

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE AISLADORES SISMICOS ELASTOMÉRICOS
CONSTRUIDOS EN EL ECUADOR**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

MARCO VINICIO AUQUI PARRA

DIRECTOR: Dr. ROBERTO AGUIAR

CODIRECTOR: Ing. PABLO GÓMEZ

Sangolquí, 2010- 10 – 11

RESUMEN

Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a los aisladores Elastoméricos, se ha determinado el factor de amortiguamiento, la rigidez lateral y el módulo de corte para diferentes deformaciones de la goma y diferentes frecuencias de excitación. La mejor opción para que una estructura tenga un gran comportamiento sísmico es que tenga aisladores de base o disipadores de energía.

En el análisis de los diferentes prototipos se obtuvieron muy buenos resultados, se realizó la prueba de una casa de un piso ante el sismo del centro, obteniendo un mejor comportamiento aislante.

ABSTRACT

The results of laboratory tests in Elastomeric Isolator. We have determined the damping factor, the lateral stiffness and the shear modulus for different deformations of the rubber and different excitation frequencies. The best option to have a great seismic behavior in a structure is to have base isolators or energy sinks. The Analyzing the different prototypes were obtained produced very good results, was performed the testing a one-story house with better insulating behavior, to study its effectiveness with the earthquake center.

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “ANALISIS DE AISLADORES SISMICOS ELASTOMÉRICOS CONSTRUIDOS EN EL ECUADOR” fue realizado en su totalidad por Marco Vinicio Auqui Parra, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Civil.

Dr. Roberto Aguiar.

DIRECTOR

Ing. Pablo Gómez

CODIRECTOR

Sangolquí, 2010-10-11

DEDICATORIA

A Dios por darme fuerza y fortaleza, a mis padres Teresa Parra y Bolívar Auqui por brindarme todo el apoyo incondicional, a mis hijos Janys y Alejandro, quienes han sido la motivación principal para la culminación de mi carrera, a mis hermanos que me han brindado su afecto y apoyo incondicional y a la vez a mi director de tesis por sus conocimientos impartidos en las aulas y durante el transcurso del desarrollo de esta tesis.

Marco Vinicio

AGRADECIMIENTOS

Quiero extender un agradecimiento muy cordial y afectuoso a todas las personas que colaboraron con la realización de este proyecto, de manera especial a mi director y codirector de tesis Dr. Roberto Aguiar, Ing. Pablo Gómez por todo el apoyo brindado.

A los Ingenieros Francisco Navas y José Pérez que fueron las personas que colaboraron muy estrechamente en los ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de materiales.

A mi familia por poner en mi todo su afecto y apoyo incondicional durante el transcurso de mi carrera.

A mis compañeros y amigos que compartimos las aulas juntos durante estos años de carrera.

Al Ing. Nelson Garzón gerente general de PLAMEC, por colaborar en la fabricación de los prototipos de una manera desinteresada.

Marco Vinicio Auqui Parra.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
1.2 ANTECEDENTES	5
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	7
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	7
1.5 OBJETIVOS	8
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	8
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
1.6 ALCANCE	9

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 AISLADORES SISMICOS ELASTOMERICOS.....	10
2.1.1 INTRODUCCION	10
2.1.2 AISLADORES SISMICOS	12
2.1.2.1 AISLADORES ELASTOMERICOS	13
2.1.2.2 AISLADORES DE GOMA CON NUCLEO DE PLOMO.....	14
2.1.2.3 AISLADORES DE FRICCION.....	14
2.1.3 FLEXIBILIDAD DE LOS AISLADORES ELASTOMERICOS.....	15
2.2 FUNDAMENTOS DE AMORTIGUAMIENTO.....	18
2.2.1 VIBRACIONES MECANICAS.....	18
2.2.2 VIBRACION LIBRE NO AMORTIGUADA.....	19
2.2.3 VIBRACION LIBRE CON AMORTIGUAMIENTO VISCOSO	21
2.2.4 VIBRACION FORZADA CON CARGA ARMONICA NO AMORTIGUADA	24

2.2.5 VIBRACION FORZADA CON CARGA ARMONICA AMORTIGUADA	25
CAPÍTULO 3	
EXPERIENCIAS DE PUENTES CON NEOPRENOS	
3.1 NEOPRENO QUE SE VENDE EN EL PAÍS	28
3.2 CONSTRUCCION ACTUAL DE PUENTES CON NEOPRENOS EN ECUADOR	33
3.3 EXPERIENCIAS DE PUENTES CON NEOPRENOS EN CHILE.....	39
CAPÍTULO 4	
AISLADORES ELASTOMERICOS Y ENSAYOS EN LABORATORIO	
4.1 INTRODUCCIÓN	42
4.2 CÁLCULO DE FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO	48
4.3 CÁLCULO DE RIGIDEZ EFECTIVA.....	53
4.4 VARIACIÓN DEL AMORTIGUAMIENTO A DIFERENTES DESPLAZAMIENTOS.....	56
4.5 VARIACIÓN DE LA RIGIDEZ CON LA FRECUENCIA	58
4.6 CÁLCULO DEL MODULO DE CORTE.....	60
CAPÍTULO 5	
AISLADOR CON PERNO PASANTE Y SIN PERNO PASANTE	
5.1 REUTILIZACIÓN DE LAS LLANTAS DE AUTOMOVILES.....	63
5.2 DESCRIPCIÓN DEL PRIMER AISLADOR	66
5.3 ENSAYOS REALIZADOS	68
5.4 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	74
CAPÍTULO 6	
AISLADOR CON PERNO VULCANIZADO	
6.1 DESCRIPCIÓN DEL SEGUNDO AISLADOR.....	101

6.2 ENSAYOS REALIZADOS	102
6.3 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	103

CAPÍTULO 7

AISLADOR CON RESORTE EN EL NÚCLEO

7.1 DESCRIPCIÓN DEL AISLADOR.....	126
7.2 ENSAYOS REALIZADOS	128
7.3 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	128

CAPÍTULO 8

EVALUCION DE LA RESPUESTA DINÁMICA DE UNA CASA DE UN PISO COLOCADA AISLADORES CON PERNO VULCANIZADO

8.1 GENERALIDADES.....	153
8.2 RESULTADOS OBTENIDOS	158
8.3 ARMADO DE ELEMENTOS VIGAS Y COLUMNAS.....	161

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 CONCLUSIONES.....	163
9.2 RECOMENDACIONES	164

LISTADO DE TABLAS

CAPÍTULO IV

AISLADORES ELASTOMERICOS Y ENSAYOS EN LABORATORIO

Tabla 4.1 Constantes (amortiguamiento)

CAPÍTULO VIII

EVALUCION DE LA RESPUESTA DINÁMICA DE UNA CASA DE UN PISO COLOCADA AISLADORES CON PERNO VULCANIZADO

Tabla. 8.1. Rigidez efectiva y Amortiguamiento utilizados en el cálculo

LISTADO DE FIGURAS

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

Figura 1.1 Placas tectónicas

Figura 1.2. Tipos de estructuras (rígidas y flexibles)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Figura 2.1 Estructura con disipadores sísmicos (Edificio La Reforma México)

Figura 2.2 Estructura con aisladores sísmicos (Edificio Escuela de Ingeniería Chile)

Figura 2.3 Esquema de aislador elastomérico

Figura 2.4 Efecto del período y el amortiguamiento sobre la aceleración

Figura 2.5 Efecto del periodo y el amortiguamiento sobre el desplazamiento total

Figura 2.6 .Estructura convencional

Figura 2.7 Estructura con aislación sísmica

Figura 2.8 Deformación de la estructura convencional

Figura 2.9 Deformación de la estructura con aisladores.

Figura 2.10 Vibración libre no amortiguada

Figura 2.11 Tipos de movimientos.

Figura 2.12 Efecto del amortiguamiento vibración libre

Figura 2.13 Sistema no amortiguado con carga armónica

Figura 2.14 Sistema no amortiguado $\omega=\omega_n$

Figura 2.15 Sistema amortiguado con carga armónica

Figura 2.16 Sistema amortiguado $\omega=\omega_n$

CAPÍTULO III

EXPERIENCIAS DE PUENTES CON NEOPRENOS

Figura 3.1 Neopreno

Figura 3.2 Placa de neopreno zunchada

Figura 3.3 Esquema de posición del neopreno sobre pila de puente.

Figura 3.4 Colocación del neopreno sobre estribo de puente.

Figura 3.5 Esfuerzos actuantes en el Neopreno

Figura 3.6 Neopreno en puentes

Figura 3.7 Desgaste del neopreno

Figura 3.8 Colapso de vigas “Neoprenos sin trabajar”

Figura 3.9 Colapso (Puente Talcahuano)

CAPÍTULO IV

AISLADORES ELASTOMERICOS Y ENSAYOS EN LABORATORIO

Figura 4.1 Esquema aislador elastomérico con núcleo de plomo

Figura 4.2 Esquema aislador friccionante (FPS)

Figura 4.3 Amortiguamiento (Jacobsen)

Figura 4.4 Amortiguamiento (Menshin)

Figura 4.5 Relación de áreas AASTHO

Figura 4.6 Variación del desplazamiento del conjunto aislado en función del Amortiguamiento del sistema de aislación.

Figura 4.7 Cambio de la frecuencia con la amplitud

Figura 4.8 Variación de la rigidez en función de la deformación de la goma y en Función de la frecuencia de excitación producida.

Figura 4.9 Análisis de la Curva de histéresis

CAPÍTULO V

AISLADOR CON PERNO PASANTE Y SIN PERNO PASANTE

Figura 5.1 Trituración de llantas recicladas

Figura 5.2 Materia resultante de la primera trituración

Figura 5.3 Separador magnético

Figura 5.4 Tratamiento final de las llantas recicladas y elaboración del aislador

Figura 5.5 Esquema del primer prototipo

Figura 5.6 Esquema del perno pasante

Figura 5.7 Máquina de ensayos universales

Figura 5.8 Instalaciones fijas y móviles de la máquina

Figura 5.9 Montaje del prototipo

Figura 5.10 Curvas de histéresis $\Omega= 0.10$ Hz (deformaciones equitativas).

Figura 5.11 Curvas de histéresis $\Omega= 0.30$ Hz.

Figura 5.12 Diagrama de histéresis y energías elástica e inelástica.

Figura 5.13 Reporte curvas de histéresis con diferentes frecuencias (Prototipo con Perno pasante)

CAPÍTULO VI

AISLADOR CON PERNO VULCANIZADO

Figura 6.1 Prototipo con perno macizo vulcanizado

Figura 6.2 Reporte curvas de histéresis con diferentes frecuencias (Prototipo con Perno vulcanizado)

CAPÍTULO VII

AISLADOR CON RESORTE EN EL NÚCLEO

Figura 7.1 Esquema del resorte colocado en el núcleo del prototipo

Figura 7.2 Prototipo con resorte vulcanizado en el núcleo

Figura 7.3 Reporte curvas de histéresis con diferentes frecuencias (Prototipo con Resorte vulcanizado en el núcleo)

CAPÍTULO VIII

EVALUCION DE LA RESPUESTA DINÁMICA DE UNA CASA DE UN PISO COLOCADA AISLADORES CON PERNO VULCANIZADO

Figura 8.1 Vista en planta Casa de un piso.

Figura 8.2 Aporte de cargas al portico2.

Figura 8.3 Vista elevación pórtico 2 y detalle de conexiones de la superestructura y la Cimentación con el aislador.

Figura 8.4 Sistema de coordenadas del pórtico 2 con aisladores elastoméricos de Perno macizo.

Figura 8.5 Numeración de los elementos del pórtico 2.

Figura 8.6 Modelo de masas puntuales.

Figura 8.7 Curva Amortiguamiento Vs porcentaje de deformación.

Figura 8.8 Curva rigidez Vs porcentaje de deformación

Figura 8.9 Desplazamiento absoluto del aislador y desplazamiento absoluto de la Superestructura.

Figura 8.10 Desplazamiento relativo de la superestructura

Figura 8.11 Fuerzas y Momentos en elementos debido a Sismo

Figura 8.12 Esquema de armado viga N+ 2.25

Figura 8.13 Esquema de armado viga N+ 0.15

Figura 8.14 Esquema de armado Columnas

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país afectado permanentemente por la acción de los sismos, por encontrarse en una de las zonas de contacto de placas tectónicas más activas del mundo. Es evidente la necesidad de tomar precauciones técnicas para lograr un mejor comportamiento de las obras de ingeniería en el país, ante la acción de sismos recurrentes.

Existen obras, vitales para el Ecuador, que deben sobrevivir inclusive después de la acción de sismos extremos, pues su inhabilitación o su colapso provocaría daños a la población que logró sobrevivir a la acción inicial del sismo, que pueden ser superiores a los daños causados por el propio sismo; tal el caso de hospitales, sistemas de producción y distribución de agua potable, centros de emergencia ciudadana, puentes de acceso estratégico, etc.

Casi todos los sismos, se originan por el movimiento de los continentes y de los fondos oceánicos, lo que científicamente se explica mediante la denominada Teoría de Tectónica de Placas.

La teoría de las Placas Tectónicas. Teoría de Wegener.- La tectónica de placas considera que la litósfera está dividida en varios grandes segmentos relativamente estables de roca

rígida, denominados placas que se extienden por el globo como caparazones curvos sobre una esfera.

Existen 7 grandes placas como la Placa del Pacífico y varias más chicas como la Placa de Cocos frente al Caribe, tal como se observa en la figura 1.1.

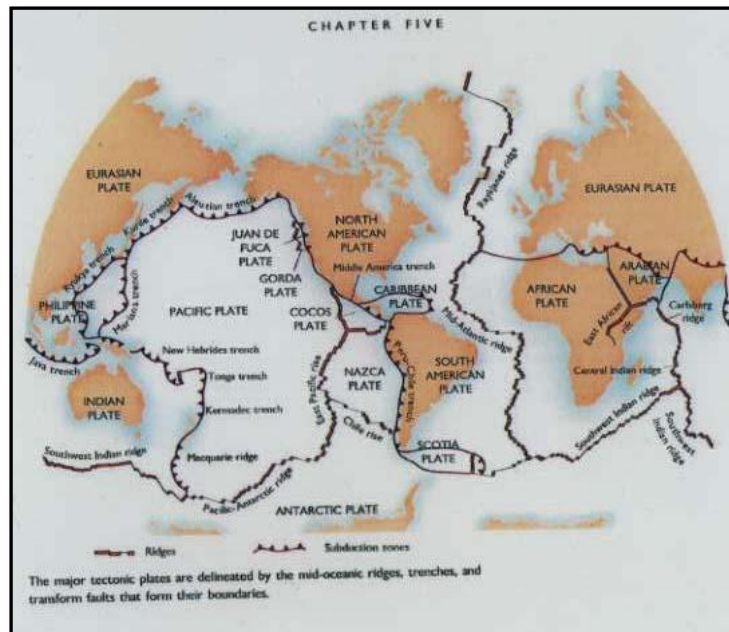


Fig. 1.1 Placas tectónicas (WIKIPEDIA)

Por ser las placas parte de la litósfera, se extienden a profundidades de 100 a 200 km. Cada placa se desliza horizontalmente relativa a la vecina sobre la roca más blanda inmediatamente por debajo. Más de un 70% del área de las placas cubre los grandes océanos como el Pacífico, el Atlántico y el Océano Índico. (Wegener 1885).

Ecuador se enfrenta a la placa de Nazca que es alimentada desde la Cordillera Mezo-dorsal del Pacífico por surgimiento del magma que crea nuevo fondo marino y la empuja hacia la placa Sud-Americana, produciéndose un fenómeno de subducción, origen de los sismos ocasionados por este choque. La placa de Nazca se desplaza a una velocidad relativa de aproximadamente 9 cm por año

con respecto a la placa Sud Americana, introduciéndose bajo ella según un plano inclinado (plano de Benioff).

En el largo plazo, estas fuerzas tectónicas han causado el plegamiento de la placa Sud Americana y la formación de las cadenas de la Cordillera de Los Andes y la Cordillera de la Costa. **(Strachan, R.A. y Doatal, J. 2008)**

Dado que la zona de contacto entre las placas está sometida a grandes presiones debido al movimiento convergente, ambas placas están mutuamente acopladas y previo a la ruptura se deforman elásticamente a lo largo de su interface común, inmediatamente antes de la ruptura sólo una pequeña área, firmemente acoplada, resiste el movimiento de las placas.

Cuando el acoplamiento en la última zona de resistencia (una "aspereza sísmica") es sobrepasado, el esfuerzo acumulado es liberado bruscamente, enviando ondas de choque a través de la tierra. La ruptura comienza en el hipocentro del terremoto, esto es, bajo el epicentro, y luego se extiende a lo largo de una zona cuya extensión depende de la importancia del evento.

Estos efectos sísmicos tan catastróficos han llevado a pensar en grande para su mitigación y esencialmente evitar daños en estructuras ,desde los primeros tiempos en los países líderes sobre esta materia, Japón y USA, se planteó ya la discusión sobre cuál es la configuración estructural más adecuada para resistir las fuerzas sísmicas: estructuras flexibles o las rígidas.

En Japón hasta la Segunda Guerra Mundial se favoreció el modelo rígido, existiendo una limitación de seis pisos en altura, a raíz de la interpretación del colapso de una estructura en el terremoto de Kwanto.

La situación en USA era diferente; la civilización avanzó desde la costa Este (sin terremotos) hacia el Oeste llegando a la zona más sísmica (California) al final de este recorrido. Los edificios en altura que habían florecido ya en el Este debieron adaptarse a las condiciones imperantes, lo que dio origen a los estudios conducentes a lograr resistencia sísmica en estructuras flexibles - marcos rígidos- gracias a la ductilidad.¹

Se tiene así planteado el dilema de enfrentar la acción sísmica según dos esquemas diferentes, sistema rígido (resistencia de muros) y sistema flexible (resistencia y ductilidad de marco rígidos), como se observa en la Figura. 1.2.

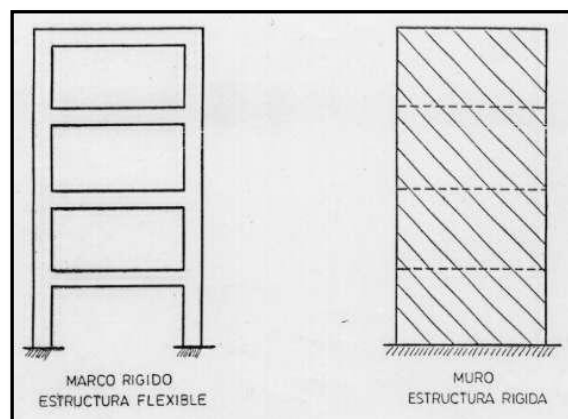


Fig. 1.2. Tipos de estructuras(rígidas y flexibles)

Esta confrontación de ideas no solo se produjo entre estos dos países líderes, sino que también dentro de ellos, donde especialistas discrepaban en cuál era el sistema más adecuado.

Los edificios evolucionaron a partir de estos criterios básicos y se caracterizan por tener casi sin excepción muros estructurales y muchas veces en gran densidad. En ellos ha sido usual no dar una atención especial a la ductilidad.

1.- http://neic.usgs.gov/neis/eqlists/10maps_world.html

El acople de aisladores elastoméricos a las estructuras trata de un sistema más fácil de construir que los consistentes únicamente en pórticos donde deben extremarse los cuidados en el estallamiento y el hormigonado de los nudos para conseguir la ductilidad requerida ,lo que se pretende es apoyar a la estructura no directamente sobre el suelo sino sobre aisladores cilíndricos de caucho laminado con intercalaciones metálicas, se logra de esta manera frente a un sismo, desacoplar el movimiento del suelo con respecto al de la estructura, reduciendo la respuesta sísmica.

Se define al aislamiento sísmico como la disipación de la energía que ingresa a un sistema o estructura y favorece su respuesta frente a un evento sísmico, es decir, mejora el periodo fundamental de la estructura. El aislamiento sísmico permite construir estructuras económicas con altos niveles de seguridad durante sismos severos tanto en la estructura como en sus contenidos.

1.2 ANTECEDENTES

En el mercado Ecuatoriano, no se encuentra aún una línea de producción de aisladores sísmicos elastoméricos, es por esto que surge la idea e inquietud de diseñar y construir estos aisladores, para aportar al sistema constructivo y a la vez mejorar la calidad de las construcciones con la aplicación de los mismos, pues es de notar que no solo se trata de un sistema productivo en sí, sino que también es contribuir a la seguridad de la humanidad ante efectos catastróficos como los sismos que afectan notablemente a las estructuras y trae consigo muertes humanas en gran escala.

La construcción del aislador sísmico elastoméricos, ha tenido gran acierto en países desarrollados como Chile, Estados Unidos, Japón, pues hay que hacer notar el buen comportamiento de las estructuras que constan con este sistema de aisladores elastoméricos ante el sismo de Chile el 27 de Febrero del 2010 de 8,8 grados Richter, en la cual colapsaron la mayoría de los edificios, a diferencia de estos, el conjunto residencial Andalucía, de calle Pedro Lagos con Lord Cochrane, cuyos habitantes sintieron el sismo apenas como un temblor fuerte, otras edificaciones que cuentan con aisladores sísmicos son la Clínica San Carlos de Apoquindo, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica y el nuevo Hospital Militar los cuales no sufrieron daños ante tal evento.

Con este precedente en el Centro de Investigaciones Científicas de la Espe, se ha planteado un objetivo que consiste en determinar, mediante análisis y simulación, el comportamiento mecánico de un aislador sísmico elastomérico.

Se ha realizado una serie de prototipos para el análisis de su comportamiento de los cuales se han obtenido diferentes resultados tanto en amortiguamiento, rigidez y módulo de corte de la goma, es así que se hizo el seguimiento de estos diferentes prototipos para llegar a obtener un modelo tipo de aislador, y poder contribuir a un buen comportamiento de las estructuras ante sismos de alta intensidad como el de Chile y Haití del 2010.

1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el Ecuador, la energía sísmica es de gran importancia en construcciones civiles, como se ha mencionado anteriormente el país se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico, la cual provoca que los elementos estructurales rebasen los rangos elásticos y funcionen dentro de la zona plástica, produciéndose la falla de los elementos y, por consiguiente de la estructura.

Ante la situación planteada, surge la necesidad de diseñar un aislador elastomérico capaz de atenuar las cargas sísmicas, llegando a una buena absorción de energía entregada a la estructura.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

En el proyecto propuesto para la construcción y análisis de aisladores sísmicos elastoméricos, se establece un objetivo que inspira y fundamenta el presente proyecto de grado, el cual es indudablemente llegar a construir y desarrollar un proyecto innovador que sea de fácil comercialización y utilización en el ámbito constructivo del país.

Para el diseño del aislador se tomará, como punto de partida, la información general sobre los aisladores elastoméricos producidos en Chile, los cuales tienen un buen grado de aceptación en el mercado constructivo.

Nuestro sistema innovador no solo consiste en obtener un buen comportamiento de dicho aislador sino también aportar con el medio ambiente para lo cual se ha trabajado conjuntamente con la empresa de Cauchos PLAMEC, la misma que está implementando un sistema de reciclaje y reutilización de llantas de vehículos e incorporación de estos residuos para elaboración de los elastómeros utilizados en los prototipos.

La importancia del proyecto está dada en generar una propuesta de construcción y comercialización de estos aisladores, con un costo accesible y competitivo en el mercado.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un aislador elastomérico para la atenuación de cargas sísmicas a las que se encuentran sometidas las construcciones civiles del Ecuador.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar y seleccionar el comportamiento más eficiente de los prototipos de aisladores, para obtener un buen desempeño de dicho elemento.
2. Diseñar el aislador como elemento primordial de un conjunto estructural para disipación sísmica.
3. Construir el aislador cumpliendo con las expectativas de mejorar el amortiguamiento y rigidez del prototipo, así también como el módulo de corte de la goma.

1.6 ALCANCE

Diseñar y construir un aislador sísmico elastomérico capaz de atenuar cargas sísmicas en un conjunto estructural.

Al presentarse esta propuesta en el mercado, se pretende que en el Ecuador, el sector de la construcción utilice este tipo de aisladores sísmicos.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 AISLADORES SISMICOS ELASTOMÉRICOS

2.1.1 INTRODUCCIÓN

Una forma de disminuir los efectos de los sismos en cualquier tipo de estructuras es introduciendo aislación sísmica y disipación sísmica, en la estructura, estos sistemas de aislamiento y disipación son capaces de absorber la energía que produce la acción sísmica de gran escala que afectan a la estructura (ambas tecnologías son ampliamente utilizados en Estados Unidos, Nueva Zelanda, Japón, y actualmente en Chile). Ensayos experimentales llevados a cabo en universidades extranjeras han mostrado que ambas metodologías son excelentes dispositivos para disminuir los daños que producen los sismos en las estructuras.

