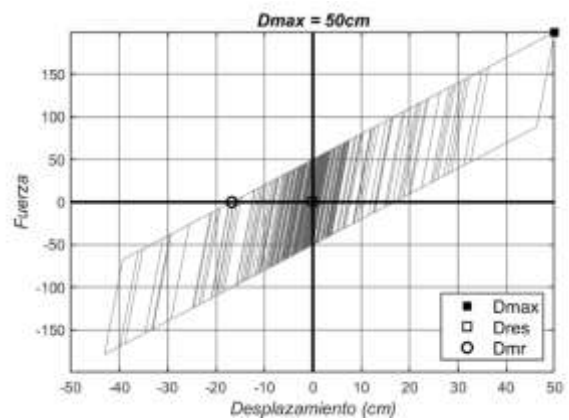
(g)



(h)

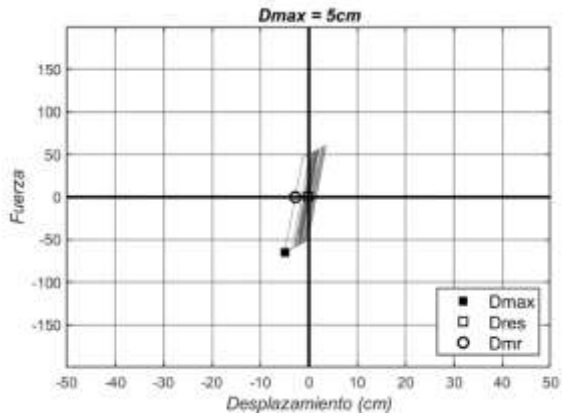


(i)

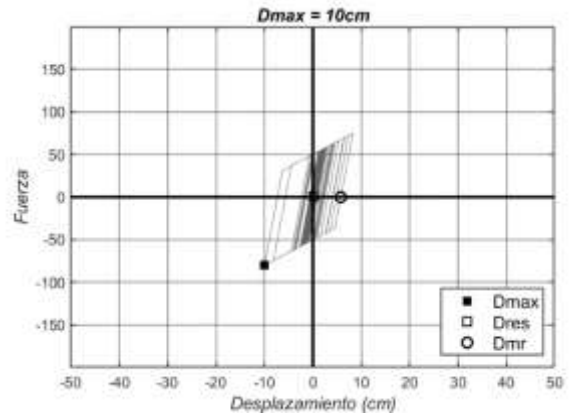


(j)

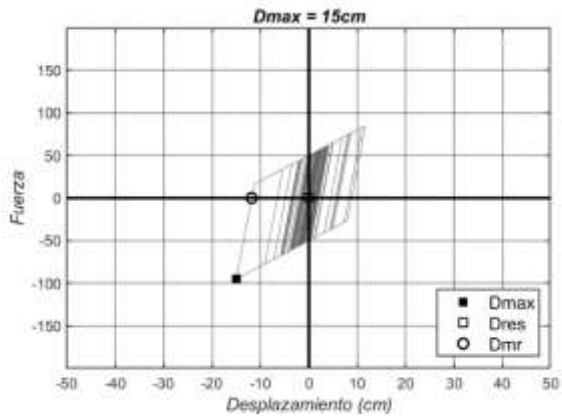
Anexo A-14: Registros AGY2E, SUGL con $r = 10\%$



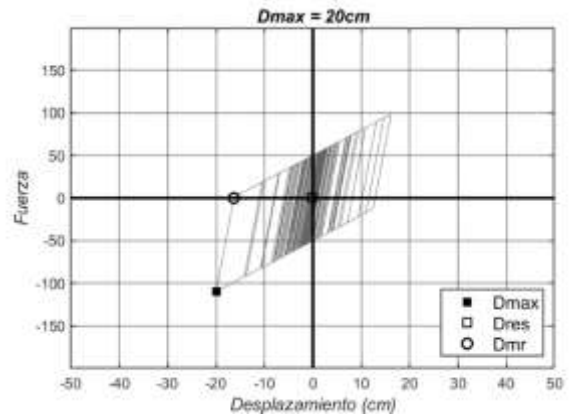
(a)



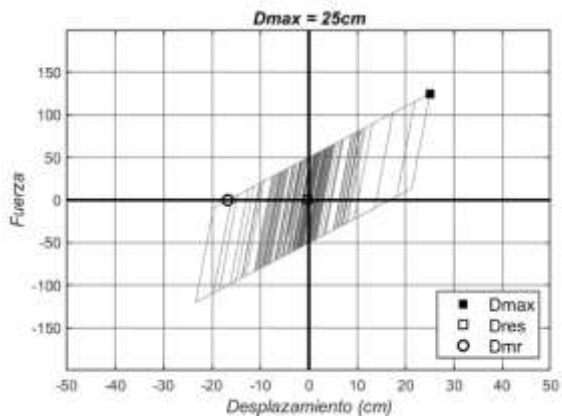
(b)



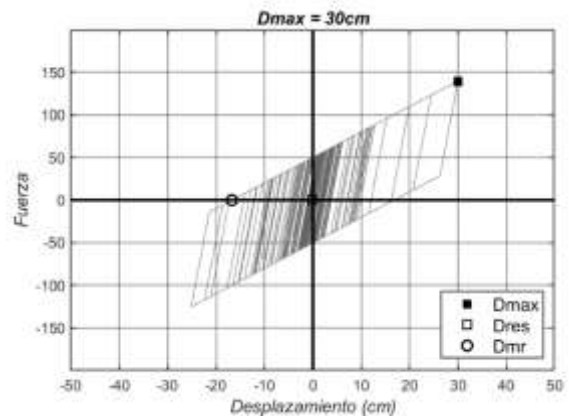
(c)



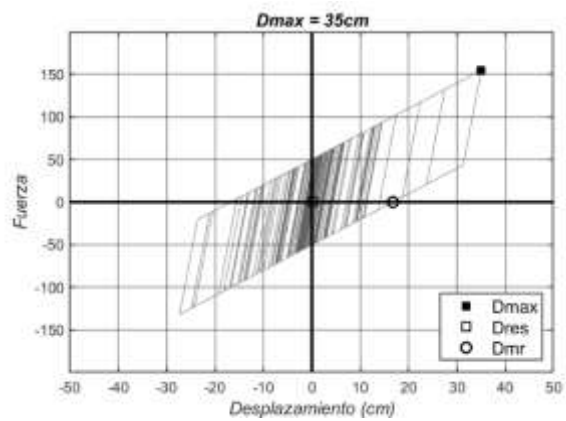
(d)



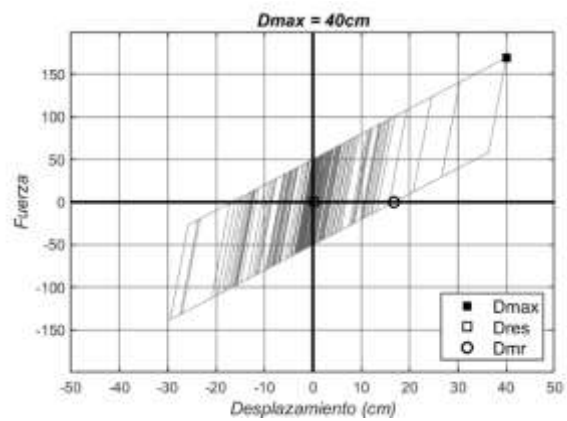
(e)



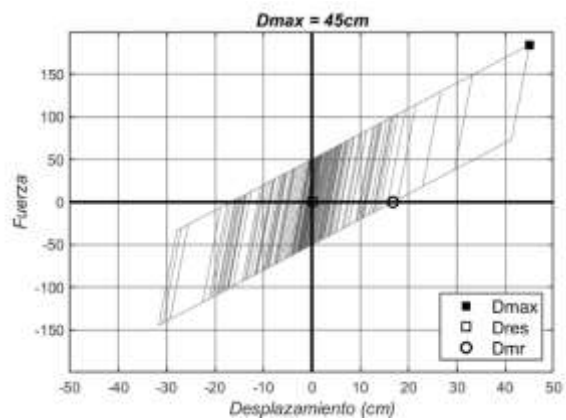
(f)



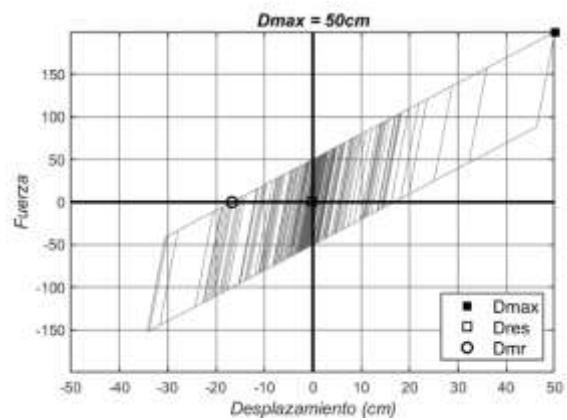
(g)



(h)

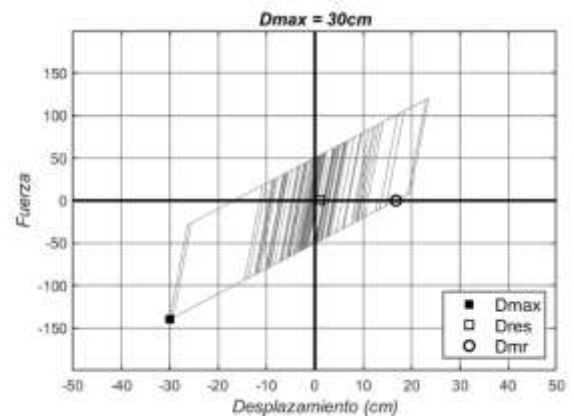
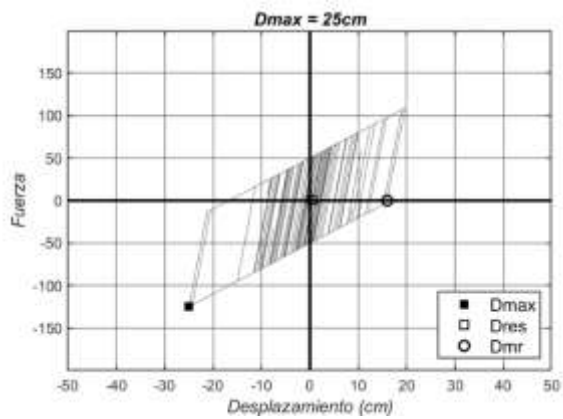
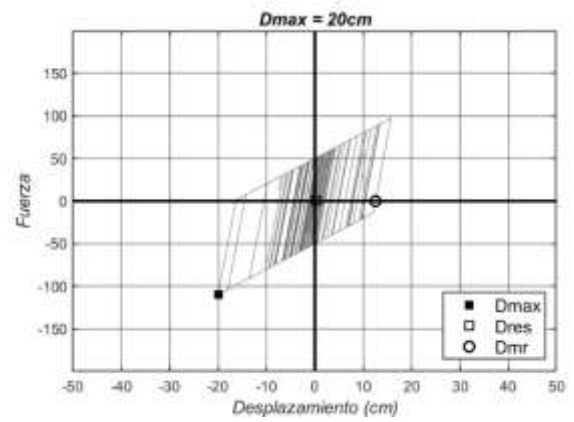
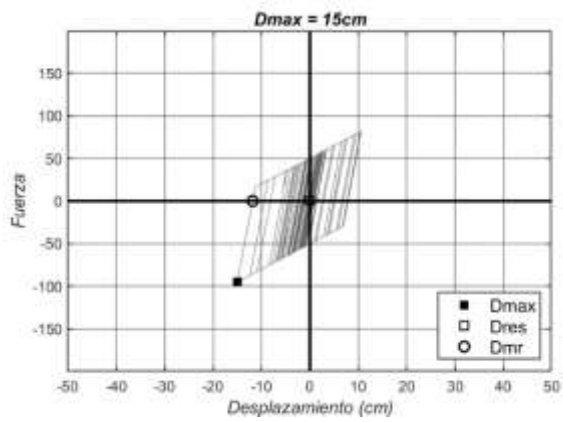
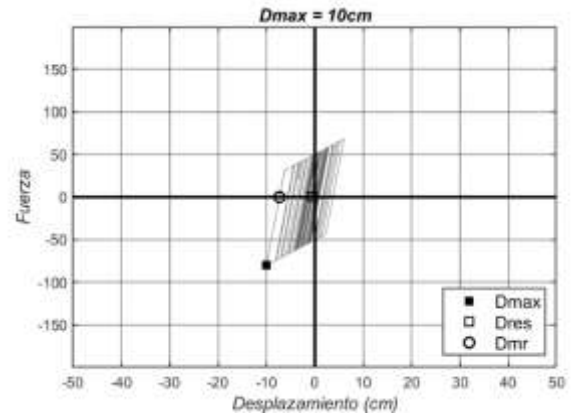
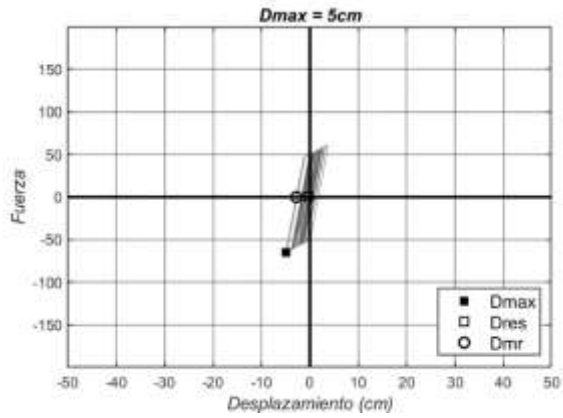


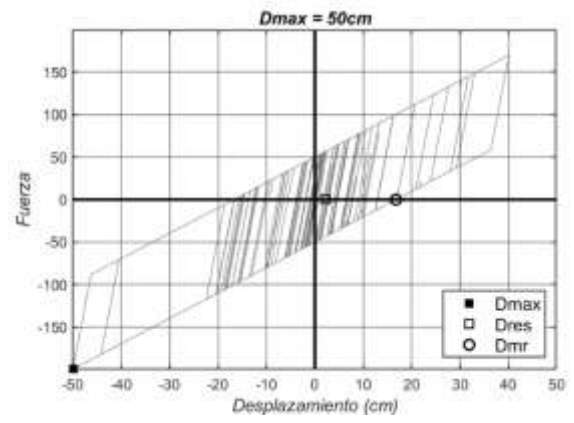
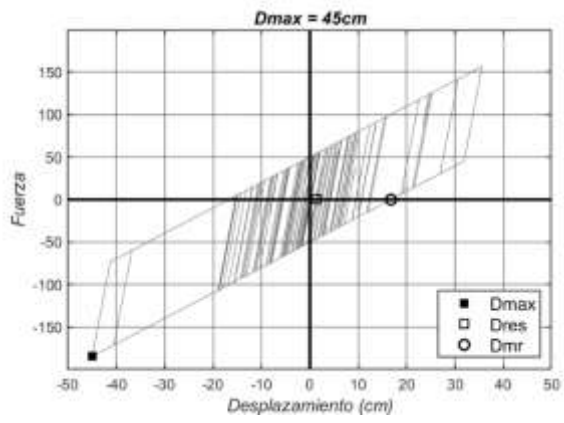
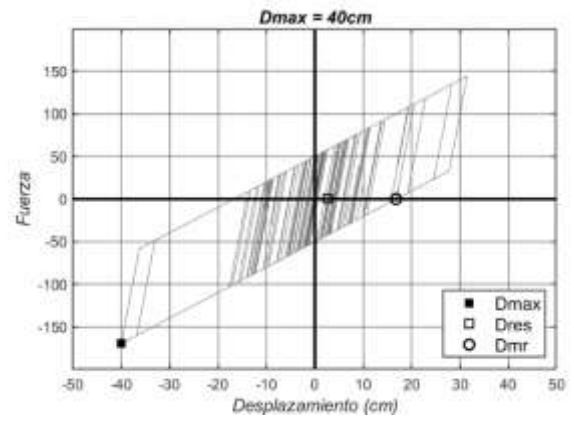
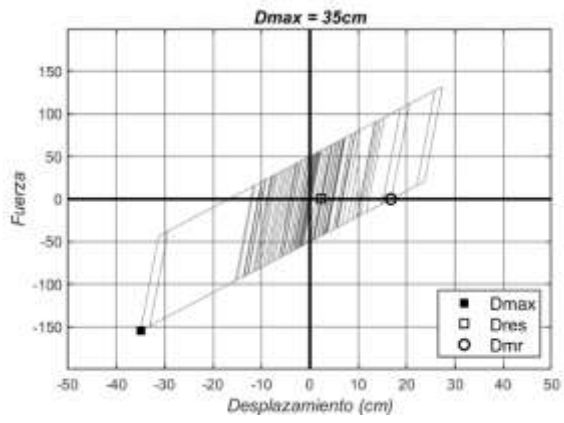
(i)



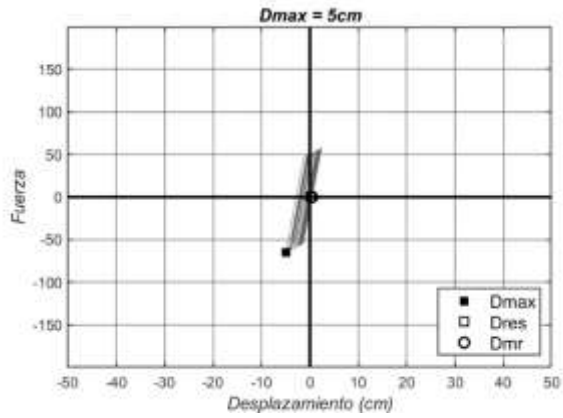
(j)

Anexo A-15: Registros AGYEE, SUGL con $r = 10\%$

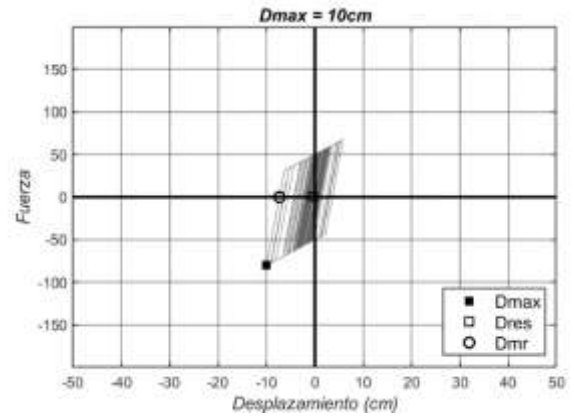




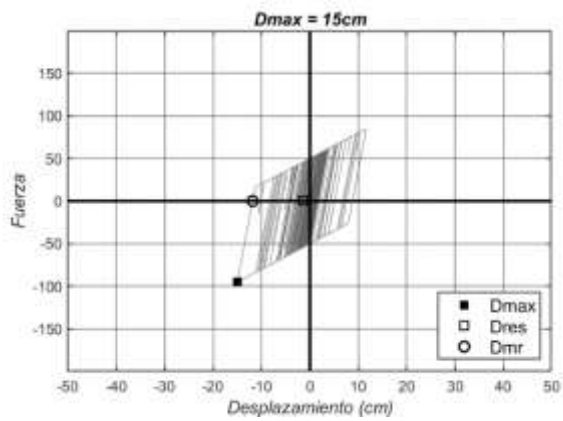
Anexo A-16: Registros AMA1E, SUGL con $r = 10\%$



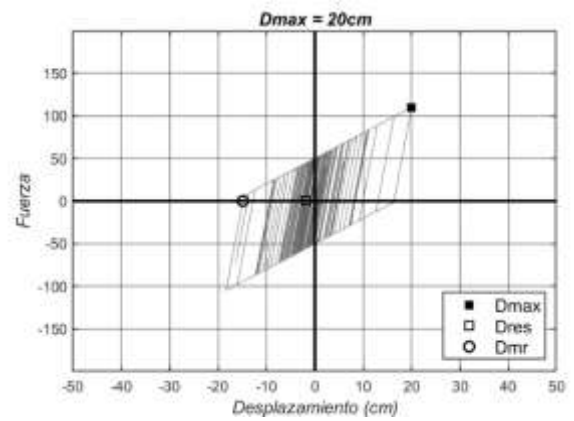
(a)



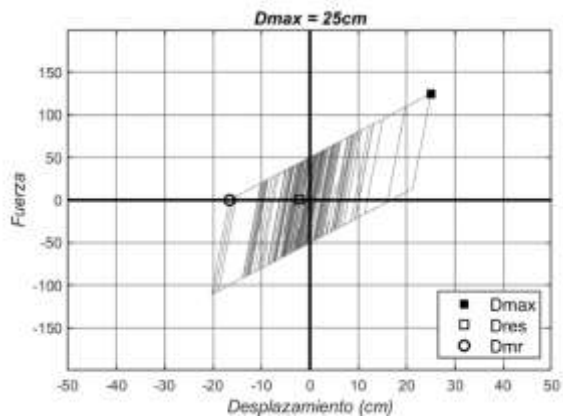
(b)



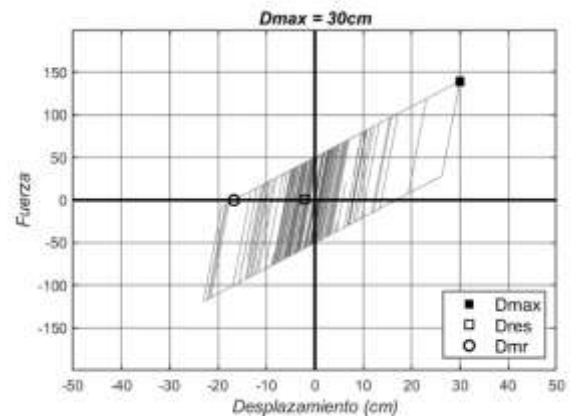
(c)



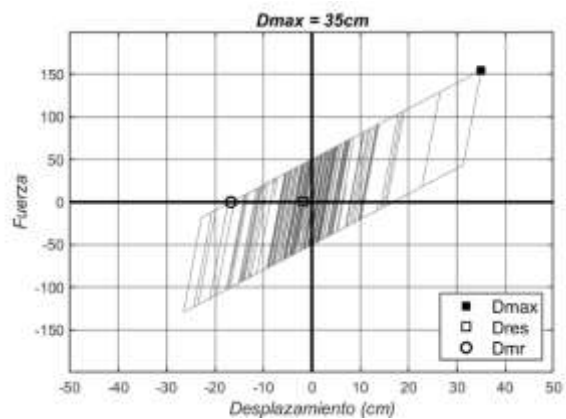
(d)



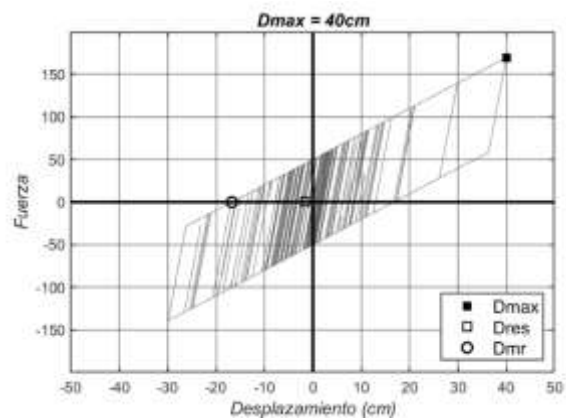
(e)



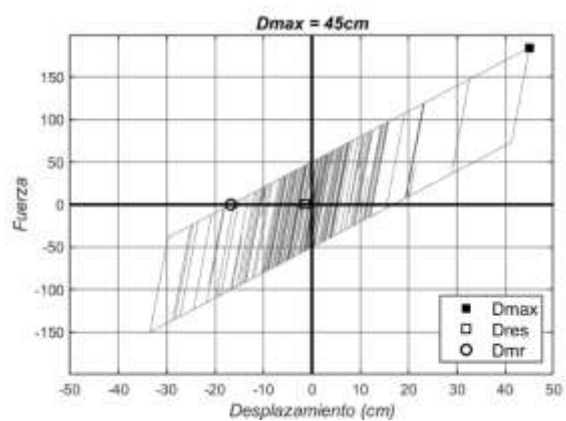
(f)



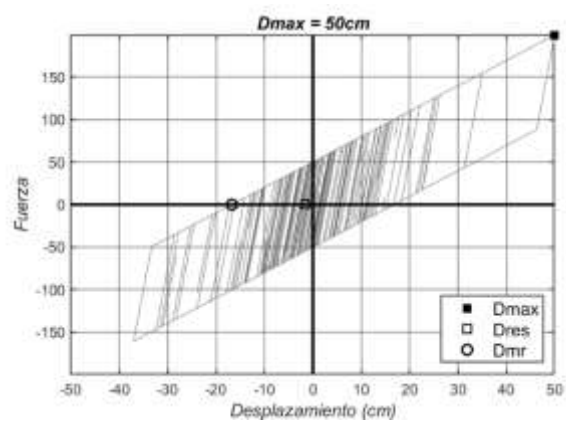
(g)



(h)

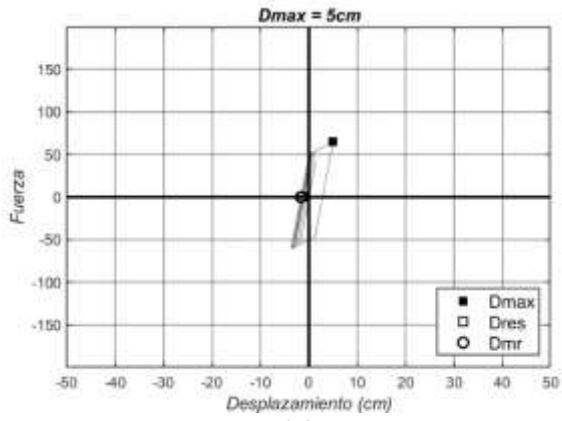


(i)

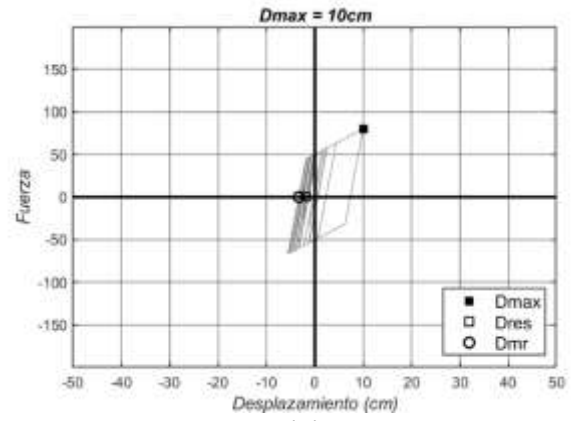


(j)

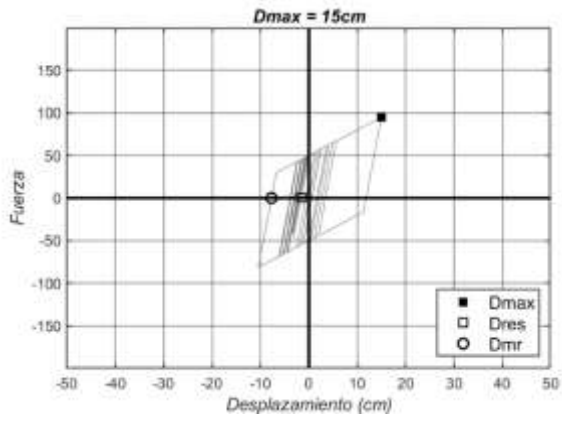
Anexo A-17: Registros AMNTE, SUGL con $r = 10\%$



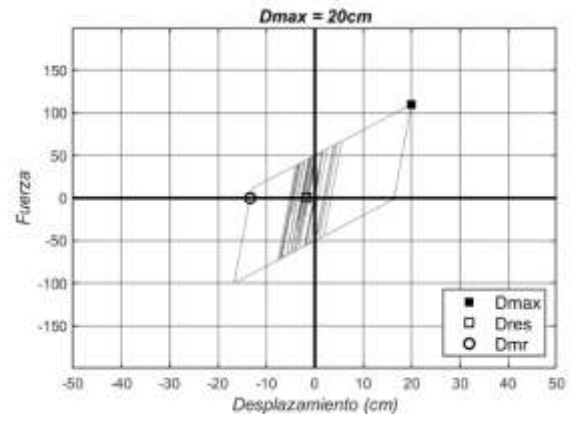
(a)



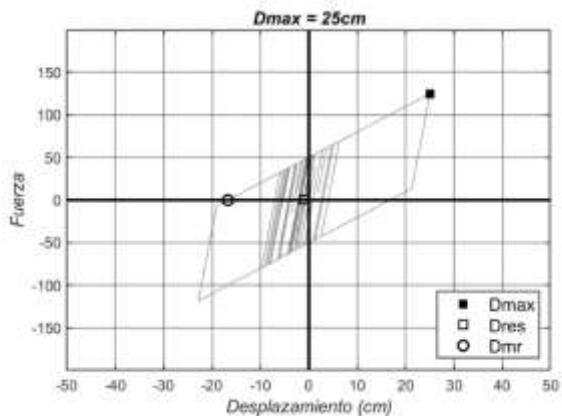
(b)



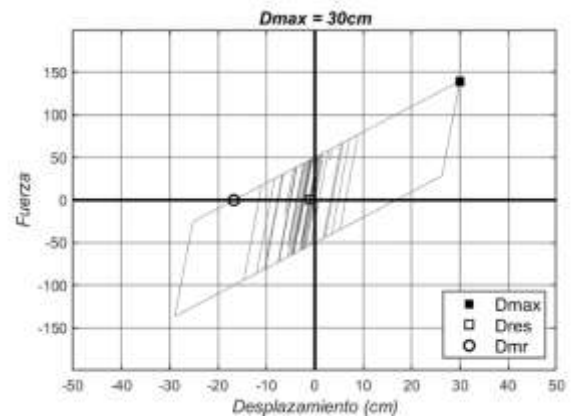
(c)



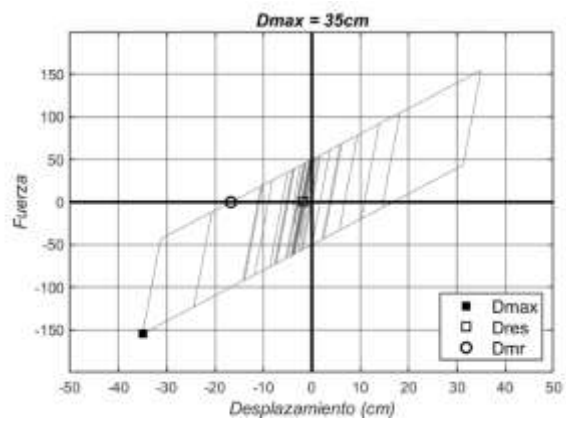
(d)



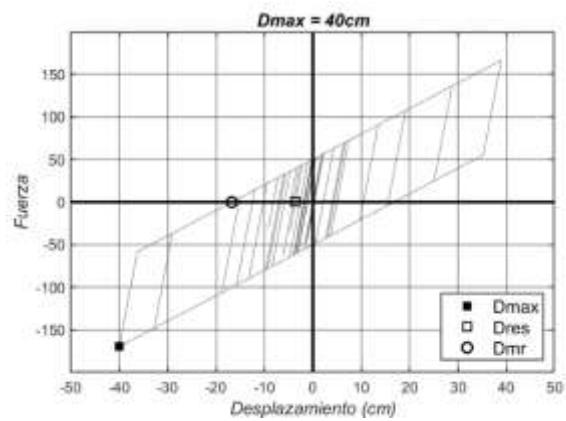
(e)



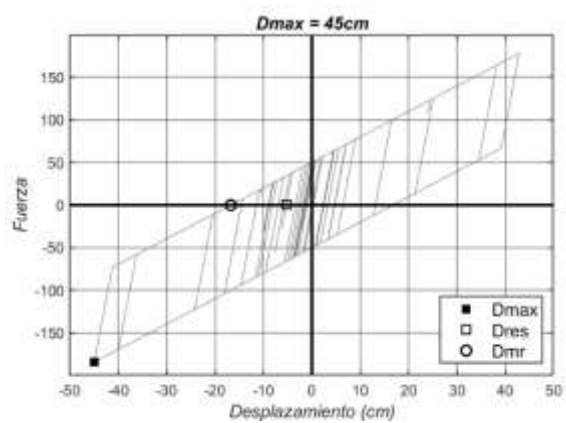
(f)



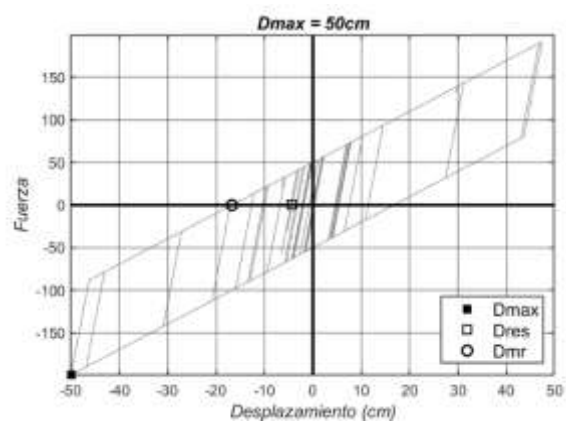
(g)



(h)

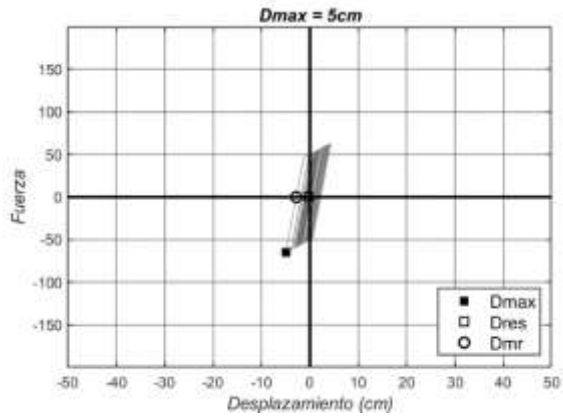


(i)

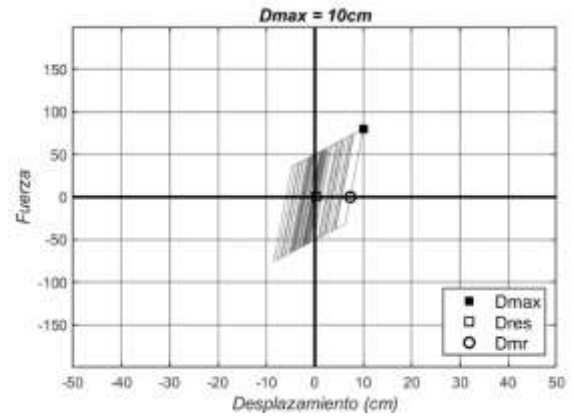


(j)

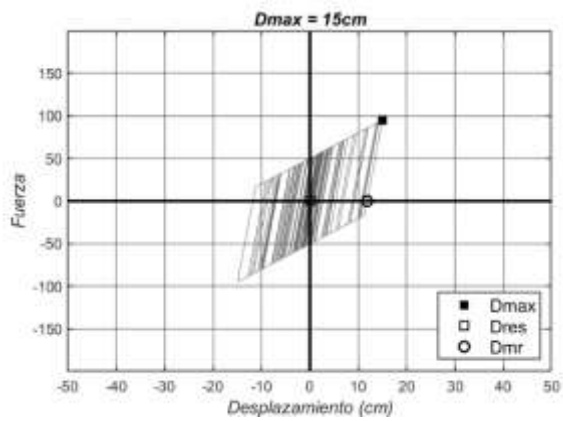
Anexo A-18: Registros APEDE, SUGL con $r = 10\%$



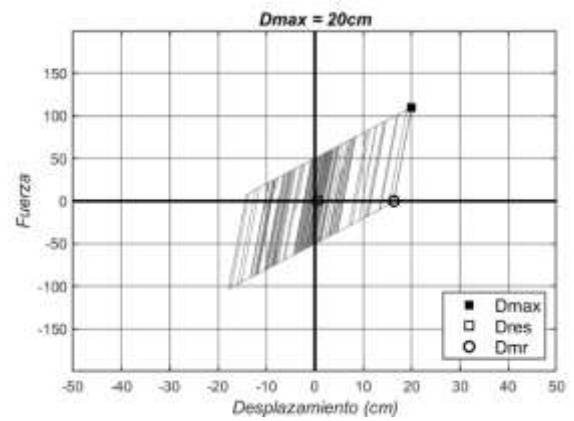
(a)



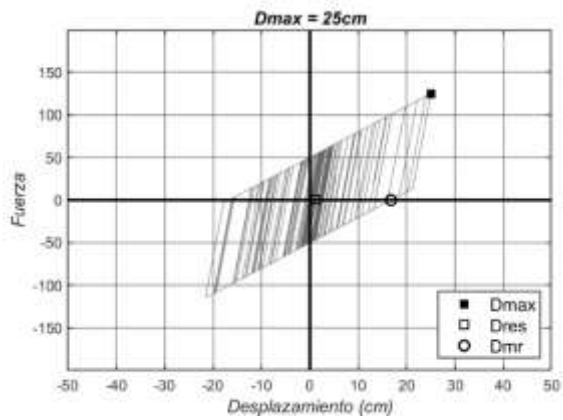
(b)



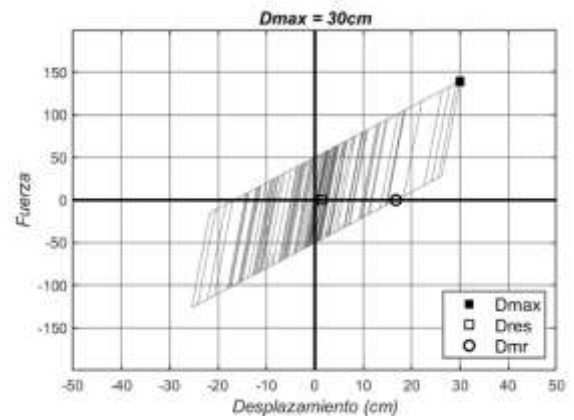
(c)



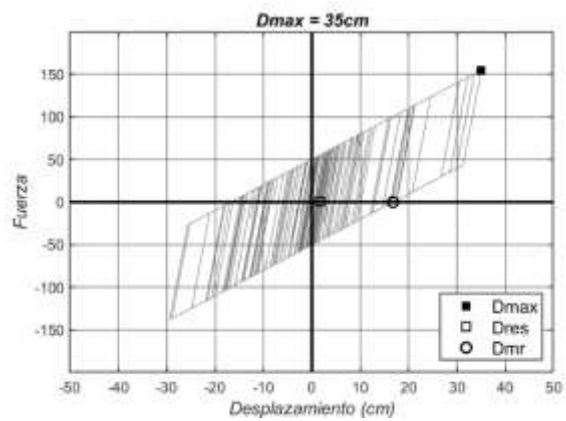
(d)



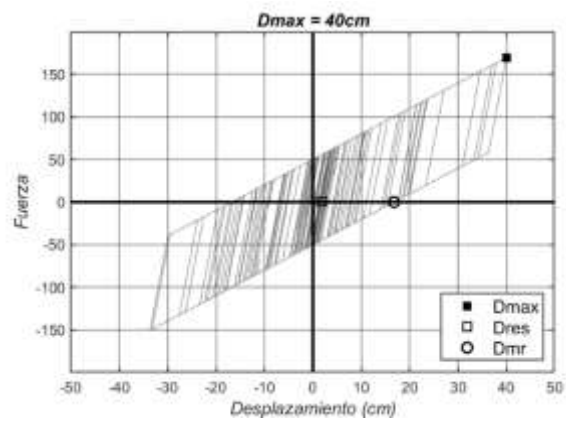
(e)



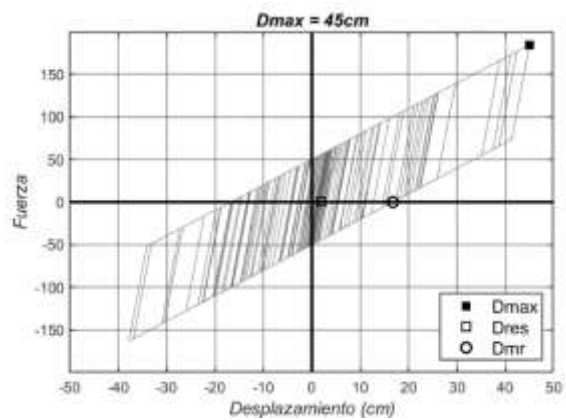
(f)



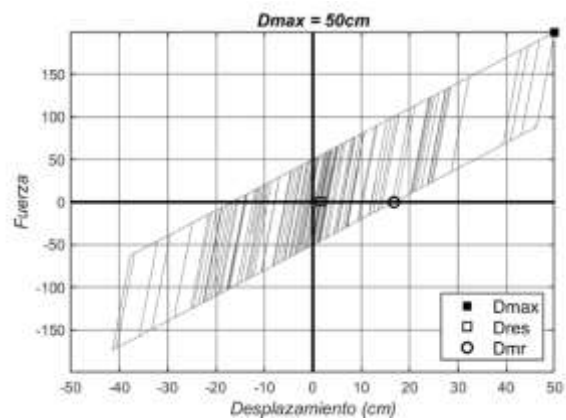
(g)



(h)

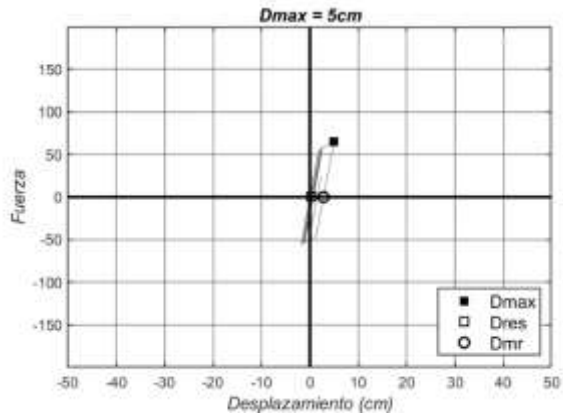


(i)

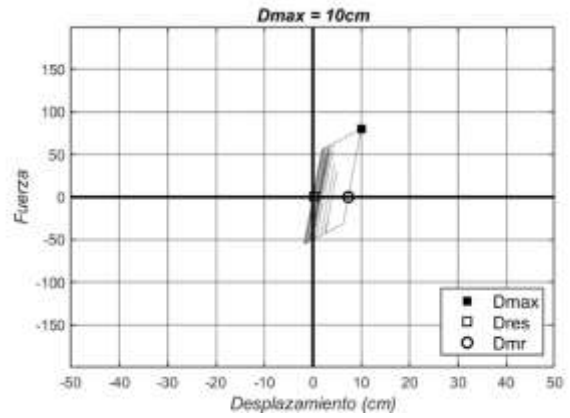


(j)

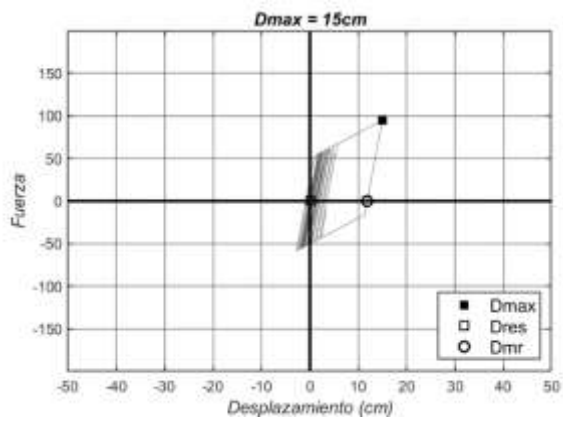
Anexo A-19: Registros APO1E, SUGL con $r = 10\%$



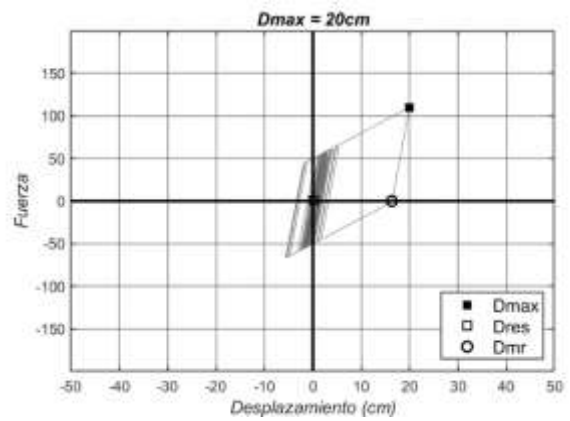
(a)



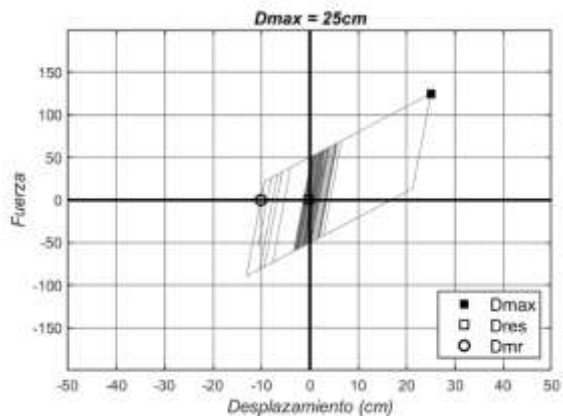
(b)



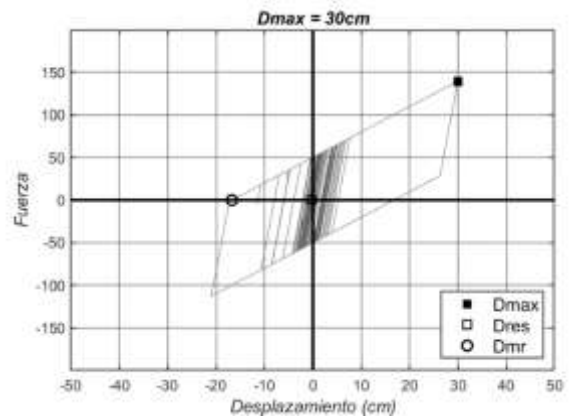
(c)



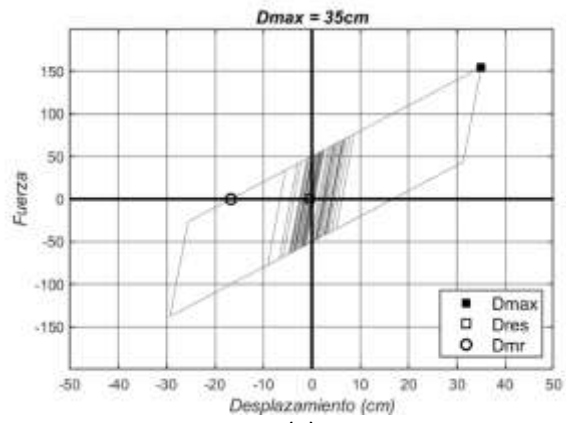
(d)



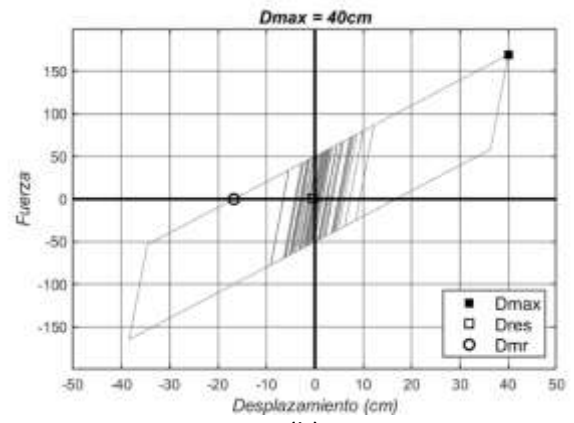
(e)



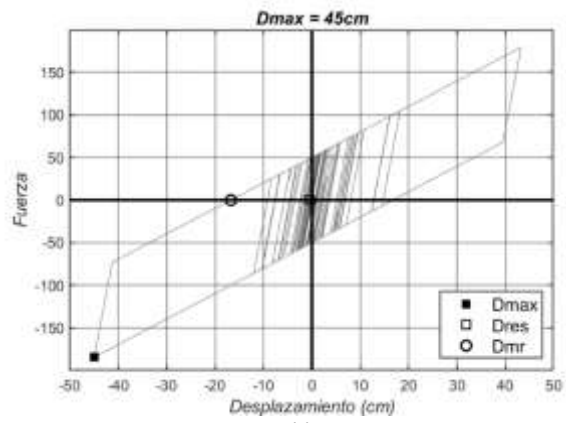
(f)



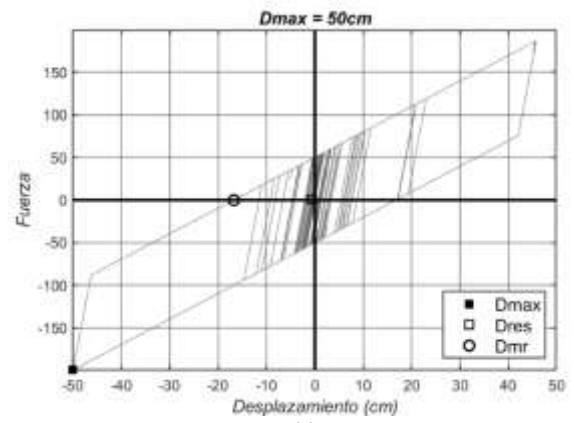
(g)



(h)

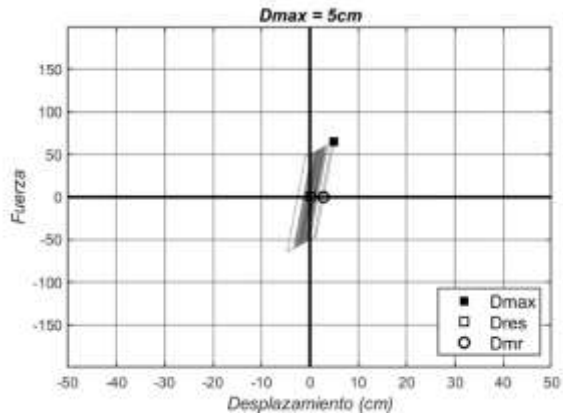


(i)

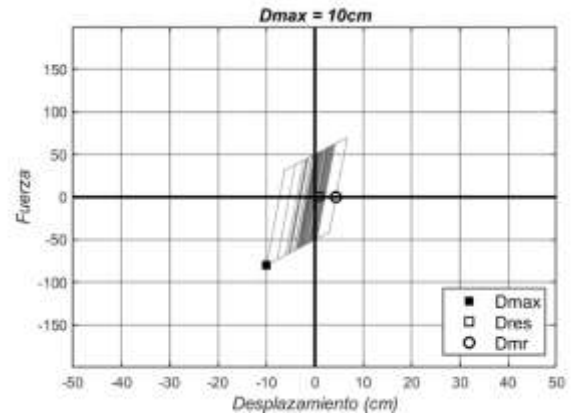


(j)

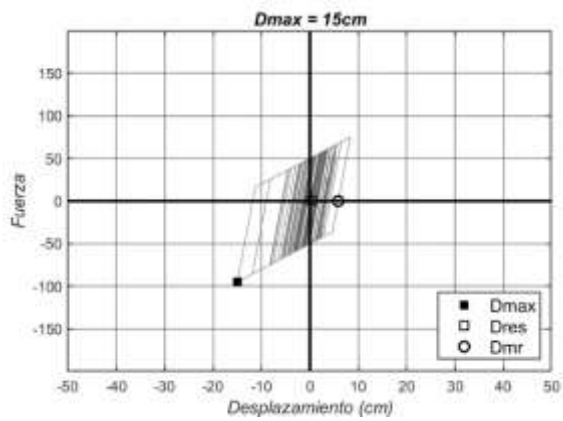
Anexo A-20: Registros PDNSE, SUGL con $r = 10\%$



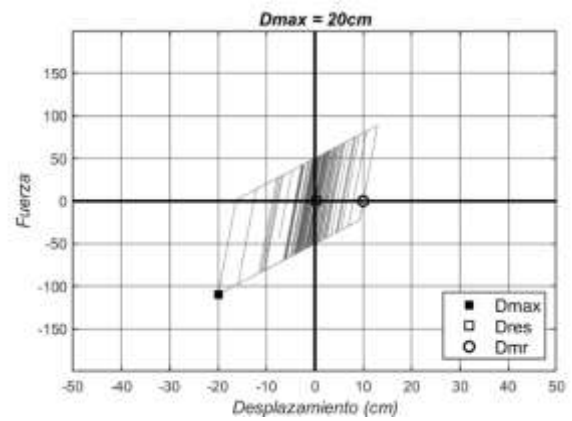
(a)



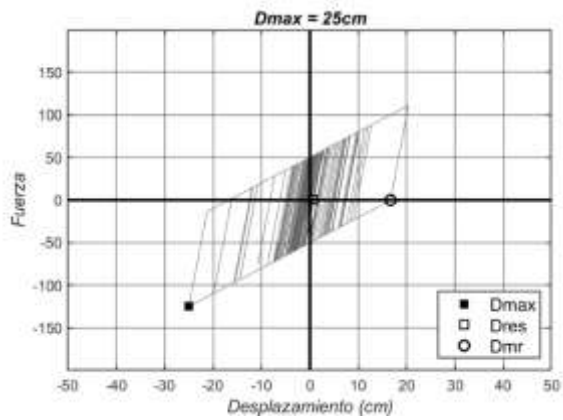
(b)



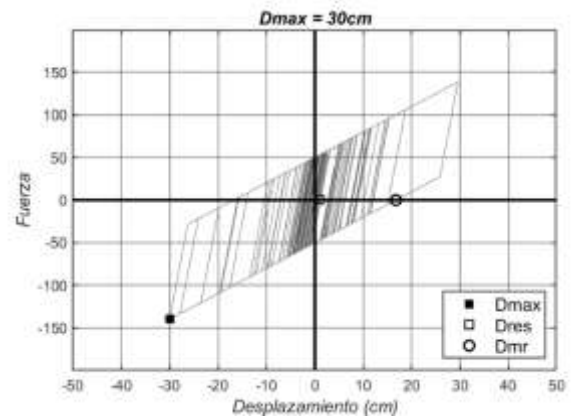
(c)



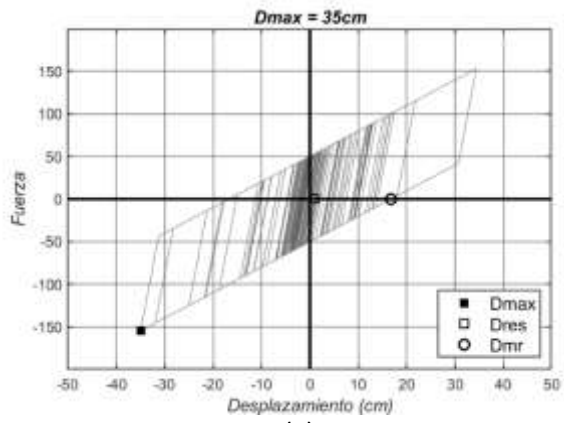
(d)



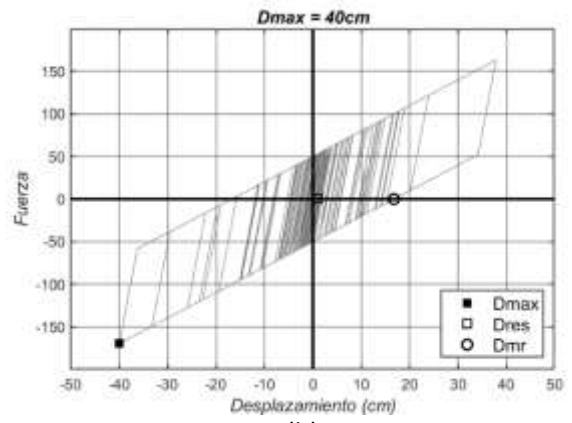
(e)



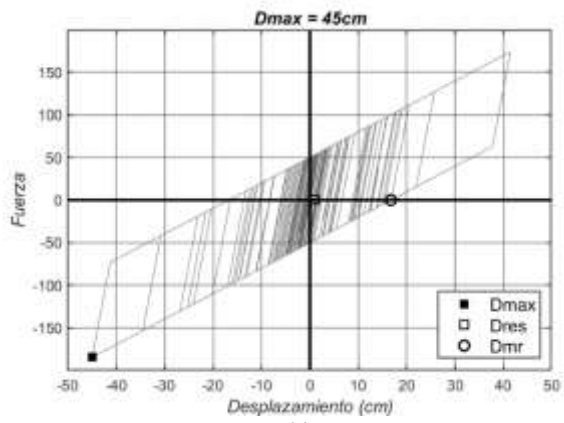
(f)



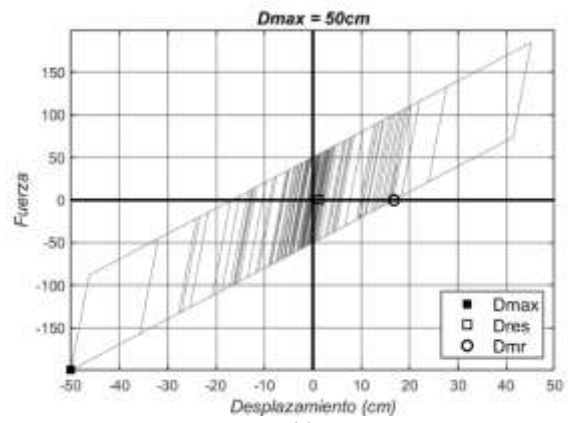
(g)



(h)

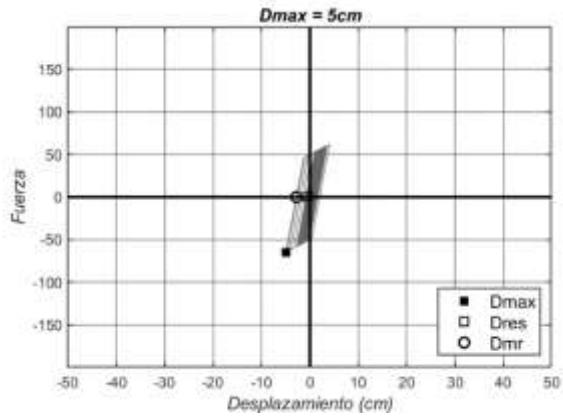


(i)

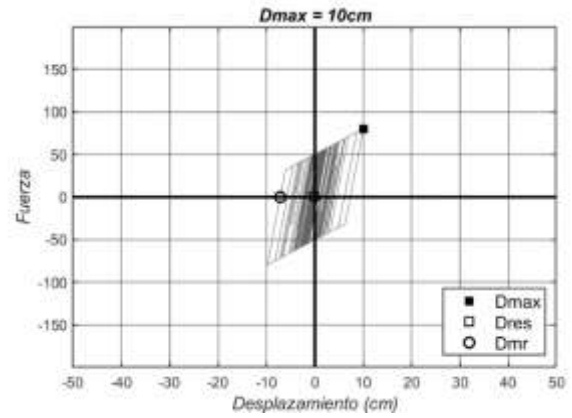


(j)

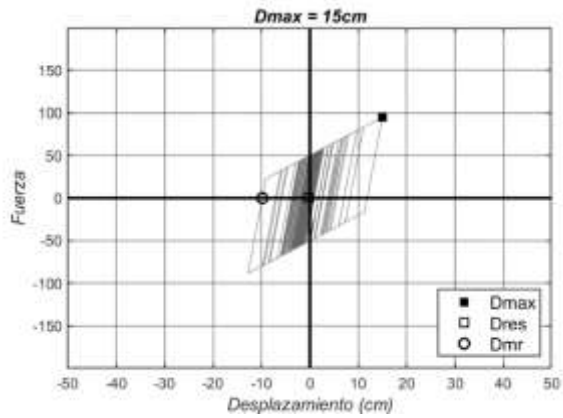
Anexo A-21: Registros AAM2E, SUGL con $r = 20\%$



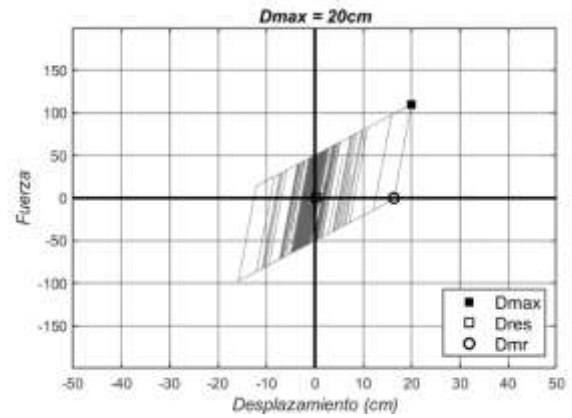
(a)



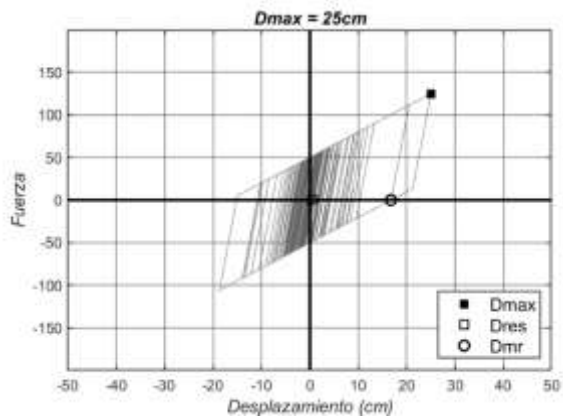
(b)



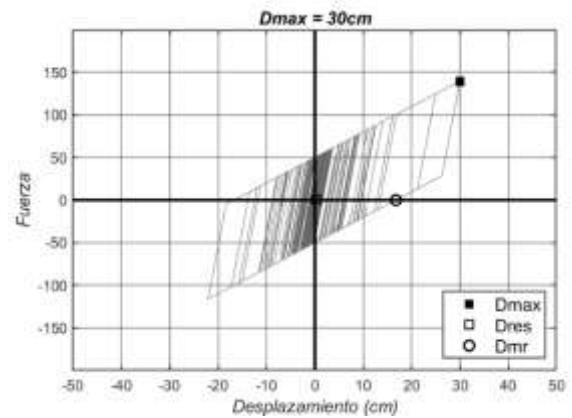
(c)



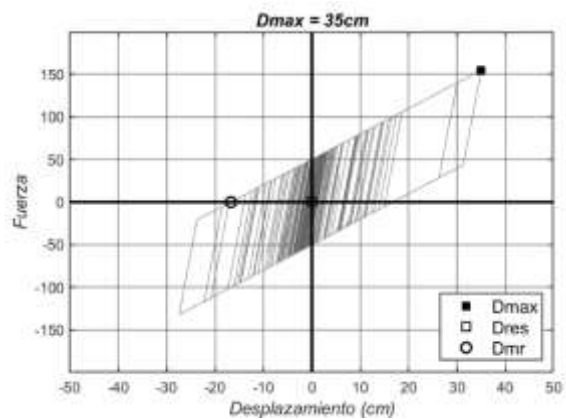
(d)



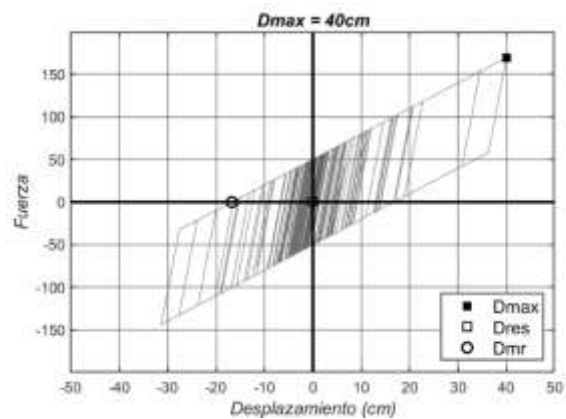
(e)



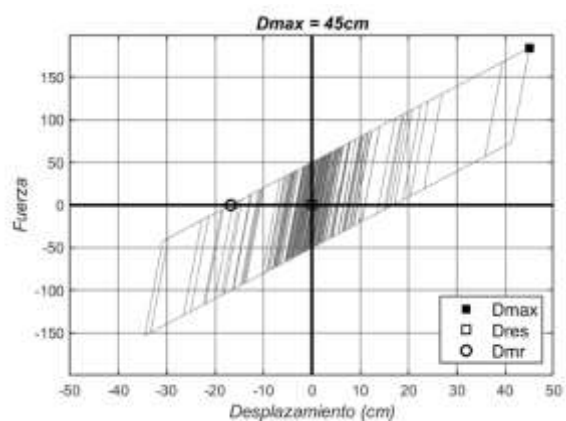
(f)



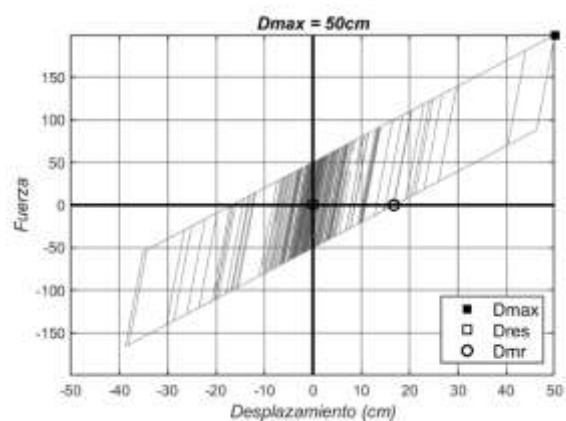
(g)



(h)

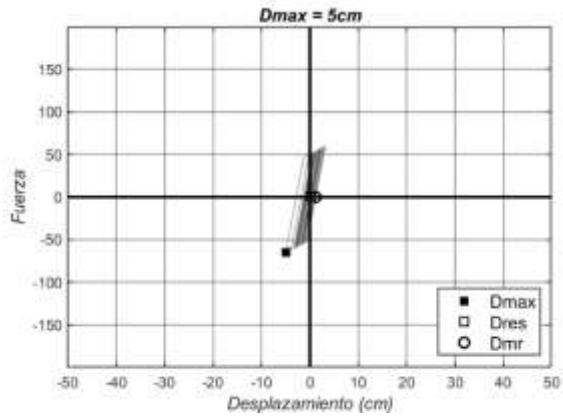


(i)

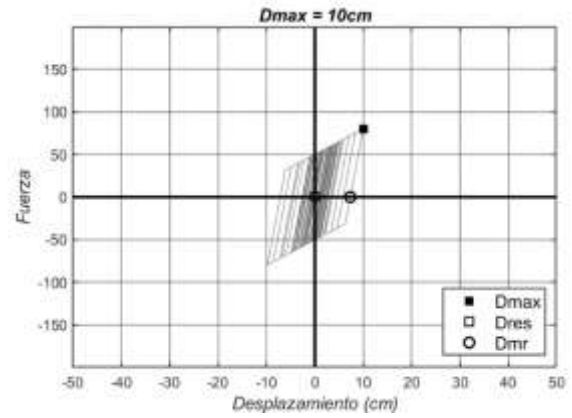


(j)

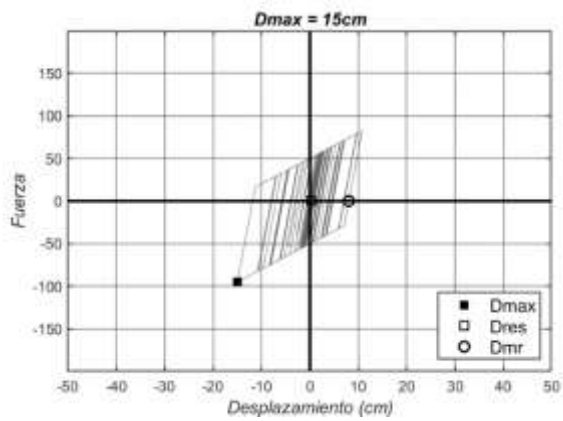
Anexo A-22: Registros ACHNE, SUGL con $r = 20\%$



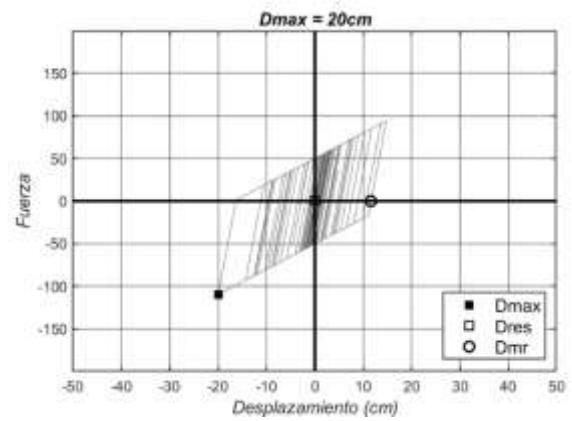
(a)



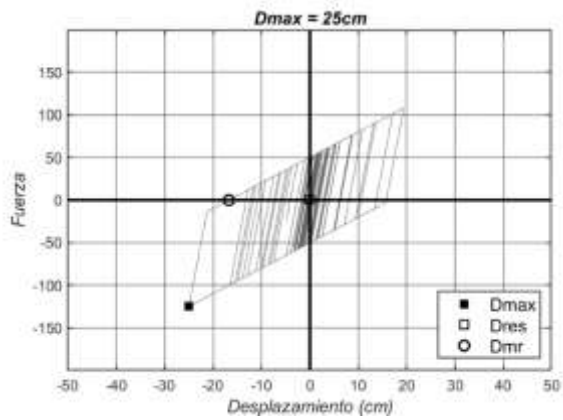
(b)



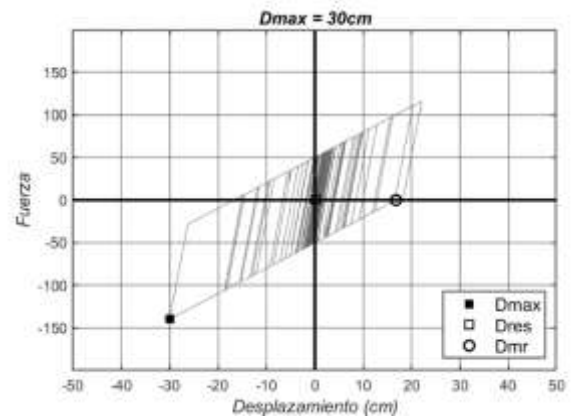
(c)



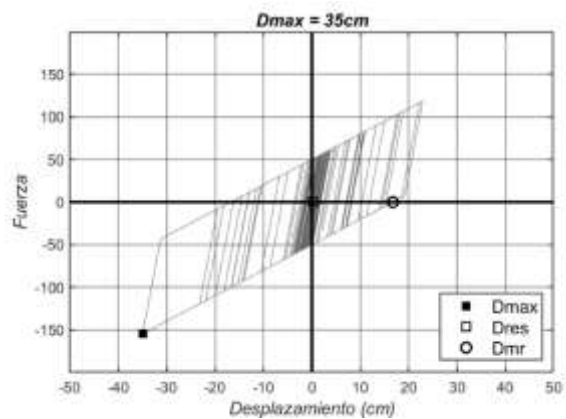
(d)



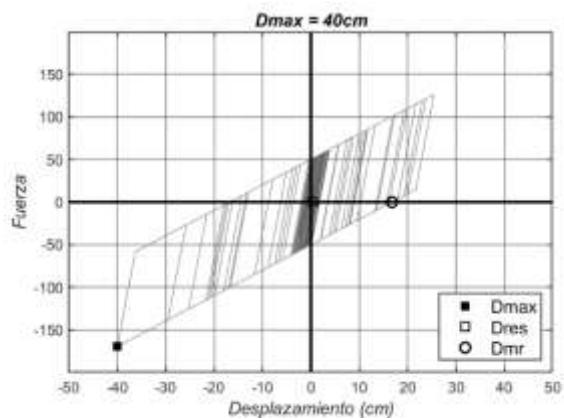
(e)



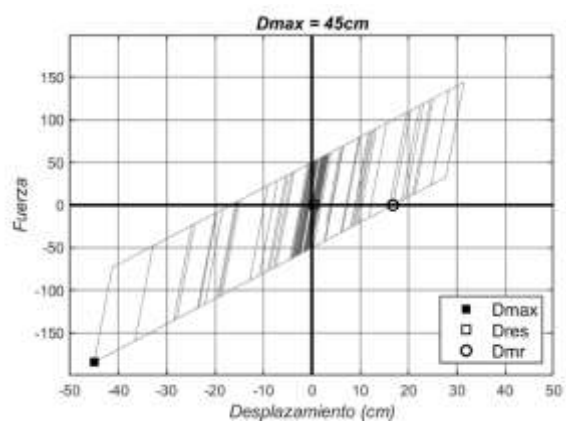
(f)



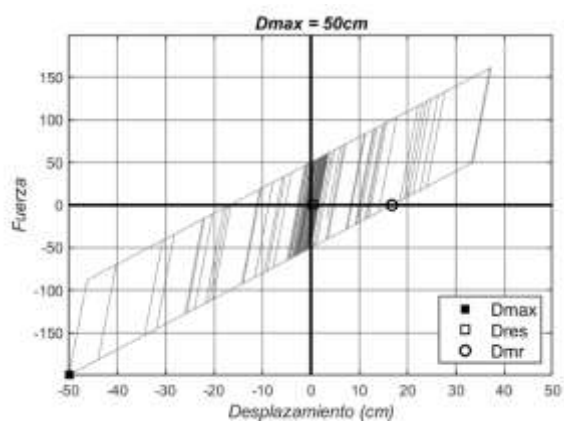
(g)



(h)

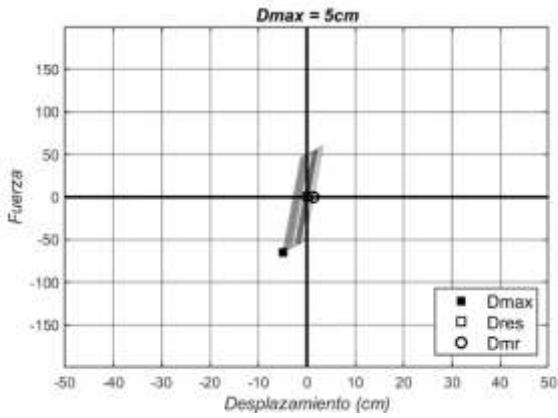


(i)

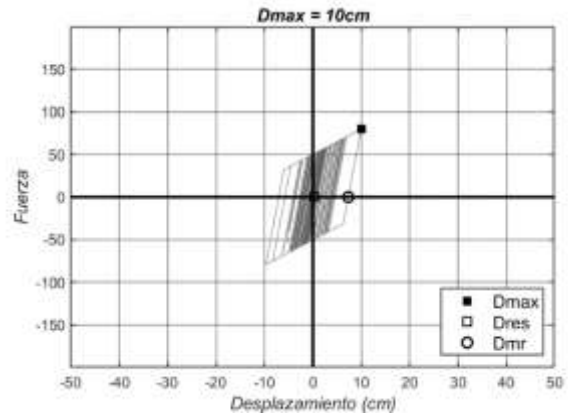


(j)

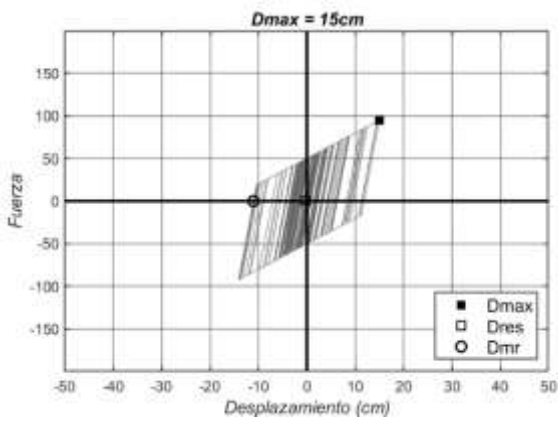
Anexo A-23: Registros AGY1E, SUGL con $r = 20\%$



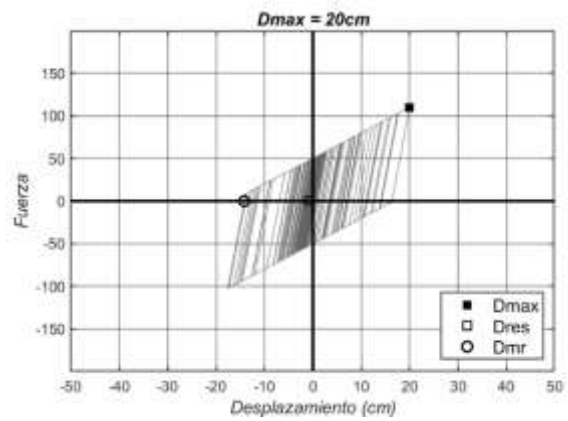
(a)



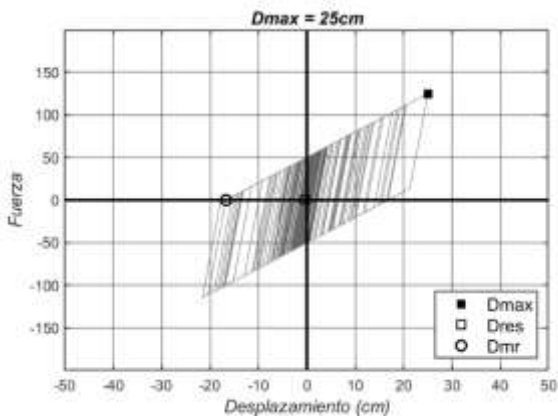
(b)



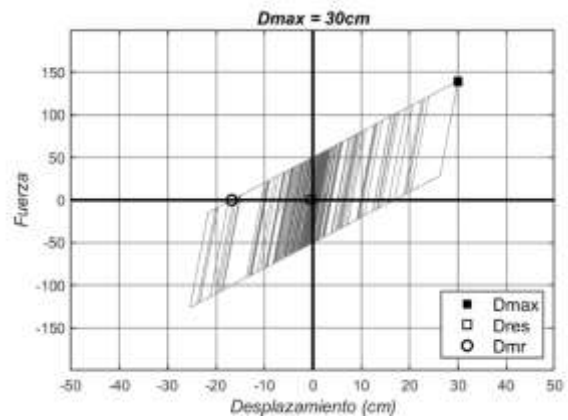
(c)



