

## **EXPERIENCIAS CONSTRUCTIVAS SOBRE AISLADORES SÍSMICOS EN LA ESPE**

**Roberto Aguiar Falconí, Fernando Cachipuendo**

Centro de Investigaciones Científicas, CEINCI.  
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE  
Valle de los Chillos, Ecuador

### **RESUMEN**

En el Centro de Investigaciones Científicas de la ESPE, se empezó a construir aisladores elastoméricos en el 2010; cuando se analizaron en el laboratorio tres prototipos con bastante éxito; posteriormente en el 2012 ANDEC construyó un aislador de dimensiones considerables y entregó al CEINCI para su estudio; finalmente en el 2013 el segundo de los autores de este artículo ha construido un nuevo aislador. Todas estas experiencias constructivas se presentan en este artículo.

Se inicia con una reseña histórica de la construcción de estructuras con aisladores sísmicos en el mundo y en el Ecuador.

### **ABSTRACT**

At the Scientific Researches Center of ESPE, was began build elastomeric isolators in 2010; when they have tested in the laboratory three prototypes successfully; later in 2012 ANDEC built an isolator of considerable size and delivered in to the CEINCI for its study; finally in 2013 the second author of this report has constructed an new isolator. All these constructive experiences are presented in this report.

It begins with an historical overview of the constructions with seismic isolators in the world and in Ecuador.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Desde el principio de los tiempos los sismos han captado la atención y la preocupación de las personas y el interés por desarrollar sistemas que disminuyan la acción destructiva de los mismos.

Este interés se lo puede apreciar a lo largo de la historia y la aislación de las estructuras ha sido una de las soluciones que se ha encontrado para mitigar la acción sísmica y esto se lo puede apreciar en varias estructuras las cuales se muestra a continuación:

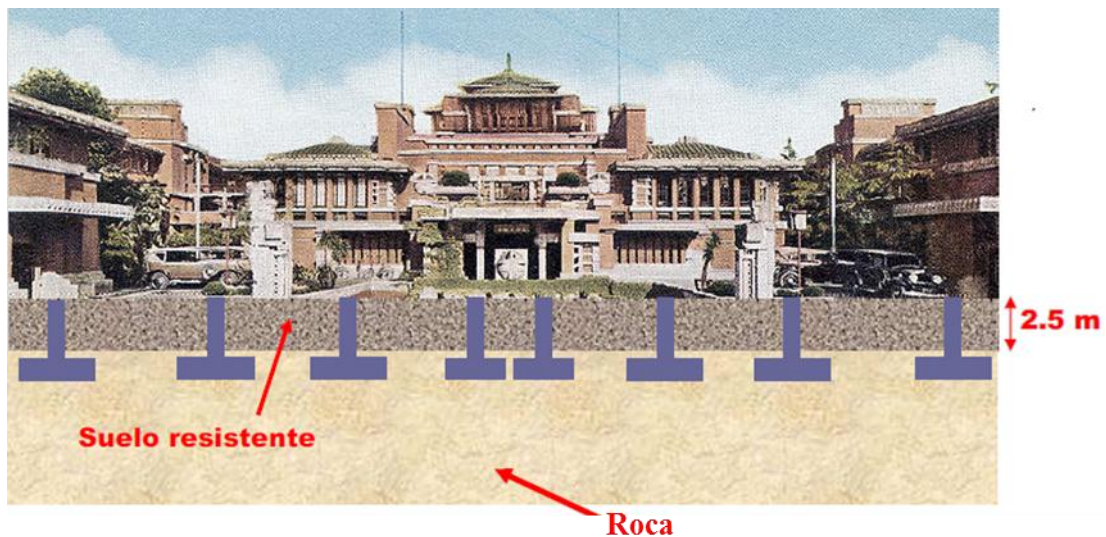
En la antigüedad encontramos el palacio del Rey Ciro el Grande cuya datación histórica es de 503 años A.C. esta estructura se encuentra aislada mediante un sistema de bloques deslizantes los cuales están unidos sin mortero (Figura 1).



**Figura 1** Tumba del Rey Ciro el Grande – Persia Pasargadae (503 A.C.)

A partir del final del siglo XIX y comienzos del siglo XX, los estudios por desarrollar mejores sistemas de protección sísmica se intensifican especialmente en Europa, Asia y Estados Unidos, desarrollando sistemas novedosos de disipación y aislamiento sísmico, como los Aisladores de base elastoméricos, FPS, deslizadores, disipadores de energía por fricción y fluido, masas concentradas etc., como ejemplo tenemos:

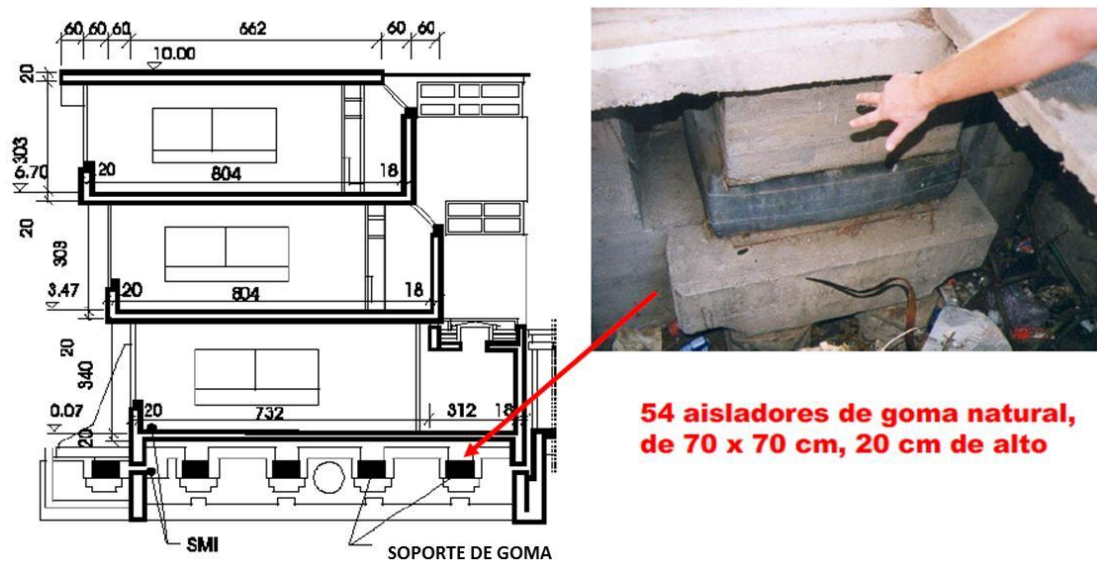
El Hotel Imperial de Tokio en Japón (1890 – 1923), (Figura 2).