Los aisladores elastoméricos son dispositivos formados por un conjunto de láminas planas de goma intercaladas por placas planas de acero adheridas a la goma. Las láminas de goma, pegadas a las láminas de acero, pueden deformarse en un plano horizontal, permitiendo el desplazamiento horizontal de la estructura relativo al suelo. Las placas de acero restringen la expansión lateral (bajo carga vertical) de la goma, y la goma a la vez genera un amortiguamiento ante la acción de fuerzas sísmicas laterales. Lo que se pretende es apoyar a la estructura no directamente sobre el terreno sino sobre aisladores cilíndricos de caucho laminado con intercalaciones metálicas, se

logra de esta manera frente a un sismo, desacoplar el movimiento del suelo con respecto al de la estructura, reduciendo la respuesta sísmica.

Para el análisis del comportamiento del prototipo se usaran mecanismos de amortiguamiento histérico, estos mecanismos ofrecen la ventaja de tener una gran capacidad de amortiguamiento desde un volumen del dispositivo relativamente pequeño. El efecto de amortiguamiento varía con la amplitud vibracional. Los efectos de amortiguamiento de los amortiguadores de histéresis dependen del nivel sísmico y de la razón de la fuerza total de los amortiguadores instalados en el edificio al peso total de estructura, que en muchos casos, la fuerza de amortiguamiento total es alrededor de un 2% del peso total de la estructura. Los amortiguadores de histéresis son económicos, no se deterioran en largos períodos de tiempo y son altamente confiables.



Fig. 2.1 Estructura con disipadores sísmicos **Fig. 2.2 Estructura con aisladores sísmicos**
(Edificio La Reforma # 476 México) (Edificio Escuela de Ingeniería de la UC Chile)

La figura 2.1 y la figura 2.2 muestra claramente los tipos de sistemas para disipar y aislar energía sísmica respectivamente, estos sistemas son eventuales para mitigar eventos sísmicos de grandes magnitudes.

2.1.2 AISLADORES SIMICOS

El objetivo principal de incorporar alguno de estos dispositivos para aislación sísmica a una estructura es aumentar el período de vibración de modo que se reduzca la sollicitación sísmica.

Al momento en que se logra disminuir las fuerzas, este efecto ocurre acompañado paralelamente de un aumento en los desplazamientos que experimenta la superestructura, por lo que se deben disponer apoyos capaces de absorberlos. El incremento de la flexibilidad da paso a una sensibilidad importante ante la acción de cargas de servicio, por lo que estos desplazamientos deben ser considerados en el diseño. Para la elección de un dispositivo adecuado, se debe tener en cuenta los siguientes puntos mencionados a continuación:

- I. Deformaciones ante cargas de servicio (rigidez inicial).
- II. Fuerza y desplazamiento de fluencia.
- III. Desplazamiento último y comportamiento post-último.
- IV. Capacidad de auto-centrado posterior a las deformaciones (fuerza restitutiva).
- V. Rigidez vertical.

Básicamente los mecanismos de aislación usados típicamente en la mayoría de los países son:

- Aisladores Elastoméricos
- Aisladores de Goma con Núcleo de Plomo
- Aisladores Friccionales

2.1.2.1 AISLADORES ELASTOMERICOS.

El apoyo de goma laminada está compuesto por capas alternas de goma y placas de acero unidas entre sí por un proceso de vulcanización, como se muestra en la Fig.2.3. De este modo, la rigidez del apoyo es controlada por el espesor de las capas de goma. Así, mientras más gruesas son estas capas más flexibles es el apoyo en la dirección horizontal. En cambio, la rigidez vertical del apoyo es controlada por la alta rigidez en planta de las placas de acero que inhibe la expansión lateral de la goma que resulta de la presión vertical



Fig. 2.3 Esquema Aislador Elastomérico.
(Desarrollo y fabricación de aisladores sísmicos para Edificio Habitacional)

El apoyo de goma tiene dos funciones, flexibilidad y amortiguamiento como una propiedad intrínseca de la misma goma, la cual consecuentemente elimina la necesidad de sistemas de apoyo y amortiguamiento por separado. Esta simplicidad provee varias ventajas, incluyendo una reducción en el costo concerniente a dispositivos, construcción y mantención.

2.1.2.2 AISLADORES DE GOMA CON NÚCLEO DE PLOMO

El uso de los aisladores elastoméricos descritos en 2.2.2.1 resulta eficiente en términos de incorporar flexibilidad a la estructura y aumentar el período, pero no consiguen agregar una cantidad importante de amortiguamiento adicional y presentan deformaciones considerables ante cargas de servicio. Estas consecuencias negativas se logran remediar incorporando un núcleo de plomo al dispositivo, dadas las buenas propiedades mecánicas que posee el plomo.

Entre las características del plomo que influyen en el buen comportamiento de estos aisladores, se puede mencionar la baja tensión de fluencia (10 Mpa aproximadamente), una alta rigidez inicial al corte (G cercano a 130 Mpa), un comportamiento elasto-plástico y buenas condiciones de fatiga ante ciclos de carga. Además, la baja tensión de fluencia implica que una vez alcanzado tal nivel de esfuerzos, la rigidez del aislador será igual a la de la goma.

2.1.2.3 AISLADORES DE FRICCIÓN

Los aisladores de fricción poseen la característica de disipar una cantidad importante de energía, debido a que sus ciclos de histéresis son rígido-plásticos. Sin embargo, se producen diferencias importantes en la respuesta al considerar las formas de las superficies en contacto. La más básica es plana y carece de alguna fuerza de restitución, por lo que no es muy utilizada, y para serlo, se debe hacer en conjunto con otro sistema que sea capaz de proveer el auto centrado de la estructura.

Para evitar estos problemas, se utiliza la alternativa con superficie esférica en que la respuesta se asemeja a la de un péndulo, por lo que se denominan sistemas de péndulo de fricciónó FPS (friction pendulum system). También existen con superficies cóncavas que de igual forma poseen una fuerza autocentrante, pero su descripción es más compleja.

2.1.3 FLEXIBILIDAD DE LOS AISLADORES ELASTOMERICOS

Un apoyo flexible produce que el período de vibración del sistema total se incremente lo suficiente para reducir la respuesta. La Fig. 2.4 muestra uno de los principales fundamentos de la aislación sísmica. Donde la flexibilidad adicional produce una rápida reducción en la aceleración transmitida a la estructura aislada con el aumento del período. Este efecto es equivalente al edificio que se aproxima al estado donde quedan fijos en el espacio mientras la tierra se mueve de un lado para otro bajo él. Con ello se hacen substanciales reducciones de corte basal, ya que el período de vibración se alarga, pero el grado de reducción depende del período inicial de la base fija y de la forma de la curva del espectro de respuesta.

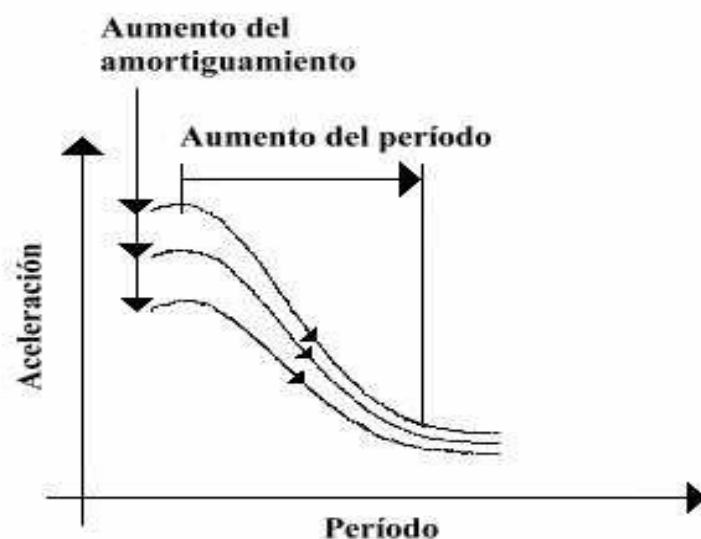


Figura 2.4 Efecto del período y el amortiguamiento sobre la aceleración

Sin embargo, el aumento de flexibilidad produce grandes desplazamientos por efecto de la fundación flexible. En la Fig. 2.5 se muestra una curva idealizada de respuesta de desplazamiento, donde se aprecia que éste aumenta con el aumento del período y el efecto del amortiguamiento para controlar el desplazamiento. Estos grandes desplazamientos pueden ser reducidos si se introduce un amortiguamiento adicional a nivel de fundación.

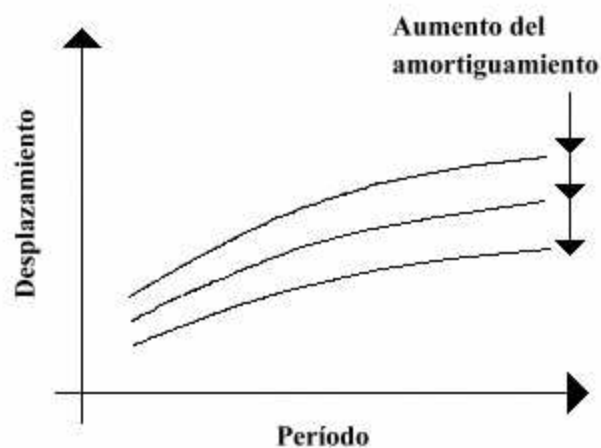


Figura 2.5. Efecto del período y el amortiguamiento sobre el desplazamiento total.

En la Figura 2.6 se puede apreciar como en la estructura convencional las deformaciones se dan mayormente en la estructura. En tanto, en la Figura 2.7, las deformaciones se dan casi en su totalidad en la base, con mínimas deformaciones en la superestructura.

Si observamos la Figura 2.8 la deformada es triangular y la Figura 2.9 es cercana a un rectángulo, de esto también podríamos decir que la estructura convencional presenta amplificaciones, en la aceleración y desplazamientos, según la altura del edificio va aumentando, mientras que la estructura aislada no presenta amplificaciones de este tipo.

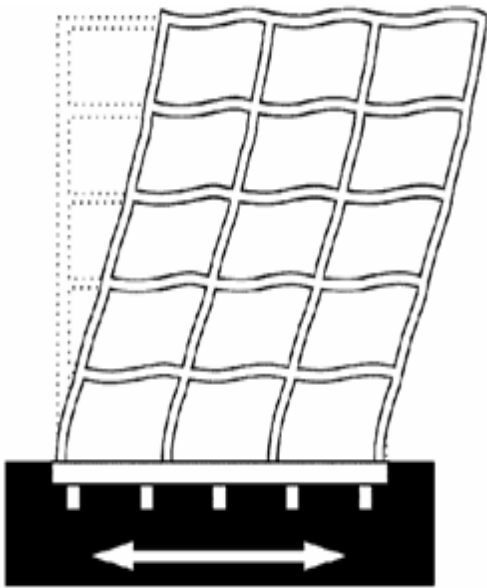


Fig. 2.6. Estructura convencional.

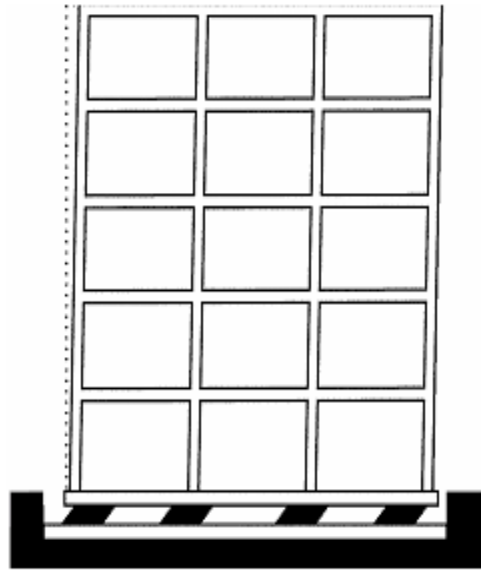


Fig. 2.7. Estructura con aislación sísmica.

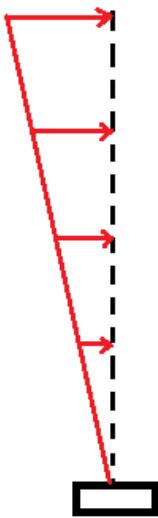


Fig. 2.8. Deformación de la estructura convencional.

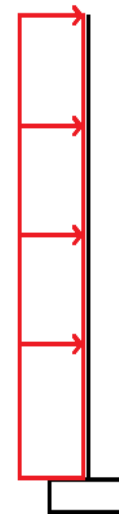


Fig. 2.9. Deformación de la estructura con aisladores.

2.2 FUNDAMENTOS DE AMORTIGUAMIENTO

2.2.1 VIBRACIONES MECÁNICAS

El hablar de movimiento de cuerpos y las fuerzas asociadas a este, se entiende que se habla de vibraciones. El movimiento de un cuerpo que oscila alrededor de una posición de equilibrio se conoce como vibración mecánica, esta vibración mecánica es de gran consideración para estructuras ya que ocasionan un aumento de tensiones y esfuerzos en las mismas. La vibración se

produce cuando el sistema es desplazado desde una posición de equilibrio estable, dicho sistema tiende a retornar a su posición inicial, bajo la acción de fuerzas de restitución elástica o gravitacional, ocasionando un movimiento de un lado a otro hasta alcanzar su posición de equilibrio. El intervalo de tiempo necesario para que el sistema efectúe un ciclo completo de movimiento se llama periodo de vibración, el número de ciclos por unidad de tiempo define la frecuencia y el desplazamiento máximo del sistema desde su posición de equilibrio se denomina amplitud de vibración.

Es así como se puede clasificar a las vibraciones en:

- Vibración libre es causada por un impulso inicial, donde el movimiento es mantenido únicamente por las fuerzas de restitución inherentes al mismo. El sistema bajo vibración libre vibrará en una o más de sus frecuencias naturales, dependientes de la distribución de su masa y rigidez.
- Vibración forzada es cuando al sistema se le aplica fuerzas perturbadoras externas, cuando la excitación es oscilatoria, ya sea periódica o no, como la de un sismo, el sistema es obligado a vibrar a la frecuencia de excitación, si ésta coincide con una de las frecuencias naturales del sistema se produce resonancia.

2.2.2 VIBRACIÓN LIBRE NO AMORTIGUADA

La ecuación que representa el movimiento de un sistema lineal de un solo grado de libertad sin la acción de fuerzas externas es:

$$m\ddot{u} + ku = 0 \quad (2.1)$$

que se puede escribir como:

* (Antonio Abad Ávila- Tipos de amortiguamientos)

$$\ddot{u} + \omega_n^2 u = 0 \quad (2.2)$$

Donde

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.3)$$

m = Masa

k = Constante elástica

ω_n = Frecuencia fundamental del sistema.

La Figura 2.10 representa la solución a la ecuación (2.2), la cual es una función de característica sinusoidal que depende de la frecuencia natural del sistema y del tiempo de vibración.

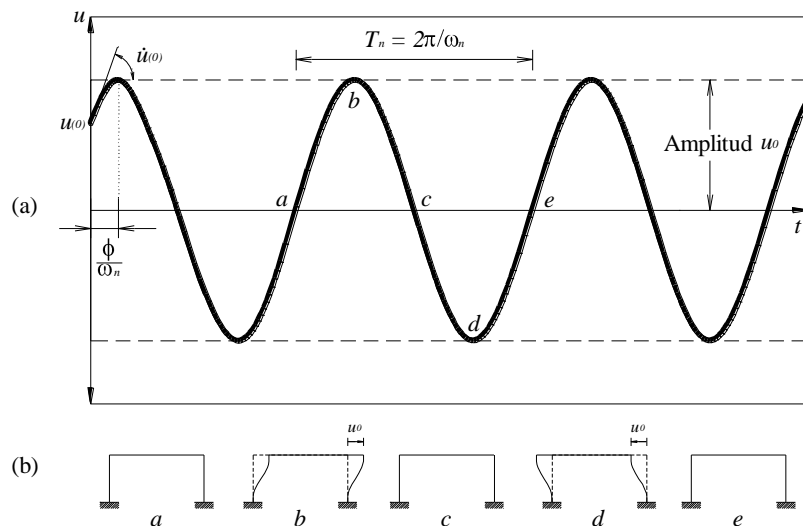


Fig. 2.10. Vibración libre no amortiguada.

$$T = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (2.4)$$

T = Periodo natural de vibración (tiempo requerido para completar un ciclo de vibración).

2.2.3 VIBRACIÓN LIBRE CON AMORTIGUAMIENTO VISCOZO

* (Antonio Abad Ávila- Tipos de amortiguamientos)

El sistema con vibración libre con amortiguamiento viscoso está dado por la ecuación 2.5.

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = 0 \quad (2.5)$$

dividiendo para la masa se obtiene:

$$\ddot{u} + 2\xi\omega_n\dot{u} + \omega_n^2 u = 0 \quad (2.6)$$

donde la relación de amortiguamiento es:

$$\xi = \frac{c}{c_{cr}} \quad (2.7)$$

C = Coeficiente de amortiguamiento del sistema

$$c_{cr} = 2m\omega_n \quad (2.8)$$

c_{cr} = Coeficiente de amortiguamiento crítico, llamado así debido a que es un valor pequeño de c que inhibe completamente la oscilación y representa la línea de división entre el movimiento oscilatorio y de una sola oscilación.

La relación de amortiguamiento determina el tipo de movimiento del sistema, que se ilustra en la Figura 2.11

*(Antonio Abad Ávila- Tipos de amortiguamientos)

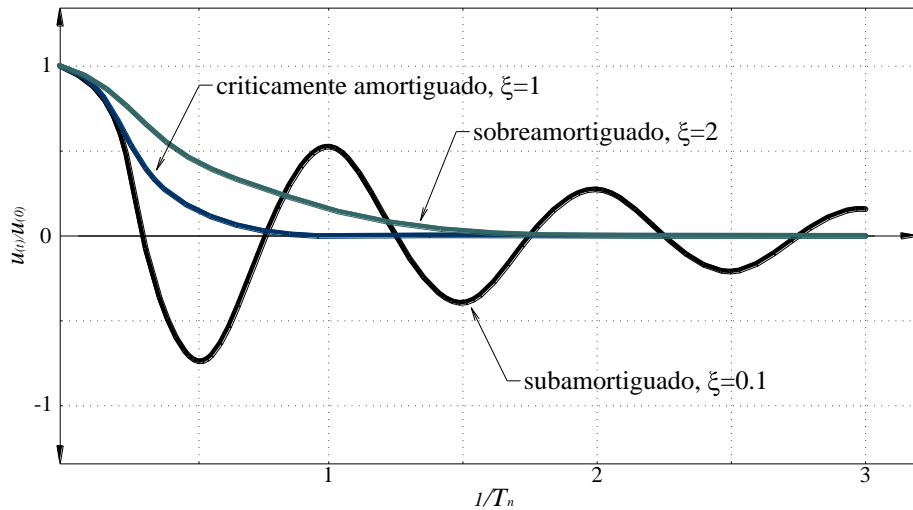


Figura 2.11 Tipos de movimientos.

Los tipos de movimiento pueden ser:

- Sistema críticamente amortiguado: Es cuando el sistema retorna a su posición inicial de equilibrio sin oscilar, y cumple con la siguiente condición:

$$C = C_{cr} \text{ ó } \xi = 1$$

- Sistema sobreamortiguado: Es cuando el sistema no oscila pero retorna a su posición de equilibrio lentamente, y cumple con la siguiente condición:

$$C > C_{cr} \text{ ó } \xi > 1.$$

- Sistema Subamortiguado : Cuando el sistema oscila alrededor de su posición de equilibrio con una amplitud que decrece progresivamente, y cumple con la siguiente condición:

$$C < C_{cr} \text{ ó } \xi < 1$$

El hablar de sistemas subamortiguados es hablar de todas las estructuras civiles, es por ello que se estudia su comportamiento para

* Antonio Abad Ávila – Tipos de amortiguamientos
 * Antonio Abad Ávila- Tipos de amortiguamientos

incrementar su amortiguamiento y no causar efectos de daños o colapsos en las mismas.

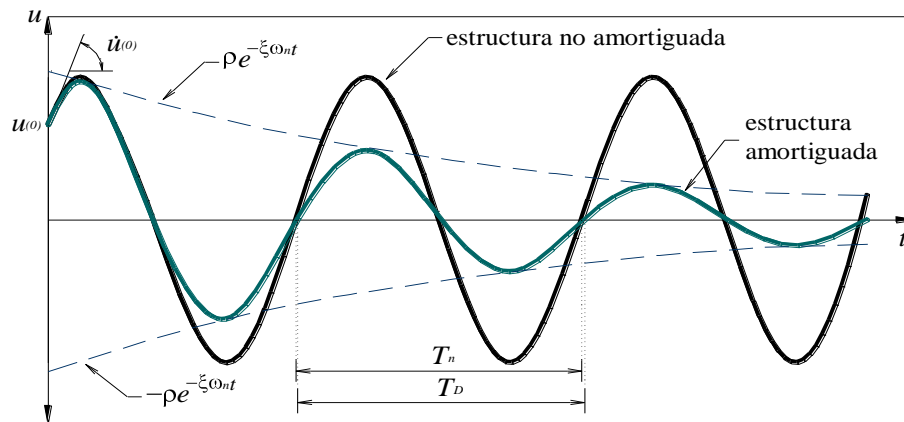


Figura 2.12 Efecto del amortiguamiento vibración libre

El efecto del amortiguamiento es ilustrado en la Figura 2.12. La frecuencia de vibración par un sistema subamortiguado es:

$$\omega_D = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} \quad (2.9)$$

2.2.4 VIBRACIÓN FORZADA CON CARGA ARMÓNICA NO AMORTIGUADA

Al establecer una carga armónica dependiente del tiempo t y frecuencia ω con la siguiente ecuación:

$$p(t) = p_0 \sin \omega t \quad (2.10)$$

se obtiene la ecuación de un sistema no amortiguado sometido a vibración forzada:

$$m\ddot{u} + ku = p_0 \sin \omega t \quad (2.10)$$

La Figura 2.13 muestra la respuesta total de la ecuación anterior.

* Antonio Abad Ávila- Tipos de amortiguamientos

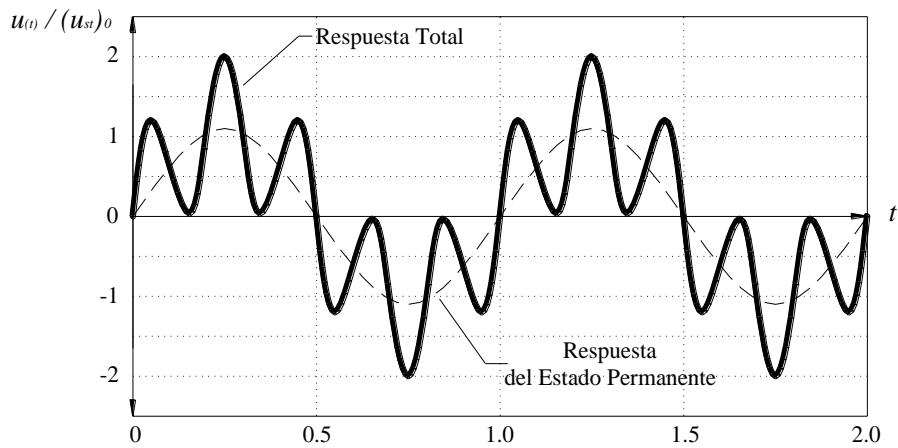


Figura 2.13 Sistema no amortiguado con carga armónica

Para $\omega/\omega_n < 1$ el desplazamiento está en fase con la fuerza aplicada, para $\omega/\omega_n > 1$ el sistema estará fuera de fase con la fuerza aplicada. Cuando $\omega = \omega_n$ en sistemas no amortiguados se cambia de respuesta

(Figura 2.14) por lo que se produce resonancia deformando el sistema a su valor máximo.

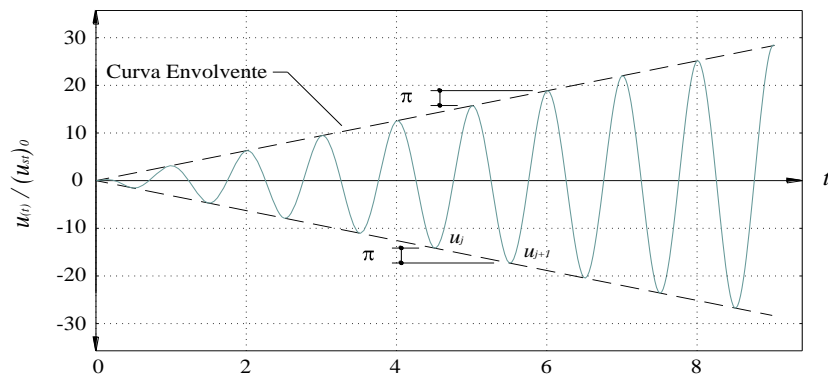


Figura 2.14 Sistema no amortiguado $\omega = \omega_n$

* Antonio Abad Ávila – Tipos de amortiguamientos

2.2.5 VIBRACIÓN FORZADA CON CARGA ARMÓNICA AMORTIGUADA

Incluyendo el coeficiente de amortiguamiento en la ecuación (2.10) se tiene:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p_0 \sin \omega t \quad (2.11)$$

La solución de esta ecuación se muestra en la Figura 2.15.