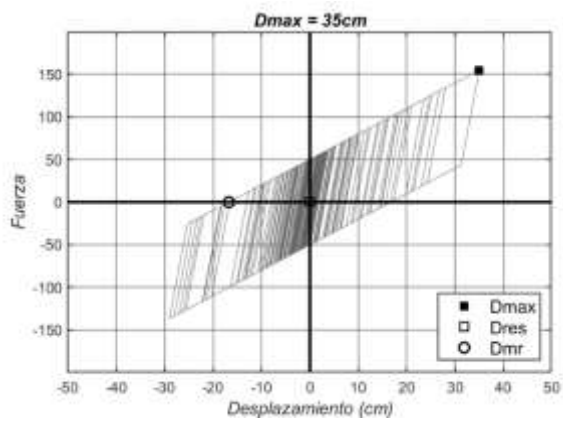
(d)



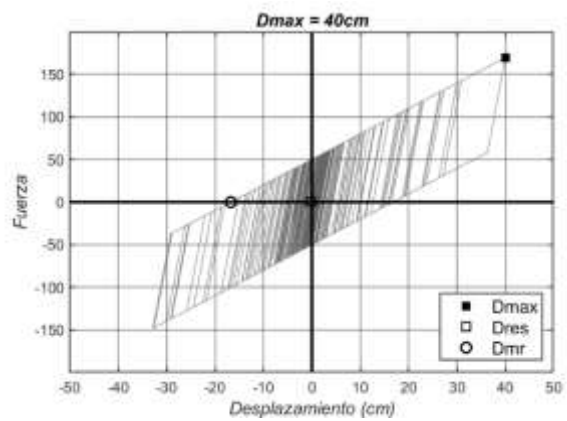
(e)



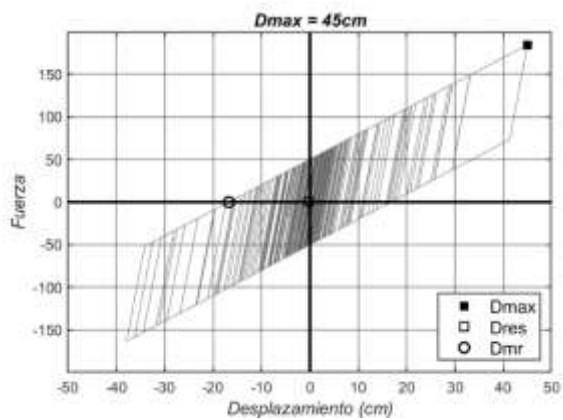
(f)



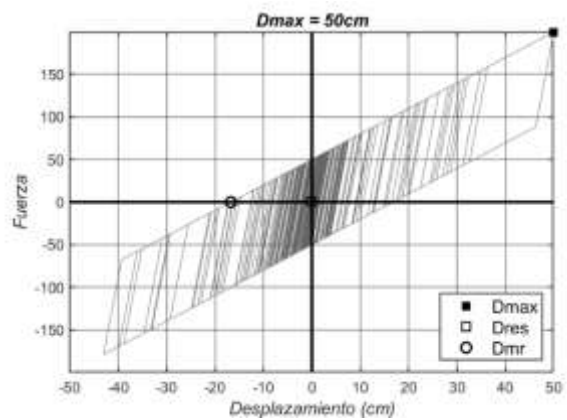
(g)



(h)

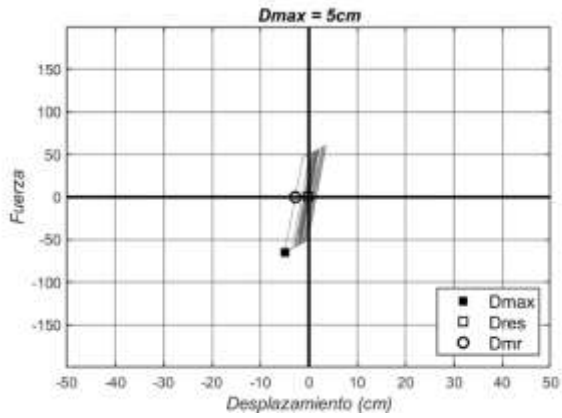


(i)

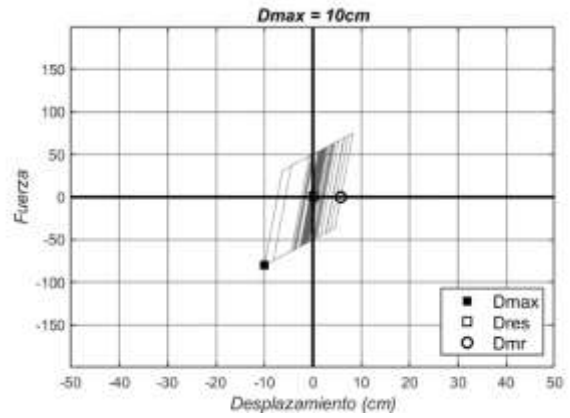


(j)

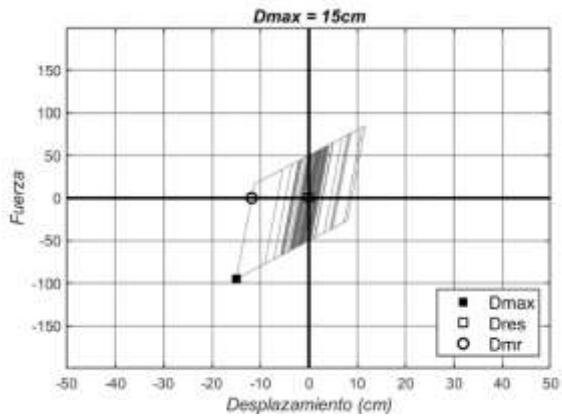
Anexo A-24: Registros AGY2E, SUGL con $r = 20\%$



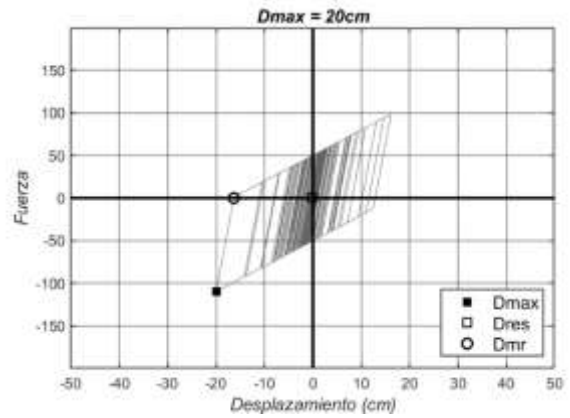
(a)



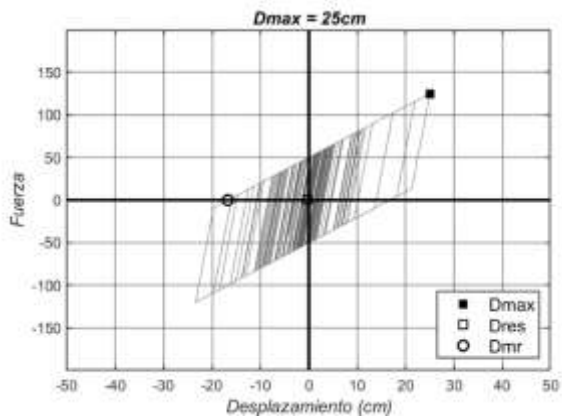
(b)



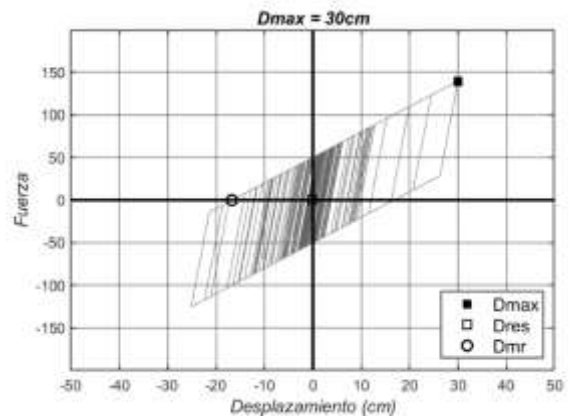
(c)



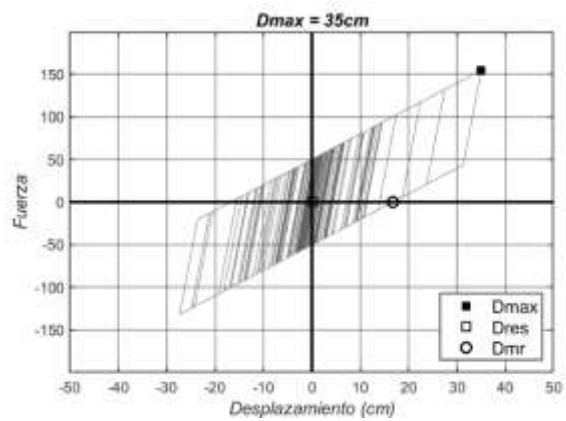
(d)



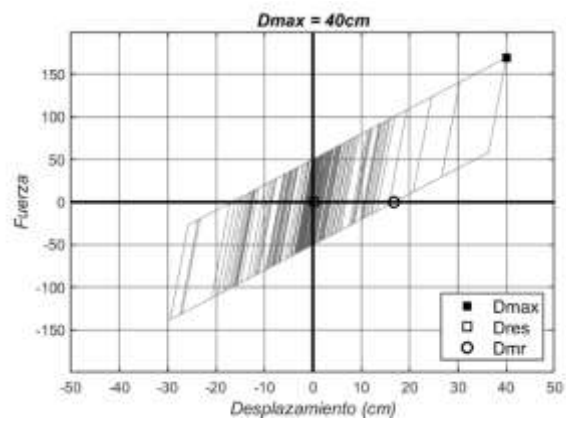
(e)



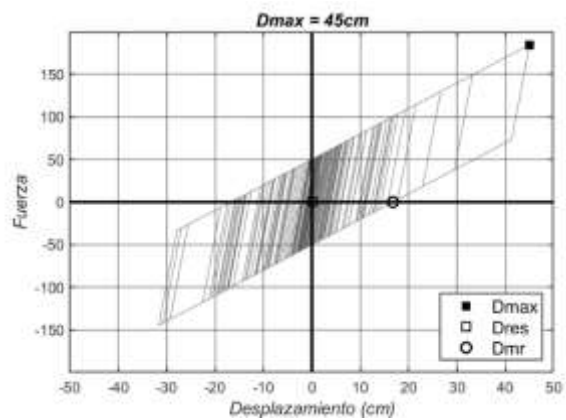
(f)



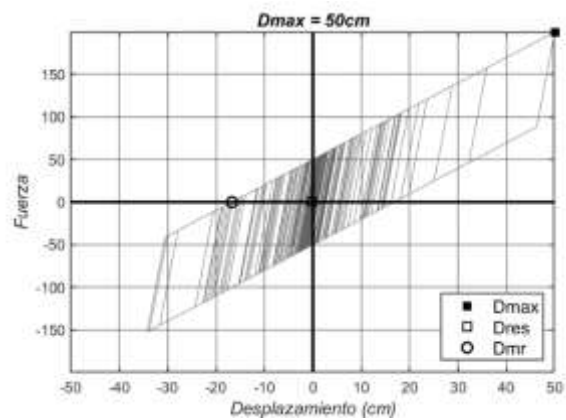
(g)



(h)

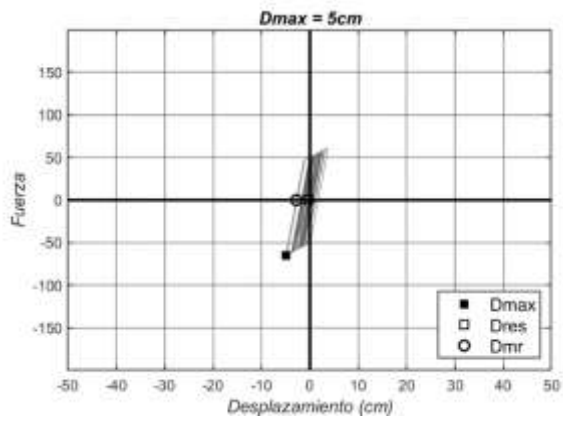


(i)

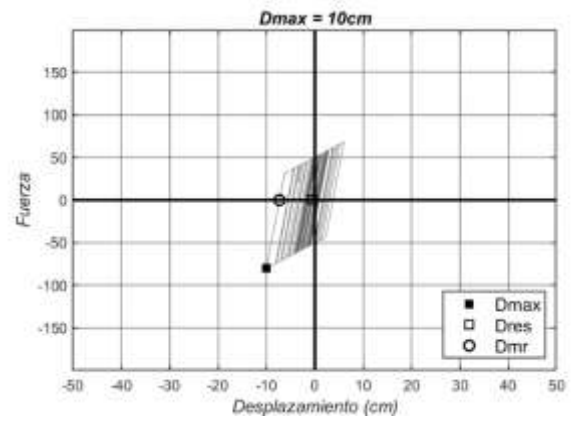


(j)

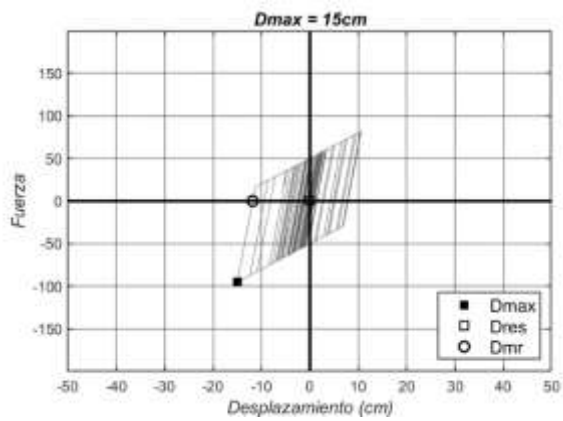
Anexo A-25: Registros AGYEE, SUGL con $r = 20\%$



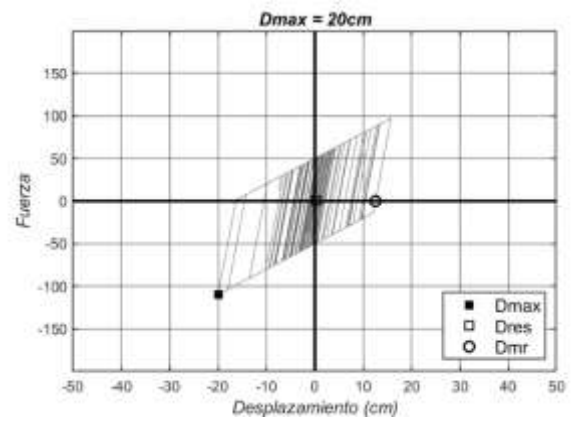
(a)



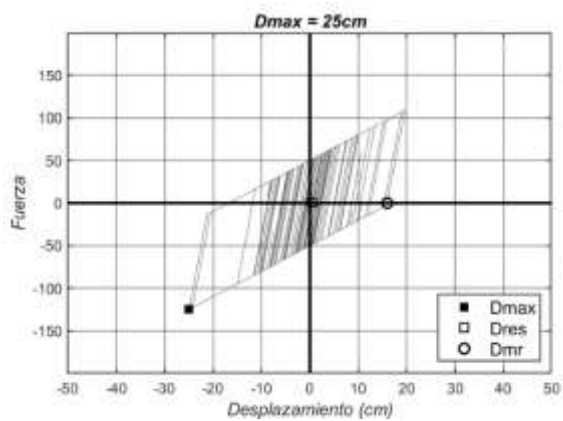
(b)



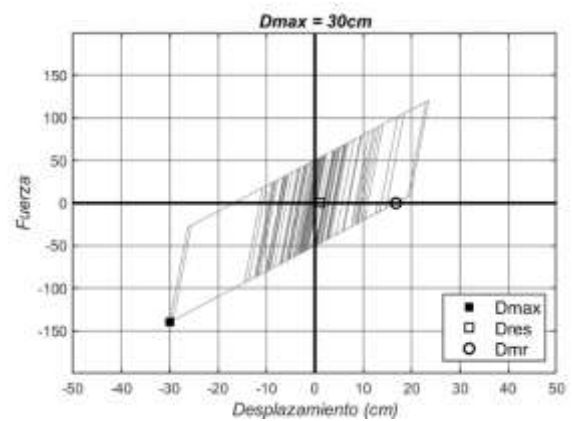
(c)



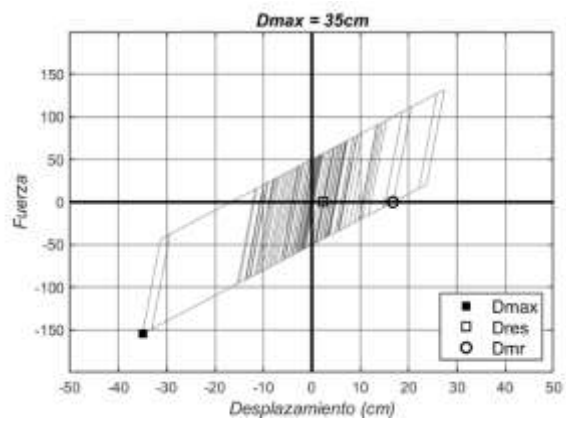
(d)



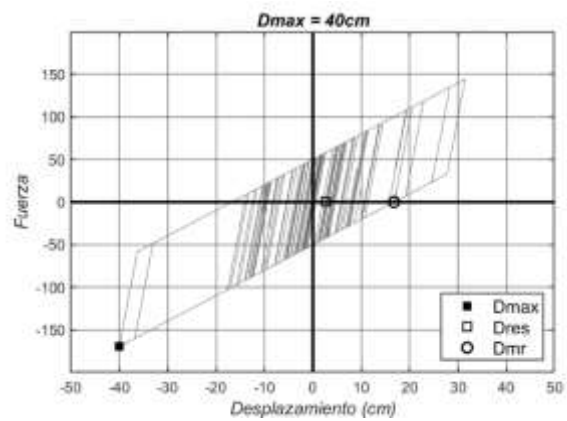
(e)



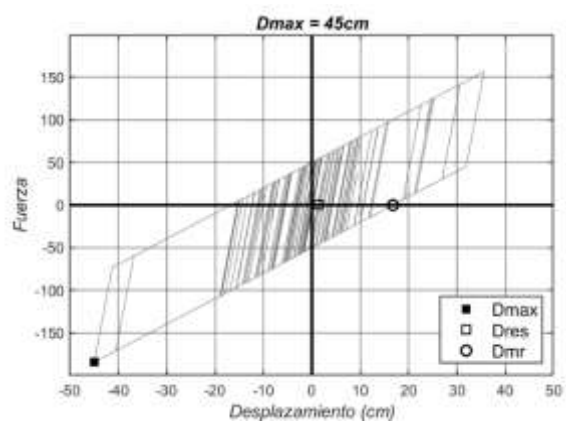
(f)



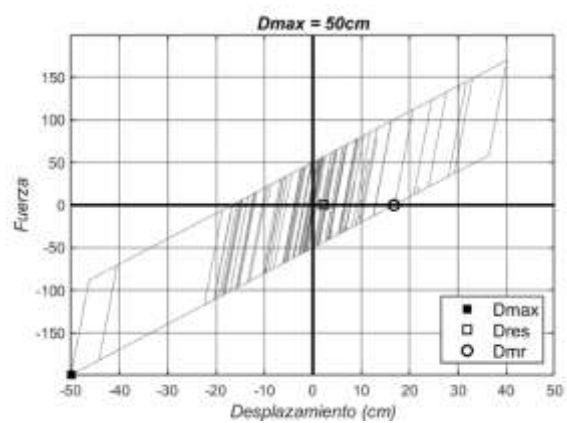
(g)



(h)

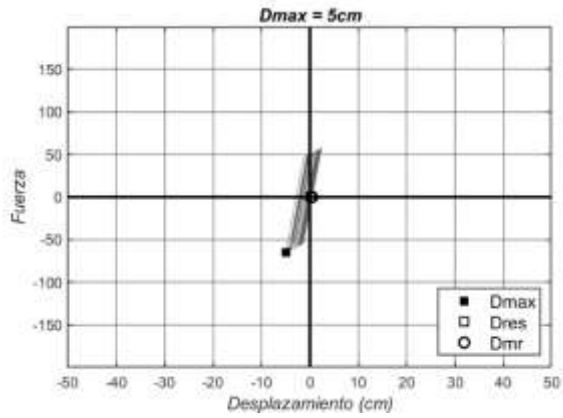


(i)

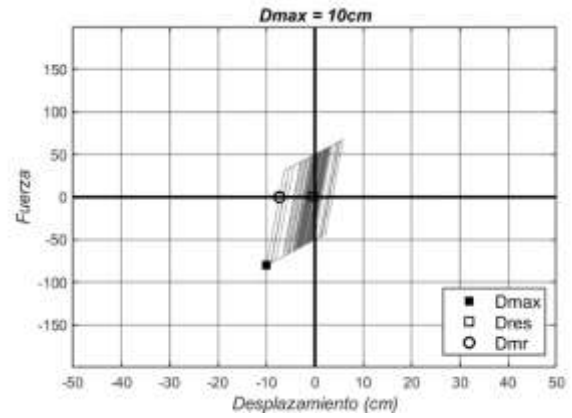


(j)

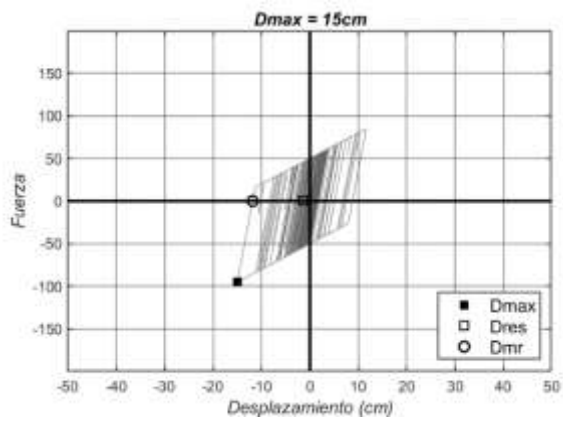
Anexo A-26: Registros AMA1E, SUGL con $r = 20\%$



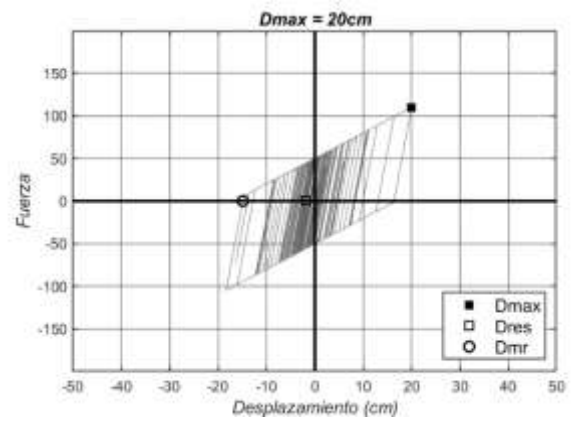
(a)



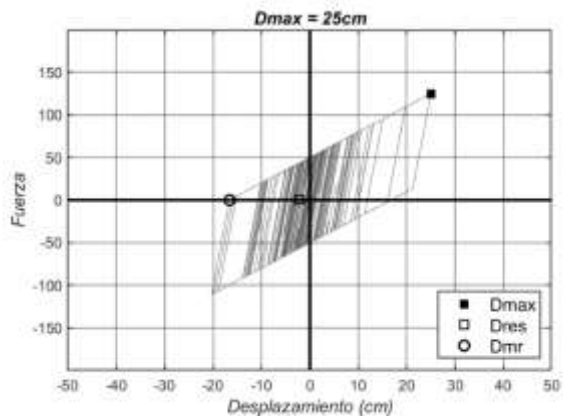
(b)



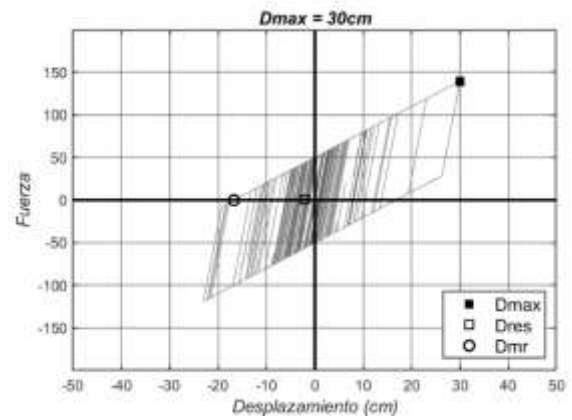
(c)



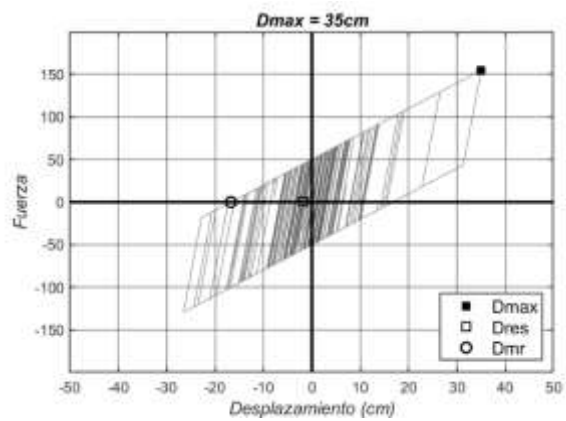
(d)



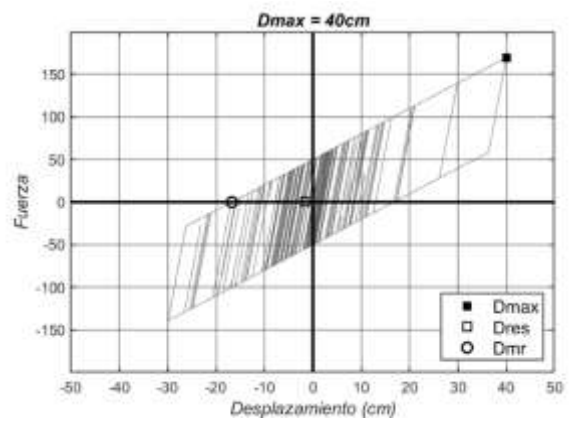
(e)



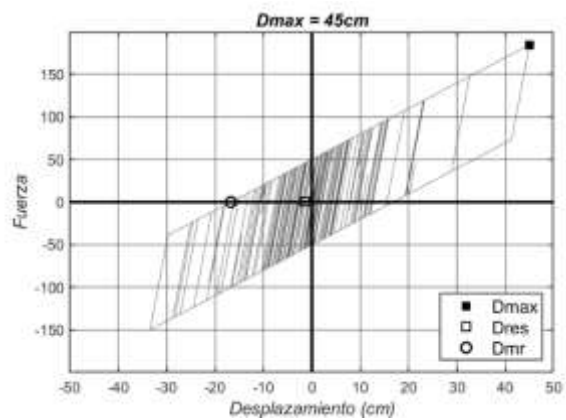
(f)



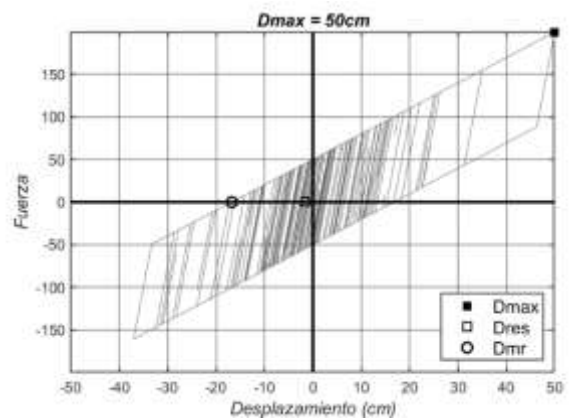
(g)



(h)

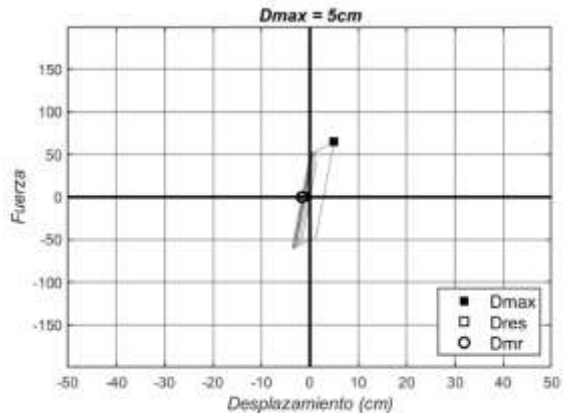


(i)

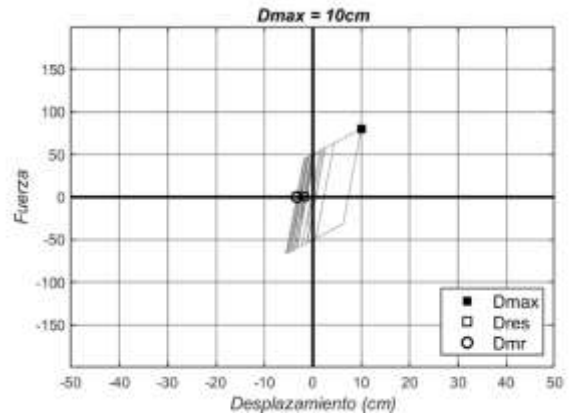


(j)

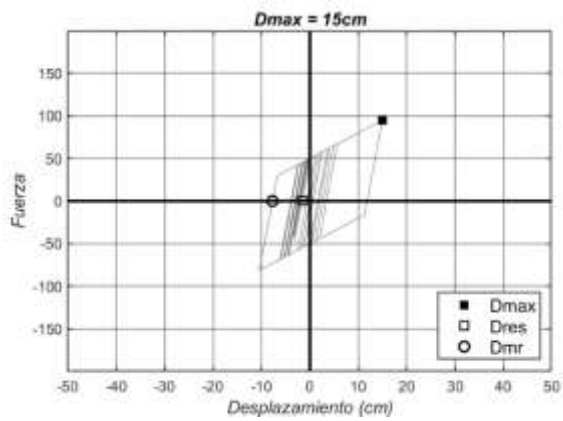
Anexo A-27: Registros AMNTE, SUGL con $r = 20\%$



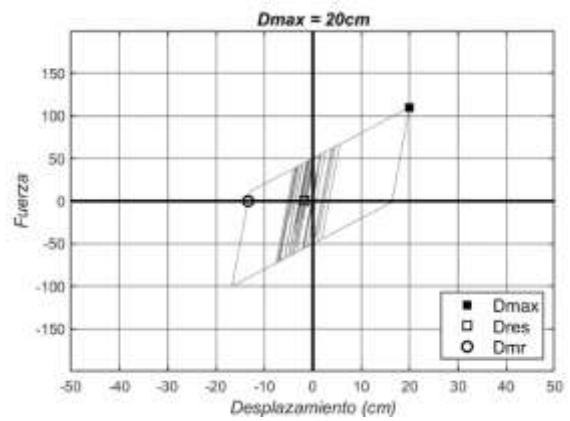
(a)



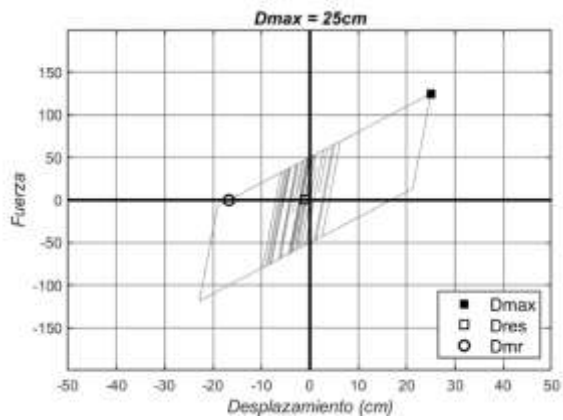
(b)



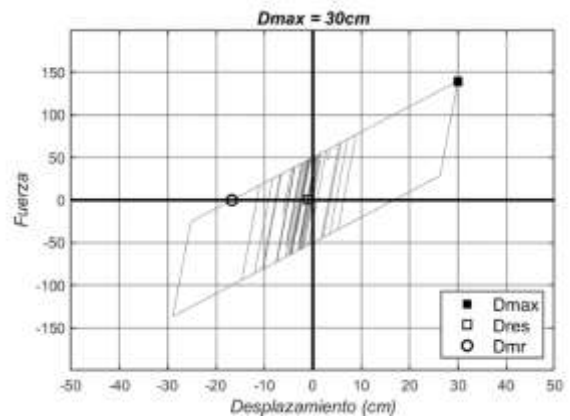
(c)



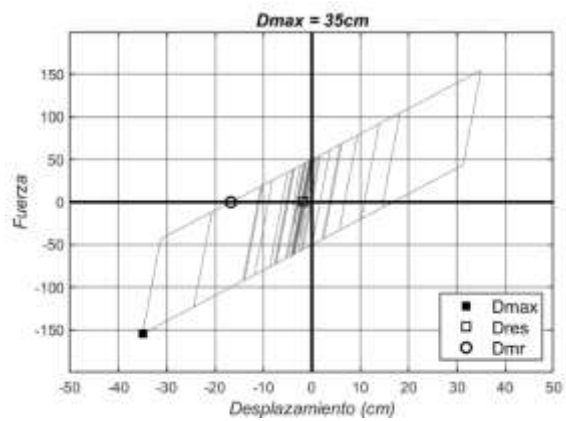
(d)



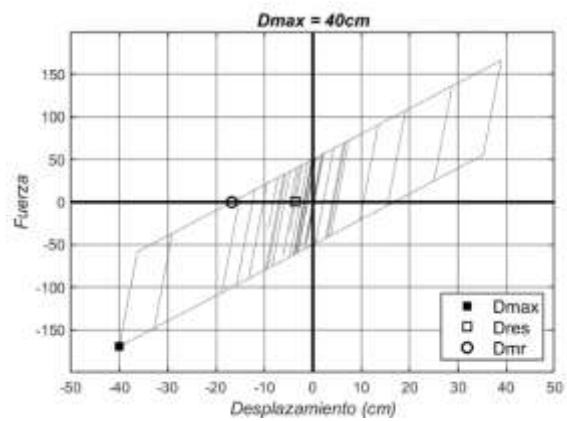
(e)



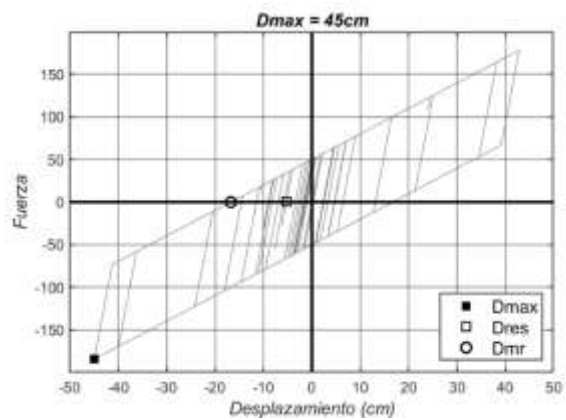
(f)



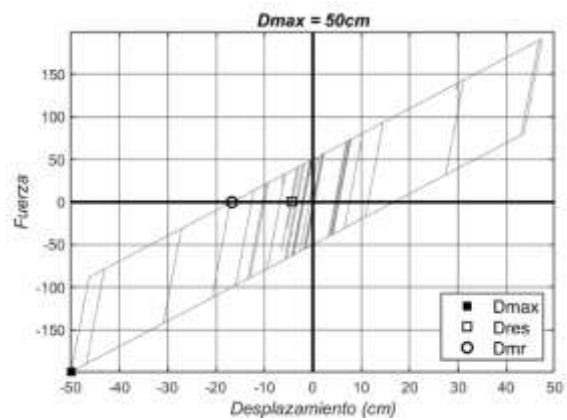
(g)



(h)

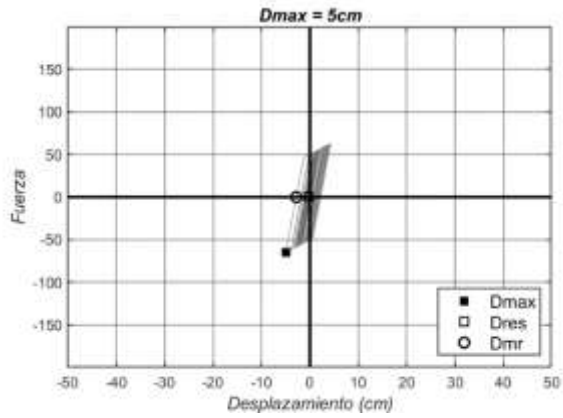


(i)

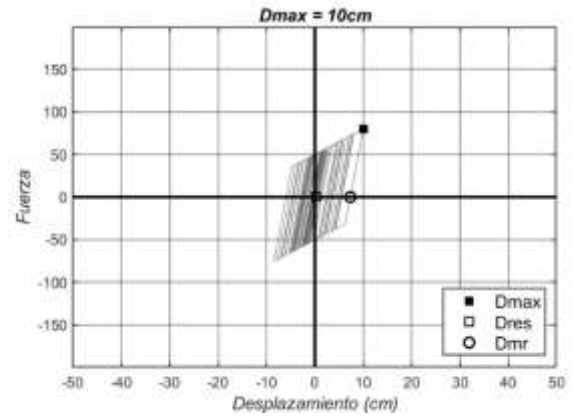


(j)

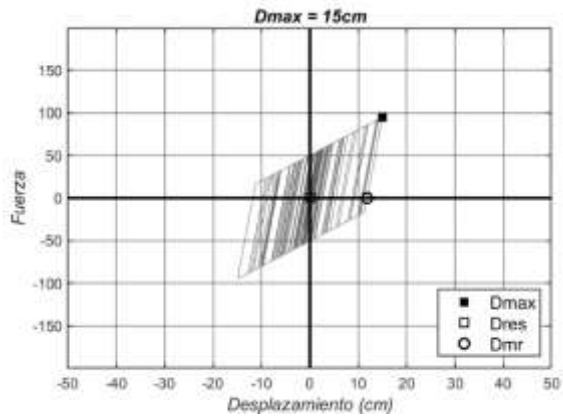
Anexo A-28: Registros APEDE, SUGL con $r = 20\%$



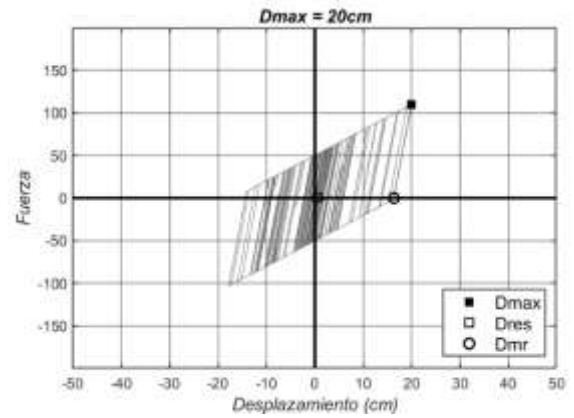
(a)



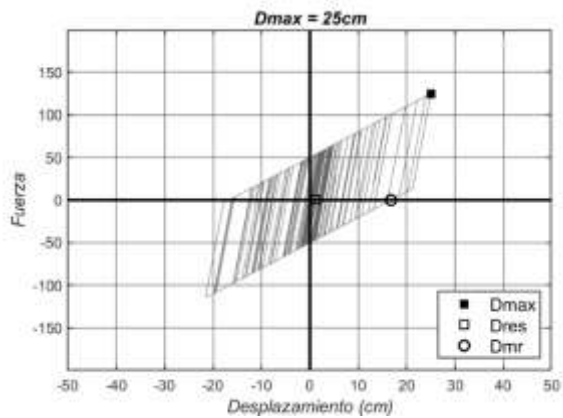
(b)



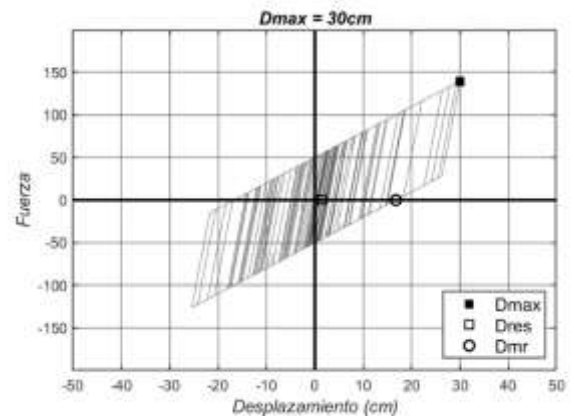
(c)



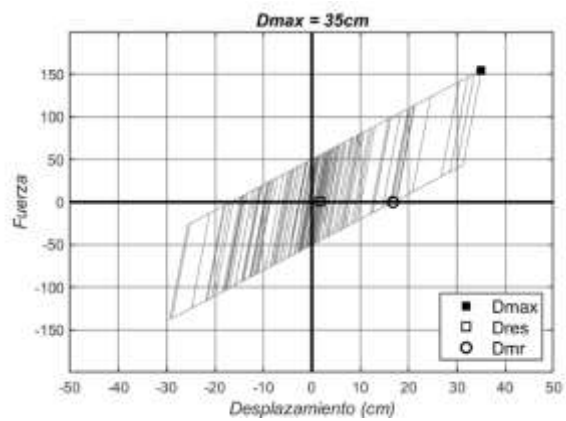
(d)



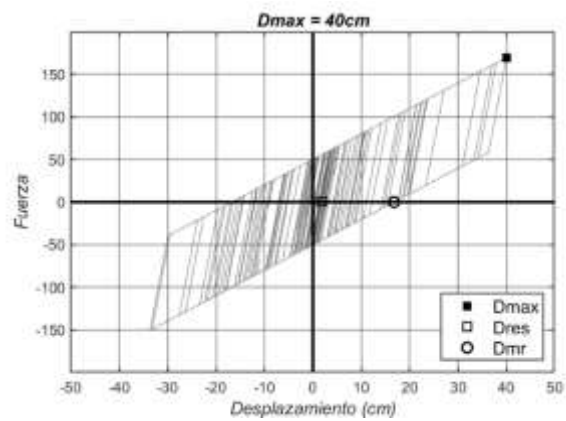
(e)



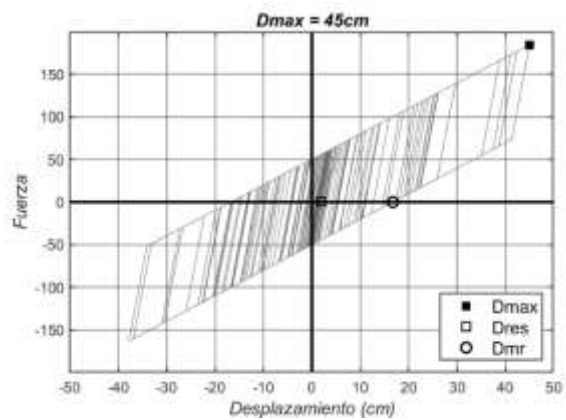
(d)



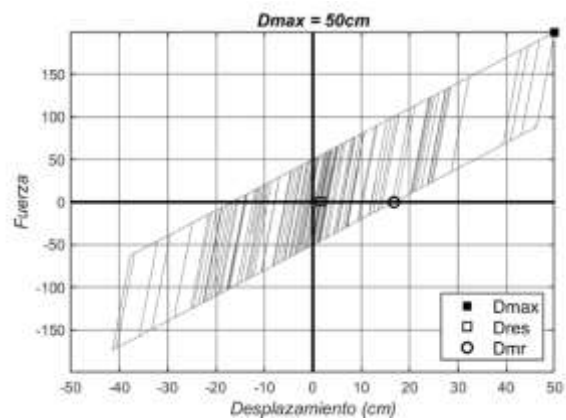
(g)



(h)

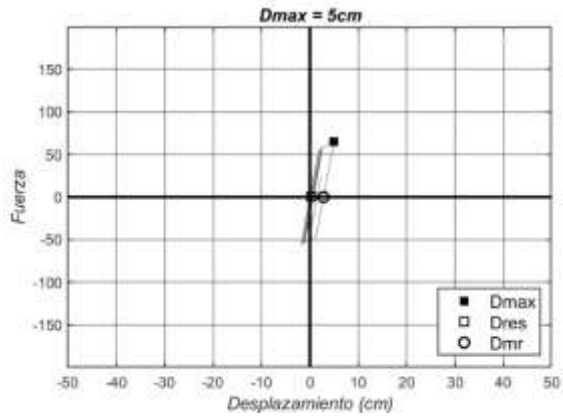


(i)

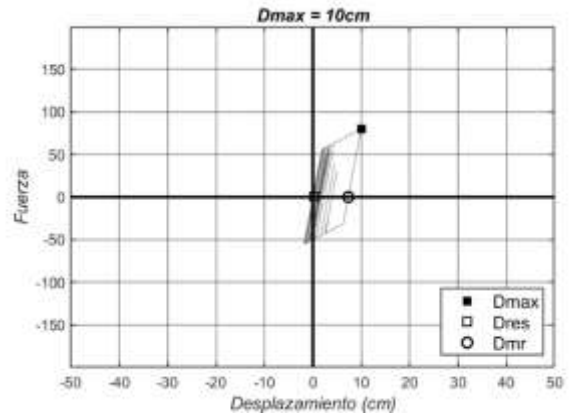


(j)

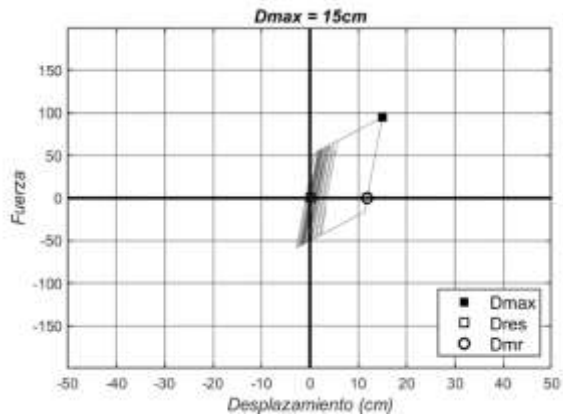
Anexo A-29: Registros APO1E, SUGL con $r = 20\%$



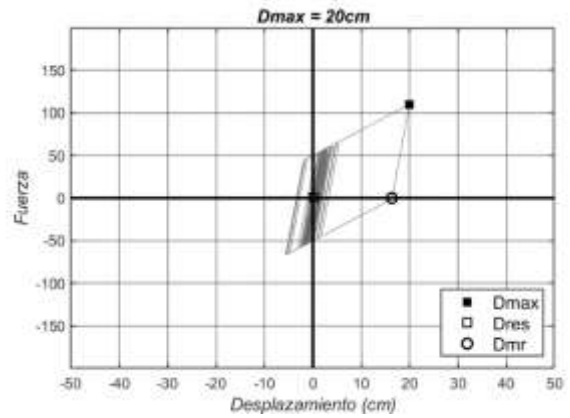
(a)



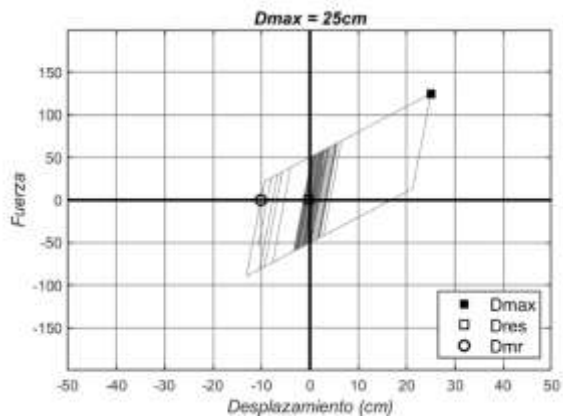
(b)



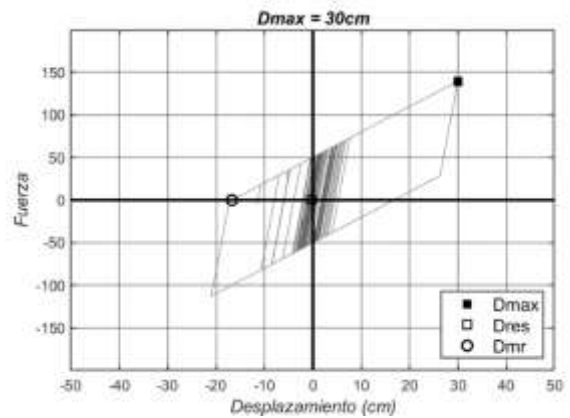
(c)



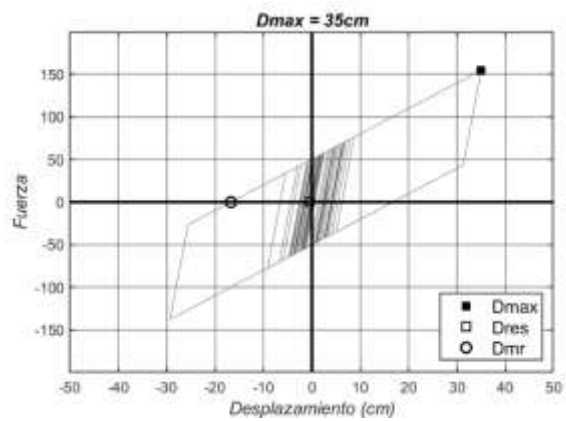
(d)



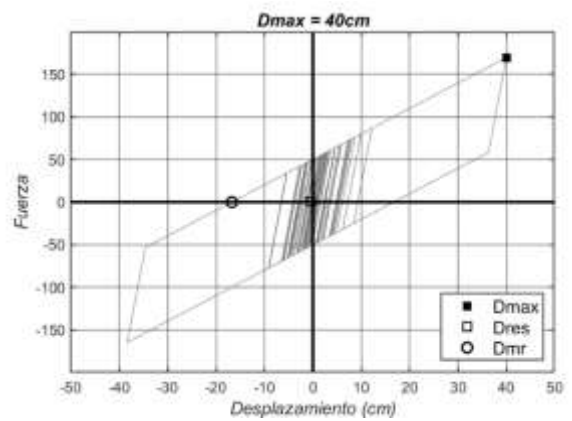
(e)



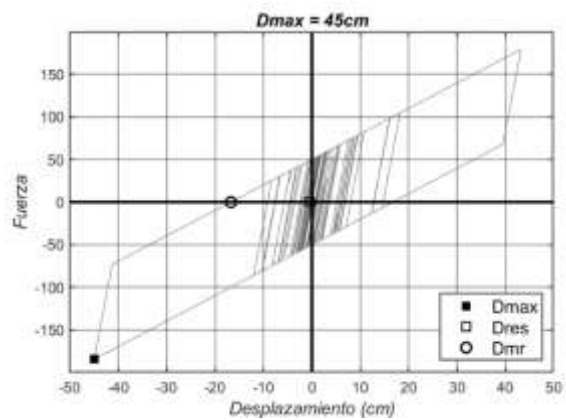
(f)



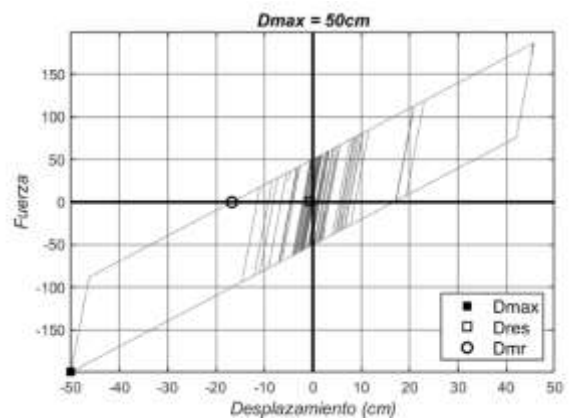
(g)



(h)

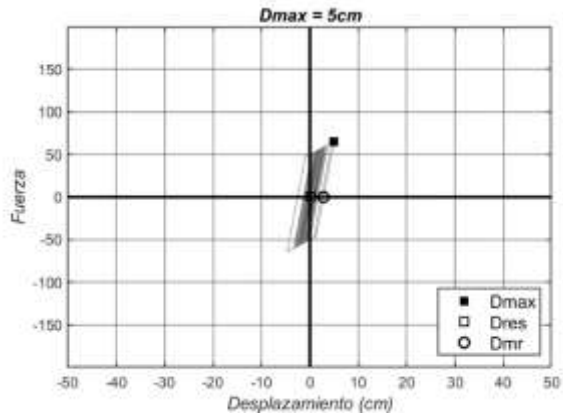


(i)

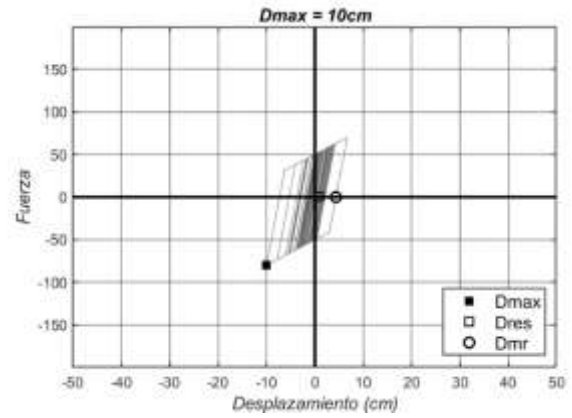


(j)

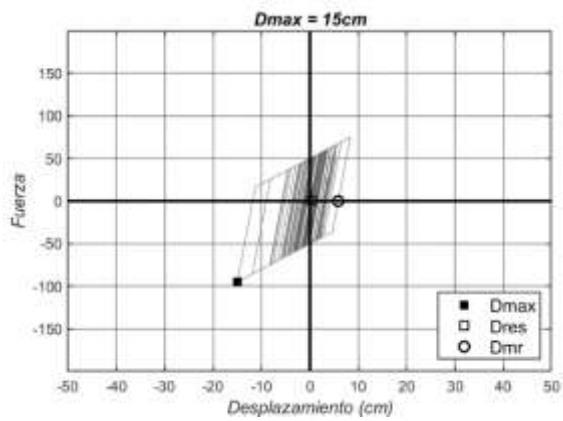
Anexo A-30: Registros PDNSE, SUGL con $r = 20\%$



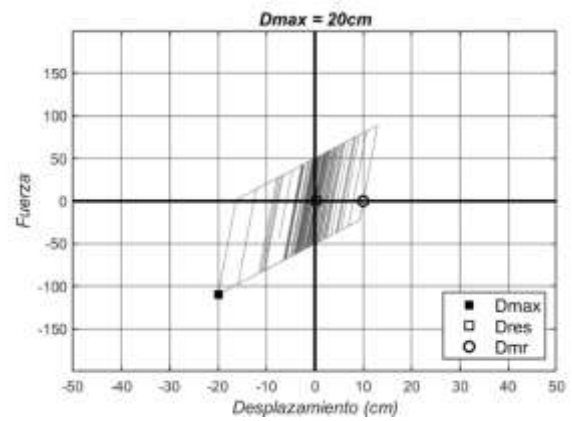
(a)



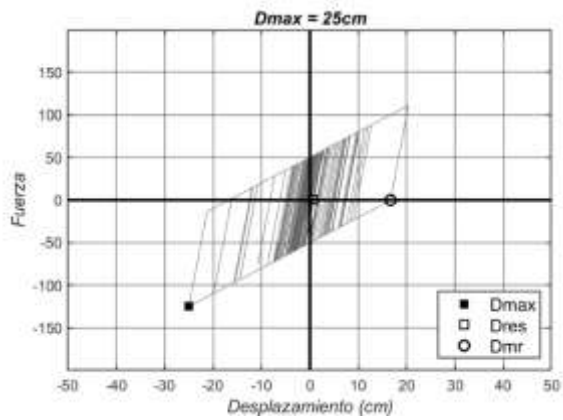
(b)



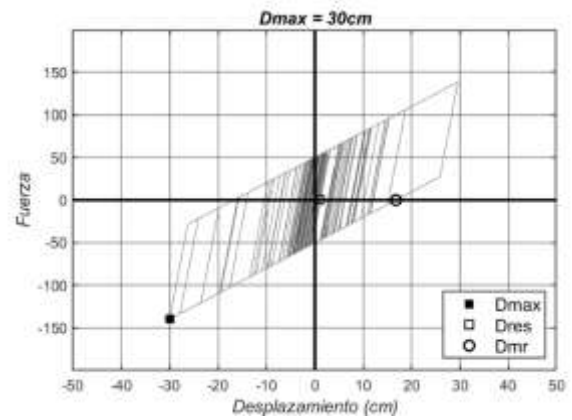
(c)



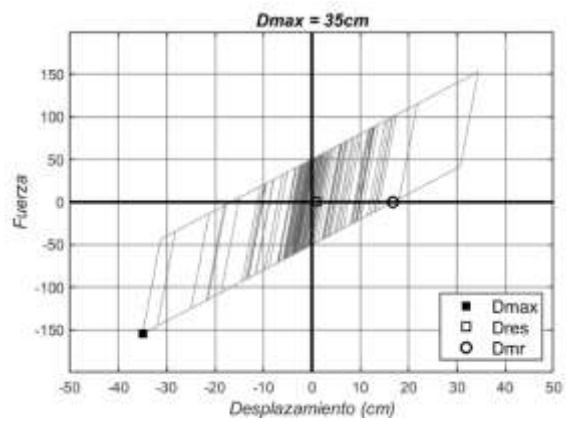
(d)



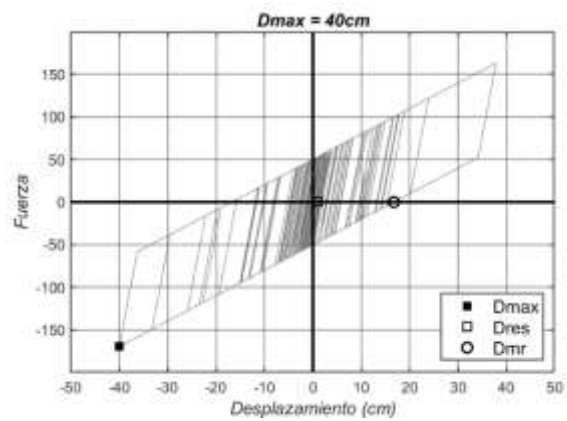
(e)



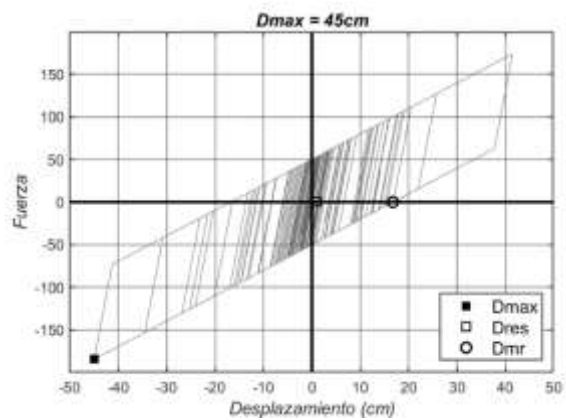
(f)



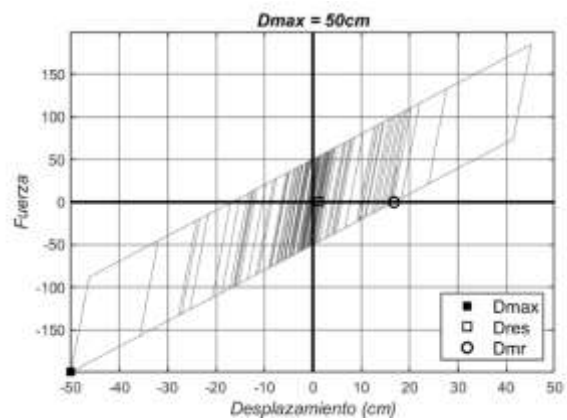
(g)



(h)

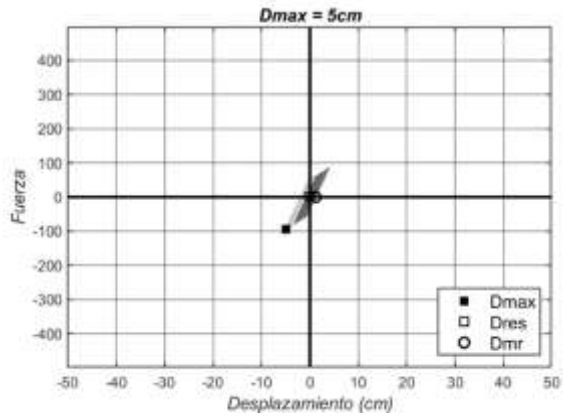


(i)

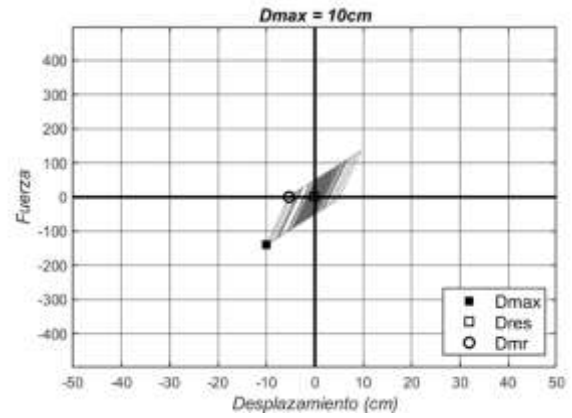


(j)

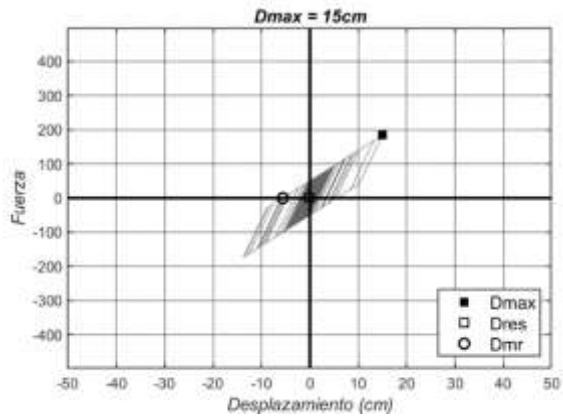
Anexo A-31: Registros AAM2E, SUGL con $r = 30\%$



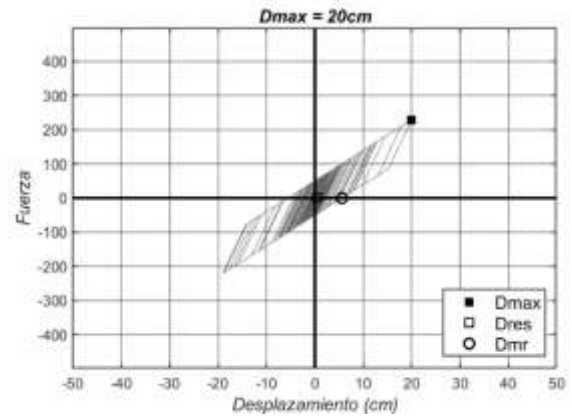
(a)



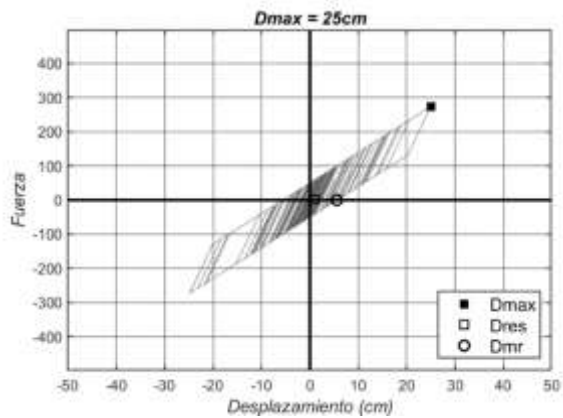
(b)



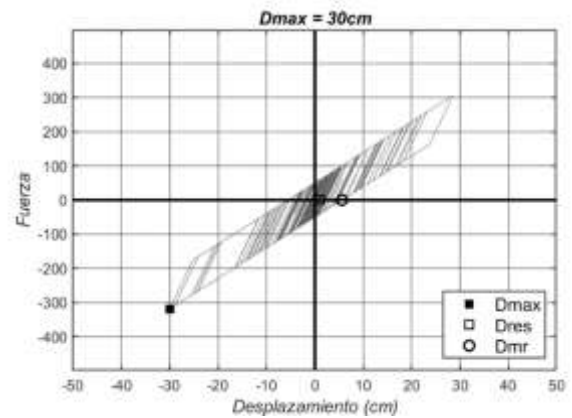
(c)



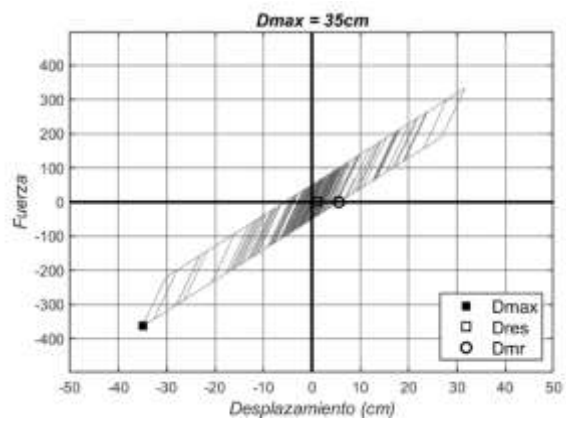
(d)



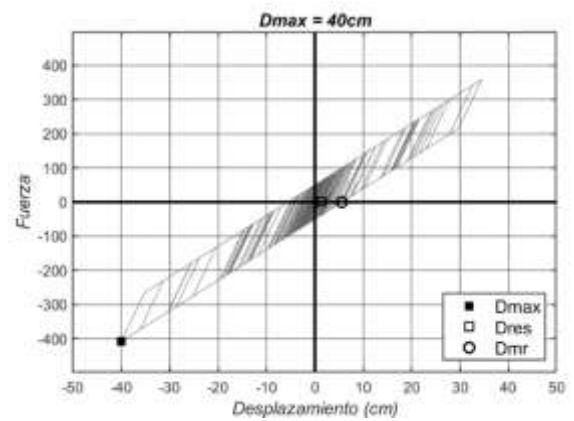
(e)



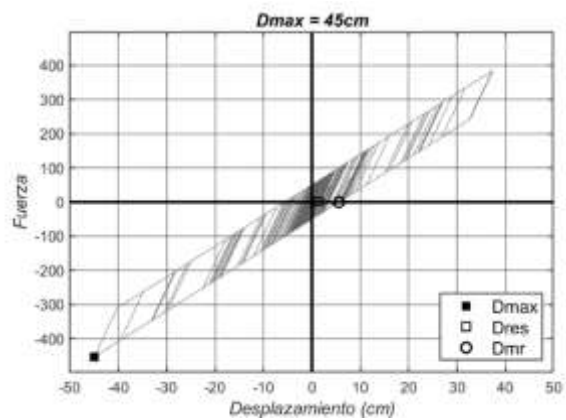
(f)



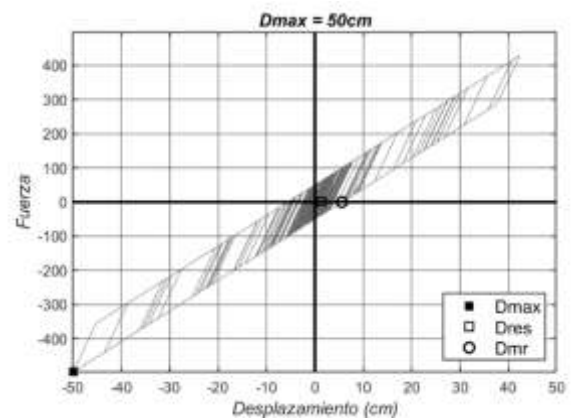
(g)



(h)

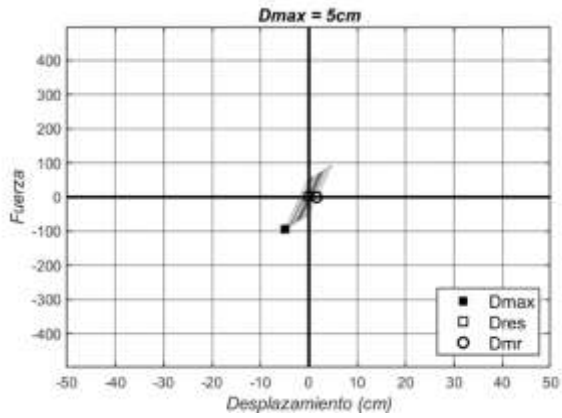


(i)

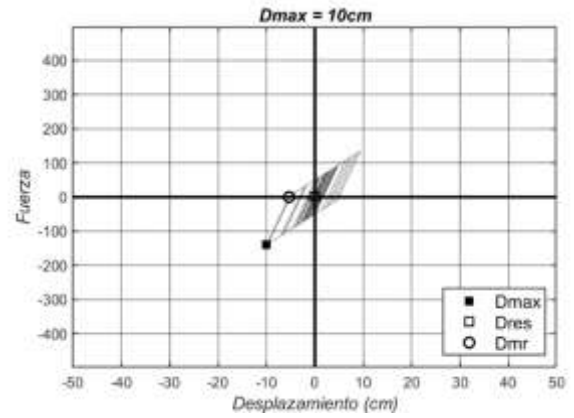


(j)

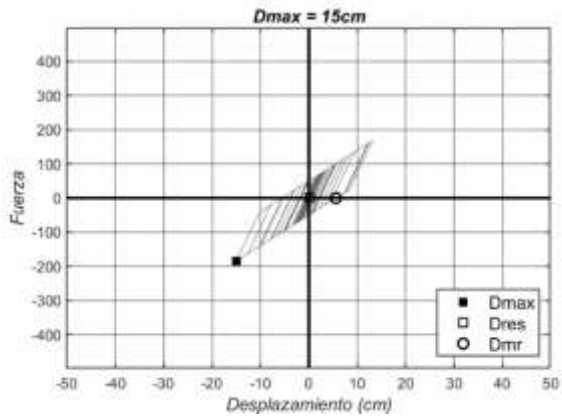
Anexo A-32: Registros ACHNE, SUGL con $r = 30\%$



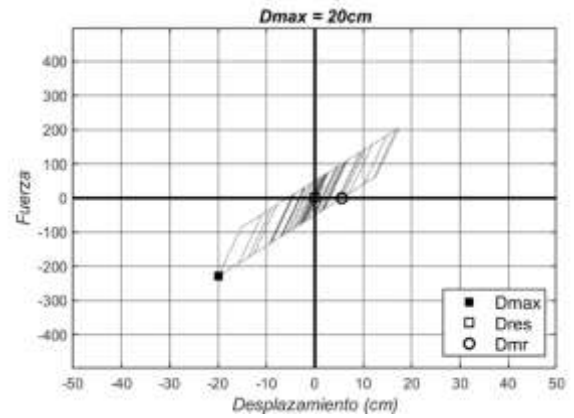
(a)



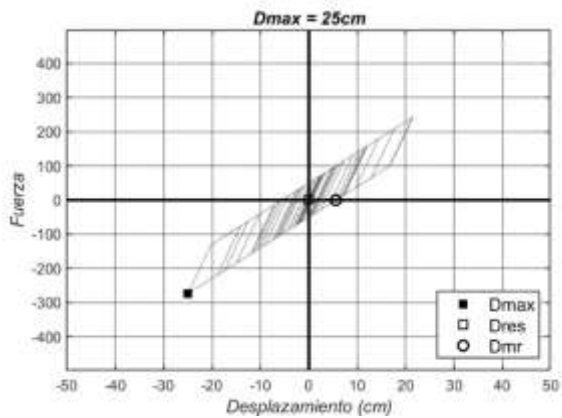
(b)



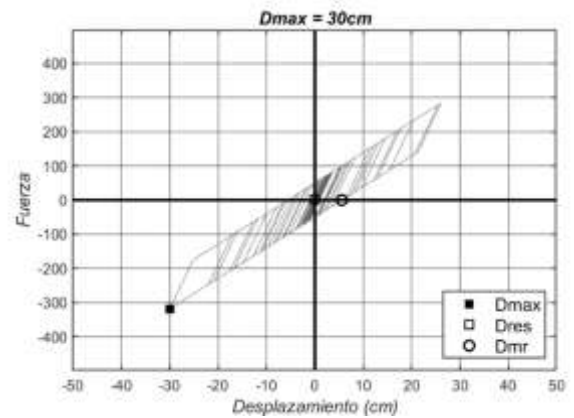
(c)



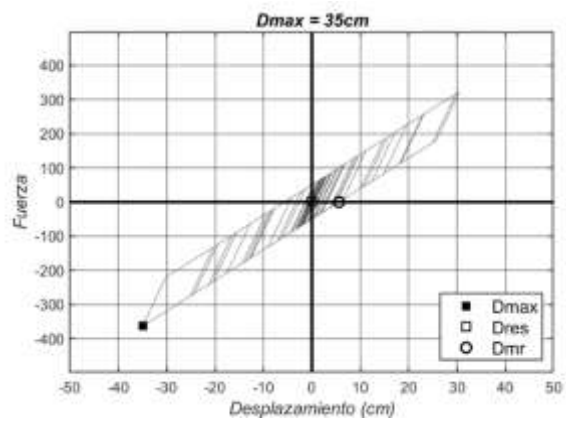
(d)



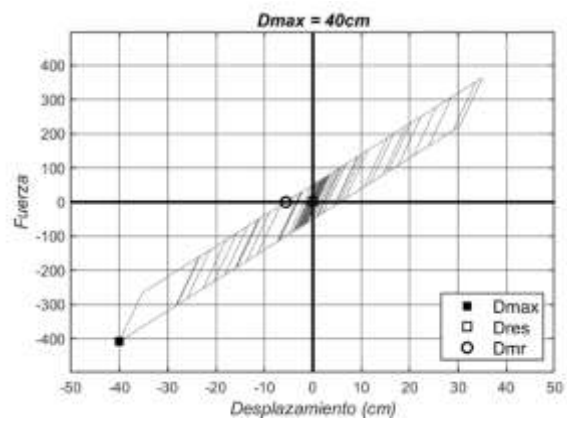
(e)



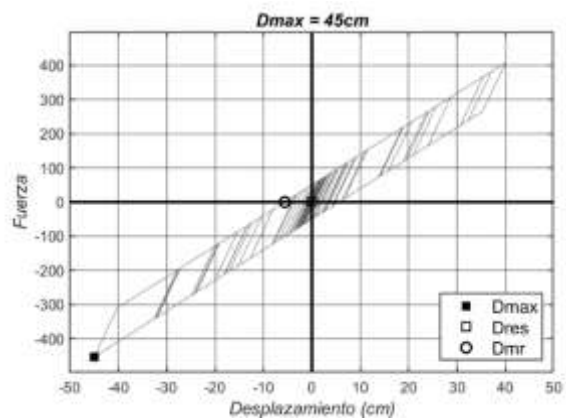
(f)



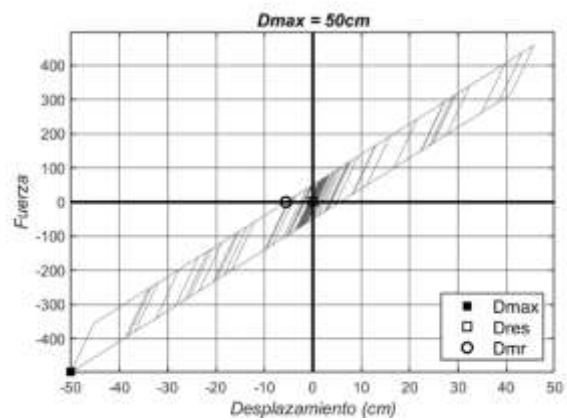
(g)



(h)

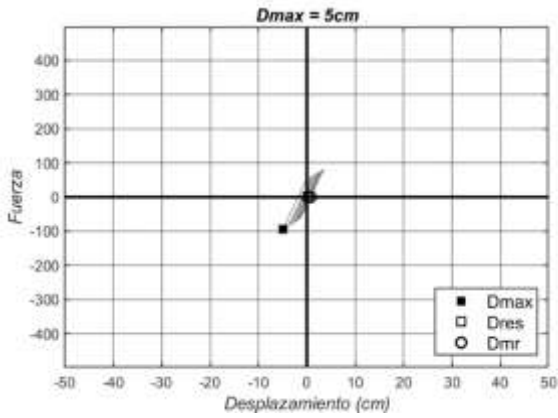


(i)

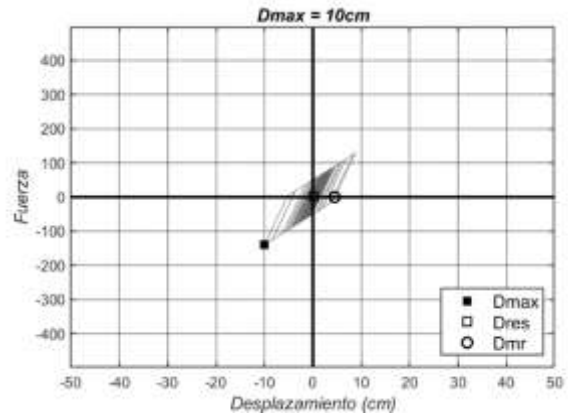


(j)

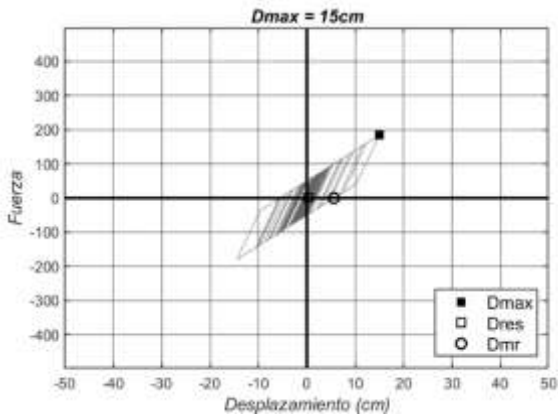
Anexo A-33: Registros AGY1E, SUGL con $r = 30\%$



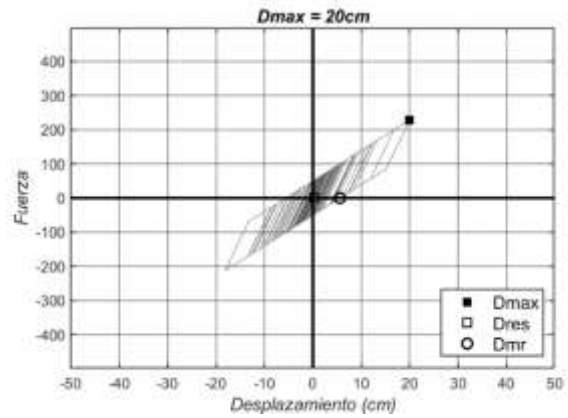
(a)



