

# **DISEÑO DE PROTOTIPO MAGNÉTICO DISIPADOR PASIVO DE ENERGÍA SÍSMICA PARA AMORTIGUACIÓN DE ESTRUCTURAS**

**Donato Vallin González**

Universidad de Guadalajara, Autlán, México, [dvallin@cucsur.udg.mx](mailto:dvallin@cucsur.udg.mx)

**César Sedano de la Rosa**

Universidad de Guadalajara, Autlán, México, [cesar.sedano@cucsur.udg.mx](mailto:cesar.sedano@cucsur.udg.mx)

**Cruz Saucedo Navarro**

Universidad de Guadalajara, Autlán, México, [csaucedo@cucsur.udg.mx](mailto:csaucedo@cucsur.udg.mx)

**Francisco García Flores**

Universidad de Guadalajara, Autlán, México, [josefr@cucsur.udg.mx](mailto:josefr@cucsur.udg.mx)

**Alfredo Luna Soto**

Universidad de Guadalajara, Autlán, México, [alfred@cucsur.udg.mx](mailto:alfred@cucsur.udg.mx)

**Jorge Arturo Pelayo López**

Universidad de Guadalajara, Autlán, México, [jorgep@cucsur.udg.mx](mailto:jorgep@cucsur.udg.mx)

## **RESUMEN**

El objetivo general de esta investigación es diseñar y fabricar un prototipo magnético disipador pasivo de energía sísmica, capaz de disminuir la vibración mecánica indeseada de una estructura durante un terremoto. Para lograr el objetivo propuesto, se diseñó un prototipo, en el cual se aprovechan los fenómenos de fricción de Coulomb (fricción en seco) y el amortiguamiento magnético resultante de la circulación de corrientes de Foucault (corrientes parásitas) a través de un conductor; complementándose ambos fenómenos para disipar energía sísmica por medio de calor.

La hipótesis formulada del hibridismo entre los fenómenos de fricción en seco y el amortiguamiento magnético, la curva histerética para fricción en seco se verá mejorada encerrando una área mayor dentro del ciclo de histéresis generado, incrementándose la energía disipada, indicando la ventaja que se puede lograr al combinar ambos fenómenos, para la disipación de energía sísmica de manera mejorada.

**Palabras clave:** Disipador, energía sísmica, amortiguamiento, histéresis.

## **ABSTRACT**

The general objective in this investigation is to design and manufactures a passive seismic damper prototype, able to diminish the vibration mechanical of a structure during an earthquake. To achieve the proposed objective, a prototype was designed, in which take advantage the phenomena of Coulomb friction and the reduction magnetic resultant of the circulation of currents of Foucault (Eddy's current) through a driver; being supplemented both phenomena to dissipate seismic energy by means of heat.

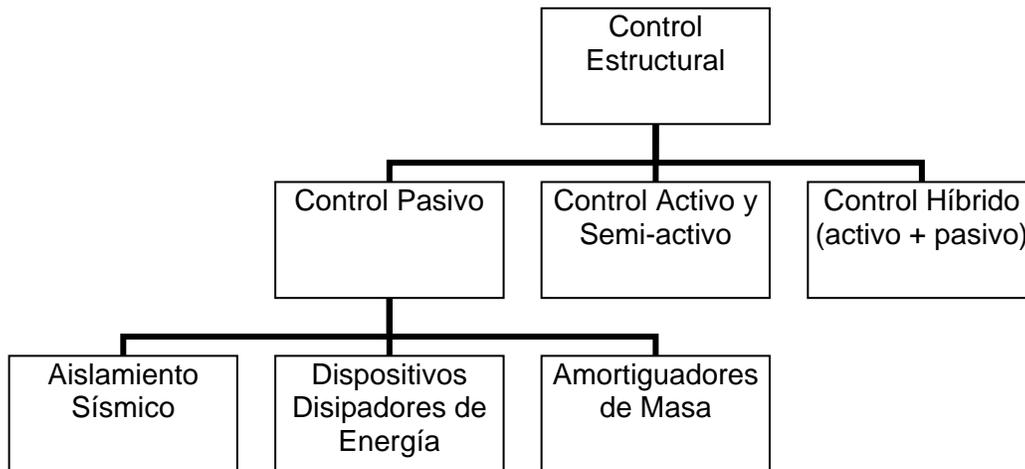
The formulated hypothesis when making the hybridism among the phenomena of Coulomb friction and the magnetic damping, the hysteretic curve for friction will be improved containing a bigger area inside the cycle of generated hysteresis, being increased the dissipated energy, indicating the advantage that you can be able when combining both phenomena for the dissipation of seismic energy.