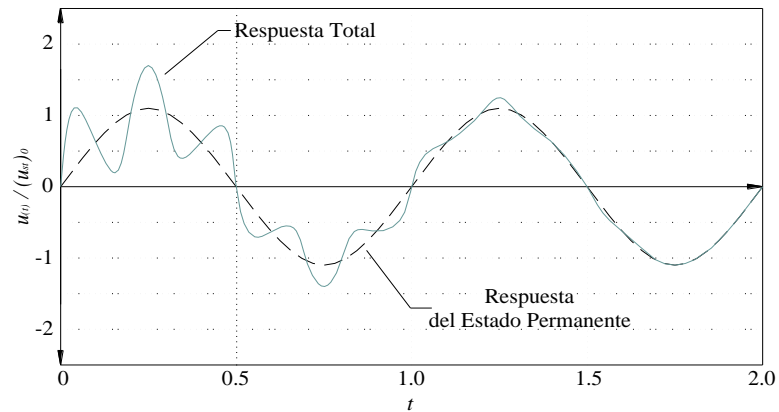


Figura 2.15 Sistema amortiguado con carga armónica

Cuando $\omega = \omega_n$ el sistema tiene la respuesta mostrada en la Figura 2.16.

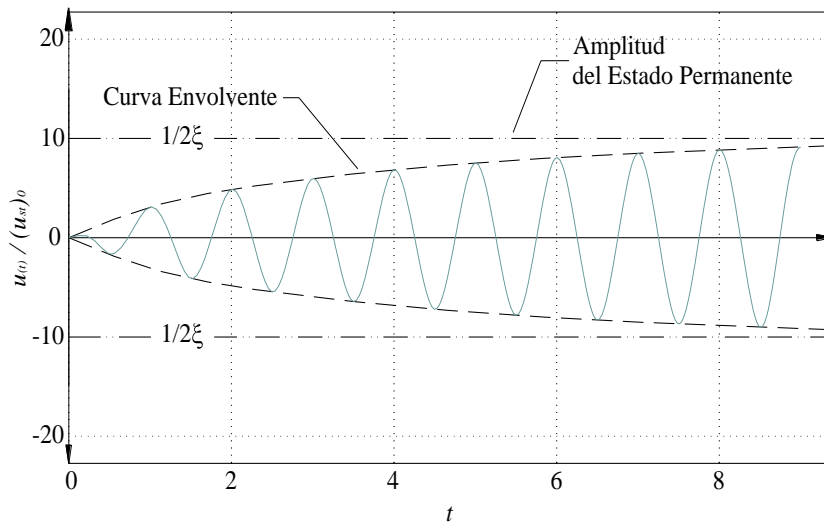


Figura 2.16 Sistema amortiguado $\omega = \omega_n$

Para $\omega/\omega_n \ll 1$ (la fuerza varía lentamente).

La deformación de la respuesta no depende del amortiguamiento, para $\omega/\omega_n \gg 1$, la respuesta es controlada por la masa del sistema.

Cuando $\omega \approx \omega_n$ la respuesta depende directamente del amortiguamiento de la estructura, por lo tanto es un dato a considerar.

La frecuencia resonante está definida como la frecuencia de excitación en la cual se obtiene la amplitud máxima de respuesta. Para un sistema no amortiguado la frecuencia resonante para el desplazamiento, velocidad y aceleración es ω_n .

En un sistema amortiguado la frecuencia resonante para el desplazamiento es:

$$\omega = \omega_n \sqrt{1 - 2\xi^2} \quad (2.12)$$

Para la velocidad:

$$\omega = \omega_n \quad (2.13)$$

Para la aceleración:

$$\omega = \frac{\omega_n}{\sqrt{1 - 2\xi^2}} \quad (2.14)$$

CAPÍTULO 3

EXPERIENCIAS DE PUENTES CON NEOPRENOS

3.1 NEOPRENOS QUE SE VENDEN EN EL PAÍS

* Antonio Abad Ávila – Tipos de amortiguamientos

* Antonio Abad Ávila- Tipos de amortiguamientos

Los Apoyos Elastoméricos de neopreno son utilizados en Puentes o Estructuras elevadas, para movimientos debido a la dilatación y contracción térmica del hormigón, actúa también como aislante de vibraciones en los componentes de estructuras que vinculan. Las placas de hule para apoyos de puentes (neoprenos) tienen tres ventajas importantes, son económicos, efectivos y no requieren de mayor mantenimiento.

Los apoyos de neopreno no tienen partes móviles, constan simplemente de una o más placas, neopreno de 2.5 cm de espesor aproximado, estos neoprenos son colocados entre la trabe y la corona de la pila o estribo como se aprecia en la figura 2.1. Una ventaja muy importante del apoyo de neopreno es su efectividad como medio para la transferencia uniforme de las cargas en las estructuras.

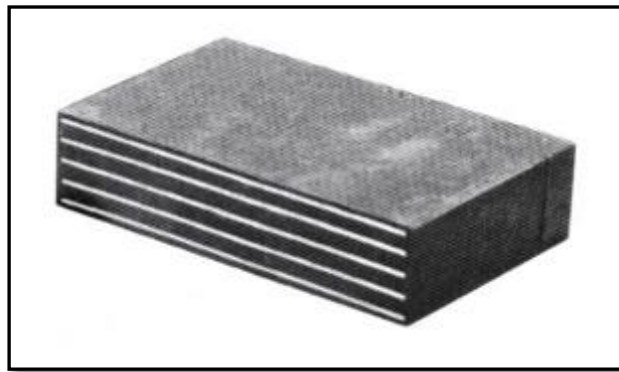


Fig. 3.1 Neopreno

Cuando soporta cargas de compresión son las placas de acero quienes absorben dicha carga, mientras las placas de hule absorben las irregularidades de la superficie y de esa manera las imperfecciones salientes como las hundidas que tiene la superficie de concreto.

No hay manera de que el apoyo sea inutilizado por la corrosión y que se transmita así un empuje excesivo a la pila o estribo sobre los que apoya la trabe, una ventaja importante de un apoyo de neopreno es que necesita menos conservación que cualquier otro elemento del puente.

El neopreno actualmente se usa para apoyos de puentes por dos razones importantes: tiene las propiedades físicas que se requieren y es altamente resistente al deterioro debido al intemperismo.

Cuando un apoyo de neopreno se somete a la acción de una carga se deforma verticalmente. La deformación vertical no debe exceder del 15% del espesor antes de ser comprimido el apoyo. Cuando la deformación en compresión es mayor que 15% se producen esfuerzos internos dentro del neopreno que aceleran la rapidez de la deformación plástica y aceleran la rapidez del agrietamiento debido al intemperismo.

En el Ecuador la fabricación de neoprenos para apoyos en estructuras grandes tales como puentes se ve limitada su producción y la venta del mismo, pero sí existen empresas que brindan una producción limitada de neoprenos, esta limitación se da debido al gran cuidado que se debería tener al momento de vulcanizar y adquirir una buena adherencia entre caucho y acero dúctil, pues esta es la pieza fundamental para una buena característica física del apoyo de neopreno.

Una de las principales características para la adquisición de neoprenos de apoyos se basa en las siguientes normativas:

El material elastómero deber presentar una buena resistencia a la acción de la intemperie, grasas, ozono atmosférico y a las temperaturas extremas a las que el apoyo pueda quedar sometido. **(Libro CMT. características de los materiales Parte 2/ 2004)**

- Las características del Neopreno dependerán principalmente de:

Módulo de elasticidad transversal G	--+	10 kg/cm ²
Dureza Shore	--+	60 Sh a 70
Resistencia a la ruptura	--+	175 kg/cm ²
Alargamiento de rotura	--+	325%
Deformación remanente	--+	25%

- Las características de las placas metálicas dependerán principalmente de:

Serán de acero dulce con las siguientes características:

Límite elástico	--+	22 kg/cm ²
Límite de rotura	--+	37 kg/cm ²

- La unión entre placas metálicas y material elastómero se hará por medio de vulcanización que en este caso es un proceso de elaboración de dichos neoprenos que más rentabilidad presentan, pero también existen neoprenos que la unión entre placas y acero se da mediante colas de pegar especiales pero que no son de buenas características y usos para los mismos.

Los aparatos de apoyos de mayor utilización en puentes corresponden a los neoprenos zunchados (figura 2.2), ya que su colocación admite mayor tolerancia y facilidad. Estos aparatos permiten giros y desplazamientos pequeños en cualquier dirección respecto a cualquier eje, en función del espesor de chapas de acero y del espesor total neto. Las placas elastoméricas se fabrican con goma neopreno (Policloropreno) y planchas metálicas de dos a tres milímetros de espesor.



Fig.3.2 Placa de neopreno zunchada

Las funciones básicas de un apoyo es que las fuerzas elásticas y dinámicas de una estructura deben ser equilibradas por la capacidad que un específico compuesto de elastómero tiene de retener su forma de moldeado y su posición.

El elastómero se caracteriza por la posibilidad que tiene de:

- Deformarse.
- Inclinarsse.
- Resistir al máximo las cargas previstas.
- Retornar a su estado normal (apenas se alivie de la sollicitación).

Se sabe que la posibilidad de movimientos permitidos por los apoyos de neopreno es muy superior a las cargas y sollicitaciones estructurales de los puentes.

La posibilidad de variar el proyecto del apoyo teniendo en cuenta el trabajo efectivo previsto y el concepto de acción de retorno del elastómero, nos lleva a la conclusión que el dimensionamiento de un apoyo debe basarse en la simple premisa de que: Cuanto menor fuera la sollicitación del neopreno y en sí del elastómero a su deformación, tanto mejor será su funcionamiento y durabilidad del mismo. **(Libro CMT. características de los materiales Parte 2/ 2004).**

En la figura 3.3 se representa la ubicación del neopreno de apoyo colocado en la pila de puente, dicho apoyo también se puede colocar en el estribo del puente dependiendo del caso como se ilustra en la figura 3.4.

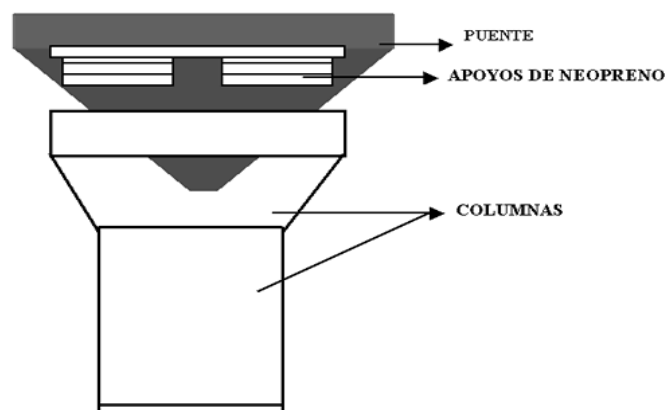


Fig. 3.3 Esquema de posición del neopreno sobre pila de puente.



Fig. 3.4 Colocación del neopreno sobre estribo de puente.

3.2 CONSTRUCCION ACTUAL DE PUENTES CON NEOPRENOS EN ECUADOR

Los puentes son esenciales en todo sistema de transportación terrestre, las alternativas para salvar obstáculos, como son el uso de vados o ancones en los cruces de los ríos, no son capaces de dar el servicio constante ni pueden atender el volumen de tráfico que un Puente.

En cuanto a su importancia ingenieril, los puentes son una prueba difícil para diseñadores y constructores. La altura de algunos puentes y las anchas corrientes que atraviesan otros, los convierten en problemas de construcción de considerable envergadura. Las condiciones de apoyo y subsuelo son a menudo difíciles. La ubicación de muchos puentes es, por necesidad, precisamente en los lugares menos indicados para la longevidad de cualquier estructura tales como: expuestas a golpes de agua, salitre, desprendimientos

de taludes, socavación por erosión, y otras condiciones que normalmente se trata de evitar.

Esas pésimas condiciones, junto a las limitaciones de presupuesto y la exposición a terremotos y vientos, que los acosan al igual que a toda estructura, hacen que los puentes se encuentren entre las obras de ingeniería que más frecuentemente fallan en caso de terremotos y crecientes.

El Ecuador es uno de los países en los que existen muchos lugares de gran importancia en el sector productivo los cuales tienen cierto grado de restricción e incomunicación por falta de puentes, ya que su irregularidad geográfica, como ríos de gran caudal y cuencas geográficas de gran escala no permiten la comunicación y comercialización directa de ciertos productos.

A continuación se cita algunos puentes construidos en el Ecuador por parte del Ministerio de Obras Públicas y del Cuerpo de Ingenieros del Ejército. (www.EMOPQ.gov.ec)

- Puente vía Manta – San Mateo
- Puente vía Paján – Camposano
- Puente vía Olmedo – El Desvío
- Puente vía Santa Ana- Poza Honda
- Puente vía Portoviejo – Picoaza
- Puente vía Chone – Junín
- Puente vía Suma – San Francisco de Chilla
- Puente vía La Mana – 6 de Agosto
- Puente vía Durán – Milagro
- Puente vía Kilómetro 7 – Buena Vista
- Puente vía La Independencia – Calacalí
- Puente vía Quevedo- Latacunga
- Puente vía Huigra – El triunfo
- Puente vía Baños- Puyo
- Puente vía Baheza- Tena
- Puente vía Macas – Mendez
- Puente vía Patuca – Morona
- Puente Carrizal

- Puente San Vicente – Bahía de Caraquez
- Etc.

Existen actualmente puentes de gran magnitud e importancia que se encuentran en construcción y son los puentes de mayor envergadura y longitud en el país es así el caso del puente Puente Bahía-San Vicente y del puente sobre el río Carrizal, el cual está a la par de la tecnología actual respecto a los sistemas de apoyos.

Por lo general la mayoría de los puentes del Ecuador tienen como placa de apoyo entre vigas y columnas o entre vigas y estribos, el neopreno que sirve para soportar cargas verticales y además evita el desgaste de los elementos estructurales del puente. Se debe tener muy en cuenta las juntas constructivas, así también los apoyos de las vigas en las pilas o estribos del mismo, en este caso se debe garantizar que estas partes estarán totalmente aisladas y que tendrán un movimiento sísmico independiente de otros componentes del puente, y que las juntas constructivas han sido expresamente diseñadas para evitar el golpeteo. Con fines de clasificación por geometría, no se podrán considerar aislados los soportes del puente sobre los que descansa la superestructura con apoyos deslizantes o de neopreno;

Las placas de hule para apoyos de puentes tienen tres ventajas importantes, son económicos, efectivos y no requieren de mantenimiento mayor.

A) ECONOMÍA

Debido a la sencillez del proyecto, facilidad de fabricación y bajo costo de los materiales. Los apoyos de neopreno no tienen partes móviles, constan simplemente de una placa o más de neopreno de 2.5 cm aproximadamente de espesor colocada entre la trabe y la corona de la pila o estribo.

B) EFECTIVIDAD

Una ventaja muy importante del apoyo de neopreno es su efectividad como medio para la transferencia de carga. Cuando soporta cargas de compresión la placa de hule, absorbe las irregularidades de la superficie y de esa manera las imperfecciones salientes y hundidas que tiene la superficie de concreto.

No hay manera de que el apoyo sea inutilizado por la corrosión y que se transmita así un empuje excesivo a la pila o estribo sobre los que apoya la trabe.

C) MANTENIMIENTO

La tercera ventaja importante de un apoyo de neopreno es que necesita menos conservación que cualquier otro elemento del puente.

El neopreno actualmente se usa para apoyos de puentes por dos razones importantes: tiene las propiedades físicas que se requieren y es altamente resistente al deterioro debido al intemperismo.

A continuación se enumeran las características representativas del Neopreno:

1.- Resistencia. La resistencia del neopreno a la compresión es más que suficiente para soportar cargas de puentes. Cuando el proyecto se ha hecho adecuadamente, el apoyo de neopreno puede soportar cargas a la compresión de hasta 70 Kg/cm².

Además la mayor parte de la deformación plástica tiene lugar en los primeros diez días de carga.

2.- Durabilidad. En su resistencia al deterioro en neopreno es marcadamente superior al hule natural y a cualquier otro hule sintético y que pudiera satisfacer los requisitos físicos de las placas de apoyo para puente. La vida útil de un neopreno es de aproximadamente 40 años. Sin darle ningún tipo de mantenimiento hasta 35 años.

Pues estos neoprenos cumplen con todas las especificaciones AASHTO: Shore, Envejecimiento acelerado en horno, prueba de compresión, bajas temperaturas, adhesión, compresión y deflexión. Apoyos laminados que pueden ser moldeados a cualquier forma y tamaño dependiendo de los requerimientos de diseño.

En la mayoría de los puentes del Ecuador y en el resto del mundo los apoyos de Neopreno son diseñados para, a más de soportar las cargas verticales, trabajan al corte y se oponen al movimiento sísmico con una rigidez horizontal (K_h) y un factor de amortiguamiento (ξ), trabajan como unos aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento. **(Aguiar 2010)**

$$Kh = \frac{G * A}{H}$$

$$Ch = 2 * \varepsilon * \sqrt{m * Kh}$$

- G = módulo de corte de la goma
- A = área de la goma que trabaja al corte
- H = altura efectiva de la goma
- m = masa que gravita sobre el apoyo de neopreno

La inclusión de refuerzo incrementa el amortiguamiento histórico y permite lograr una rigidez vertical alta, ya que las placas de acero disminuyen el efecto de pandeo en las caras laterales del elastómero, con lo cual es posible apoyar cargas estáticas de magnitud considerable con una deflexión mínima, tal como se puede apreciar en la figura 3.5.

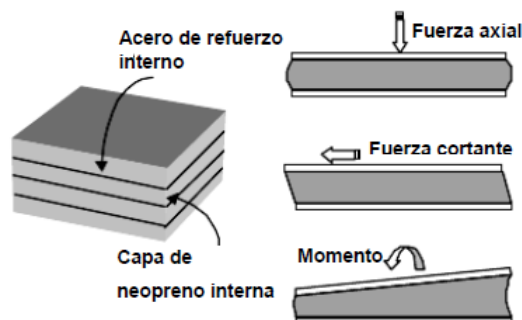


Fig. 3.5. Esfuerzos actuantes en el Neopreno

En la figura 3.6. Está representado gráficamente la ubicación del neopreno en los puentes que de una u otra manera colaboran para un adecuado comportamiento de la estructura.

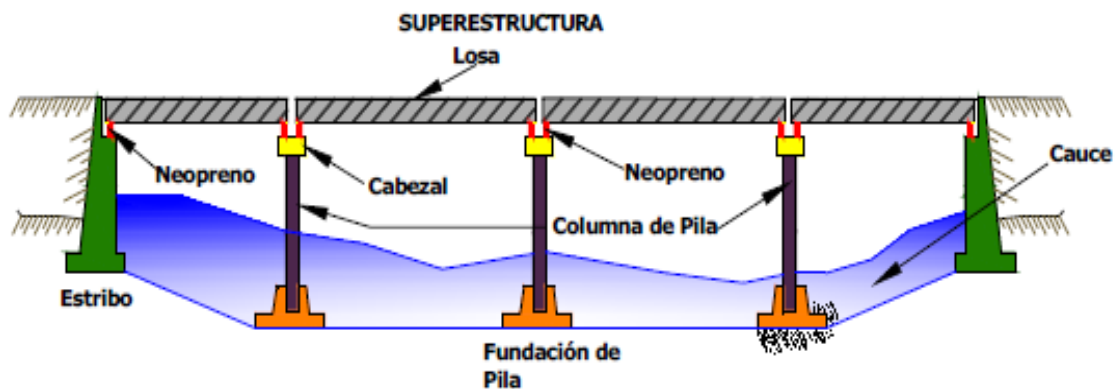


Fig.3.6. Neopreno en puentes

3.3 EXPERIENCIAS DE PUENTES CON NEOPRENOS EN CHILE

Chile es un país el cual ha renovado el tipo de apoyo para puentes, pues está en pleno uso de los aisladores sísmicos, es así el caso del primer puente construido con aisladores sísmicos, el puente Marga fue el primer puente diseñado con aisladores sísmicos en Chile. Se encuentra ubicado en la carretera Rodelillo - El Salto.

Este puente como los otros ha sido monitoreado muy cuidadosamente durante réplicas lo cual ha permitido registrar la respuesta para varios sismos, en particular el del 29 de octubre de 1998, que tuvo una aceleración máxima en la roca de 0.023g. Sin embargo, ninguno de estos movimientos es suficientemente fuerte como para producir deformaciones sustanciales en los aisladores.

El sismo del 27 de febrero de 2010, tuvo una magnitud = 8.8 Mw y en San Pedro de la Paz un registro sísmico tuvo una aceleración máxima horizontal de

0.648 g , a los 32.5 s. El sismo tuvo una duración de 140 s. De tal manera que se tuvo un sismo muy largo, muy fuerte y de alta frecuencia.

Este sismo de alta intensidad trajo como consecuencia la falla de algunos edificios y puentes, pues el mal uso y mala colocación de neoprenos en algunos puentes generaron que estos se salgan ante la presencia de fuertes vibraciones sísmicas, otros casos se dan cuando el neopreno trabaja al 100% y queda totalmente destruido (figura 3.7), pues lo peor se da cuando las vigas se caen por no tener una adecuada trabe con la pila u estribo y que al momento de un sismo el neopreno no haya trabajado, tal como se observa en la figura 3.8.



Fig. 3.7. Desgaste del neopreno (Aguiar 2010)



Fig.3.8. Colapso de vigas "Neoprenos sin trabajar" (Aguiar 2010)

En el sismo del 27 de febrero ocurrido en Chile las infraestructuras que en mayor número quedaron afectadas correspondían a los puentes, especialmente los 4400 situados en el sur del país, de los cuales unos 20 tendrían que ser reparados y la misma cantidad reconstruidos totalmente.

La figura 3.9 muestra el colapso del puente Talcahuano en Chile ante el terremoto del 27 de febrero.



Fig.3.9.Colapso (Puente Talcahuano)

CAPÍTULO 4

AISLADORES ELASTOMÉRICOS Y ENSAYOS EN LABORATORIOS

4.1INTRODUCCIÓN

La implementación de los sistemas de aislamiento sísmico permite reducir la demanda sísmica sobre las estructuras y asegurar su capacidad de resistencia frente a terremotos destructivos, por lo tanto dichas estructuras muestran un comportamiento elástico ante la ocurrencia de importantes terremotos.

La función del ingeniero civil es ser un agente de cambio, el ingeniero debe transformar su ambiente para hacerlo más aprovechable para la sociedad, construyendo y diseñando proyectos en obras horizontales, verticales, hidráulicas y de medio ambiente, las

cuales a su vez se subdividen en considerables cantidades de especialidades. Para hacer esto, de una manera más eficiente y segura debemos ser capaces de estar actualizados siempre de los últimos avances de la ciencia y más aún en proyectos que contribuyan a mantener de pie las estructuras ante la acción de terremotos.

El Ecuador está en el cinturón de fuego, es por ello que esta vulnerable ante terremotos de gran intensidad, pues a la población no solo le preocupa el riesgo de maremoto, terremoto y tsunami en que se halla el país por estar en el cinturón de fuego, sino la vulnerabilidad que le afecta por falta de información, planes de contingencia y mapas de riesgos.

De acuerdo con el grado de impacto de los desastres naturales registrados en la historia del Ecuador, los terremotos han tenido consecuencias graves, sobre todo en cuanto al número de víctimas.

Entre 1541 y 1998 fallecieron 150 mil personas, según el estudio 'Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgos en Ecuador', que se realizó en el 2003, y considerado uno de los más completos por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), esto hace recapacitar acerca de la gran importancia que es estar preparados técnicamente para contrarrestar este tipo de eventos catastróficos que sin duda alguna son inevitables.

El sismo del 27 de febrero del 2010 ocurrido en Chile que tomó por sorpresa a la población chilena y que dejó un saldo de más de cien muertos, no se pudo prever, pues la ciencia, en el mundo, está lejos de ello. Esto es un fenómeno global, es muy difícil poder aislarlo y analizar el problema en un laboratorio, hacer pruebas a nivel de todo el planeta.

Pero algo que sí se puede hacer es evitar que se vuelvan una catástrofe con una cantidad innumerable de muertos teniendo una construcción sismo-resistente adecuada. Pues el sismo ocurrido en Haití, casi paralelamente al de Chile dejó más escenas de drama, algo que sí se debería recalcar es que no se respetaron "los reglamentos de sismo-resistencia" ya que se tiene miles de muertos contra poco más de cien en Chile.

El objetivo de crear un aislador que contribuya a aumentar el conocimiento en esta rama de la ingeniería es que la estructura sea capaz de resistir un sismo de gran intensidad y después de éste seguir siendo operable sin daños mayores que pequeñas fisuras que no provoquen ningún debilitamiento estructural y el contenido se encuentre operando sin interrupciones.