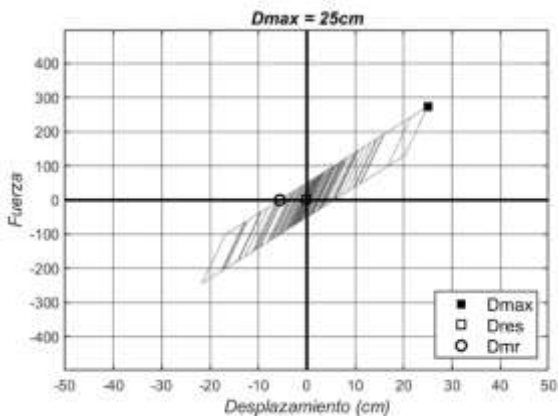
(b)



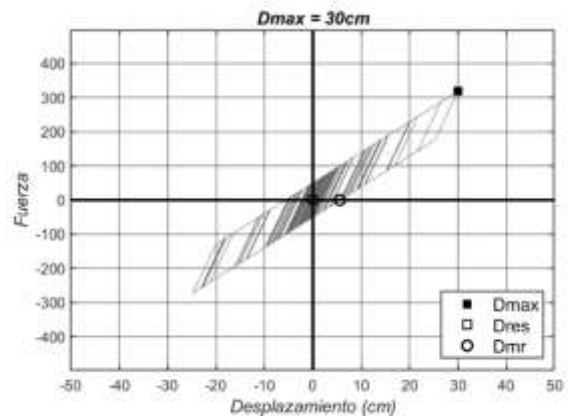
(c)



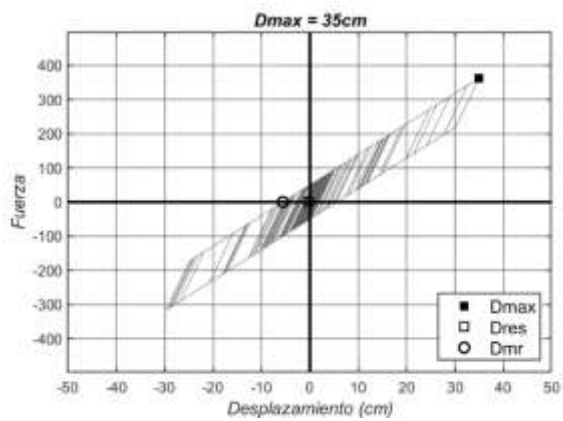
(d)



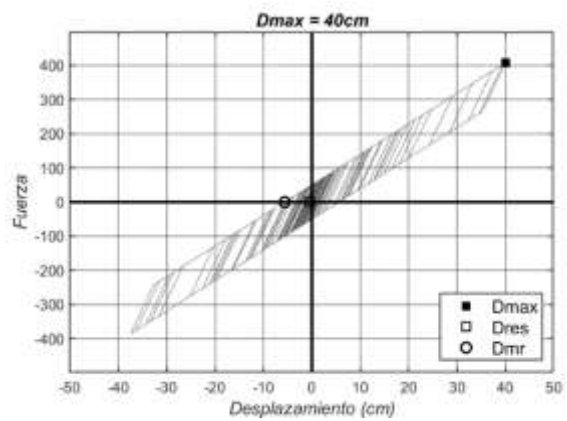
(e)



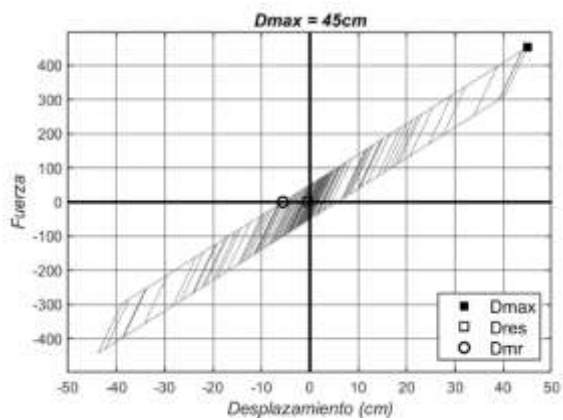
(f)



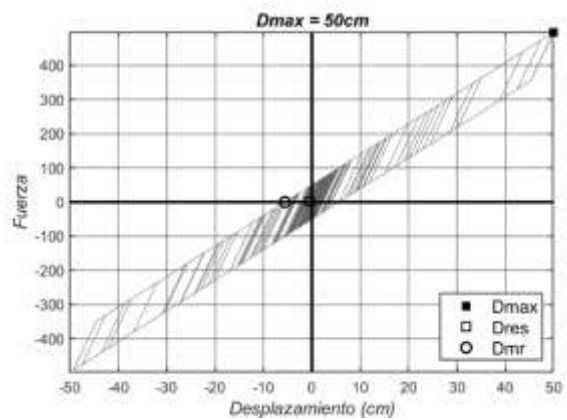
(g)



(h)

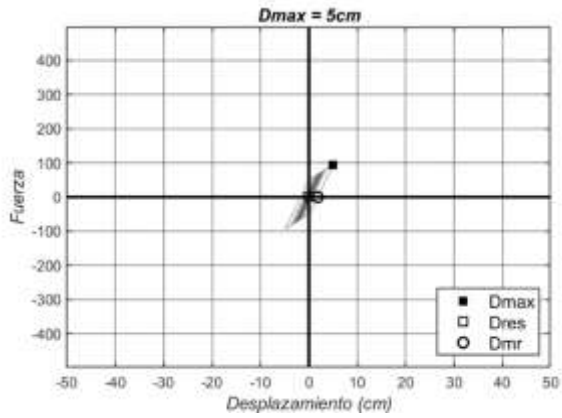


(i)

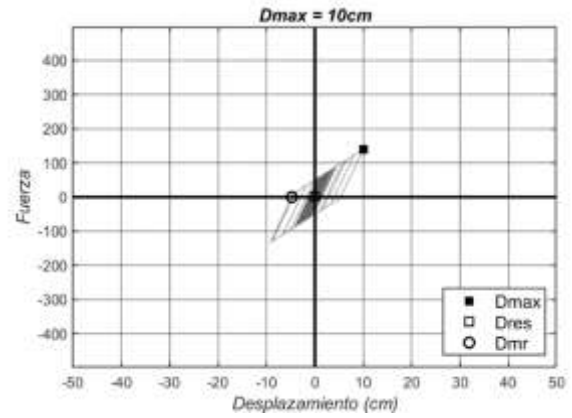


(j)

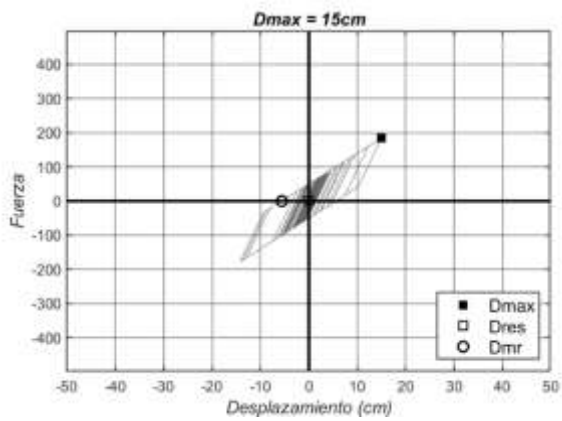
Anexo A-34: Registros AGY2E, SUGL con $r = 30\%$



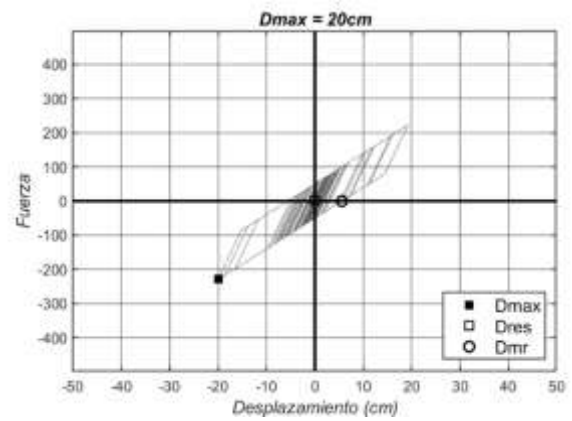
(a)



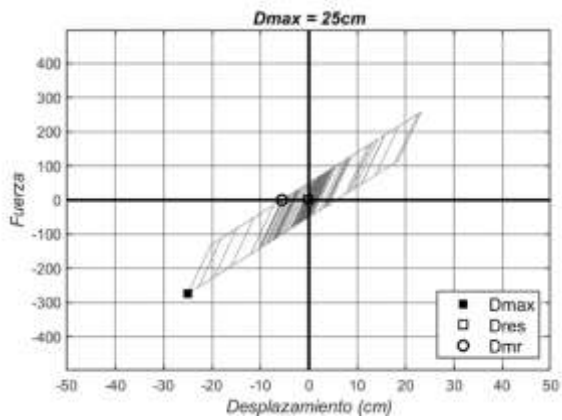
(b)



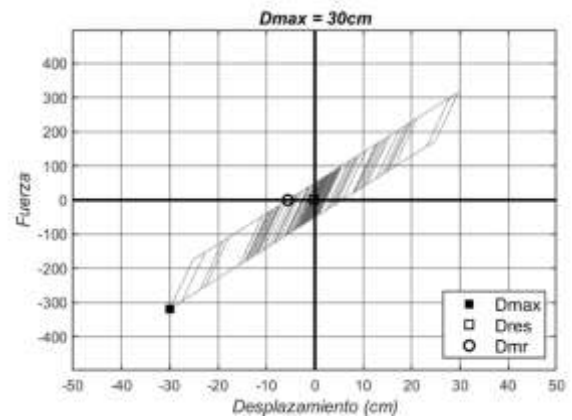
(c)



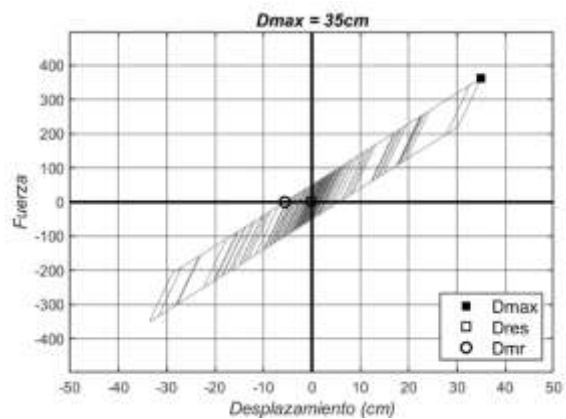
(d)



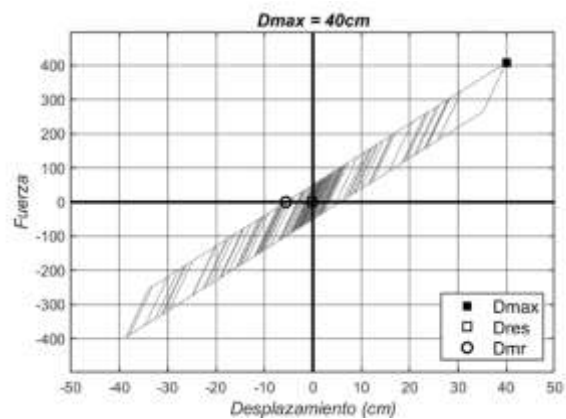
(e)



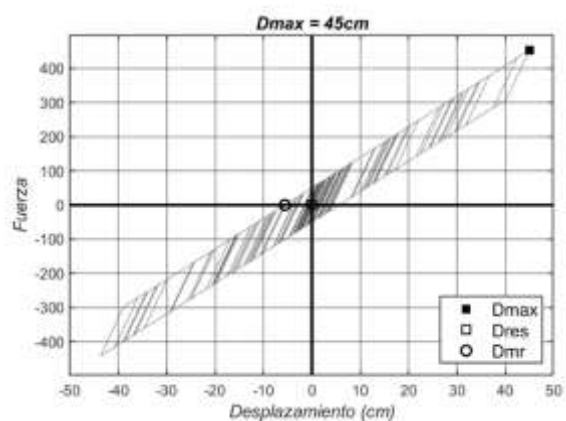
(f)



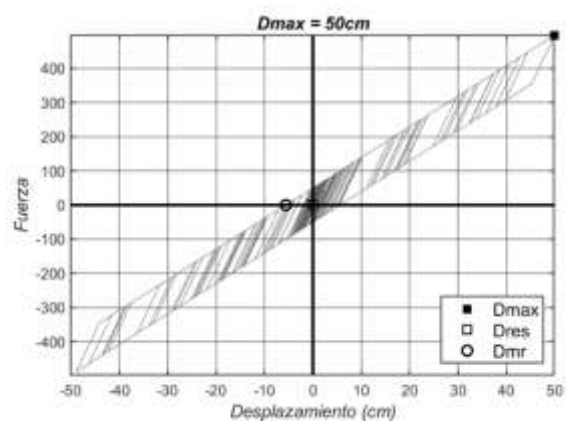
(g)



(h)

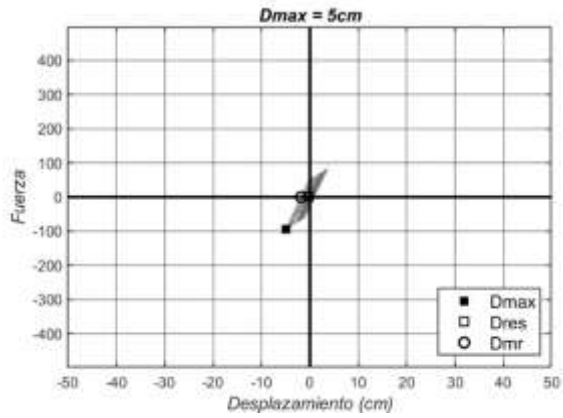


(i)

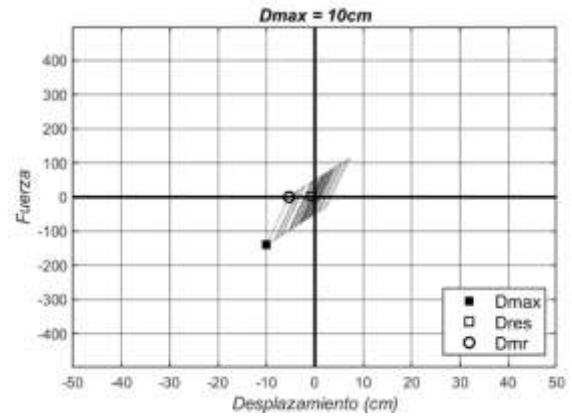


(j)

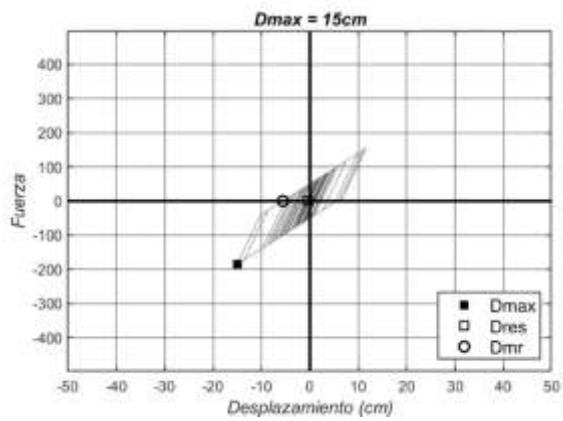
Anexo A-35: Registros AGYEE, SUGL con $r = 30\%$



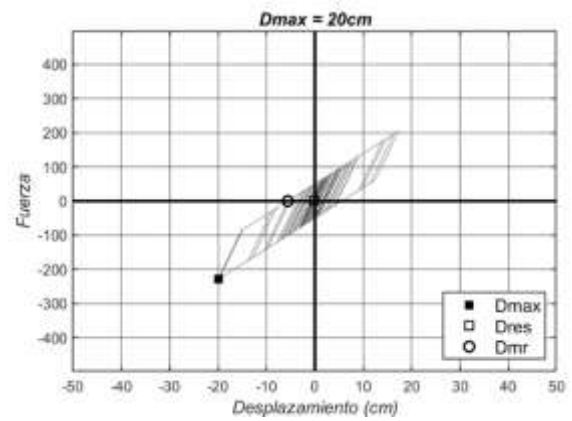
(a)



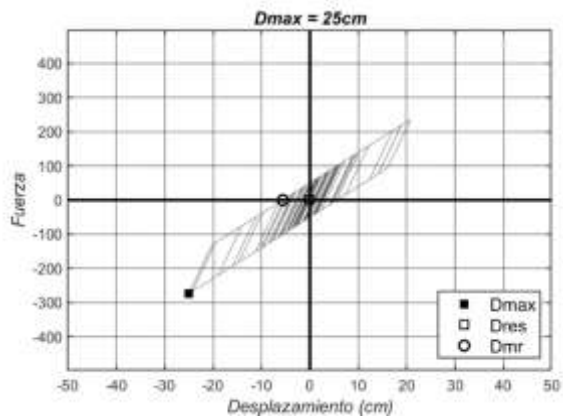
(b)



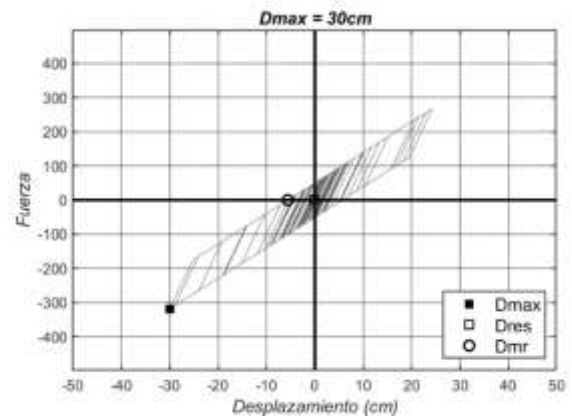
(c)



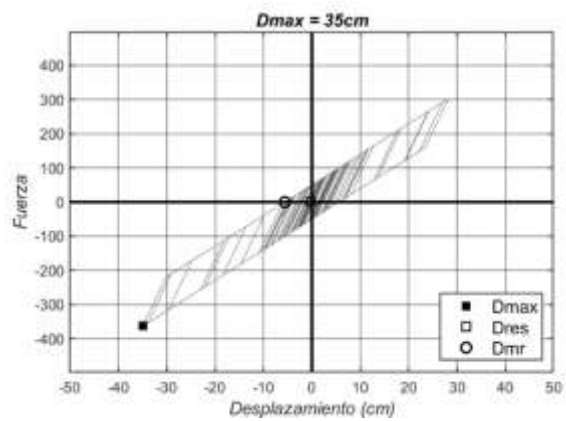
(d)



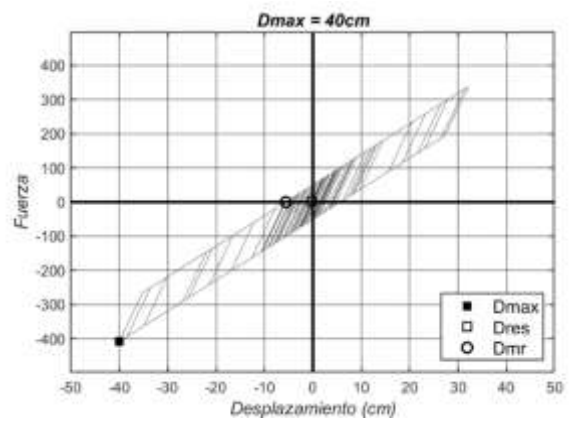
(e)



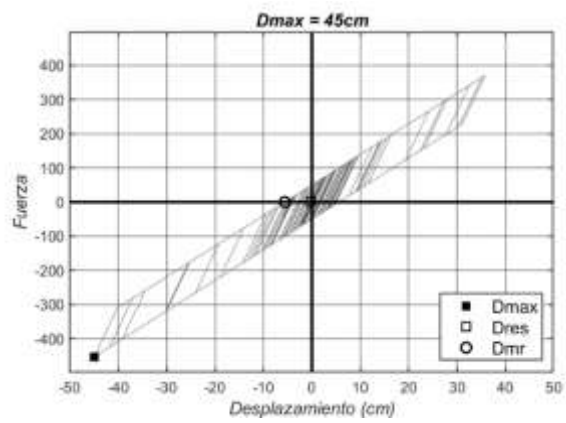
(f)



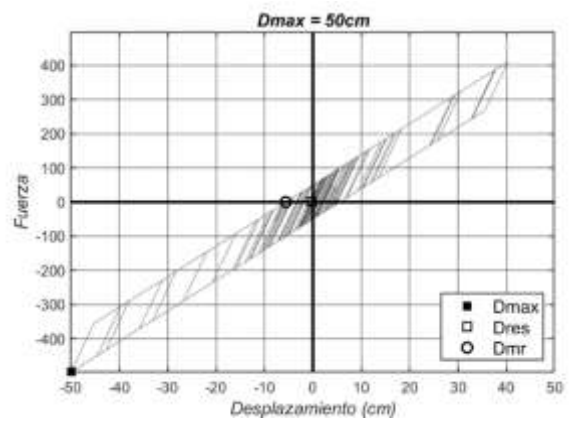
(g)



(h)

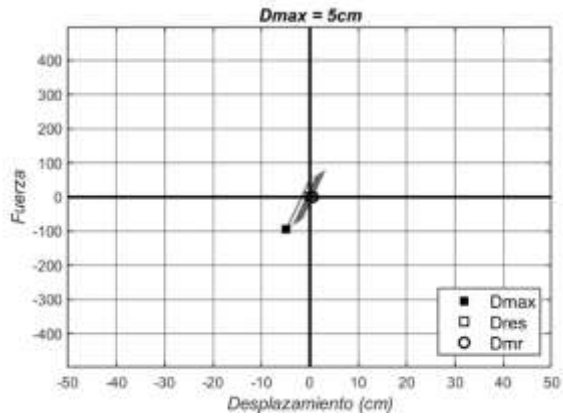


(i)

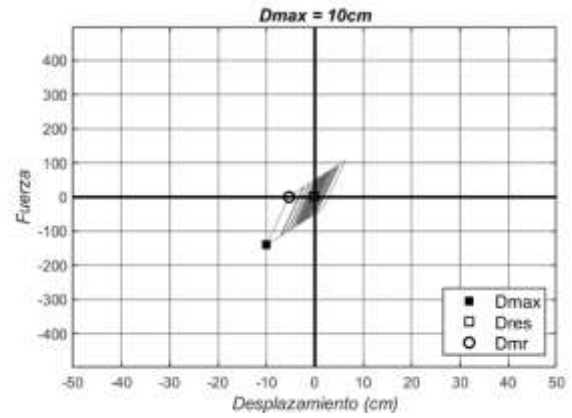


(j)

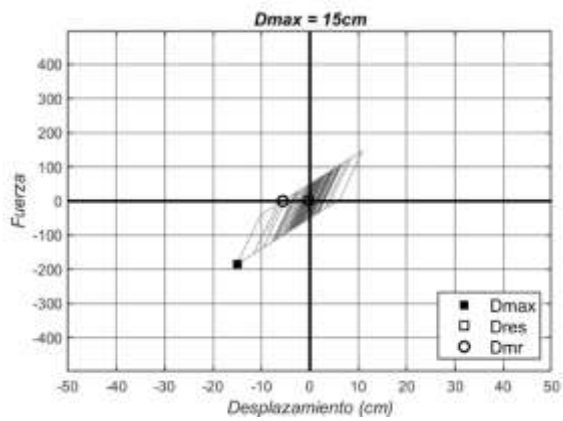
Anexo A-36: Registros AMA1E, SUGL con $r = 30\%$



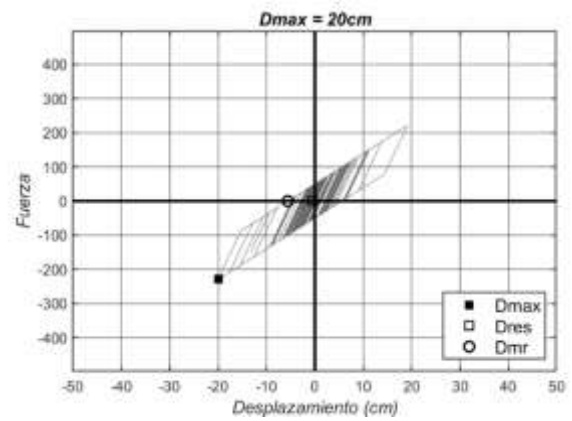
(a)



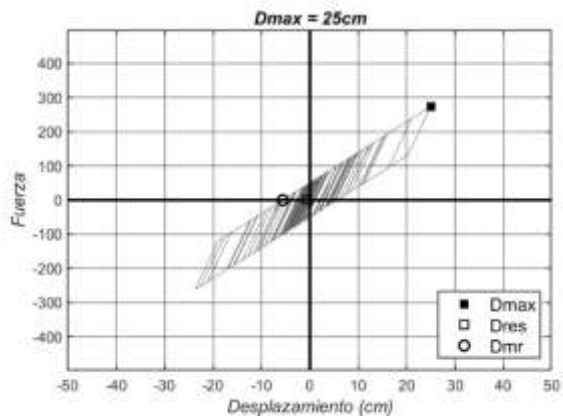
(b)



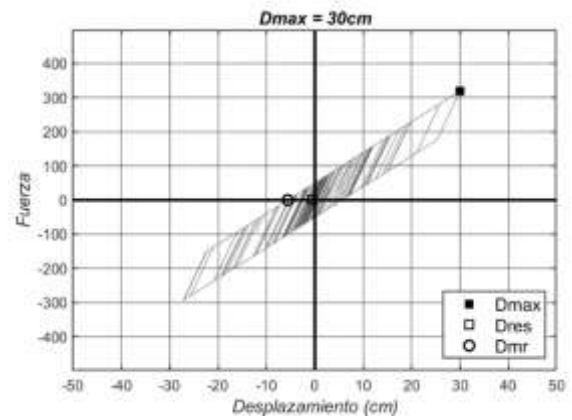
(c)



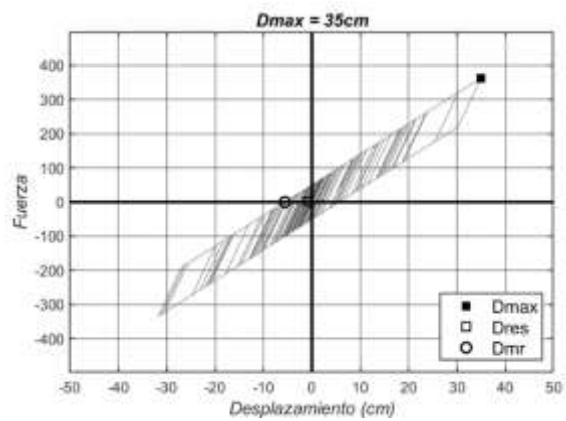
(d)



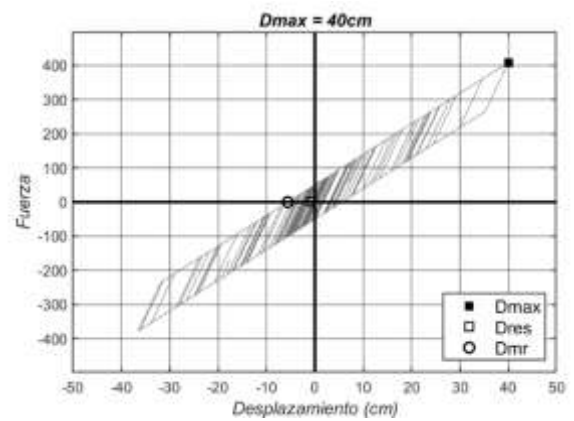
(e)



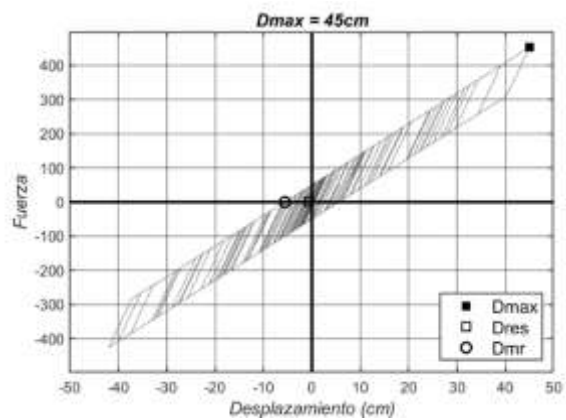
(f)



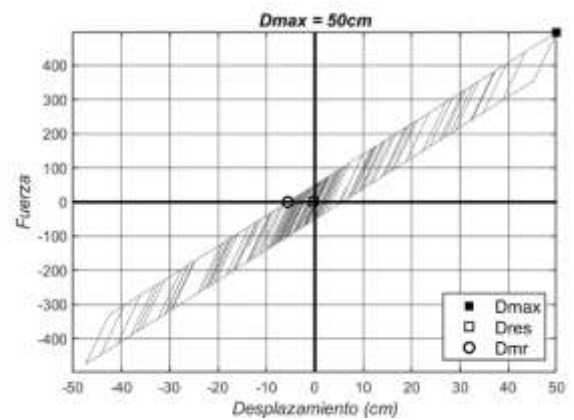
(g)



(h)

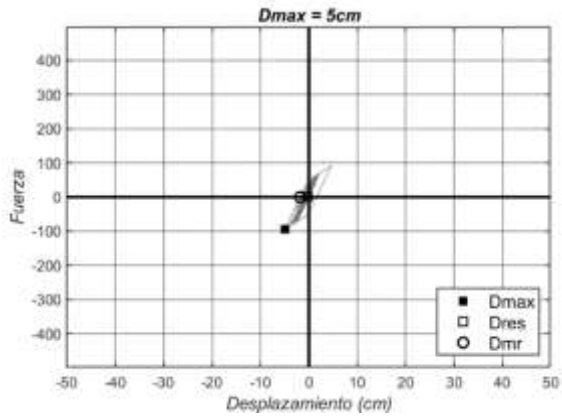


(i)

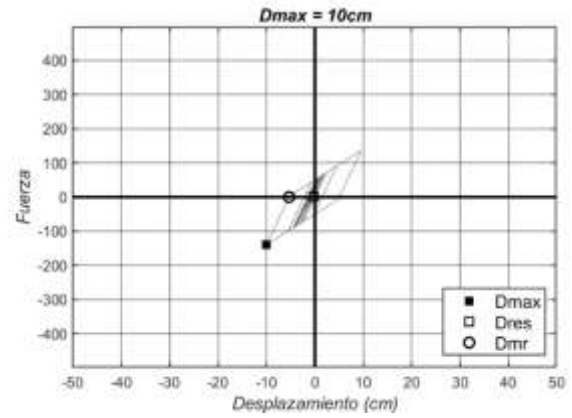


(j)

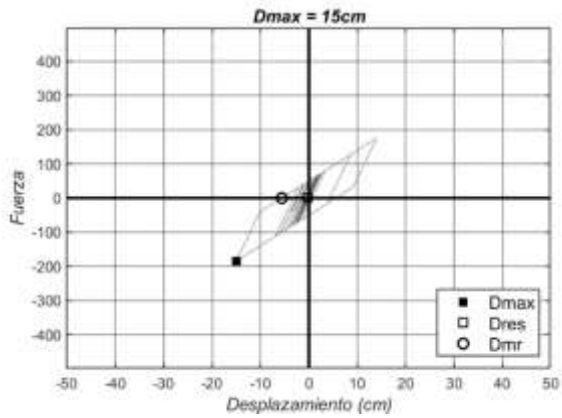
Anexo A-37: Registros AMNTE, SUGL con $r = 30\%$



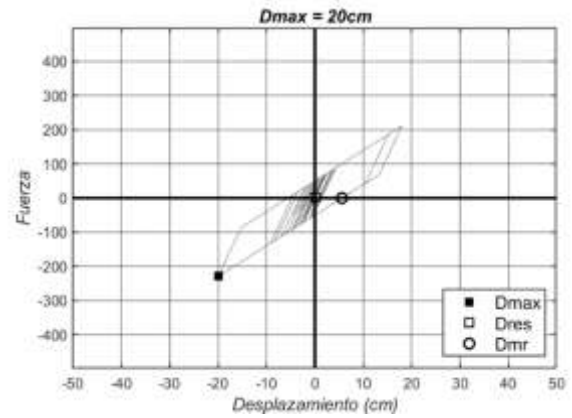
(a)



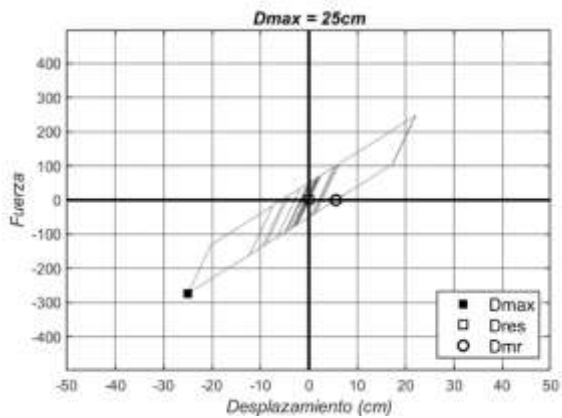
(b)



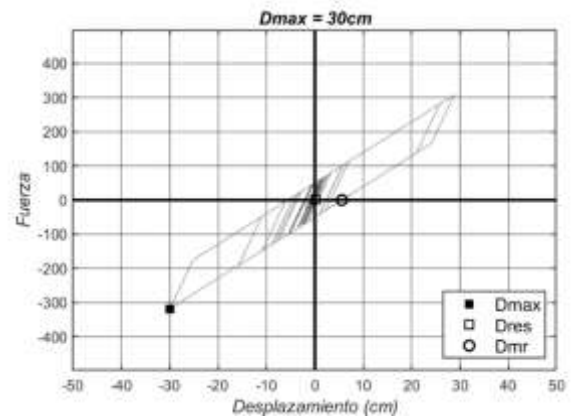
(c)



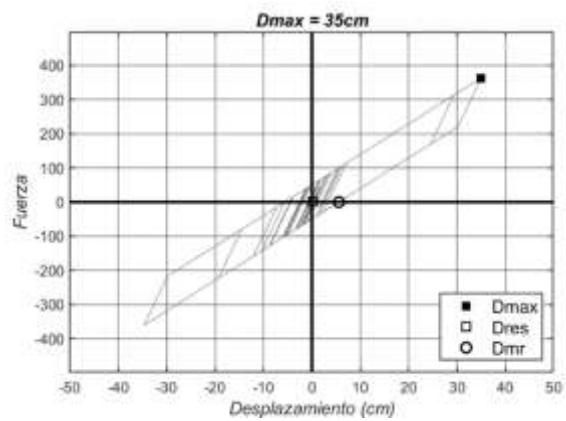
(d)



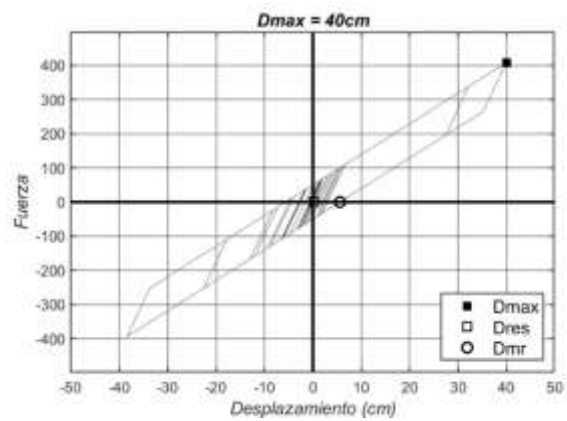
(e)



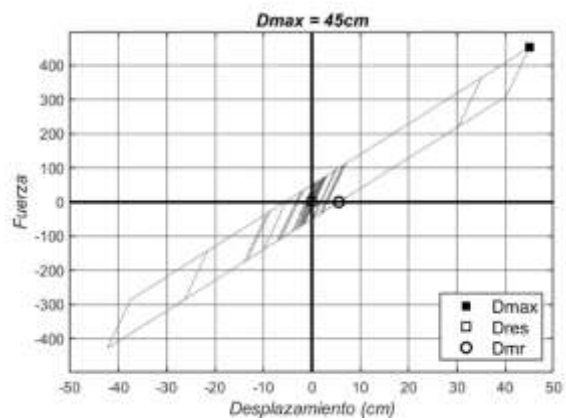
(f)



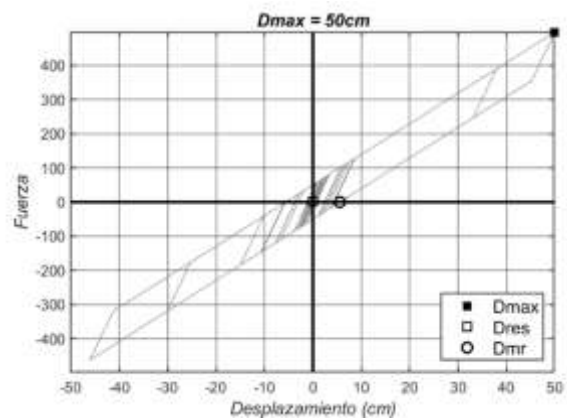
(g)



(h)

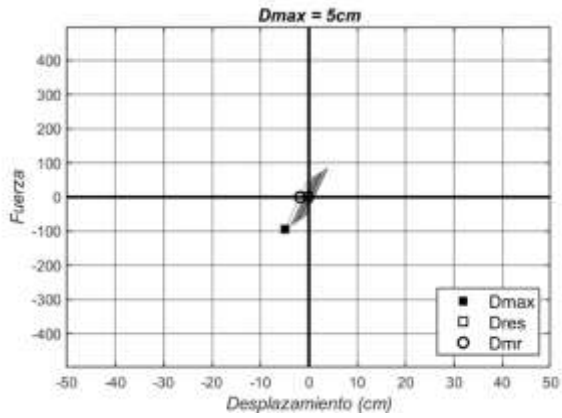


(i)

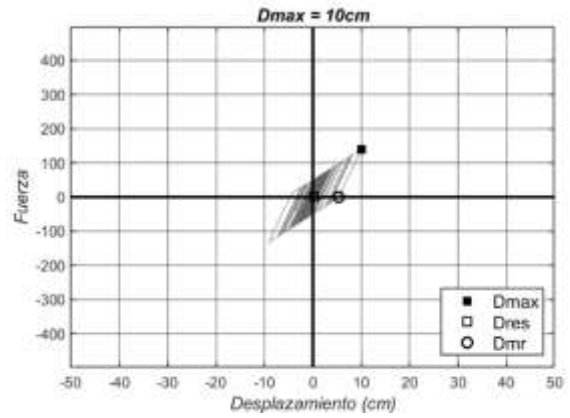


(j)

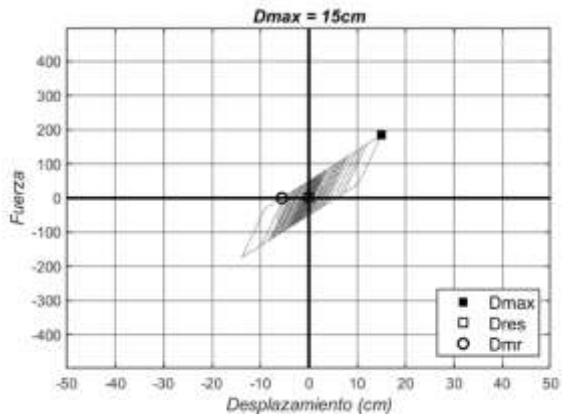
Anexo A-38: Registros APEDE, SUGL con $r = 30\%$



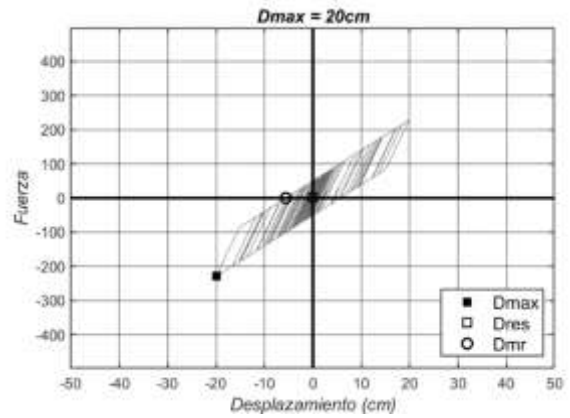
(a)



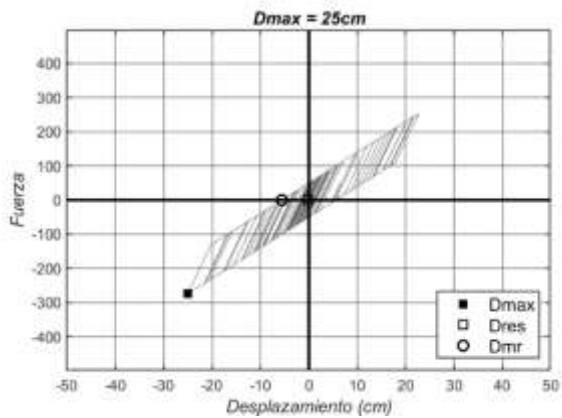
(b)



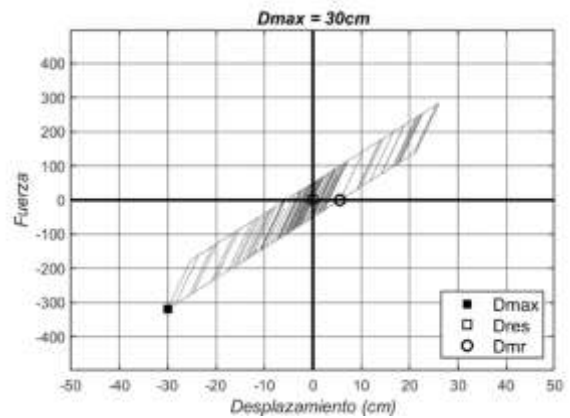
(c)



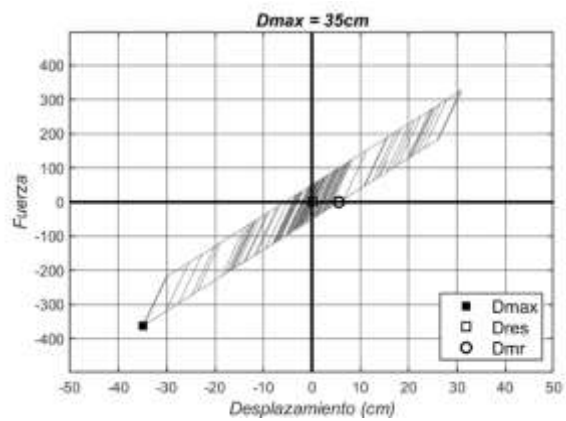
(d)



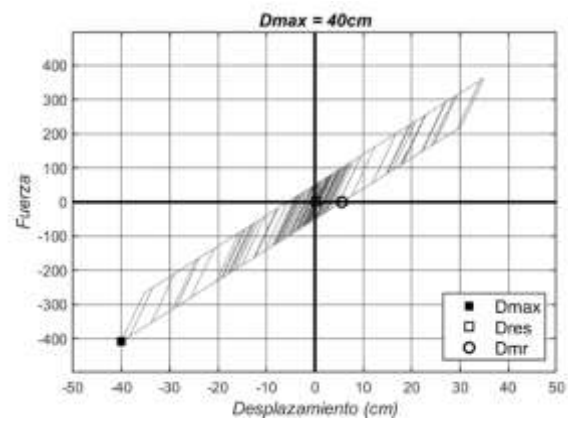
(e)



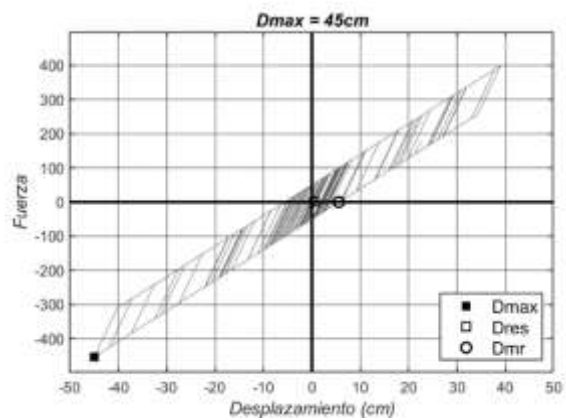
(f)



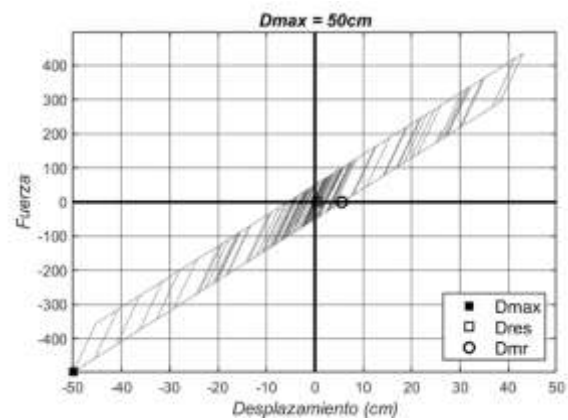
(g)



(h)

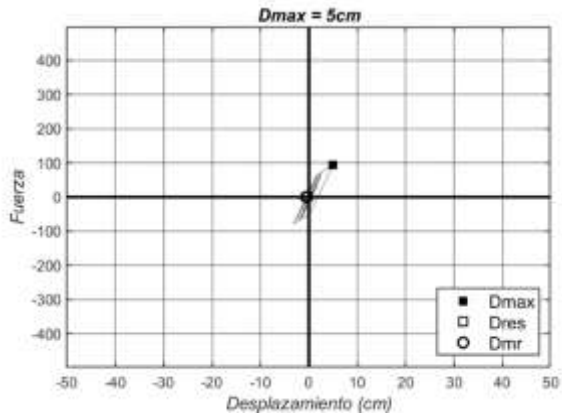


(i)

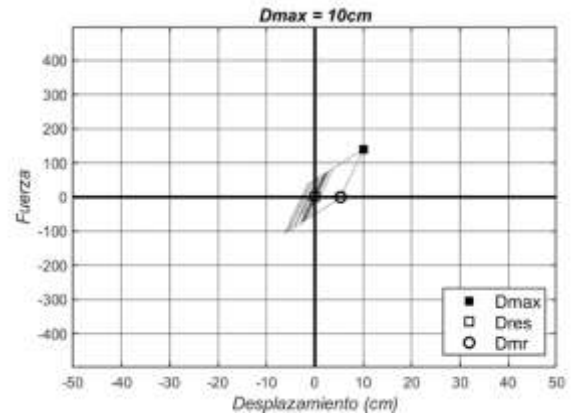


(j)

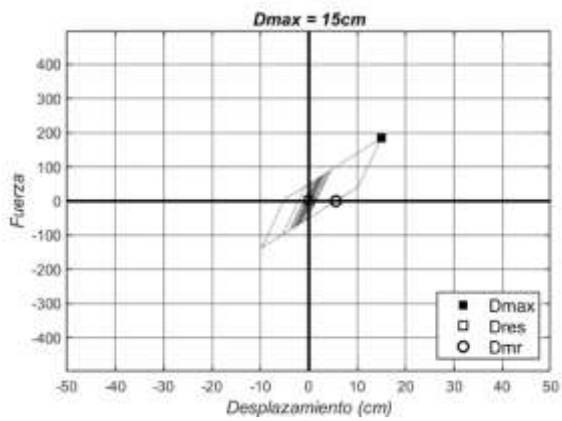
Anexo A-39: Registros APO1E, SUGL con $r = 30\%$



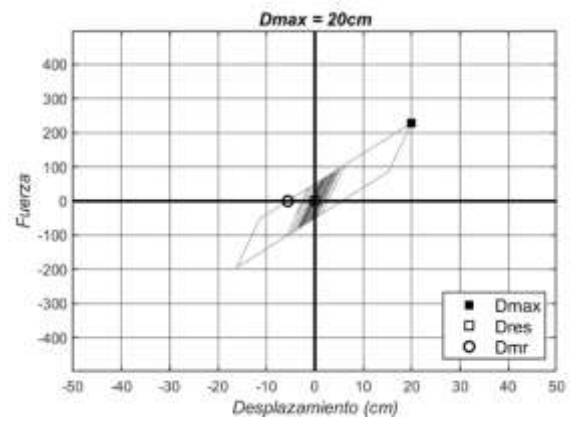
(a)



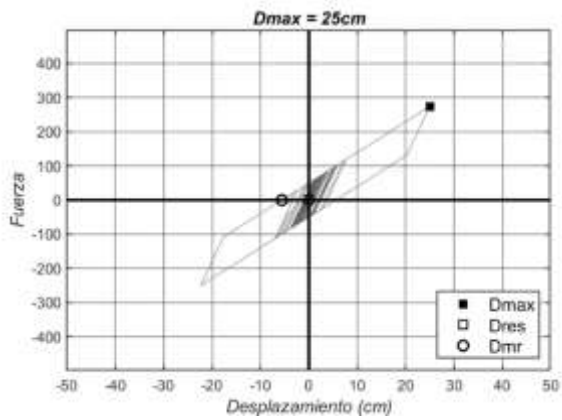
(b)



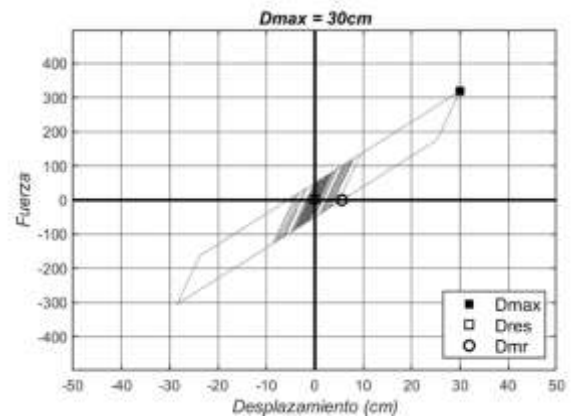
(c)



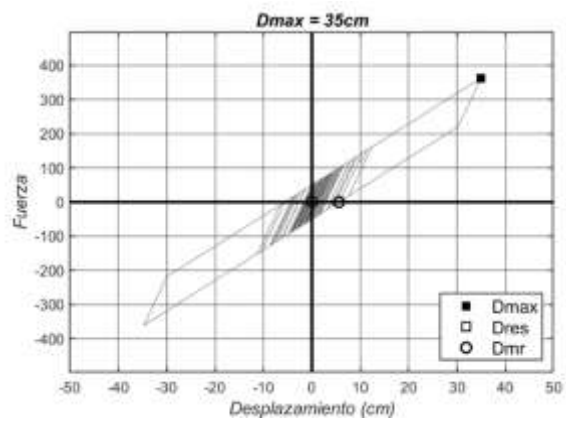
(d)



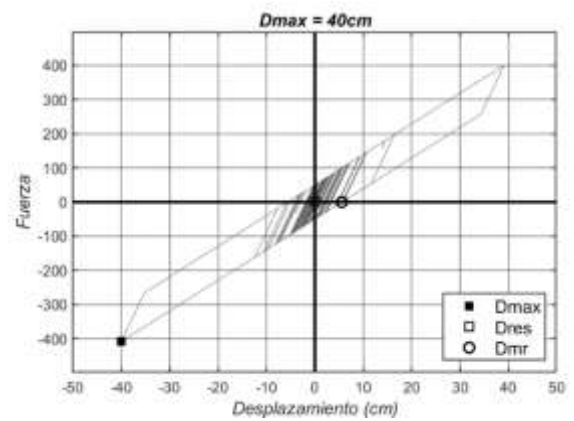
(e)



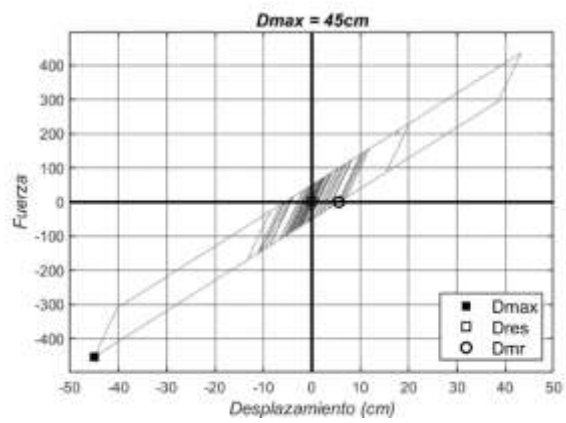
(f)



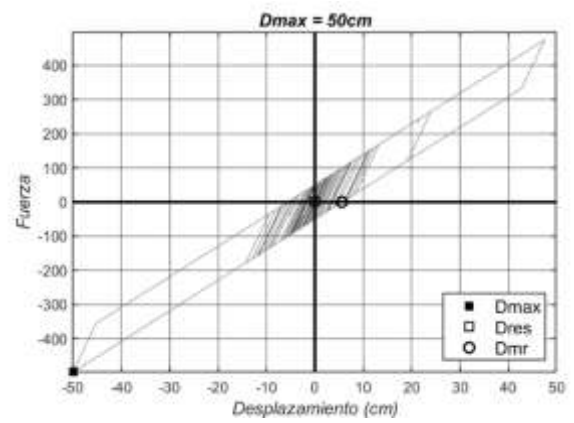
(g)



(h)

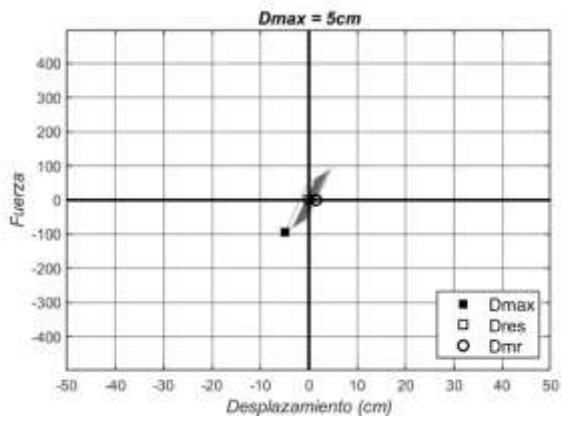


(i)

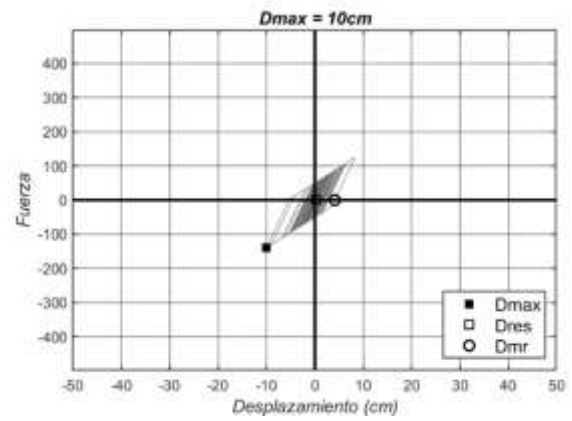


(j)

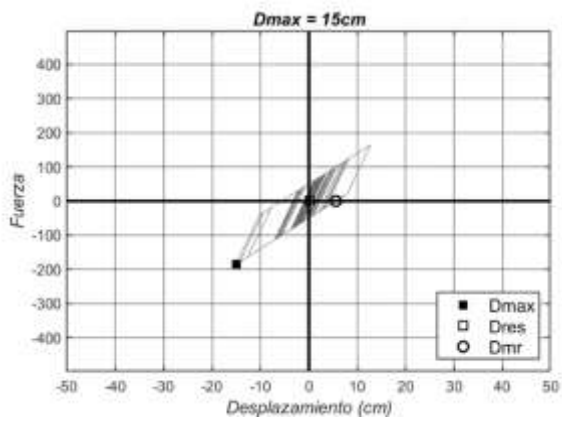
Anexo A-40: Registros PDNSE, SUGL con $r = 30\%$



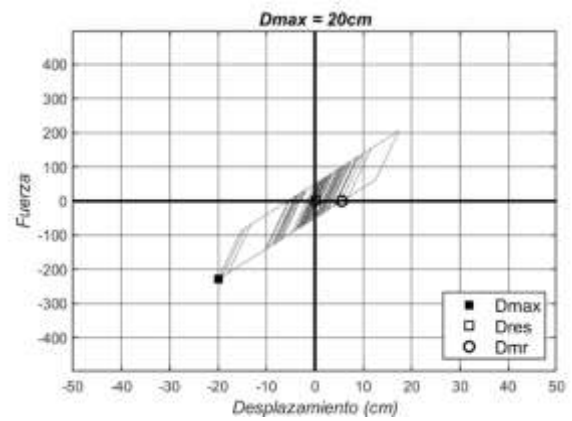
(a)



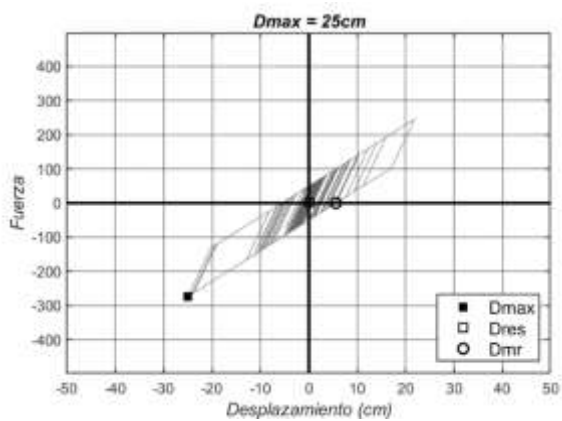
(b)



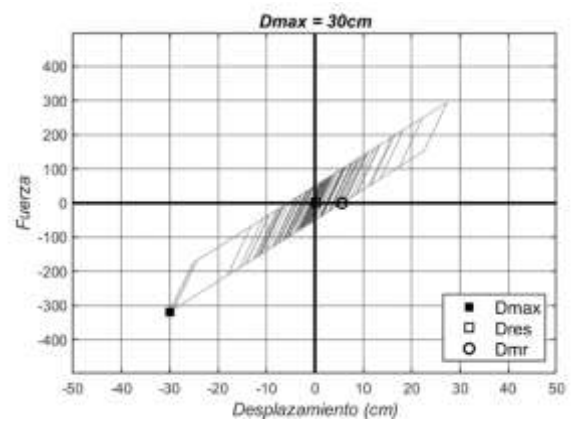
(c)



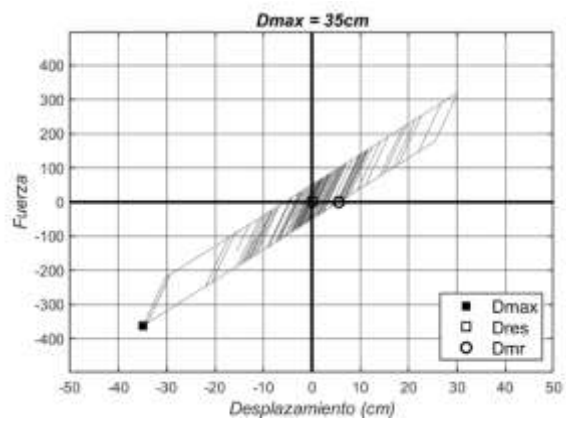
(d)



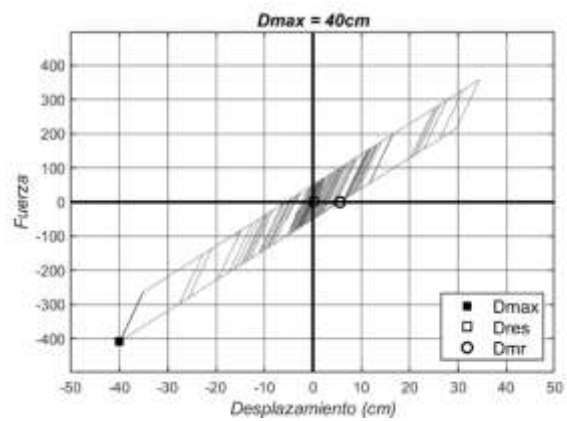
(e)



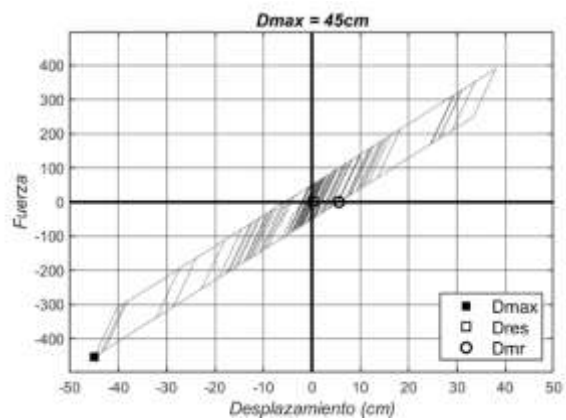
(f)



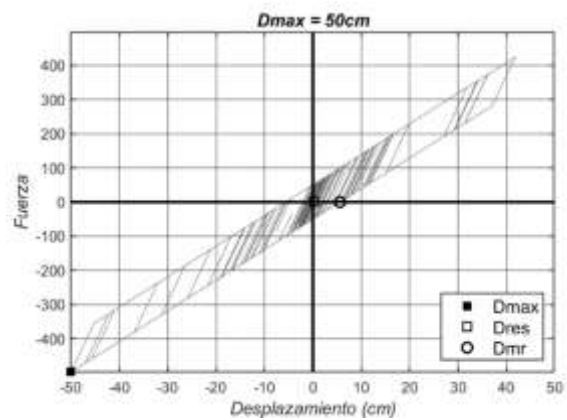
(g)



(h)

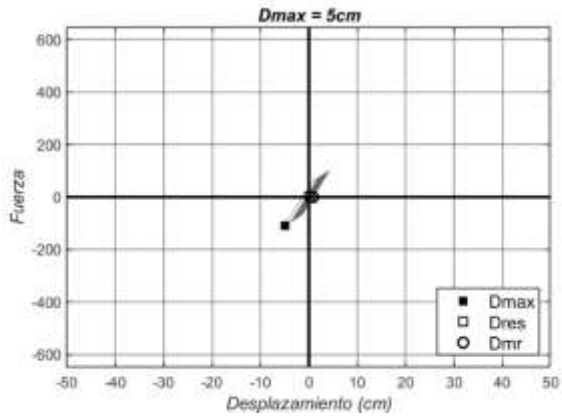


(i)

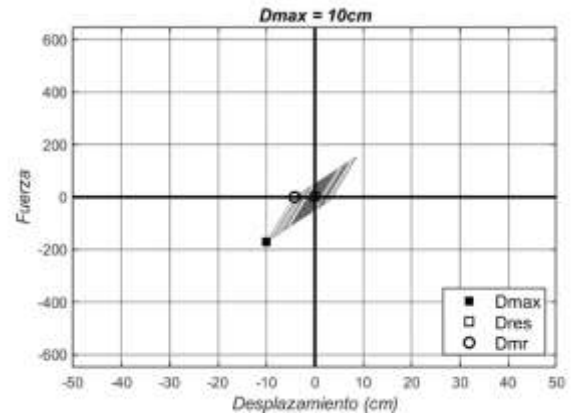


(j)

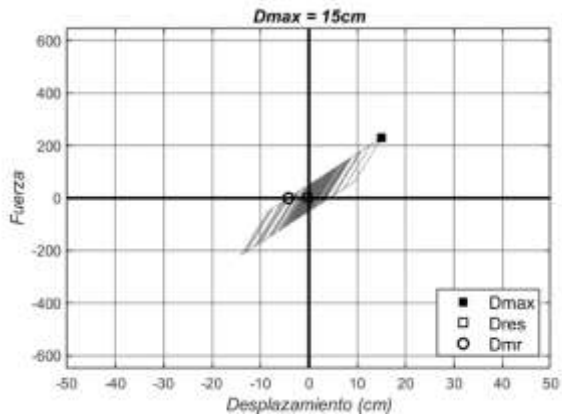
Anexo A-41: Registros AAM2E, SUGL con $r = 40\%$



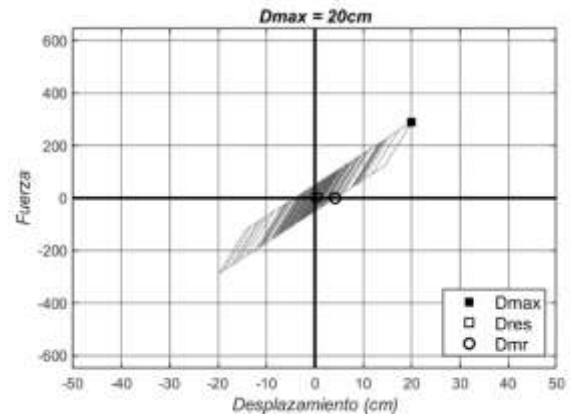
(a)



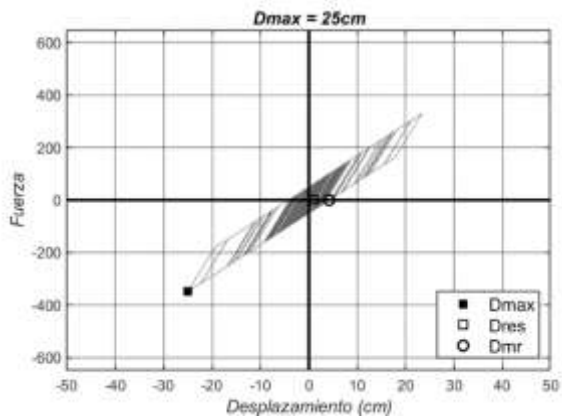
(b)



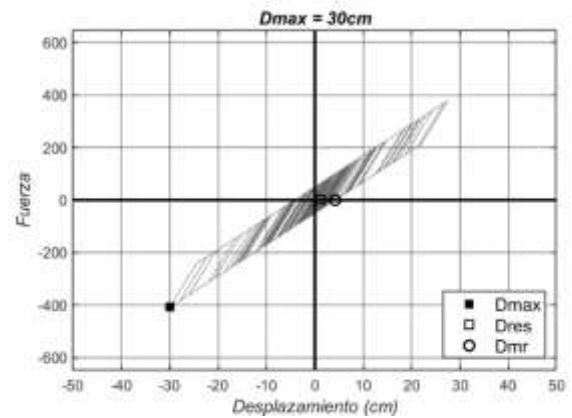
(c)



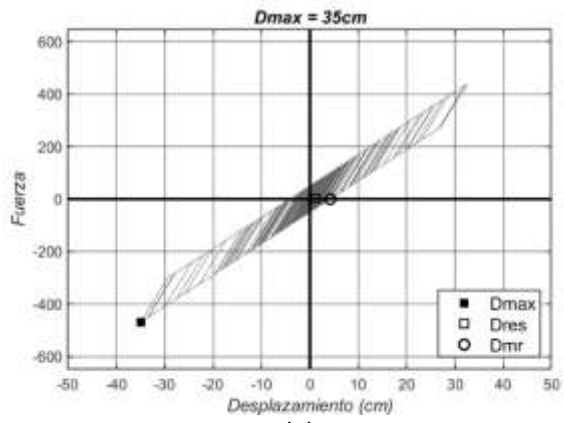
(d)



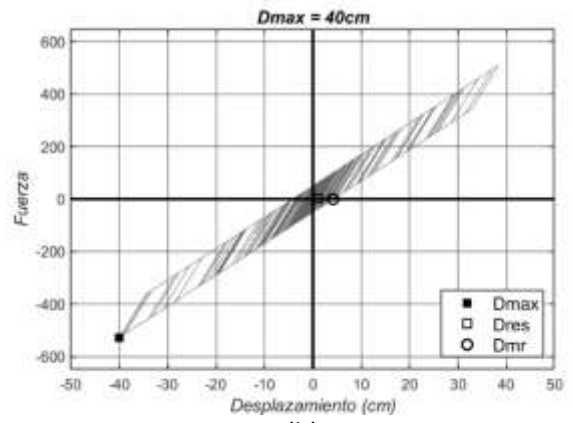
(e)



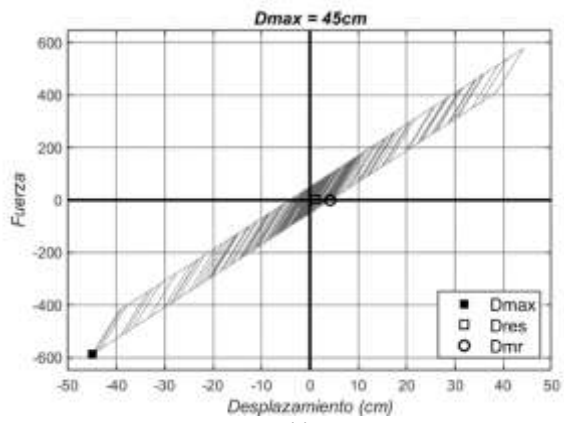
(f)



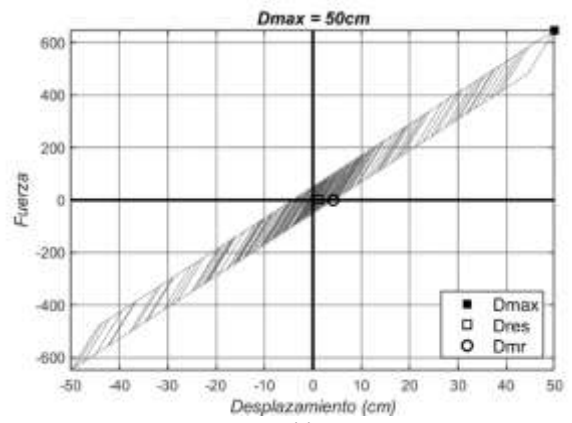
(g)



(h)

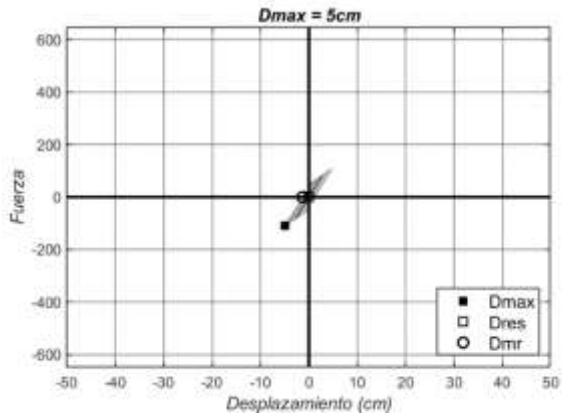


(i)

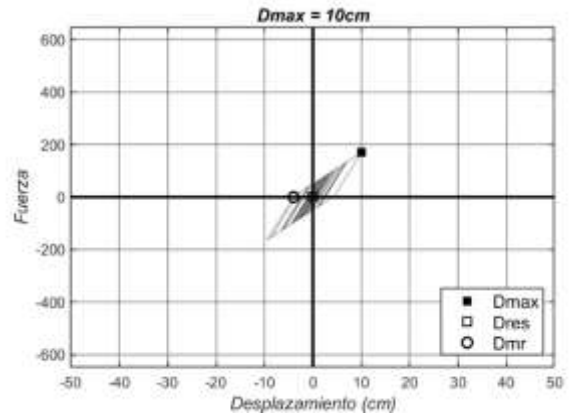


(j)

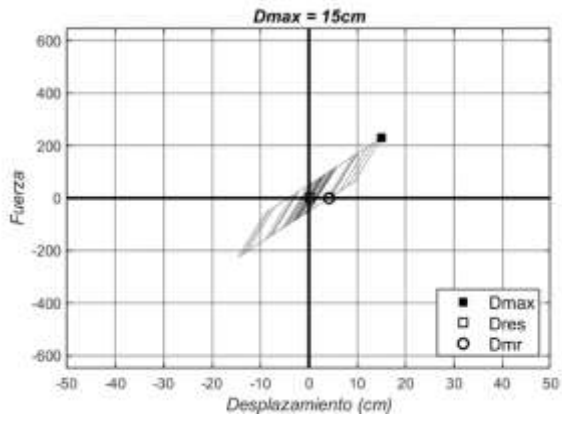
Anexo A-42: Registros ACHNE, SUGL con $r = 40\%$



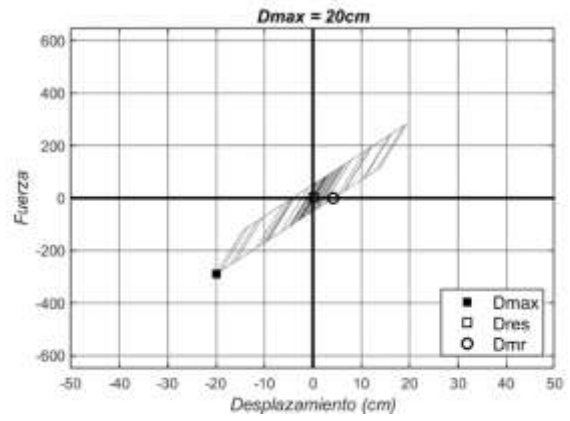
(a)



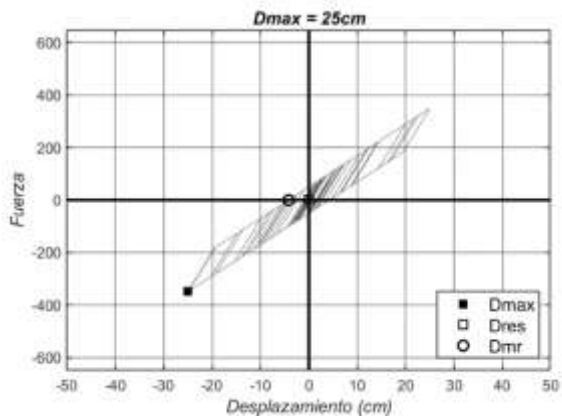
(b)



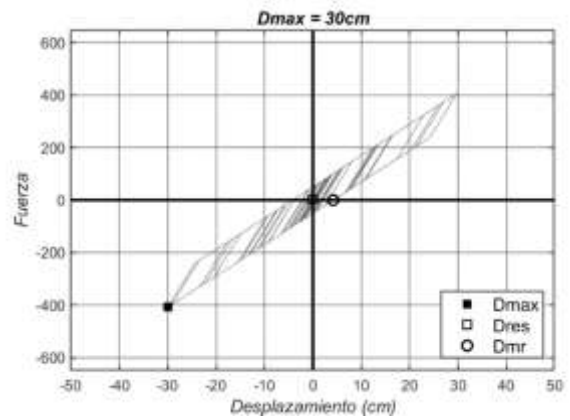
(c)



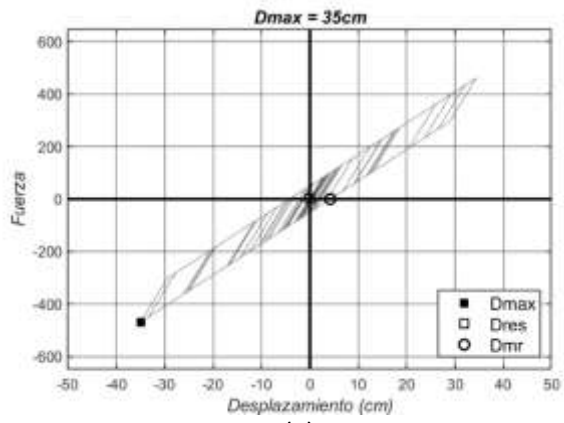
(d)



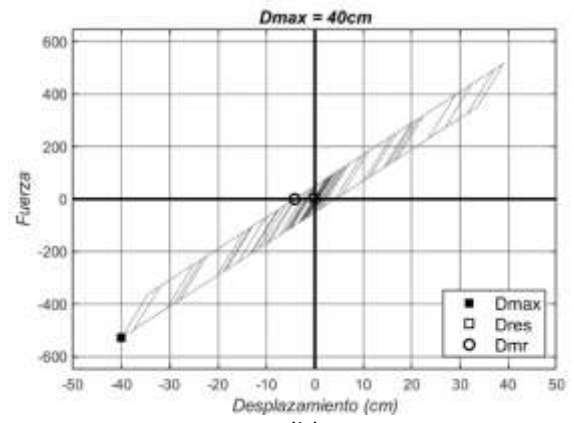
(e)



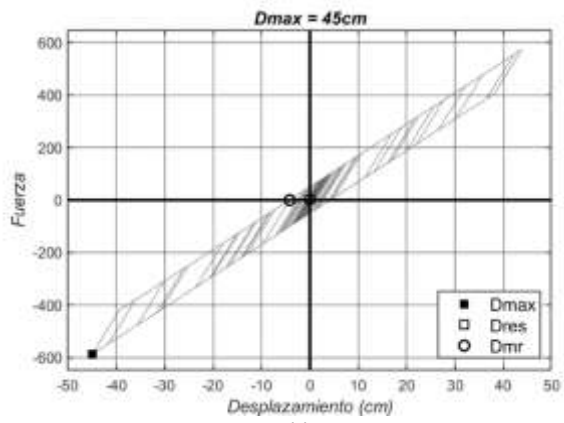
(f)



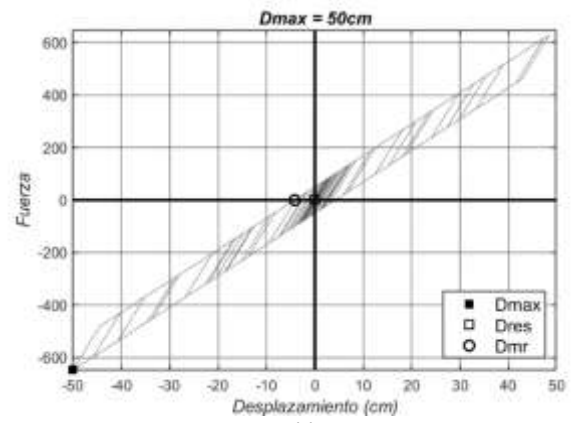
(g)



(h)