**Figura 2** Pilares apoyados en roca evitando el suelo blando para reducir el impacto de la fuerza sísmica

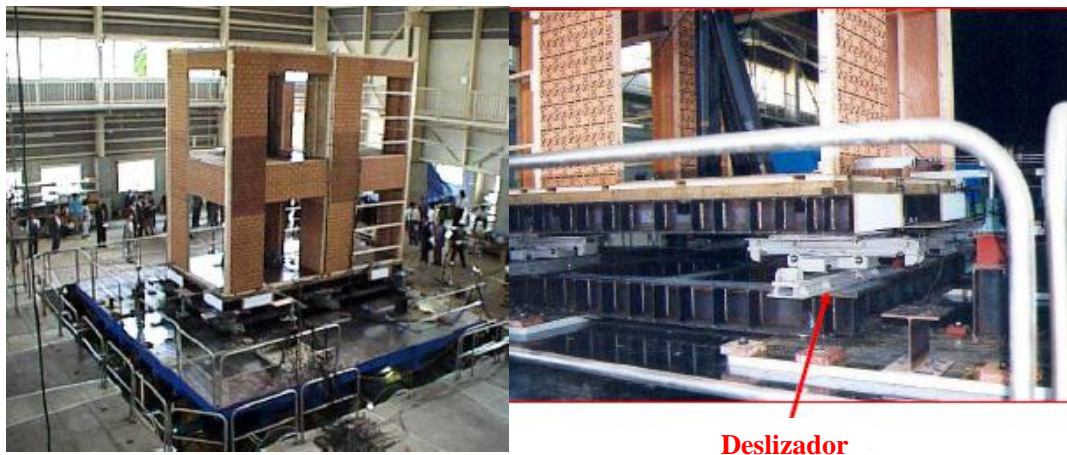
## Primer Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra y la Construcción

Escuela Pestalozzi, en Skopia – Macedonia 1969, (Figura 3).



**Figura 3** Primer edificio con aisladores de goma

Instituto de Investigación de Obras Públicas – Japón 1998, (Figura 4).



**Figura 4** Edificio con deslizadores

En el Ecuador se incursiona en el campo del asilamiento sísmico, con la construcción del puente los "Caras" en el 2007, considerado como el puente más largo del país con una longitud de 1980 m., se encuentra ubicado en la Provincia de Manabí, y une las poblaciones de Bahía de Caráquez y San Vicente; debido a que el puente se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico, se decidió apoyar el sistema de losa sobre aisladores sísmicos, los cuales consisten en elementos de última tecnología que permiten que las vigas y losas del puente soporten grandes desplazamientos, disipando la energía del sismo y disminuyendo notablemente las cargas laterales transmitidas a los elementos de cimentación, causando el menor daño posible y permitiendo el funcionamiento continuo del puente (Figura 5).

## Primer Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra y la Construcción

Se instalaron cuatro aisladores por pila, es decir dos a cada lado de cada tramo de losa. Dado que se cuenta con seis vigas que deben asentarse sobre dos puntos de apoyo, para unir las seis vigas fue necesario construir una viga de diafragma muy rígida, siendo ésta la que se apoya directamente sobre los aisladores (Figura 6).



**Figura 5** Aisladores de Base FPS (FRICTION PENDULUM SYSTEM)



**Figura 6** Instalación de Aisladores de Sísmicos

En el 2010 sobre el estuario del río Esmeraldas se construyeron cuatro puentes, los que permiten el acceso directo entre el sector de Tachina y la Ciudad de Esmeraldas, de los cuales en tres de ellos (Puente Norte 1, Puente Norte, Puente Sur), se incorporaron aisladores sísmicos tipo FPS (Figura 7).



**Figura 7** Puente Norte con Aisladores Elastoméricos FPS

## 2. PRIMERA EXPERIENCIA

En el 2010 el Ingeniero Marco Auqui, realiza el estudio de tres prototipos de Aisladores Elastoméricos, construidos con neopreno de buenas características y con una dureza shore 65  $\pm$  5, los mismos que fueron elaborados mediante vulcanizado y acoplado a las placas de acero dúctil con una goma especial que trabaja de forma eficiente al momento de sufrir fatiga.

De estos tres prototipos de aisladores elastoméricos se analizó primeramente cual fue el aporte que presentan estos, cuando se incorpora en su núcleo un perno pasante (Figura 8), perno macizo vulcanizado (Figura 11) y resorte (Figura 14), con esto se pretendió simular un amortiguamiento semejante o mejor que los aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo.

### Primer prototipo Aislador con Perno Pasante.

El prototipo contaba con las siguientes dimensiones: altura = 135mm, base = 140mm, espesor del neopreno exterior = 11mm, espesor del neopreno interior = 9mm, espesor de las láminas de acero interiores = 3mm, espesor de las placas de anclaje = 15mm, total láminas de neopreno = 8, total láminas de acero = 7.

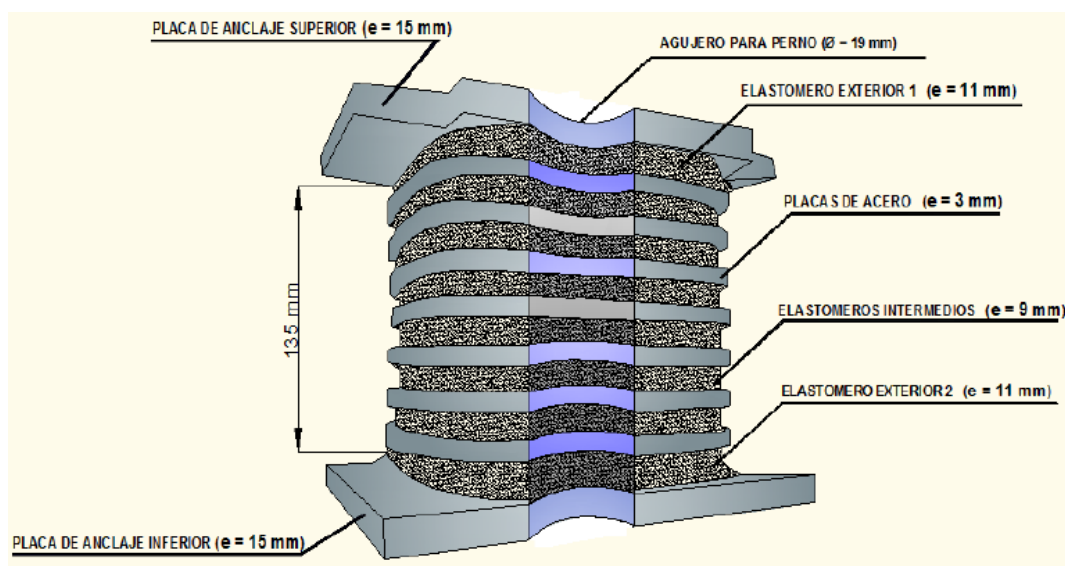
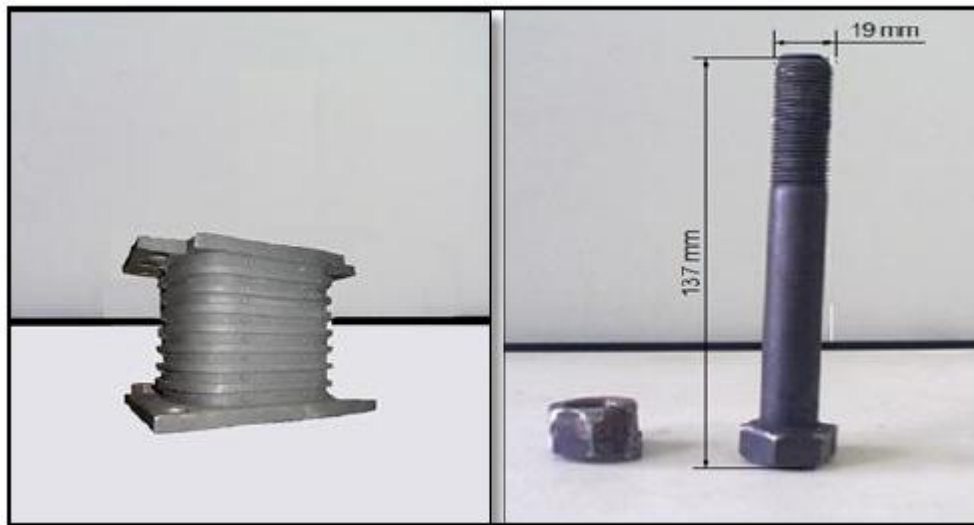