Existen diversas maneras de lograr esto, se centró el estudio principalmente al aislamiento de base pasivo cuyos usos y éxitos a partir de finales de la década de los 70 han sido demostrados a nivel mundial, evitando el colapso de edificios de gran importancia tanto comercial como estratégica. Siendo implementados en universidades, hospitales, centros de telecomunicaciones, plantas nucleares y otros.

Las primeras investigaciones sobre un edificio realmente construido sobre un sistema de aislamiento sísmico se atribuyen a John Milne quien fue profesor de la carrera de ingeniería en minería en Tokio entre 1876 y 1895. La estructura fue construida sobre bolas de acero contenidas en cajas, también de acero. Por encima de las mismas existía una placa de acero tomada al edificio cuya superficie de contacto con las bolas tenía forma cóncava, otra placa de idénticas características se ubicaba por debajo de las bolas. El edificio fue instrumentado y aparentemente ensayado a movimientos sísmicos, las experiencias obtenidas fueron publicadas en 1885 en el informe de la Asociación Británica para el avance de la ciencia.

El primer informe contemplaba un diámetro de bolas de 10 pulgadas, al año siguiente, en 1886, el trabajo fue actualizado y se publicaron los resultados para diámetros de bolas de 8, 1 y $\frac{1}{4}$ de pulgadas **(Naeim y Kelly, 1999)**.

Las aplicaciones prácticas concretas de los sistemas de aislamientos sísmicos comienzan a desarrollarse hace aproximadamente 25 años con el impulso de los aisladores elastoméricos. Los mismos son fabricados con láminas de goma vulcanizadas a planchas de acero, tienen una importante rigidez vertical lo que le permite soportar y transferir eficientemente las cargas verticales del edificio. Son muy flexibles lateralmente precisamente, en la dirección más exigida ante la ocurrencia de terremotos.

Desarrollos posteriores de los dispositivos de protección han permitido la fabricación de aisladores para otras aplicaciones como son los puentes y para el control de vibraciones. En los últimos años se han ideado nuevos sistemas de aislamiento (friccionales, aisladores de goma con núcleo de plomo, goma de alto amortiguamiento, resortes, etc.). Todos ellos persiguen el mismo objetivo, desacoplar al edificio de los efectos destructivos de los terremotos.¹²

¹²(Roberto Aguiar F, Miguel E. Tornello) Modelo propuesto para el análisis sísmico de estructuras con aisladores de base tipo resorte

El diseño sismo resistente convencional se basa en aumentar las capacidades de resistencia y deformación de los elementos estructurales. Para estas estructuras el sismo genera altas aceleraciones, esfuerzos y deformaciones, produciendo daño en ella y sus contenidos.

El diseño sismo resistente con aislamiento sísmico modifica las características dinámicas de una estructura, reduciendo así la demanda sísmica. En este caso se reducen las aceleraciones y deformaciones de la superestructura, eliminando el daño en ella y sus contenidos.

Existe una variedad de sistemas de aislamiento, de los cuales los principales cabe mencionar a dos tipos específicos cuya aplicabilidad es mayor en puentes y edificaciones de alta importancia: apoyos elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) (figura. 4.1), y péndulo deslizante de fricción (FPS).

Los aisladores elastoméricos pueden alcanzar valores significativos de amortiguamiento a través de una modificación en la composición química de la goma, alcanzando razones de amortiguamiento viscoso equivalente que varían entre 12% y 18%, para un amplio rango de frecuencias y deformaciones típicas de diseño. Alternativamente, para lograr niveles de amortiguamiento significativos (20% a 40%), se utiliza el aislador de goma con corazón de plomo. Este dispositivo es idéntico al aislador elastomérico convencional salvo que al centro del aislador se incorpora un núcleo de plomo confinado por las láminas de goma y acero. Este núcleo cumple dos funciones primordiales. La primera, y más obvia, es la de aumentar el amortiguamiento del aislador bajo deformación lateral, y la segunda, es rigidizar la estructura lateralmente para cargas de servicio y eventuales como el viento.

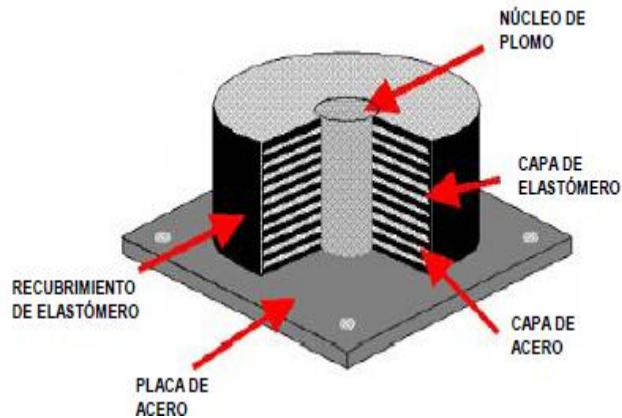


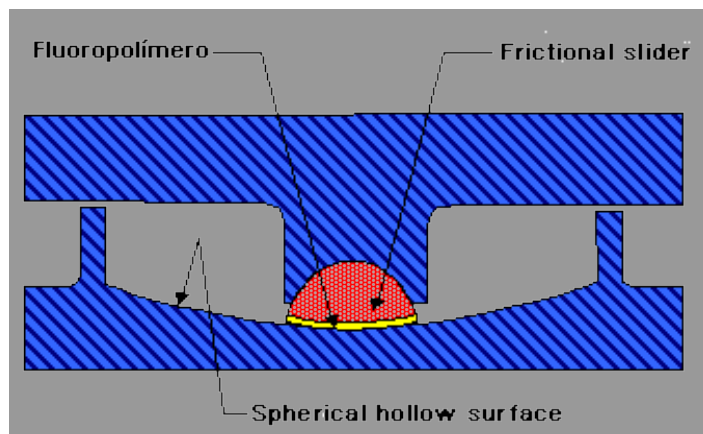
Fig.4.1. - Esquema aislador elastomérico con núcleo de plomo

Se debe tener en cuenta que un sistema de aislamiento debe soportar a una estructura mientras le dota de flexibilidad horizontal y disipación de energía.

Los dispositivos elastoméricos poseen baja rigidez, varían el periodo fundamental de la estructura evitando la resonancia debido a las excitaciones sísmicas.

Por otro lado, los sistemas deslizantes (FPS), se basan en el concepto de deslizamiento friccionante, para la elección del sistema de aislamiento, se debe considerar aparte de su capacidad general de cambiar el período de vibración y añadir amortiguamiento a la estructura algunos parámetros como:

I.- Deformabilidad bajo carga frecuente casi estática, II.- Fuerza de fluencia y desplazamiento, y III.- Rigidez vertical. El esquema del aislador FPS se observa en la Figura 4.2.



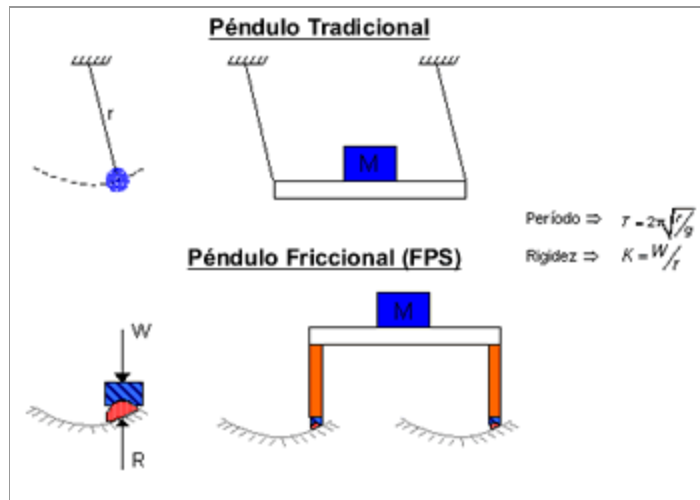


Fig. 4.2.- Esquema aislador friccionante (FPS)

4.2 CÁLCULO DE FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO

El amortiguamiento es la característica de un sistema estructural, que contrarresta el movimiento y tiende a regresar el sistema al reposo cuando es perturbado. Para sistemas de aislamiento, el amortiguamiento es generalmente categorizado como viscoso cuando depende de la velocidad, o histérico cuando depende del desplazamiento. Para un análisis lineal equivalente, el amortiguamiento histérico se convierte en amortiguamiento viscoso equivalente, el cual permite la linearización de la respuesta inelástica.

Mientras que la variación del período usualmente reduce la aceleración, pero incrementa los desplazamientos, el amortiguamiento siempre reduce las aceleraciones y los desplazamientos. Se advierte, que el amortiguamiento incrementado, reduce las aceleraciones, respecto al cortante basal que es dominado por el primer modo de vibración. No obstante, un alto amortiguamiento podría incrementar las aceleraciones en modos altos de la estructura. (Gavin H., et al., 2002).

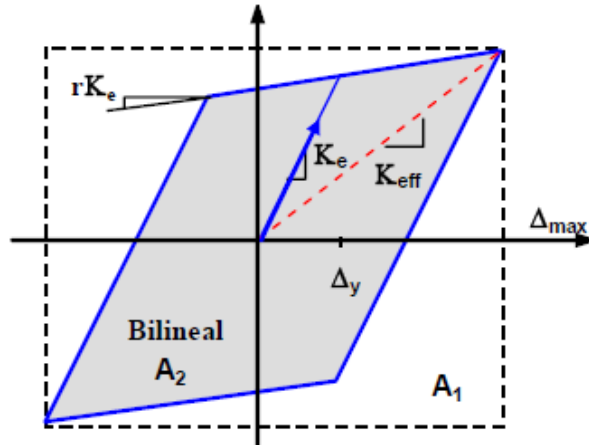


Fig. 4.3. Amortiguamiento (Jacobsen)

$$\varepsilon_{equiv} = \varepsilon_{elast} + \varepsilon_{energdiscp} \quad (\text{Ec. 4.1})$$

$$\varepsilon_{energdiscp} = \frac{2 A_2}{\pi A_1} \quad (\text{Ec. 4.2})$$

- $\varepsilon_{eqv} = \text{AMORTIGUAMIENTO EQUIVALENTE}$
- $\varepsilon_{energdiscp} = \text{AMORTIGUAMIENTO DEBIDO A LA ENERGIA DISCIPADA}$
- $A_1 = \text{AREA DEL LAZO HISTERICO}$
- $A_2 = \text{AREA DEL LAZO HISTERICO RIGIDO PERFECTAMENTE PLASTICO}$

El amortiguamiento equivalente (ε_{eqv}), está dada para cualquier modelo (Ecu. 4.1), pues Todos los modelos de amortiguamiento parten del modelo propuesto por Jacobsen (1930), en este modelo de amortiguamiento se sostiene que para un modelo histórico rígido perfectamente plástico (R-P-P), el amortiguamiento equivalente máximo es igual a $2/\pi$ (Ecu. 4.2), el mismo que disipa más energía que cualquier otro modelo, de ahí que el amortiguamiento es proporcional a la energía disipada por el modelo histórico, tal hecho se observa en la figura 4.3.

Del modelo de amortiguamiento dado por Jacobsen parten otros modelos, básicamente con los mismos conceptos de los cuales se detalla a continuación algunos de estos:

- **Modelo de amortiguamiento Menshin.**-Se basa en la relación de áreas propuesta por Jacobsen, combinados con todos los parámetros que intervienen en el diagrama bilineal fuerza-desplazamiento.

Básicamente el modelo de amortiguamiento propuesto por Menshin

$$\varepsilon_B = \frac{2 \cdot V_0 \cdot \left\{ \Delta B + \left(\frac{V_0}{K_p - K_e} \right) \right\}}{\pi \cdot \Delta B \cdot (V_0 + \Delta B \cdot K_p)} \quad (\text{Ec. 4.3})$$

Se transforma en una relación de áreas,

$$\varepsilon_B = \frac{A_2}{A_1} = \frac{2 \cdot V_0 \cdot (\Delta B - \Delta B_Y)}{\pi \cdot V \cdot V_B} \quad (\text{Ec. 4.4})$$

Donde el "A2", corresponde al rectángulo formado por los valores último tanto de cortante **V**, como de desplazamiento, **ΔB**, mientras que el "A1", se forma entre el cortante para un desplazamiento cero **V₀** y la variación de desplazamiento, esto se puede apreciar en la Figura 4.4.

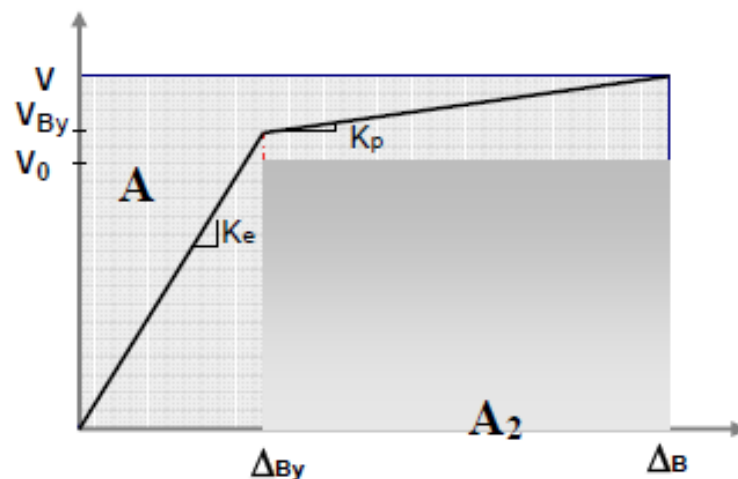


Fig.4.4. Amortiguamiento (Menshin)

- **Modelo de amortiguamiento AASTHO.-** Consiste en determinar directamente el amortiguamiento del sistema, con la ecuación siguiente.

$$\varepsilon_{SYS} = \frac{2*V_0*(\Delta B - \Delta B_Y)}{\pi*(\Delta B + \Delta P)^2*K_{eff}} \quad (\text{Ec. 4.5})$$

Esta ecuación se puede transformar en la relación de áreas propuesta por Jacobsen, (A_2 / A_1), y en función de todos los parámetros que intervienen en el diagrama bilineal de fuerza-desplazamiento, tanto para el aislador como del sistema.

$$\varepsilon_{SYS} = \frac{2*V_0*(\Delta B - \Delta B_Y)}{\pi*V*\Delta_{SYS}} \quad (\text{Ec. 4.6})$$

El área dos, **A2**, está formada entre el cortante para un desplazamiento cero **V₀** y la variación de desplazamiento del aislador (**$\Delta B_Y - \Delta B$**); el área rectangular, **A1** se forma por los valores últimos tanto de cortante **V**, como de desplazamiento del sistema **Δ_{SYS}** , la figura 4.5, muestra lo antes expuesto.

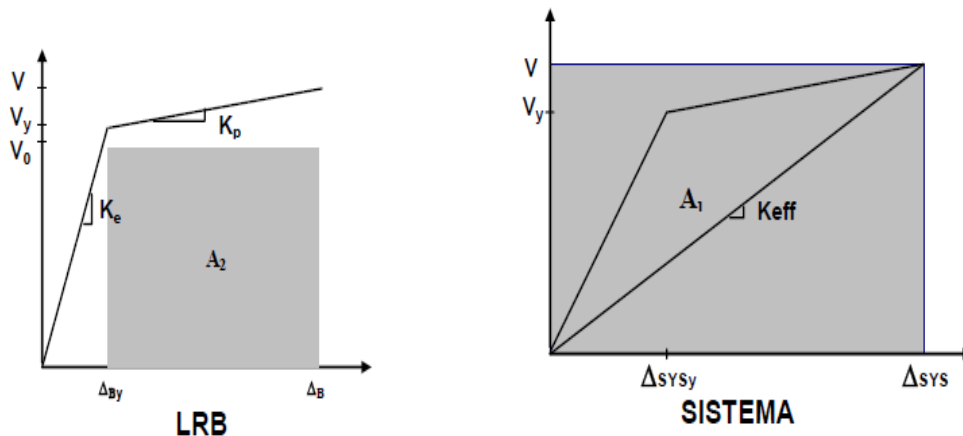


Fig. 4.5. Relación de áreas AASTHO

- **Modelo Bilineal.-** Blandon propone el amortiguamiento de un modelo bilineal en base a encontrar un sistema sustituto, de forma que en este sistema a partir del amortiguamiento y periodo efectivo se alcance el mismo desplazamiento que en el sistema inelástico.

El amortiguamiento se obtiene a partir de un análisis no lineal de historia en el tiempo, para un número determinado de sismos.

En la siguiente ecuación se muestra el amortiguamiento planteado por Blandon el cual depende básicamente de la ductilidad del dispositivo.

$$\varepsilon_{Beff} = \frac{a}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\mu^b} - 0.1 * r * \mu \right) \left(1 + \frac{1}{(T+c)^d} \right) \frac{1}{N} \quad (\text{Ec. 4.7})$$

$$N = 1 + \frac{1}{(0.5+c)^d} \quad (\text{Ec. 4.8})$$

Tabla. 3.1. Valores de constantes (amortiguamiento)

CONSTANTE	VALOR
a	160
b	0.5
c	0.85
d	4

4.3 CÁLCULO DE RIGIDEZ EFECTIVA

Este tipo de aisladores se pueden describir por medio de un comportamiento lineal simplificado, o bien como un modelo bilineal. Se escoge alguna de las formas de caracterizarlo según el tipo

de análisis al cual se va a someter a la estructura completa. Si se realiza un análisis lineal la forma más simple resulta adecuada, pero si el análisis requerido es dinámico no-lineal (time-history), entonces es conveniente ocupar el modelo bilineal.

En el modelo lineal, las rigideces horizontales (Ec. 4.9) y verticales (Ec. 4.10) se calculan para niveles distintos de deformación, partiendo de un 10% hasta llegar a un 100% de deformación.¹³

$$K_H = \frac{G * A}{T_r} \quad (\text{Ec. 4.9})$$

$$K_V = \frac{E_c * A}{T_r} \quad (\text{Ec. 4.10})$$

Donde **A** es el área de la sección horizontal y **Ec** es el módulo de elasticidad vertical para el sistema compuesto, es decir, la goma con las capas de acero intermedias. El valor del coeficiente **Ec** está controlado por el factor de forma **S**, que establece una relación entre el área cargada ya aquella que no lo está, para una capa de goma.

Para el caso de un aislador circular de radio **r**

$$S = \frac{r}{2t} \quad (\text{Ec. 4.11})$$

Y para el caso de un aislador cuadrado de lado **a**

$$S = \frac{a}{4t} \quad (\text{Ec. 4.12})$$

Donde **t** es el espesor de cada capa de goma para los dos casos.

Con estas expresiones se puede encontrar el módulo de compresión del material compuesto para el caso circular

$$E_c = 6 * G * S^2 \quad (\text{Ec. 4.13})$$

2 - (Roberto Ignacio Soto) Proposición de norma para el diseño de puentes con aisladores Sísmicos

O para el caso de cuadrado

$$E_c = 6.73 * G * S^2 \quad (\text{Ec. 4.14})$$

Hasta aquí, se ha considerado un material incompresible para la deducción de las ecuaciones del módulo de compresión **Ec**. Esto es válido en la medida que el factor de forma sea cercano o inferior a 10. Es posible realizar una corrección si este criterio no se cumple, de modo que las expresiones anteriores sigan siendo válidas. Considerando que **Ec** sigue siendo el módulo de compresión para material incompresible, **Ec'** es el módulo de compresión modificado y **K**, el módulo de elasticidad volumétrico de la goma, la corrección es:

$$\frac{1}{Ec'} = \frac{1}{Ec} + \frac{1}{K} \quad (\text{Ec. 4.15})$$

Respecto al comportamiento a flexión de un aislador, es necesario conocer la rigidez a la flexión (**K θ**).

Para el caso de aisladores circulares

$$K_{\theta} = \frac{E_c * I}{3 * T_r} \quad (\text{Ec. 4.16})$$

Y para aisladores en forma rectangular

$$K_{\theta} = \frac{0.329 * E_c * I}{T_r} \quad (\text{Ec. 4.17})$$

Pues nuevamente cabe recalcar que un aislador elastomérico queda mejor descrito por un modelo bilineal al momento de realizar un análisis más complejo, por lo tanto se comentan las relaciones que lo describen. Usando la notación de la Fig. 4.5 descrita anteriormente, pues se hace un recuento de las nomenclaturas: **K1** es la rigidez elástica, **K2** es la rigidez post-fluencia, **Q** la resistencia característica y **Des** el desplazamiento máximo, que se asume mayor al desplazamiento de fluencia **Dy**. Interesa conocer el valor de la rigidez efectiva **Keff** (Ec.4.18)

y el amortiguamiento C (Ec. 4.19) producto del trabajo desarrollado en el ciclo de histéresis.²(Roberto Ignacio Soto)

$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D} \quad (\text{Ec. 4.18})$$

$$C = \frac{4*Q*(D-D_y)}{2\pi*K_{eff}*D^2} \quad (\text{Ec. 4.19})$$

4.4 VARIACION DEL AMORTIGUAMIENTO A DIFERENTES DESPLAZAMIENTOS

Usualmente cuando se efectúa un análisis dinámico de una estructura el amortiguamiento se provee en la forma de razones de amortiguamiento (ξ) para cada modo de vibración. Estas razones de amortiguamiento se usan a la hora de resolver las ecuaciones de movimiento desacopladas de cada modo, o alternativamente, si se conocen los valores de ξ para uno o dos modos, se forma una matriz de amortiguamiento de Rayleigh.

Estas formas de tener en cuenta la disipación de energía en una estructura son razonables dado que el amortiguamiento proviene de diversas fuentes que son difíciles de identificar y es más difícil aún cuantificar y modelar la contribución de cada una.

El aumento del amortiguamiento del sistema de aislación es una opción aceptable para reducir el desplazamiento del conjunto aislado y para reducir los costos que implicaría la fabricación de aisladores elastoméricos para demandas de desplazamiento importantes (Jangid y Kelly, 2001).

El efecto del amortiguamiento tiene una relación directa, con la aceleración que llega a la superestructura, por esta razón el aumento del amortiguamiento del sistema de aislación puede ser una herramienta adecuada para mejorar el proceso de disipación de energía.

Investigaciones antes realizadas sobre amortiguamiento Vs la deformación concluyeron que el uso de tratamientos de amortiguamiento con capa de material visco elástico reduce significativamente la respuesta dinámica de la estructura.

También mostraron, que para cada modo y espesor de capa restringente, existen una longitud, localización y espesor de la capa visco elástica que maximizan el amortiguamiento, pues a mayor amortiguamiento menor serán el desplazamiento de la superestructura ante acciones sísmicas.

En la figura 4.6 se presenta la variación del desplazamiento del conjunto aislado que varía en función del amortiguamiento.

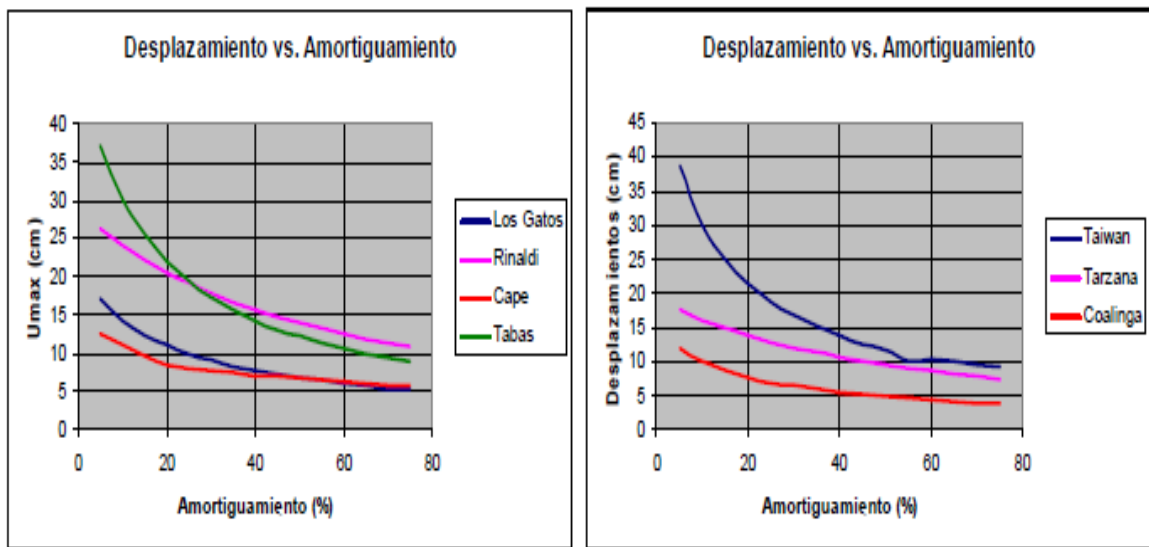


Fig. 4.6. Variación del desplazamiento del conjunto aislado en función del amortiguamiento del sistema de aislación.

La característica básica del aislamiento sísmico es la reducción de fuerzas sísmicas mediante un incremento de la capacidad de disipación de energía y del periodo fundamental, de hecho con esto se ha logrado tener menores desplazamientos y a la vez se logró reducir la aceleración de la superestructura (Skinner, Robinson y McVerry, 1993, Buckle y Mayes, 1992).