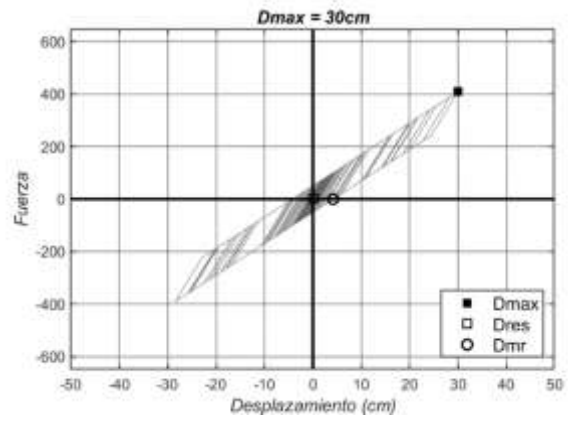
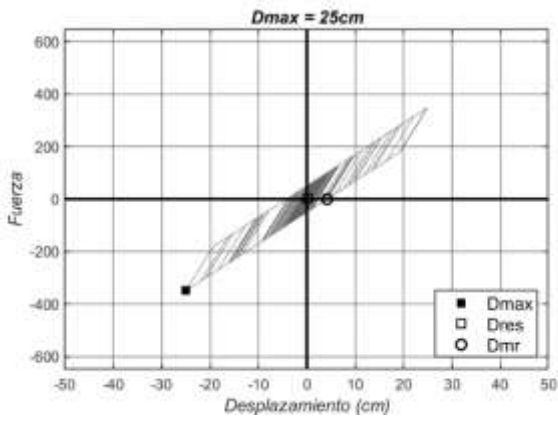
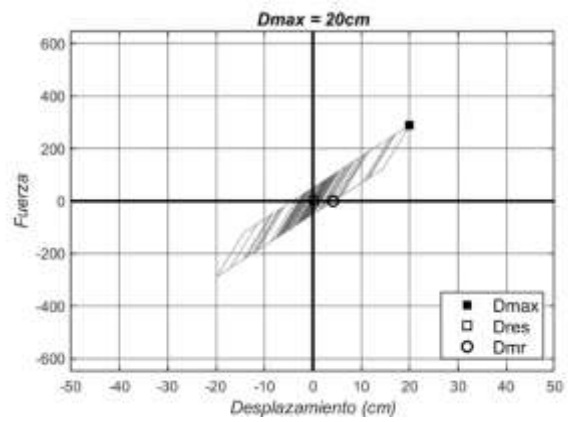
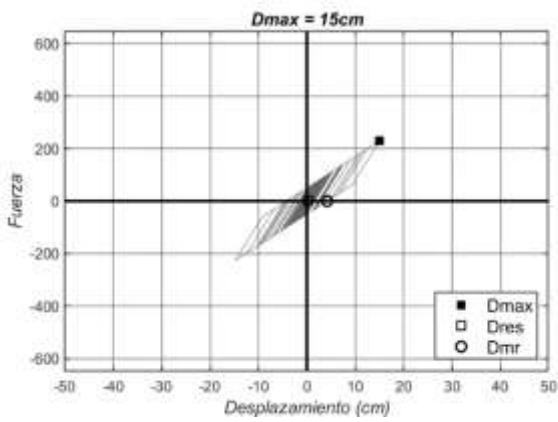
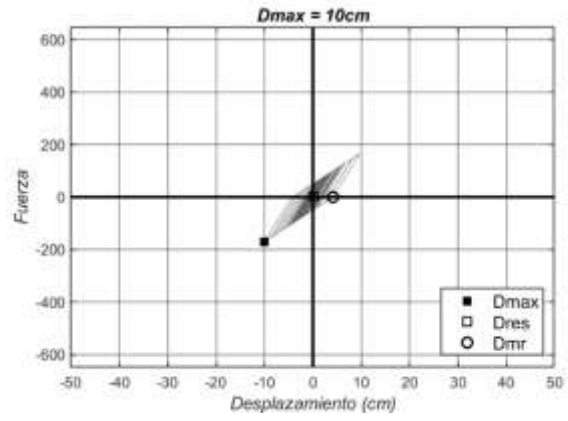
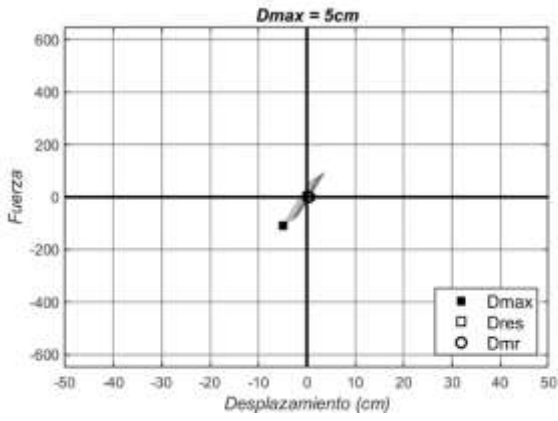


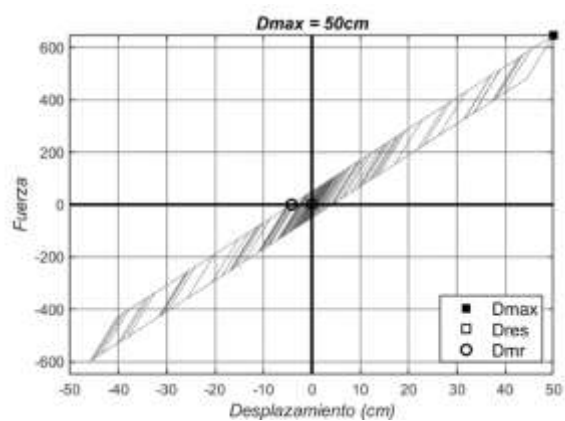
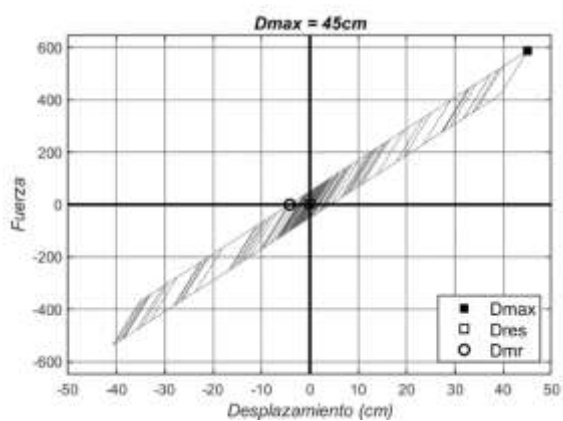
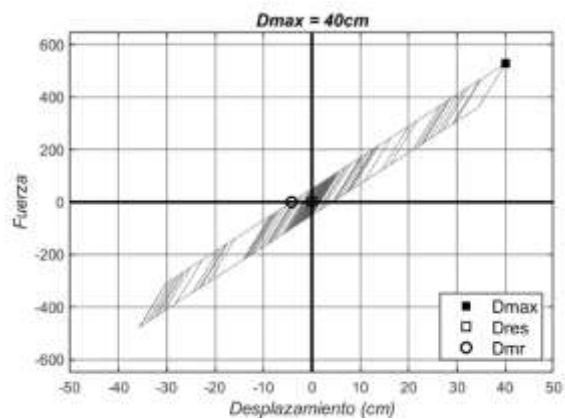
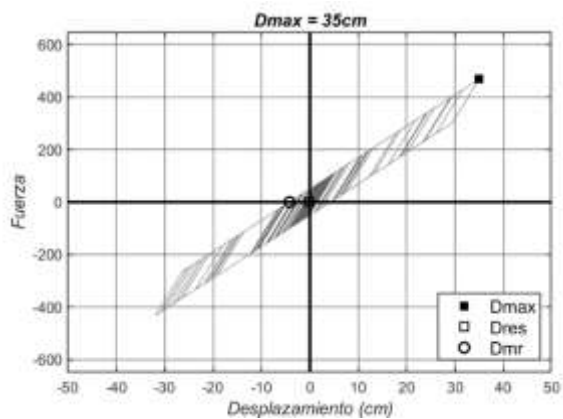
(i)



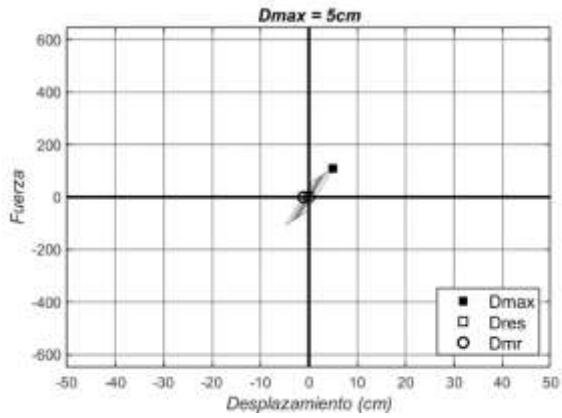
(j)

Anexo A-43: Registros AGY1E, SUGL con $r = 40\%$

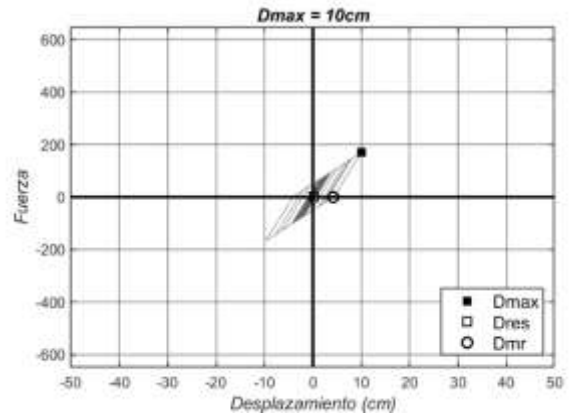




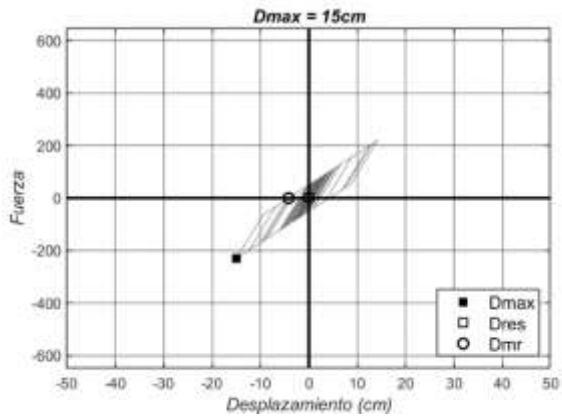
Anexo A-44: Registros AGY2E, SUGL con $r = 40\%$



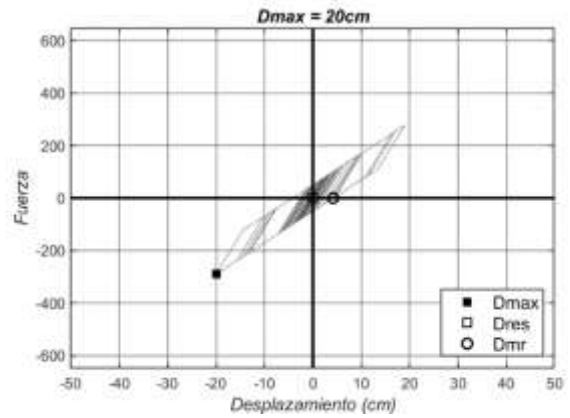
(a)



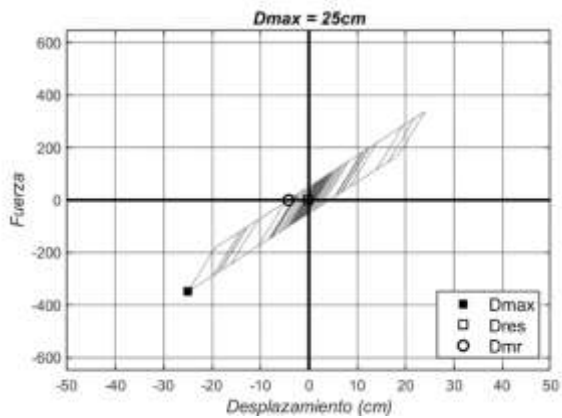
(b)



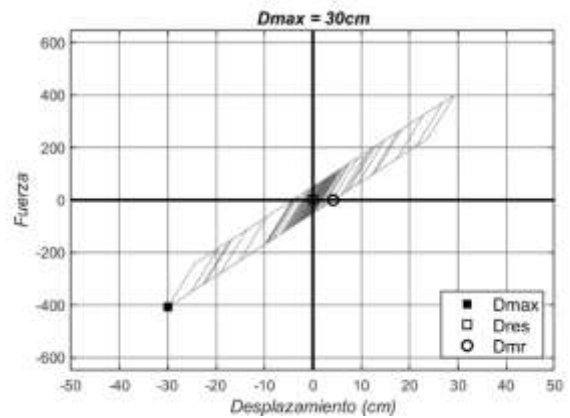
(c)



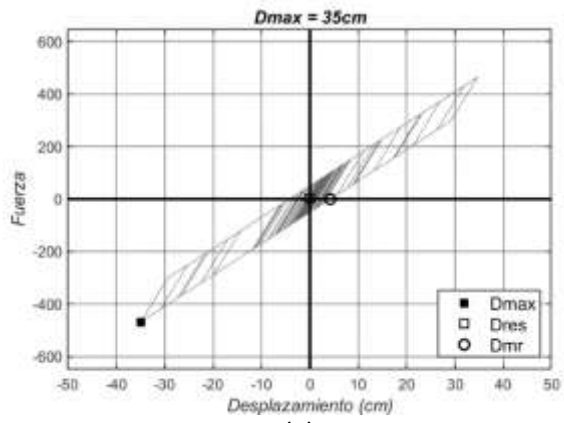
(d)



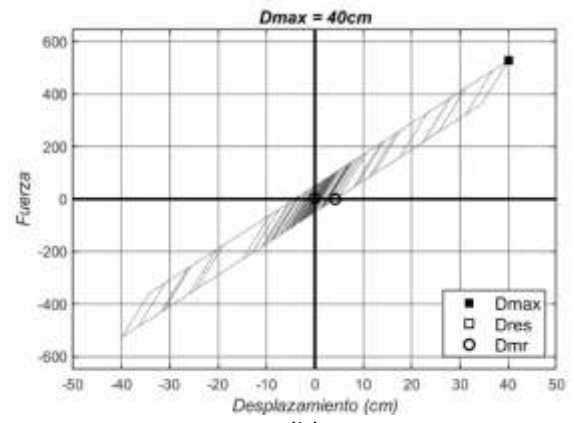
(e)



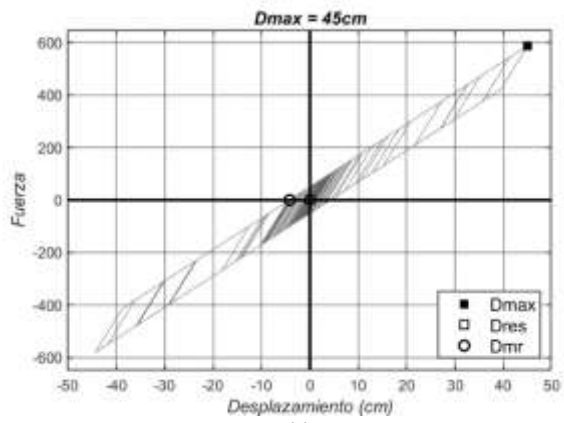
(f)



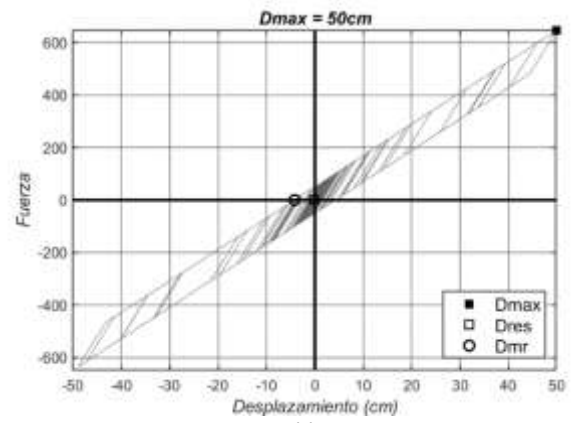
(g)



(h)

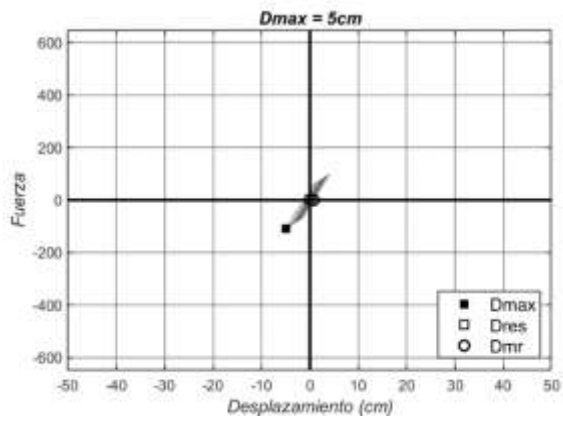


(i)

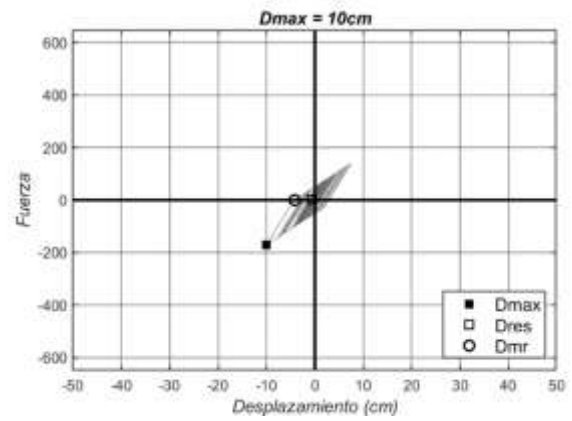


(j)

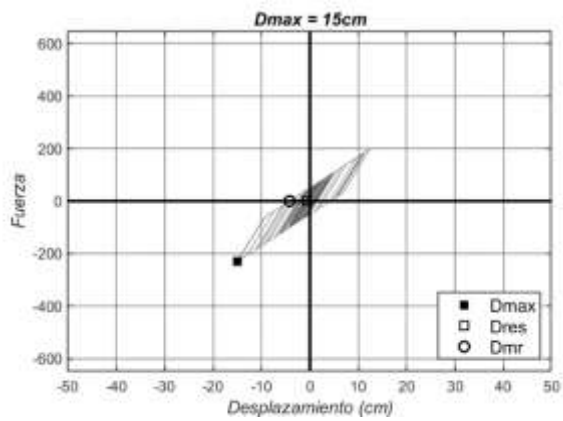
Anexo A-45: Registros AGYEE, SUGL con $r = 40\%$



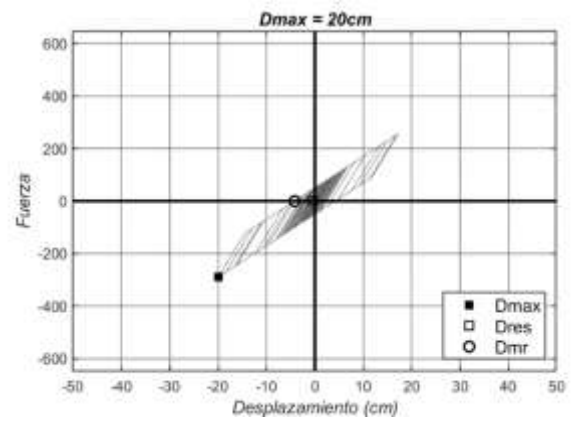
(a)



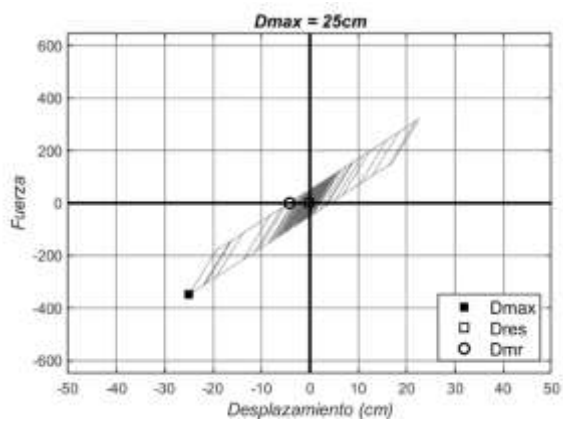
(b)



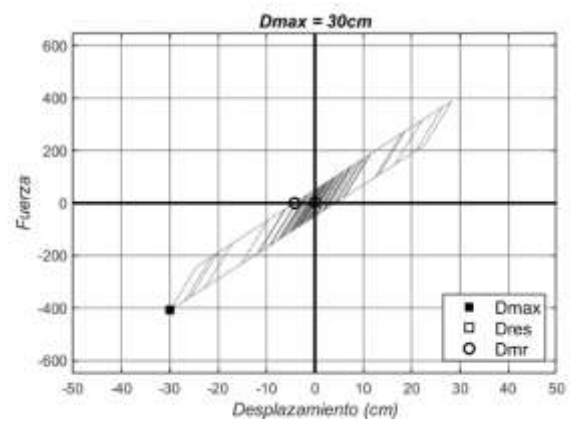
(c)



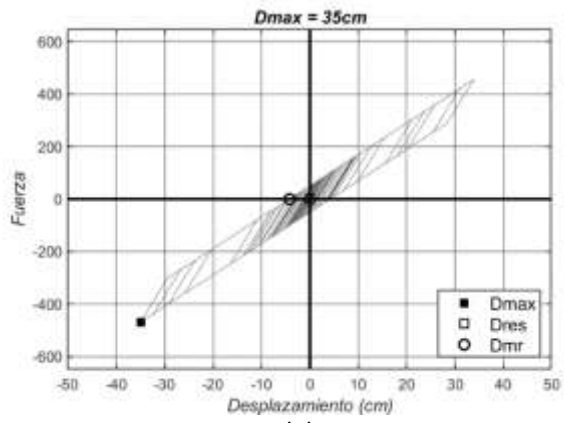
(d)



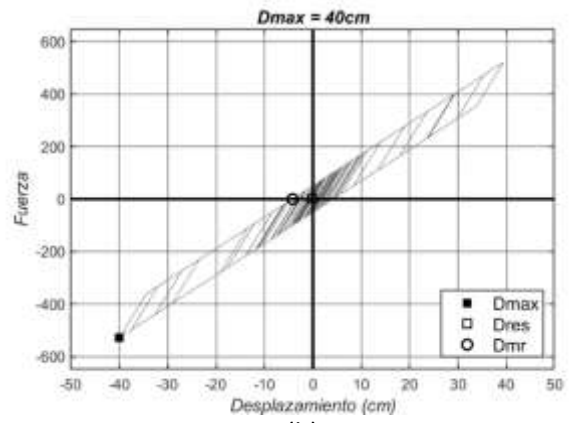
(e)



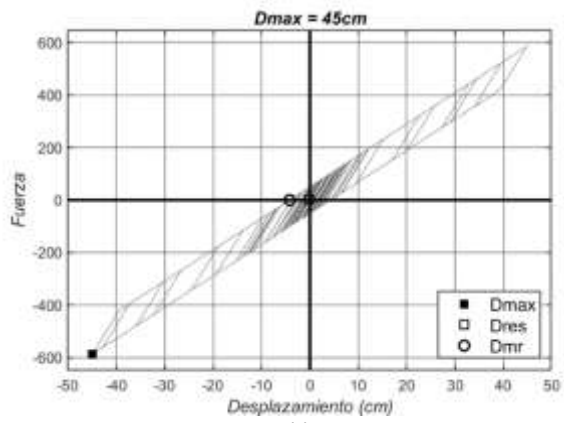
(f)



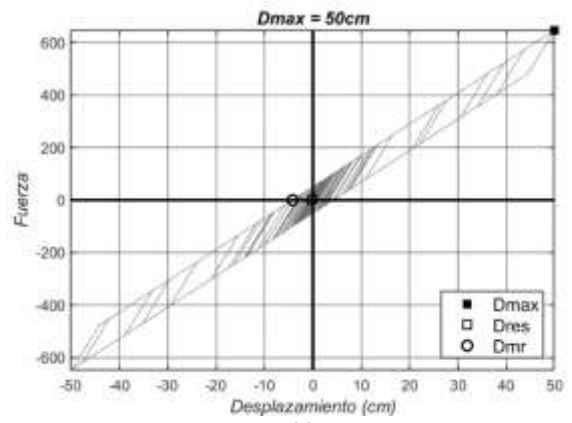
(g)



(h)

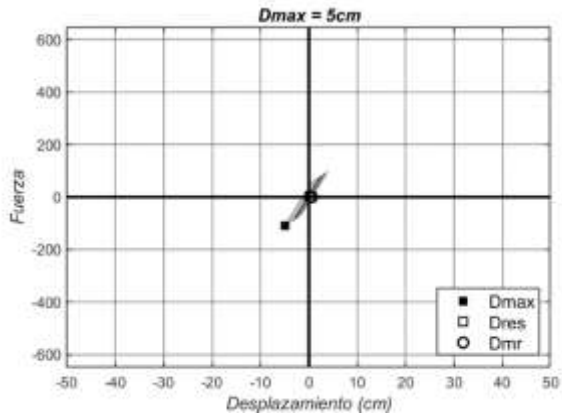


(i)

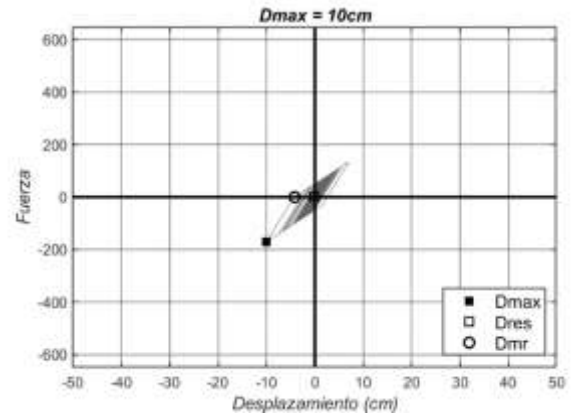


(j)

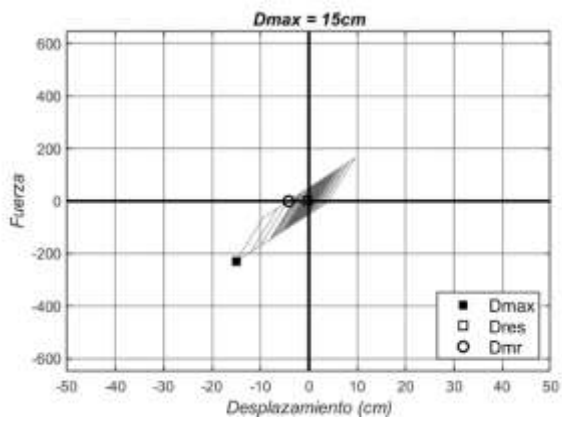
Anexo A-46: Registros AMA1E, SUGL con $r = 40\%$



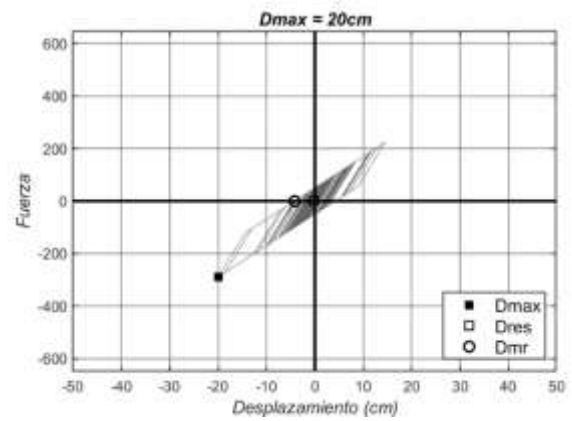
(a)



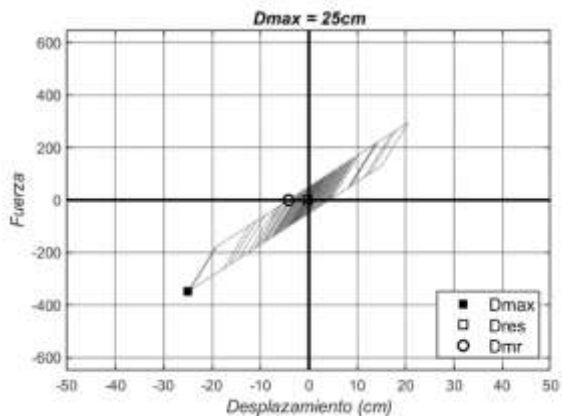
(b)



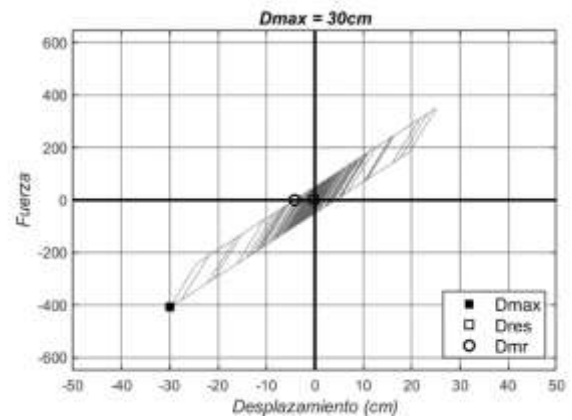
(c)



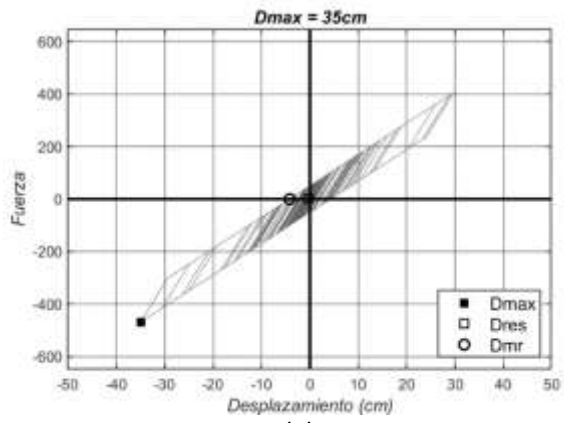
(d)



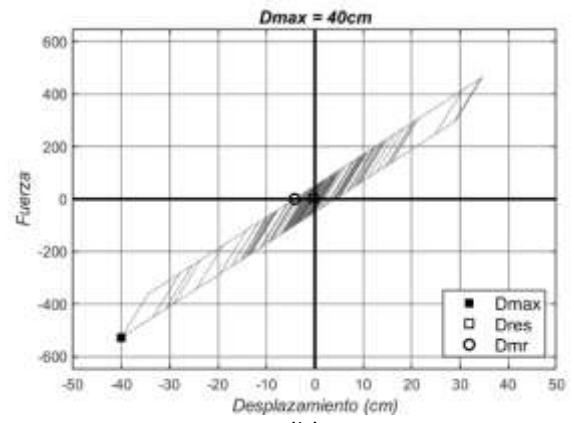
(e)



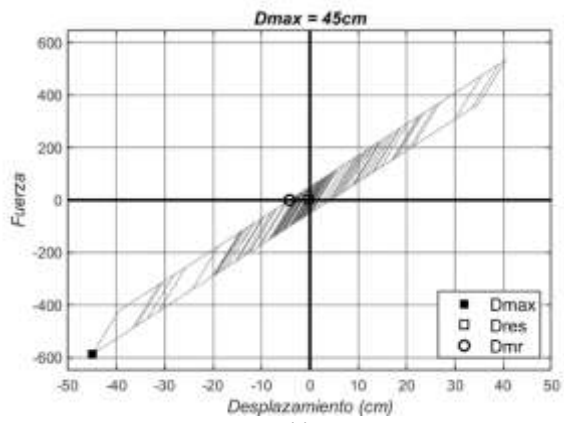
(f)



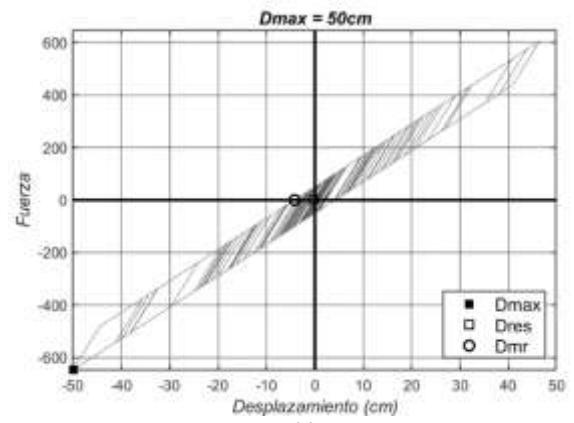
(g)



(h)

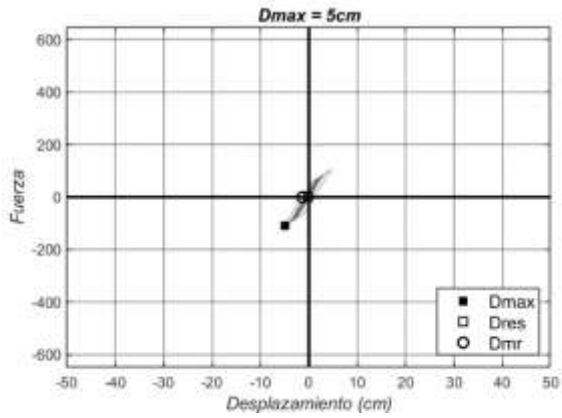


(i)

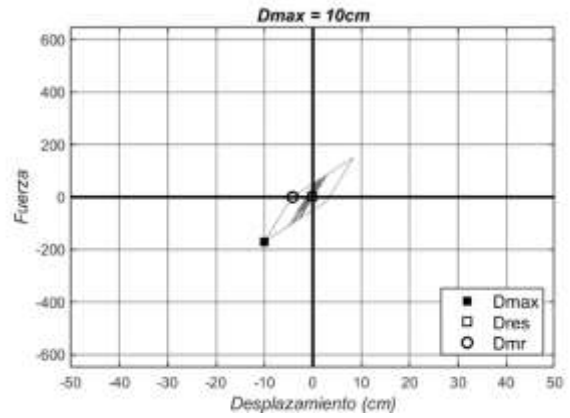


(j)

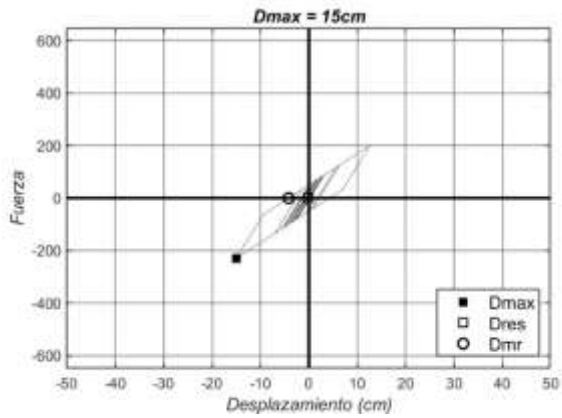
Anexo A-47: Registros AMNTE, SUGL con $r = 40\%$



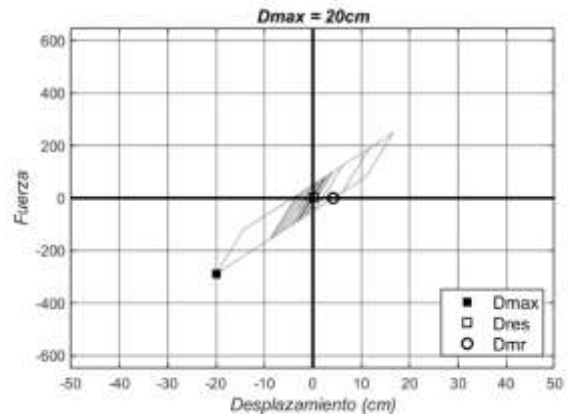
(a)



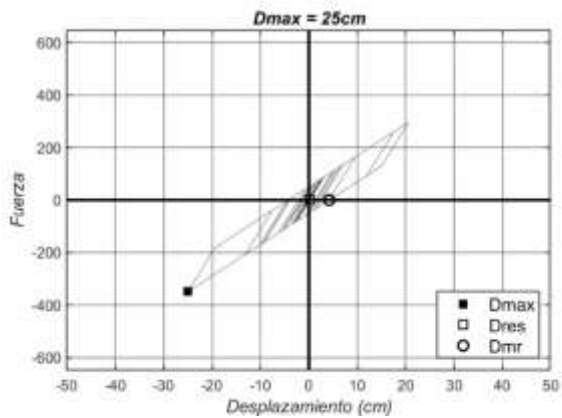
(b)



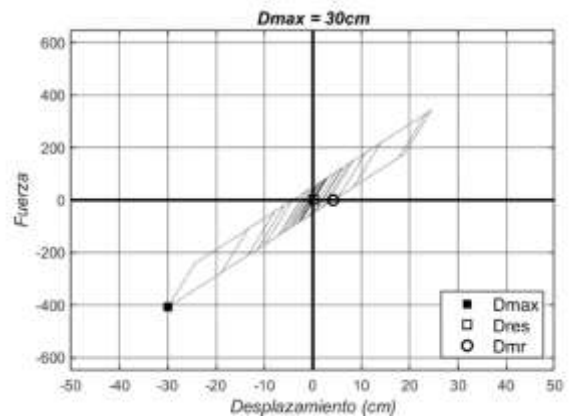
(c)



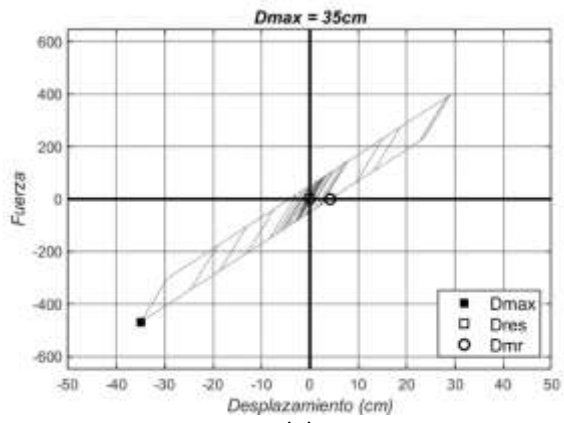
(d)



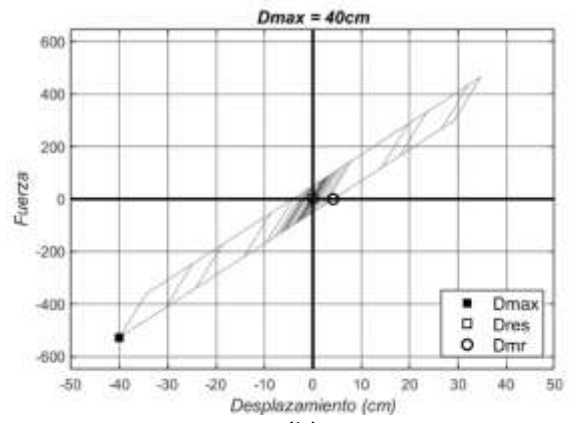
(e)



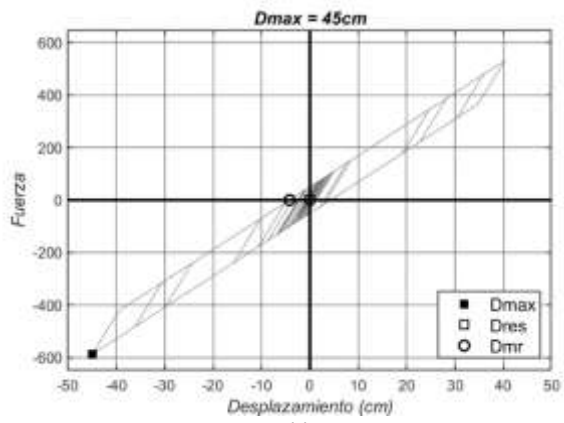
(f)



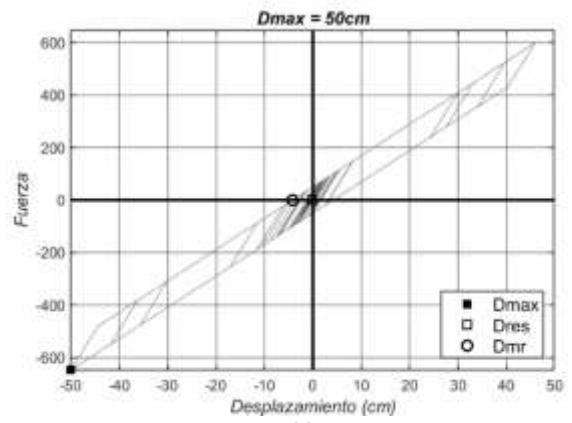
(g)



(h)

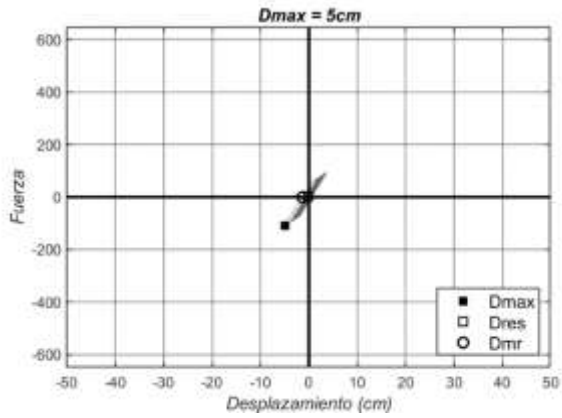


(i)

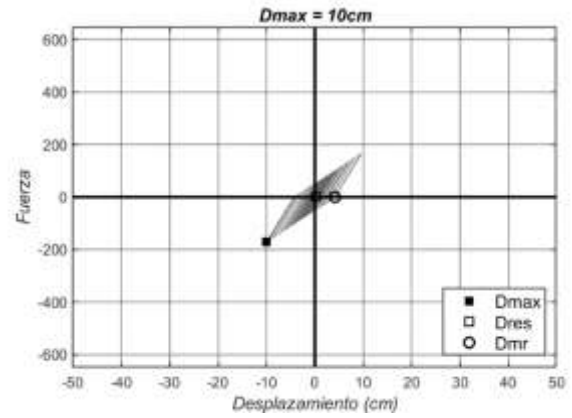


(j)

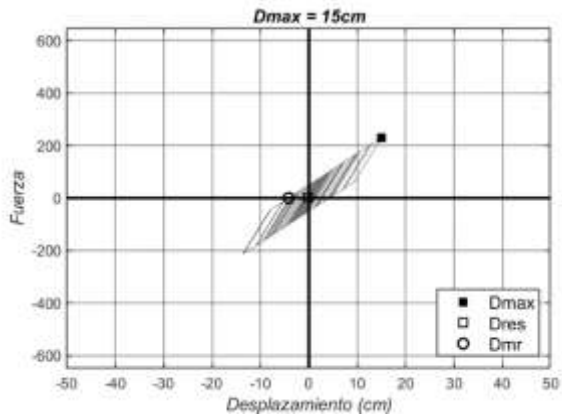
Anexo A-48: Registros APEDE, SUGL con $r = 40\%$



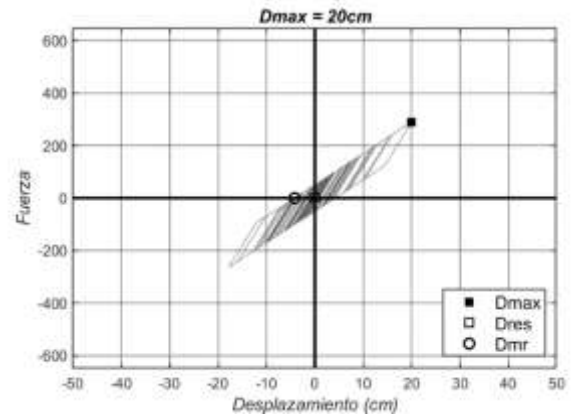
(a)



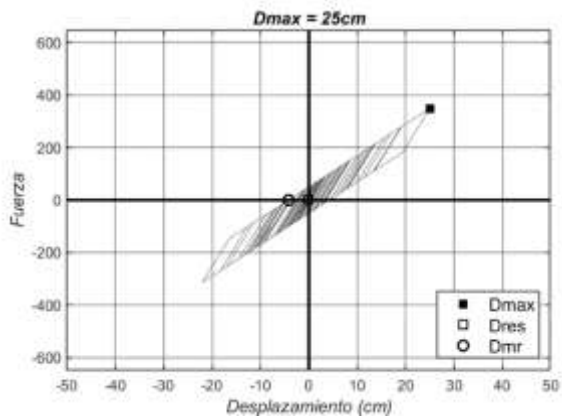
(b)



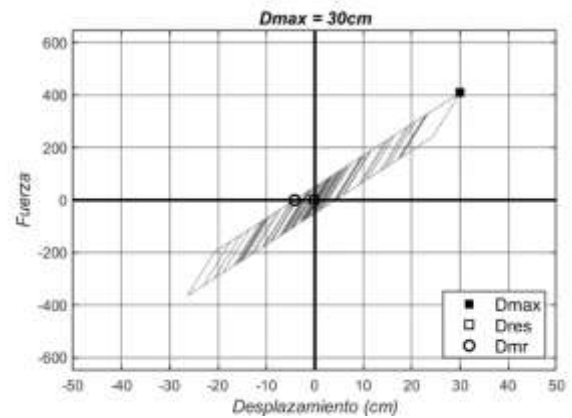
(c)



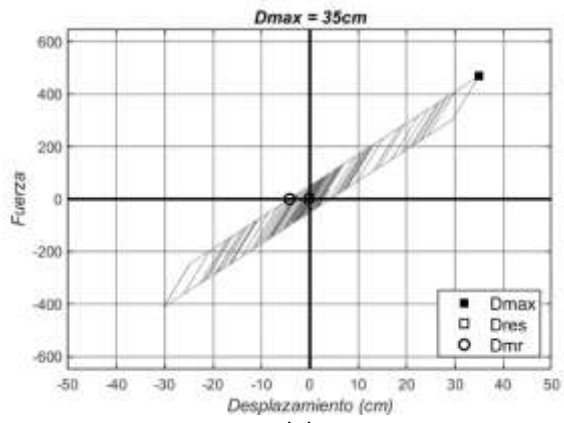
(d)



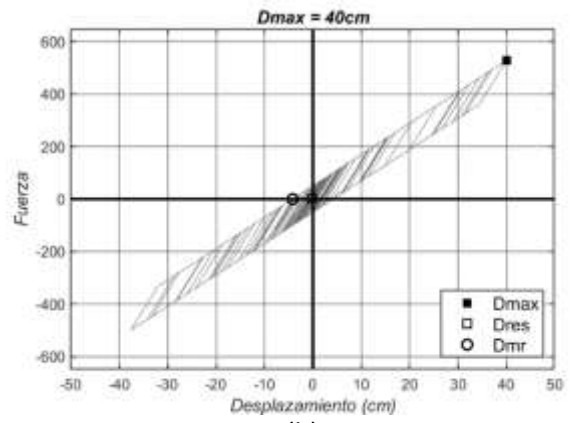
(e)



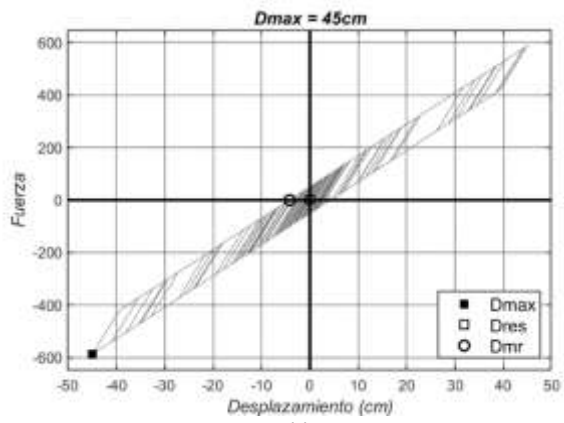
(f)



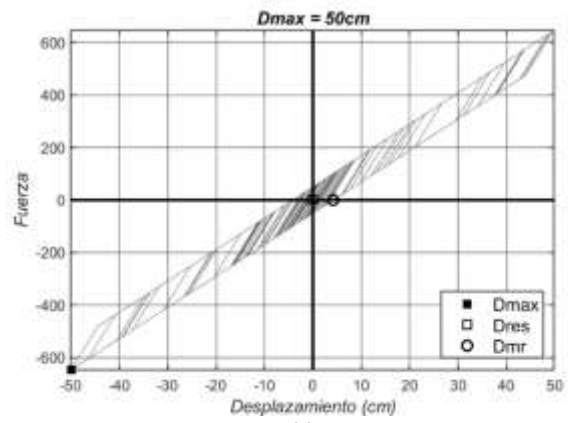
(g)



(h)

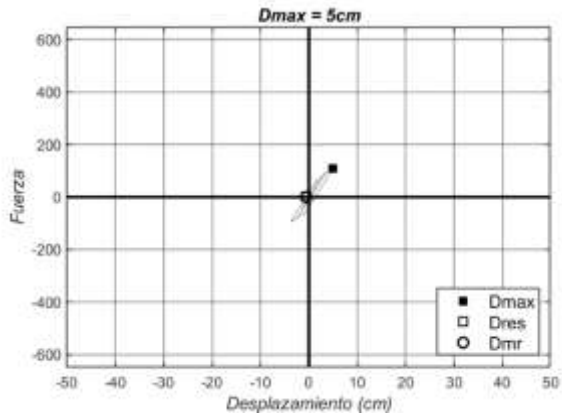


(i)

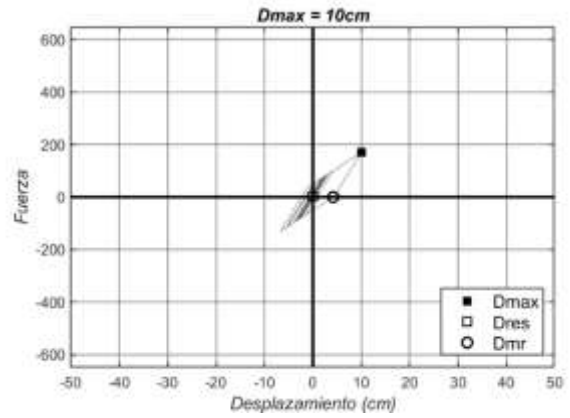


(j)

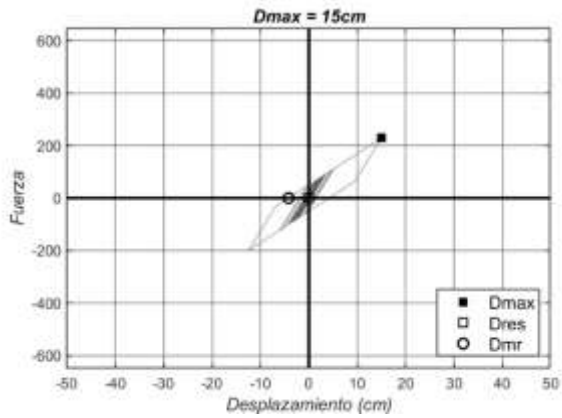
Anexo A-49: Registros APO1E, SUGL con $r = 40\%$



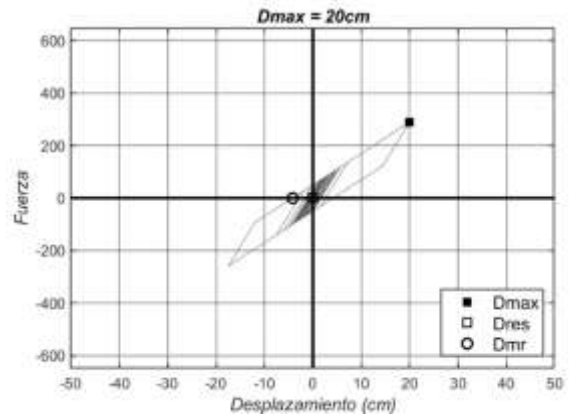
(a)



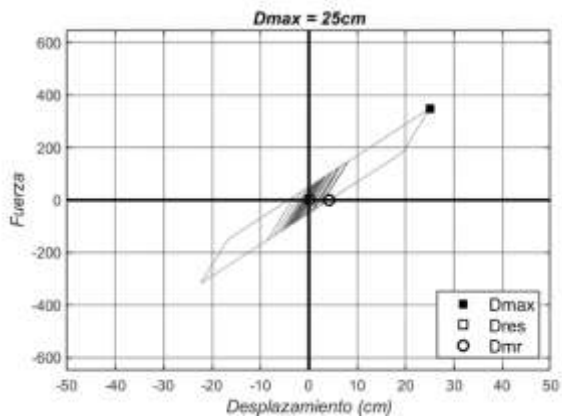
(b)



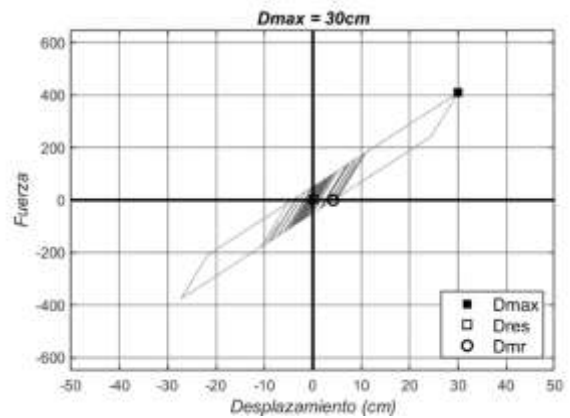
(c)



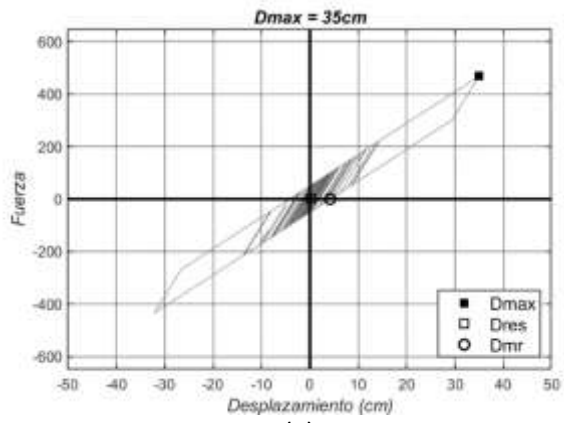
(d)



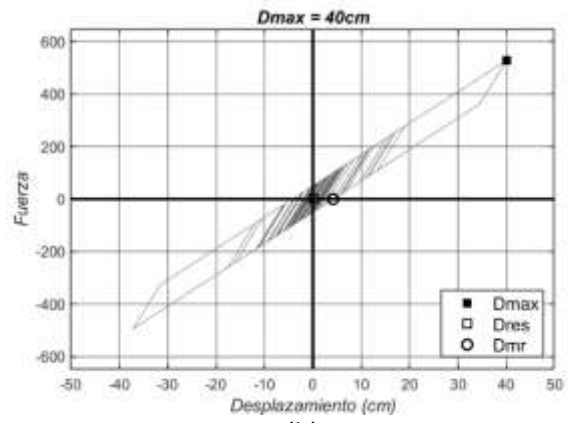
(e)



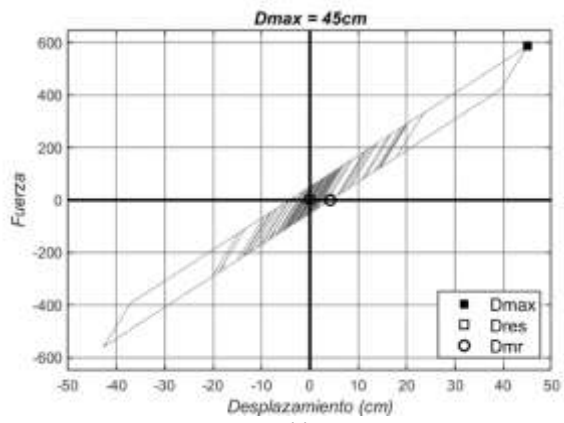
(f)



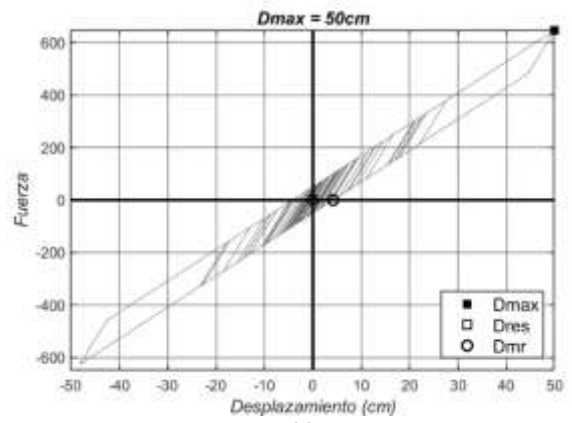
(g)



(h)

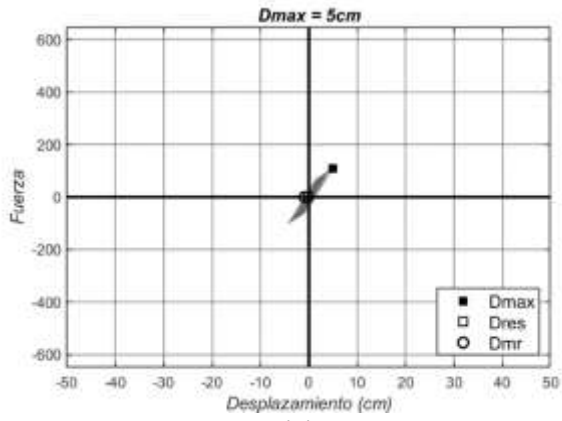


(i)

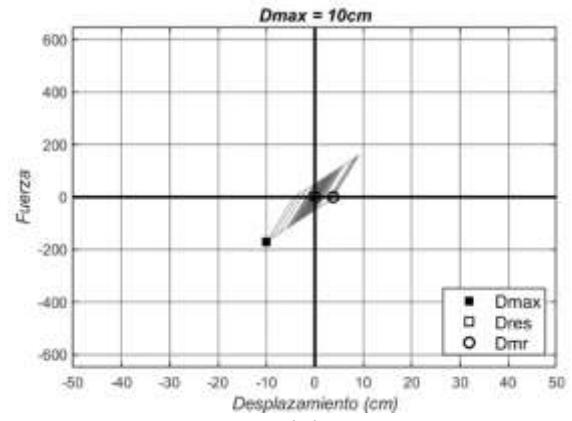


(j)

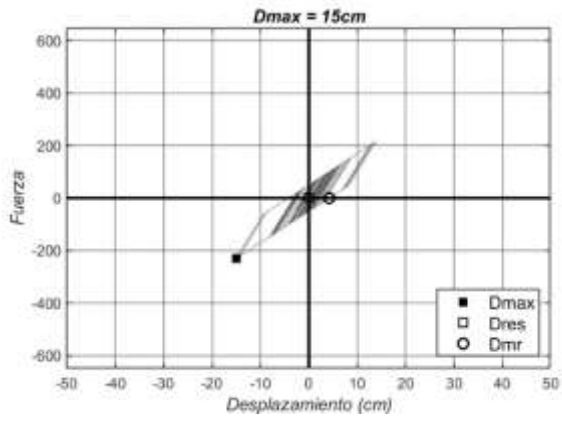
Anexo A-50: Registros PDNSE, SUGL con $r = 40\%$



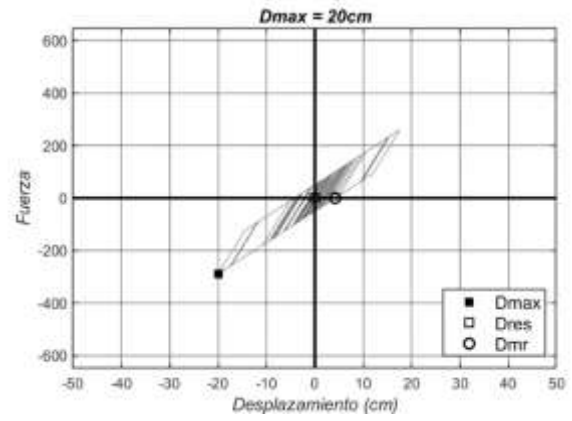
(a)



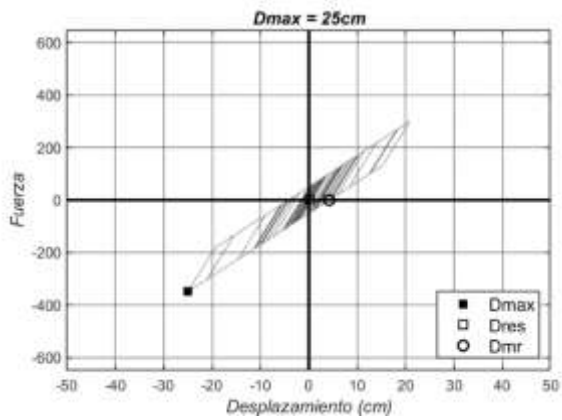
(b)



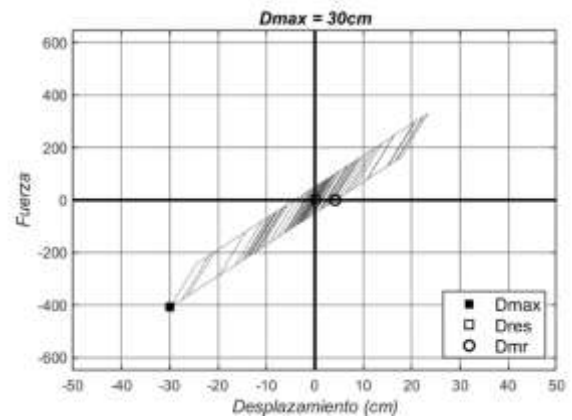
(c)



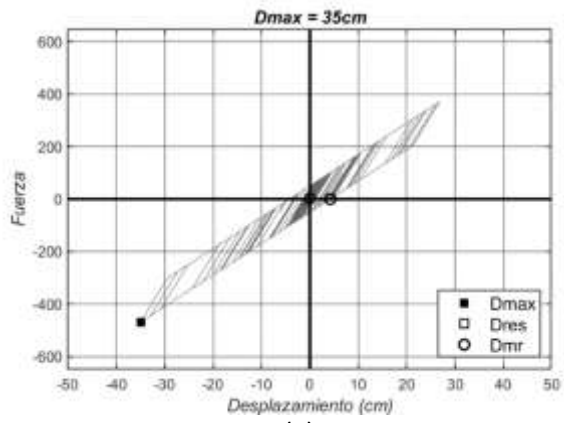
(d)



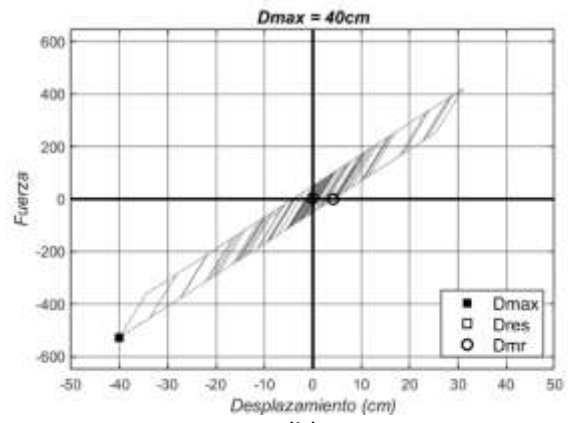
(e)



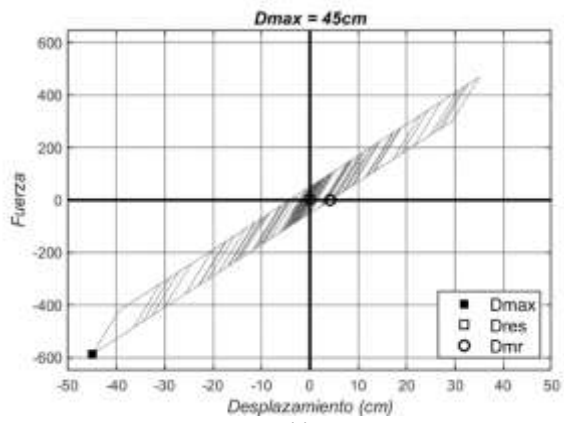
(f)



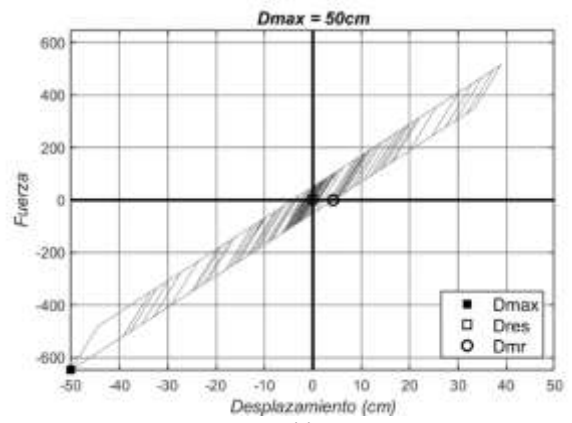
(g)



(h)

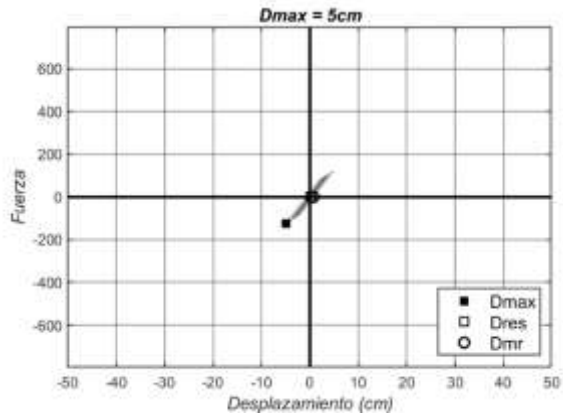


(i)

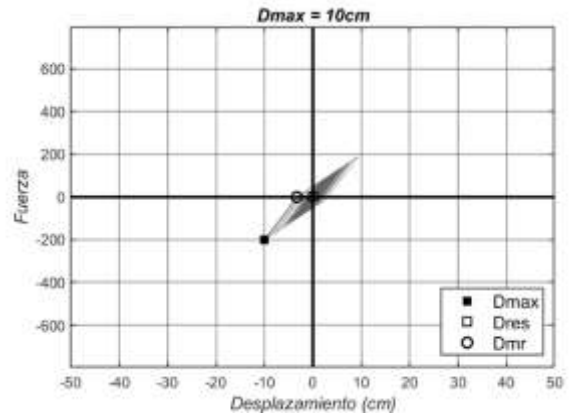


(j)

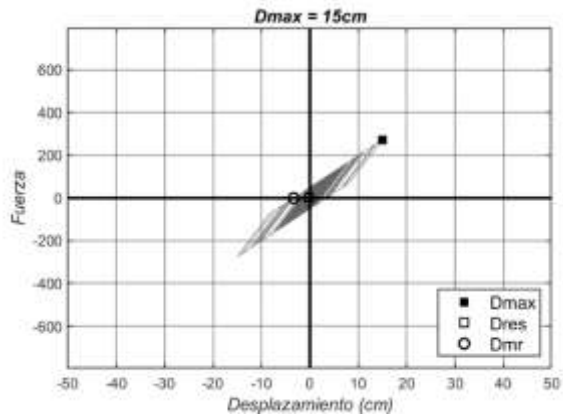
Anexo A-51: Registros AAM2E, SUGL con $r = 50\%$



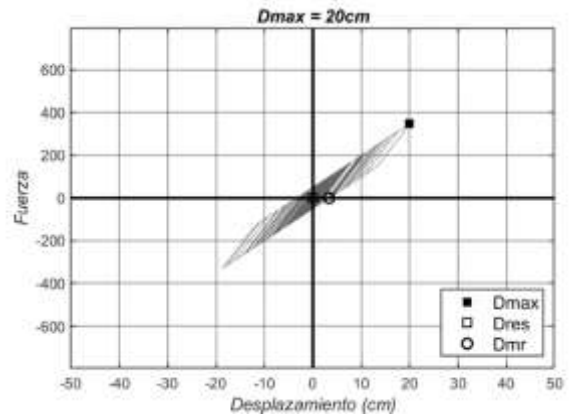
(a)



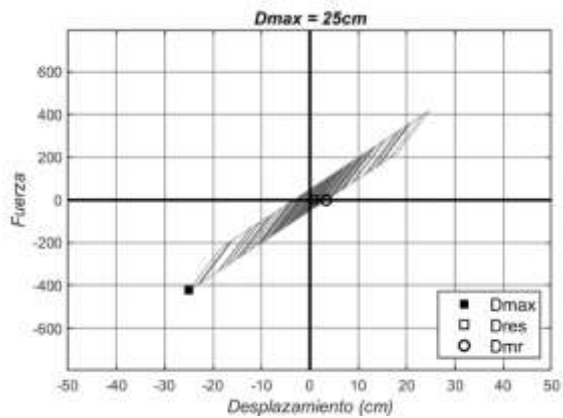
(b)



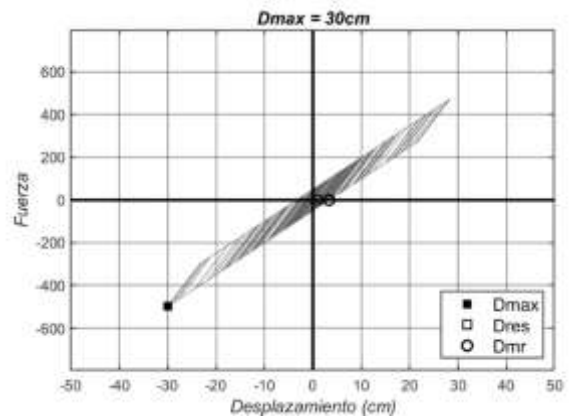
(c)



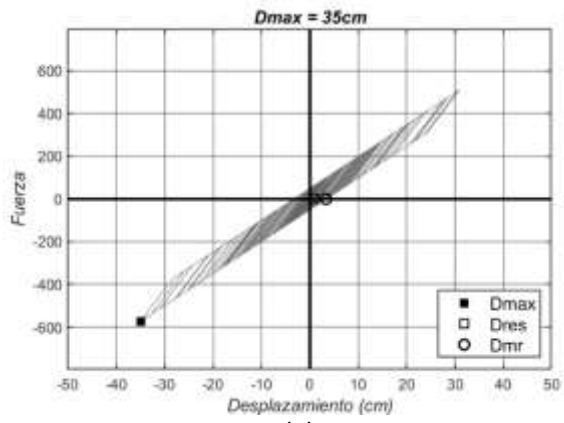
(d)



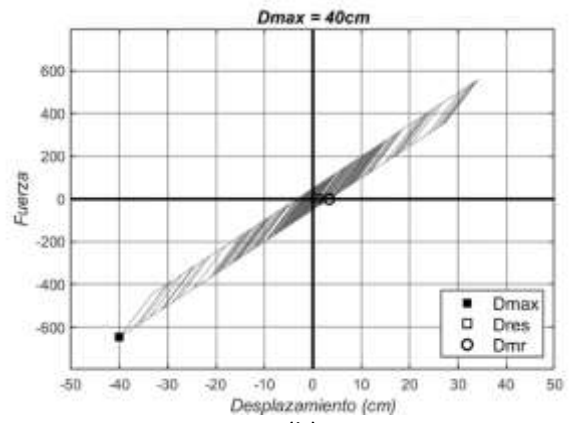
(e)



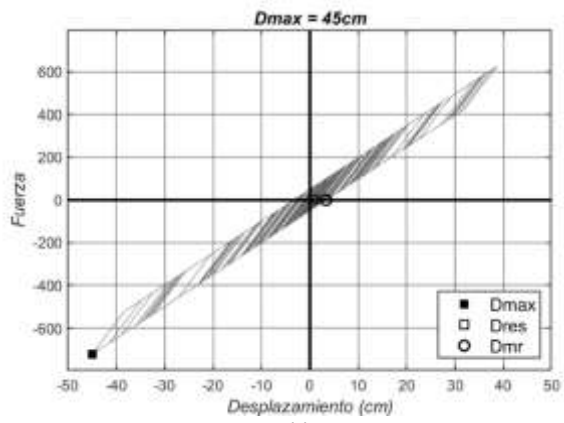
(f)



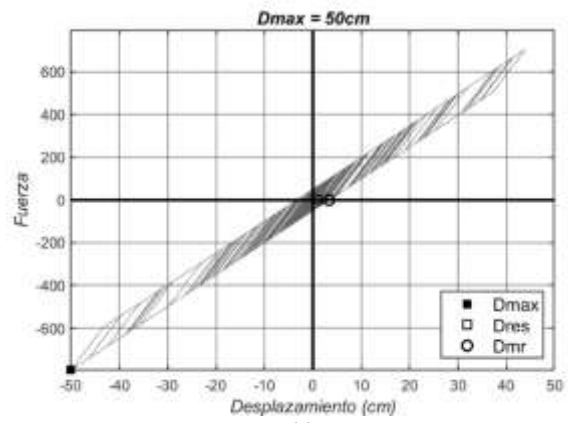
(g)



(h)

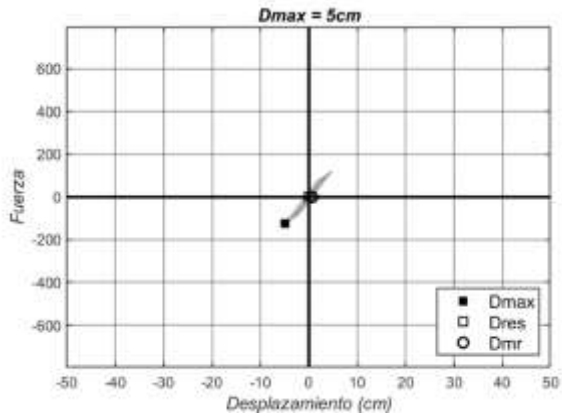


(i)

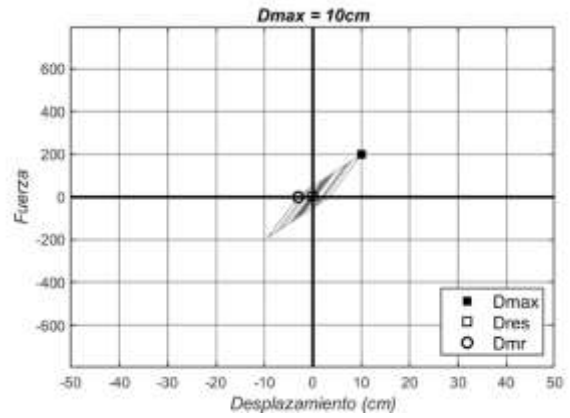


(i)

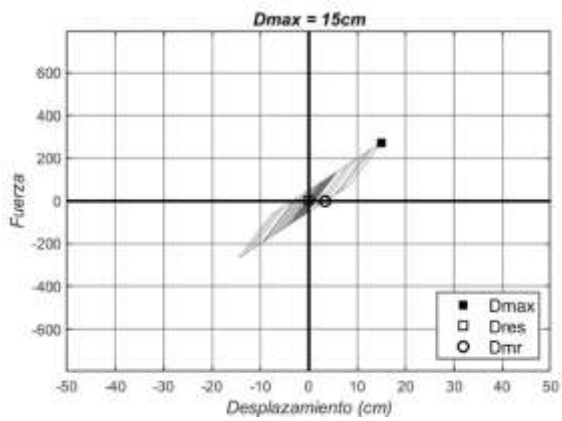
Anexo A-52: Registros ACHNE, SUGL con $r = 50\%$



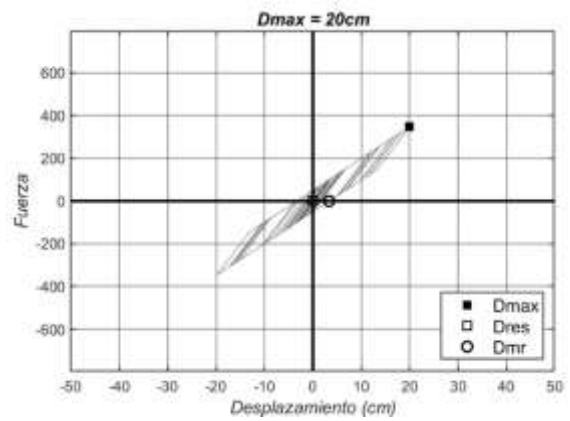
(a)



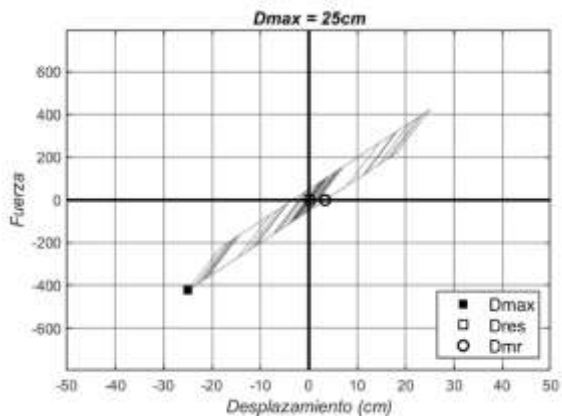
(b)



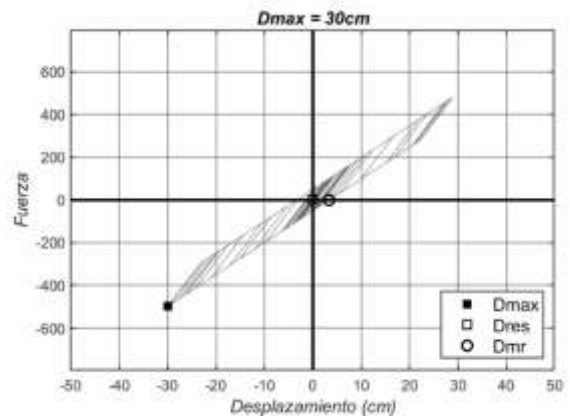
(c)



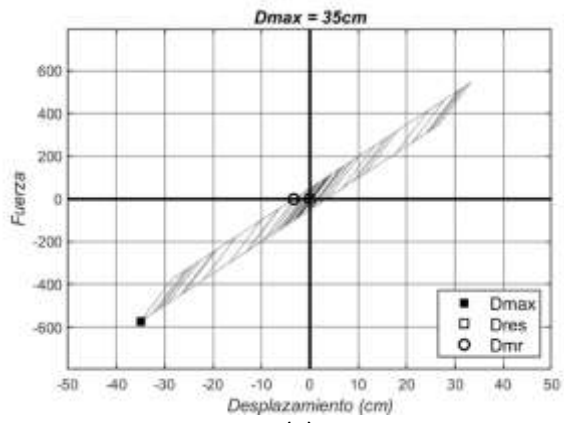
(d)