Figura 8 Esquema del Prototipo con perno pasante (Auqui, 2010)

El perno que se colocó en el núcleo del aislador, tenía un diámetro de 19mm y una altura de 137mm (Figura 9), el juego que este tenía era de 2mm; al momento de realizar el ensayo se presentó una resistencia a la deformación, esta resistencia generada por el perno no produjo daño alguno al Neopreno motivo por el cual se retiró el perno y se lo ensayo dejando un orificio de 21mm.



**Figura 9** Esquema del perno pasante (Auqui, 2010)

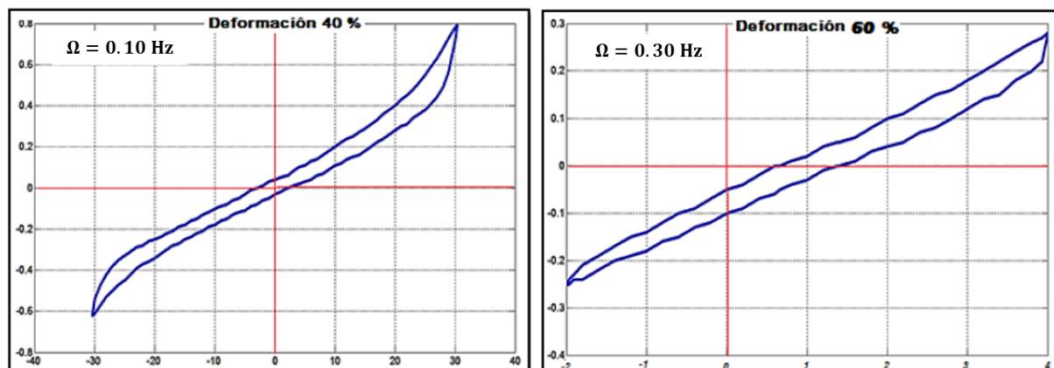
Los ensayos efectuados para este prototipo y para los demás fueron a corte directo, simulando sismos, mediante la aplicación de cargas variables con frecuencias desde los 0.05 Hz y desplazamientos desde el 10% hasta el 100%, tomando en cuenta que estos ensayos se los realizo en la máquina de ensayos universales y la restricción del pistón es de 76mm tomando a este valor como el 100%.

De los datos obtenidos en los ensayos se registraron:

- La relación fuerza – Desplazamiento mediante la curva de histéresis.
- Los bucles histéreticos o comportamiento no lineal obtenidos de la gráfica fuerza – desplazamiento para determinar el área promedio y la energía disipada por el aislador.
- Las fuerzas y desplazamientos máximos, relacionados con el voltaje tanto programado, como el observado en el lector digital de la máquina. (Auqui, 2010)

Los ensayos que se dio como válidos fueron aquellos en que los desplazamientos fueron mayores al 50% cuando se programaron frecuencias mayores de  $\Omega = 0.30$  Hz.

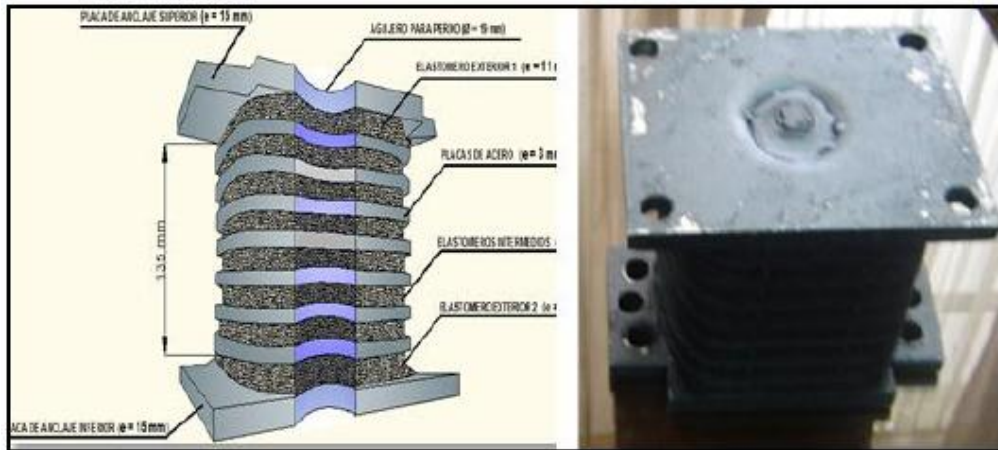
En la figura 10 se muestran las curvas de histéresis a frecuencias de 0.10Hz y 0.30Hz con sus respectivas deformaciones del 40% y 60%, en donde se puede apreciar la equidad de desplazamientos a frecuencias bajas y la inequidad de los mismos a frecuencias mayores.