4.5 VARIACION DE LA RIGIDEZ CON LA FRECUENCIA.

Hablando en términos generales sobre la relación entre la estructura y la amplitud de la vibración genera un efecto importante sobre las frecuencias fundamentales, esto significa que

la rigidez de la estructura es fuertemente dependiente de la magnitud de la vibración, pues si bien es cierto cuando la frecuencia es alta la rigidez de la estructura debe ser alta para soportar dichos desplazamientos generados por frecuencias altas, con esto explicamos en sí, la dependencia entre la rigidez, la frecuencia y el desplazamiento generado a la estructura.

La Figura 4.7 muestra el cambio en la frecuencia fundamental en diferentes segmentos del sismo.

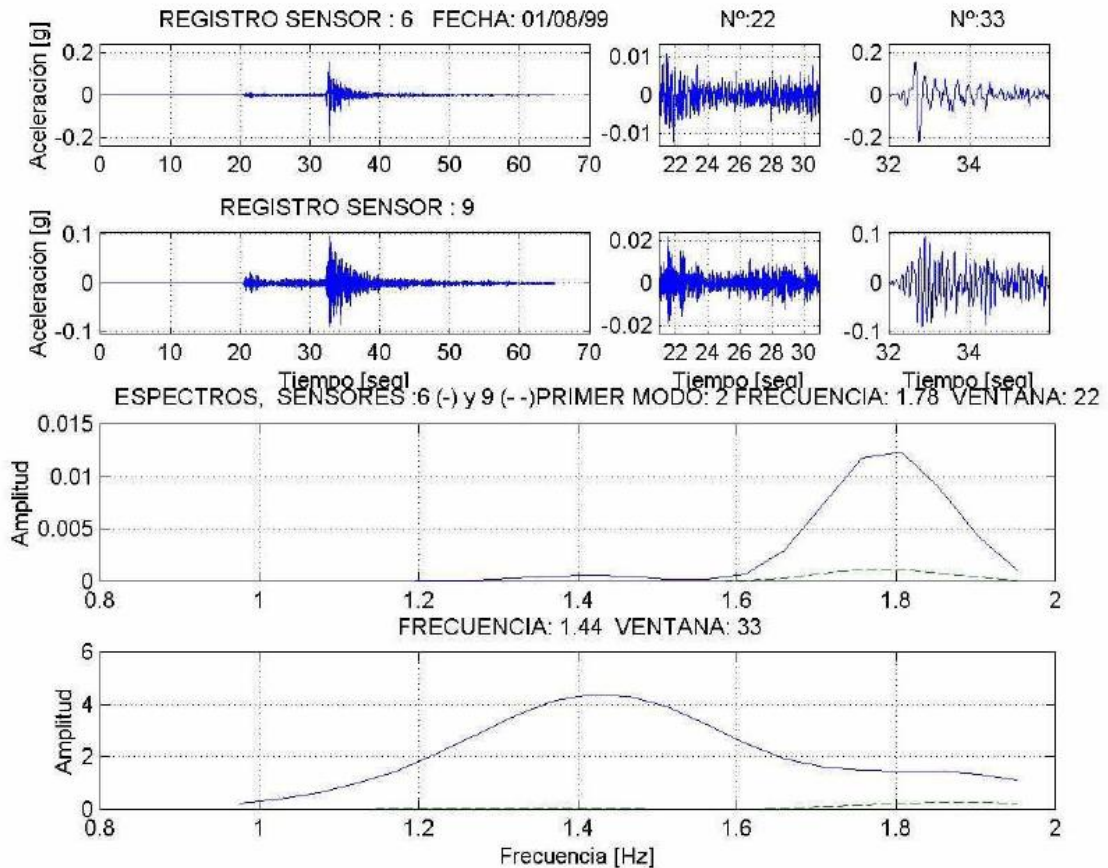


Fig.4.7. Cambio de la frecuencia con la amplitud (Rigidez de la estructura dependiente de la frecuencia)
 El objetivo principal de esta tesis es el de crear un elemento tal que disipe la energía producida por el sismo y que no genere daños a la estructura, de ello también se parte para explicar la relación entre la rigidez en función de la frecuencia de excitación producidas en estudios experimentales, con el neopreno(goma) que constituye el material principal para la construcción de aisladores elastoméricos, se sabe que la rigidez y el factor de amortiguamiento del aislador sísmico elastomérico varían en función de la deformación de la goma, de la frecuencia de la excitación y de la temperatura.

A medida que aumenta la frecuencia de vibración también aumenta la rigidez. Así por ejemplo notamos en ensayos anteriores sobre estudio experimental de un dissipador visco elástico con goma de 6mm (**Aguilar y Jiménez**).

Pues de aquellos estudios realizados se obtuvo los siguientes datos de los cuales se han realizado ensayos a diferentes frecuencias y deformaciones Figura 4.8.

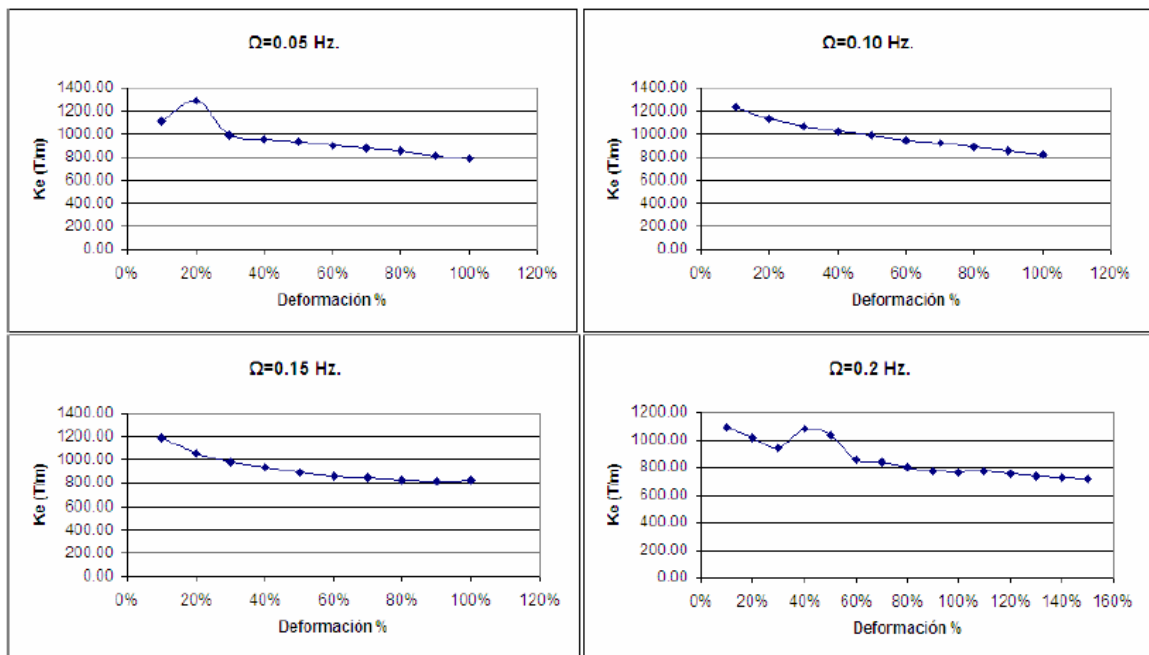


Fig.4.8. Variación de la rigidez en función de la deformación de la goma y en función de la frecuencia de excitación producida.

4.6 CÁLCULO DEL MÓDULO DE CORTE.

Este tipo de aisladores se pueden describir por medio de un comportamiento lineal simplificado, o bien como un modelo bilineal. Se escoge alguna de las formas de caracterizarlo según el tipo de análisis al cual se va a someter a la estructura completa. Si se realiza un análisis lineal la forma más simple resulta adecuada, pero si el análisis requerido es dinámico no-lineal, entonces es conveniente ocupar el modelo bilineal.

La goma se caracteriza por medio del módulo de corte G que presenta una relación no-lineal con la deformación, por lo tanto, para el diseño es necesario definir un nivel de deformación al cual se mide G .

La deformación que interesa es la distorsión angular γ , como lo indica:

$$\gamma = \frac{D}{Tr} \quad (\text{Ec. 4.20})$$

- D = desplazamiento horizontal
- Tr = altura total de la goma

En el modelo lineal, las rigideces horizontales (K_h) y verticales (K_v) se calculan para niveles distintos de deformación, un 50% y un 20% respectivamente.

$$K_h = \frac{G \cdot A}{Tr} \quad (\text{Ec. 4.21})$$

$$K_v = \frac{E \cdot A}{Tr} \quad (\text{Ec. 4.22})$$

- A = área de la sección horizontal
- E = módulo de elasticidad vertical
- G = módulo de corte de la goma

La rigidez horizontal a partir de la curva de histéresis como se muestra en la figura 4.9. De ellase halla los desplazamientos máximos positivos y negativos (d_{\pm}), La fuerzas máximas positivas y negativas (F_{\pm}), y se calcula la rigidez horizontal. Con la siguiente formula:

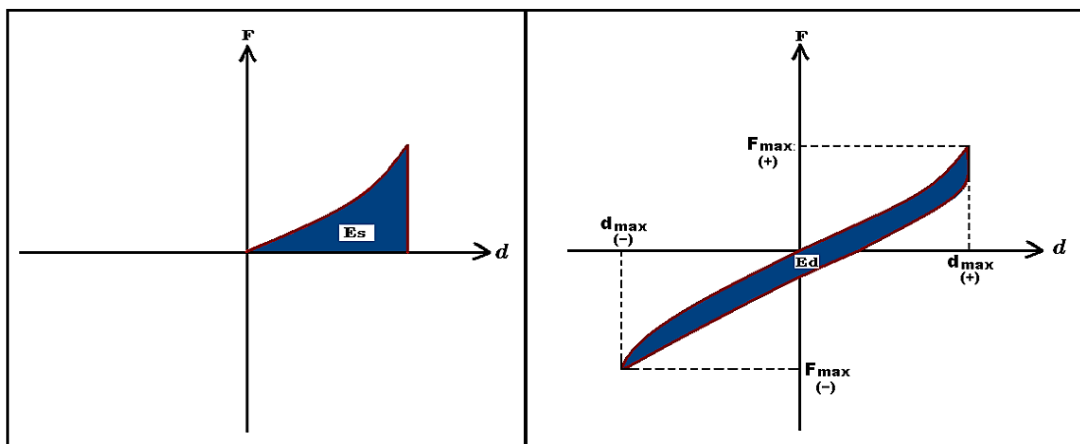


Fig. 4.9. Análisis de la Curva de histéresis.

$$K(+)=\frac{F(+)}{d(+)} \quad (\text{Ec. 4.23})$$

$$K(-)=\frac{F(-)}{d(-)} \quad (\text{Ec. 4.24})$$

$$Kh=\frac{K(+)+K(-)}{2} \quad (\text{Ec. 4.25})$$

Pues una vez hallada la rigidez horizontal (Kh), y teniendo de datos el área de la sección horizontal (A), la altura total de la goma (Tr), hallamos el módulo de corte de la goma (G).

$$G=\frac{Kh*Tr}{A} \quad (\text{Ec. 4.26})$$

CAPÍTULO 5

AISLADOR CON PERNO PASANTE Y SIN PERNO PASANTE

5.1 REUTILIZACIÓN DE LAS LLANTAS DE AUTOMOVILES

La masiva fabricación de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer una vez utilizados es un problema que trae dolores de cabeza, se trata de la desintegración de las llantas viejas de los automóviles que resultan tan nocivas para el medio ambiente ya que son vectores de mosquitos, ratas, cucarachas y aguas estancadas infectadas, que de una u otra manera causan contaminación ambiental nociva especialmente la costa Ecuatoriana por el clima que esta posee.

El reciclaje de estas tienen un fin fundamental, pues con este tratamiento se pretende dar una fina trituración a las llantas y convertirlas en polvo fino de elastómeros cuyas fracciones van desde los 2,5 mm hasta los 0,5 mm y que pueden ser aprovechados en la industria del calzado, para la elaboración de nuevas llantas, cauchos naturales, correas, tapetes, tejas, juntas para los rieles, mangueras, tejas, tablas, asfalto, listones, rodapiés, sardineles y otros materiales de construcción. En este caso la prioridad es reutilizarlas para la elaboración de aisladores sísmicos elastoméricos.

Para la fabricación de estos aisladores sísmicos elastoméricos, se pretende generar un aporte al medio ambiente, mediante el reciclado de llantas usadas, y por medio del cual también pretendemos abaratar costos, pues el tratamiento de estas llantas se detallara por fases.

PRIMERA FASE: Al reciclar las llantas se obtiene el 80% de materia prima principal que se utilizara en los diferentes productos. Para esta primera fase se realiza la trituración de la llanta reciclada, estas llantas pasan por una máquina que la muele y reduce a pedazos no tan pequeños pero ya considerables y trabajables (figura 5.1).



Fig . 5.1. Trituración de llantas recicladas

SEGUNDA FASE: Una vez triturada en la primera fase estos materiales no son aún muy considerables (figura 5.2), pero en esta segunda fase se tratara de eliminar los componentes férreos con el uso del separador magnético, para separar los materiales como nylon, fibras de vidrio de las cuales están compuestas las llantas se usa un tamiz, una vez cumplido con estos pasos se trata de cumplir el objetivo de obtener materia prima solo de neopreno(figura 5.3).



Fig. 5.2. Materia resultante de la primera trituración



Fig. 5.3. Separador magnético

TERCERA FASE: En esta fase se repite los procesos anteriores pero reduciéndolos al máximo, para con esto obtener materiales ya netamente de neopreno puro, y reutilizarlos en la elaboración de aisladores sísmicos elastoméricos (figura 5.4)

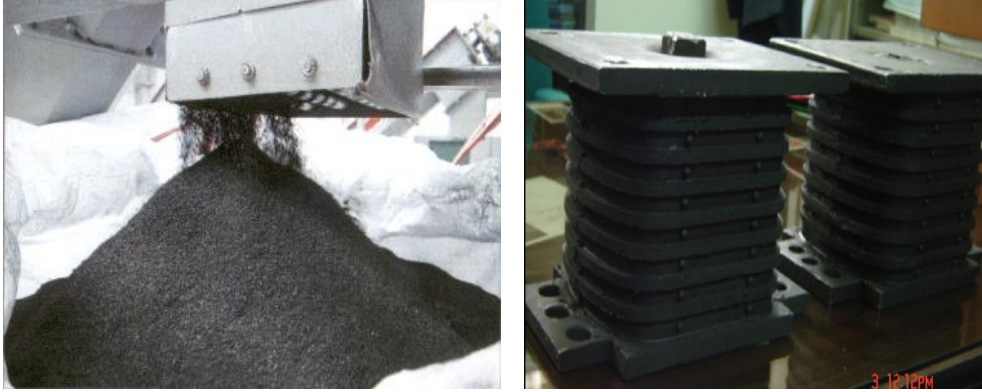


Fig. 5.4. Tratamiento final de las llantas recicladas y elaboración del aislador

5.2 DESCRIPCIÓN DEL PRIMER AISLADOR (PROTOTIPO)

En la Escuela Politécnica del Ejercito, se ha visto la necesidad de colaborar al desarrollo del país y muy específicamente con el sector de la construcción. Puesto que el Ecuador es un país que se encuentra dentro de la cadena de placas tectónicas que liberan energía cada cierto lapso de tiempo, y estudiando sismos que ya han ocurrido en nuestro país se ha planteado realizar un sistema de aislación sísmica que contribuya masivamente a disminuir las aceleraciones que afectan directamente a las estructuras.

Parte de del objetivo se planteó la necesidad de crear un prototipo base del cual se partió ensayando, analizando resultados, y mejorando 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 a continuación en la figura 5.5.

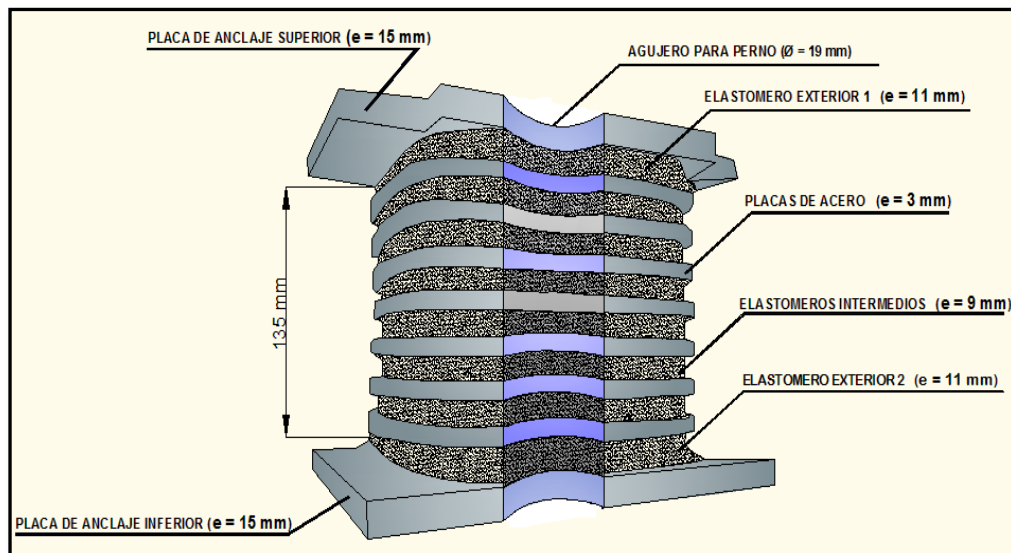


Fig. 5.5. Esquema del primer prototipo

La altura del prototipo es de 135mm, la base de 140mm, generalmente se lo conoce como sándwich, por tener intercalados acero y neopreno que semeja a la forma de un sándwich.

El número de gomas que componen este aislador son 8 en total, de los cuales cabe mencionar que los espesores del neopreno en los extremos de este son de 11mm, y los espesores internos son de 9mm.

El número de placas de acero internas del prototipo son 7 en total, las mismas que tienen un espesor de 3mm cada una, la función de estas placas serán para dar una rigidez vertical eficiente.

Las placas de los extremos que sirven para anclaje a la cimentación y a la superestructura respectivamente, tienen un espesor de 15mm cada una de ellas.

Para la fabricación del prototipo se utilizó un compuesto de caucho sintético de primera calidad, el cual a su vez permite soportar altas cargas dinámicas, tracción, fricción, desgaste con Shore A 60 ± 5 . La fabricación química para llegar a este compuesto se resumen en: Caucho sintético en un 80 %; reciclado de llantas usadas (carga) reemplazando al caolín en 10%; Químicos y otros en un 10 %.

Este es el primer aislador elastomérico fabricado en el Ecuador, que como se verá más adelante no tuvo un comportamiento adecuado en el laboratorio razón por la cual se procedió a construir otro aislador en el cual se mejoró la calidad de la goma.

En la primera experiencia que se tuvo con el prototipo con perno pasante, el perno tenía un juego de 2mm en el núcleo del prototipo, al momento de ensayarlo se tuvo una cierta restricción para la deformación del mismo. El detalle del perno que se colocó en el núcleo está representado en la figura 5.6.

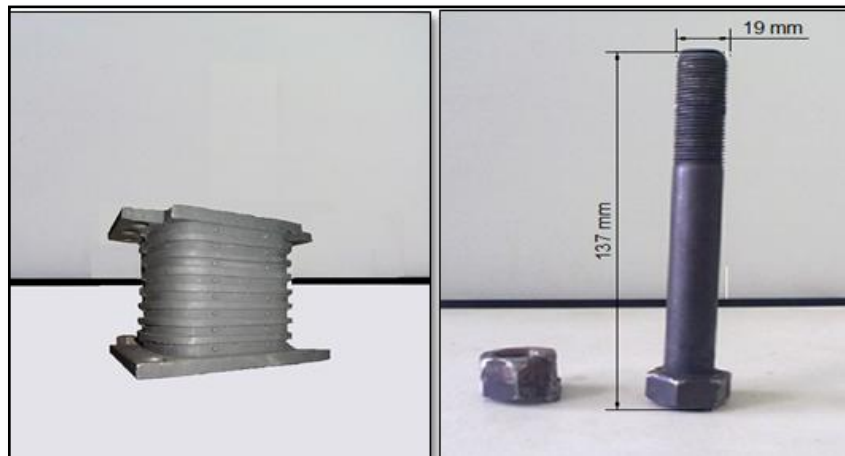


Fig. 5.6. Esquema del perno pasante

Las características del neopreno de este prototipo no fueron tan efectivas al momento de ensayarlo, la restricción de desplazamientos que generó el perno pasante no produjo ningún daño al neopreno motivo por el cual se lo sacó y se lo ensayó al prototipo sin perno pasante y con un hueco de 21mm en el núcleo.

5.3 ENSAYOS REALIZADOS

Para el ensayo del aislador elastomérico se usó la máquina de ensayos Universales (figura 5.7), la misma que se le adaptó unas placas de acero con cierta consideración para que al momento de colocar el prototipo este no produzca excentricidad alguna, y no genere ningún efecto de torsión.



Fig. 5.7. Máquina de ensayos universales

La descripción del equipo es la siguiente:

- Equipo: Máquina de Ensayos Universales MTS 810 Material
- Marca: MTS
- Modelo: 810 – 14 – 2
- Código (Laboratorio de Mecánica de Materiales ESPE): RM – 30
- Manual (Laboratorio de Mecánica de Materiales ESPE): MRM – 30
- Las características técnicas son las siguientes:
- Voltaje: 230 V
- Fases: 3
- Ciclos: 60 Hz
- Peso: 3000 Kg
- Capacidad Máxima: 500 KN
- Refrigerante: N/A
- Tipo de motor: SC
- Potencia motor: 40 HP
- Velocidad máxima motor: 1765 rpm
- Combustibles: N/A

El equipo consta de tres partes:

- El circuito hidráulico, el cual posee una bomba para dar la presión necesaria al pistón hidráulico según lo requiera el control de la máquina previamente programado.
- El control de la máquina, en el cual se programa el movimiento del pistón hidráulico según el ensayo requerido y envía señales eléctricas al circuito hidráulico para trabajar sobre la probeta.
- Las instalaciones fijas y móviles las cuales sostienen la probeta con mordazas y envían la información sobre desplazamiento, carga o deformación mediante sensores al control de la máquina para registrar los datos y procesarlos. La Figura 5.8 muestra las instalaciones fijas y móviles sin dispositivos de ensayo.

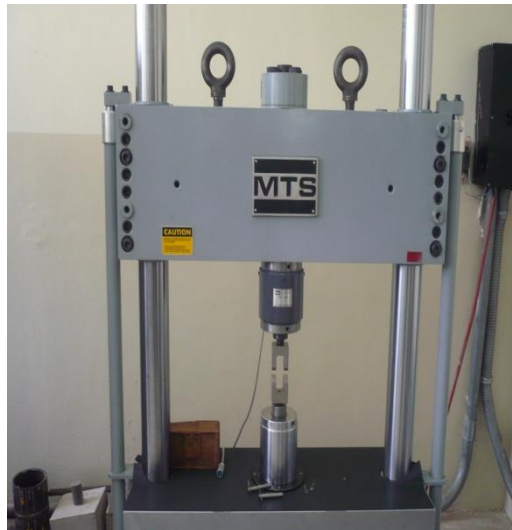


Fig. 5.8. Instalaciones fijas y móviles de la máquina

Debido a que se necesitará realizar pruebas de carga dinámica para poder evaluar el desempeño del prototipo a ser utilizado en los ensayos, se colocó una placa adaptada a la prensa móvil de la máquina para que esta trabaje a corte directo y con su debida precaución de no producir excentricidad tal como se observa en la figura 5.9.



Fig. 5.9. Montaje del prototipo

Una vez ya colocado el prototipo en la maquina Universal antes descrita, se procedió a realizar el ensayo de corte directo, para ello el ASCE 7 – 05 Sección 17.8 detalla la norma para realizar este tipo de ensayos entre las pruebas que propone esta norma se observan:

- Veinte ciclos completos con carga lateral correspondiente a la carga lateral de viento.
- Tres ciclos completos de carga correspondientes a diferentes porcentajes del desplazamiento total causada por las cargas sísmicas aplicadas al sistema.
- Diez ciclos completos a diferentes relaciones de la aceleración total correspondiente al movimiento sísmico.

Pero la prueba a tomarse en cuenta es aquella que se realiza debido a la naturaleza del dispositivo ante cargas variables. Por lo tanto se propone realizar pruebas dinámicas para simular sismos, en las que se apliquen cargas de prueba similares a las aplicadas al sistema, con frecuencias que vayan del rango de 0.05 y los desplazamientos que varíen en un rango del 10% al 100% de la deformación, tomando en cuenta que para este caso el 100% de deformación de la goma es 76mm.