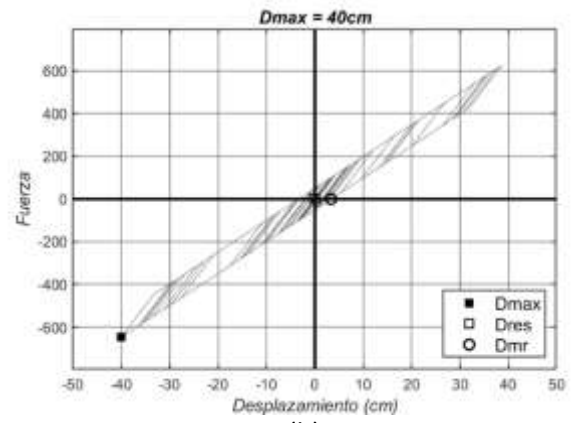
(e)



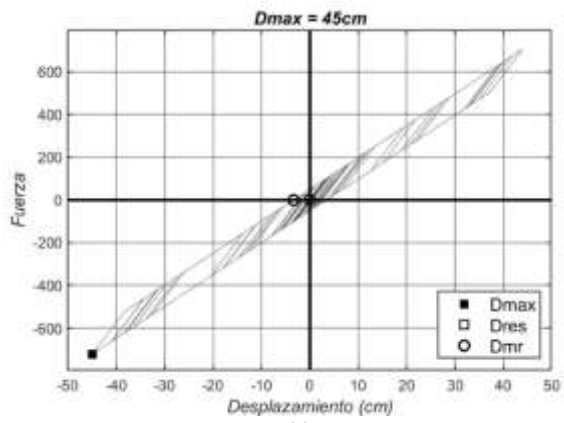
(f)



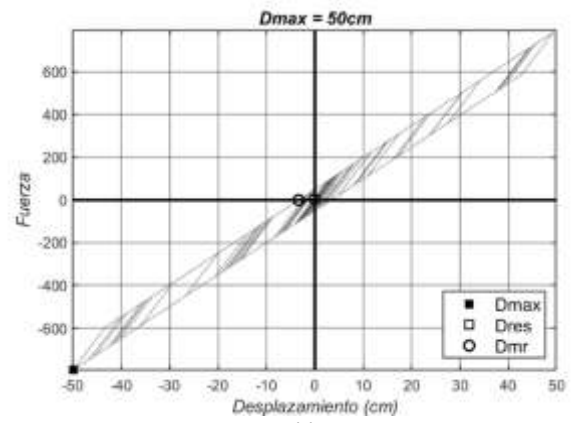
(g)



(h)

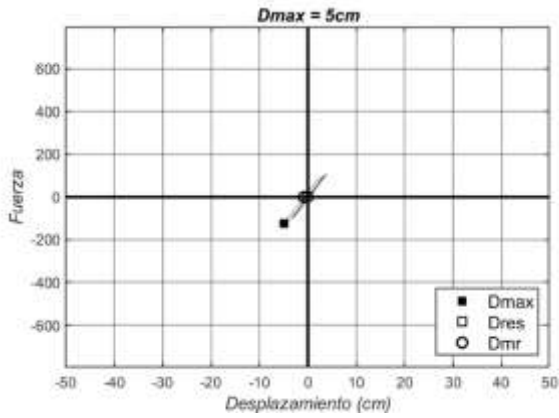


(i)

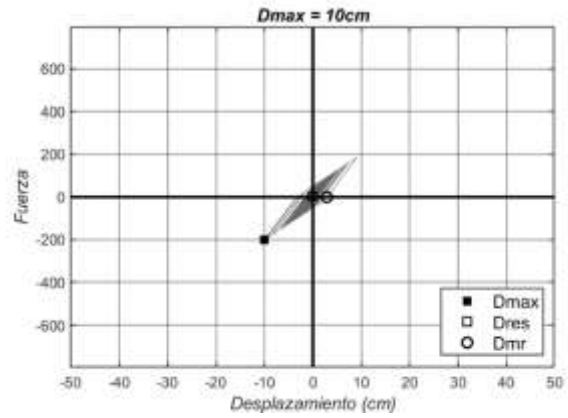


(j)

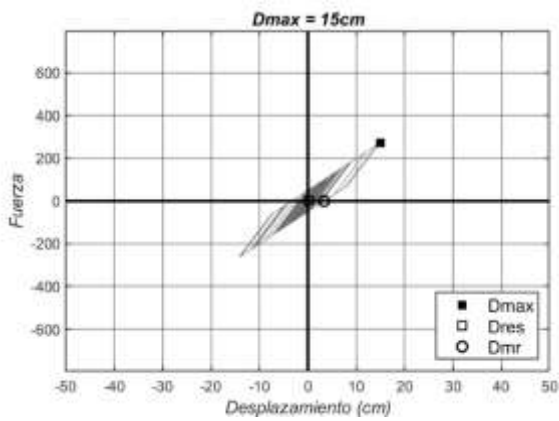
Anexo A-53: Registros AGY1E, SUGL con $r = 50\%$



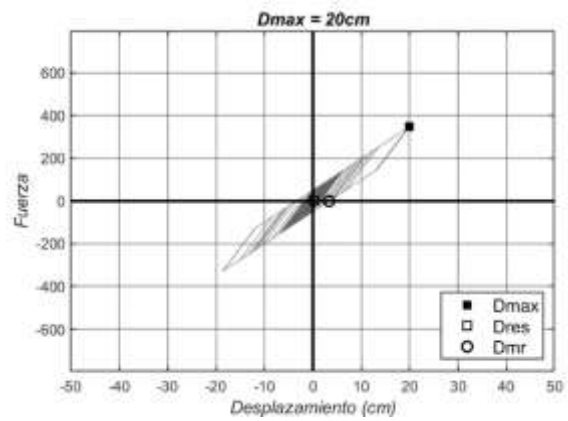
(a)



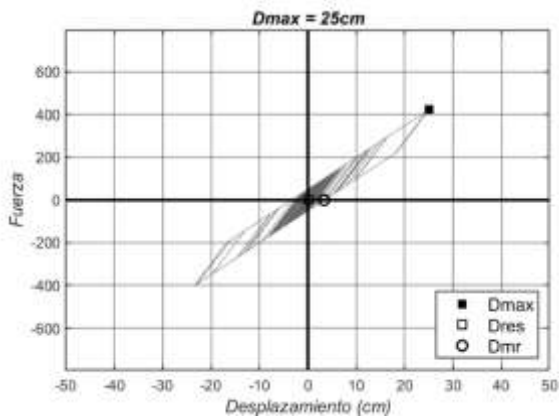
(b)



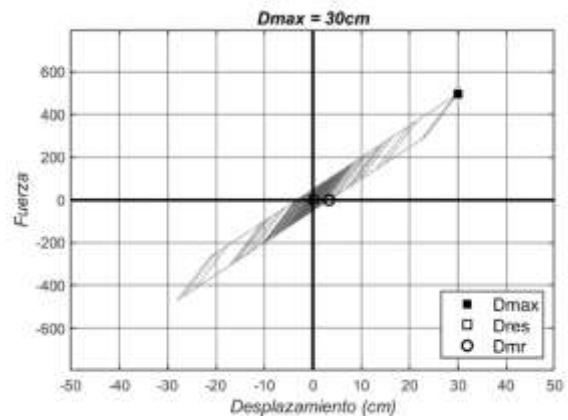
(c)



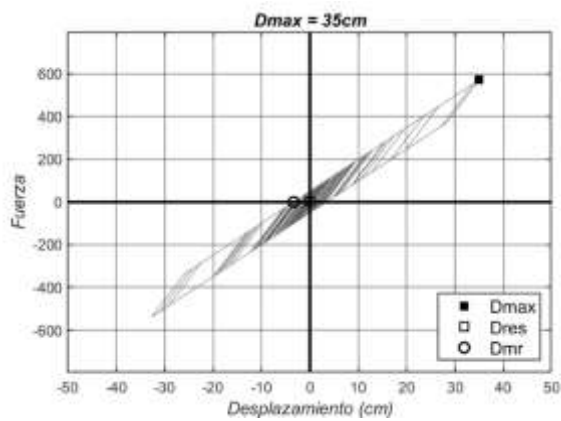
(d)



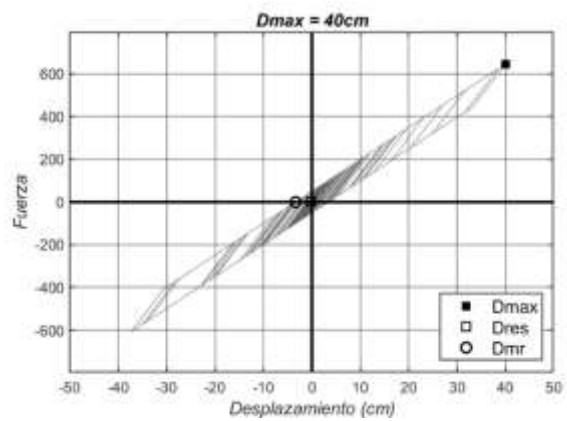
(e)



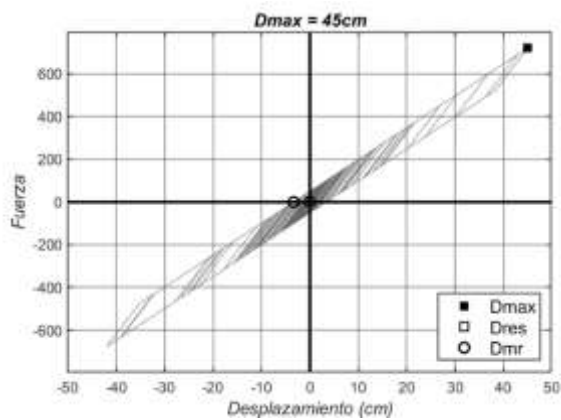
(f)



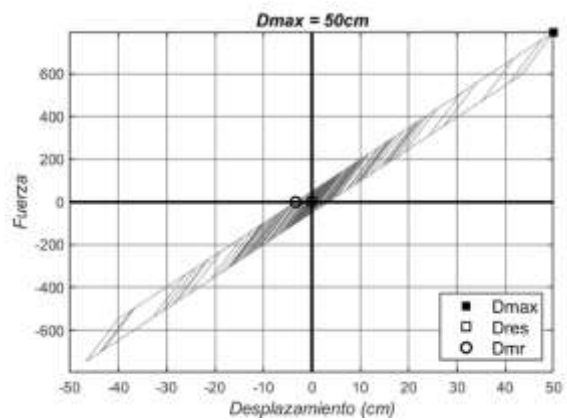
(g)



(h)

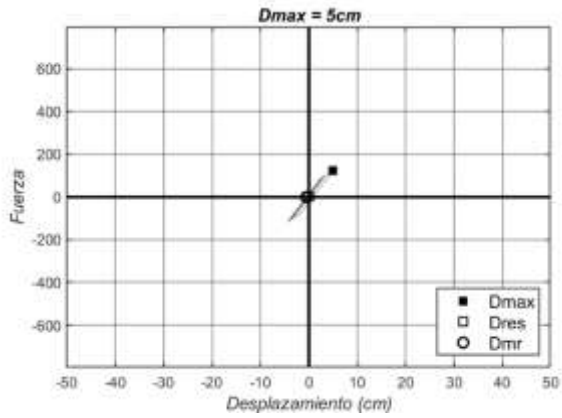


(i)

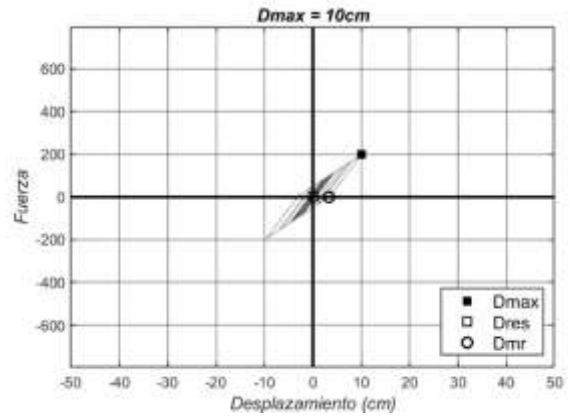


(j)

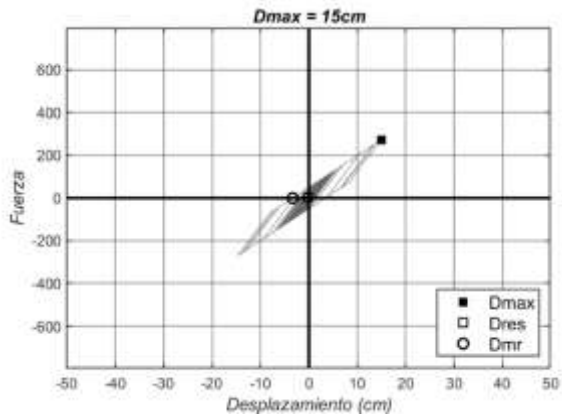
Anexo A-54: Registros AGY1E, SUGL con $r = 50\%$



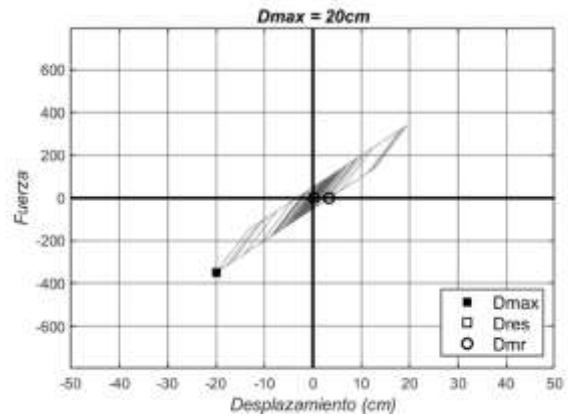
(a)



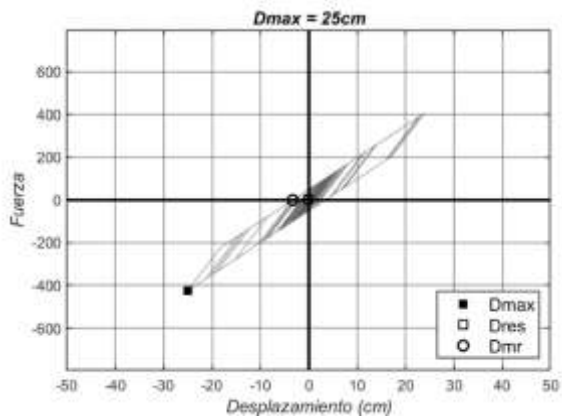
(b)



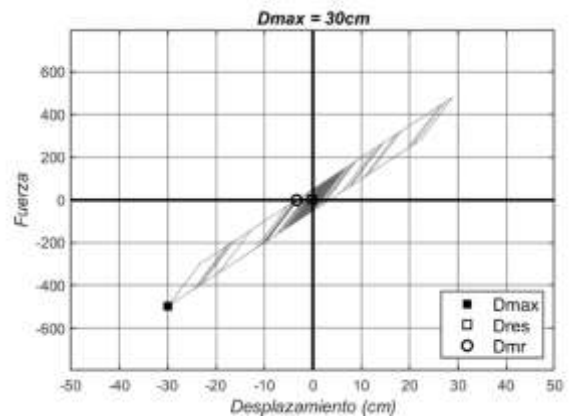
(c)



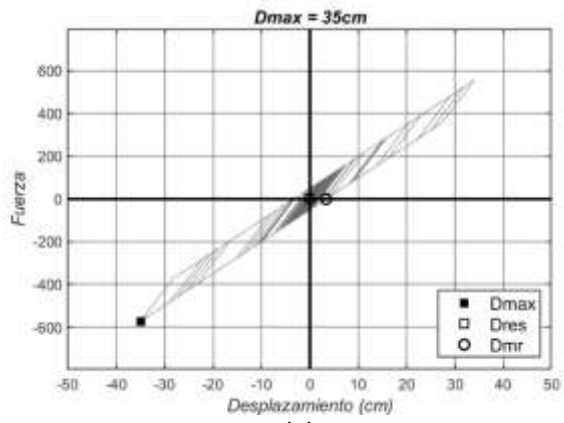
(d)



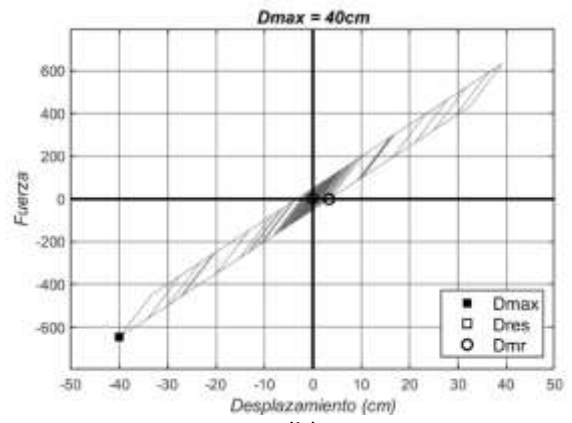
(e)



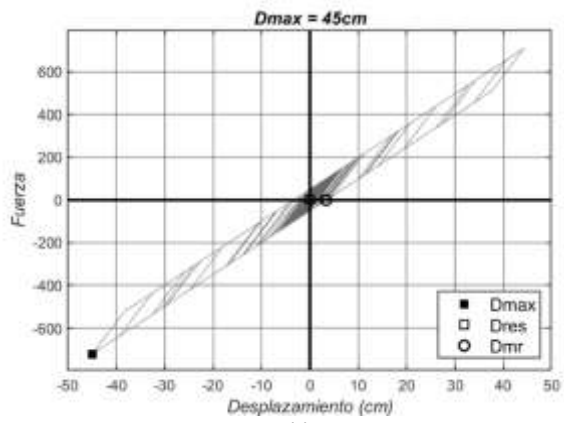
(f)



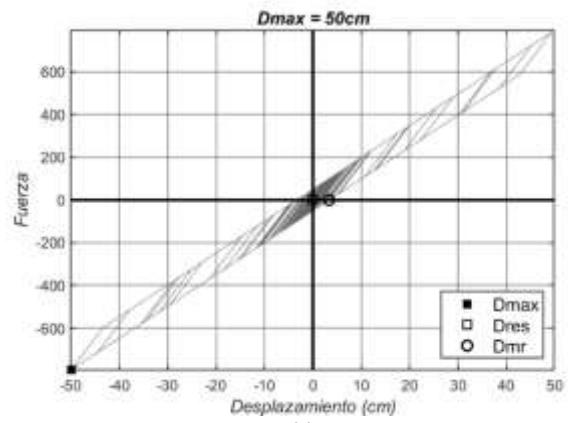
(g)



(h)

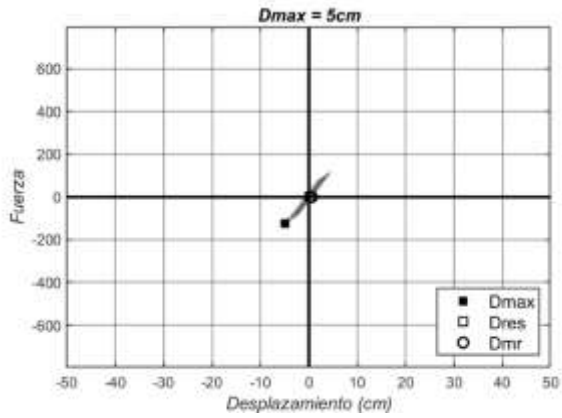


(i)

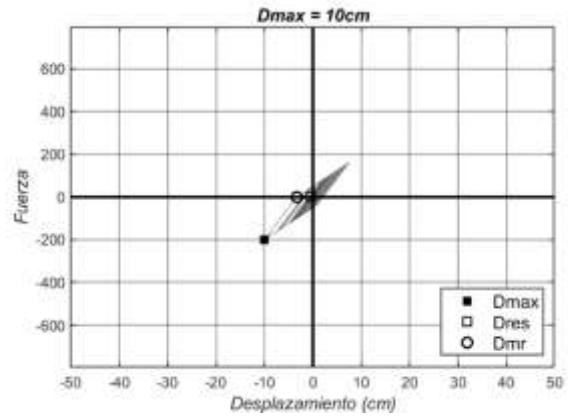


(j)

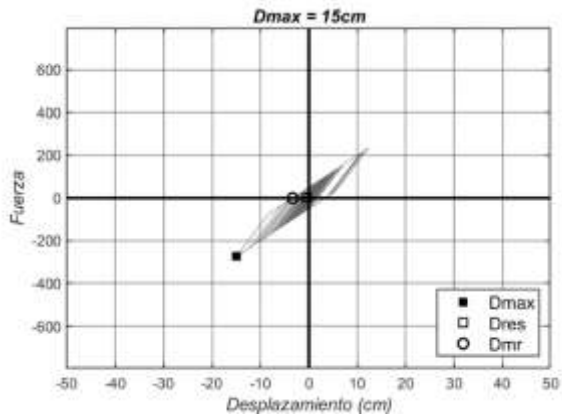
Anexo A-55: Registros AGYEE, SUGL con $r = 50\%$



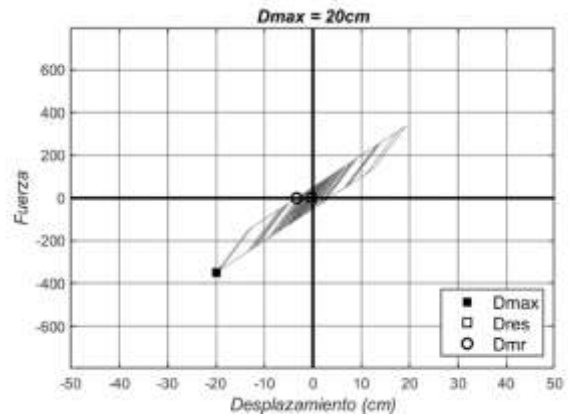
(a)



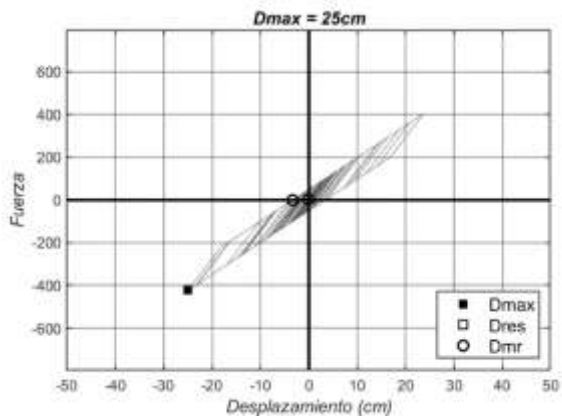
(b)



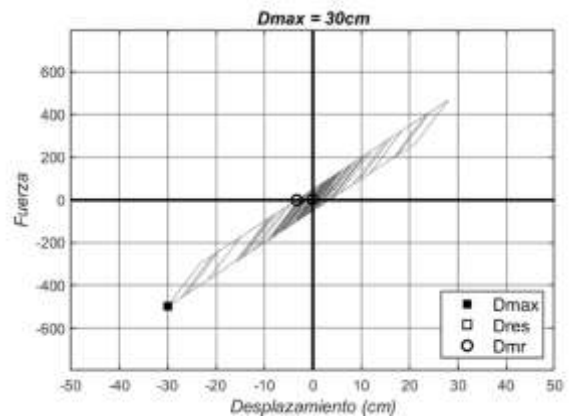
(c)



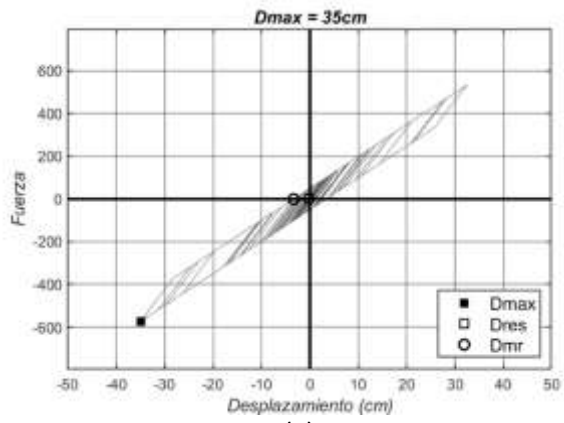
(d)



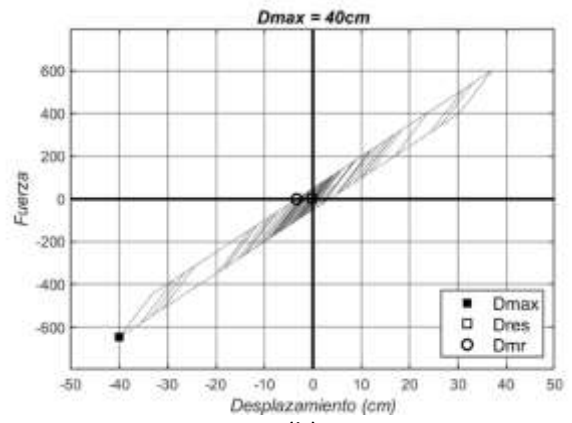
(e)



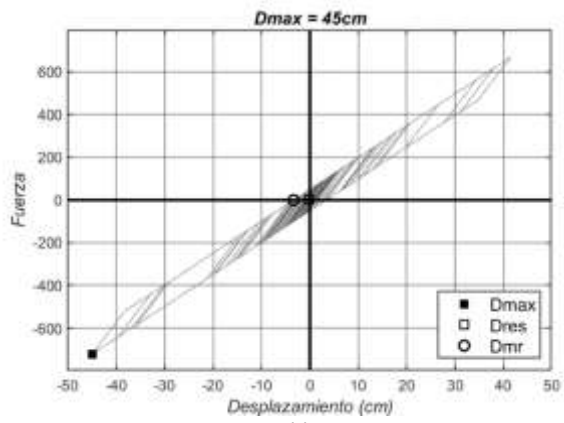
(f)



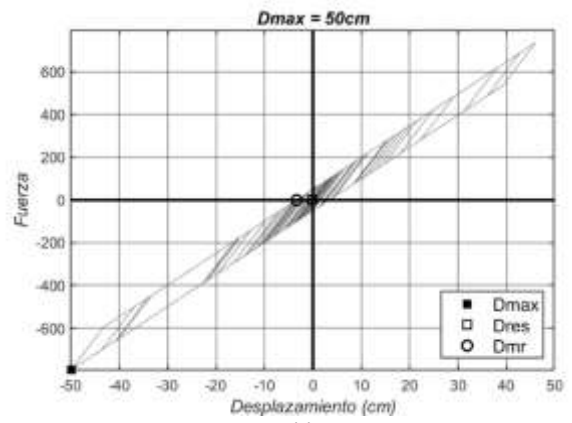
(g)



(h)

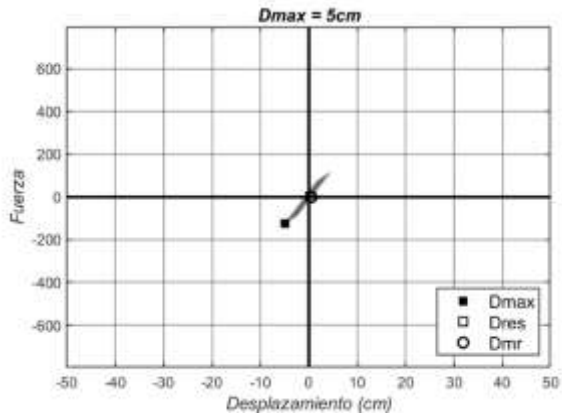


(i)

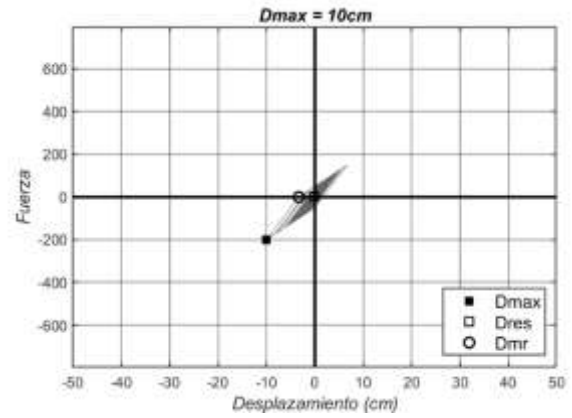


(j)

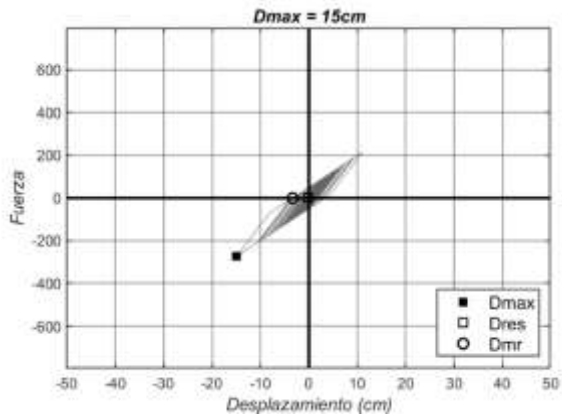
Anexo A-56: Registros AMA1E, SUGL con $r = 50\%$



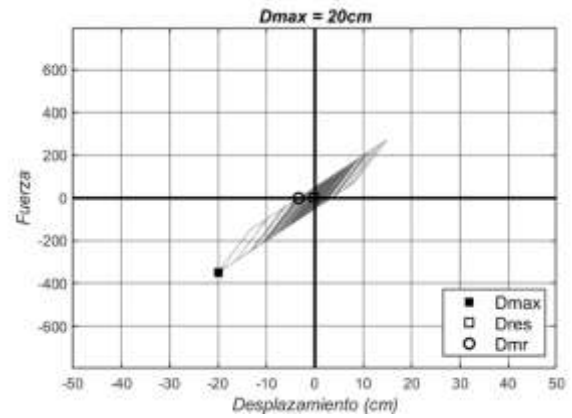
(a)



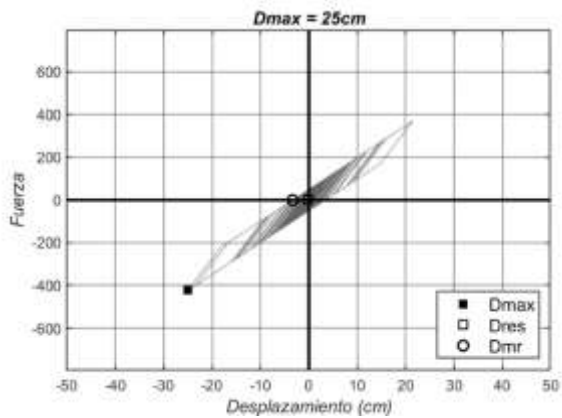
(b)



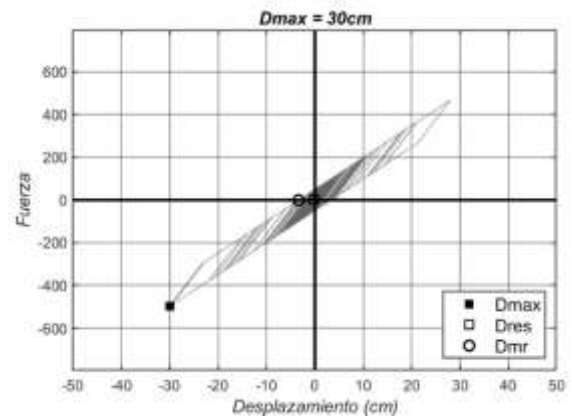
(c)



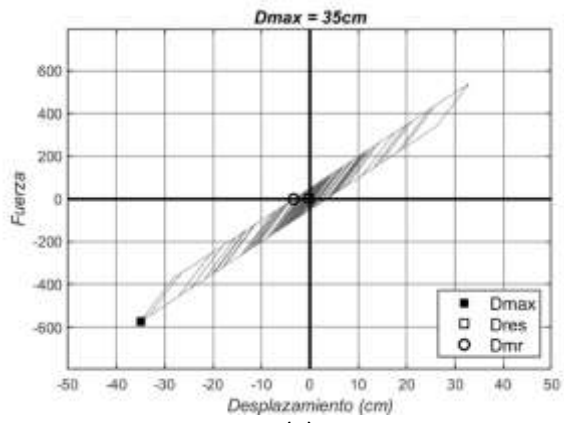
(d)



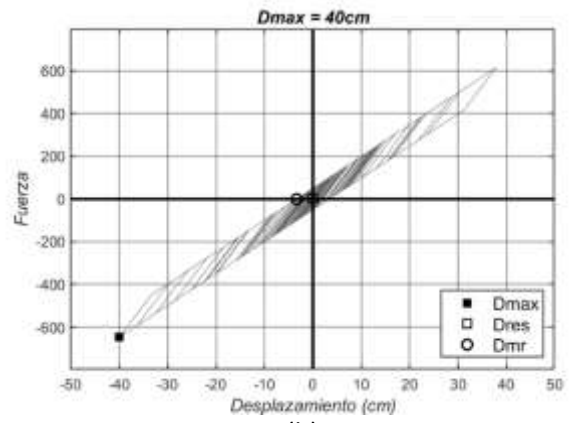
(e)



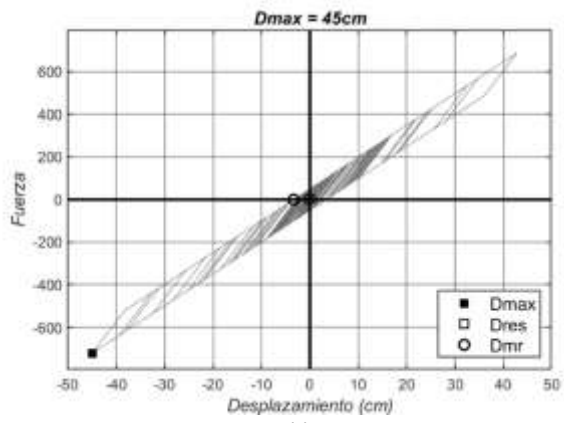
(f)



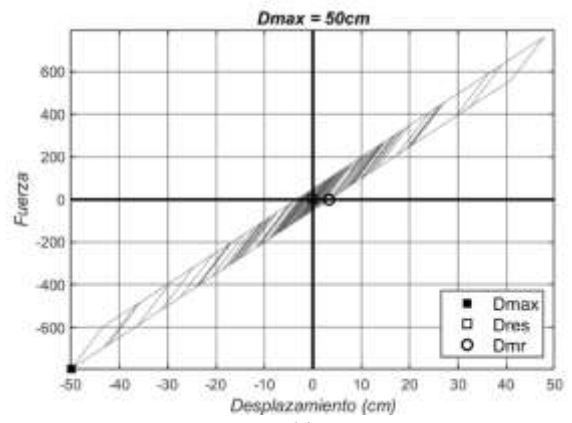
(g)



(h)

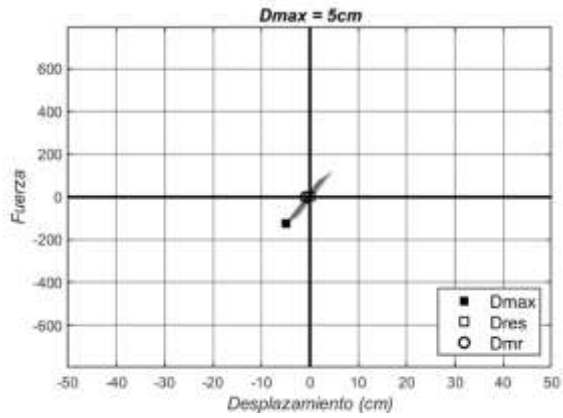


(i)

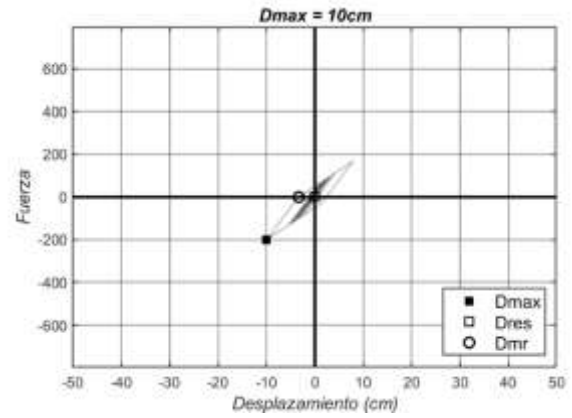


(j)

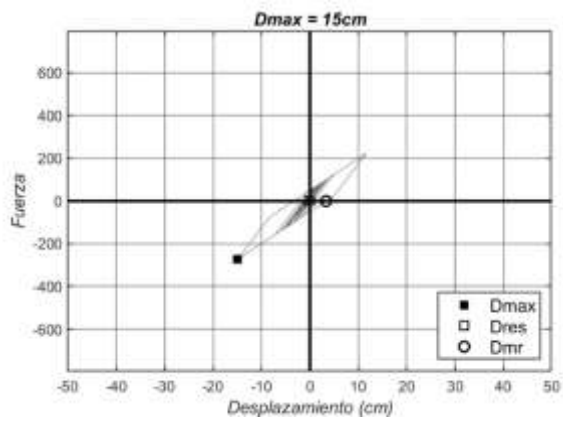
Anexo A-57: Registros AMANTE, SUGL con $r = 50\%$



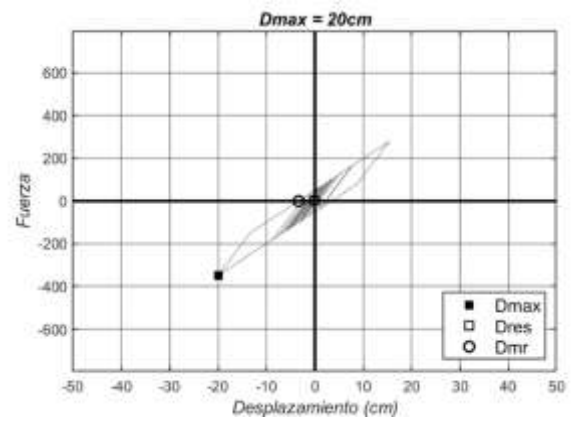
(a)



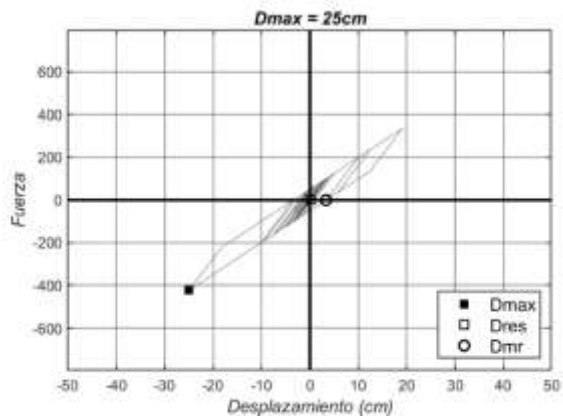
(b)



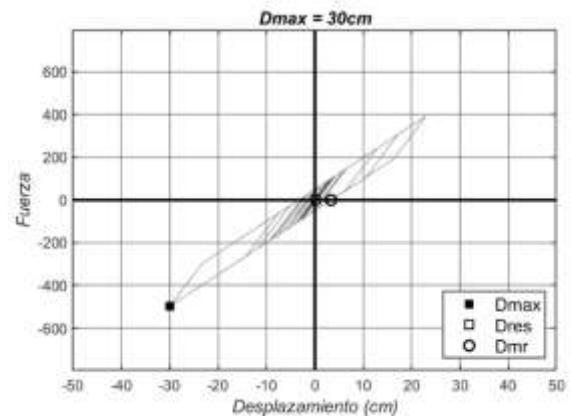
(c)



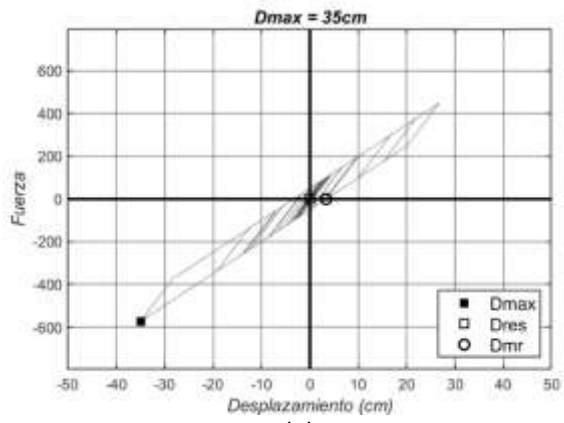
(d)



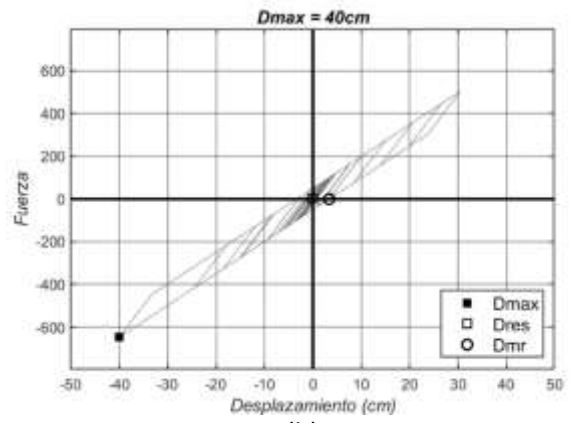
(e)



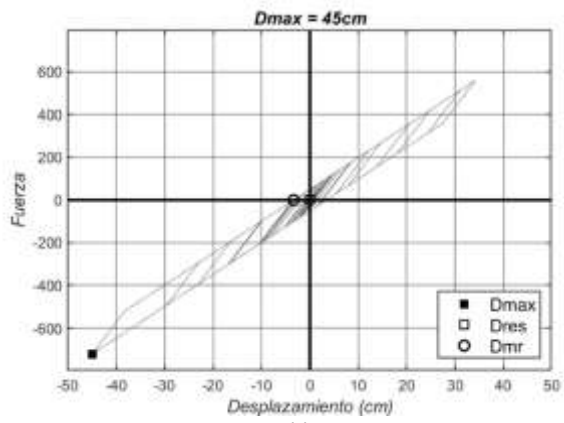
(f)



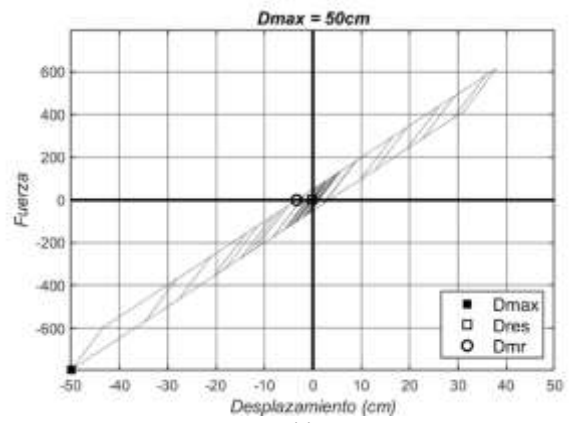
(g)



(h)

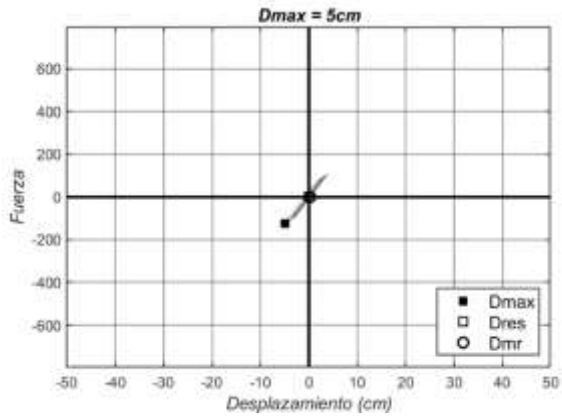


(i)

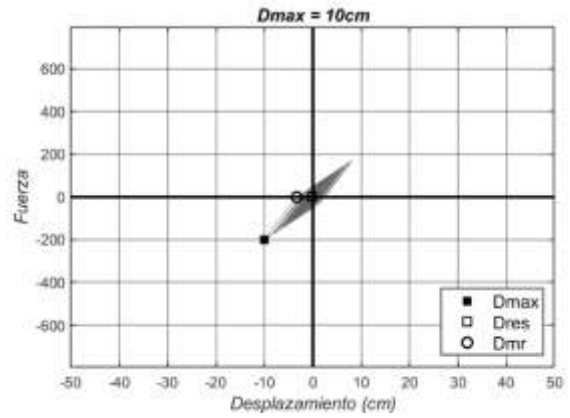


(j)

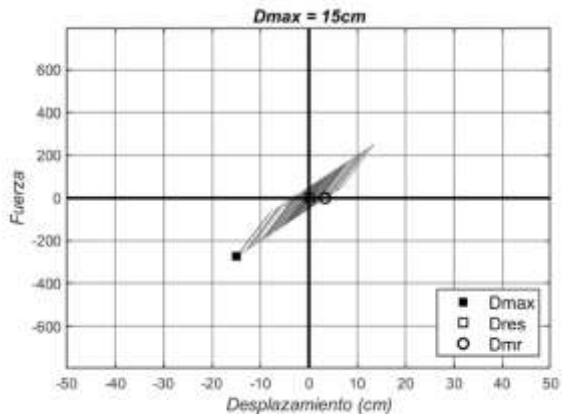
Anexo A-58: Registros APEDE, SUGL con $r = 50\%$



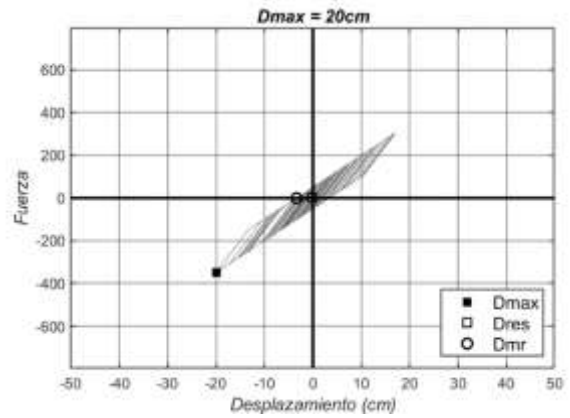
(a)



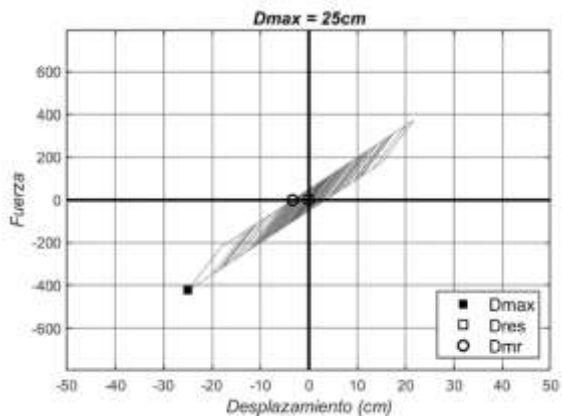
(b)



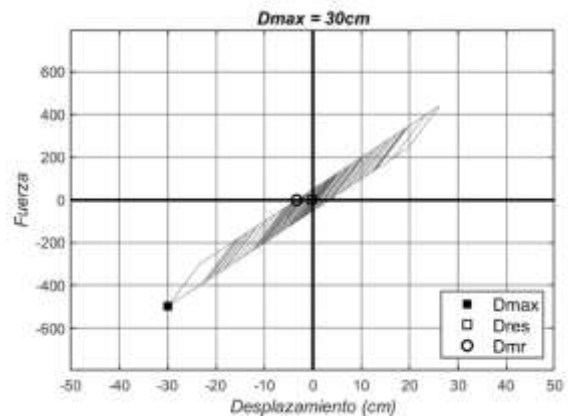
(c)



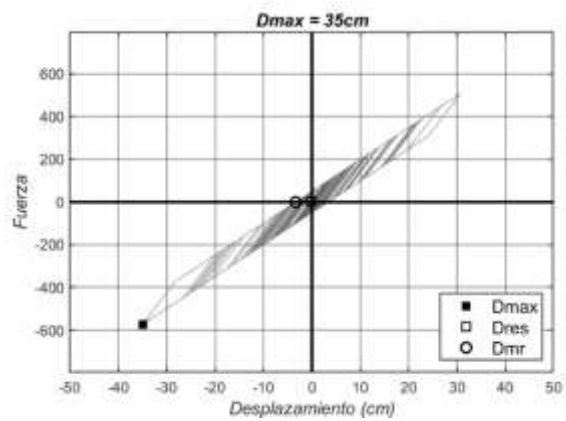
(d)



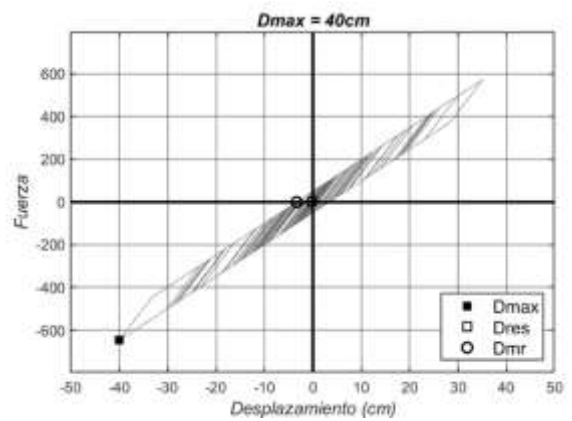
(e)



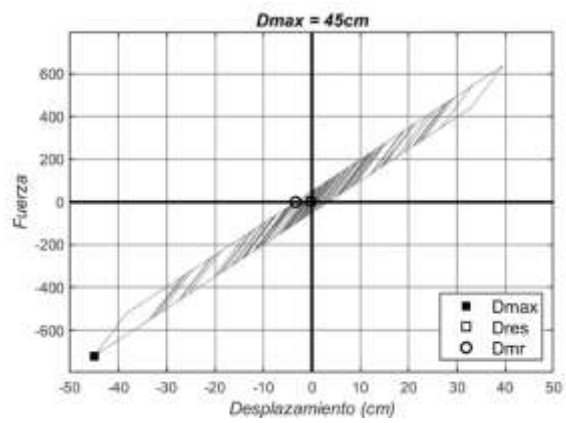
(f)



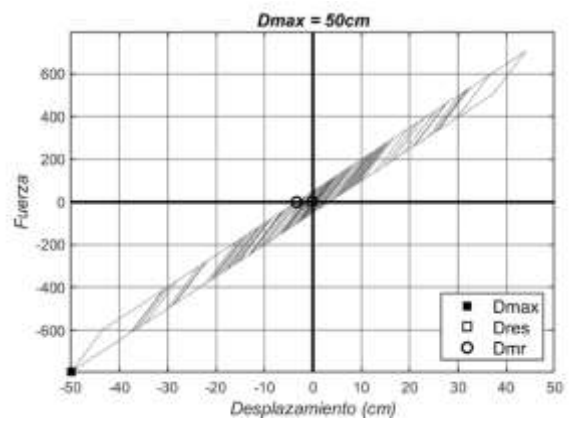
(g)



(h)

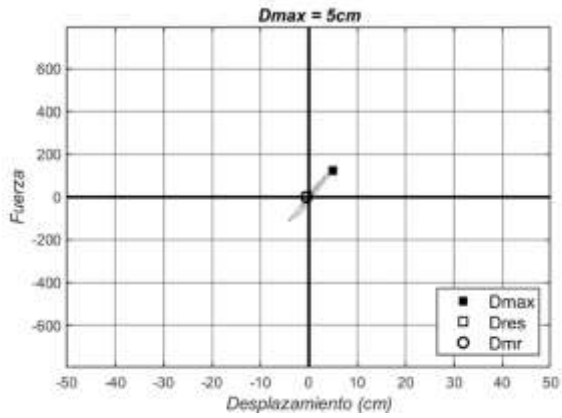


(i)

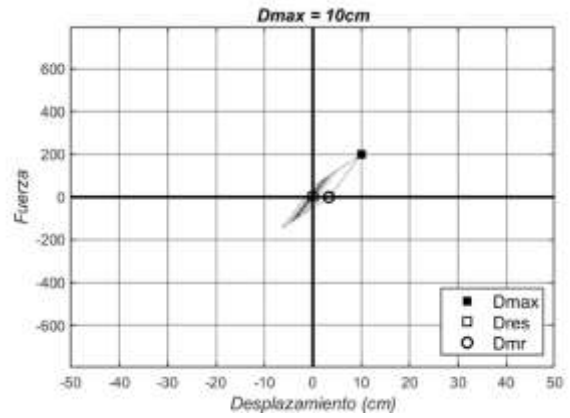


(j)

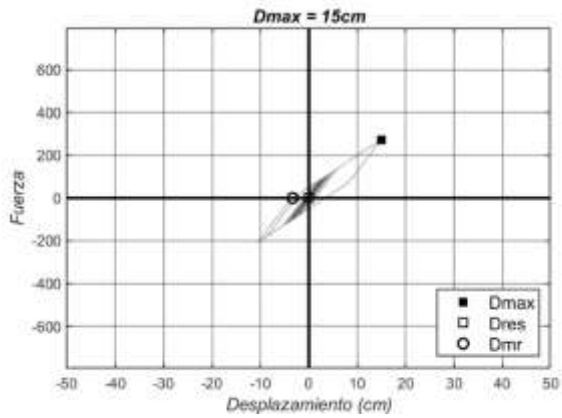
Anexo A-59: Registros APO1E, SUGL con $r = 50\%$



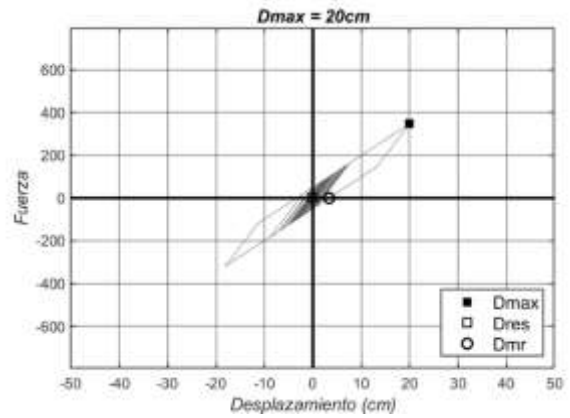
(a)



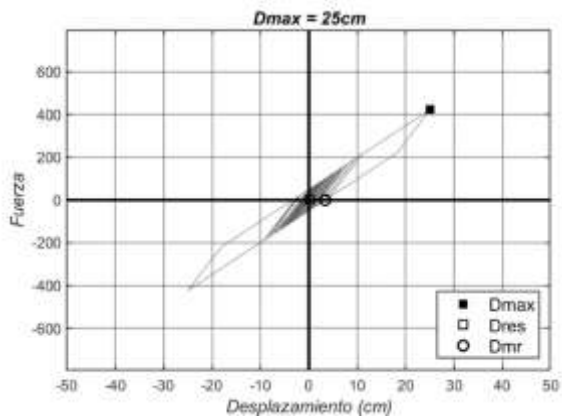
(b)



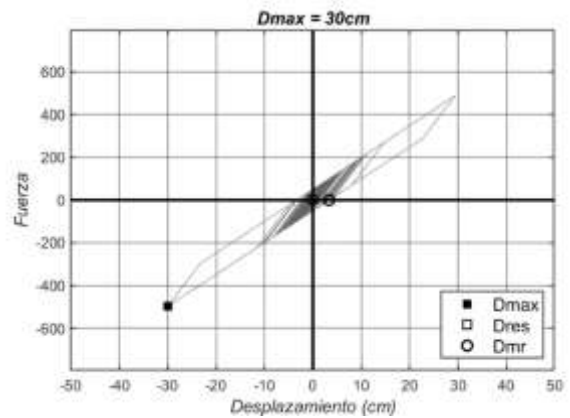
(c)



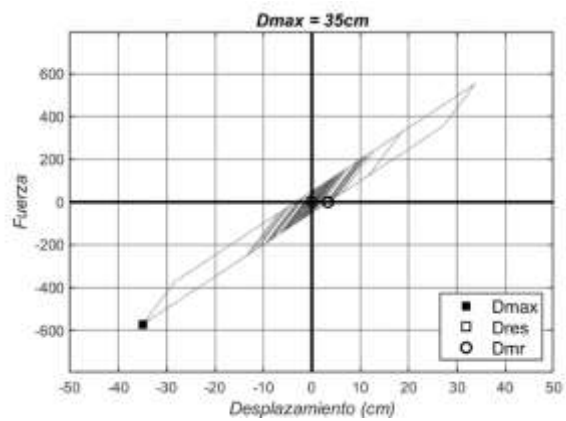
(d)



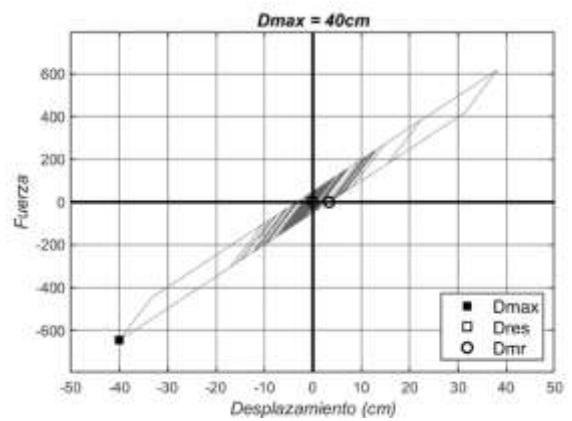
(e)



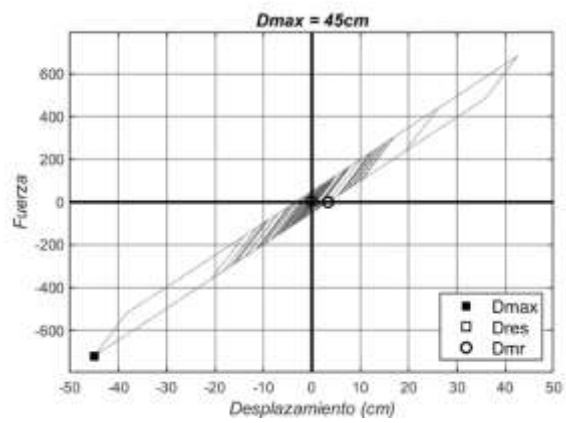
(f)



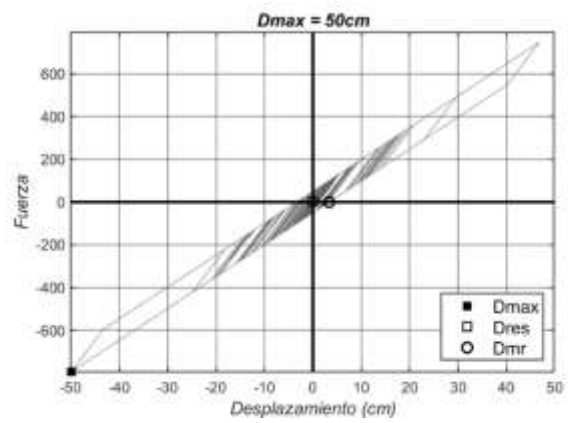
(g)



(h)

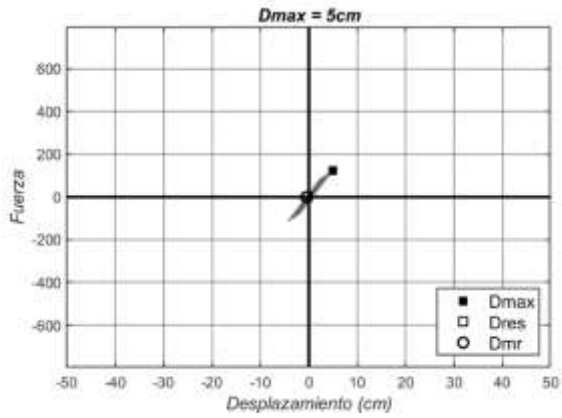


(i)

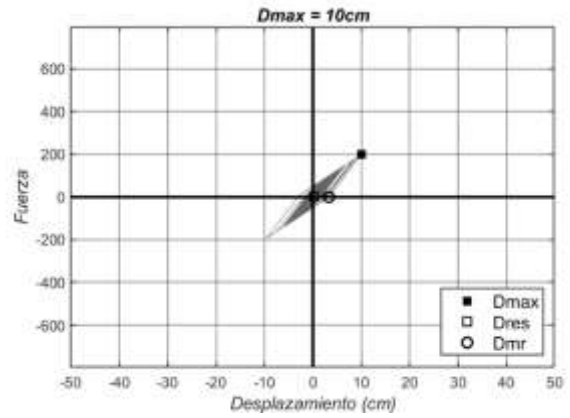


(j)

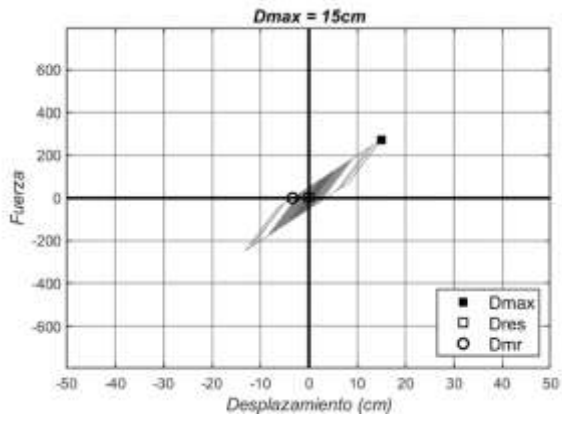
Anexo A-60: Registros PDNSE, SUGL con $r = 50\%$



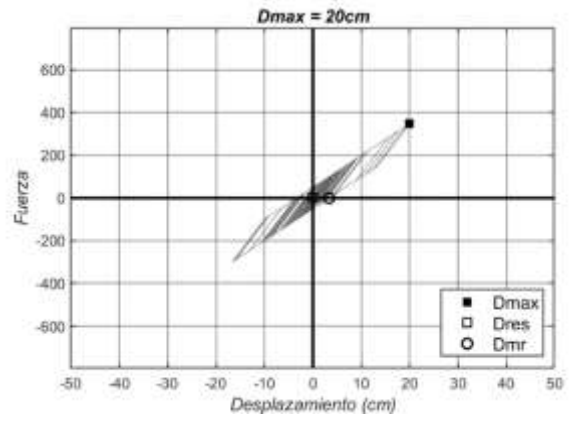
(a)



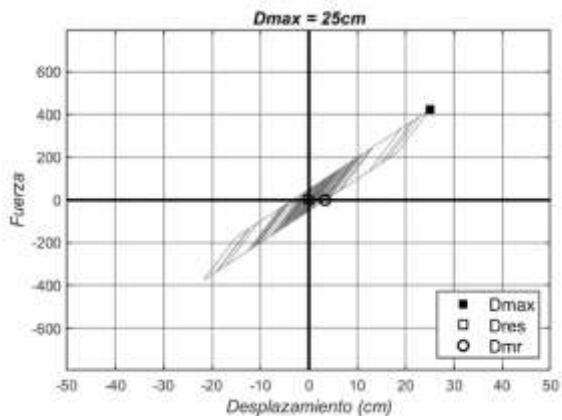
(b)



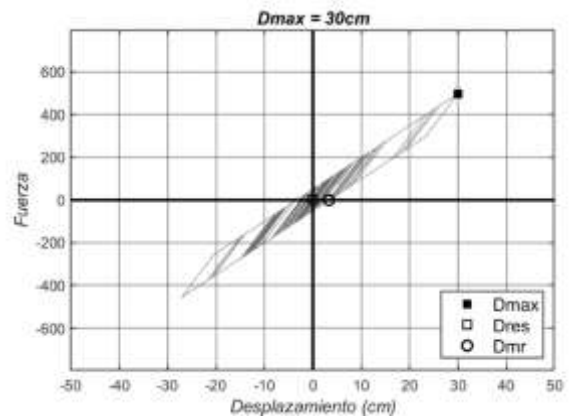
(c)



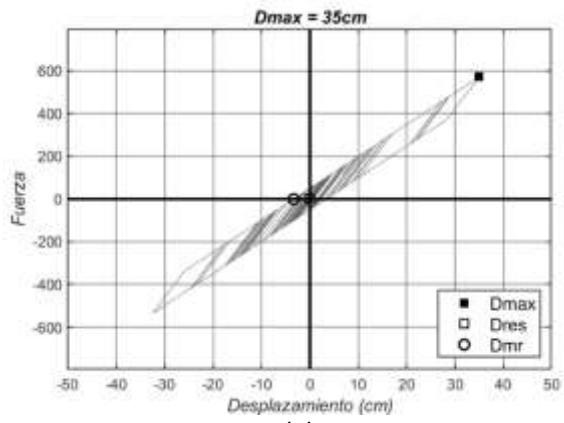
(d)



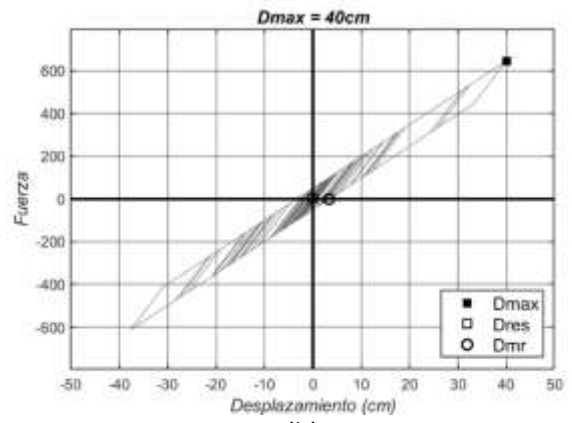
(e)



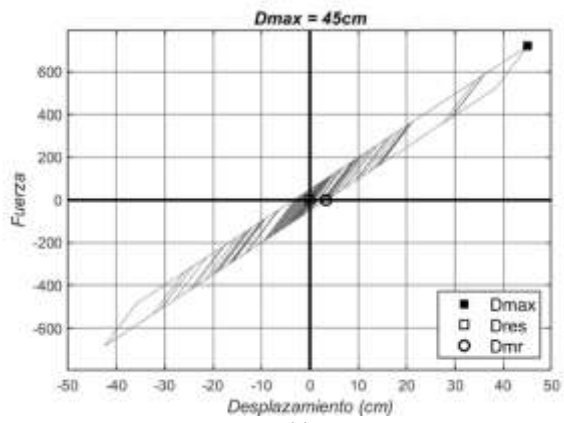
(f)



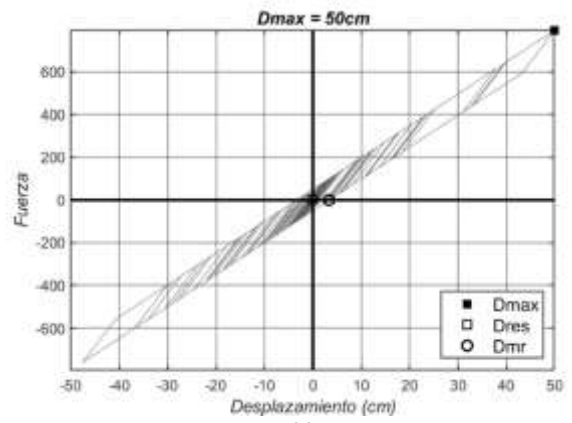
(g)



(h)

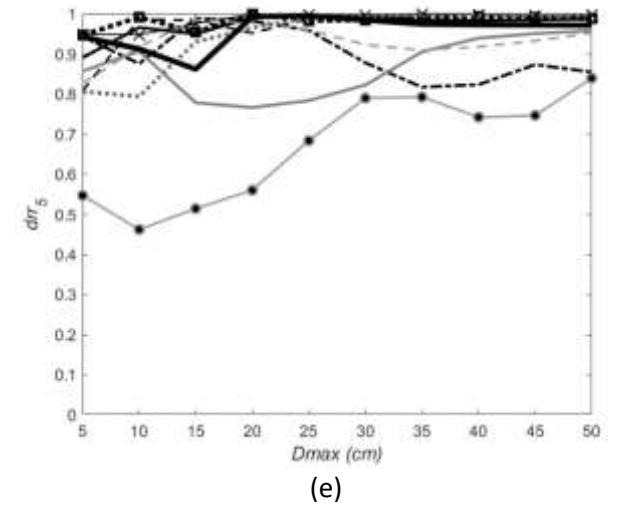
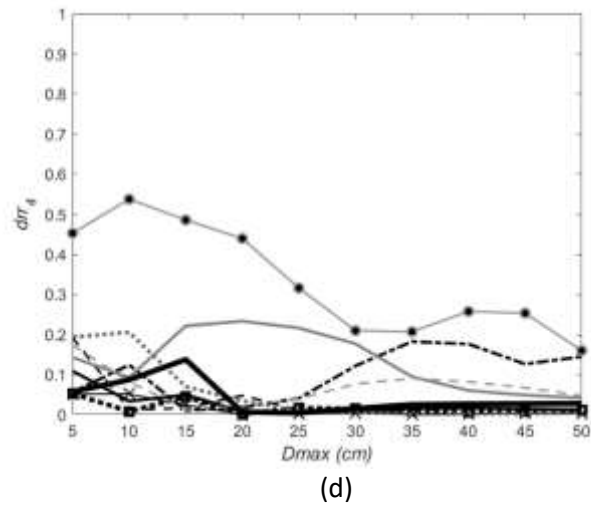
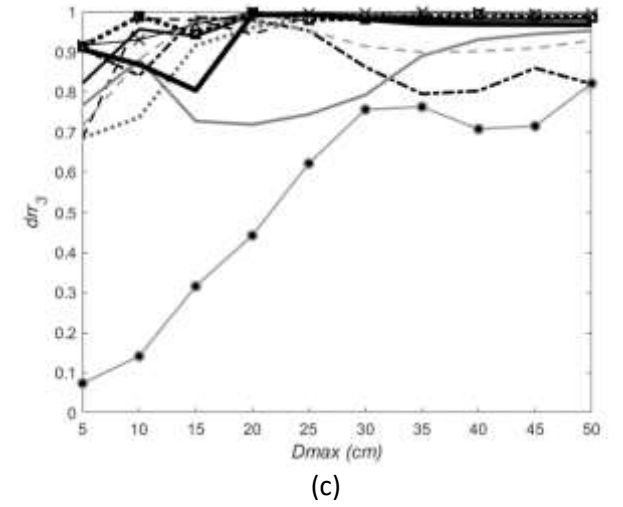
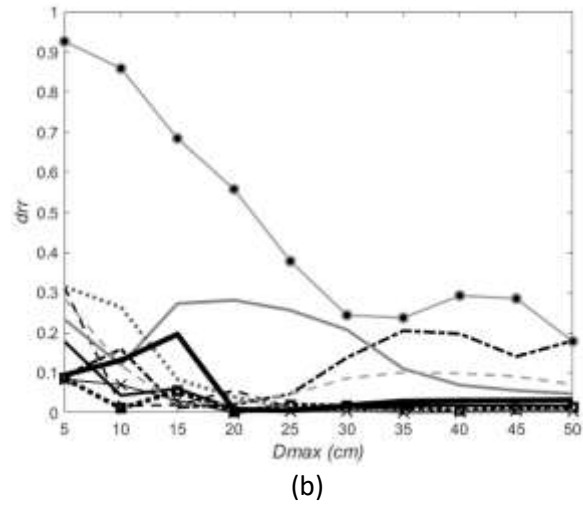
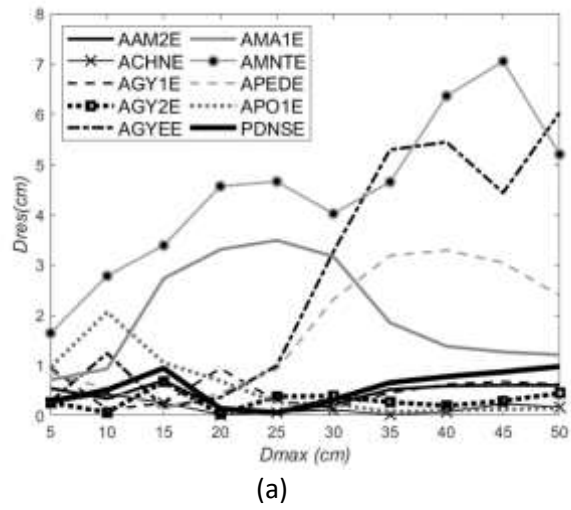


(i)

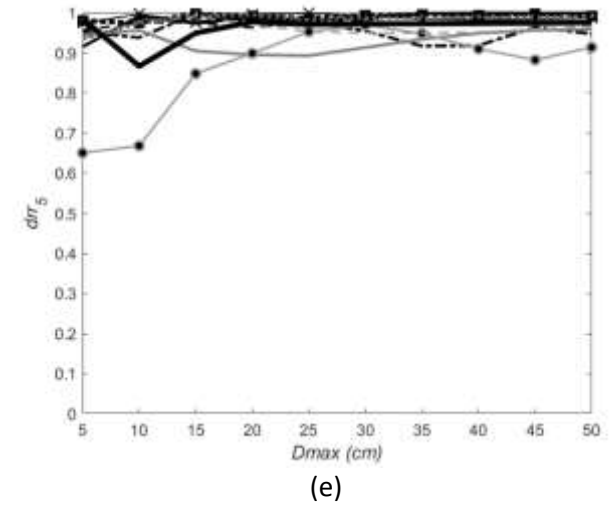
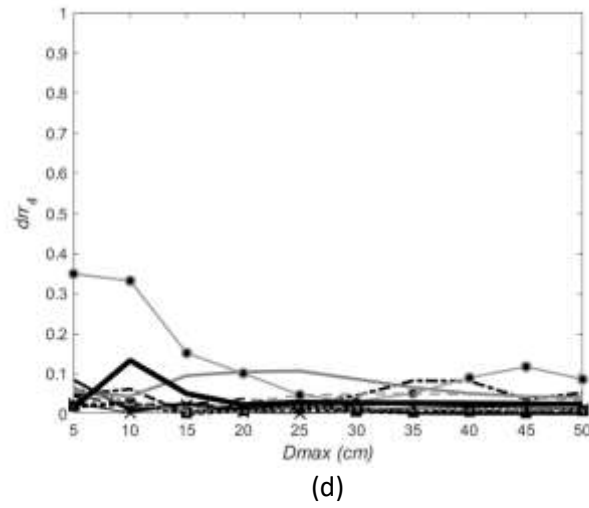
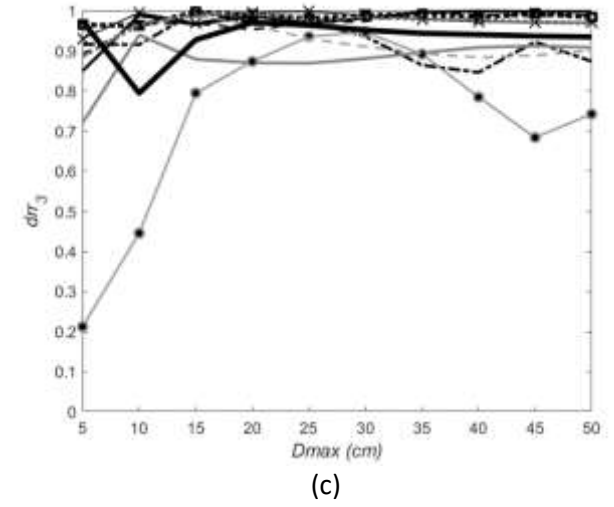
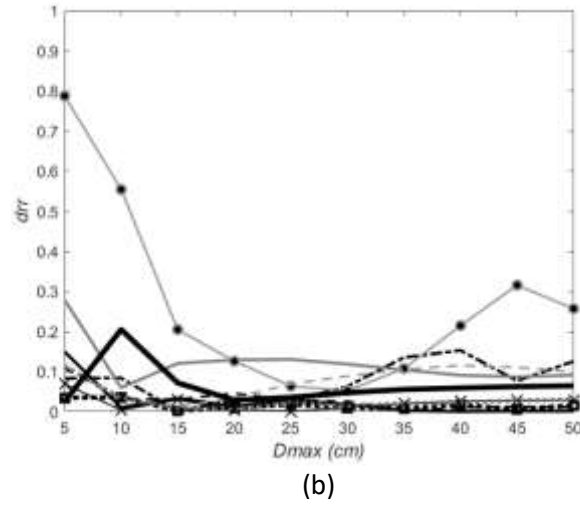
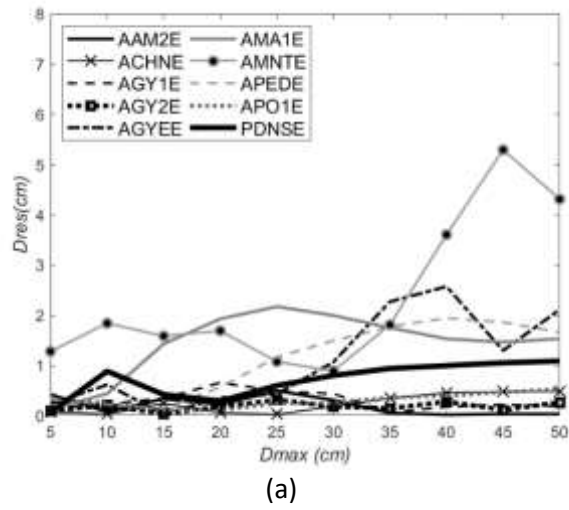


(j)

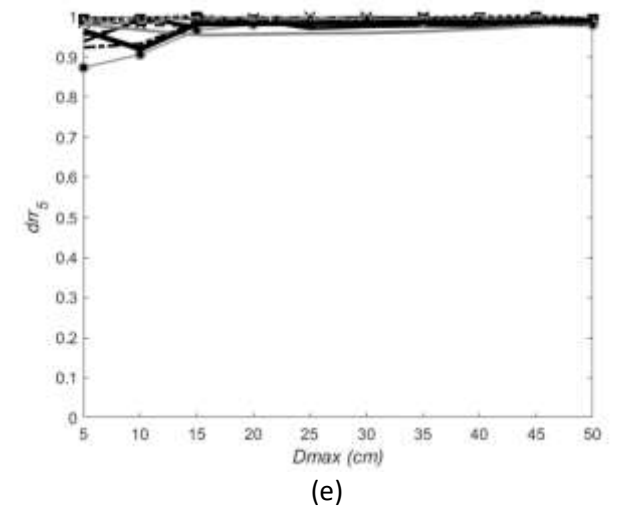
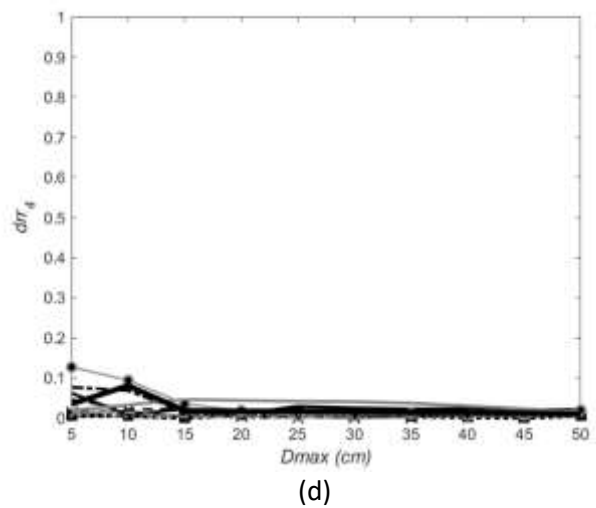
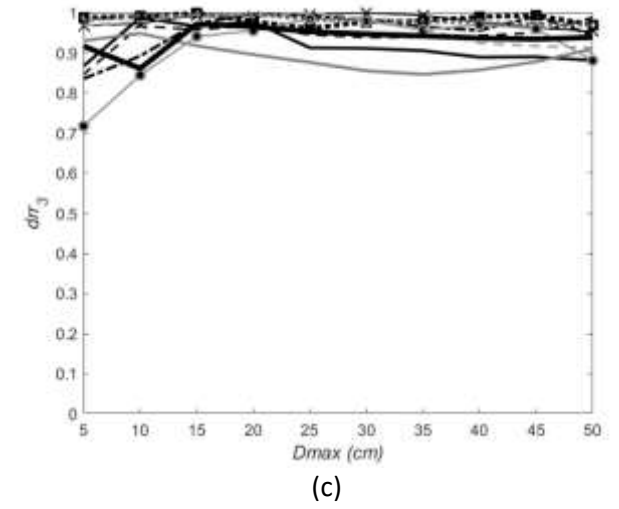
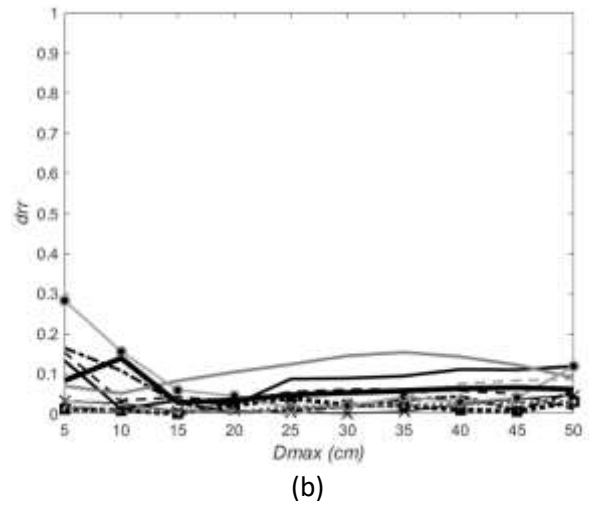
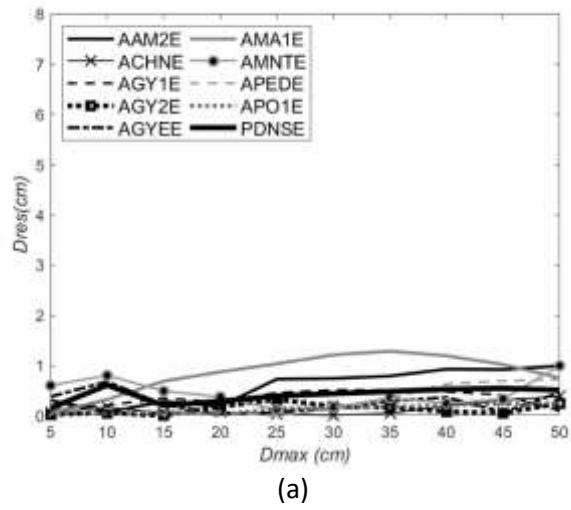
Anexo B: Resumen de resultados mostrados en el Anexo A, en términos de las definiciones para recentrado propuestas en este estudio (sección 3.3) y las propuestas por Kawashima y McRae (1997), en función de los desplazamientos objetivos definidos en la sección 3.6, organizados respecto a los valores de r empleados (sección 3.7). (a) D_{RES} , (b) d_{rr} , (c) d_{rr3} , (d) d_{rr4} , (e) d_{rr5} .