**Figura 10** Curvas de Histéresis a frecuencias de 0,10 Hz y 0.30 Hz (Auqui, 2010)

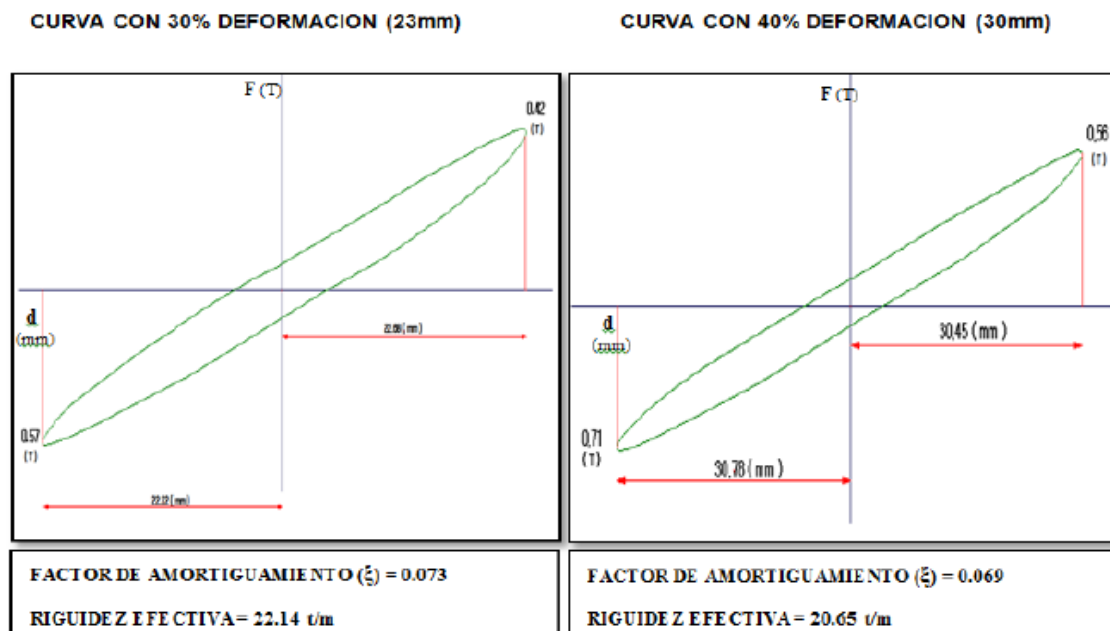
**Segundo prototipo Aislador con Perno Vulcanizado.**

En este prototipo se incluyó un perno macizo el cual se vulcanizó conjuntamente con las placas internas. Este planteamiento de vulcanizar el perno se lo tomo para analizar cuanta rigidez absorbe, al rigidizar el núcleo mediante un perno macizo de acero dúctil pues paralelamente se realizó las mejoras correspondientes a las características del neopreno, la adhesión caucho-metal, la rigidez tanto horizontal y vertical del mismo, y el amortiguamiento. El esquema del prototipo se detalla en la figura 11. Las dimensiones de este prototipo se mantuvieron igual que en el prototipo anterior.



**Figura 11** Prototipo con perno macizo vulcanizado (Auqui, 2010)

Los ensayos que se realizaron a este prototipo son los mismos que se detallaron en el prototipo anterior; las curvas de histéresis que se obtuvieron a frecuencias bajas y altas se las muestra en la figura 12 y figura 13 respectivamente.



**Figura 12** Curvas de histéresis con Frecuencia de  $\Omega = 0.10$  Hz. (Auqui, 2010)

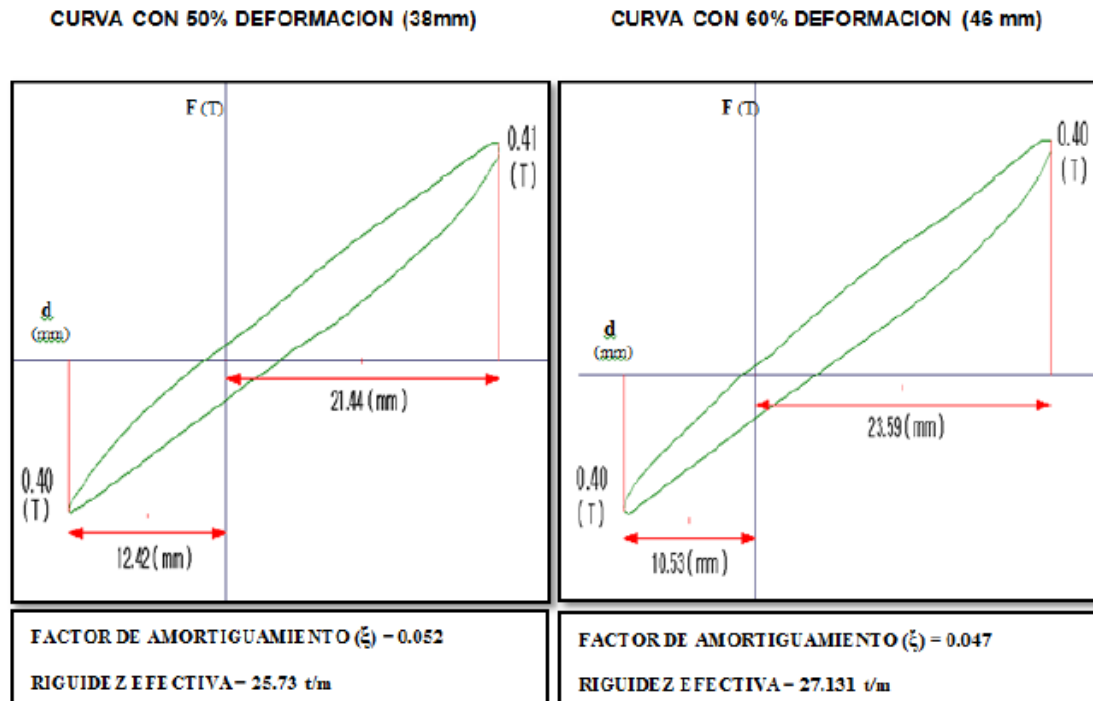


Figura 13 Curvas de histéresis con Frecuencia de  $\Omega = 0.30$  Hz. (Auqui, 2010)

### Tercer prototipo Aislador con Resorte en el Núcleo.

El tercer Prototipo de Aislador se construye con un resorte en el núcleo, con el fin de aprovechar la rigidez vertical que este brinda ante un análisis, según lo explica el Ing. Marco Auqui.

Este resorte está vulcanizado conjuntamente con las placas de acero internas, para que en los pasos del resorte al momento de generar fuerzas laterales este se rigidice más sin crear superficies vacías, también en los extremos del resorte se realizó unas guías para evitar un desplazamiento del mismo al momento de ensayarlo y vulcanizarlo. (Auqui, 2010)

El resorte vulcanizado en el núcleo tiene un diámetro de 5cm, y el paso es de 1cm, la función de este, es generar un núcleo macizo que rigidice y aisle mayor energía al momento de aplicar una carga lateral, el resto de las dimensiones se mantienen igual que las dimensiones de los 2 prototipos anteriores. En la figura 14 se puede apreciar el prototipo listo para ser ensayado y el resorte colocado en su núcleo.