Los ensayos se realizaron hasta frecuencias que emitan valores reales tanto en desplazamiento como en fuerzas, debido a la restricción que tiene la máquina, al momento de ensayar a frecuencias altas y

desplazamientos mayores al 50% de deformación total de la goma, los desplazamientos no son iguales, es decir la máquina por cumplir la frecuencia programada no puede cumplir con desplazamientos significativos, es por ello que se decidió tomar como válidos los ensayos a desplazamientos máximos del 50% cuando se programó frecuencias altas o mayores de $\Omega = 0.30$ Hz.

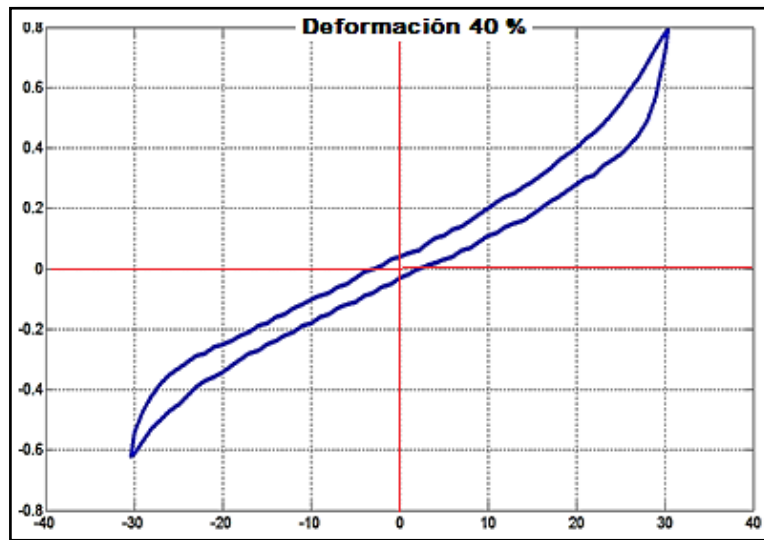


Fig. 5.10. Curvas de histéresis $\Omega = 0.10$ Hz (deformaciones equitativas).

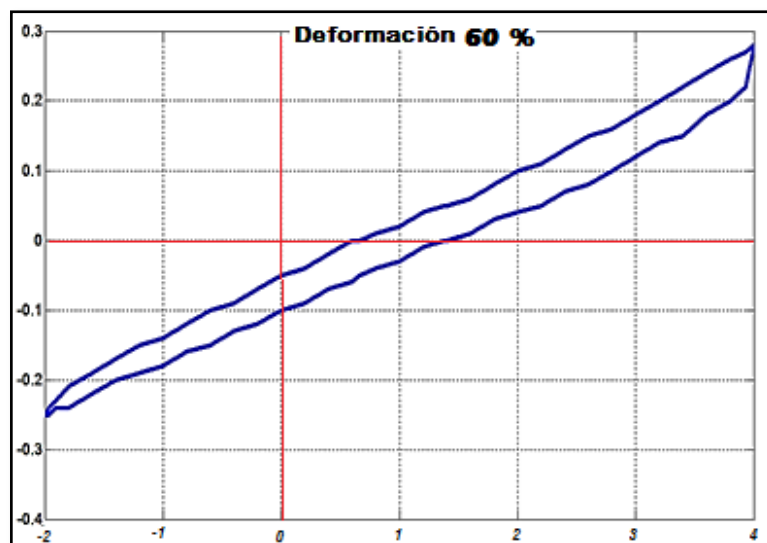


Fig. 5.11. Curvas de histéresis $\Omega = 0.30$ Hz.

La figura 5.10, muestra claramente la curva de histéresis a frecuencia de 0.10Hz, y deformación del 40%, efectivamente existe una equidad de desplazamientos a frecuencias bajas, cosa que no sucede en la figura 5.11. donde la frecuencia es de 0.30Hz, los desplazamientos ya no son equitativos, esto a la vez trae errores al momento de realizar los cálculos respectivos.

5.4 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

De los datos obtenidos en los ensayos a corte directo del prototipo de aislador sísmico elastomérico se registraron:

- La relación fuerza – desplazamiento mediante la gráfica de la curva de histéresis, las mismas que se grafican en papel milimetrado.
- Los bucles histéricos 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.

Los resultados a obtener y que serán calculados posteriormente:

- El coeficiente de amortiguamiento del aislador (ξ).

El factor de amortiguamiento ξ se obtiene del análisis de la curva de histéresis, de la siguiente manera. En la figura 5.12. Se muestra la máxima energía elástica que absorbe el aislador, E_S ; y a la derecha se muestra la energía disipada por el aislador en un ciclo de histéresis E_D .

$$\xi = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_S} \quad (\text{Ec. 5.1})$$

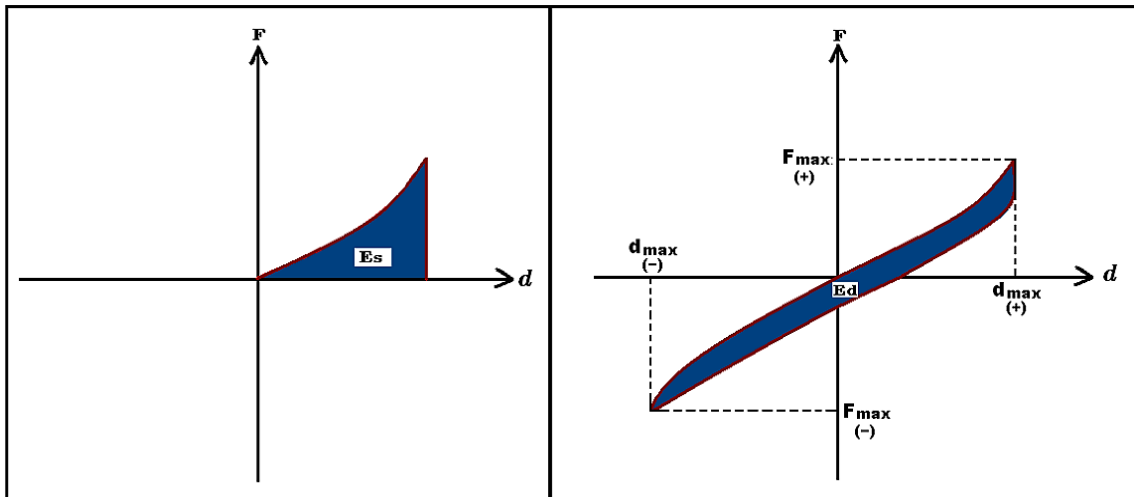


Figura 5.12. Diagrama de histéresis y energías elástica e inelástica.

- La rigidez horizontal (**Kh**)

Para hallar la rigidez horizontal del aislador, tomaremos las fuerzas máximas positivos (F^+) y fuerzas máximas negativas (F^-), como también los desplazamientos máximos positivos (d^+) y desplazamientos máximos negativos (d^-).

$$k_H^+ = \frac{F_{\max}^+}{d_{\max}^+} \quad (\text{Ec. 5.2})$$

$$k_H^- = \frac{F_{\max}^-}{d_{\max}^-} \quad (\text{Ec. 5.3})$$

$$Kh = \frac{Kh^+ + Kh^-}{2} \quad (\text{Ec. 5.4})$$

- Módulo de corte de la goma (**G_a**)

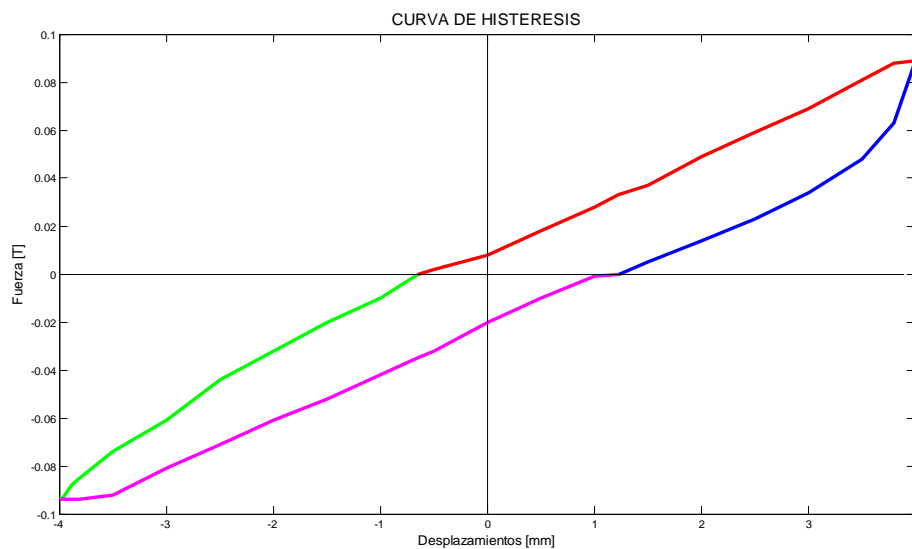
Se obtuvo a partir de la rigidez horizontal k_h ; de la altura efectiva de goma H y del área que trabaja al corte A .

$$G_a = \frac{H * K_h}{A} \quad (\text{Ec. 5.5})$$

De las curvas de histéresis obtenidas en los ensayos podemos deducir los desplazamientos programados y las fuerzas que disipa el aislador ante el desplazamiento programado, los resultados obtenidos de dichos ensayos se presentan a continuación:

REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS ($\Omega = 0.05$ Hz) PROTOTIPO CON PERNO PASANTE.

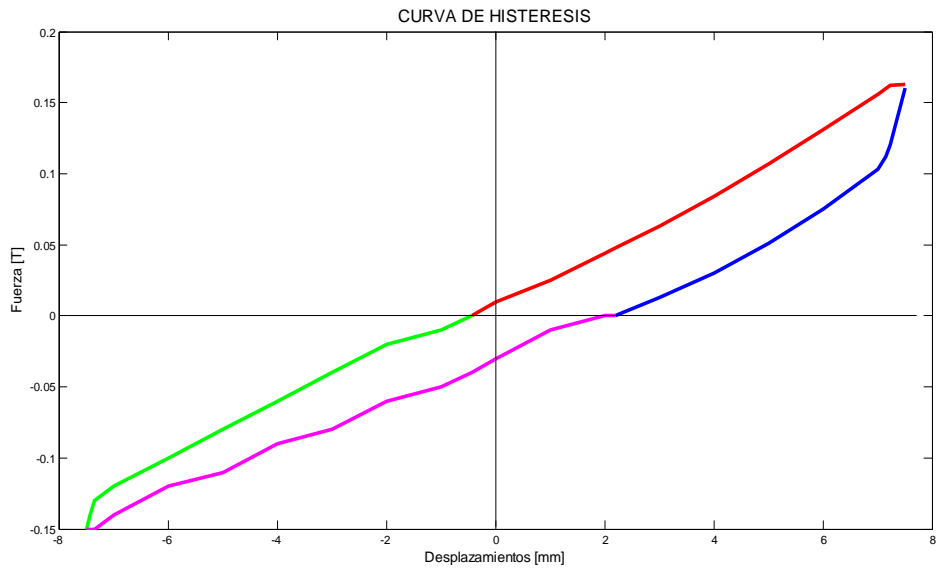
- **CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0918

RIGIDEZ EFECTIVA = 22.96 t/m

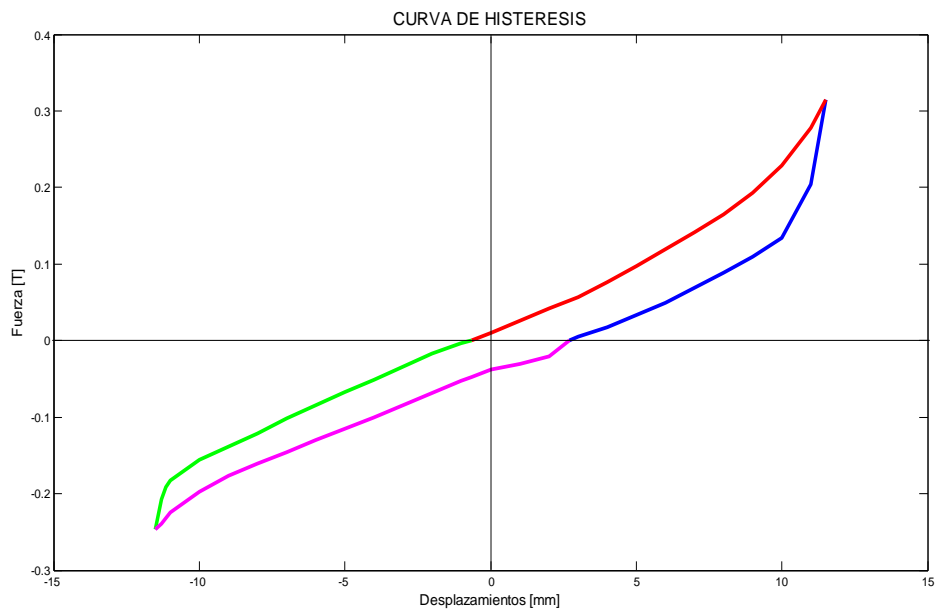
- **CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0769

RIGIDEZ EFECTIVA = 20.65 t/m

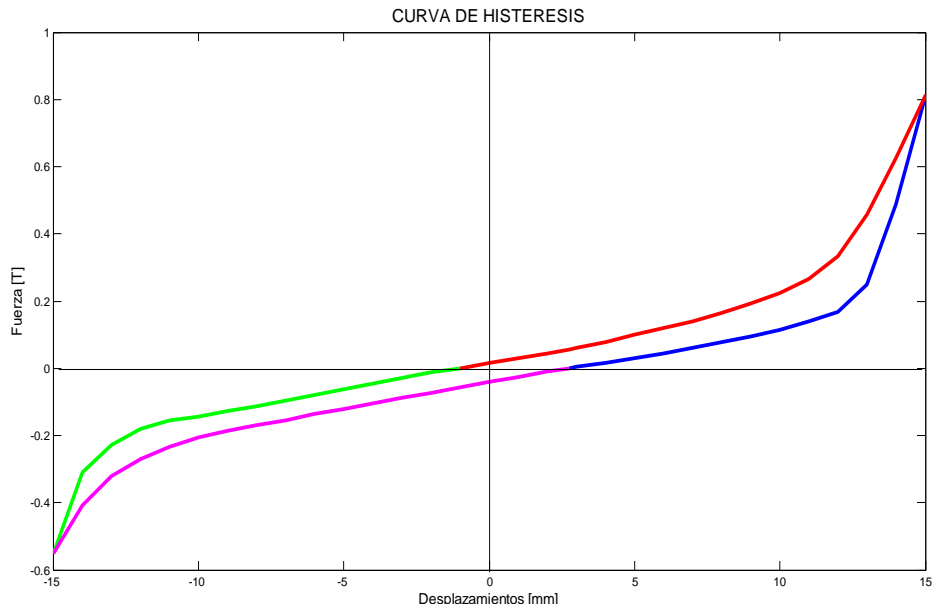
- **CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0708

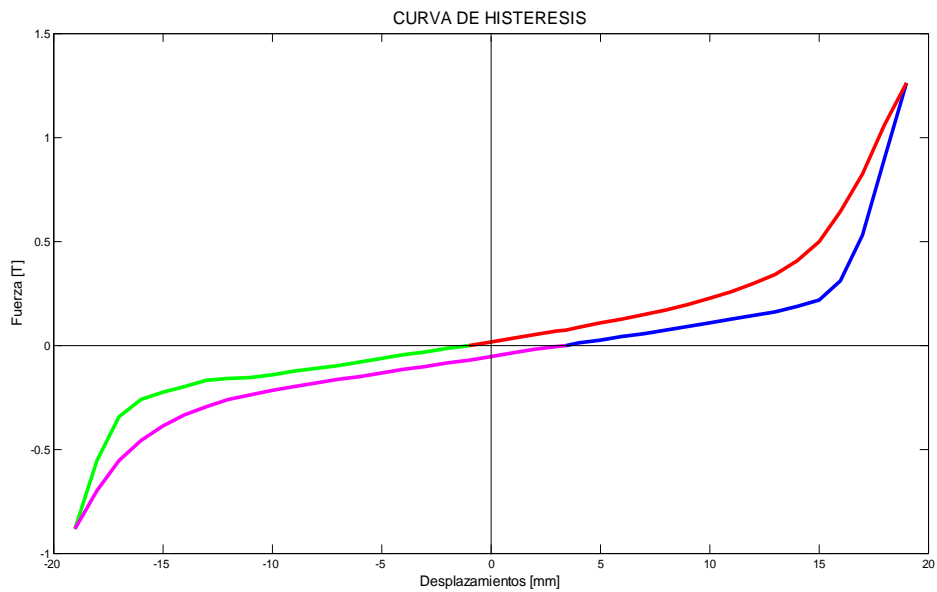
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.24 t/m

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



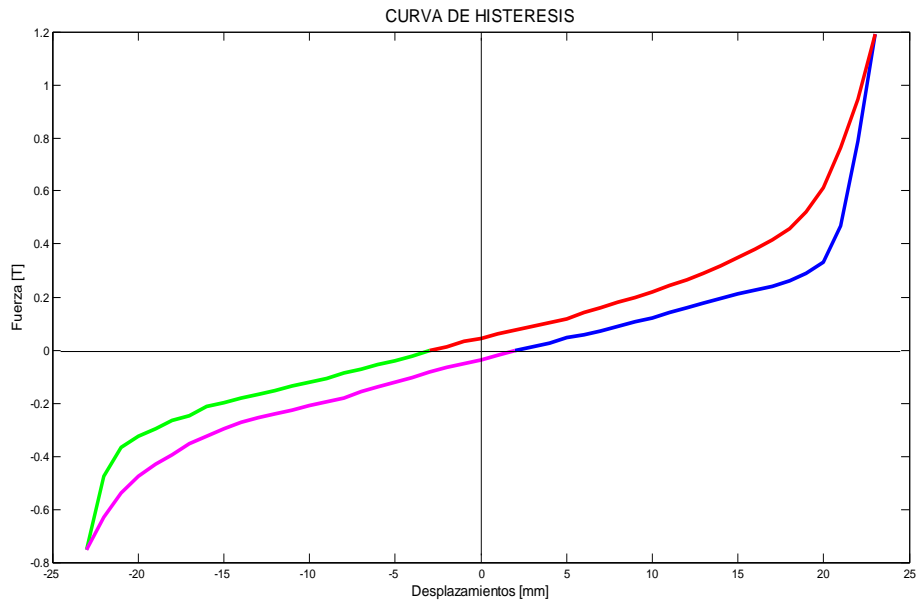
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0584
RIGIDEZ EFECTIVA = 38.28 t/m

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



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0587
RIGIDEZ EFECTIVA = 43.29 t/m

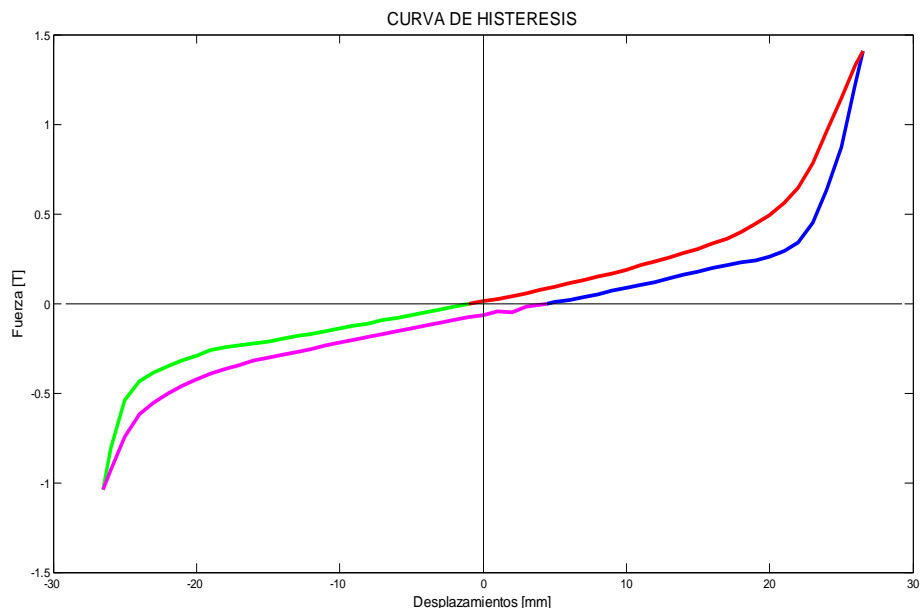
- **CURVA CON 60% DEFORMACION (38mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0548

RIGIDEZ EFECTIVA = 40.6 t/m

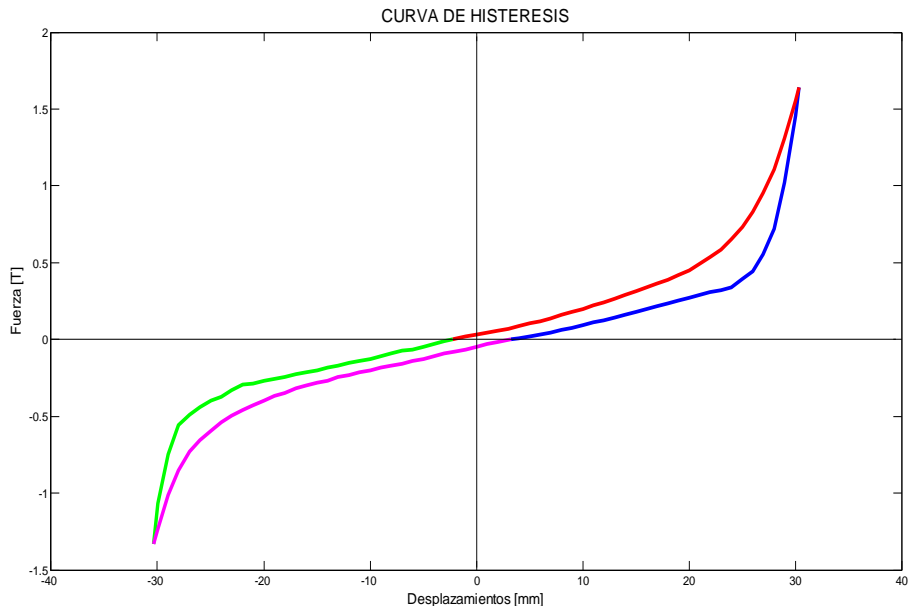
- CURVA CON 70% DEFORMACION (53mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0548

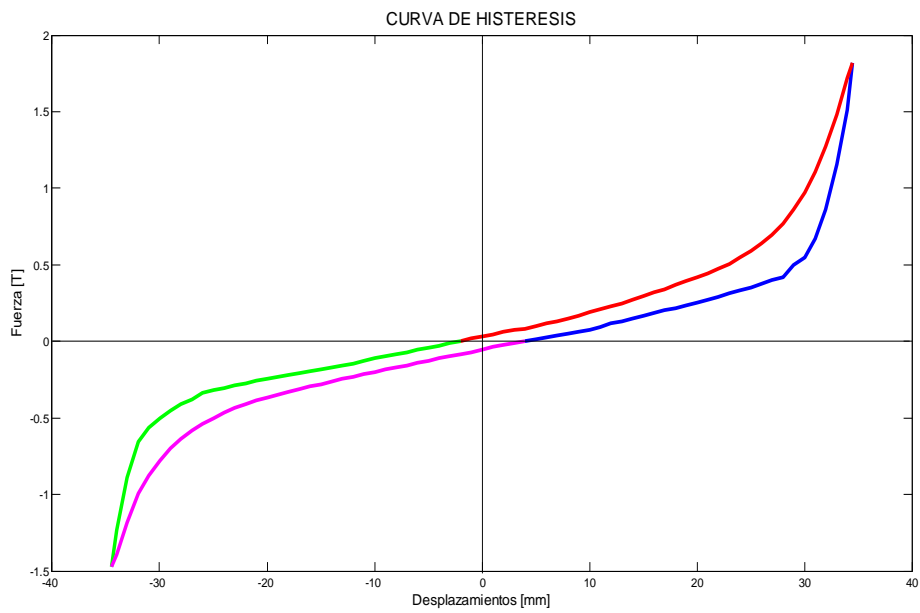
RIGIDEZ EFECTIVA = 46.16 t/m

- CURVA CON 80% DEFORMACION (60.8mm)**



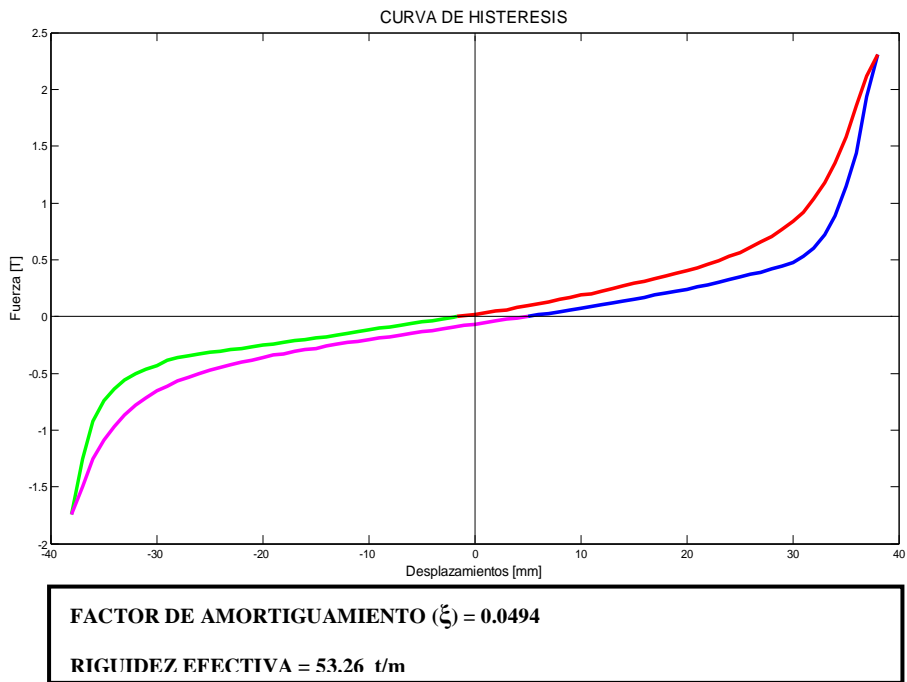
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0540
RIGIDEZ EFECTIVA = 48.87 t/m