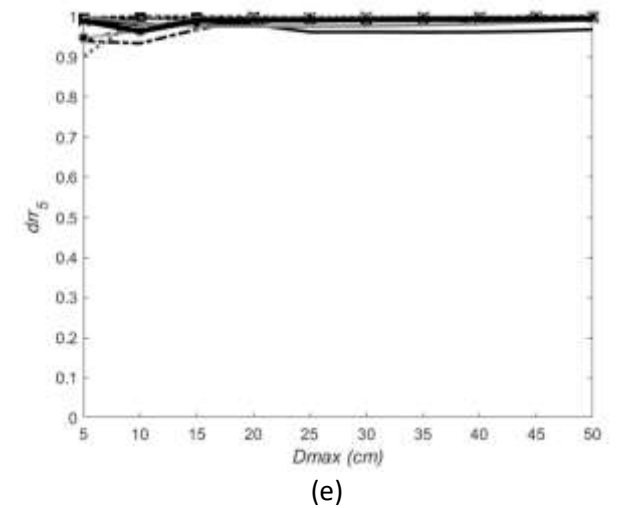
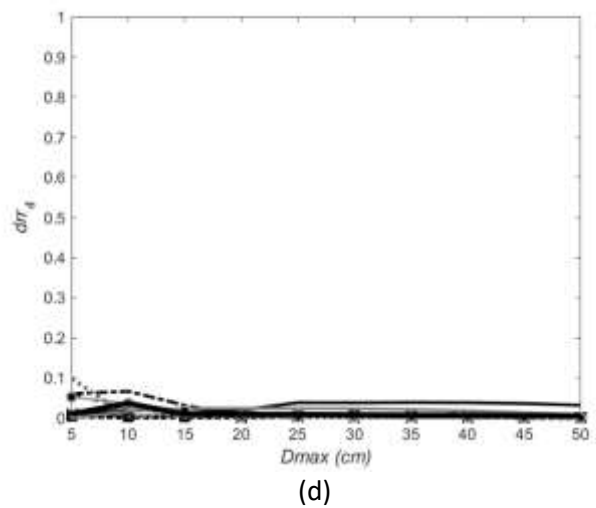
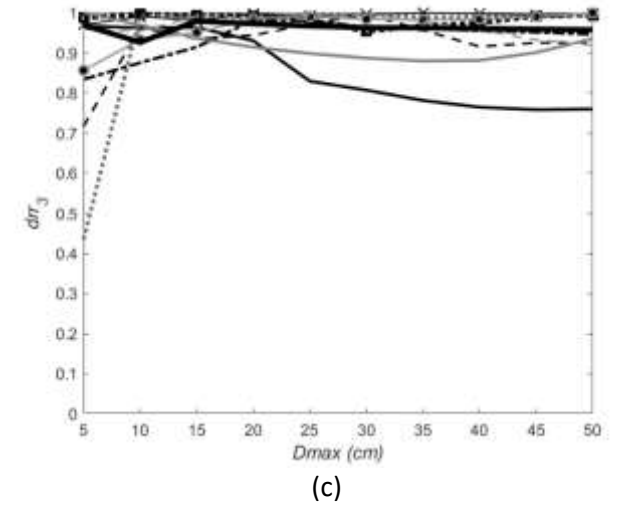
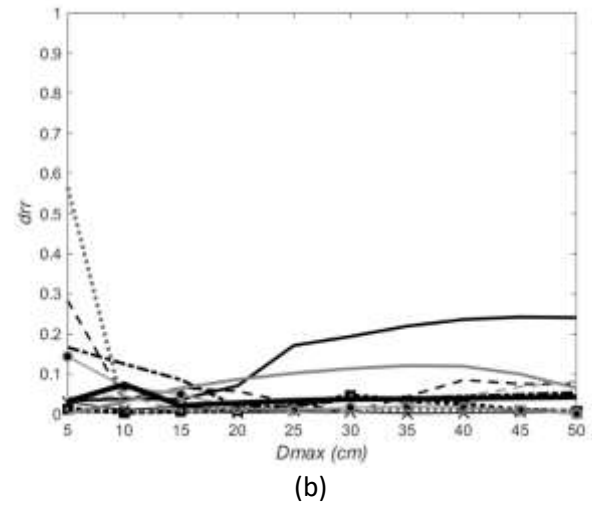
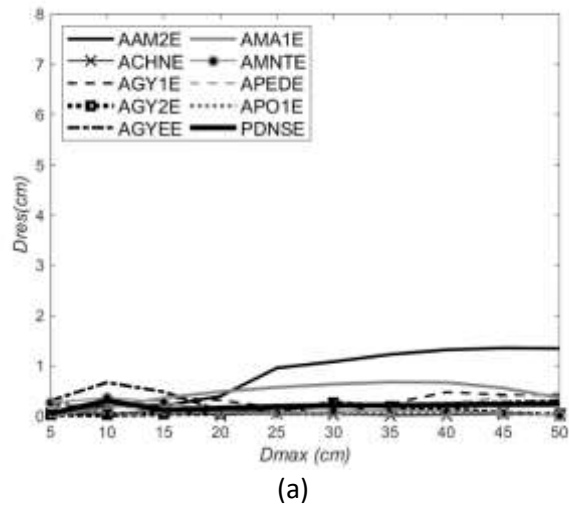
Anexo B-1: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 5\%$



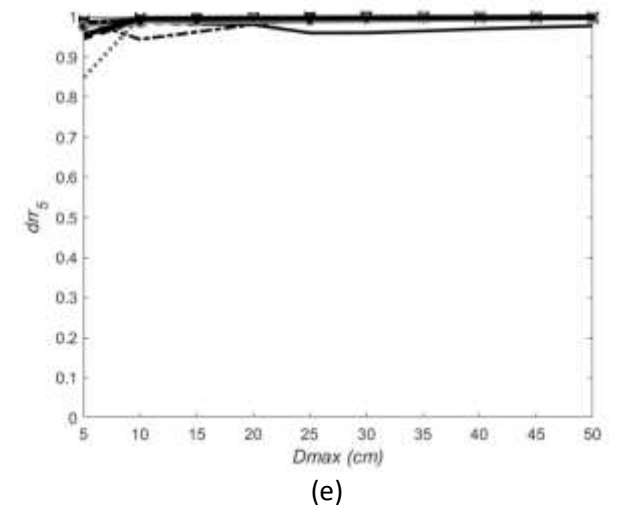
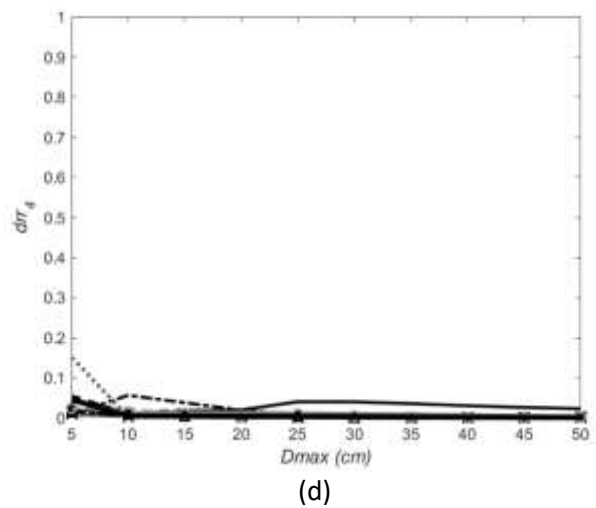
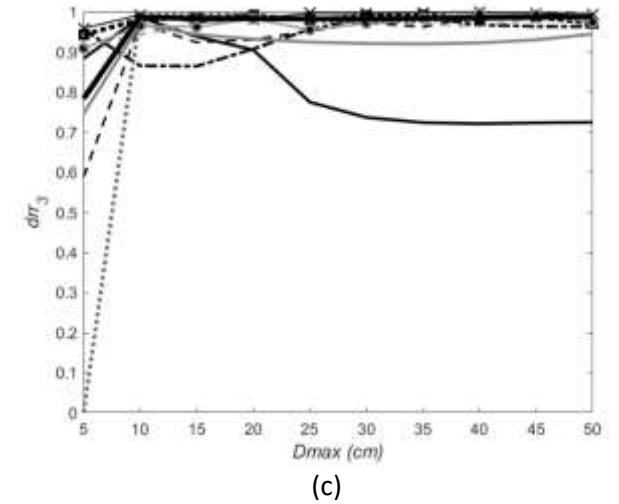
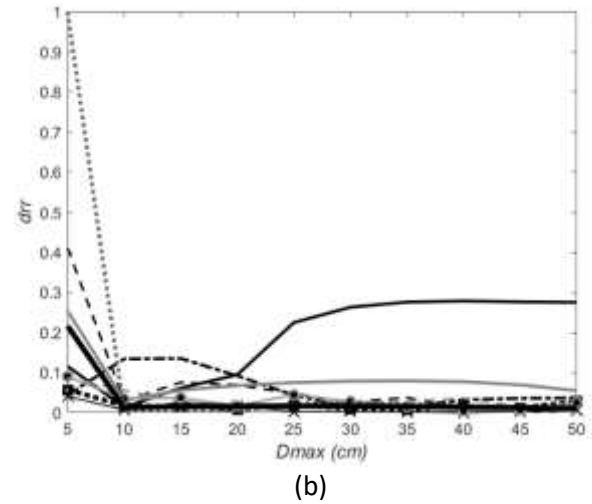
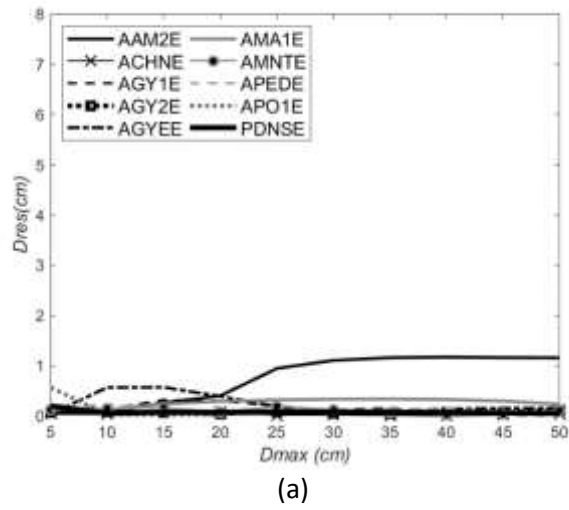
Anexo B-2: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 10\%$



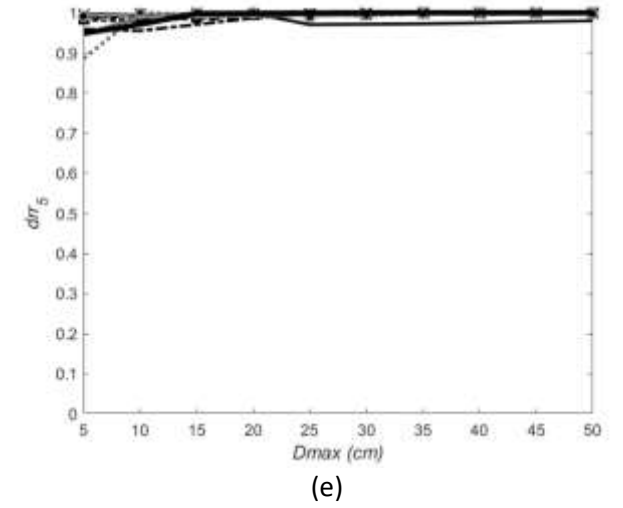
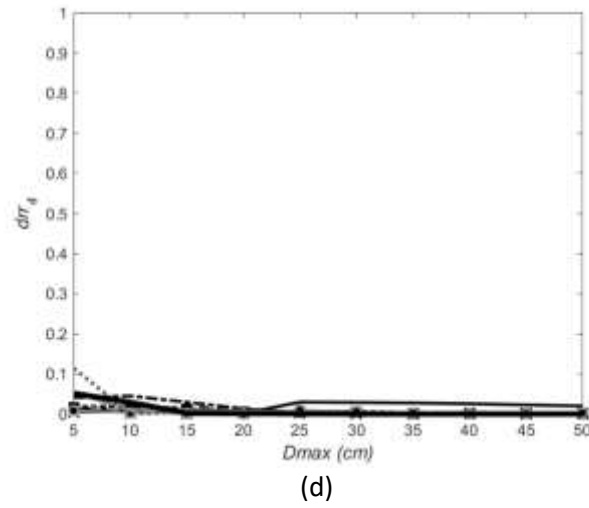
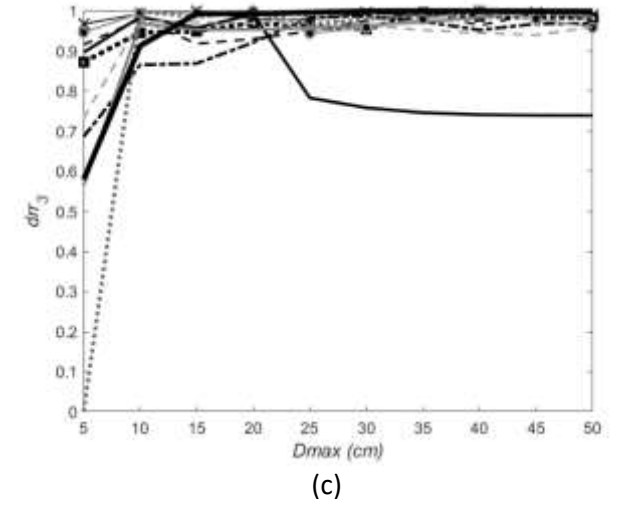
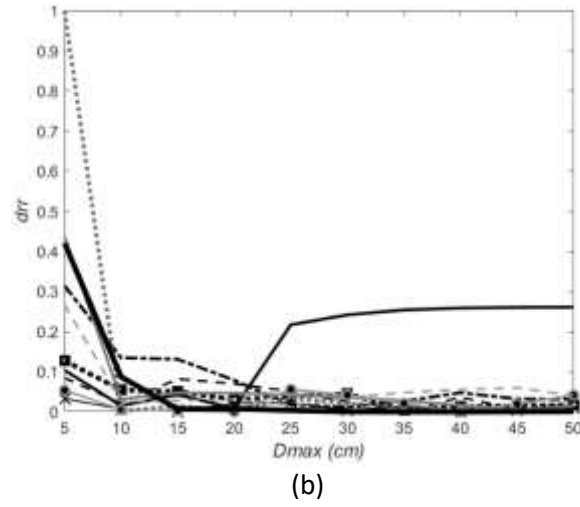
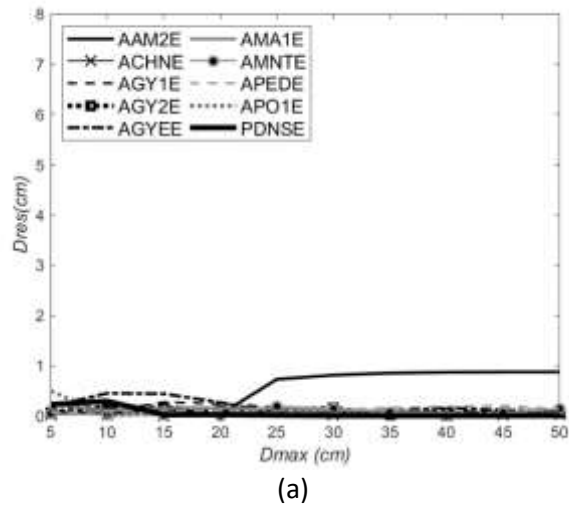
Anexo B-3: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 20\%$



Anexo B-4: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 30\%$

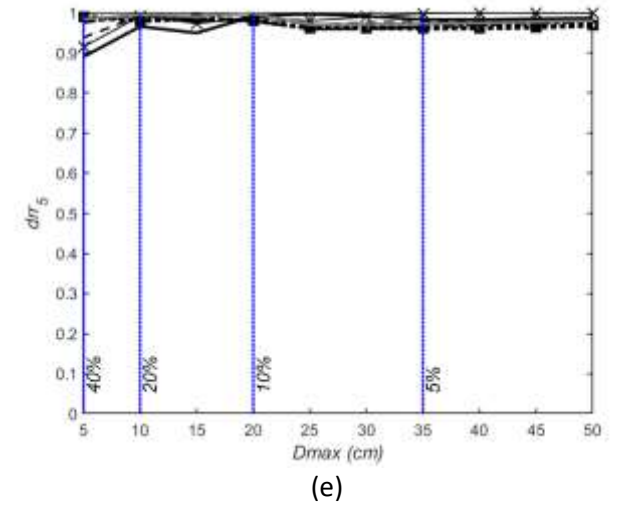
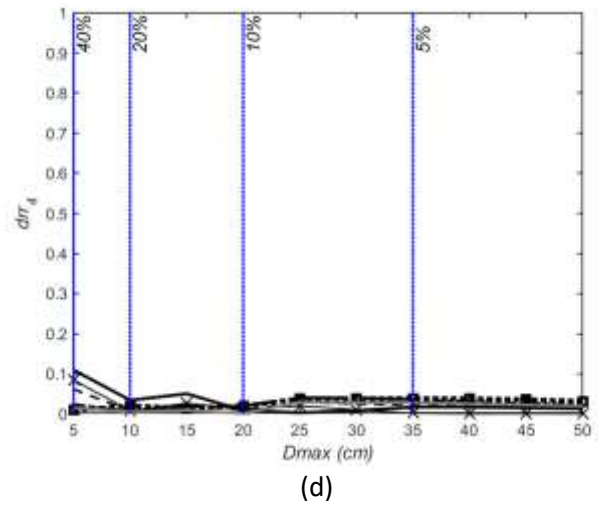
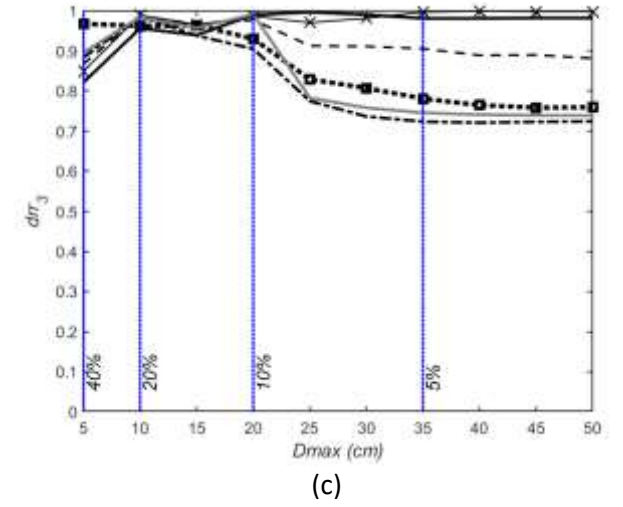
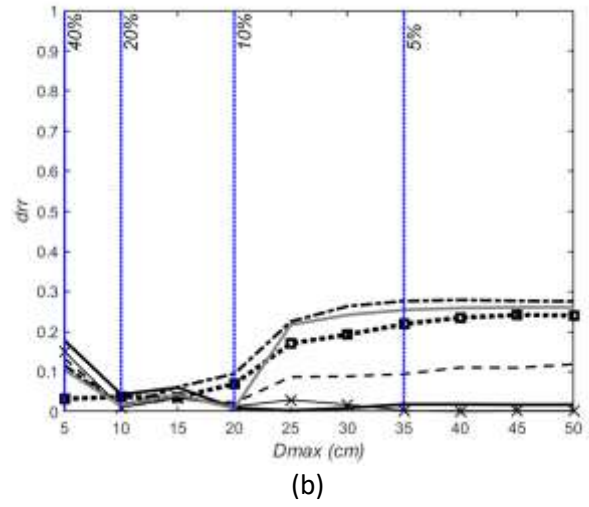
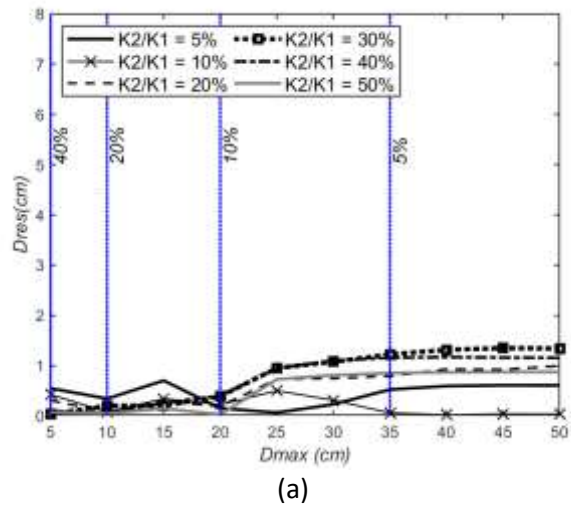


Anexo B-5: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 40\%$

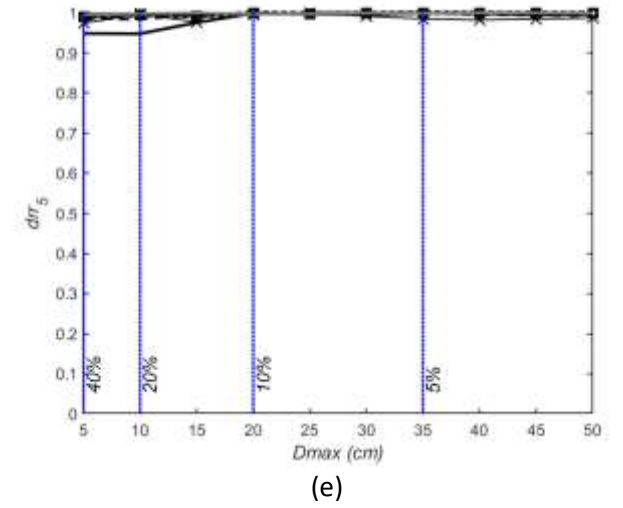
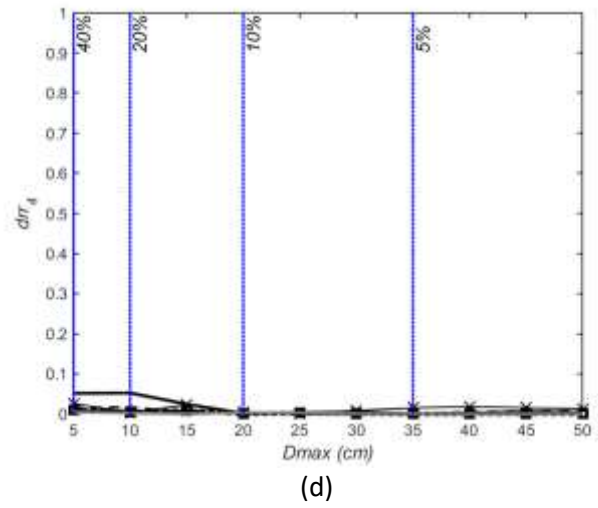
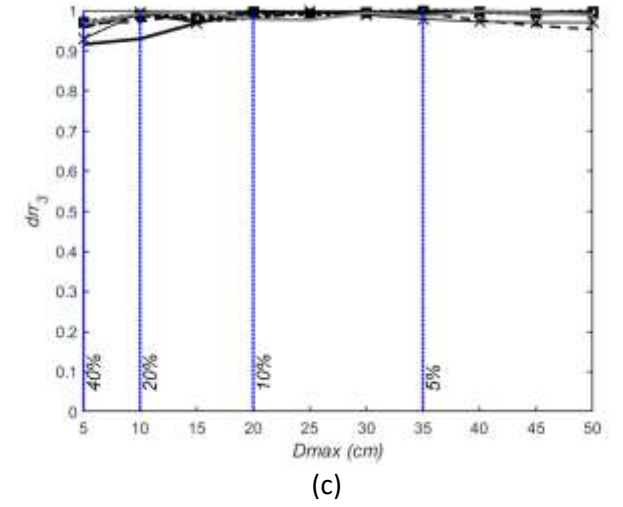
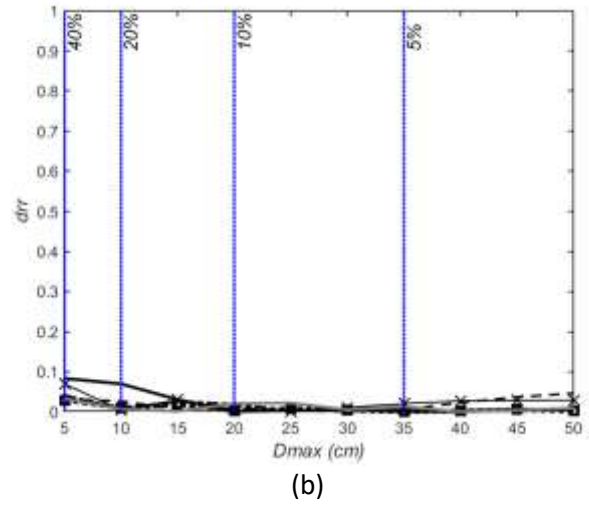
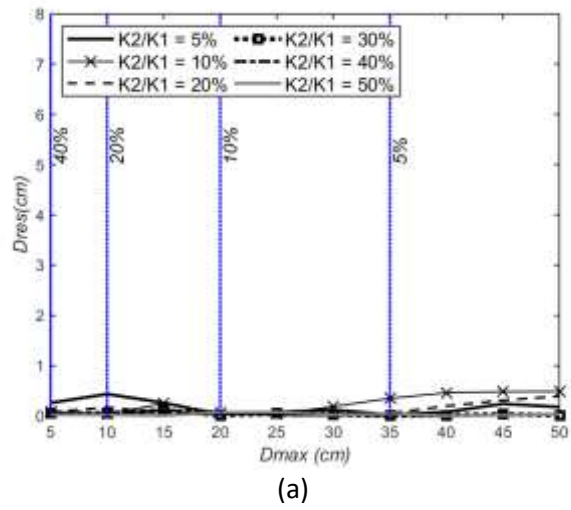


Anexo B-6: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 50\%$

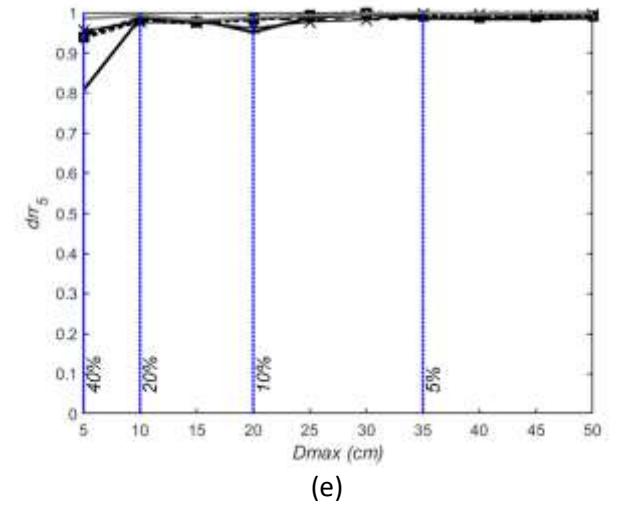
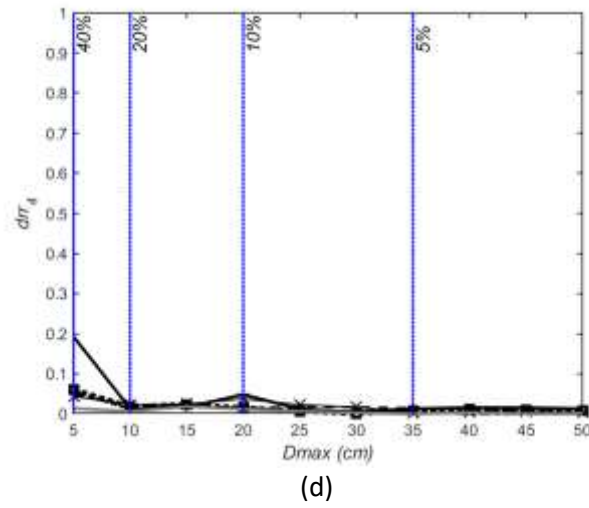
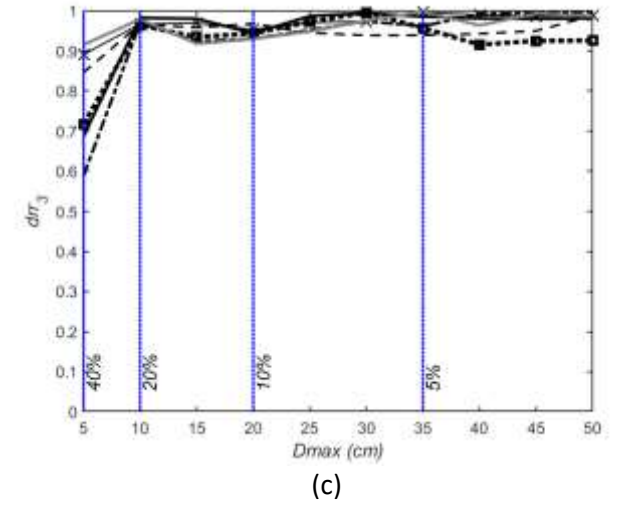
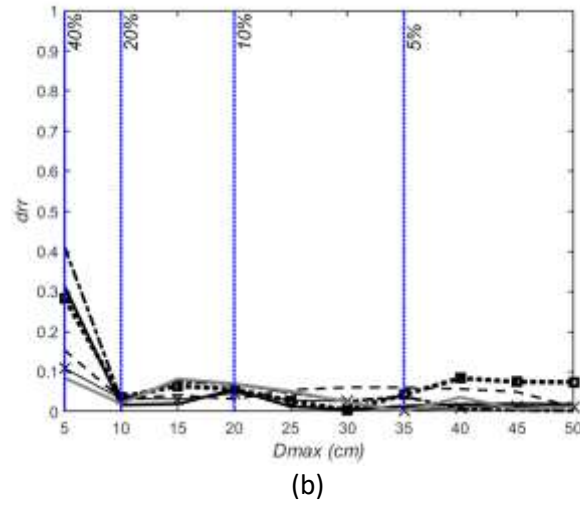
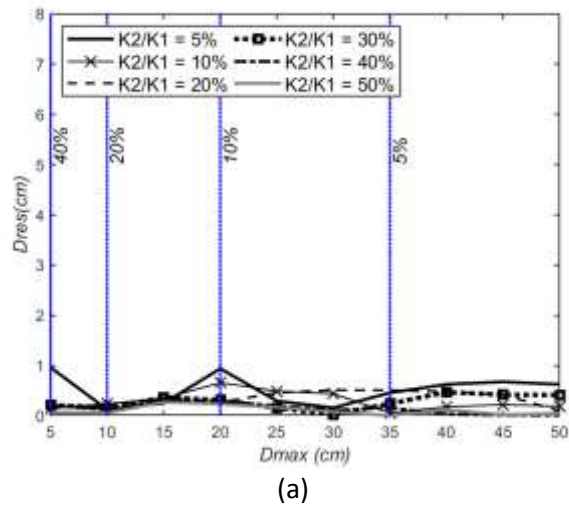
Anexo C: Resumen de resultados mostrados en el Anexo A, en términos de las definiciones para recentrado propuestas en este estudio (sección 3.3) y las propuestas por Kawashima y McRae (1997), junto con los límites especificados por la norma ASCE 7-16 (revisar sección 2.2.1) presentados de forma gráfica a través de las líneas punteadas azules y los valores de r en porcentaje junto a estas, en función de los desplazamientos objetivos definidos en la sección 3.6, organizados respecto al set de registros de la Tabla 3-2. (a) D_{RES} , (b) d_{rr} , (c) d_{rr3} , (d) d_{rr4} , (e) d_{rr5} .



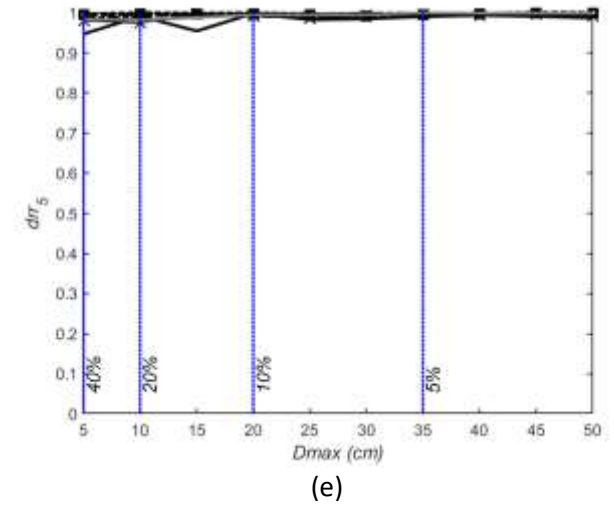
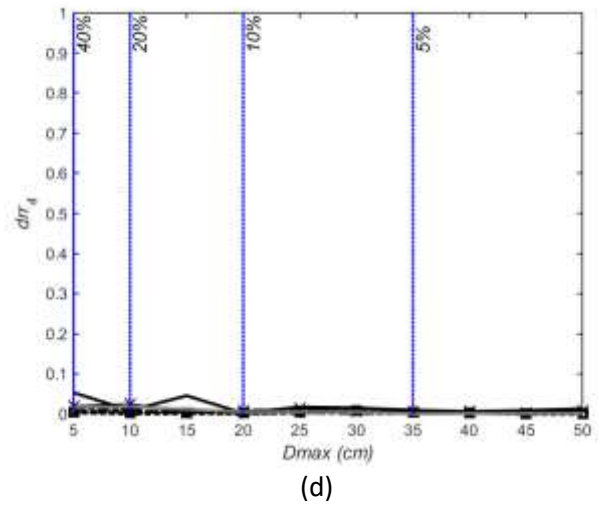
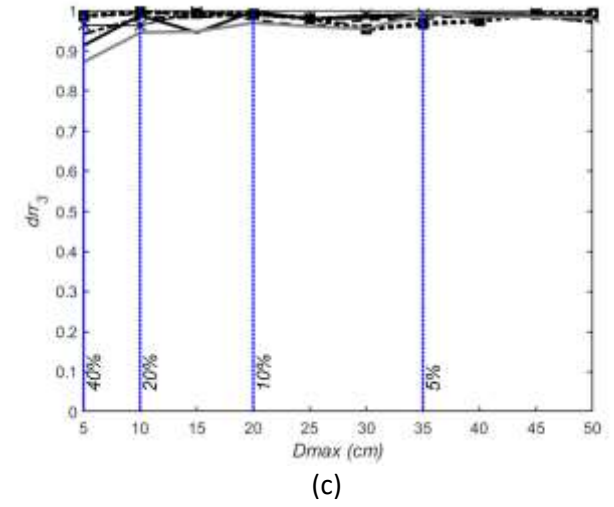
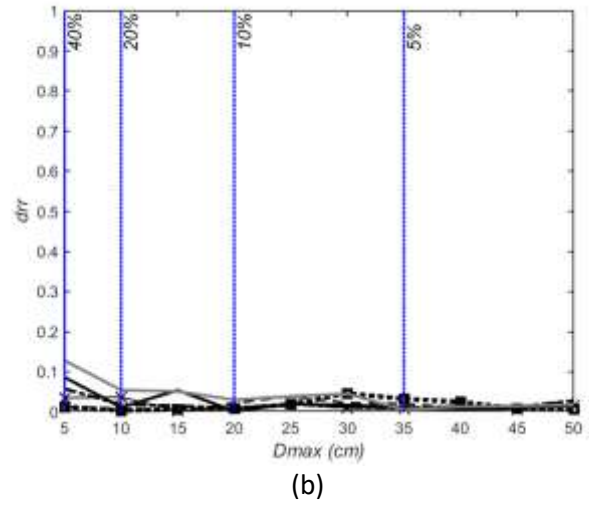
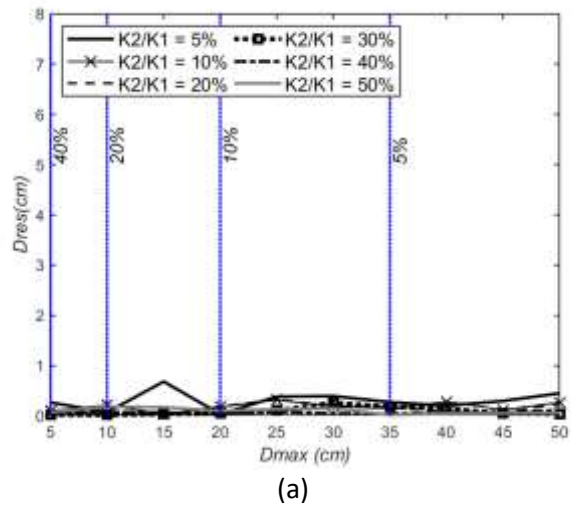
Anexo C-1: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para varios SUGL sometidos al registro AMA2E



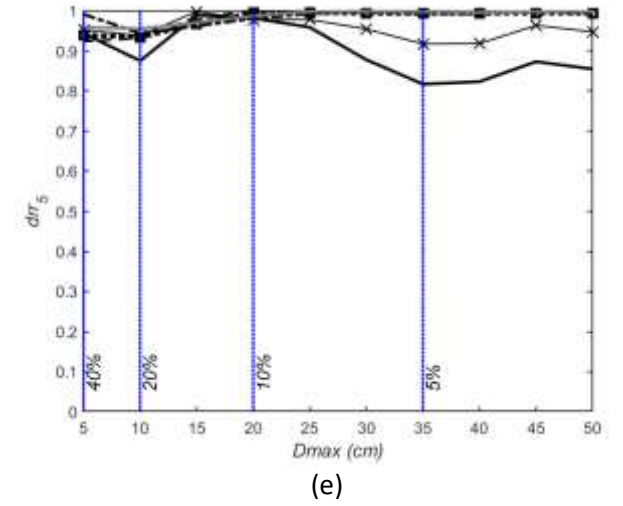
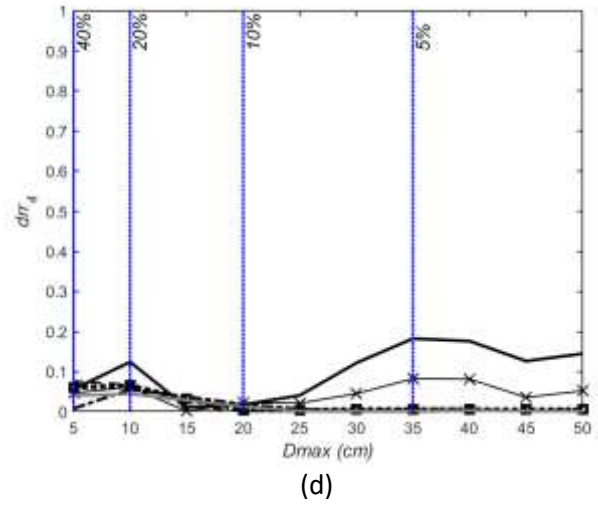
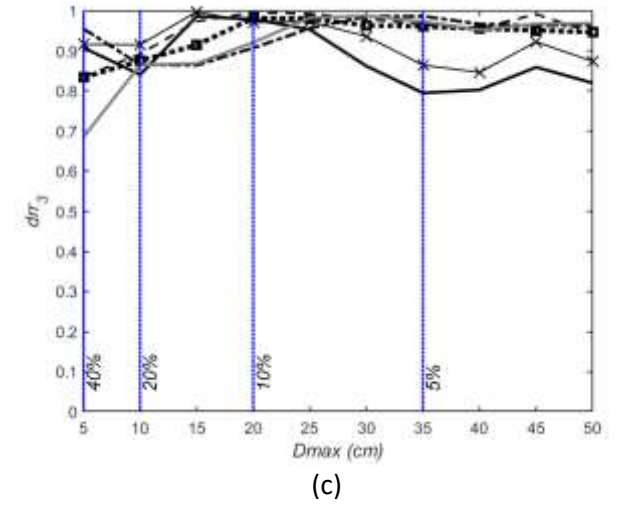
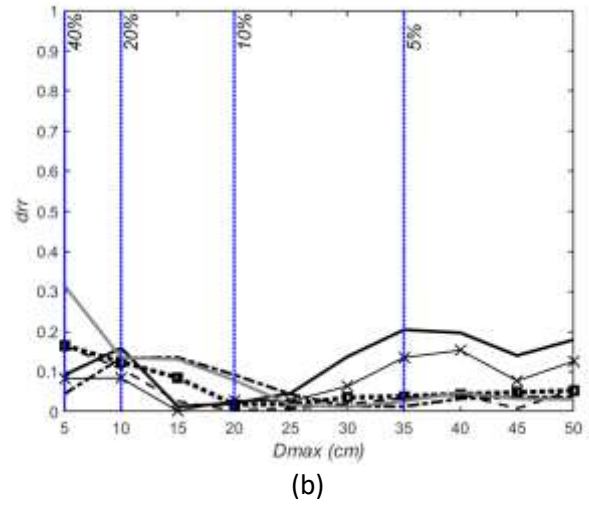
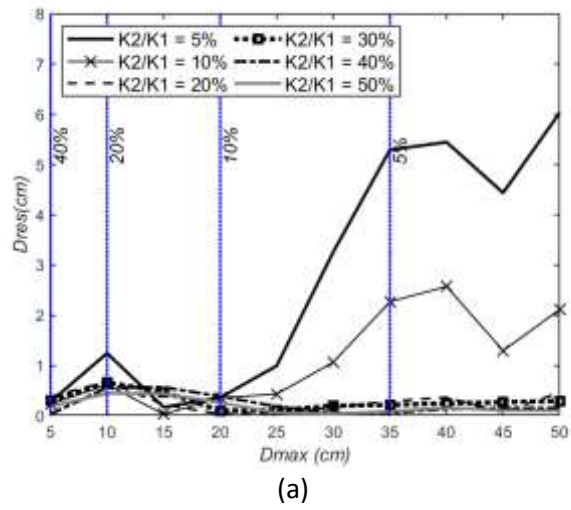
Anexo C-2: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para varios SUGL sometidos al registro ACHNE



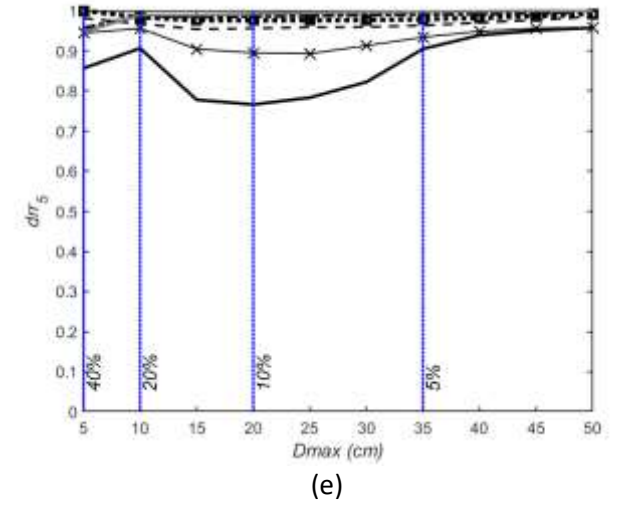
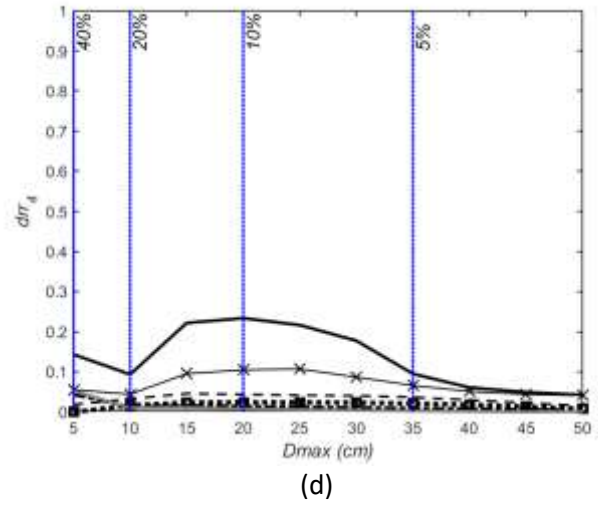
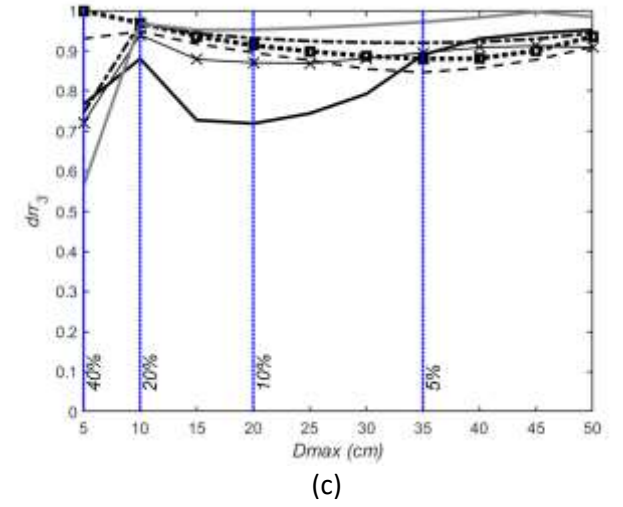
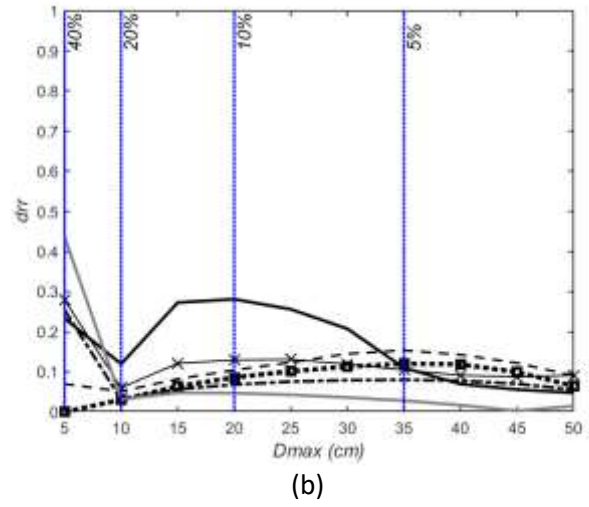
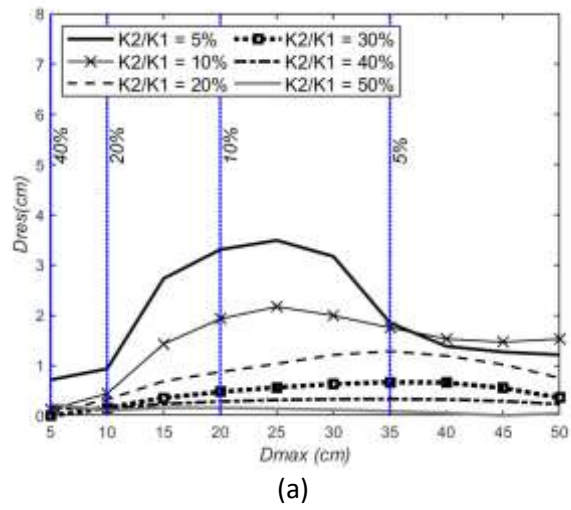
Anexo C-3: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para varios SUGL sometidos al registro AGY1E



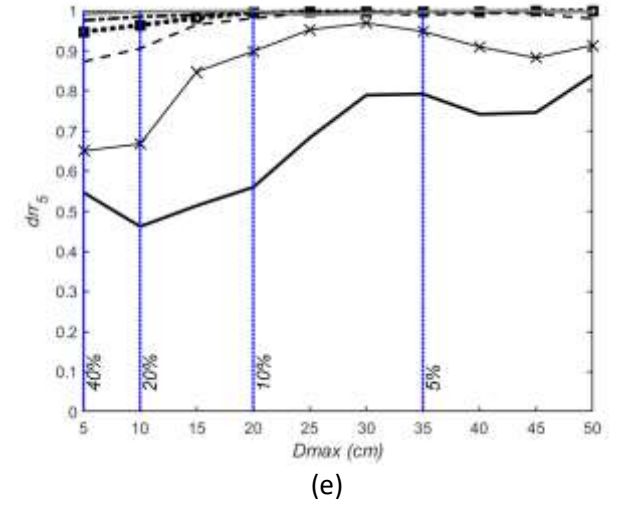
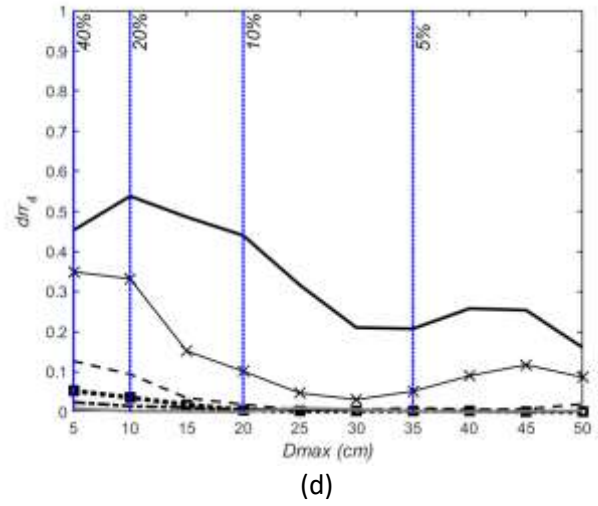
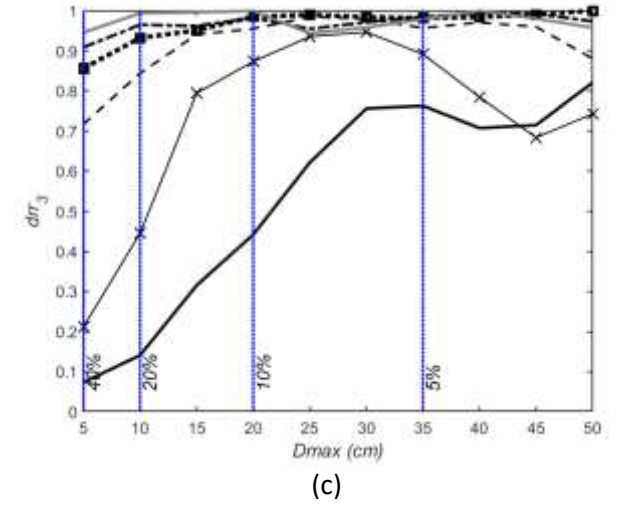
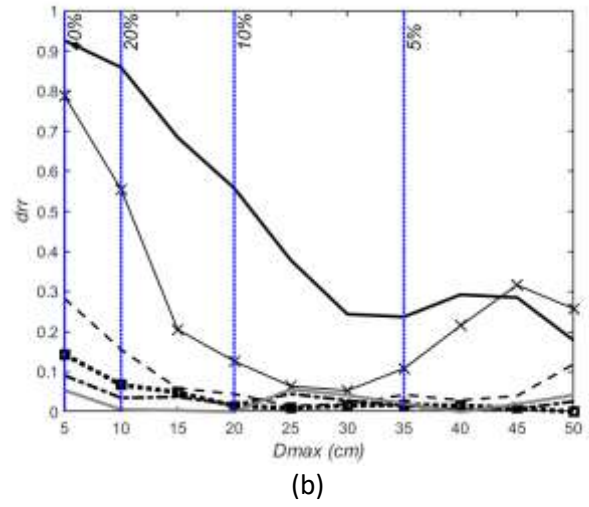
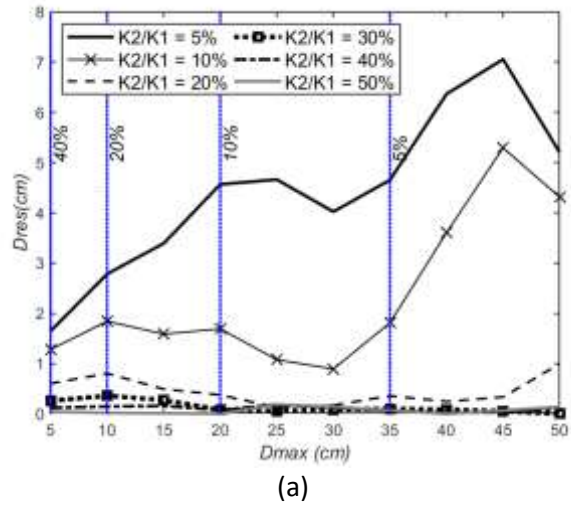
Anexo C-4: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para varios SUGL sometidos al registro AGY2E



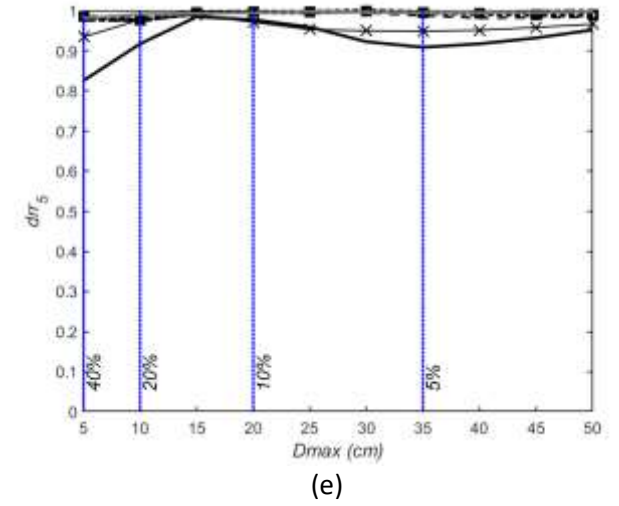
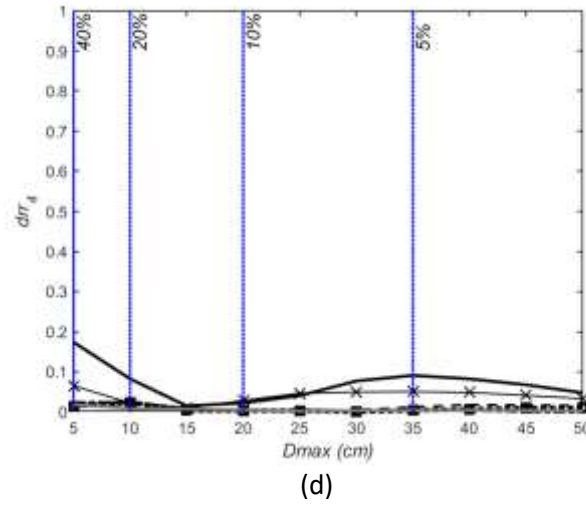
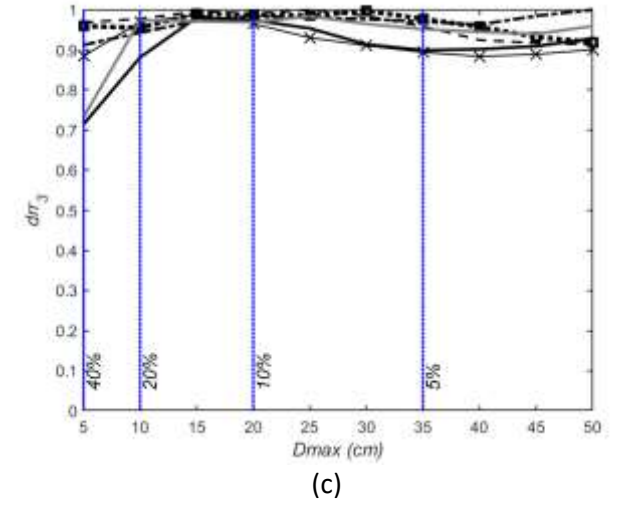
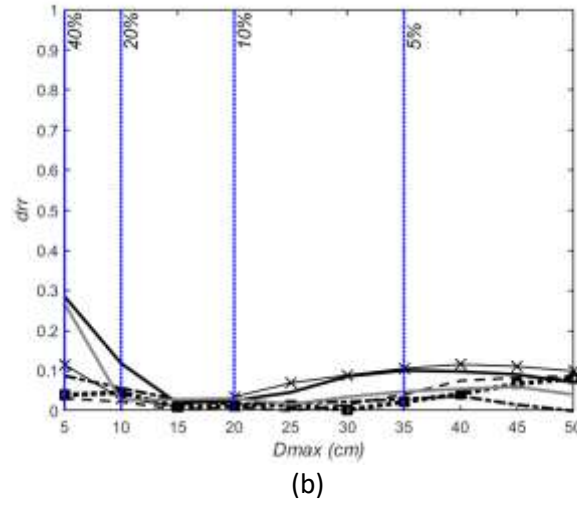
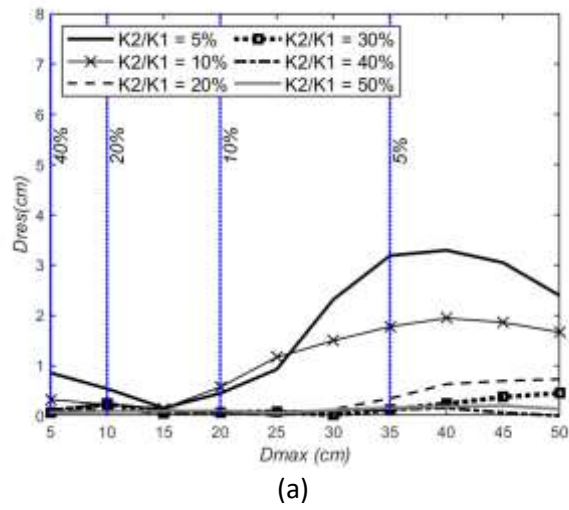
Anexo C-5: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para varios SUGL sometidos al registro AGYEE



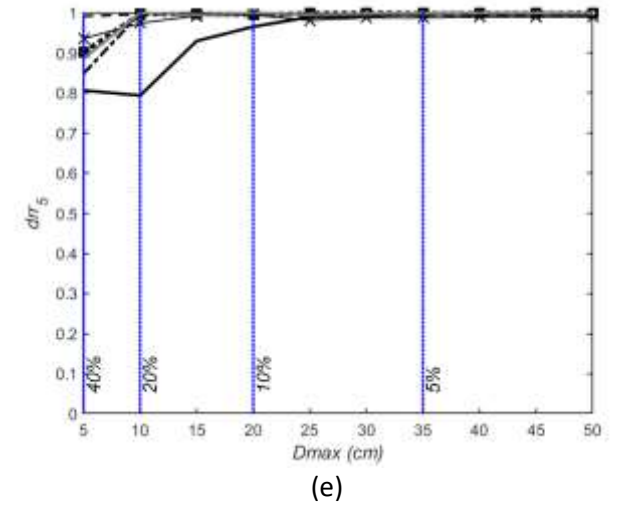
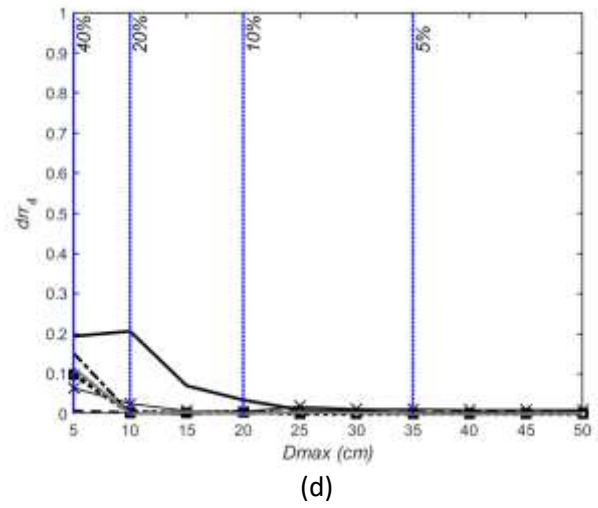
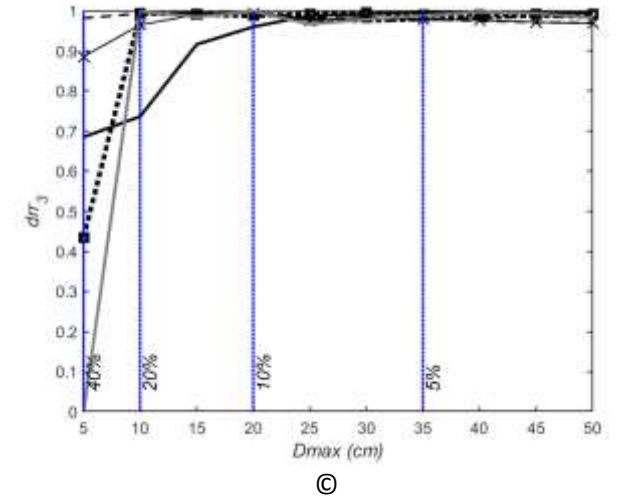
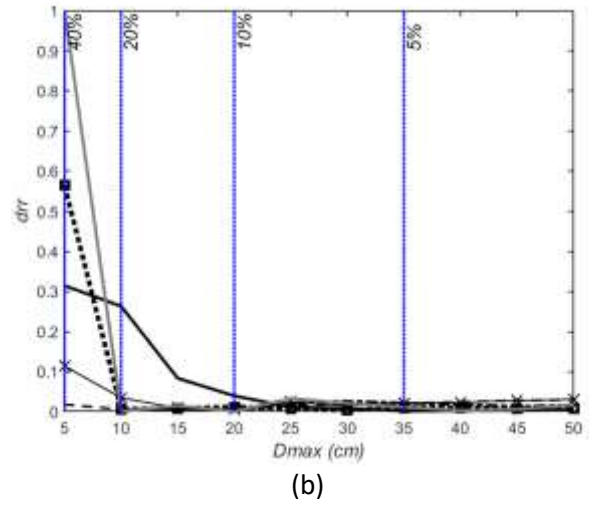
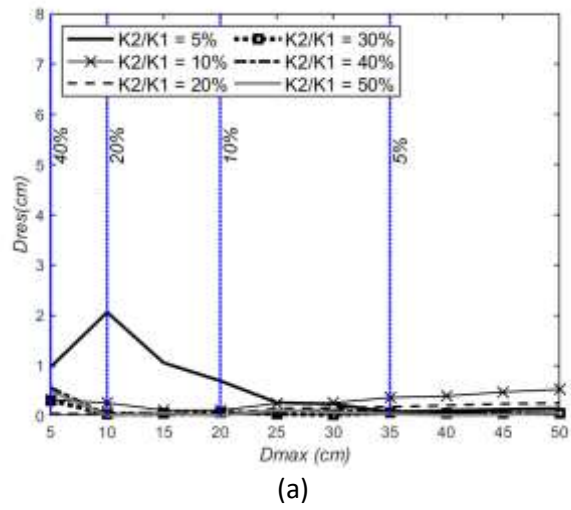
Anexo C-6: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para varios SUGL sometidos al registro AMA1E



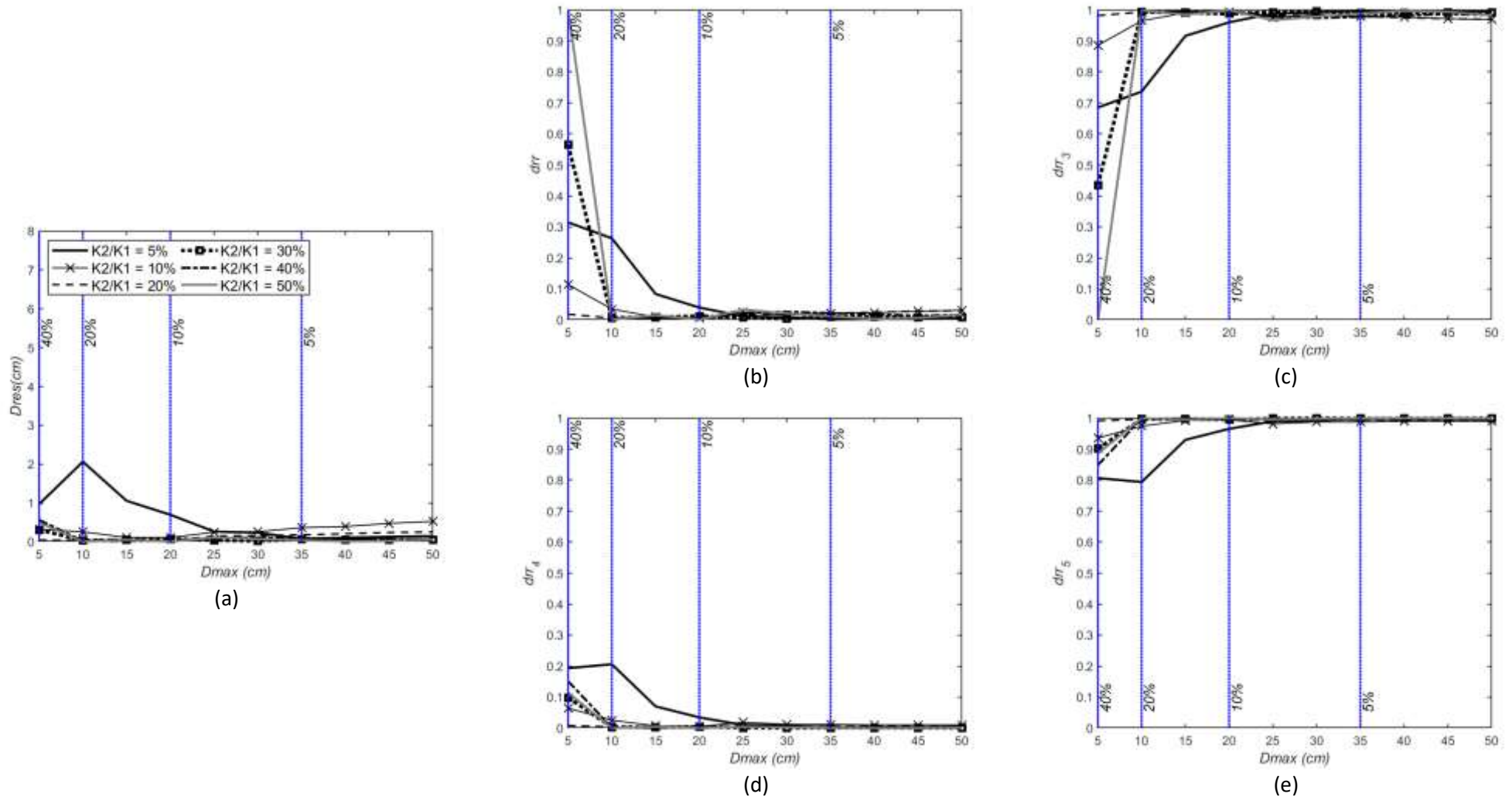
Anexo C-7: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para varios SUGL sometidos al registro AMNTE



Anexo C-8: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para varios SUGL sometidos al registro APEDE

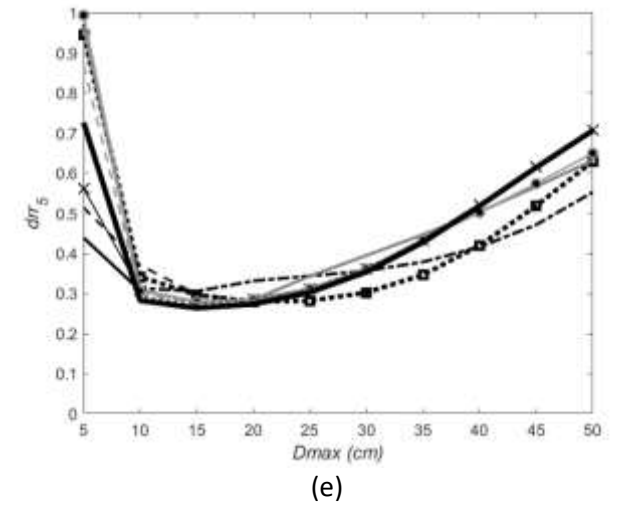
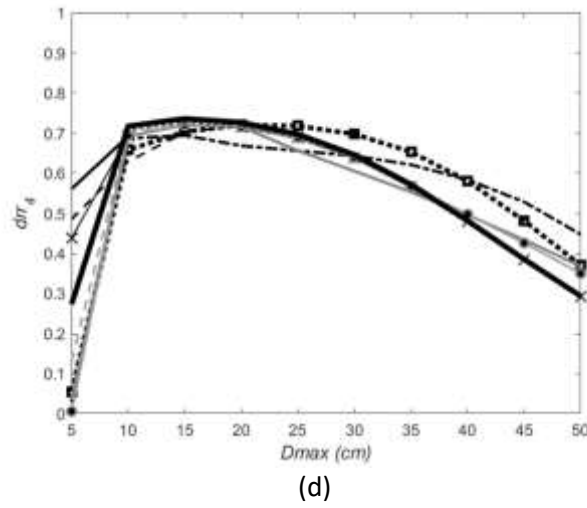
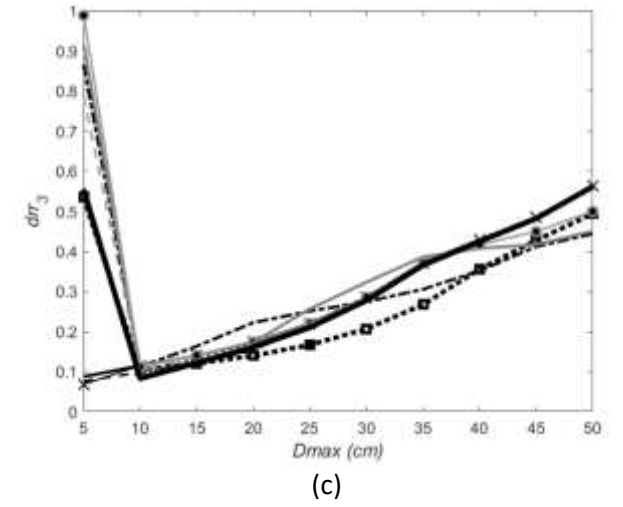
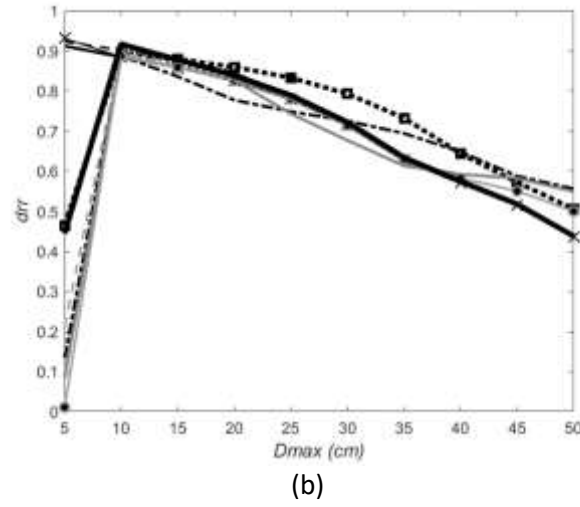
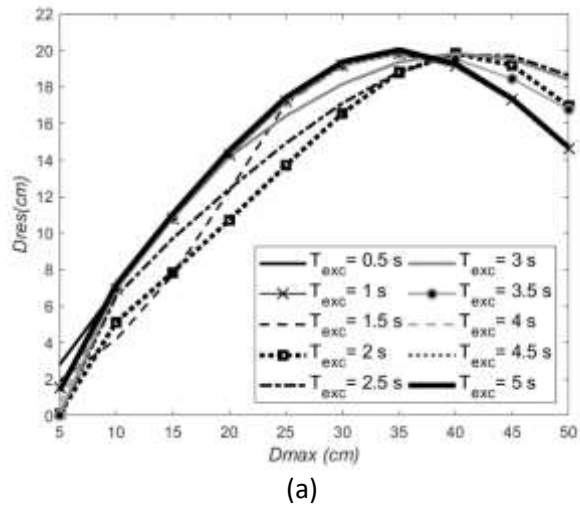


Anexo C-9: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para varios SUGL sometidos al registro APO1E

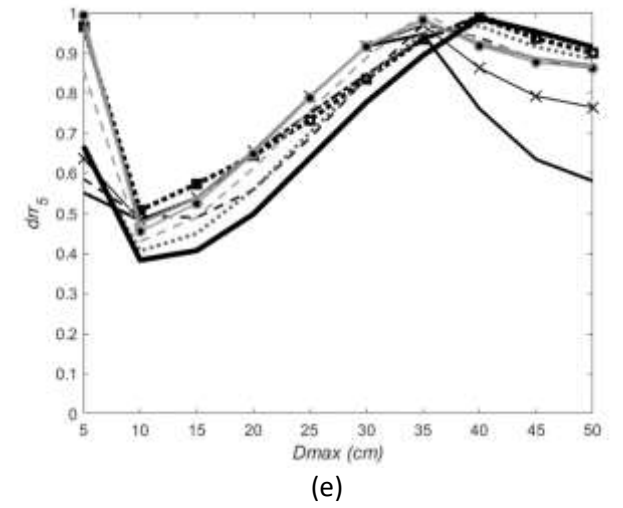
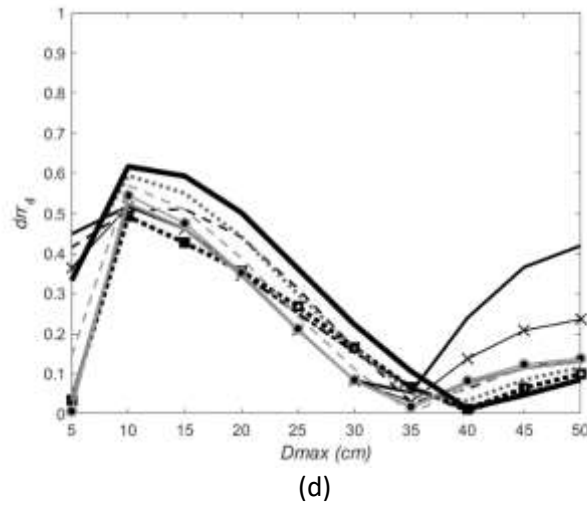
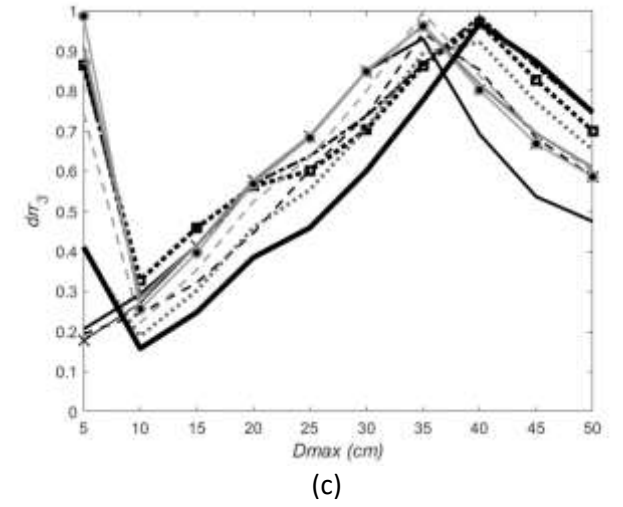
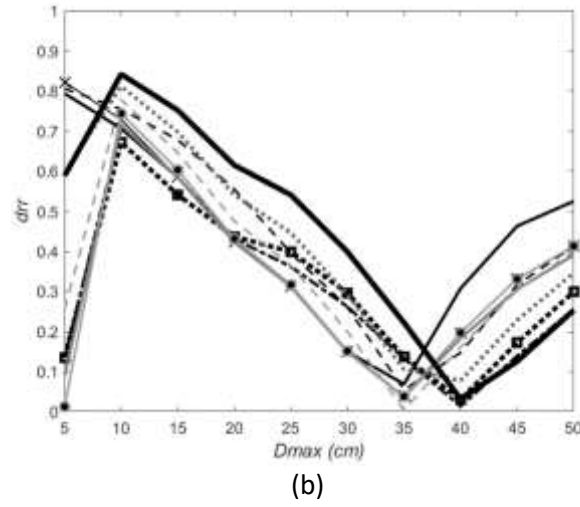
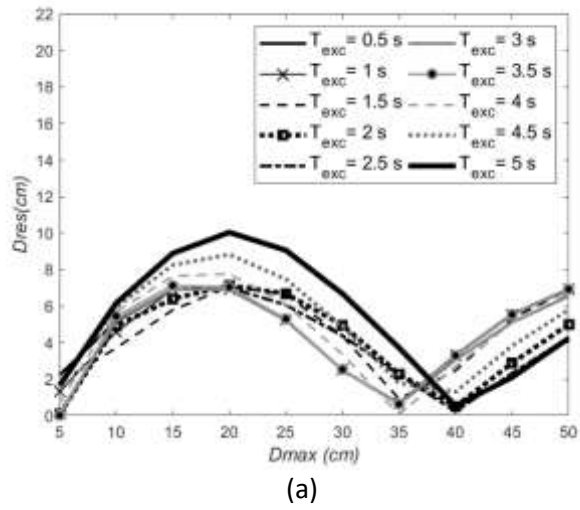


Anexo C-10: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para varios SUGL sometidos al registro PDNSE

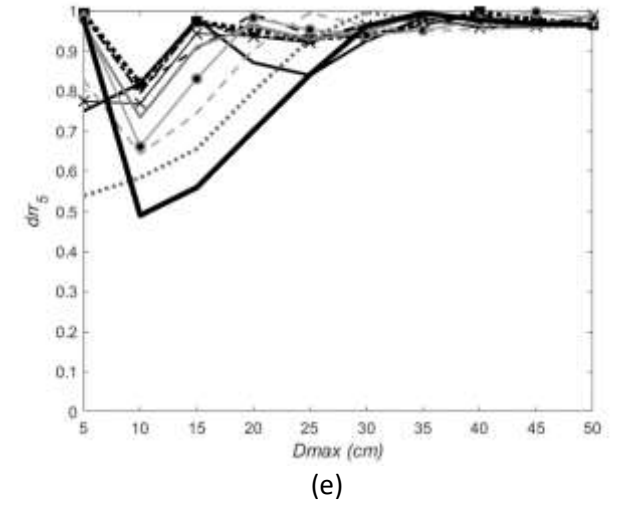
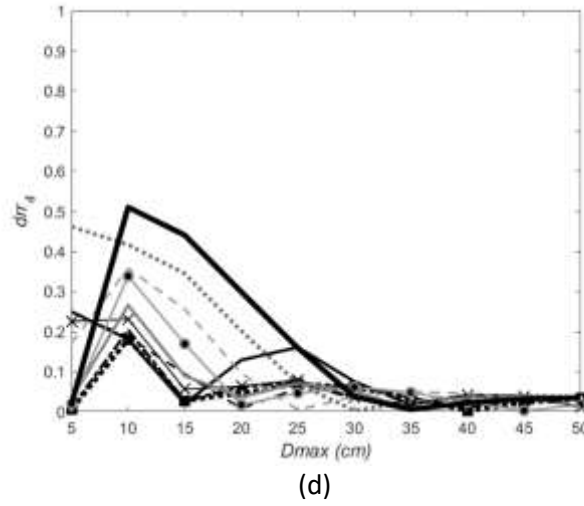
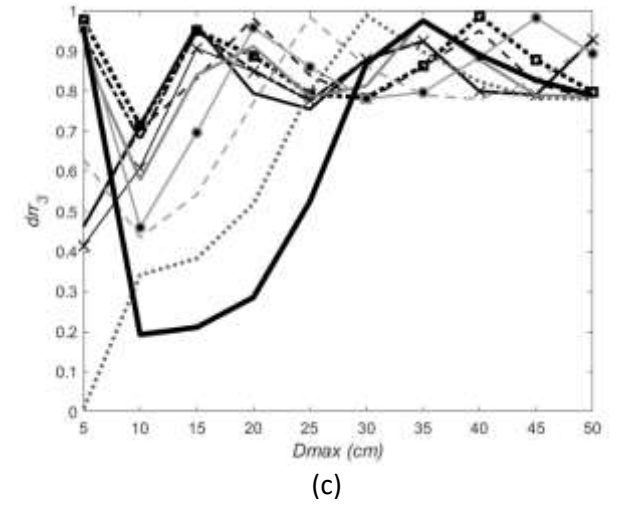
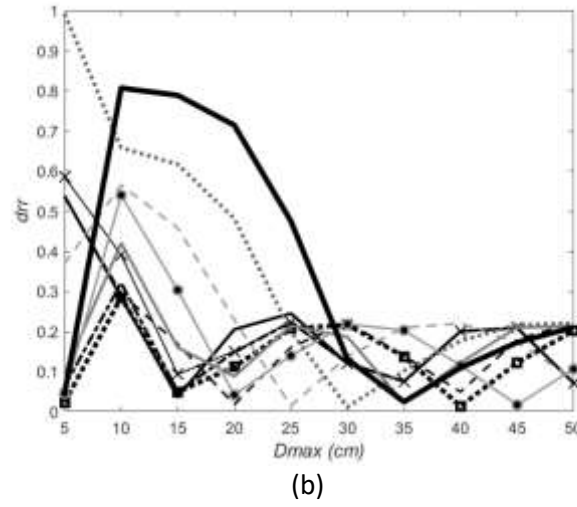
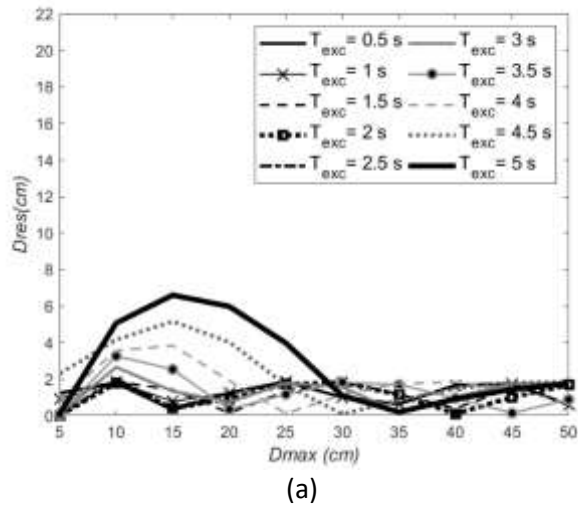
Anexo D: Resumen de resultados del análisis de los SUGL sometidos a las excitaciones armónicas definidas en la sección 3.1.2 (caracterizadas por su periodo de vibración, T_{exc}), en términos de las definiciones para recentrado propuestas en este estudio (sección 3.3) y las propuestas por Kawashima y McRae (1997), en función de los desplazamientos objetivos definidos en la sección 3.6, organizados respecto al valor de r que caracteriza cada sistema. (a) D_{RES} , (b) d_{rr} , (c) d_{rr3} , (d) d_{rr4} , (e) d_{rr5} .