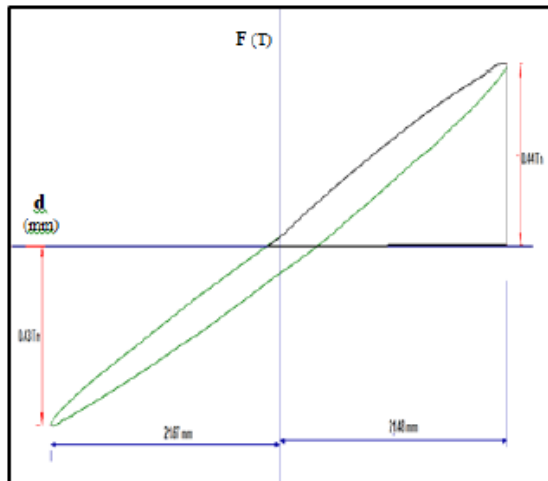


Figura 14 Prototipo con resorte en el Núcleo. (Auqui, 2010)



Al igual que en el prototipo anterior en la figura 15 y 16 se muestran los diagramas de histéresis que se obtuvieron en los ensayos a una frecuencia de  $\Omega = 0.10$  Hz y  $\Omega = 0.30$  Hz, con sus respectivos desplazamientos tomados a 30% y 40% de deformación para la primera frecuencia y al 50% y 60% de deformación para la segunda frecuencia.

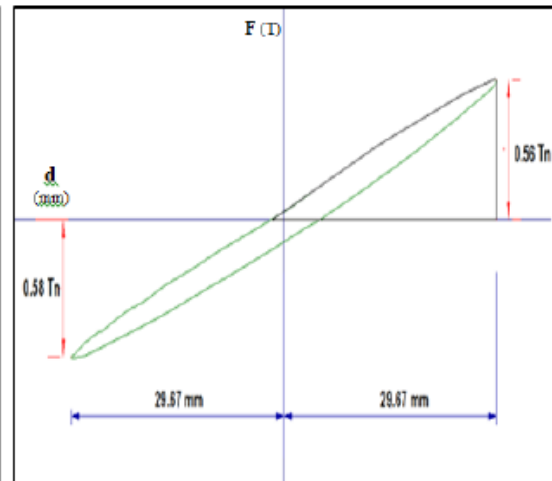
**CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO ( $\xi$ ) = 0.051

RIGIDEZ EFECTIVA = 20.075 t/m

**CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)**

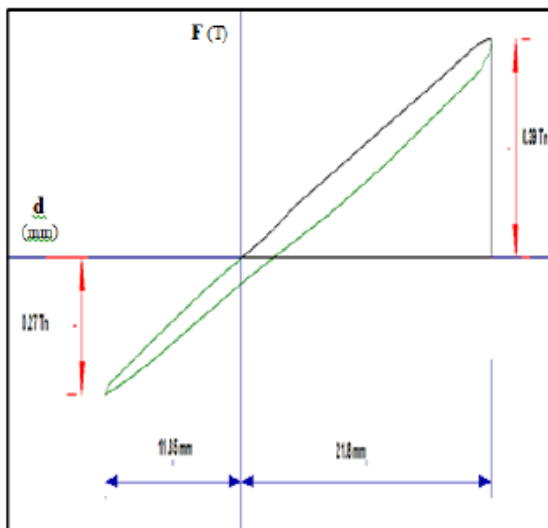


FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO ( $\xi$ ) = 0.053

RIGIDEZ EFECTIVA = 19.11 t/m

**Figura 15** Curvas de histéresis con Frecuencia de  $\Omega = 0.10$  Hz. (Auqui, 2010)

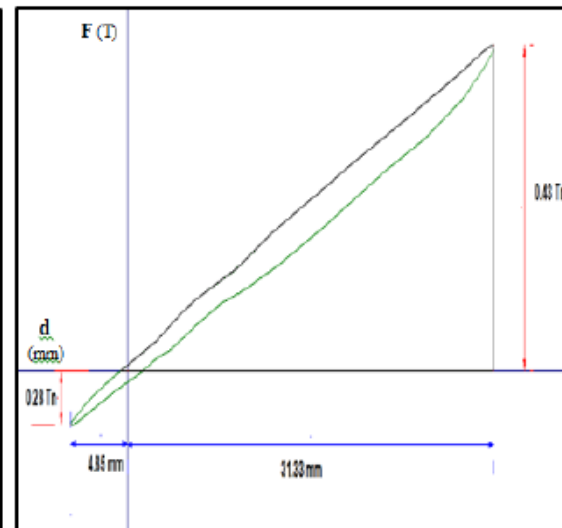
**CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO ( $\xi$ ) = 0.031

RIGIDEZ EFECTIVA = 20.21 t/m

**CURVA CON 60% DEFORMACION (46 mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO ( $\xi$ ) = 0.015

RIGIDEZ EFECTIVA = 35.47 t/m

**Figura 16** Curvas de histéresis con Frecuencia de  $\Omega = 0.30$  Hz. (Auqui, 2010)

De los 3 prototipos analizados el que mejor comportamiento presento fue el prototipo construido con perno macizo vulcanizado en el núcleo, que en este caso presento una rigidez horizontal ( $K_h$ ) de 22.38 t/m y un factor de amortiguamiento ( $\xi$ ) de 6%. (Auqui, 2010)

### **3. SEGUNDA EXPERIENCIA**

En el 2012 la empresa ANDEC construyó un aislador Elastomérico (Figura 17), el cual se lo entregó a la ESPE con fines académicos, para ser estudiado.



**Figura 17** Aislador elastomérico proporcionado por ANDEC antes de ser Ensayado

Este aislador fue construido con placas de acero grado A36 con un  $F_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$  y con láminas de caucho Natural de dureza Shore A60, exteriormente las dimensiones del Aislador son: placas de anclaje superior e inferior = 50cm x 50cm x 1cm, altura total del aislador = 13cm, diámetro = 39cm.

Al igual que los Prototipos este Aislador se intentó probar usando la máquina de ensayos universales del laboratorio de Ensayos de Materiales del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, para este fin se tuvo que diseñar un acople (figura 18), para poder montar el Aislador en la máquina.



**Figura 18** Acople y Aislador elastomérico montados en la Máquina de Ensayos Universales.

## Primer Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra y la Construcción

Al contrario de los prototipos, con este Aislador no se pudo obtener ningún resultado, debido a que antes de empezar el ensayo, este se desprendió de las bases a causa de su propio peso como se ve en la figura 19.



**Figura 19** Falla presentada en el Aislador antes de ser ensayado.

Al desmontar el aislador y examinarlo se pudo determinar su composición interna, en la cual se encontró que en las placas de los extremos se encontraban soldados tres pernos de 2 pulgadas de longitud (figura 20), los cuales se asume fueron colocados para mejorar la adherencia entre las placas de anclaje y el núcleo del aislador.