- CURVA CON 90% DEFORMACION (69 mm)**



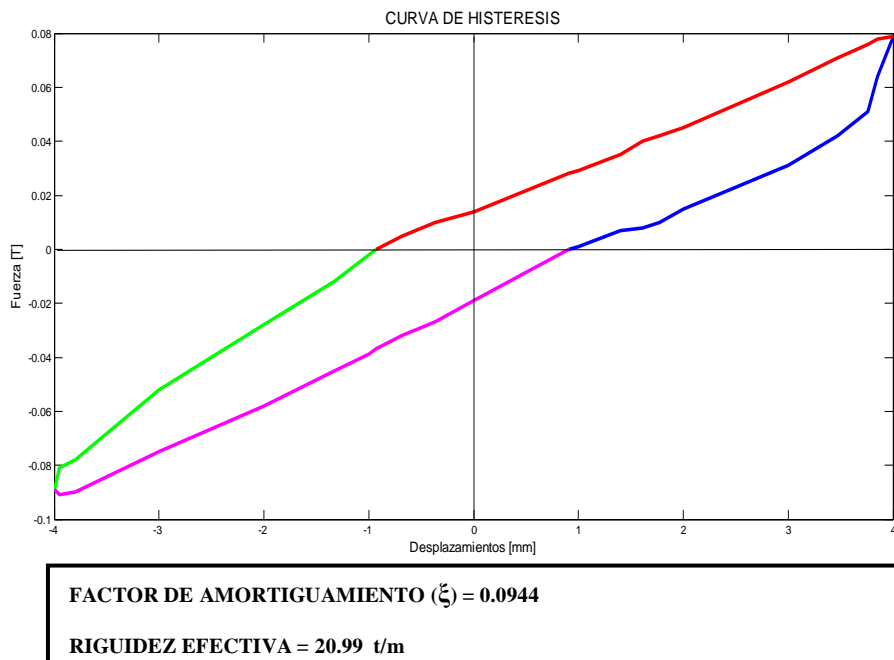
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0545
RIGIDEZ EFECTIVA = 47.7 t/m

- CURVA CON 100% DEFORMACION (76 mm)**

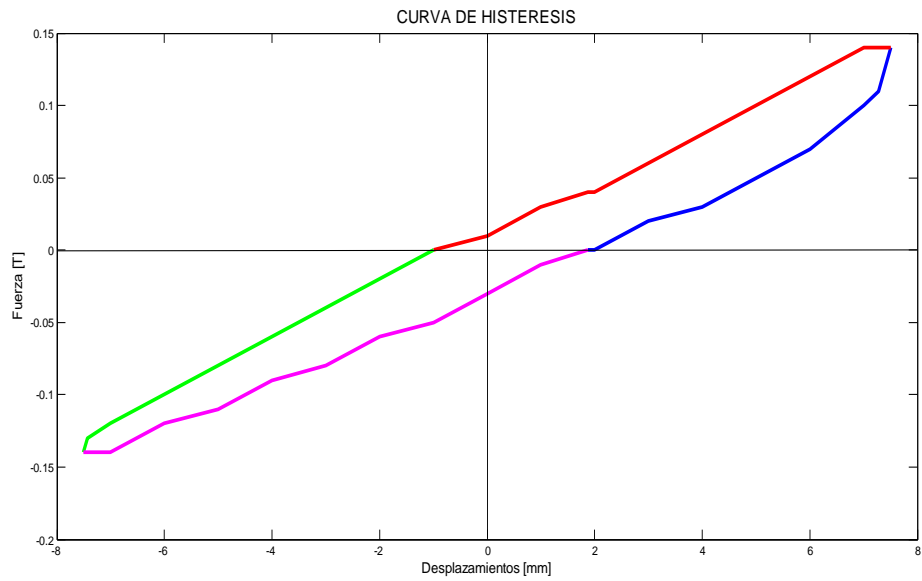


REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS ($\Omega = 0.10$ Hz) PROTOTIPO CON PERNO PASANTE.

- **CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)**

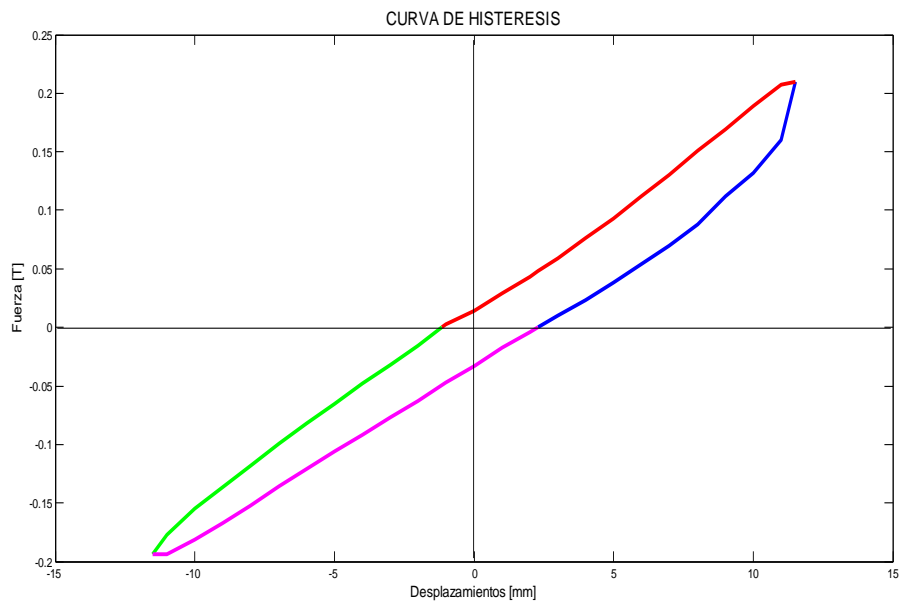


- **CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)**



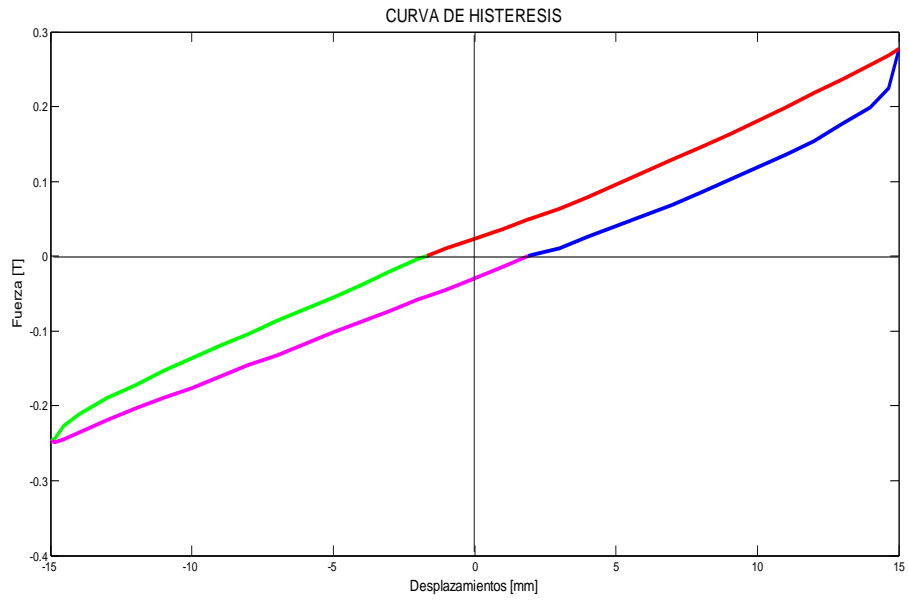
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0781
RIGIDEZ EFECTIVA = 18.89 t/m

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



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0645
RIGIDEZ EFECTIVA = 17.57 t/m

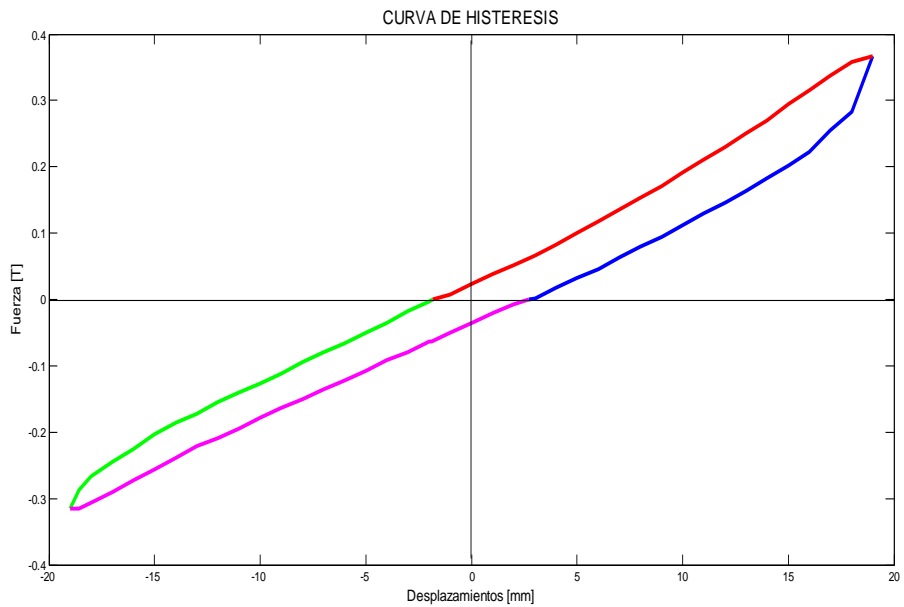
- CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0548

RIGIDEZ EFECTIVA = 17.49 t/m

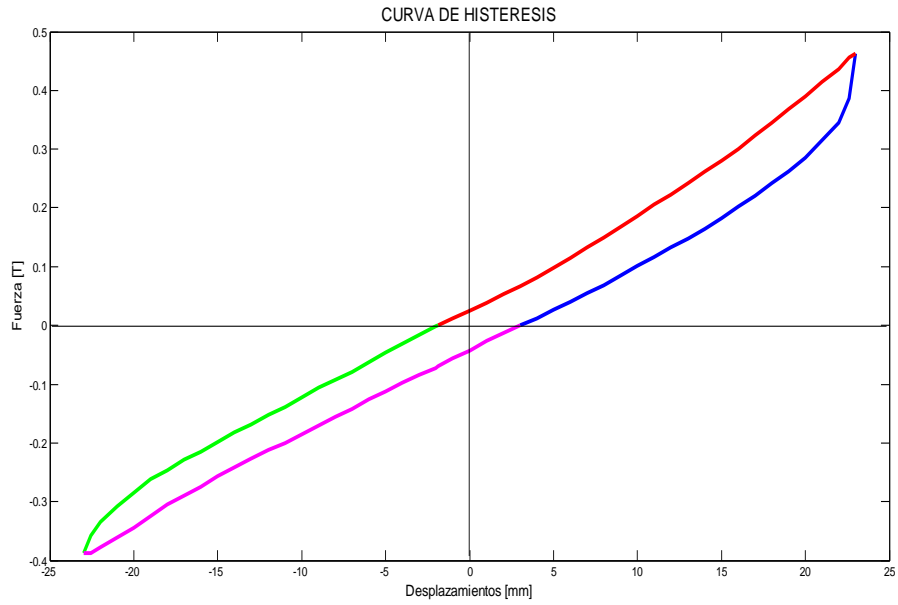
- **CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0533

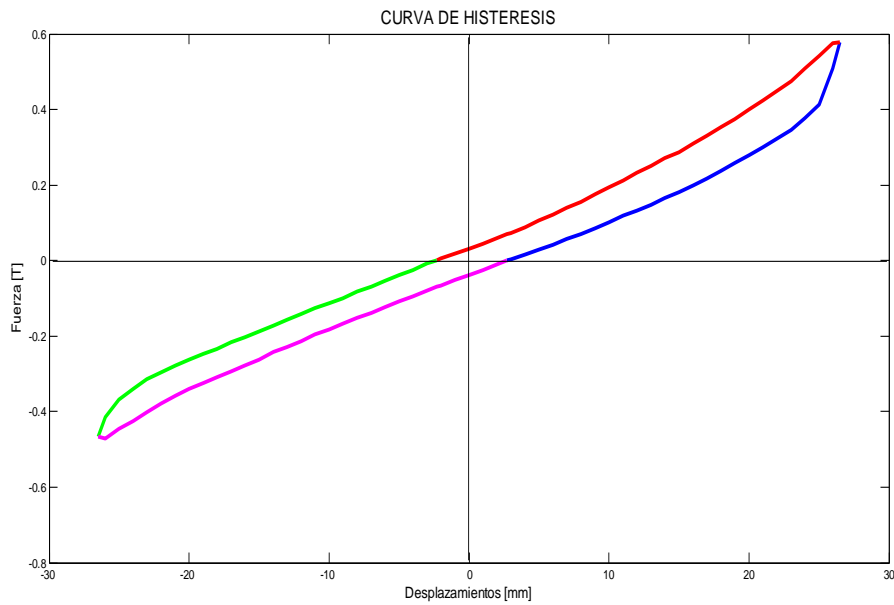
RIGIDEZ EFECTIVA = 17.96 t/m

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



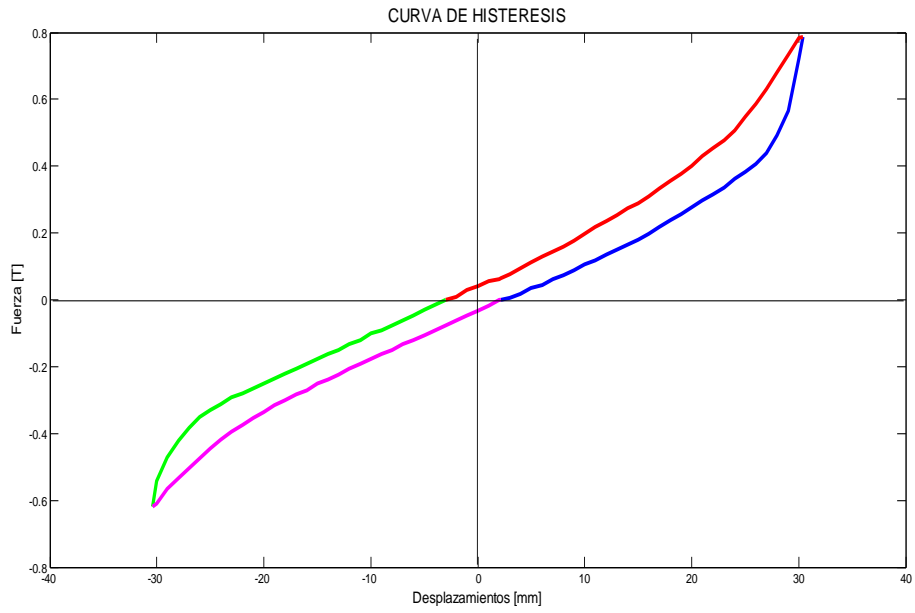
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0518
RIGIDEZ EFECTIVA = 18.48 t/m

- CURVA CON 70% DEFORMACION (53mm)**



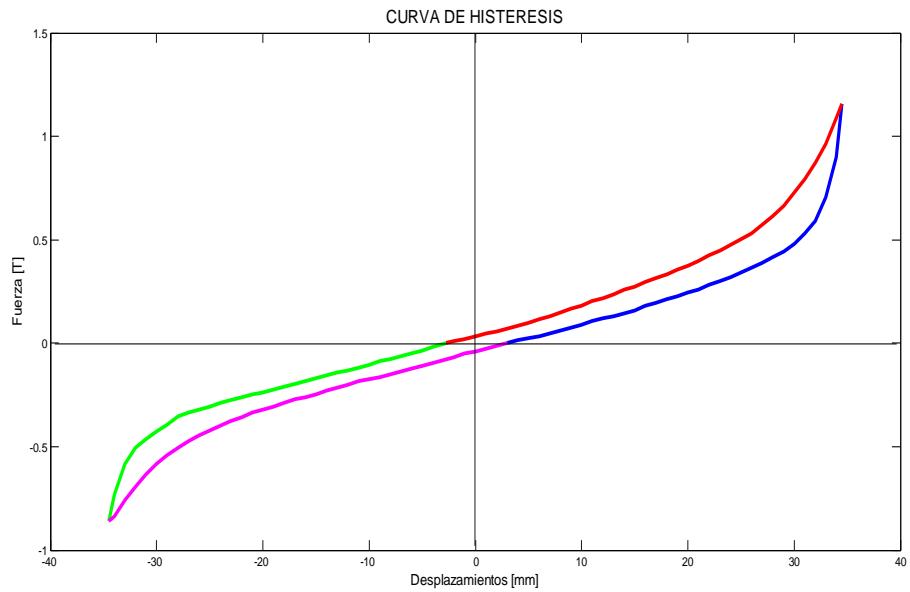
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0499
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.71 t/m

- CURVA CON 80% DEFORMACION (60.8mm)**



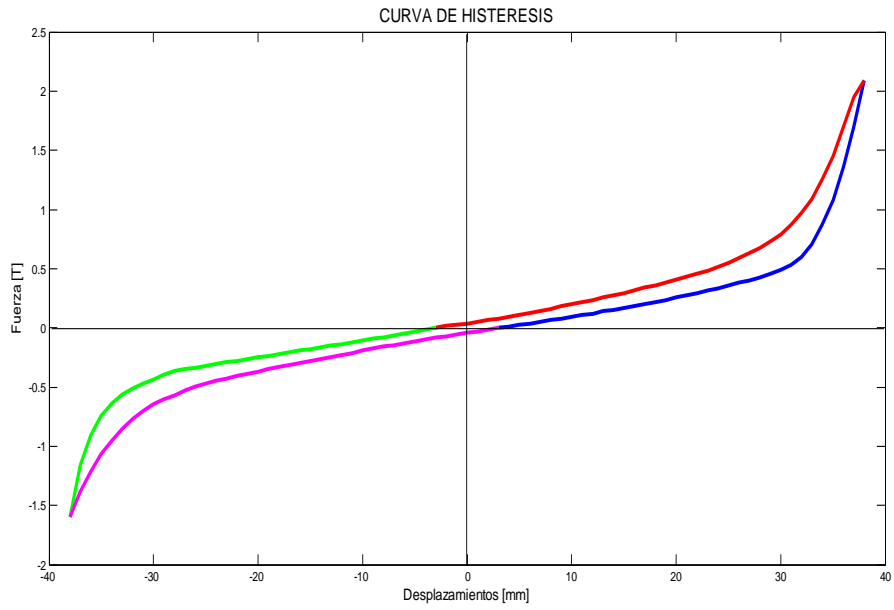
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0473
RIGIDEZ EFECTIVA = 23.14 t/m

- **CURVA CON 90% DEFORMACION (69 mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0489
RIGIDEZ EFECTIVA = 29.22 t/m

- **CURVA CON 100% DEFORMACION (76 mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0476
RIGIDEZ EFECTIVA = 48.56 t/m

De las curvas de histéresis analizadas y siguiendo el procedimiento para hallar el factor de amortiguamiento (ξ), la rigidez efectiva (K_h), antes descritos se obtuvo las siguientes graficas:

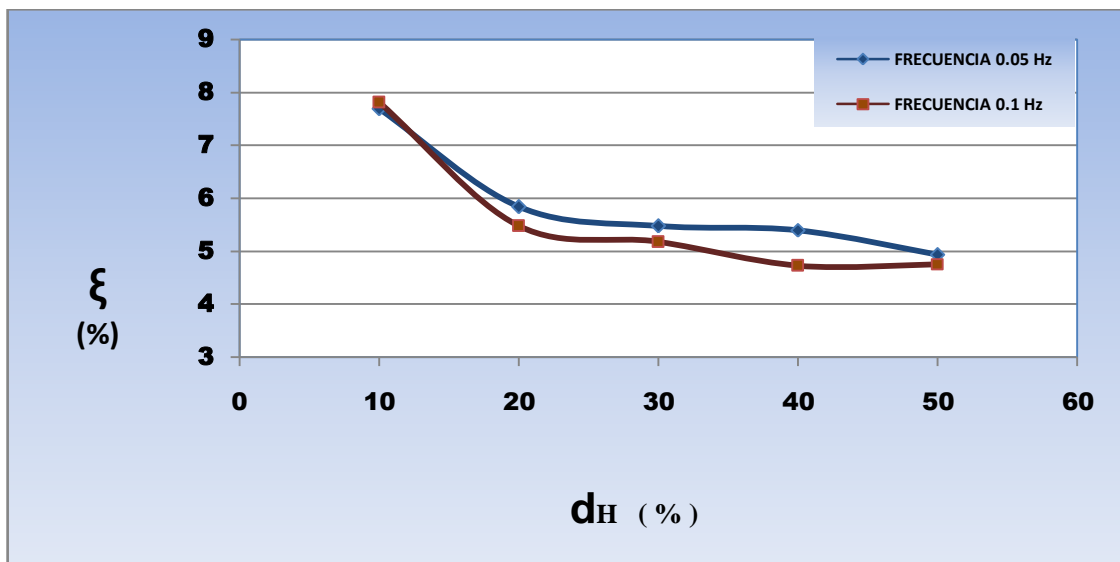


Fig. 4.13. Factor de amortiguamiento Vs Deformación (con perno pasante)

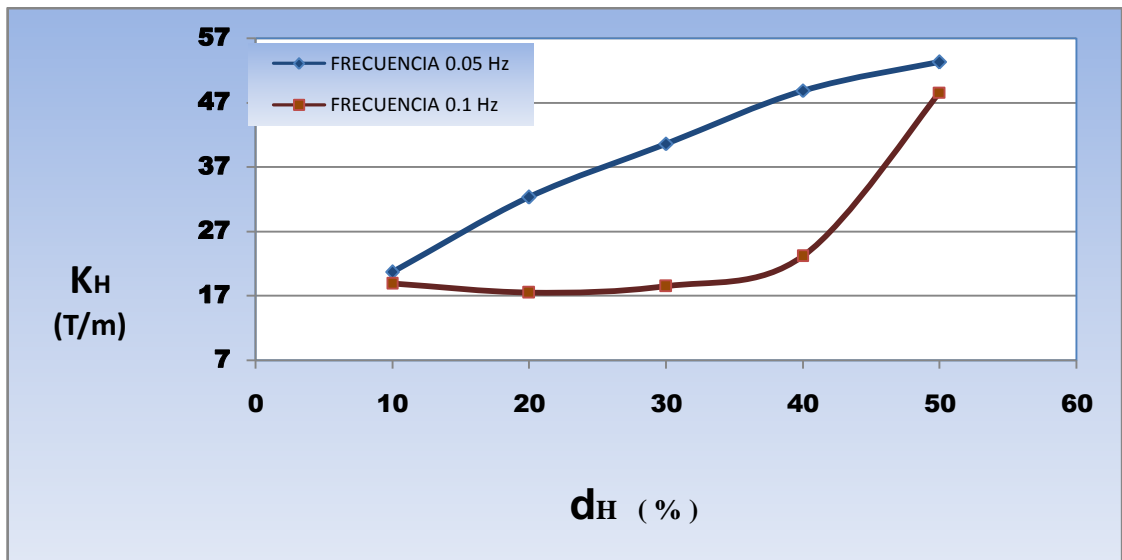
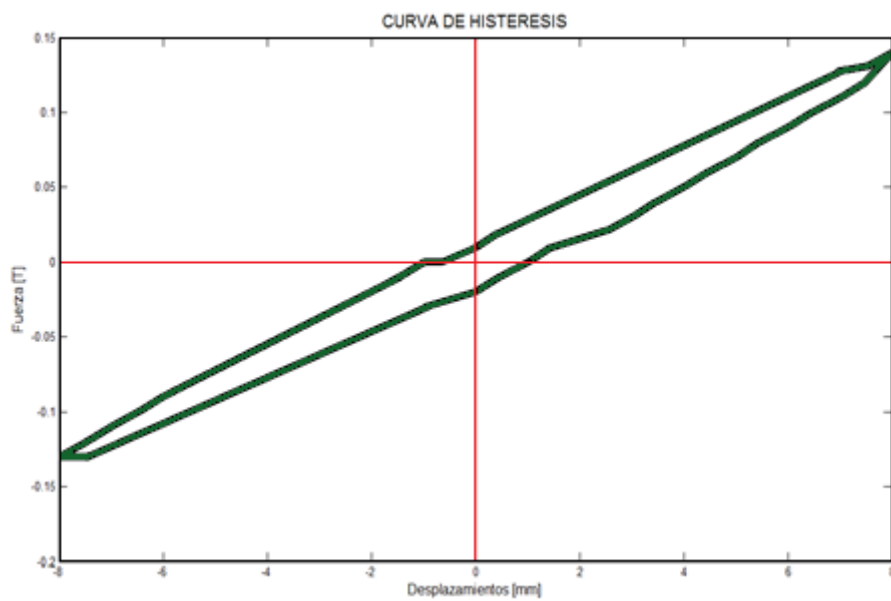


Fig. 4.14. Rigidez efectiva Vs Deformación (con perno pasante)

REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS ($\Omega = 0.05$ Hz) PROTOTIPO SIN PERNO PASANTE.