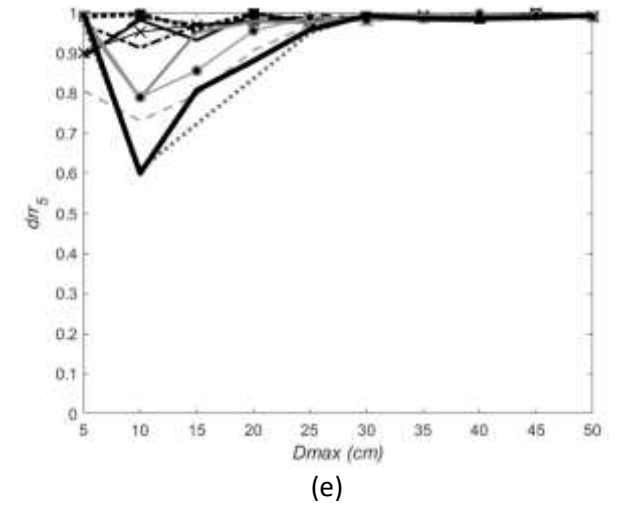
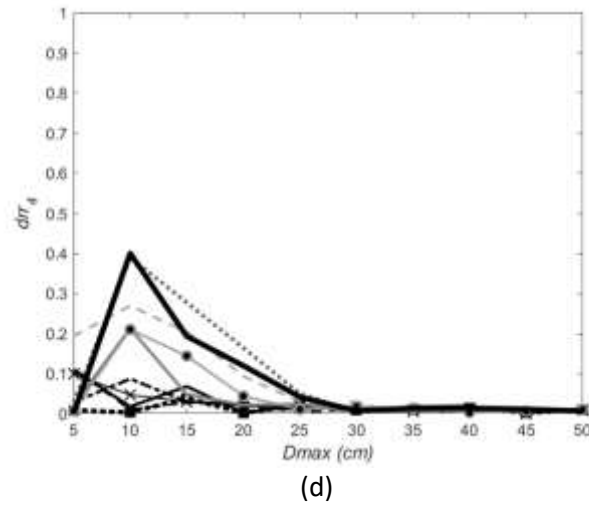
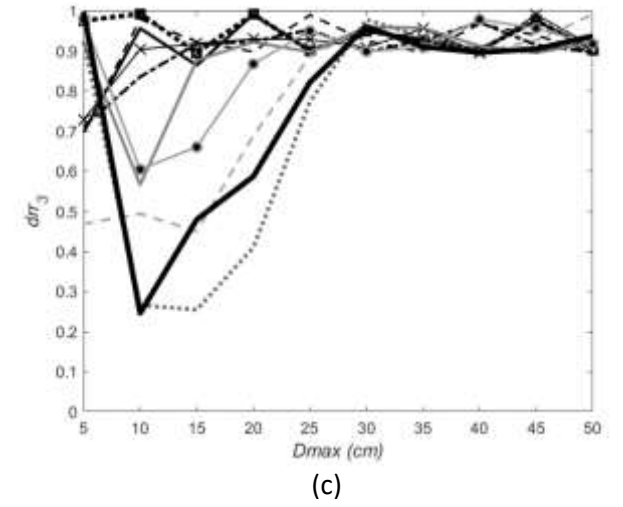
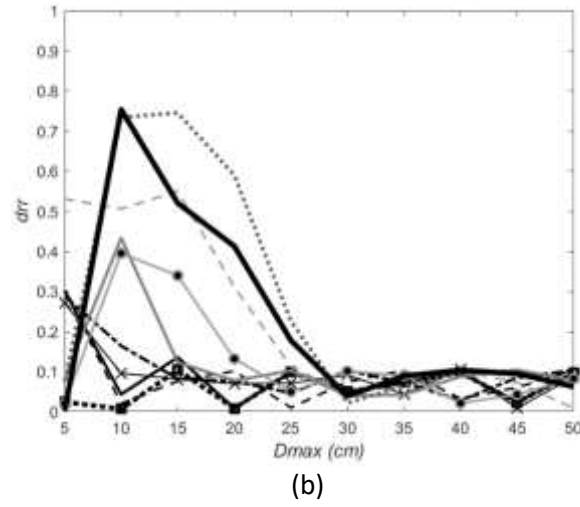
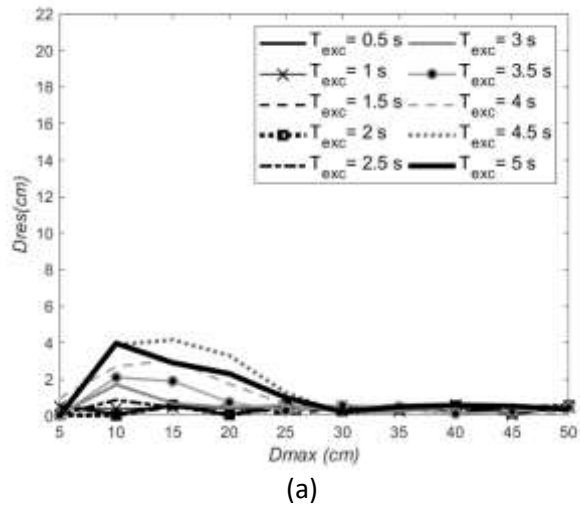
Anexo D-1: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 5\%$.



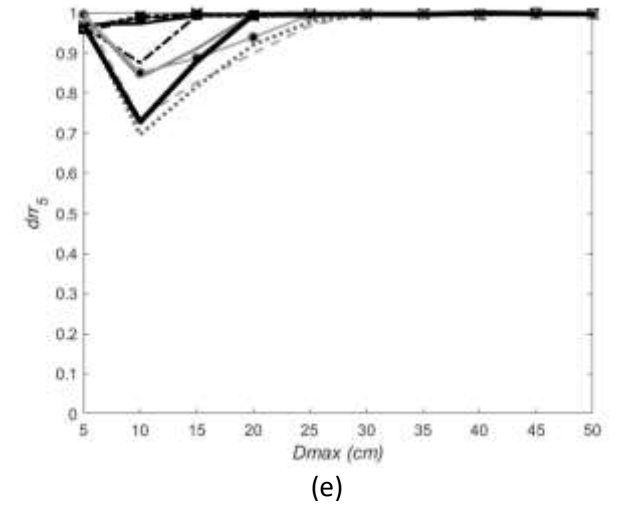
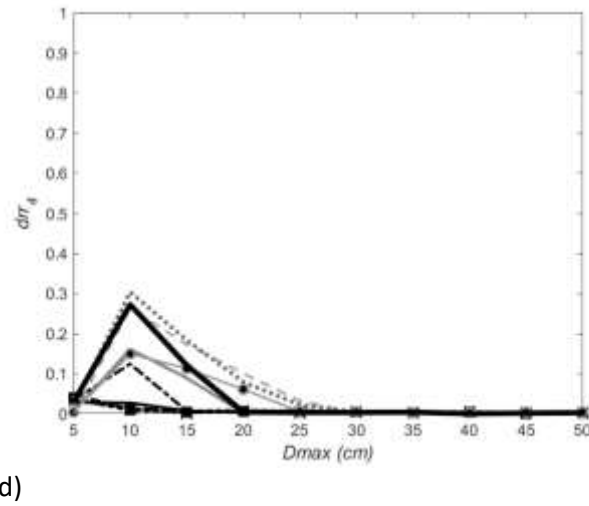
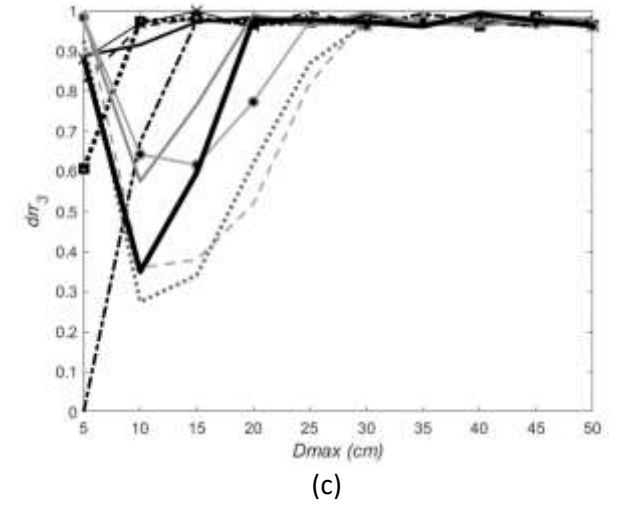
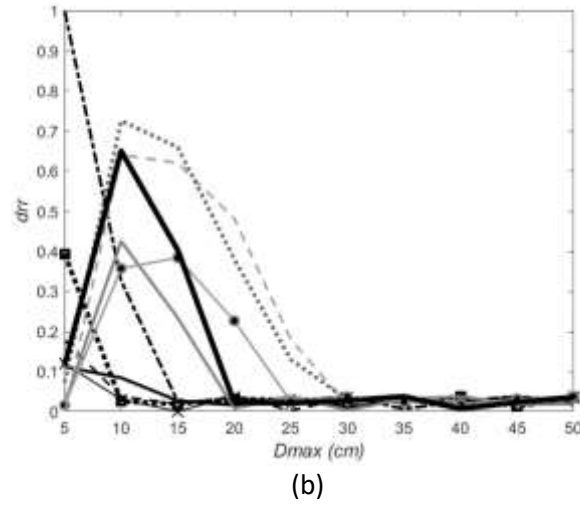
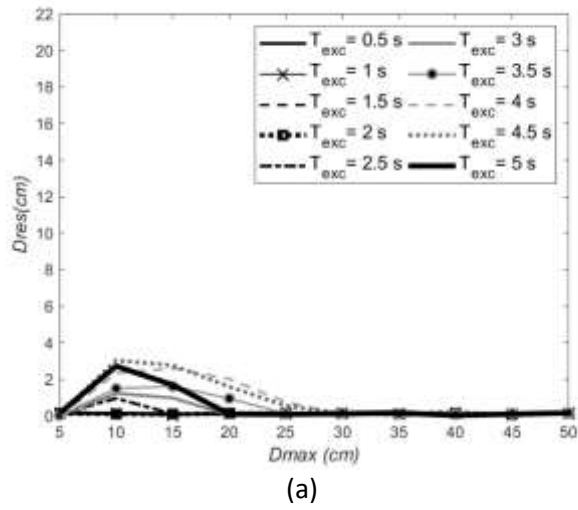
Anexo D-2: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 10\%$.



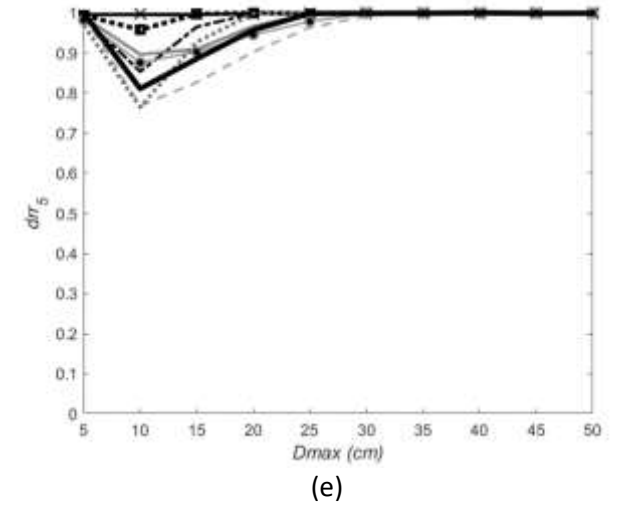
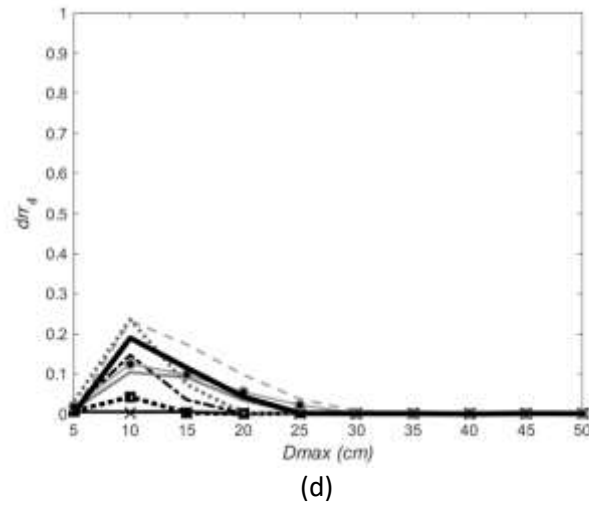
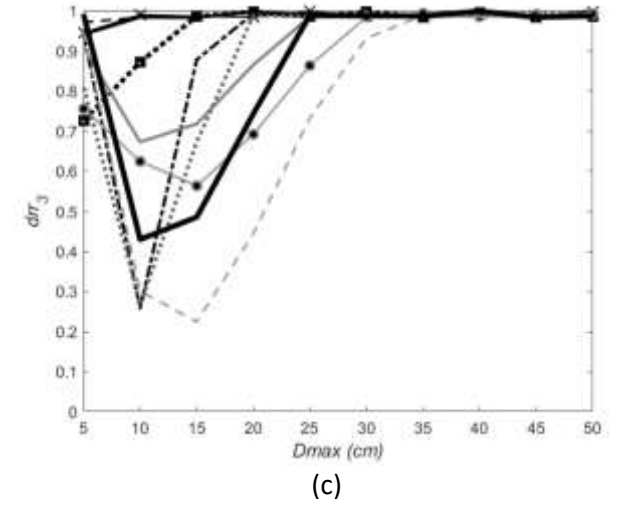
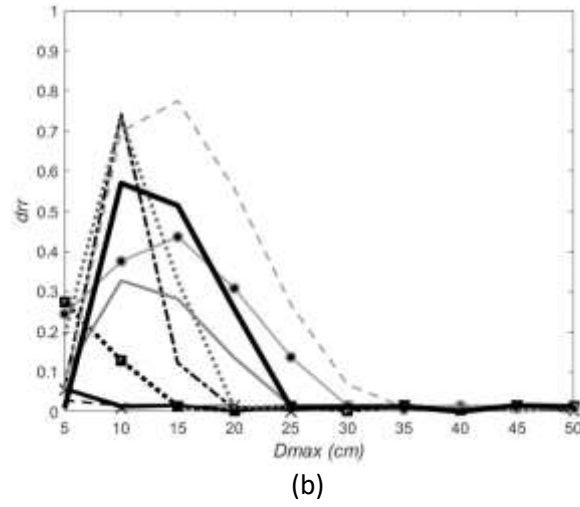
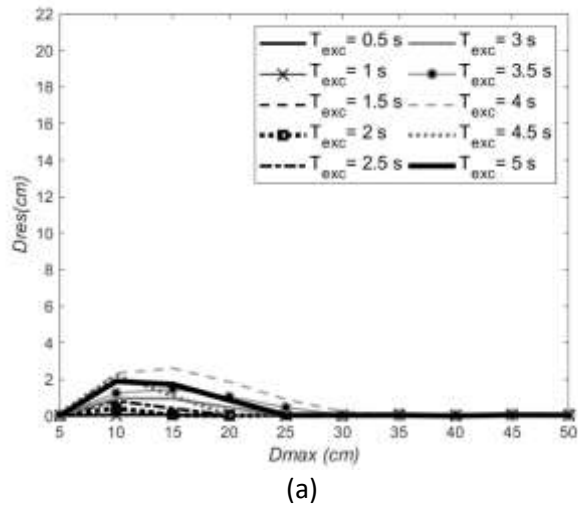
Anexo D-3: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 20\%$.



Anexo D-4: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 30\%$.

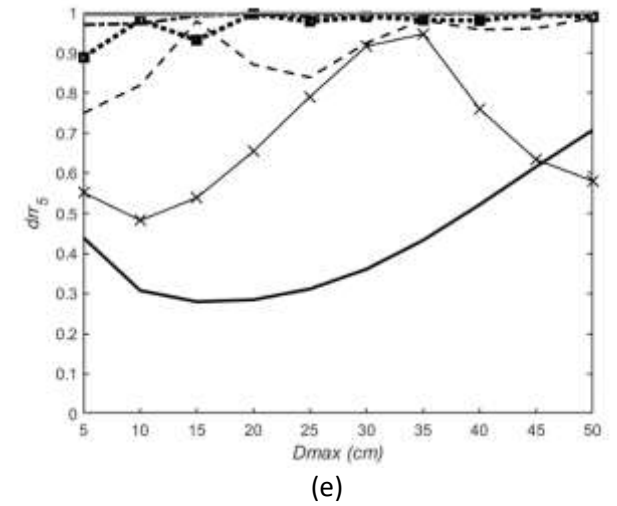
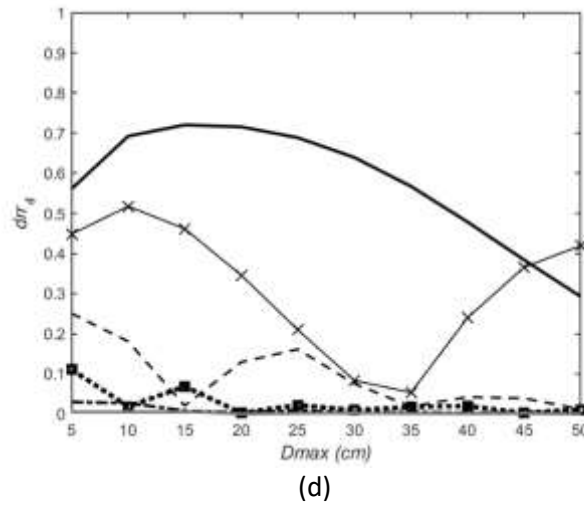
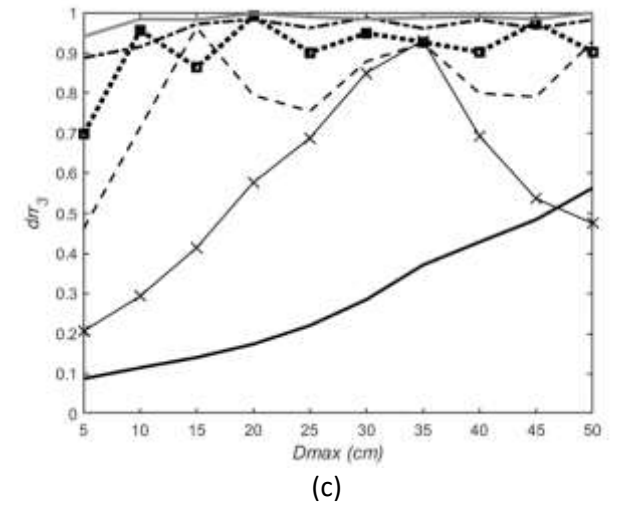
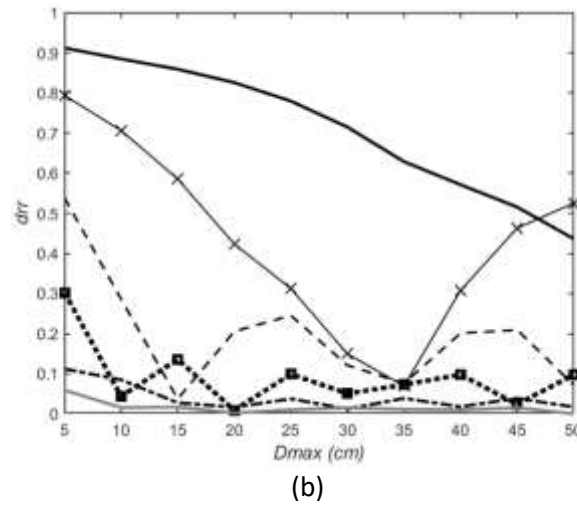
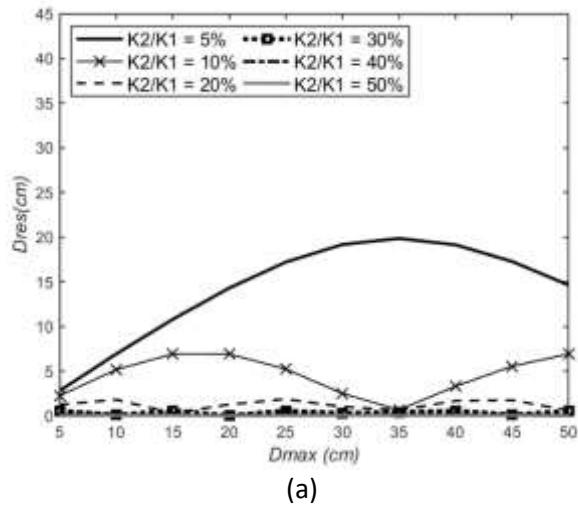


Anexo D-5: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 40\%$.

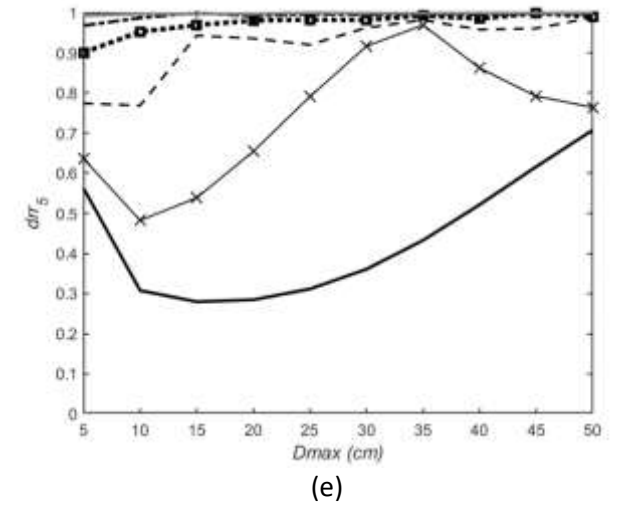
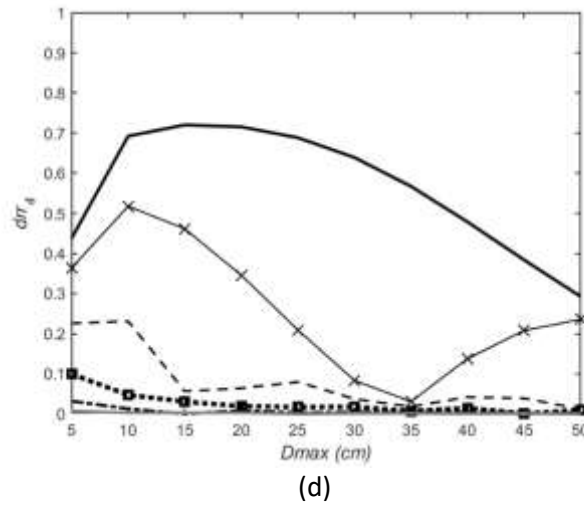
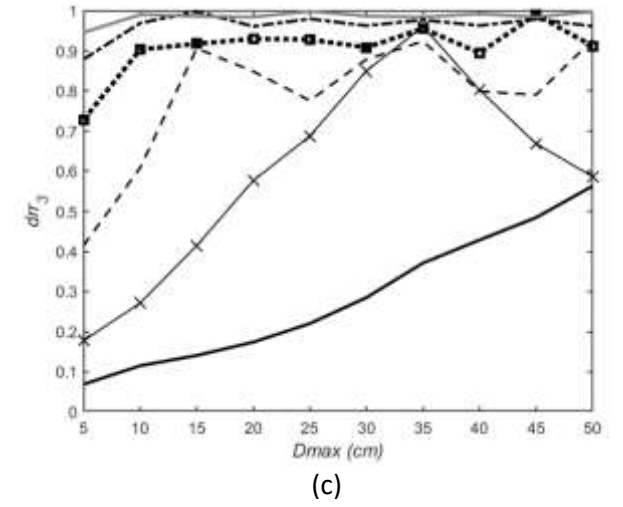
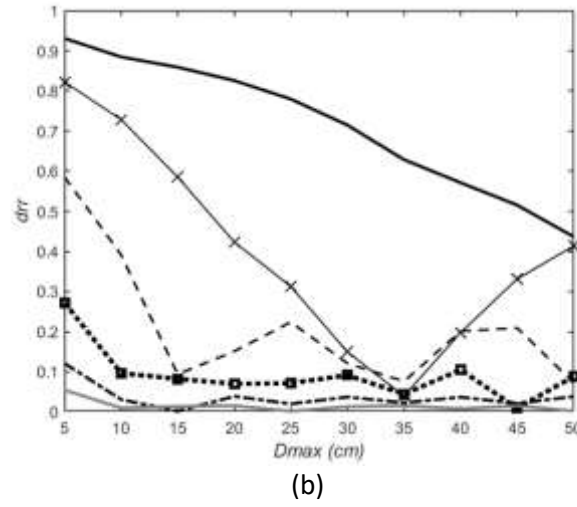
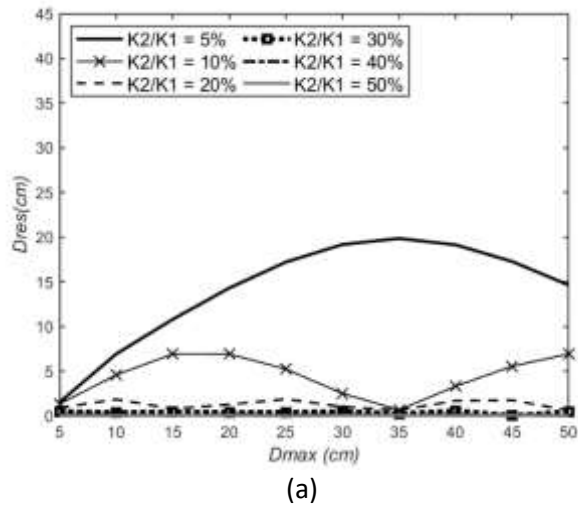


Anexo D-6: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 50\%$.

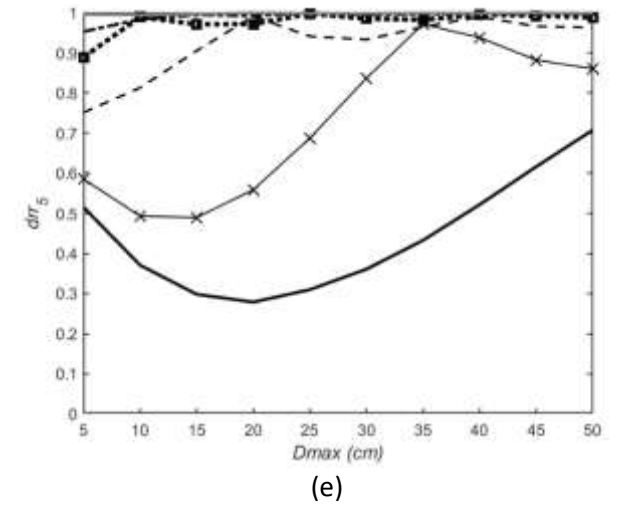
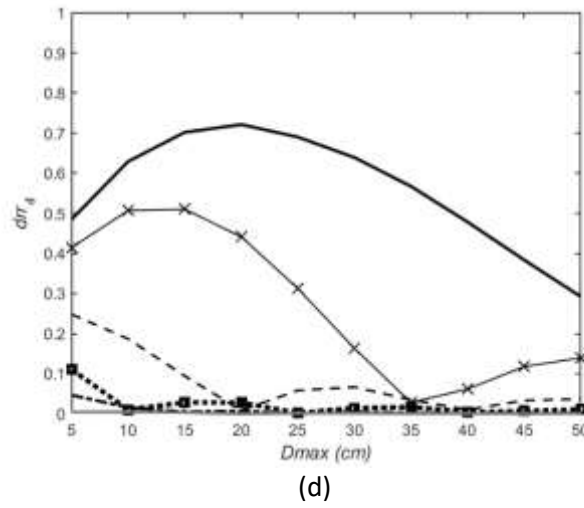
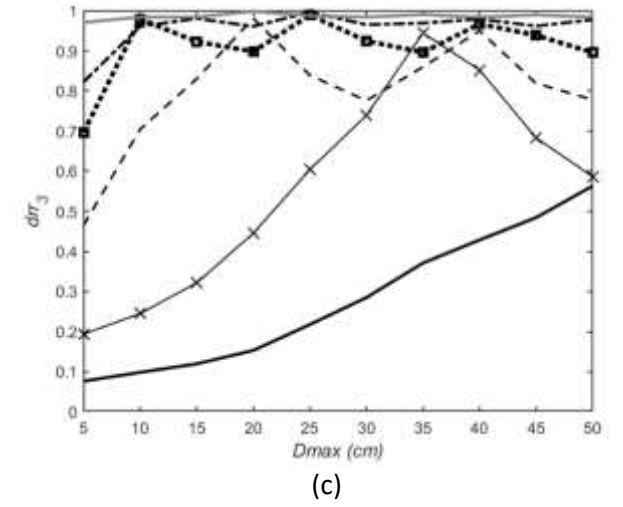
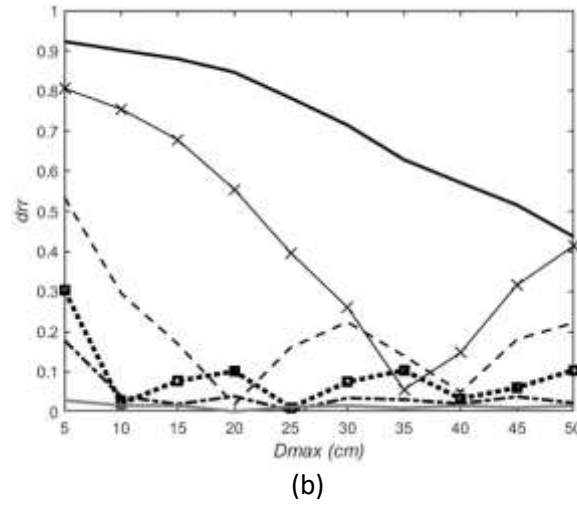
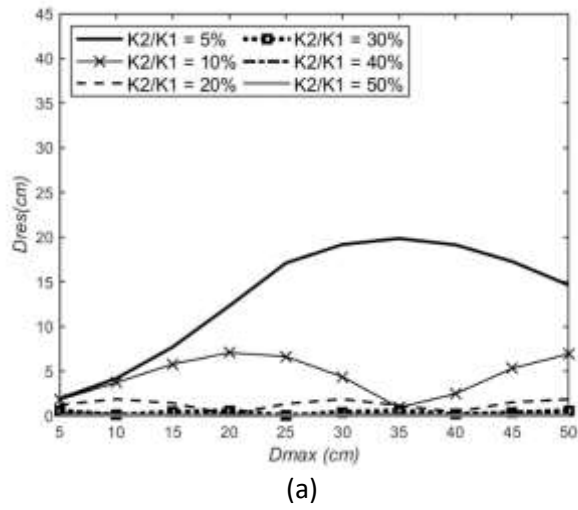
Anexo E: Resumen de resultados del análisis de los SUGL sometidos a las excitaciones armónicas definidas en la sección 3.1.2 (caracterizadas por su periodo de vibración, T_{exc}), en términos de las definiciones para recentrado propuestas en este estudio (sección 3.3) y las propuestas por Kawashima y McRae (1997), en función de los desplazamientos objetivos definidos en la sección 3.6, organizados respecto al periodo de la excitación armónica (T_{exc}). (a) D_{RES} , (b) d_{rr} , (c) d_{rr3} , (d) d_{rr4} , (e) d_{rr5} .



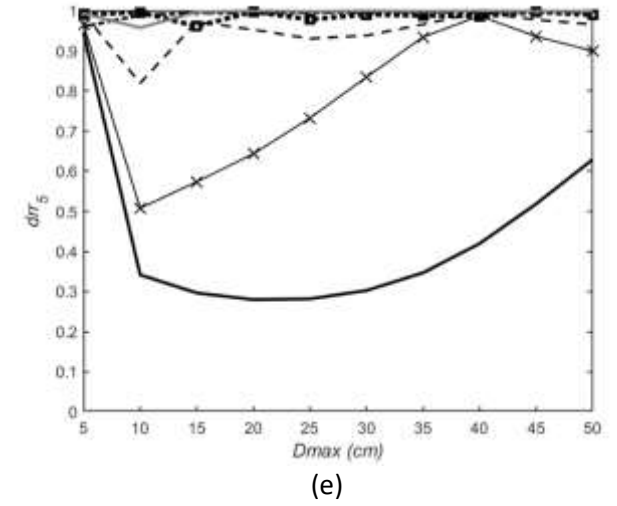
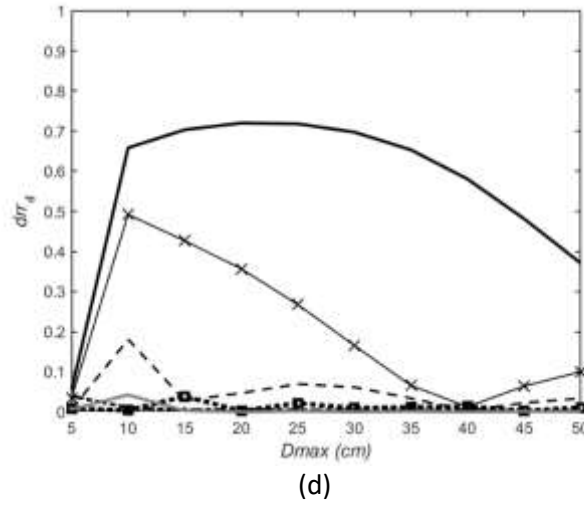
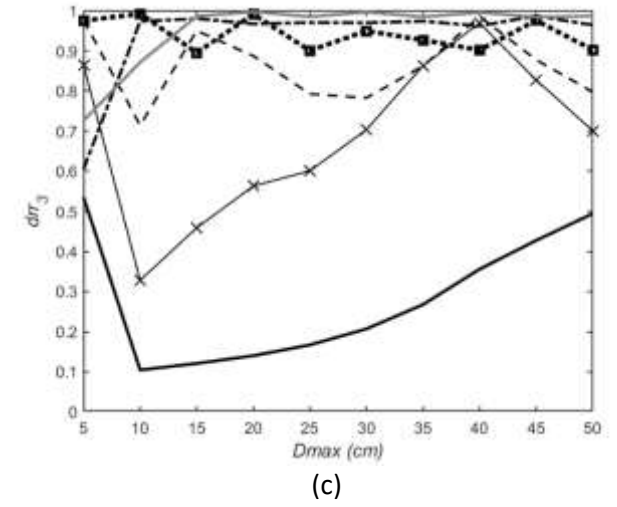
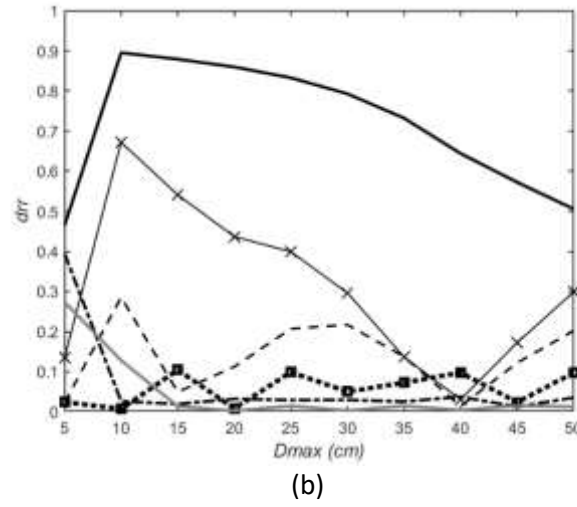
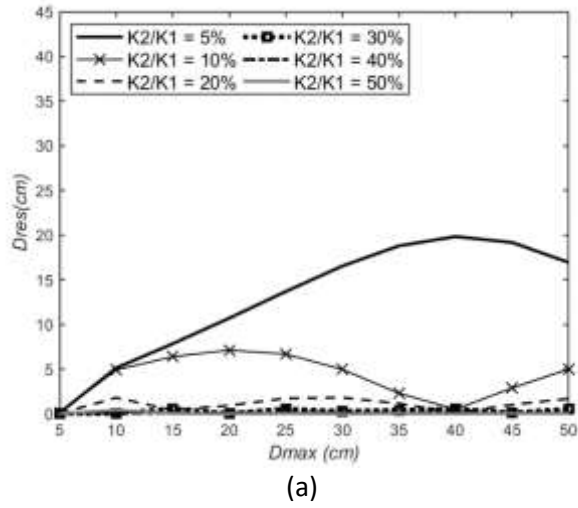
Anexo E-1: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 0.5s$.



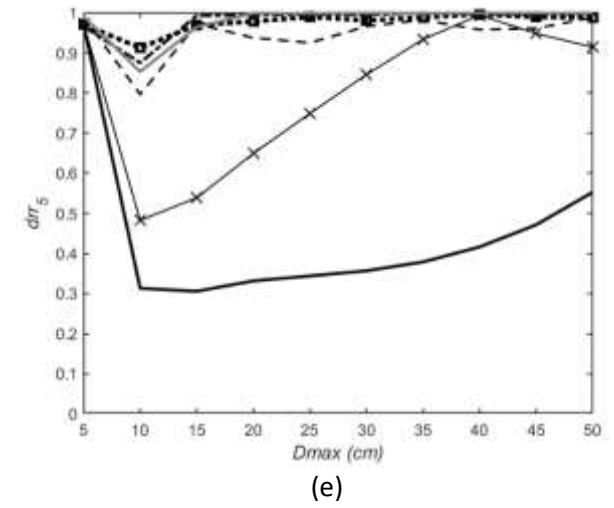
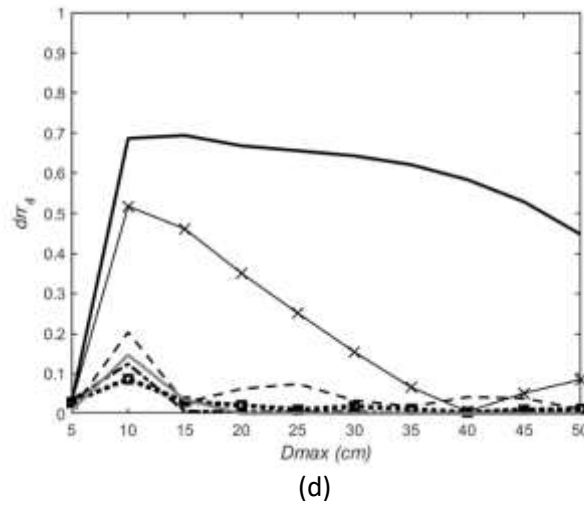
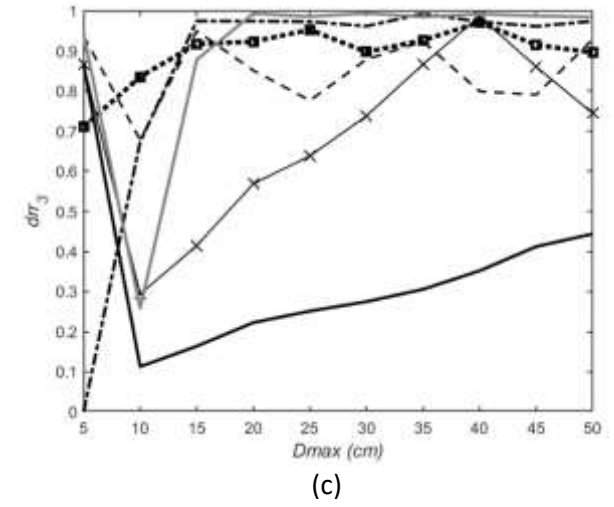
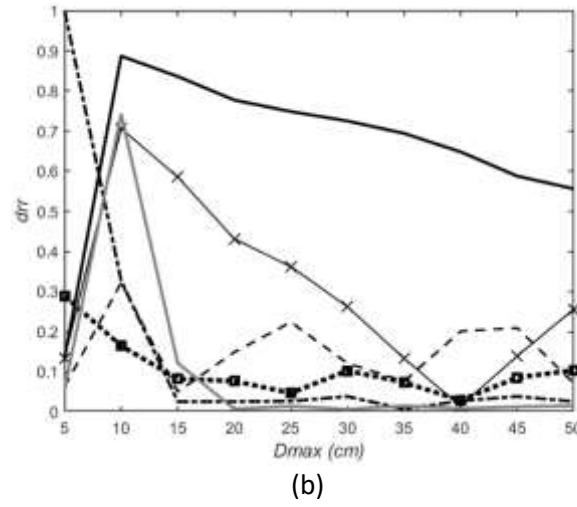
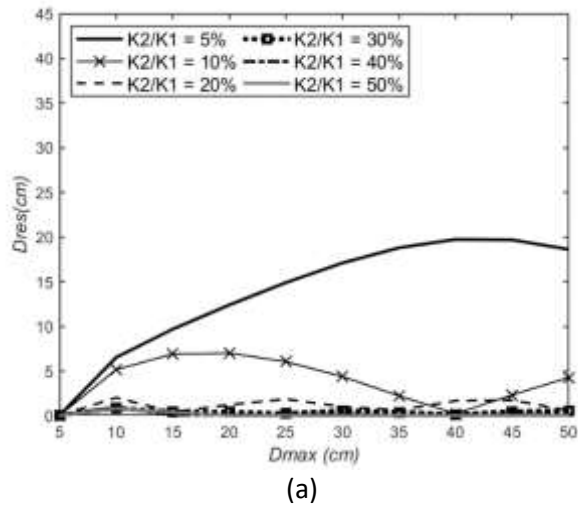
Anexo E-2: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 1s$.



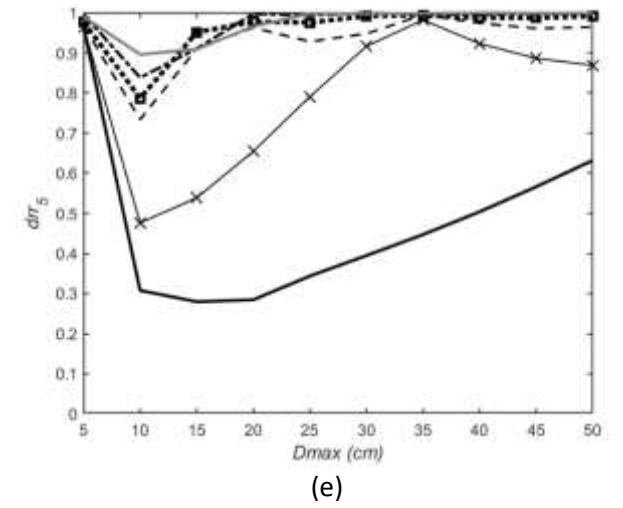
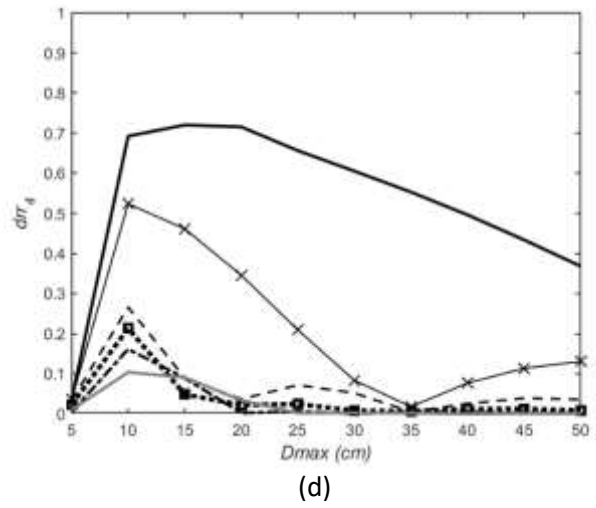
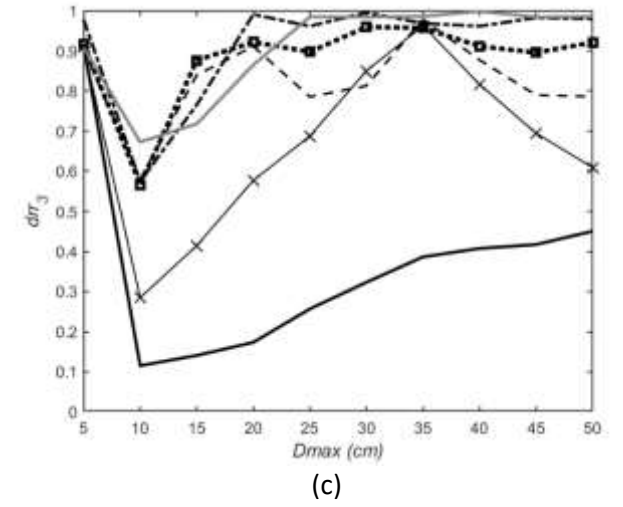
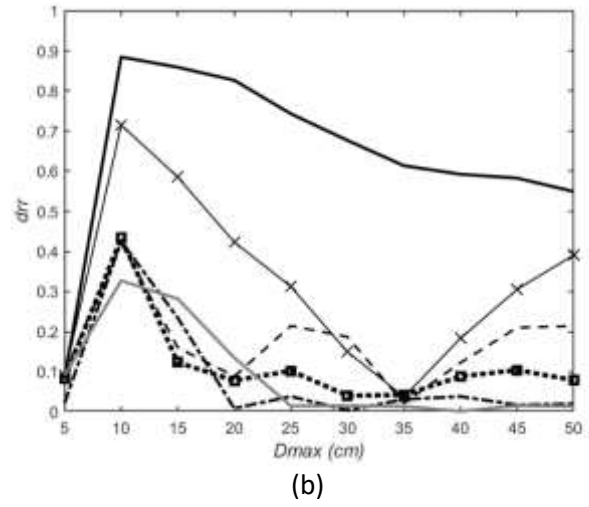
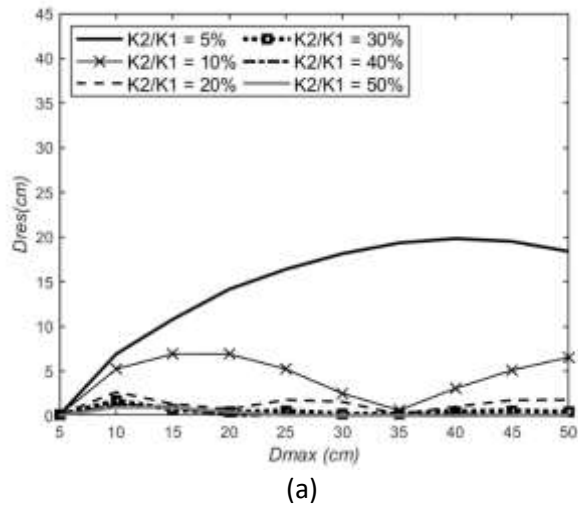
Anexo E-3: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 1.5s$.



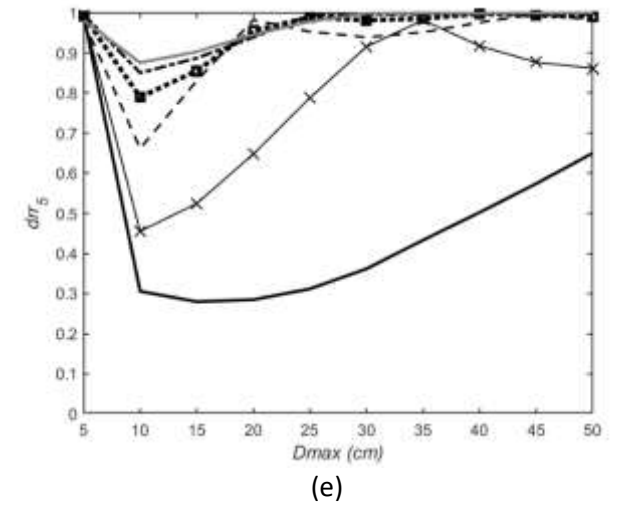
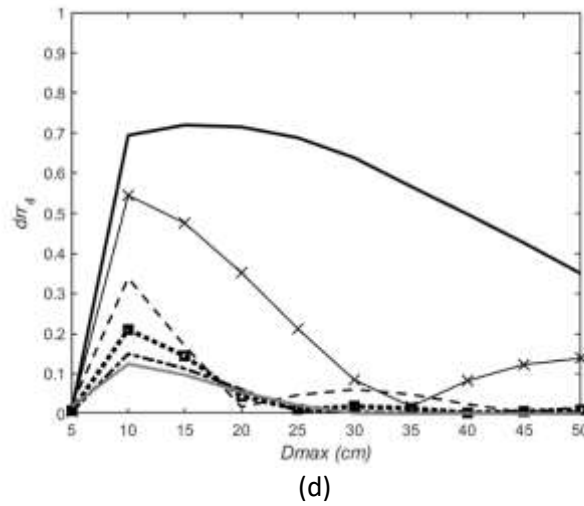
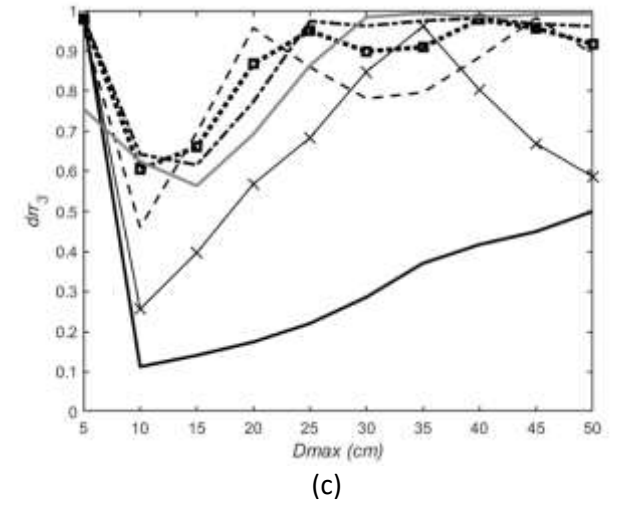
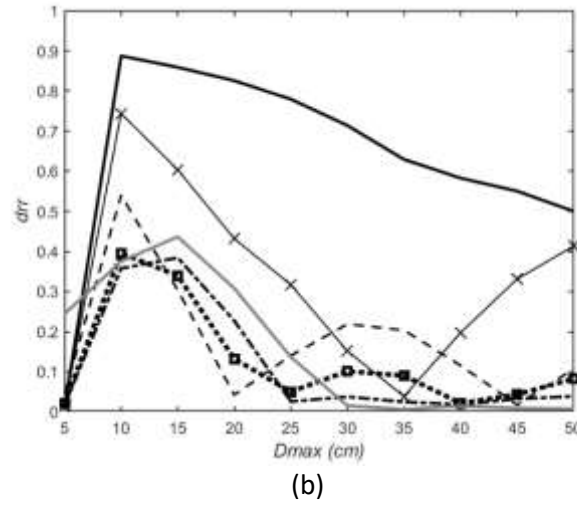
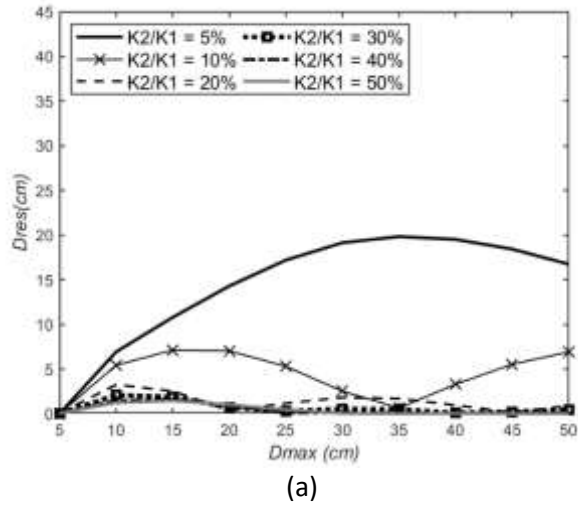
Anexo E-4: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 2s$.



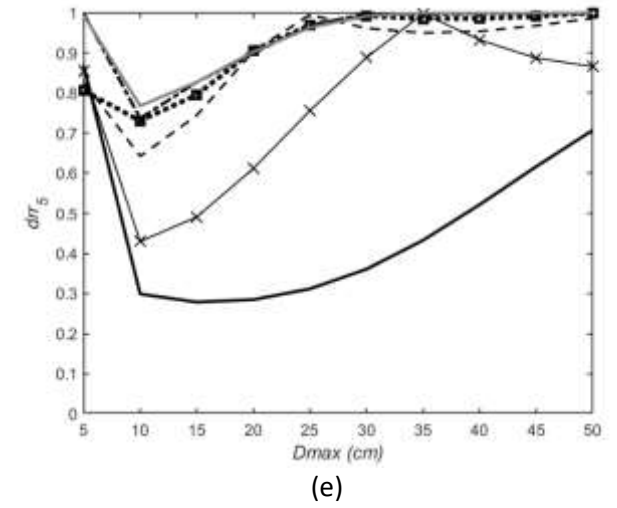
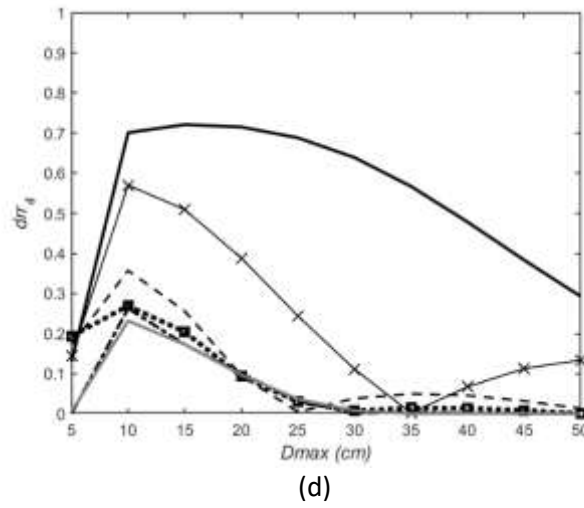
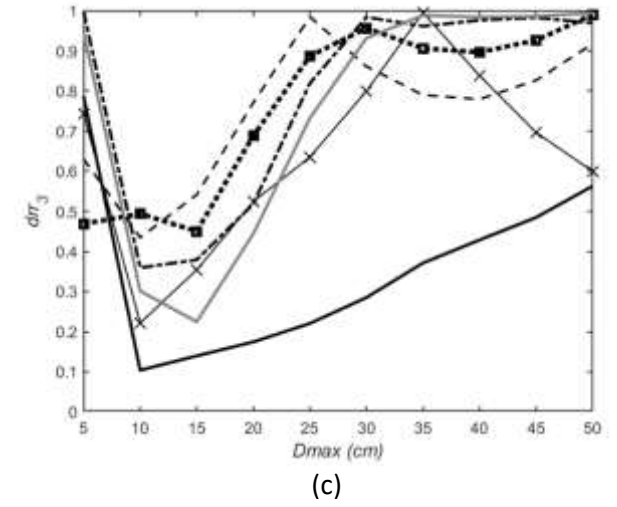
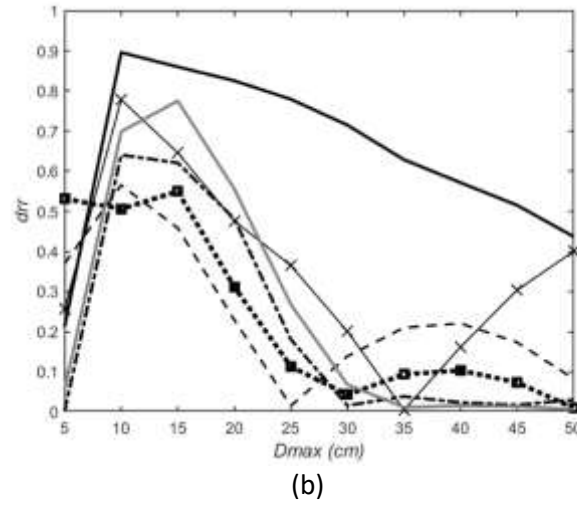
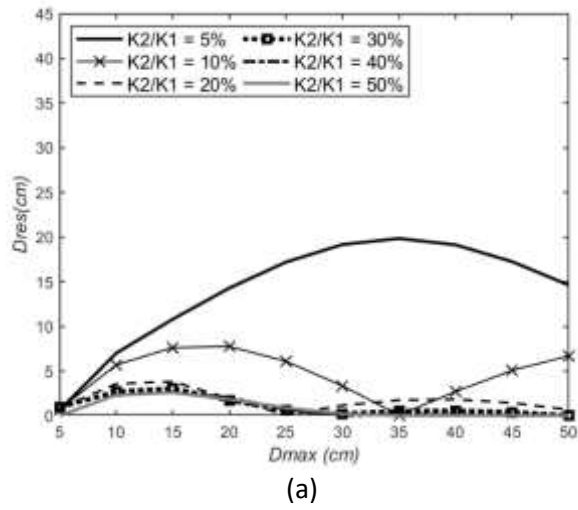
Anexo E-5: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 2.5s$.



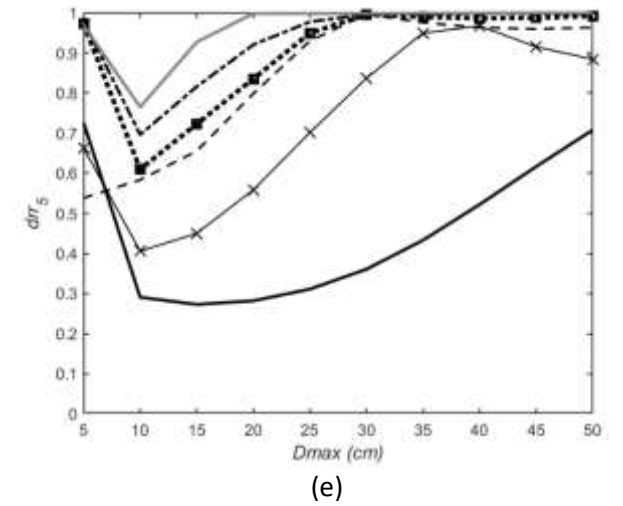
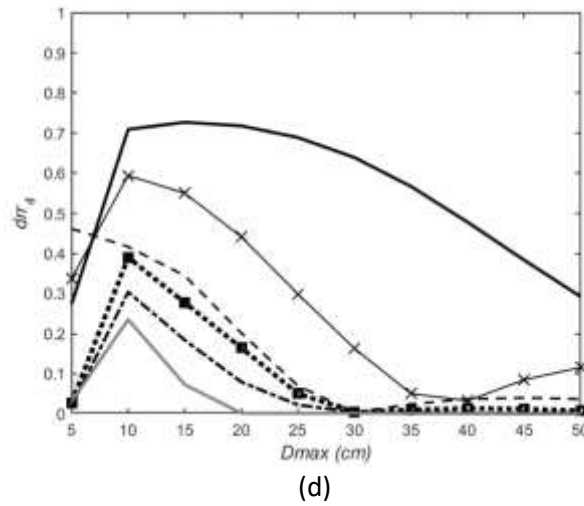
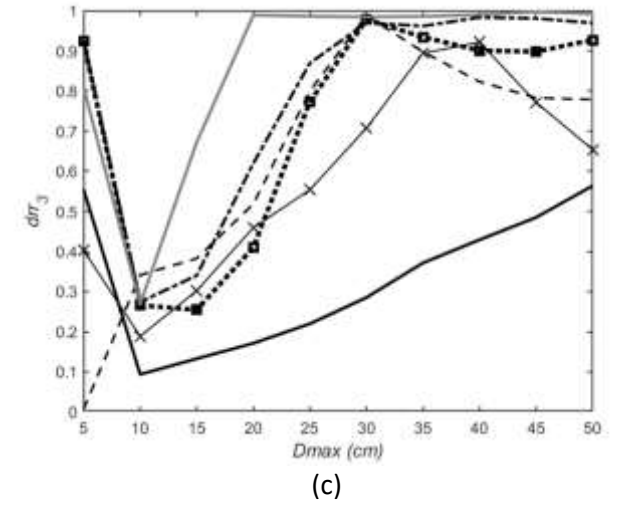
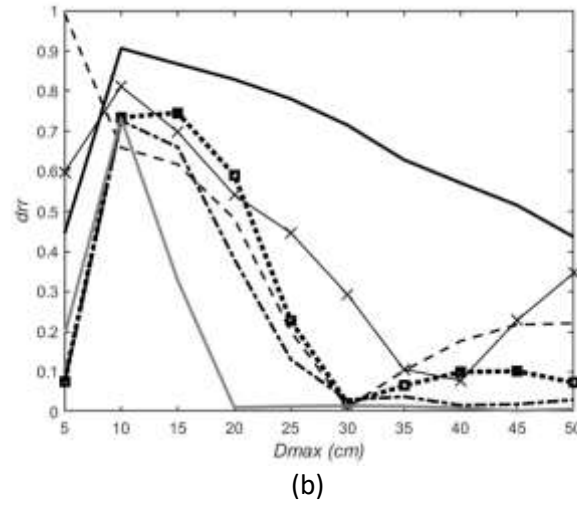
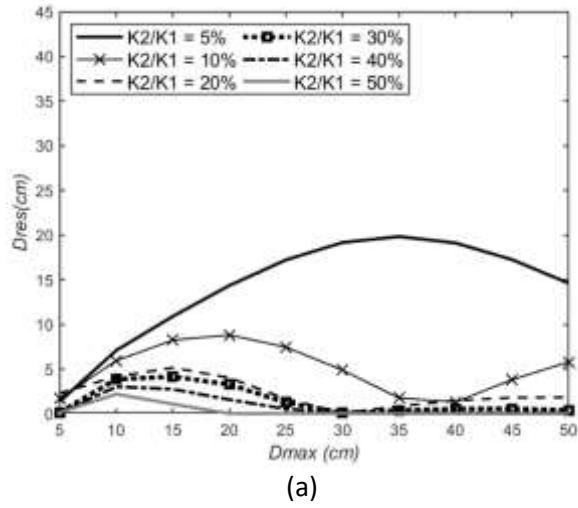
Anexo E-6: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 3s$.



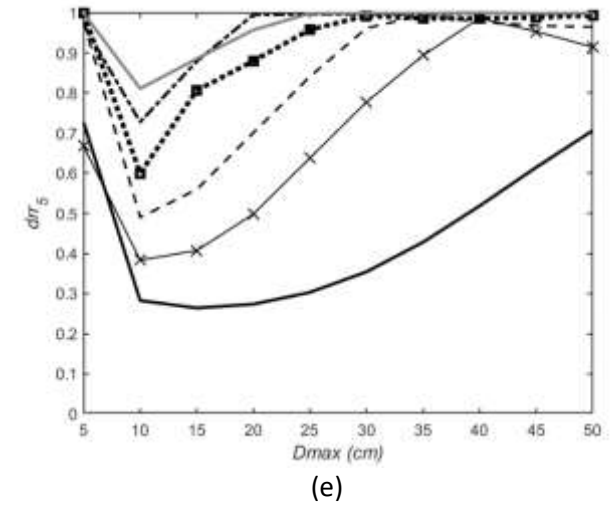
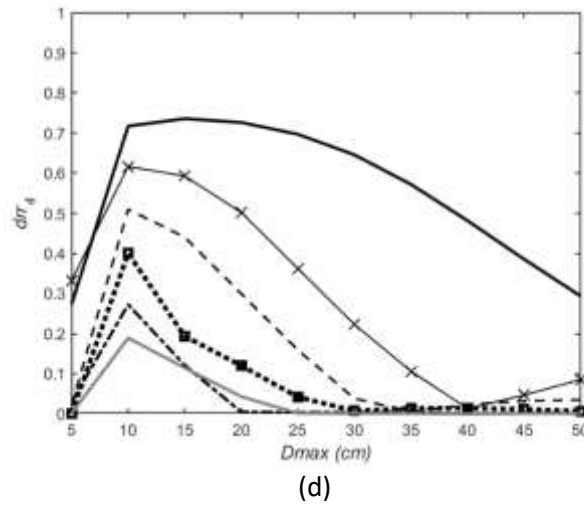
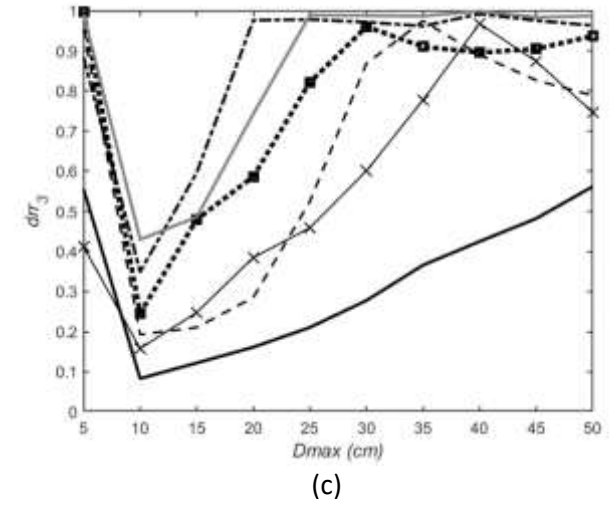
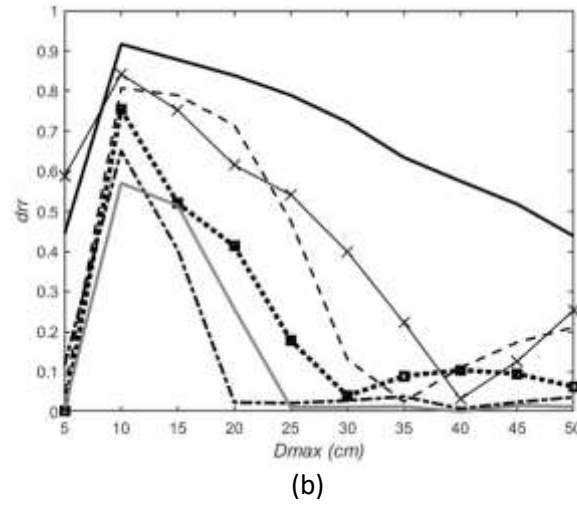
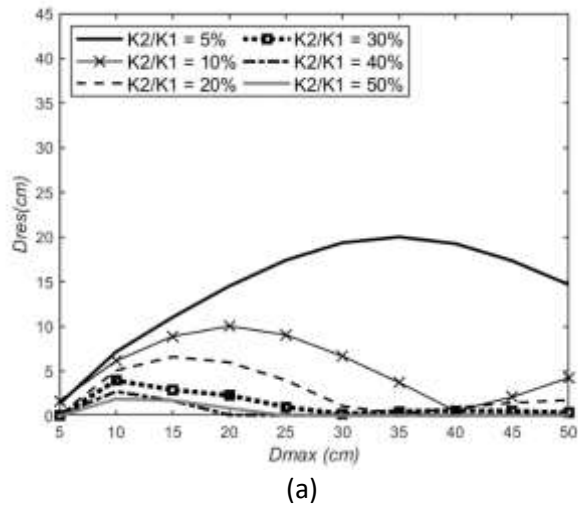
Anexo E-7: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 3.5s$.



Anexo E-8: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 4s$.

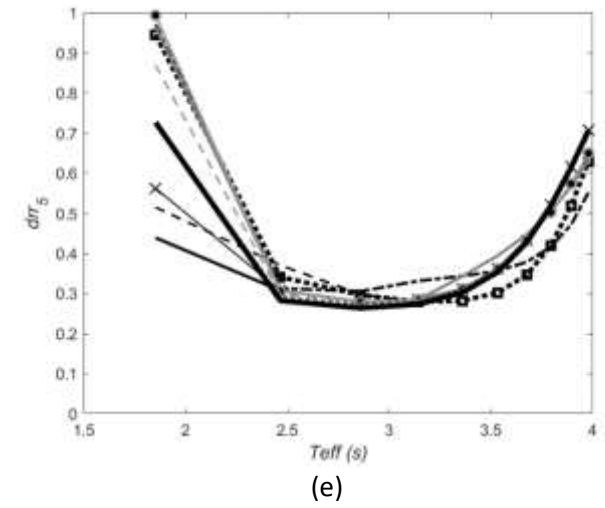
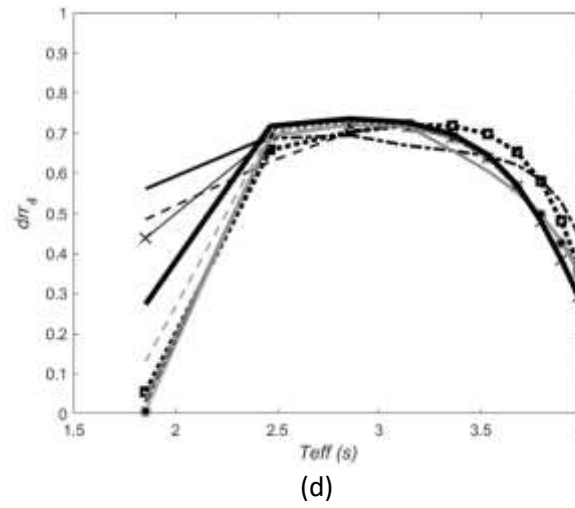
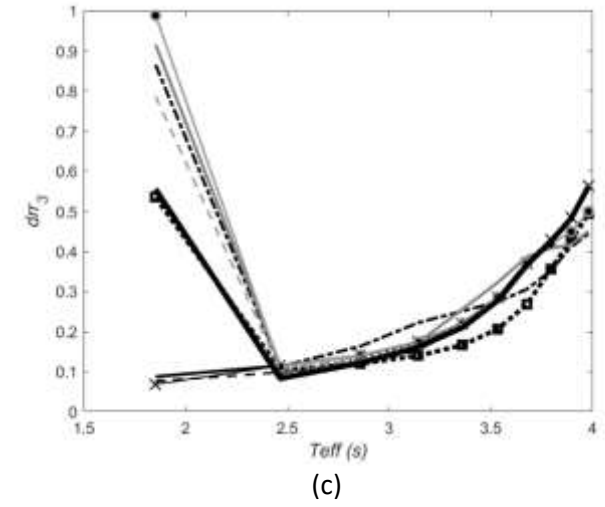
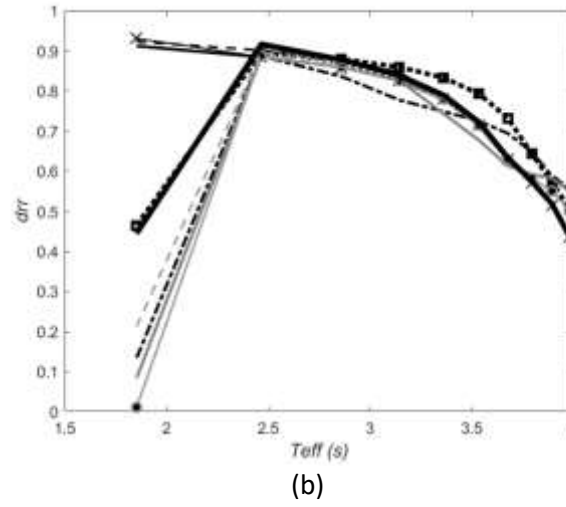
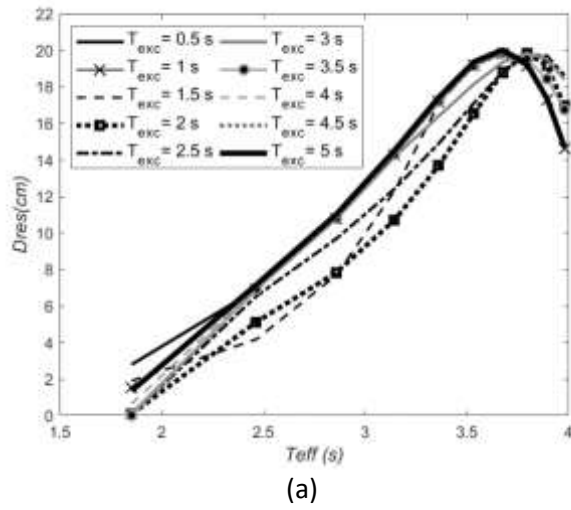


Anexo E-9: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 4.5s$.