**Figura 20** Placa de Anclaje con pernos para mejorar la adherencia con el caucho.

Al hacer algunas incisiones en el núcleo del aislador se encontró que este estaba conformado por tres láminas metálicas de refuerzo de espesor igual a 3mm y por cuatro capas de caucho cuyos espesores variaban desde los 0.6 cm a los 4.4cm, en la figura 21 se puede apreciar las capas de acero y caucho en el núcleo.

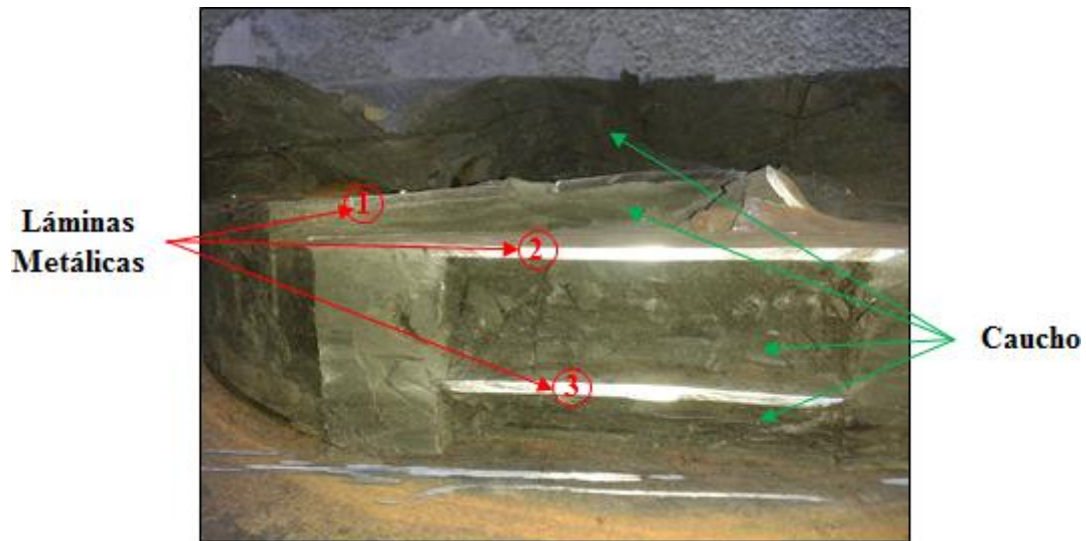


Figura 21 Distribución de caucho y acero en el Aislador.

Como se puede ver en la figura 21, la distribución de las láminas de refuerzo no es simétrica y como ya se había indicado el espesor de las capas de caucho es variable, se presenta un esquema interno del aislador en la figura 22; en las láminas metálicas también se encontró perforaciones circulares en el centro y a los bordes de estas (figura 23), cuyo diámetro es de 6cm, estos agujeros se hicieron presuntamente para lograr una mejor adherencia del caucho con las láminas metálicas; además entre las láminas 1 y 2 se encontró una varilla lisa  $\Phi 25\text{mm}$ , y longitud 18mm (figura 24), la cual se encontraba soldada por lo que se presume que servía de separación entre las 2 placas.

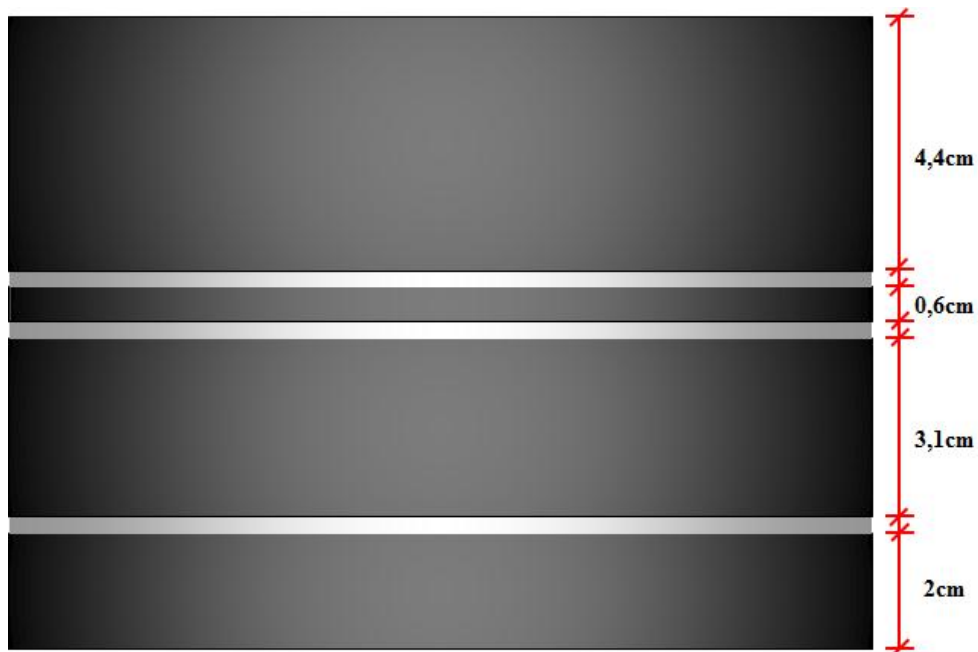


Figura 22 Esquema de la parte interna del aislador.



**Figura 23** Orificios en las placas de acero internas del Aislador.



**Figura 24** Varilla utilizada como separador entre las láminas de refuerzo 1 y 2.

Otra anomalía que se pudo observar es la rotura de la placa 2 como se puede ver en la figura 25, esta rotura se pudo haber dado en la vulcanización, al momento de aplicar presión

sobre el aislador. La rotura se presenta en el sitio donde se encuentra el perno utilizado como anclaje.



**Figura 25** Rotura presente en la lámina 2 de refuerzo.

El recubrimiento exterior de las láminas varía, para la placa de refuerzo 1 el recubrimiento es de 2 cm., y para las dos laminas restantes es de 1cm (figura 26).



**Lamina 1**

**Laminas 2 y 3**

**Figura 26** Recubrimiento de las láminas de refuerzo.

## Primer Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra y la Construcción

A pesar de no obtener datos de su comportamiento dinámico, este Aislador proporcionó información muy valiosa que sirvió para determinar la falla producida antes del ensayo.

La principal causa que produjo la falla del aislador se debe a la mala vulcanización, producto de la corrosión en las placas metálicas, como se lo ve en la figura 20, al tener la presencia de óxido se dificulta la adherencia del caucho con el acero, provocando que solo quede unido en ciertas partes, esto provocó el desprendimiento de las placas de apoyo al momento de montar el aislador en la máquina de ensayos universales.

En conclusión y después de analizar y documentar gráficamente las anomalías en el aislador, es muy importante llevar un control estricto al momento de fabricar un sistema de aislación, de lo contrario se pueden presentar fallas como las presentadas en este aislador.