**Keywords:** Disipators, seismic energy, damping, hysteresis.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de protección estructural estudiados por el control estructural son clasificados en tres grupos principales.

El sistema de control pasivo consiste incorporar dispositivos pasivos (no impulsados y no inteligentes) en la estructura, donde el movimiento es controlado, para modificar parámetros dinámicos (básicamente amortiguación y rigidez) para reducir su respuesta. El grupo descrito en la figura 1 puede ser ampliamente dividido en tres grupos: aislamientos sísmicos, disipadores de energía y amortiguadores de masa (De la Cruz, 2003).



**Figura 1: Sistemas de Control Estructural**

La principal función de los dispositivos de disipación de energía sísmica pasivos, es el de absorber o desviar parte de la energía sísmica de entrada durante un movimiento sísmico, de esta manera se reduce la energía disipada por la estructura y por consecuencia se minimiza el daño estructural durante el movimiento sísmico. Estos elementos consisten en dispositivos relativamente pequeños instalados en edificios y otras construcciones para disipar energía sísmica por medio de calor, se localizan generalmente entre la estructura principal y un sistema de abrazaderas.

Los dispositivos se encuentran en estado pasivo y así se mantiene hasta que se presenta un desplazamiento muy pequeño por la estructura, mientras este desplazamiento no proporcione la fuerza suficiente para superar la fuerza estática del disipador de energía, éste sólo agrega rigidez a la estructura y la velocidad dentro del dispositivo se mantiene igual a cero. Por otro lado si el desplazamiento de la estructura es bastante grande, el dispositivo entra en estado de deslizamiento, durante este estado es cuando el dispositivo de fricción pasivo disipa la energía de entrada en la estructura.

## 2. TECNOLOGÍA DE DISEÑO

Los dispositivos de fricción pasivos están basados en el principio de la fricción de Coulomb, para disipar la energía sísmica de una estructura y transformarla de manera irreversible en calor. Cuando una superficie se desliza a lo largo de otra, la fricción genera calor. La cantidad de energía emitida depende del tipo de materiales que se deslizan entre sí, la textura de la superficie, y el área de la superficie. Estos factores hacen el coeficiente de fricción  $\mu$ . El otro componente de la fuerza de fricción es la fuerza que sujeta a las superficies en contacto  $N$ . La energía disipada es reflejada en la forma de la curva de histéresis que el dispositivo produce, donde el área que encierra la curva es la energía total disipada por el sistema. El rol de un disipador de energía pasivo es el de incrementar el amortiguamiento histerético de la estructura. En donde la relación de energía sísmica de entrada es igual a la suma de la energía cinética en la estructura, más la energía de tensión en la estructura, más la energía del amortiguamiento histerético. Este dispositivo propuesto tiene la finalidad de disminuir la vibración mecánica de

las estructuras evitando que las mismas incurrieren en rangos inelásticos y fallen durante un movimiento sísmico, en la figura 2 se muestra el ensamble final del prototipo propuesto.