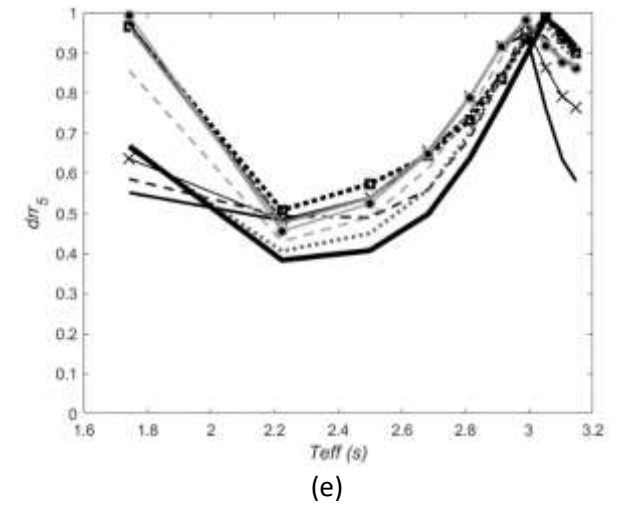
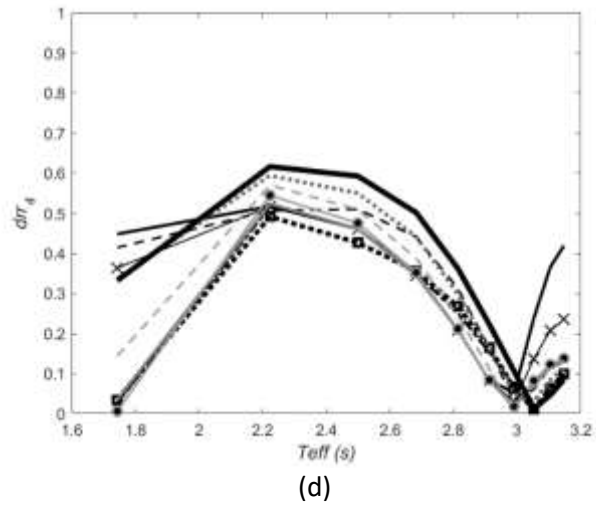
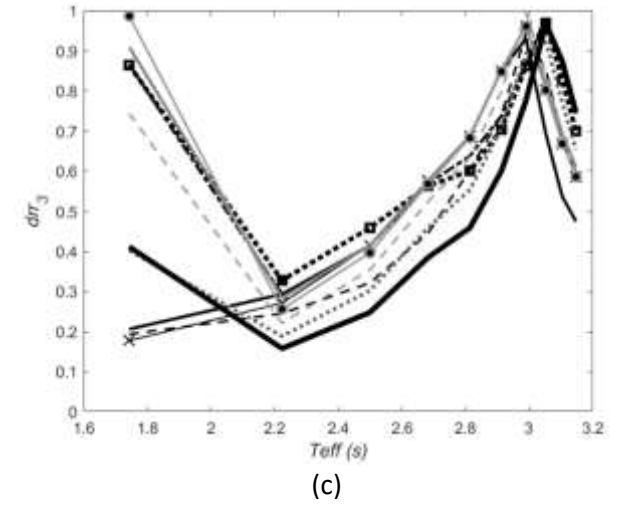
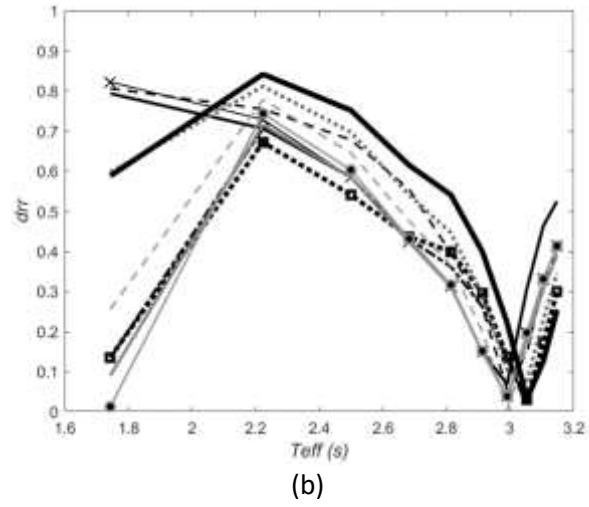
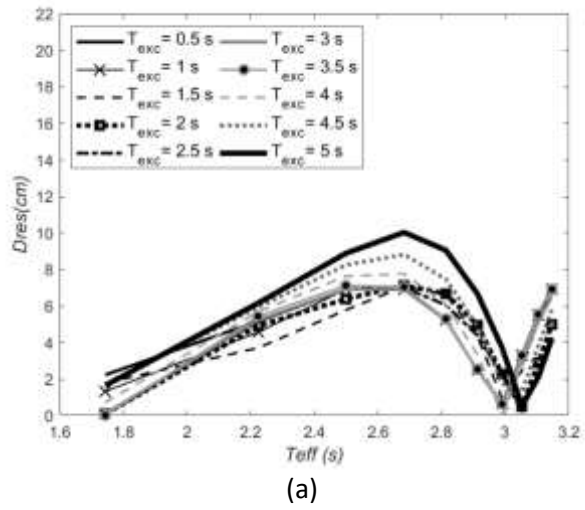


Anexo E-10: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 5s$.

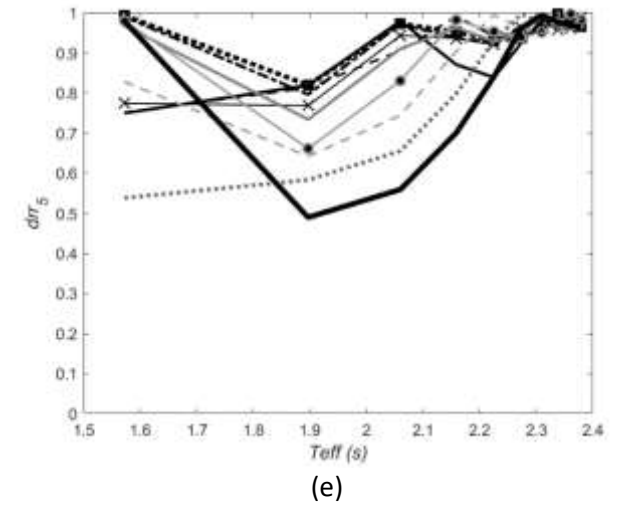
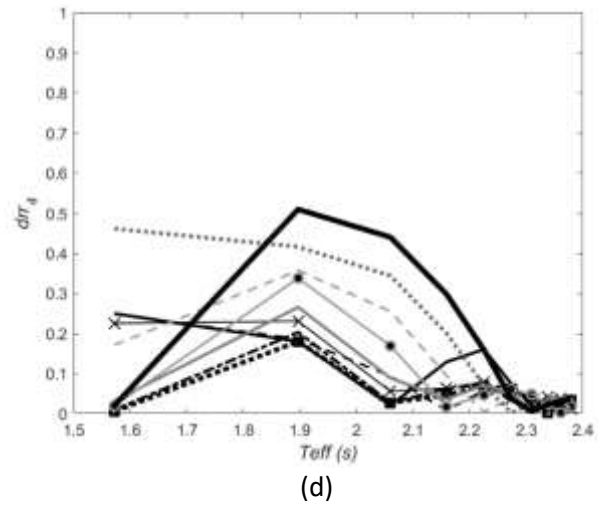
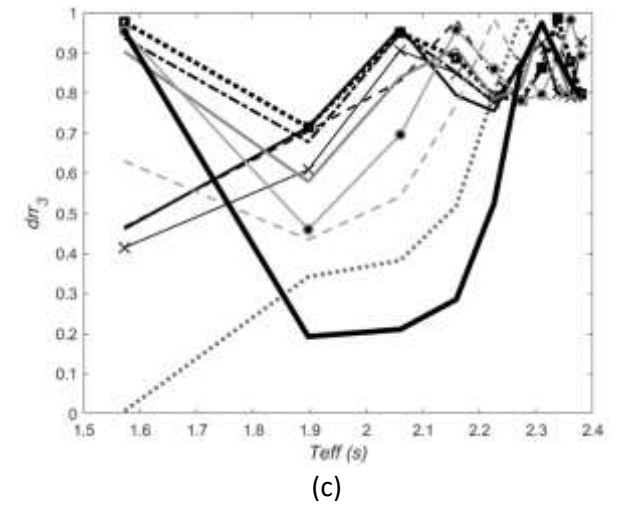
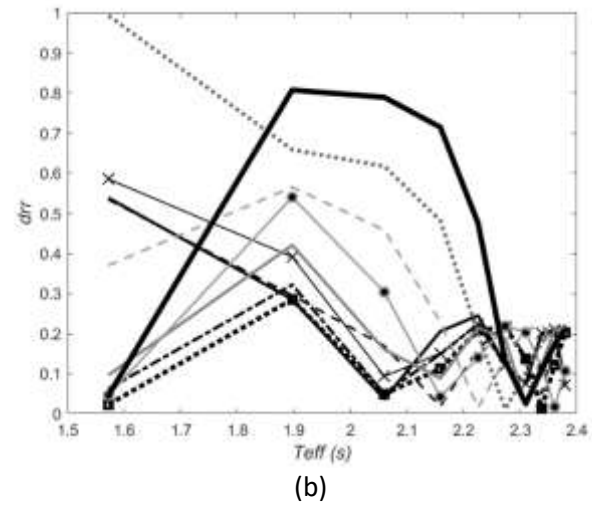
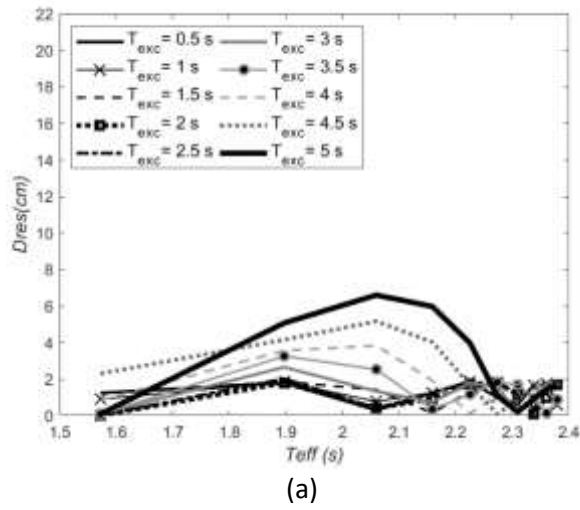
Anexo F: Resultados presentados en el Anexo D, en función de los periodos efectivos (T_{eff}) de los SUGL, organizados respecto al valor r que los caracteriza.



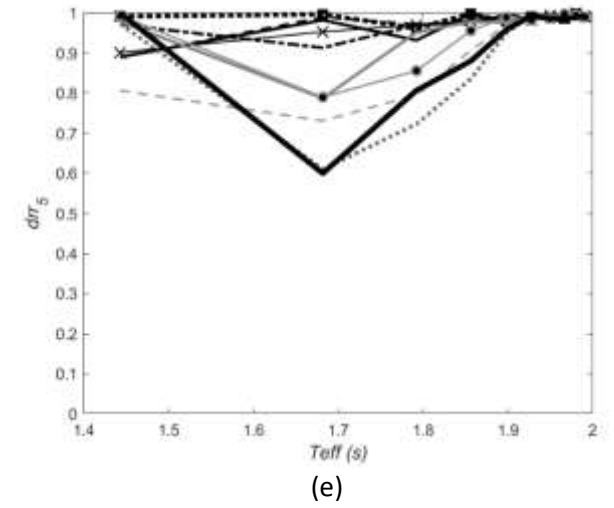
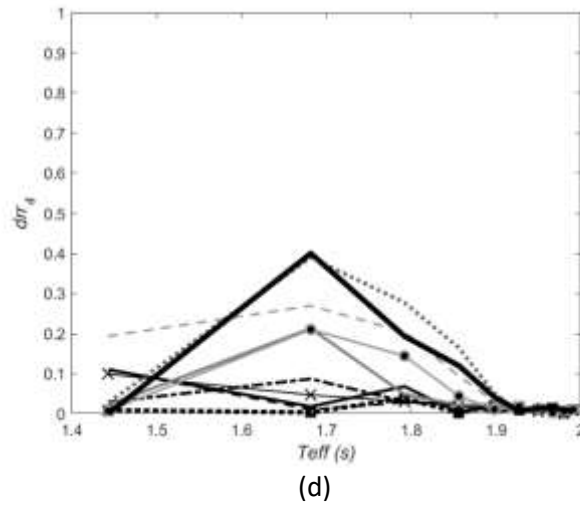
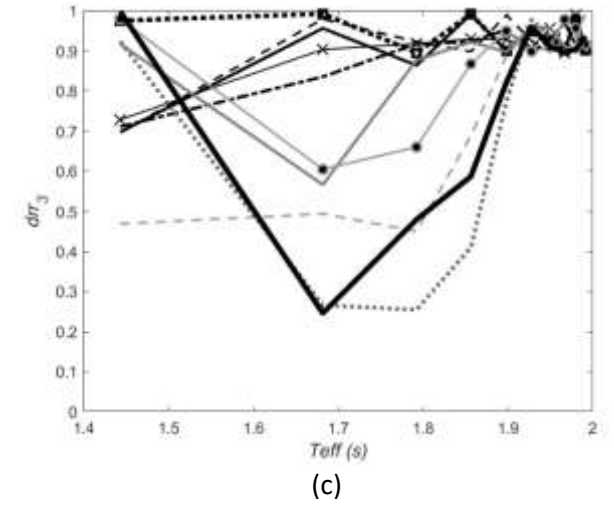
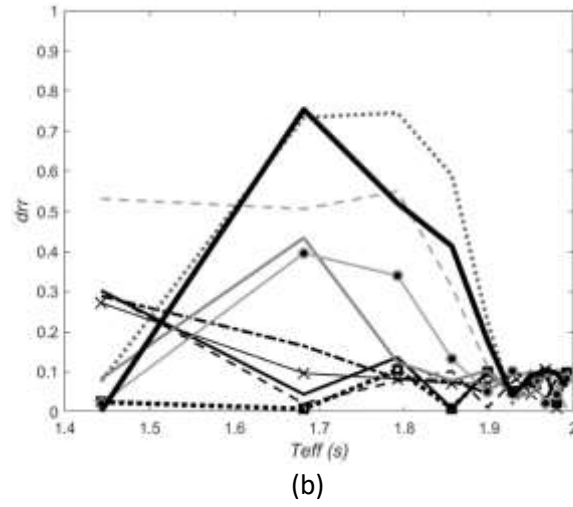
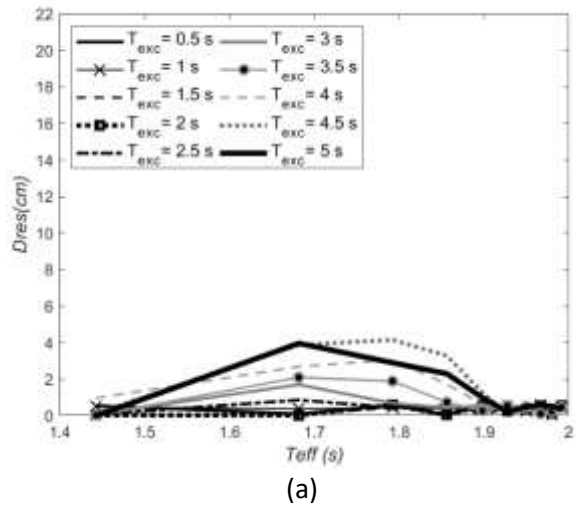
Anexo F-1: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 5\%$.



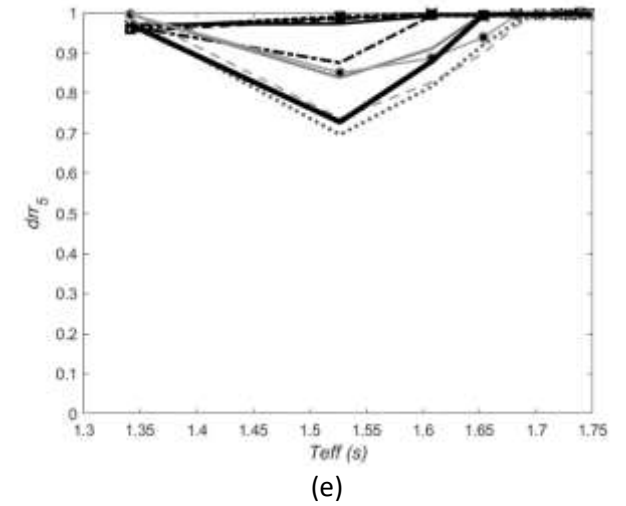
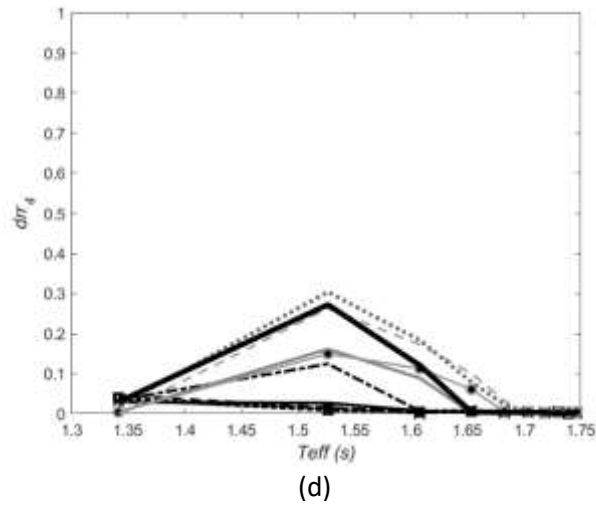
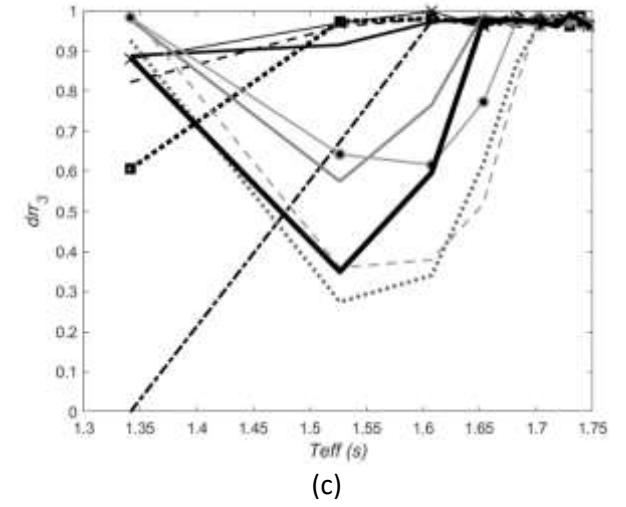
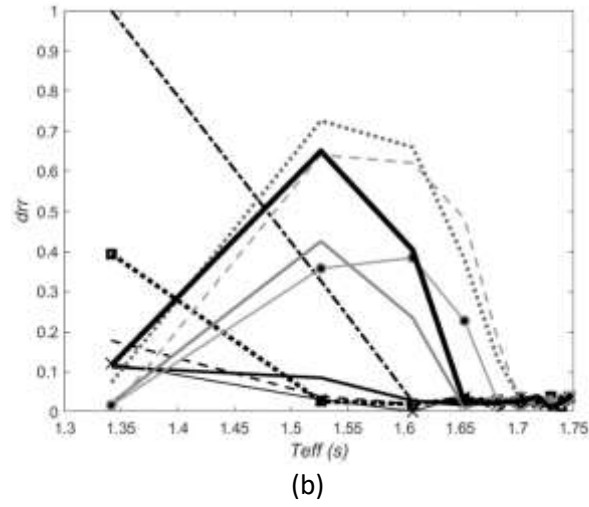
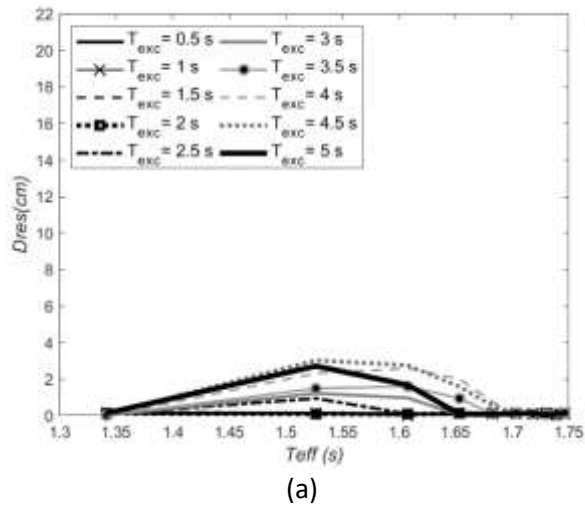
Anexo F-2: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 10\%$.



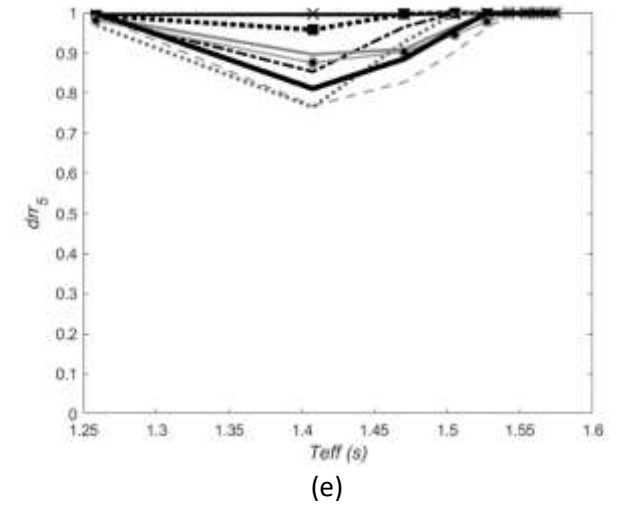
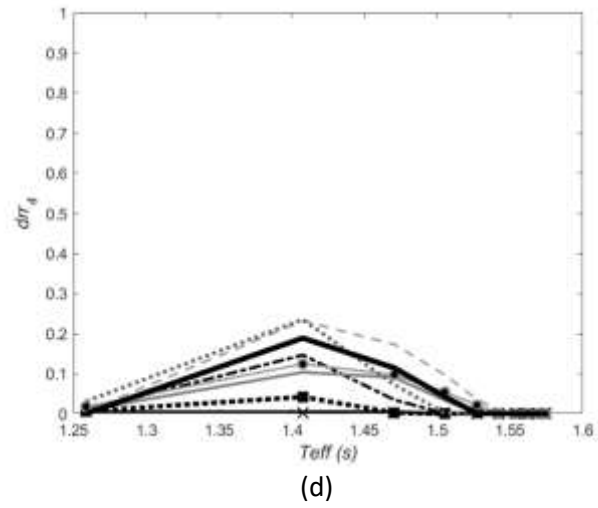
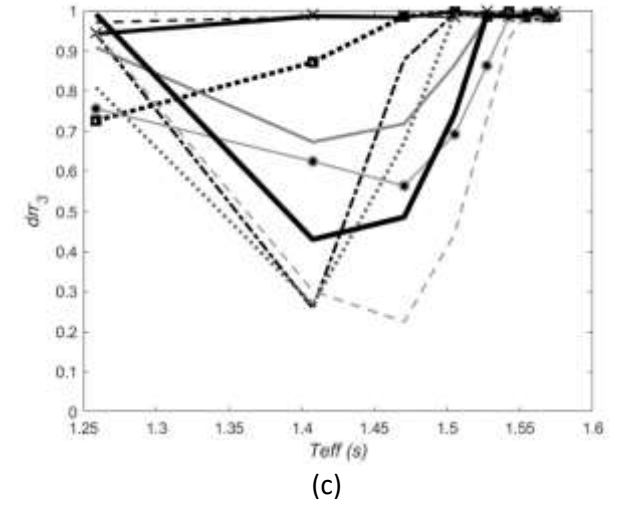
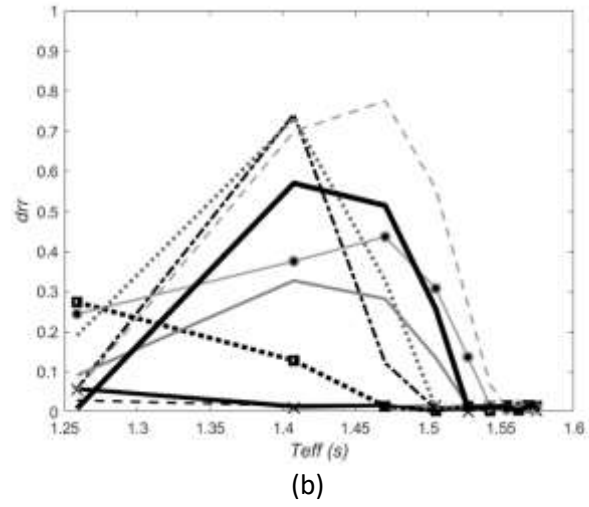
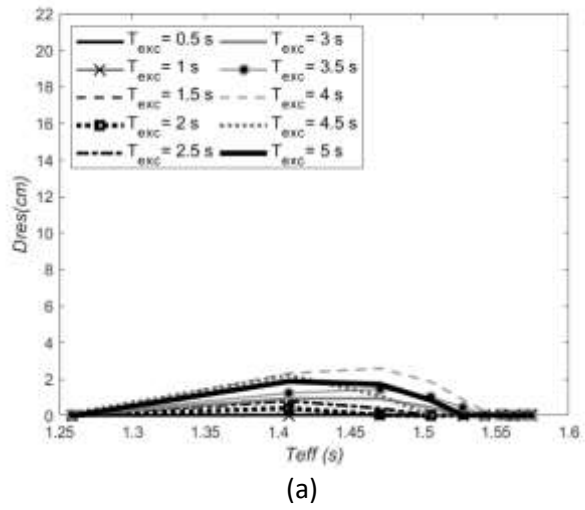
Anexo F-3: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 20\%$.



Anexo F-4: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 30\%$.

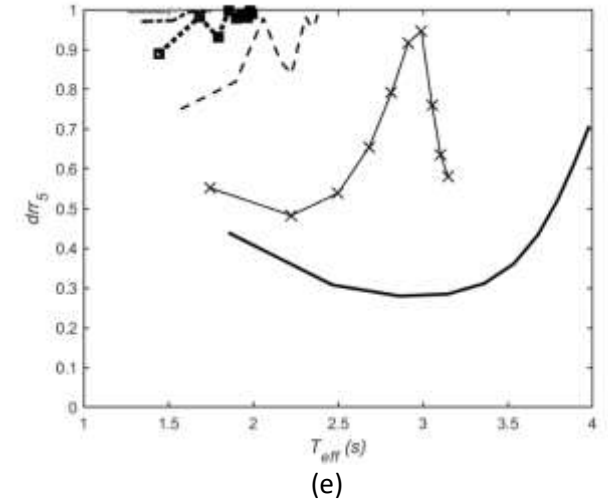
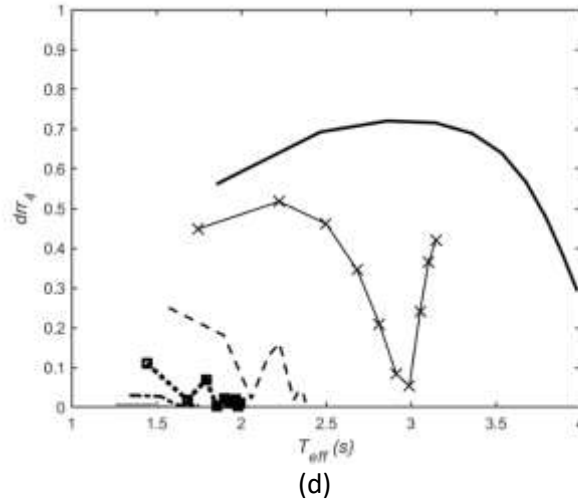
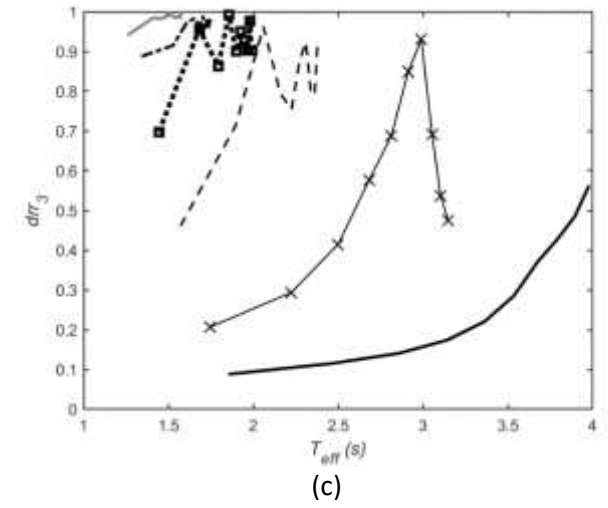
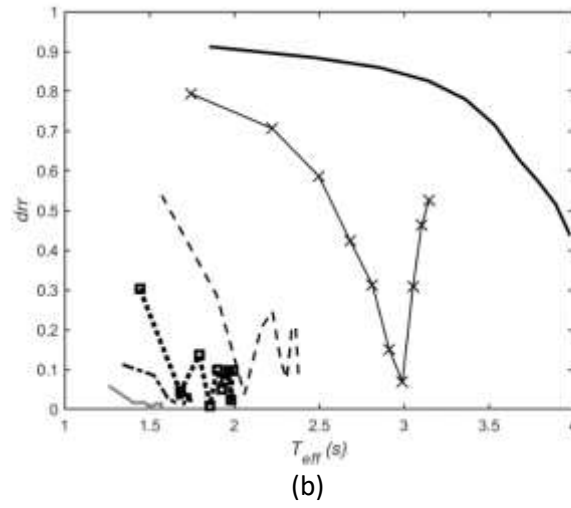
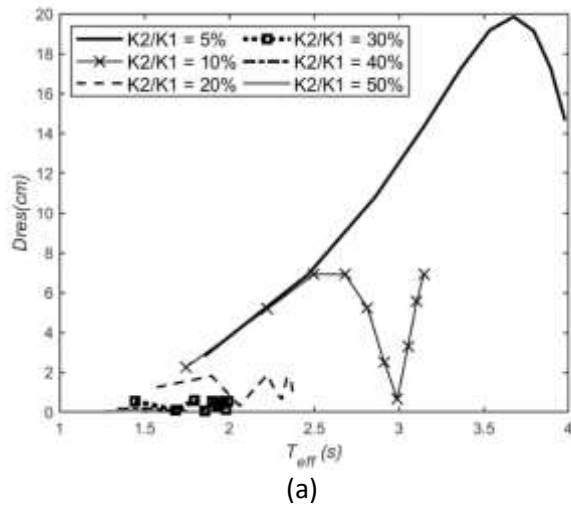


Anexo F-5: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 40\%$.

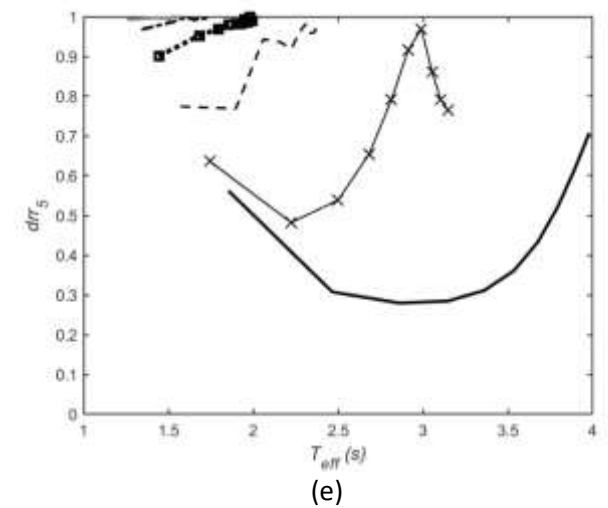
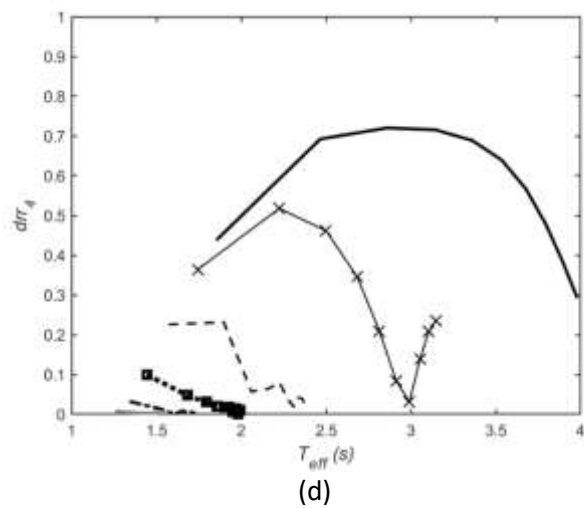
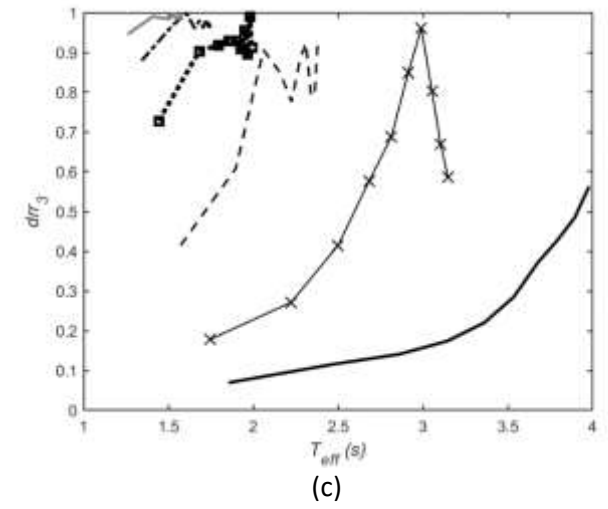
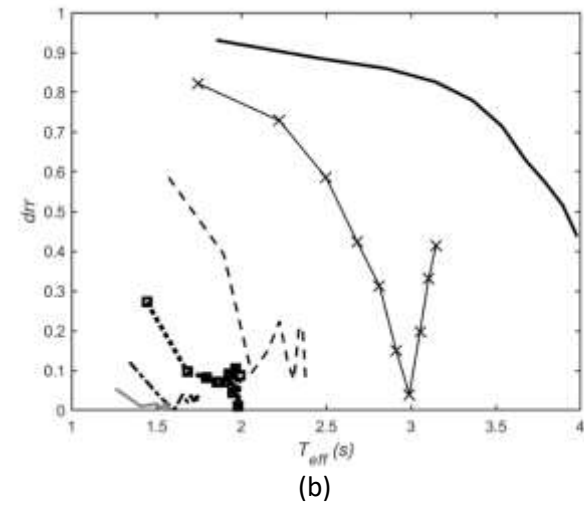
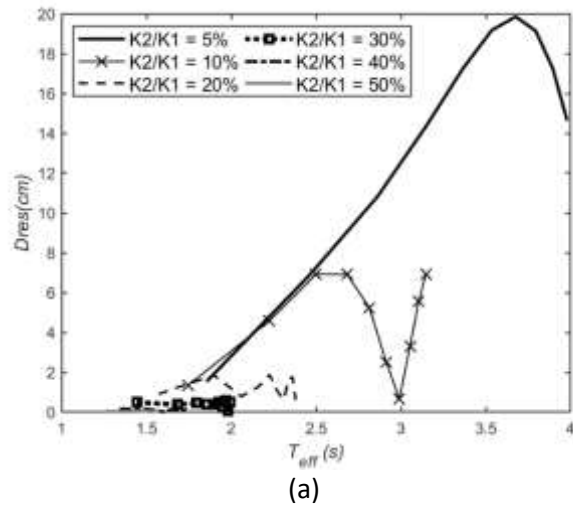


Anexo F-6: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para un sistema de un grado de libertad con $r = 50\%$.

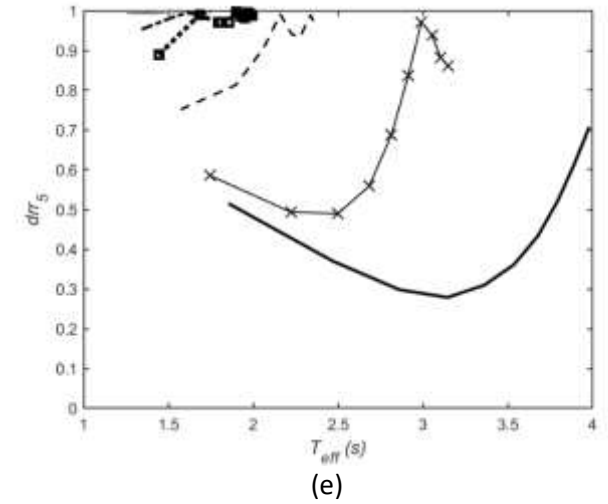
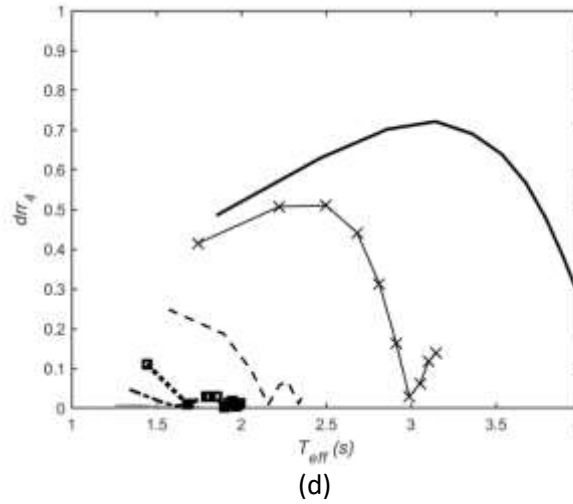
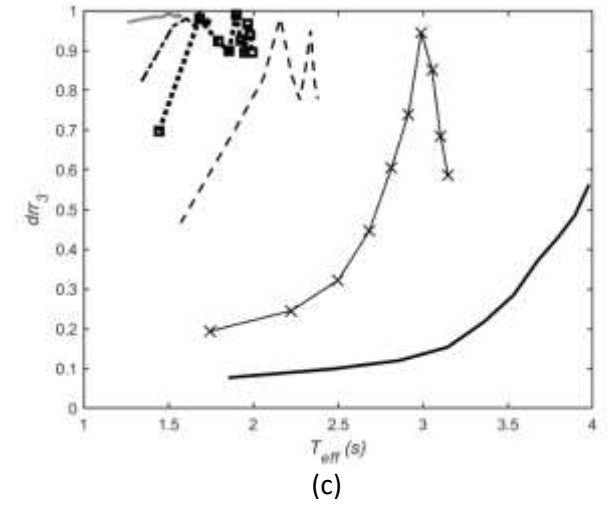
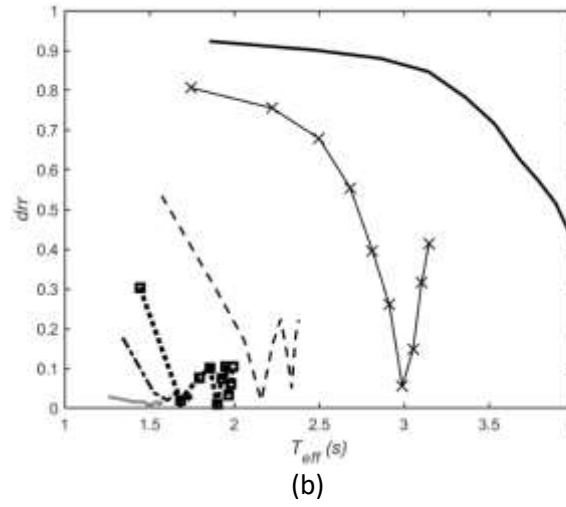
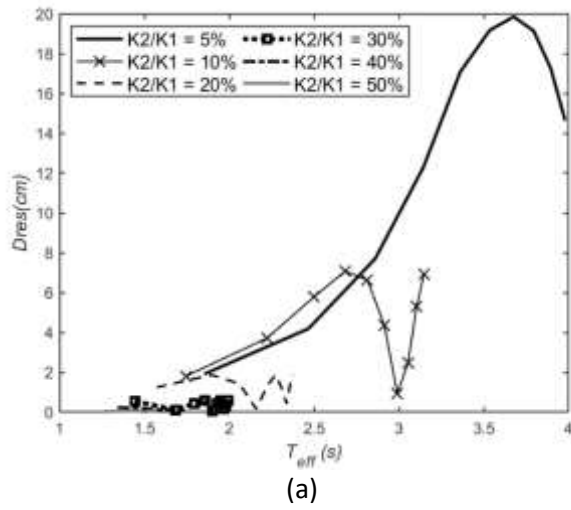
Anexo G: Resultados presentados en el Anexo E, en función de los periodos efectivos (T_{eff}) de los SUGL, organizados respecto al periodo de vibración de la excitación armónica (T_{exc}).



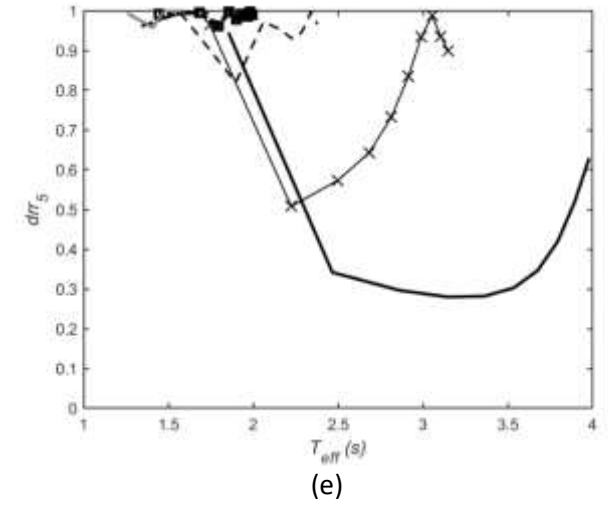
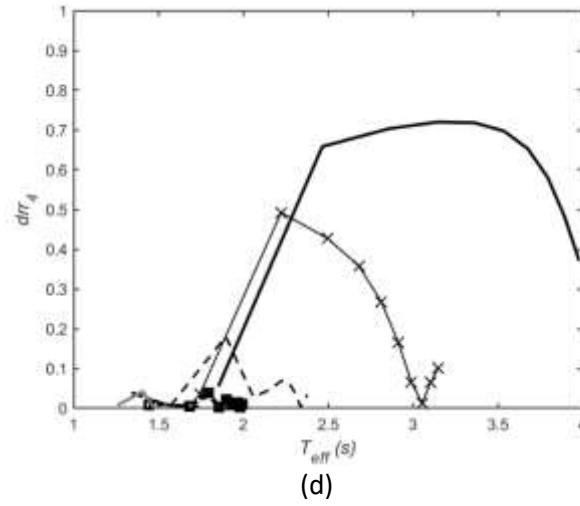
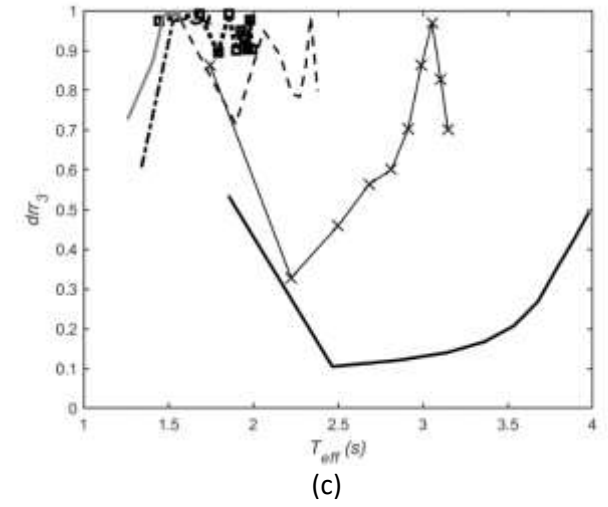
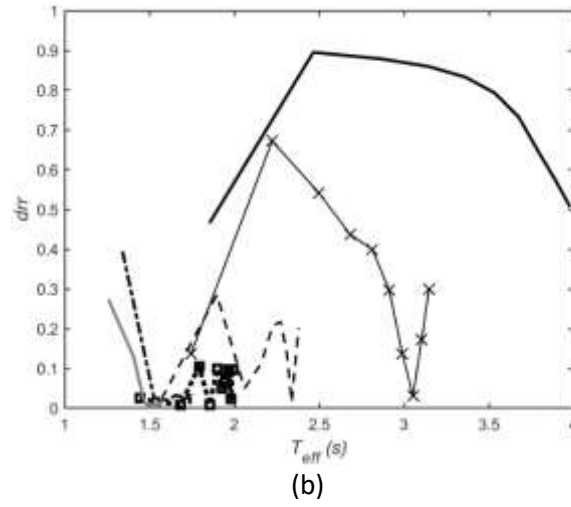
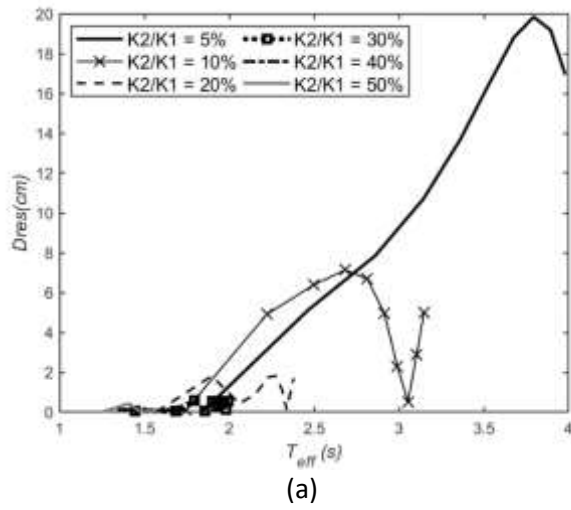
Anexo G-1: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 0.5s$.



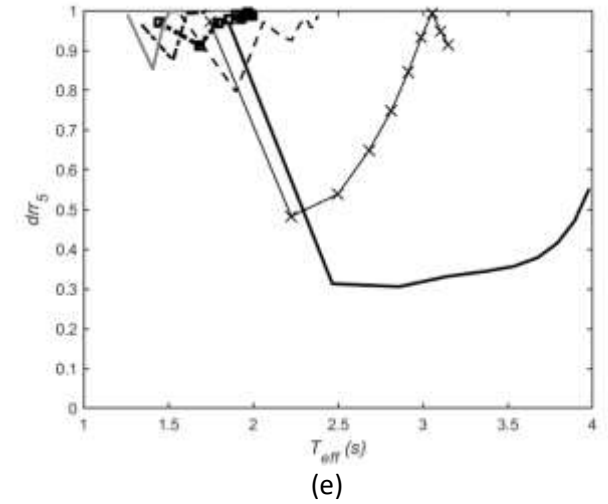
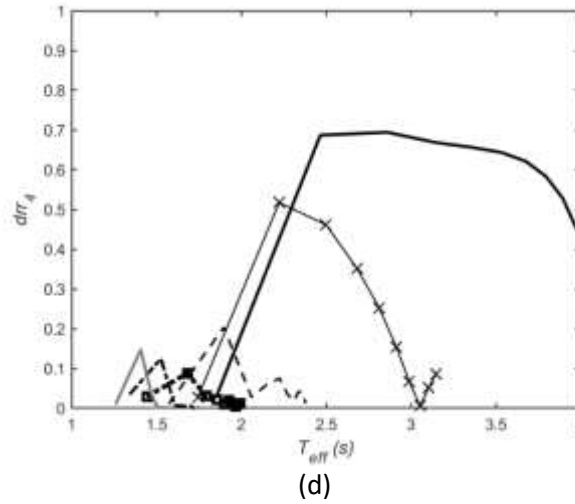
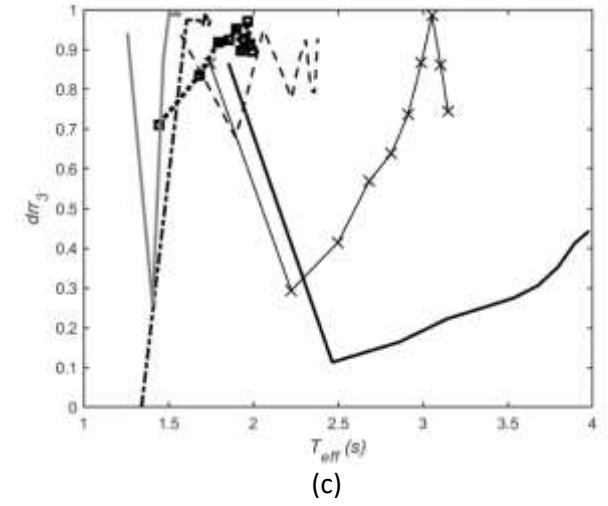
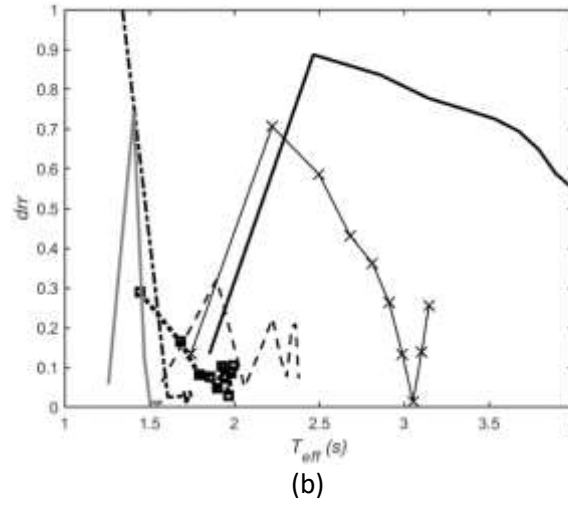
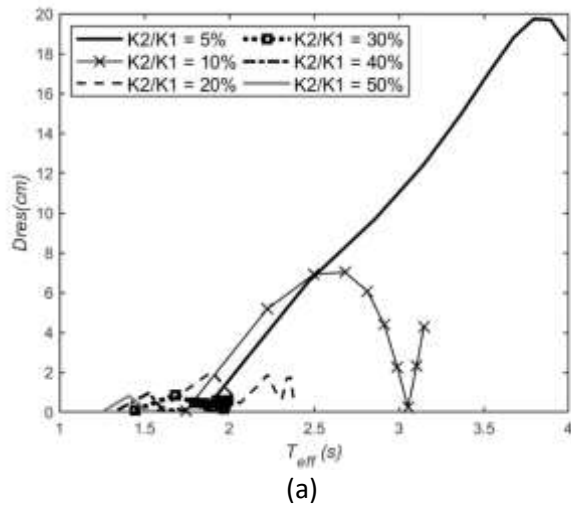
Anexo G-2: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 1s$.



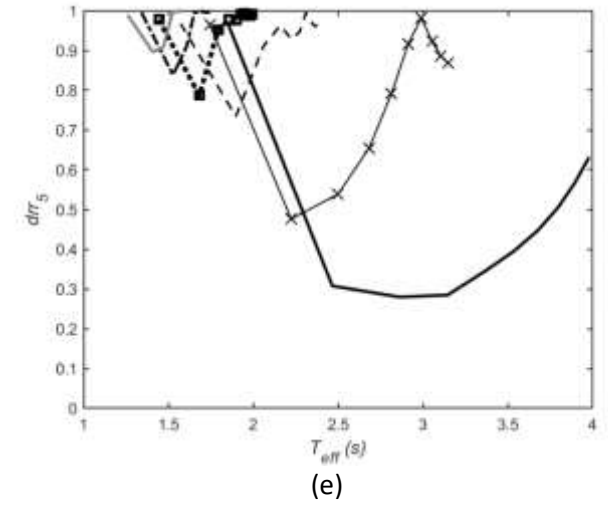
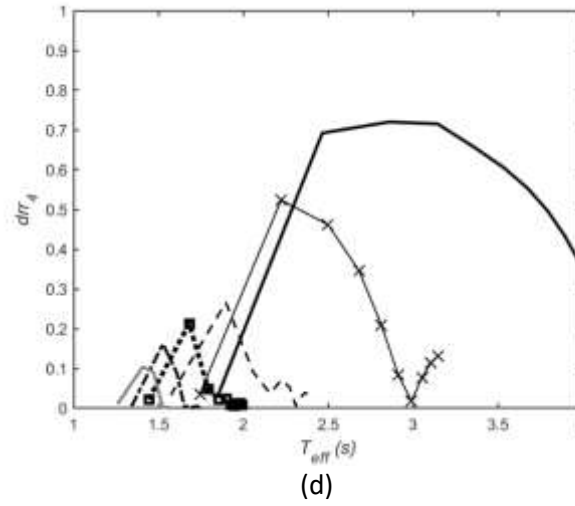
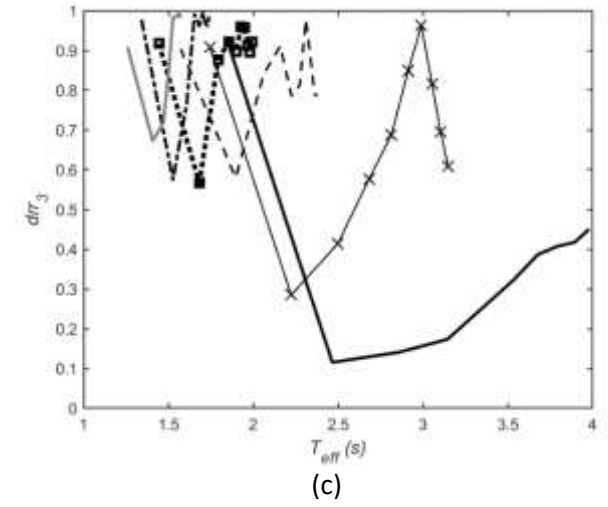
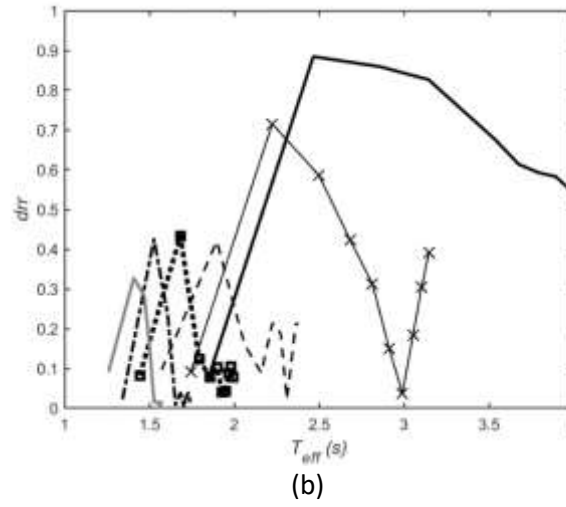
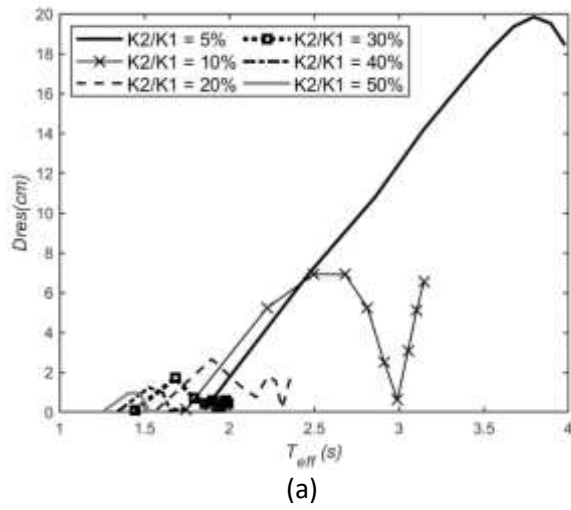
Anexo G-3: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 1.5s$.



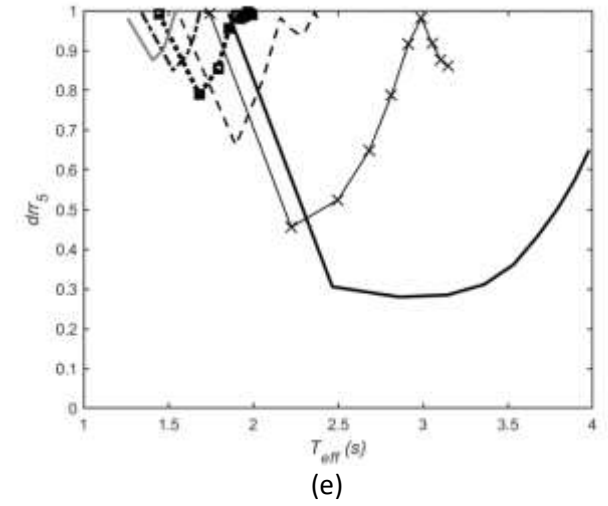
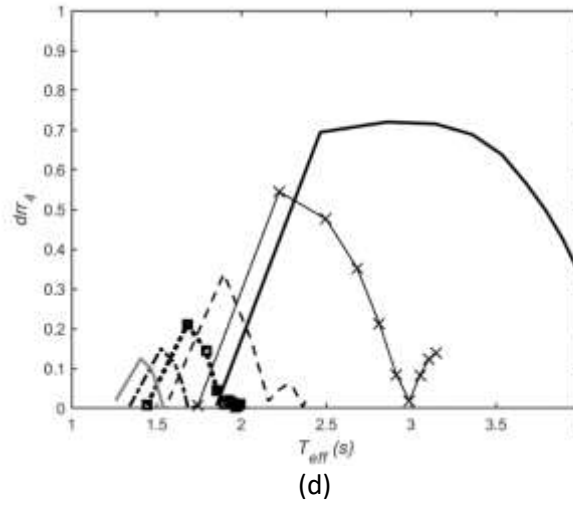
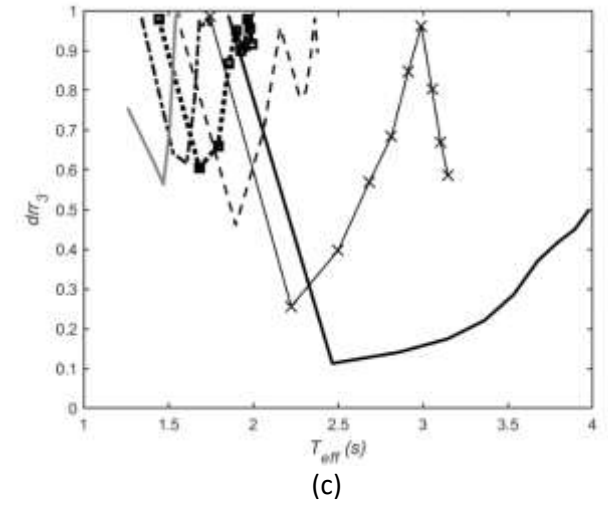
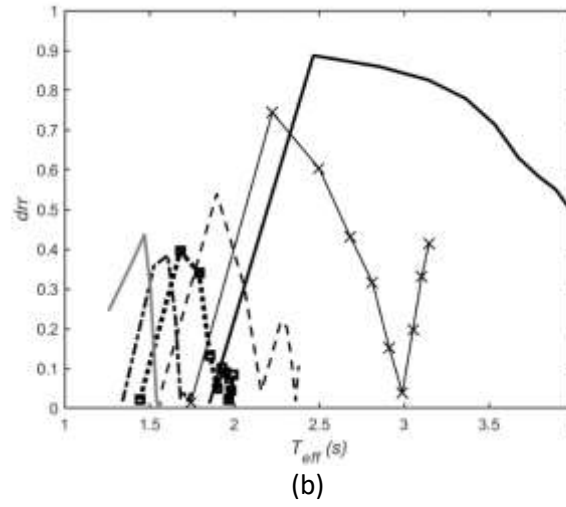
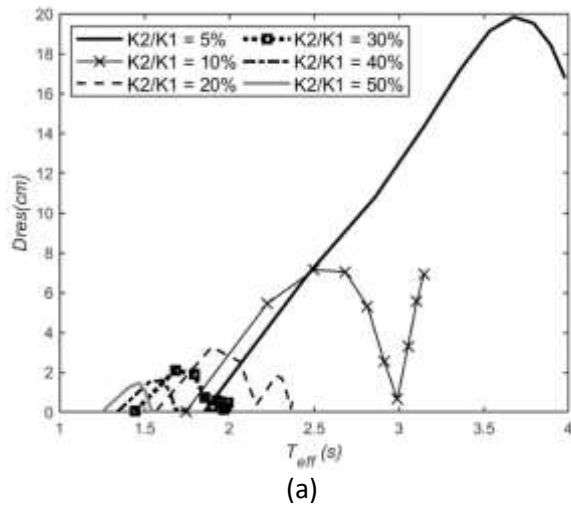
Anexo G-4: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 2s$.



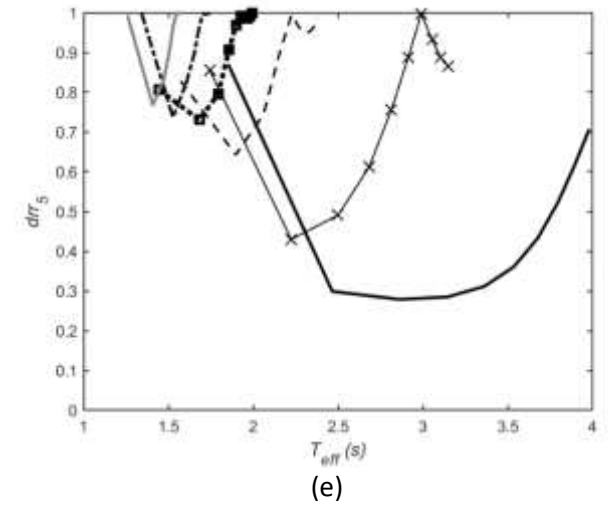
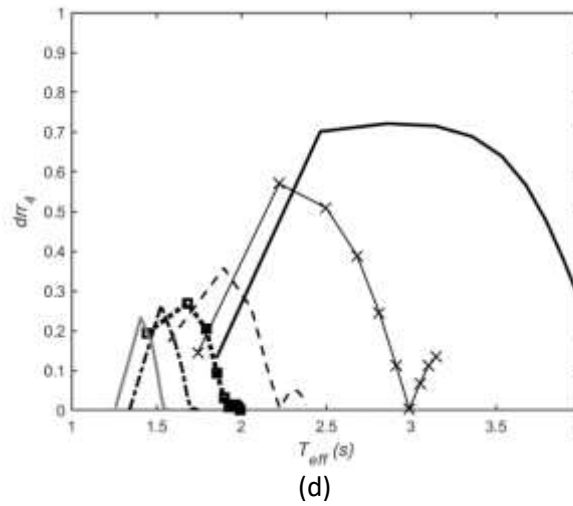
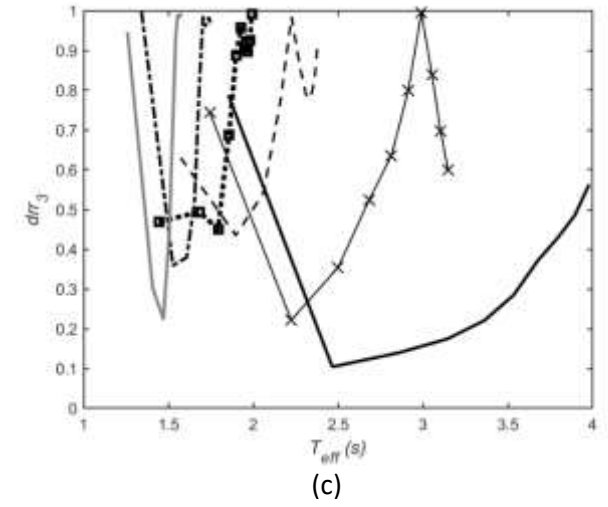
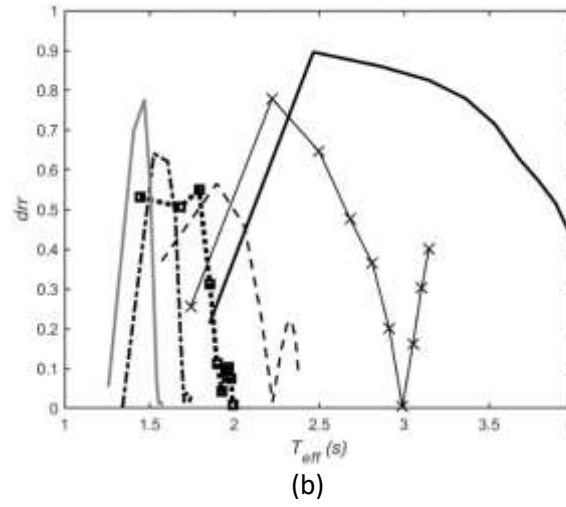
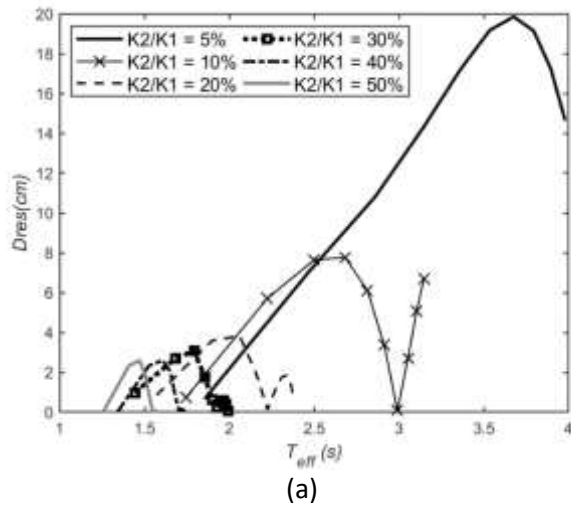
Anexo G-5: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 2.5s$.



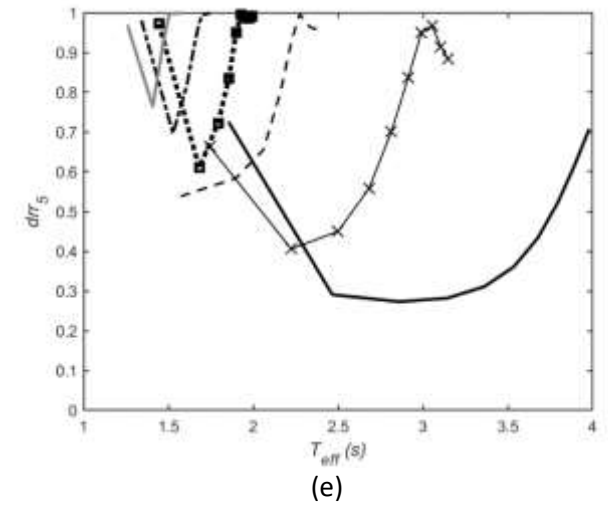
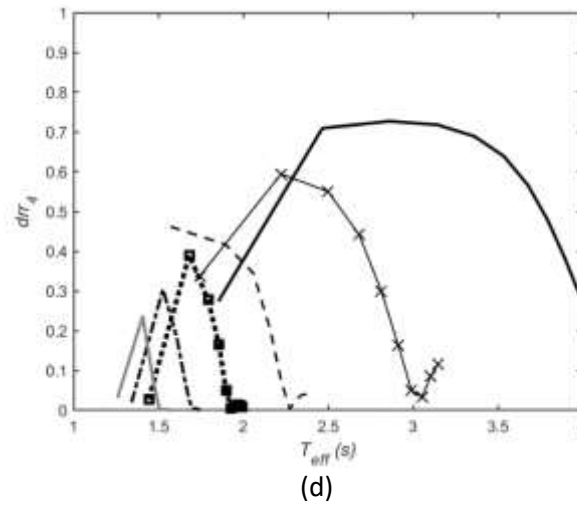
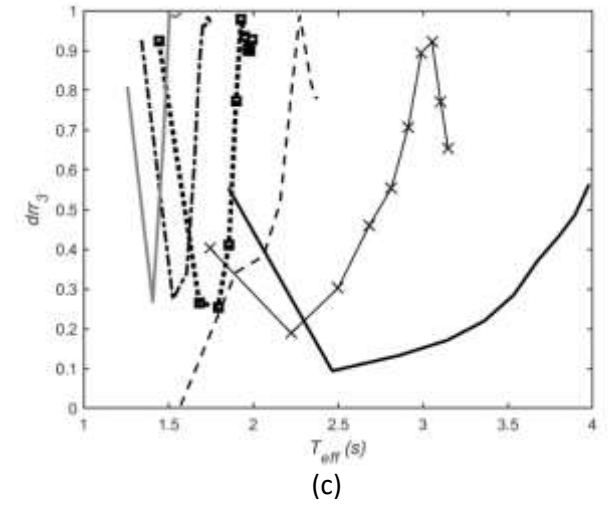
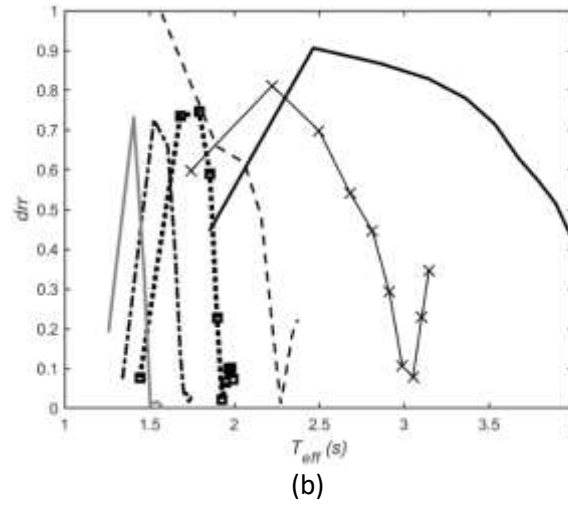
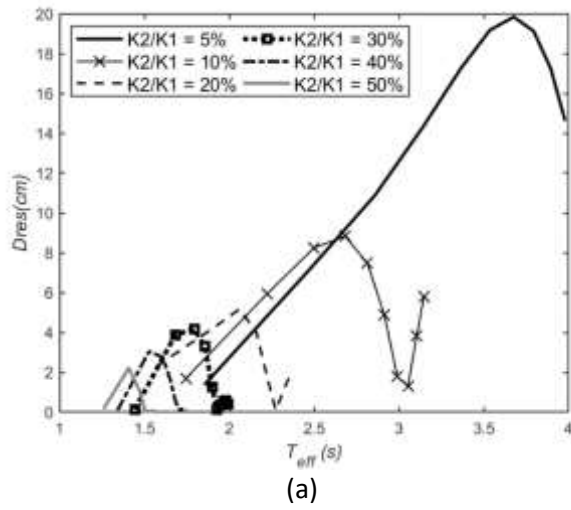
Anexo G-6: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 3s$.



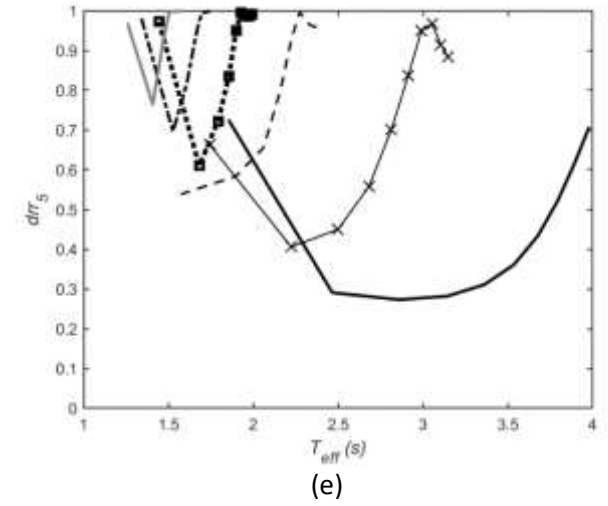
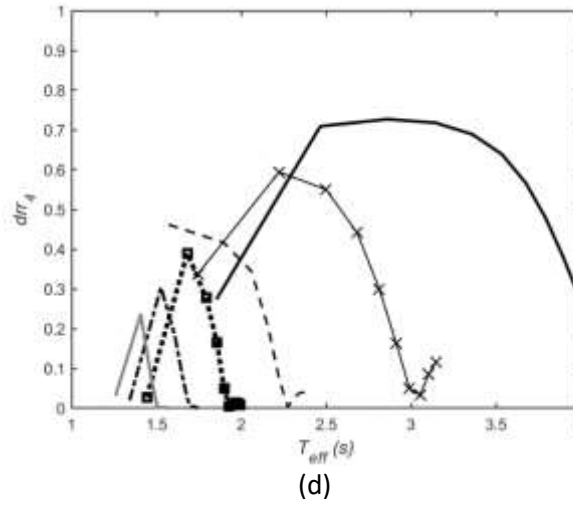
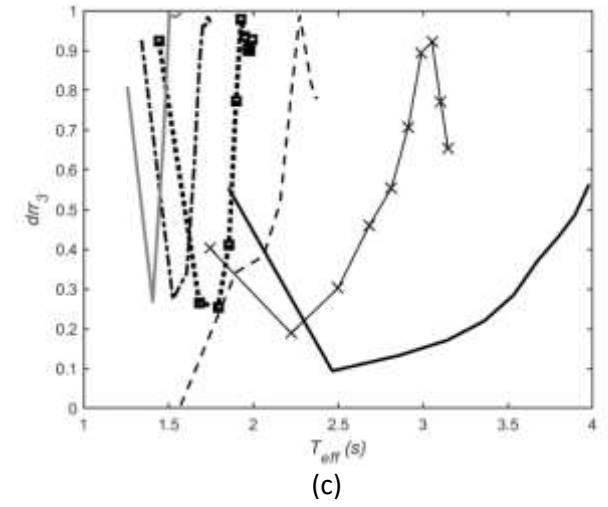
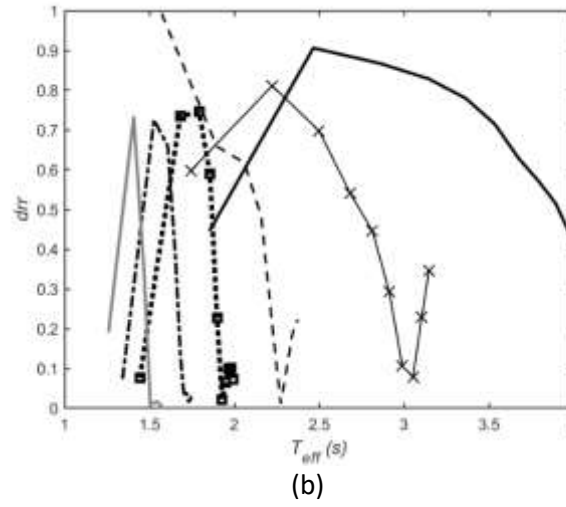
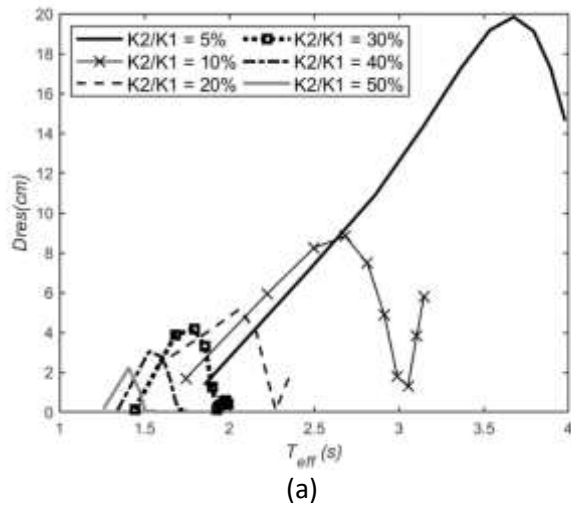
Anexo G-7: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 3.5s$.



Anexo G-8: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 4s$.



Anexo G-9: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 4.5s$.



Anexo G-10: Resultados para las definiciones propuestas de recentrado para los sistemas de un grado de libertad estudiados, para una excitación armónica con $T_{exc} = 5s$.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Pinos Salamea José Adrián**, con C.C: # 0926413139 autor/a del trabajo de titulación: **Evaluación de la capacidad de recentrado de sistemas de un grado de libertad con comportamiento histerético** previo a la obtención del título de **Ingeniero civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **6 de marzo de 2020**

f. _____

Nombre: **Pinos Salamea José Adrián**

C.C: **0926413139**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Evaluación de la capacidad de recentrado de sistemas de 1 grado de libertad con comportamiento histerético.		
AUTOR(ES)	José Adrián Pinos Salamea		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Jaime Francisco Hernández Barredo		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	6 de marzo de 2020	No. DE PÁGINAS:	235
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas de un grado de libertad, Histéresis bilineales, Capacidad de recentrado.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	<i>deformación residual, sistemas de un grado de libertad, capacidad de recentrado, Histéresis bilineal, sistemas de aislación sísmica, sismo de pedernales 2016, ASCE 7-10</i>		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>En este trabajo, la capacidad de recentrado de sistemas de un grado de libertad con comportamiento histerético es evaluada en términos de desplazamientos residuales normalizados. Para esto, se realizaron múltiples análisis historia-tiempo de sistemas de un grado de libertad con periodos elásticos fundamentales que van desde 0.5 a 5s y modelos bilineales con razones de rigidez post-elástica a rigidez elástica de 0 a 0.5, sometidos a 58 registros correspondientes a 29 estaciones acelerográficas, captados durante el sismo de pedernales 2016, y a un conjunto de excitaciones armónicas caracterizadas por su periodo.</p> <p>Los resultados fueron comparados con los obtenidos en el trabajo realizado por Kawashima y McRae (1997) y resultan consistentes. Adicionalmente el criterio para la capacidad de recentrado en sistemas de aislación sísmica, definido por la sociedad americana de ingenieros civiles (ASCE 7-16), es comparado con los resultados obtenidos en este estudio. Se concluye que el criterio de la ASCE 7-16 no es capaz de identificar de manera apropiada a los sistemas con poca capacidad de recentrado.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-998700621	E-mail: adrianps@live.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Ing. Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4-2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			