### 4. TERCERA EXPERIENCIA

El tercer Aislador se decidió construir a raíz del fracaso que se tuvo con el Aislador de ANDEC. Para la construcción de este, se tomó en cuenta los errores encontrados en el anterior y se los corrigió.

La estructura interna se compone por 15 láminas de caucho, 14 de 5mm y una de 2mm de espesor, 14 placas metálicas perforadas con 6 agujeros de diámetro igual a 10mm y una varilla lisa en el centro de  $\Phi 10\text{mm}$  (figura 27), el recubrimiento exterior es de 5mm, las placas de anclaje o extremas son de 10mm de espesor.



**Figura 27** Composición de la estructura interna del aislador.

La goma utilizada en este aislador es un elastómero o caucho sintético conocido como polibutadieno, cuyas características importantes son una alta elasticidad y gran unión con los metales, razones por las cuales resultaba perfecto para utilizarlo en el aislador, la dureza que presenta es una dureza Shore A60, el módulo volumétrico (K) es igual a  $20400 \text{ Kg/cm}^2$ , su módulo de corte (G) =  $7.14 \text{ Kg/cm}^2$ , las láminas metálicas de refuerzo son de grado A36 cuyo  $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ .

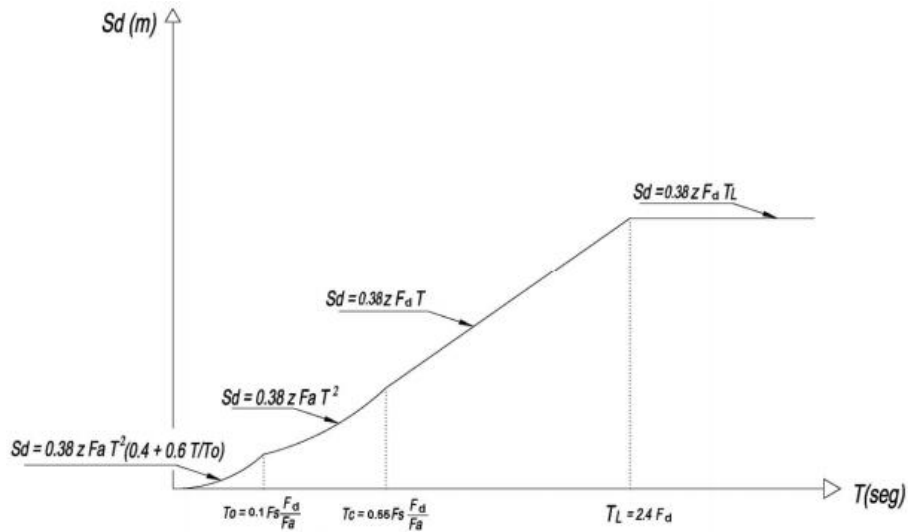
Las dimensiones de este aislador fueron establecidas en base a un diseño, cuyos parámetros empleados se los muestra a continuación:

- $P_u$  = 25.55 T (carga axial factorizada que actúa sobre el aislador)
- $D_D$  = 11 cm (desplazamiento de Diseño).
- T = 2.5 seg. (periodo del aislador)
- $\beta_{\text{eff}}$  = 15 % (amortiguamiento efectivo)
- $\theta$  = 0.005 rad (capacidad de rotación del aislador)

**Primer Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra y la Construcción**

D = 39 cm (diámetro del núcleo del Aislador)  
 T<sub>r</sub> = 7.2 cm (altura Total de las Gomas)

Para la obtención del desplazamiento de diseño se utilizó el espectro de desplazamientos de la NEC 11 (figura 28) tomando en cuenta ciertas consideraciones como: Zona sísmica = I, el tipo de suelo = A y la aceleración esperada en roca z = 0.15.



**Figura 28** Espectro sísmico elástico de desplazamientos para diseño. ( **Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011**)

El espesor de las láminas de caucho y de las láminas de refuerzo se establecieron en función del aislador anterior con el fin de mantener las dimensiones, para aprovechar el acople diseñado y realizar el ensayo en la máquina de ensayos universales. Estos espesores fueron comprobados de acuerdo a un proceso como se muestra a continuación.

1. Cálculo del área reducida del Aislador (A<sub>r</sub>).

$$A = \pi \frac{D^2}{4} = 1194.59 \text{ cm}^2 \quad (4.1)$$

$$A_r = \frac{D^2}{4} (\delta - \sin \delta) \quad (4.2)$$

$$\delta = 2 \cos^{-1} \left( \frac{\Delta}{D} \right) = 2 \cos^{-1} \left( \frac{11}{39} \right) = 2.00002 \quad (4.3)$$

$$A_r = \frac{(39)^2}{4} (2.00002 - \sin(2.00002)) = 747.23 \text{ cm}^2$$



2. Cálculo del factor de forma (S).

$$S = \frac{D}{4t} = \frac{39}{4 * 0.5} = 19.5 \quad (4.4)$$

3. Cálculo de los coeficientes  $f_1$  y  $f_2$ .

Estos coeficientes se los obtiene de las tablas que se muestra a continuación:

**Tabla** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-1: **Coefficiente  $f_1$  para aisladores circulares. (Constantinou, 2011)**

S	K/G			
	2000	4000	6000	$\infty$
5	1.02	1.01	1.01	1
7.5	1.05	1.03	1.02	1
10	1.1	1.05	1.03	1
12.5	1.15	1.08	1.05	1
15	1.2	1.11	1.07	1
17.5	1.27	1.14	1.1	1
20	1.34	1.18	1.13	1
22.5	1.41	1.23	1.16	1
25	1.49	1.27	1.19	1
27.5	1.57	1.32	1.23	1
30	1.66	1.37	1.26	1

**Tabla** ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-2: **Coefficiente  $f_2$  para Aisladores circulares. (Constantinou, 2011)**

S	K/G			
	2000	4000	6000	$\infty$
5	0.37	0.37	0.37	0.37
7.5	0.36	0.36	0.37	0.37
10	0.34	0.36	0.36	0.37
12.5	0.33	0.35	0.36	0.37
15	0.31	0.34	0.35	0.37
17.5	0.3	0.33	0.34	0.37
20	0.28	0.32	0.33	0.37
22.5	0.27	0.31	0.32	0.37
25	0.25	0.29	0.32	0.37
27.5	0.24	0.28	0.31	0.37
30	0.23	0.27	0.3	0.37

Con el factor de forma **S** y el valor de **K** (20400 Kg/cm<sup>2</sup>  $\approx$  2000MPa) se ingresan en las tablas y se obtiene los valores respectivos para cada coeficiente, en este caso como el

**Primer Congreso Internacional de  
Ciencias de la Tierra y la Construcción**

valor de **S** no se encuentra en las tablas se hace una interpolación con los valores cercanos y se obtiene los coeficientes.