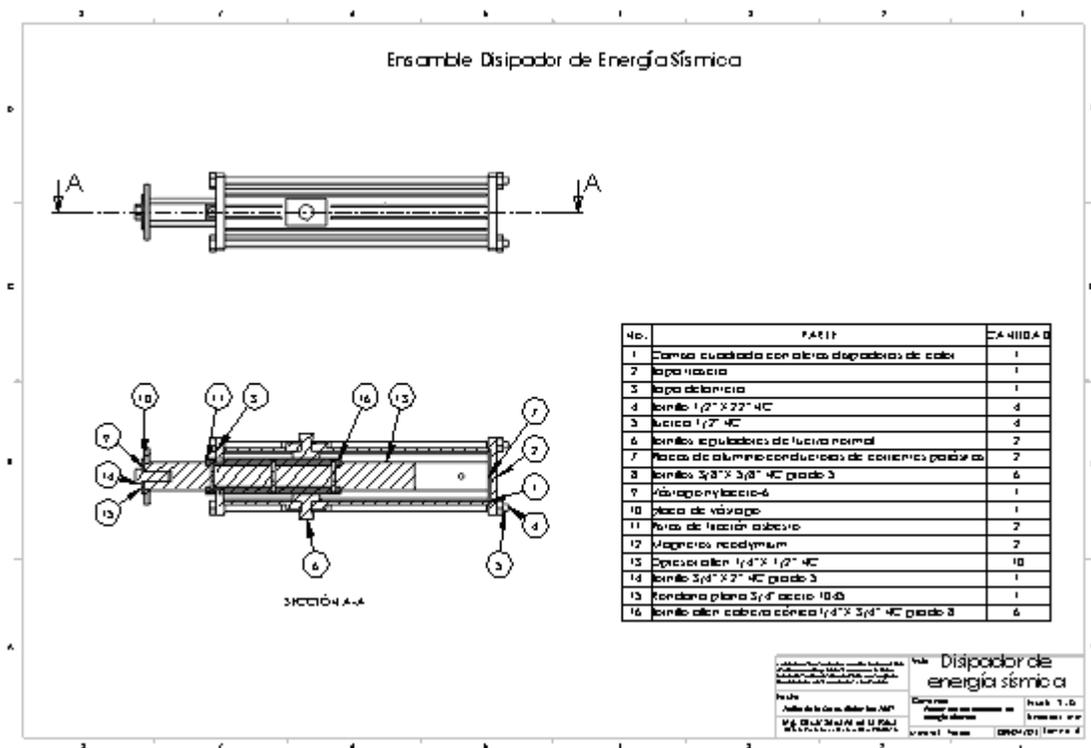


Figura 2: Disipador de energía sísmica propuesto

### 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para realizar el análisis de resultados fue necesario hacer el comparativo del dispositivo trabajando a fricción pura y a fricción+magnetismo, la experimentación se realizó con un dinamómetro con rango de 0 a 110 libras marca Rebüre para efectuar las mediciones de fuerza de entrada, también se utilizó un torquímetro de flexión con rango de 0±100 pie-libra marca Craftsman para calibrar el torque de los tornillos reguladores de fuerza normal, como se muestra en la figura 3.



Figura 3: Calibración de apriete de tornillos reguladores

En la obtención de resultados de la investigación se calibraron los tornillos reguladores de fuerza normal a un apriete de 2 pie-libra, y se encuentran reflejados en los siguientes puntos:

### a) MODELO MATEMÁTICO Y SELECCIÓN DE VARIABLES

De la ecuación para calcular la energía disipada por fricción, obtenemos:  $\Delta U = 4\mu_k NX$ , como  $F = \mu_k N$ , sustituimos esta fuerza en la ecuación y tenemos que:  $\Delta U = 4FX$ , como el análisis lo haremos reflejado en  $\frac{1}{4}$  de ciclo, la ecuación se convierte en:  $\Delta U = FX$ , escogiendo a:

$F$  = Variable independiente,

$X$  = Variable dependiente, tenemos finalmente que:  $X = \frac{\Delta U}{F}$

### b) DETERMINACIÓN DE LA PRECISIÓN Y SELECCIÓN DE APARATOS DE MEDICIÓN

Para la realización de estas pruebas, se utilizó un dinamómetro con rango de 0 a 110 libras marca Rebüre, para efectuar las mediciones de fuerza de entrada, también se utilizó un flexómetro con rango de 0 a 3 metros marca Truper para efectuar las mediciones del desplazamiento del vástago.

Dinamómetro:

marca: Rebüre  
rango: 0-110 lb  
mínima división: 2 lb  
incertidumbre:  $dF = 0.5(2lb) = \pm 1lb$

Flexómetro:

marca: Truper  
rango: 0-3 m  
mínima división: 1 mm  
incertidumbre:  $dx = 0.5(1mm) = \pm 0.5mm = \pm 1.64 \times 10^{-3} pie$

### c) PROGRAMA DE MEDICIONES

En la tabla 1 se muestran los resultados de las mediciones efectuadas en el prototipo, la fuerza de entrada en libras, contra su respectivo desplazamiento en pies.