$$f_1 = 1.326$$

$$f_2 = 0.284$$

4. Cálculo de deformaciones por compresión ( $\gamma_c$ ), rotación ( $\gamma_r$ ) y desplazamiento lateral ( $\gamma_s$ )

$$\gamma_c = \frac{P}{AGS} \cdot f_1 \quad (4.5)$$

$$\gamma_c = \frac{25550}{747.23 * 7.14 * 19.5} \cdot 1.326$$

$$\gamma_c = 0.325$$

$$\gamma_r = \frac{L^2 \theta}{t T_r} \cdot f_2 \quad (4.6)$$

$$\gamma_r = \frac{(39)^2 (0.005)}{(0.5)(7.2)} \cdot 0.284$$

$$\gamma_r = 0.599$$

$$\gamma_s = \frac{\Delta}{T_r} \quad (4.7)$$

$$\gamma_s = \frac{11}{7.2}$$

$$\gamma_s = 1.527$$

5. Cálculo de desplazamiento crítico.

$$D_{Cr} = \frac{Pu * B}{K_{eff} * h + Pu} \quad (4.8)$$

$$k_p = \frac{G * A}{T_r} \quad (\text{Rigidez postfluencia}) \quad (4.9)$$

$$k_p = 1182.99 \text{ Kg/cm}$$

$$Q = \frac{\pi \beta_{eff} k_p D_D^2}{(2 - \pi \beta_{eff}) D_D - 2 D_y} \quad (\text{Fuerza Característica}) \quad (4.10)$$

$$Q = \frac{\pi(0.15)(1182.99)(11)^2}{(2 - \pi(0.15)) * 11 - 2(2.5)}$$

$$Q = 5708.53 \text{ Kg}$$

$$K_{\text{eff}} = k_p + \frac{Q}{D} \quad (4.11)$$

$$K_{\text{eff}} = 1182.99 + \frac{5708.53}{11}$$

$$K_{\text{eff}} = 1701.95 \text{ Kg/cm}$$

$$D_{\text{Cr}} = \frac{25550 * (39)}{1701.95 * 10 + 25550}$$

$$D_{\text{Cr}} = 23.41 \text{ cm}$$

6. Cálculo de espesores de las láminas de refuerzo.

$$t_s \geq \frac{3t}{1.08F_y \frac{A}{P_u} - 2} \quad (4.12)$$

$$t_s \geq \frac{3(0.5)}{1.08 * (4200) \frac{747.23}{25550} - 2}$$

$$t_s \geq 0.01148 \text{ cm}$$

7. Comprobación para los diferentes estados de carga.

Cargas de Servicio.

$$\frac{P_u}{A_r G S} \cdot f_1 \leq 3.5 \quad (4.13)$$

$$0.32540 \leq 3.5 \quad \text{ok!!}$$

$$\gamma_c + \gamma_s + \gamma_r \leq 6 \quad (4.14)$$

$$2.451 \leq 6 \quad \text{ok!!}$$

Sismo de Diseño

$$\gamma_c + \gamma_s + 0.5\gamma_r \leq 7 \quad (4.15)$$

$$2.1515 \leq 7 \quad \text{ok!!}$$

Sismo Máximo Considerado

$$\gamma_c + \gamma_s + 0.25\gamma_r \leq 9 \quad (4.16)$$

$$2.0017 \leq 9 \quad \text{ok!!}$$

## Primer Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra y la Construcción

Una vez realizado el diseño y comprobado las dimensiones establecidas, se procedió a fabricar el aislador, a continuación se muestra el proceso que se llevó a cabo para su construcción.

1. Alineación y perforación de las placas base (figura 29).



**Figura 29** Placas base.

2. Corte de las láminas de caucho (figura 30).



**Figura 30** Láminas de caucho.

3. Preparación de las láminas de metálicas de refuerzo (figura 31).



**Figura 31** Perforación de las láminas de refuerzo y colocación de una pega especial para el vulcanizado.

4. Preparación de las placas base para el vulcanizado (figura 32).



**Figura 32** Limpieza de las placas base y colocación de una pega especial para el vulcanizado en las bases y el molde.

5. Armado del Núcleo del aislador (figura 33).



**Figura 33** Colocación de las láminas de caucho y las placas de refuerzo alternadamente.

6. Preparación del aislador para el vulcanizado (figura 34).



**Figura 34** Colocación del molde exterior y la capa de recubrimiento / colocación y fijación de la placa superior del aislador.

7. Vulcanizado del aislador (figura 35).



**Figura 35** Aislador colocado en la prensa de vulcanizado / excedentes de caucho producto del vulcanizado.

8. Aislador terminado (figura 36).



**Figura 36** Aislador terminado.

A pesar de que este aislador fue construido en base a un diseño y tomando las debidas precauciones al momento de ensamblarlo, no ha sido ensayado aún, por la falta de un equipo adecuado para este fin; la máquina de ensayos universales no proporciona un entorno adecuado, puede simular las cargas laterales y las frecuencias de un sismo a las que estaría sujeto el aislador, pero no puede proporcionar la carga axial que gravita sobre este, por lo tanto si se lo ensayara no se obtendría buenos resultados o peor aún podría despegarse como el aislador de ANDEC antes de llegar al desplazamiento crítico.

## **5. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES**

Se han presentado las tres experiencias constructivas que la ESPE ha tenido con aisladores sísmicos elastoméricos, analizando lo sucedido en cada una de ellas y mostrando los resultados que se han generado, de tal forma que de este estudio se desprenden las siguientes conclusiones:

- Las variaciones presentadas en las curvas de histéresis con frecuencias altas, en los ensayos realizados a los prototipos se debe a la deficiencia de la máquina, al no poder

## Primer Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra y la Construcción

generar una carga que simule el peso de la estructura, generando giros y por lo tanto inestabilidad en los aisladores.

- La falta de un diseño y un control adecuado al momento de fabricar un aislador, es un factor que influye de manera importante en su desempeño y esto se lo puede apreciar en la segunda experiencia, en la cual el aislador falló (Cachipundo, 2013) antes de ser ensayado y sin la influencia de carga alguna.
- La falta de equipos e implementos adecuados se convierte en un gran limitante para la investigación, como sucede con el aislador de la tercera experiencia, no se lo puede probar, para determinar si el diseño es el adecuado y determinar sus propiedades dinámicas para compararlas con las obtenidas teóricamente.

Es necesario que las investigaciones en este campo continúen y para ello se debe probar el tercer aislador, para determinar el avance que se va generando en este campo e ir corrigiendo los errores que se generan de la parte teórica a la práctica.

## REFERENCIAS

- Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2011). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Quito.
- Auqui, V. (2010). *ANÁLISIS DE AISLADORES SISMICOS ELASTOMÉRICOS CONSTRUIDOS EN EL ECUADOR*. Sangolquí: ESPE.
- Constantinou, M. C. (2011). *LRFD - Based Analysis and Designing Procedures for Bridge Bearings and Seismic Isolators*. Buffalo: MCEER.