### d) TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

El tratamiento estadístico empleado, es la media aritmética por el método simple, de los valores sombreados en la tabla que se presenta a continuación (tabla 1) el cuadro de mediciones presentado antes.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

Donde :

$\bar{x} \rightarrow$  Media aritmética

$\sum x \rightarrow$  Sumatoria de datos

$N \rightarrow$  Total de datos

$$\bar{x} = \frac{97 + 79 + 88 + 75 + 92}{5} = 86.2$$

$$\bar{x}_1 = \frac{95 + 78 + 88 + 75 + 93}{5} = 85.8$$

**Tabla 1: Resultados de mediciones de fuerzas de entrada**

CORRIDA 1		CORRIDA 2		CORRIDA 3		CORRIDA 4		CORRIDA 5	
X (pie)	F (lb)								
0	5.0	0	5.0	0	5.0	0	5.0	0	5.0
0	10.0	0	10.0	0	10.0	0	10.0	0	10.0
0	15.0	0	15.0	0	15.0	0	15.0	0	15.0
0	20.0	0	20.0	0	20.0	0	20.0	0	20.0
0	25.0	0	25.0	0	25.0	0	25.0	0	25.0
0	30.0	0	30.0	0	30.0	0	30.0	0	30.0
0	35.0	0	35.0	0	35.0	0	35.0	0	35.0
0	40.0	0	40.0	0	40.0	0	40.0	0	40.0
0	45.0	0	45.0	0	45.0	0	45.0	0	45.0
0	50.0	0	50.0	0	50.0	0	50.0	0	50.0
0	55.0	0	55.0	0	55.0	0	55.0	0	55.0
0	60.0	0	60.0	0	60.0	0	60.0	0	60.0
0	65.0	0	65.0	0	65.0	0	65.0	0	65.0
0	70.0	0	70.0	0	70.0	0	70.0	0	70.0
0	75.0	0	75.0	0	75.0	0	75.0	0	75.0
0	80.0	0	79.0	0	80.0	0.02	75.0	0	80.0
0	85.0	0.02	78.0	0	85.0	0.04	75.0	0	85.0
0	90.0	0.04	78.0	0	88.0	0.06	75.0	0	90.0
0	95.0	0.06	78.0	0.02	88.0	0.08	75.0	0	92.0
0	97.0	0.08	78.0	0.04	88.0	0.1	75.0	0.02	93.0
0.02	95.0	0.1	78.0	0.06	88.0	0.12	75.0	0.04	93.0
0.04	95.0	0.12	78.0	0.08	88.0	0.14	75.0	0.06	93.0
0.06	95.0	0.14	78.0	0.1	88.0	0.16	75.0	0.08	93.0
0.08	95.0	0.16	78.0	0.12	88.0	0.18	75.0	0.1	93.0
0.1	95.0	0.18	78.0	0.14	88.0	0.2	75.0	0.12	93.0
0.12	95.0	0.2	78.0	0.16	88.0	0.22	75.0	0.14	93.0
0.14	95.0	0.22	78.0	0.18	88.0	0.24	75.0	0.16	93.0
0.16	95.0	0.24	78.0	0.2	88.0	0.26	75.0	0.18	93.0
0.18	95.0	0.26	78.0	0.22	88.0	0.28	75.0	0.2	93.0
0.2	95.0	0.28	78.0	0.24	88.0	0.3	75.0	0.22	93.0
0.22	95.0	0.3	78.0	0.26	88.0	0.3	70.0	0.24	93.0
0.24	95.0	0.3	75.0	0.28	88.0	0.3	65.0	0.26	93.0
0.26	95.0	0.3	70.0	0.3	88.0	0.3	60.0	0.28	93.0
0.28	90.0	0.3	65.0	0.3	85.0	0.3	55.0	0.3	93.0
0.3	85.0	0.3	60.0	0.3	80.0	0.3	50.0	0.3	90.0
0.3	80.0	0.3	55.0	0.3	75.0	0.3	45.0	0.3	85.0
0.3	75.0	0.3	50.0	0.3	70.0	0.3	40.0	0.3	80.0
0.3	70.0	0.3	45.0	0.3	65.0	0.3	35.0	0.3	75.0
0.3	65.0	0.3	40.0	0.3	60.0	0.3	30.0	0.3	70.0
0.3	60.0	0.3	35.0	0.3	55.0	0.3	25.0	0.3	65.0
0.3	55.0	0.3	30.0	0.3	50.0	0.3	20.0	0.3	60.0
0.3	50.0	0.3	25.0	0.3	45.0	0.3	15.0	0.3	55.0
0.3	45.0	0.3	20.0	0.3	40.0	0.3	10.0	0.3	50.0
0.3	40.0	0.3	15.0	0.3	35.0	0.3	5.0	0.3	45.0
0.3	35.0	0.3	10.0	0.3	30.0	0.3	0.0	0.3	40.0
0.3	30.0	0.3	5.0	0.3	25.0			0.3	35.0
0.3	25.0	0.3	0.0	0.3	20.0			0.3	30.0
0.3	20.0			0.3	15.0			0.3	25.0
0.3	15.0			0.3	10.0			0.3	20.0
0.3	10.0			0.3	5.0			0.3	15.0
0.3	5.0			0.3	0.0			0.3	10.0
0.3	0.0							0.3	5.0
								0.3	0.0

#### 4. RESULTADOS

En la figura 4 se muestra la gráfica de fuerza contra desplazamiento producto de las mediciones efectuadas con los datos de la tabla 1.

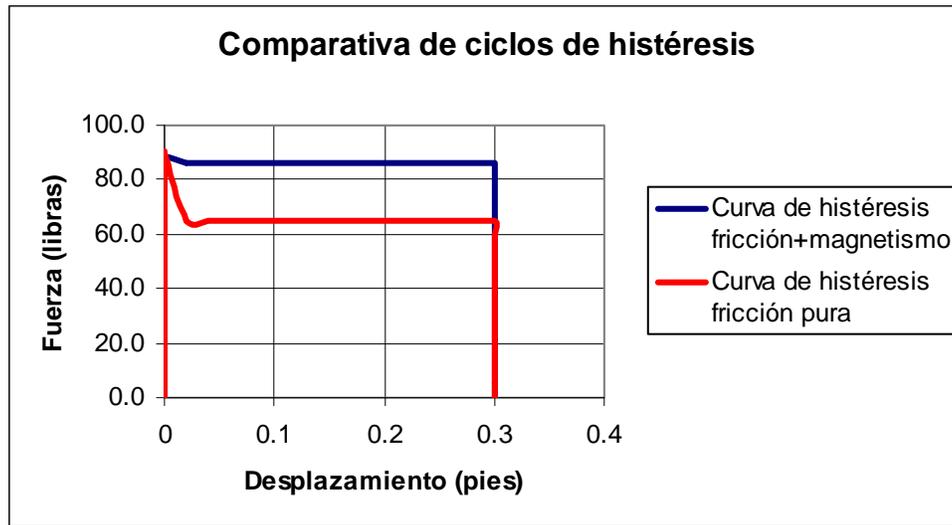


Figura 4: Comparativa de  $\frac{1}{4}$  de ciclo de histéresis por fricción

#### 5. CONCLUSIONES

Finalmente se logra concluir que la forma de la curva de histéresis se modifica al sumar la amortiguación magnética, incrementándose el área de disipación de energía. No obstante el objetivo propuesto fue logrado, personalmente esperaba que el área de aporte de disipación magnética fuese mayor y de forma distinta, pero se puede perfeccionar este modelo para seguir en la búsqueda de eficientar el dispositivo.

El prototipo de la figura 5 fue sometido a prácticas lineales para determinar gráficas donde se pudiera observar un parte muy resumida de lo que el prototipo puede hacer por cuestiones económicas y de tiempo, una evaluación con mayor profundidad se lograría experimentando el funcionamiento del dispositivo en una mesa vibradora para obtener resultados efectivos en cuanto al desempeño del prototipo.



Figura 5: Prototipo magnético disipador pasivo de energía sísmica fabricado

## **REFERENCIAS**

De la Cruz S. (2003). "Contribution to the assessment of the efficiency of friction dissipators for seismic protection of buildings", Ph.D. thesis, chapter 1.

### ***Autorización y Renuncia***

*Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en los procedimientos de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que está expresado en el escrito.*

### ***Authorization and Disclaimer***

*Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*