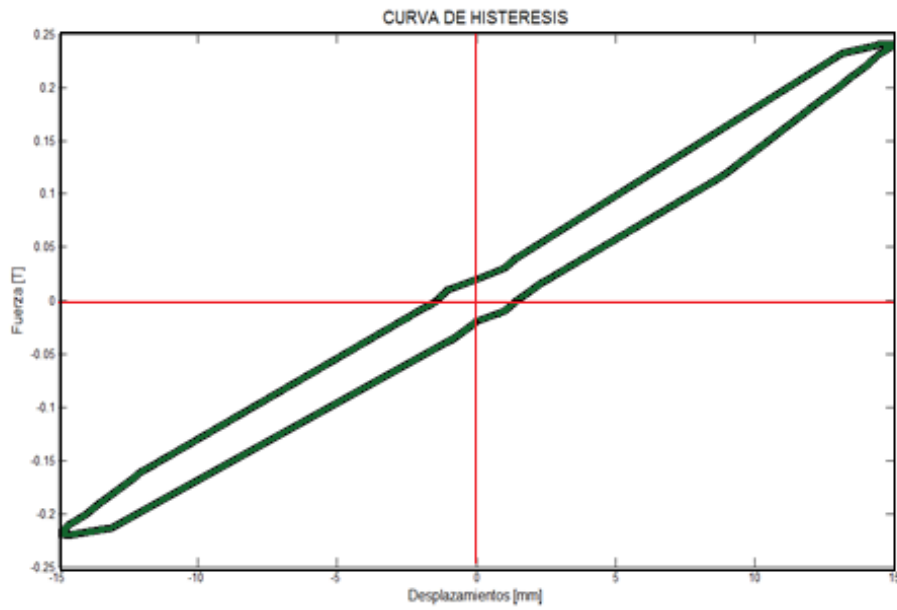
- CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0445

RIGIDEZ EFECTIVA = 16.73 t/m

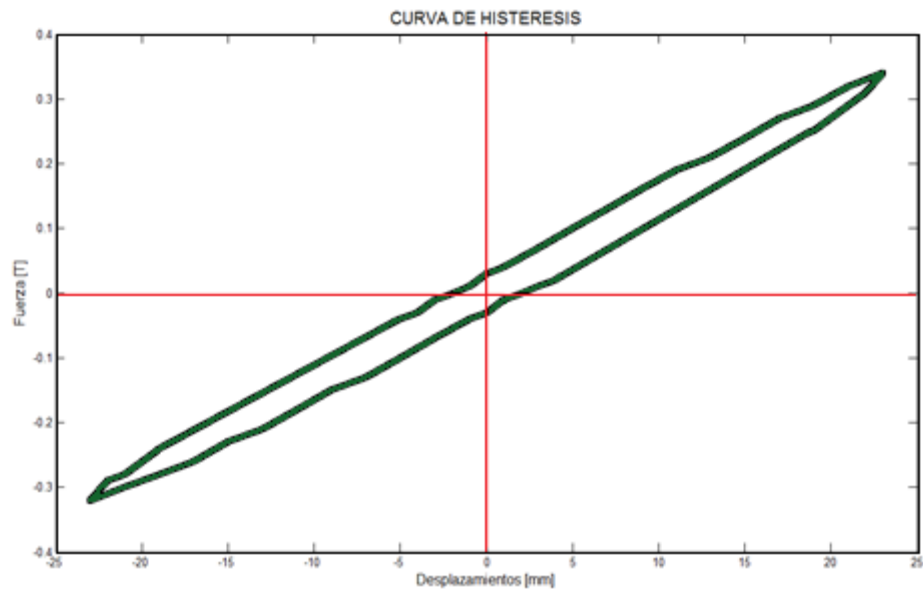
- **CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0402

RIGIDEZ EFECTIVA = 15.4 t/m

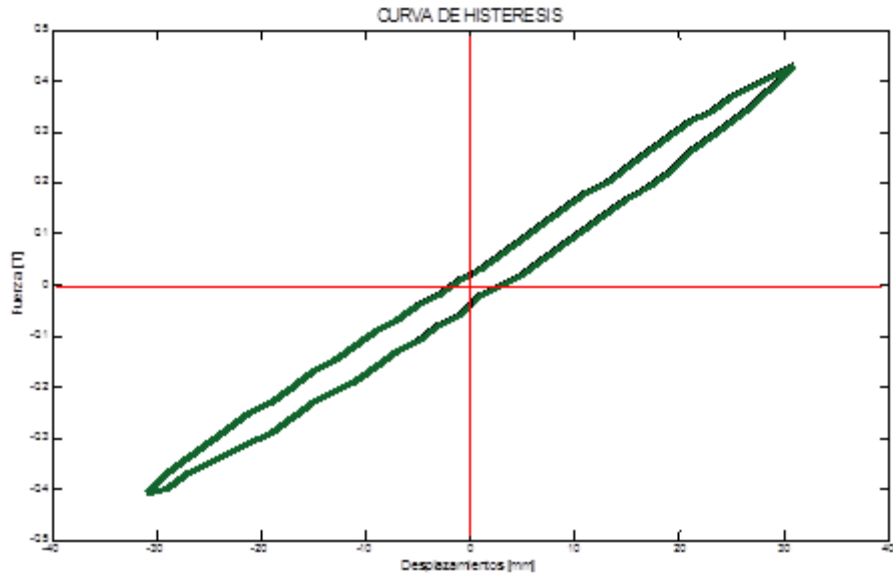
- **CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0412

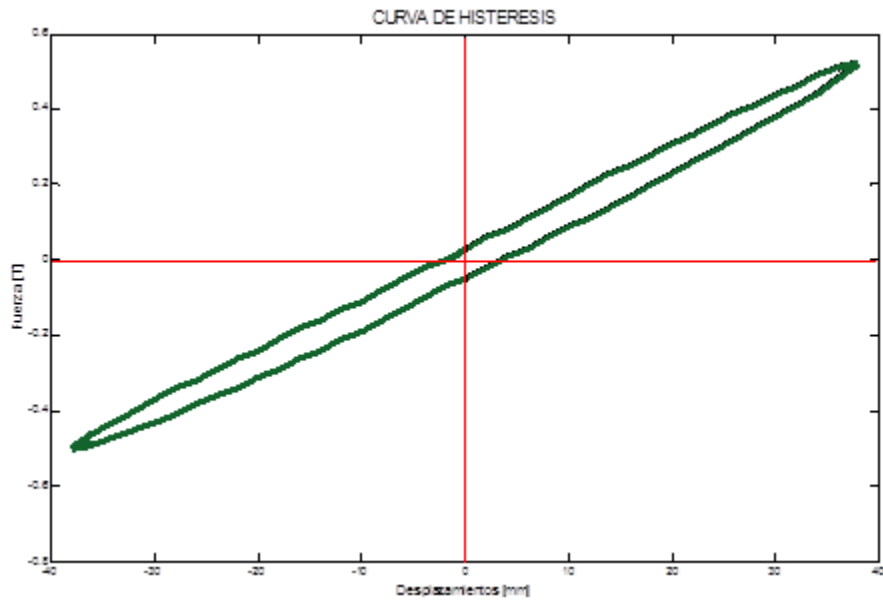
RIGIDEZ EFECTIVA = 14.26 t/m

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



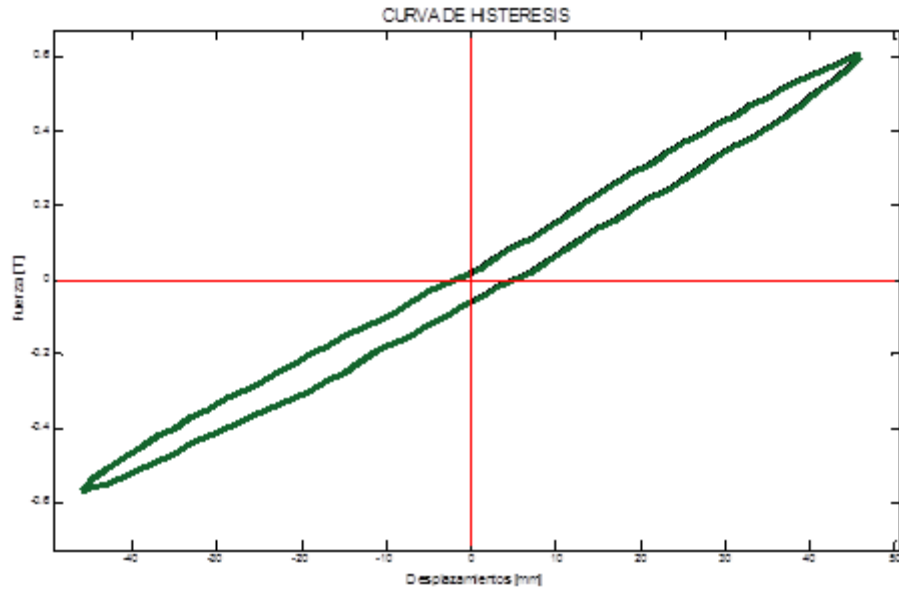
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0374
RIGIDEZ EFECTIVA = 13.46 t/m

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



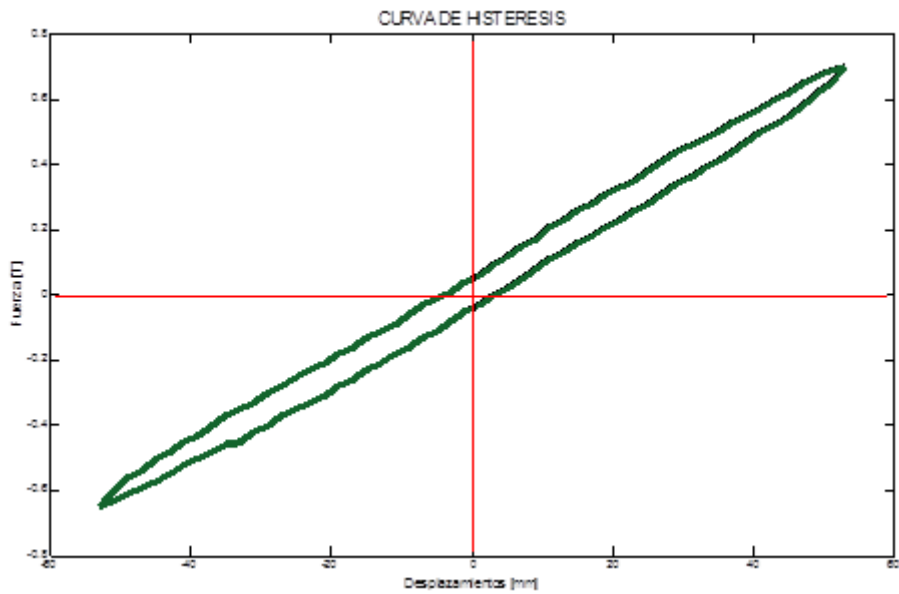
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0374
RIGIDEZ EFECTIVA = 13.4 t/m

- CURVA CON 60% DEFORMACION (38mm)**



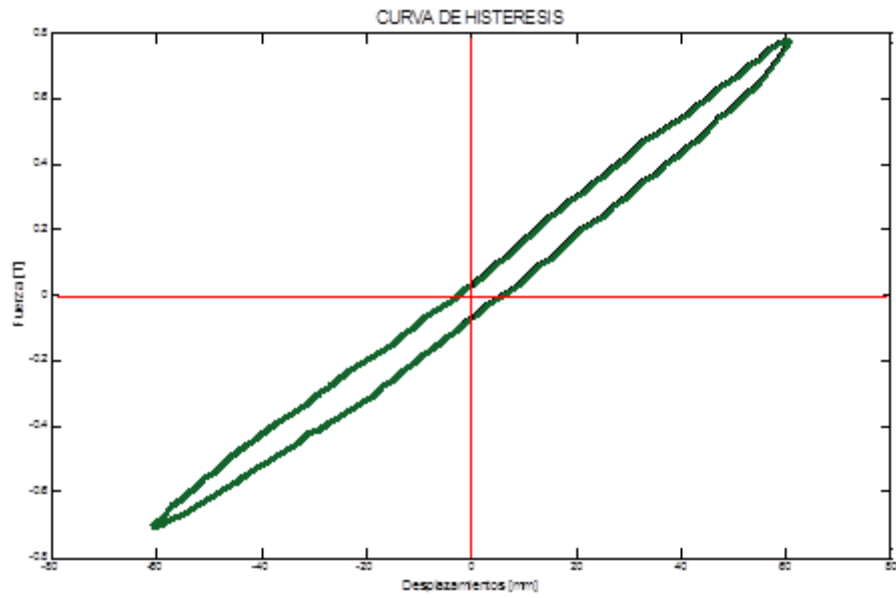
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0379
RIGIDEZ EFECTIVA = 12.73 t/m

- **CURVA CON 70% DEFORMACION (53mm)**



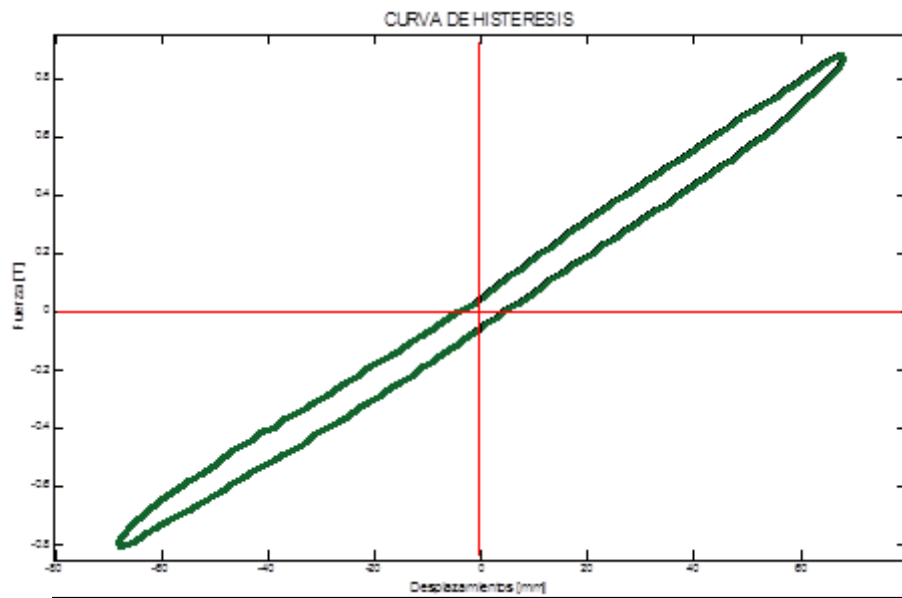
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0342
RIGIDEZ EFECTIVA = 12.68 t/m

- **CURVA CON 80% DEFORMACION (60.8mm)**



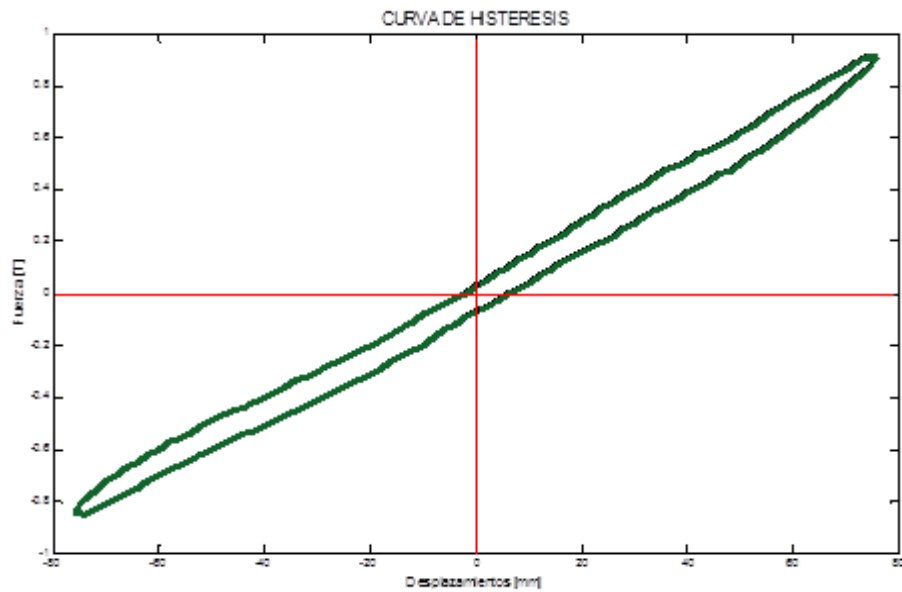
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0366
RIGIDEZ EFECTIVA = 12.26 t/m

- **CURVA CON 90% DEFORMACION (69 mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0350
RIGIDEZ EFECTIVA = 12.3 t/m

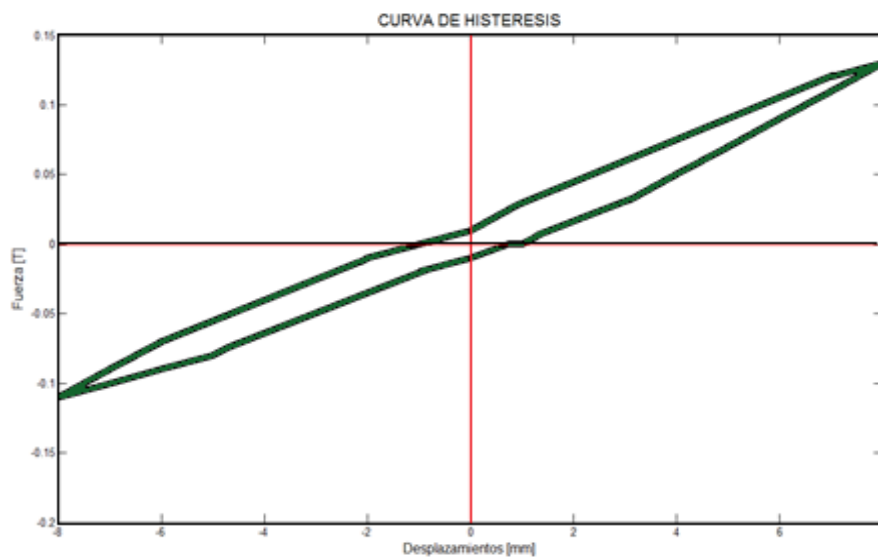
- **CURVA CON 100% DEFORMACION (76 mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0345
 RIGIDEZ EFECTIVA = 11.54 t/m

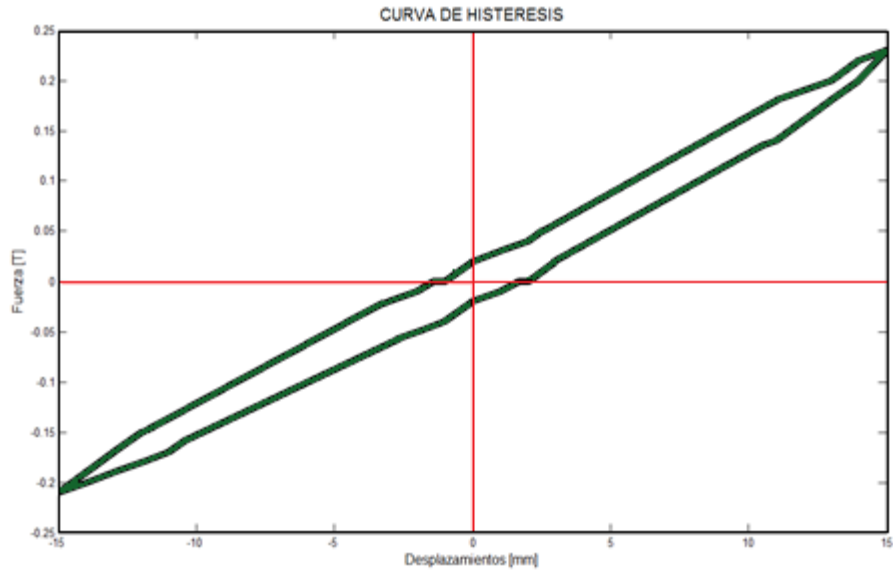
REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS ($\Omega= 0.10$ Hz) PROTOTIPO SIN PERNO PASANTE.

- CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0406
 RIGIDEZ EFECTIVA = 15.09 t/m

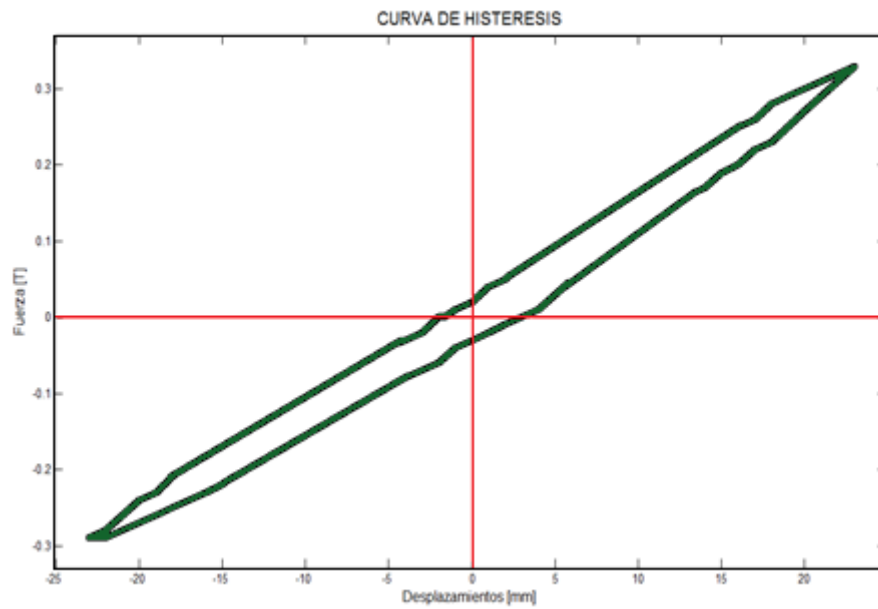
- CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0433

RIGIDEZ EFECTIVA = 14.52 t/m

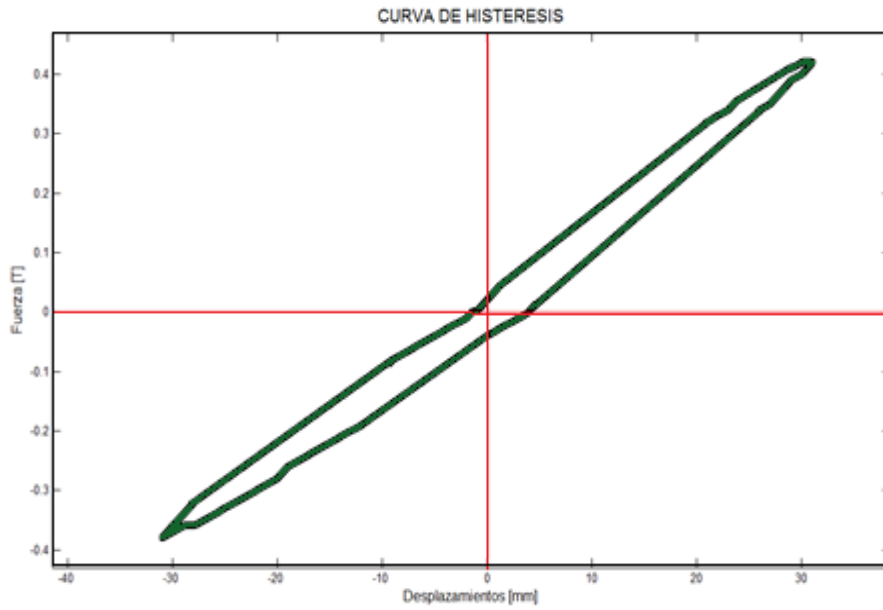
- **CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0403

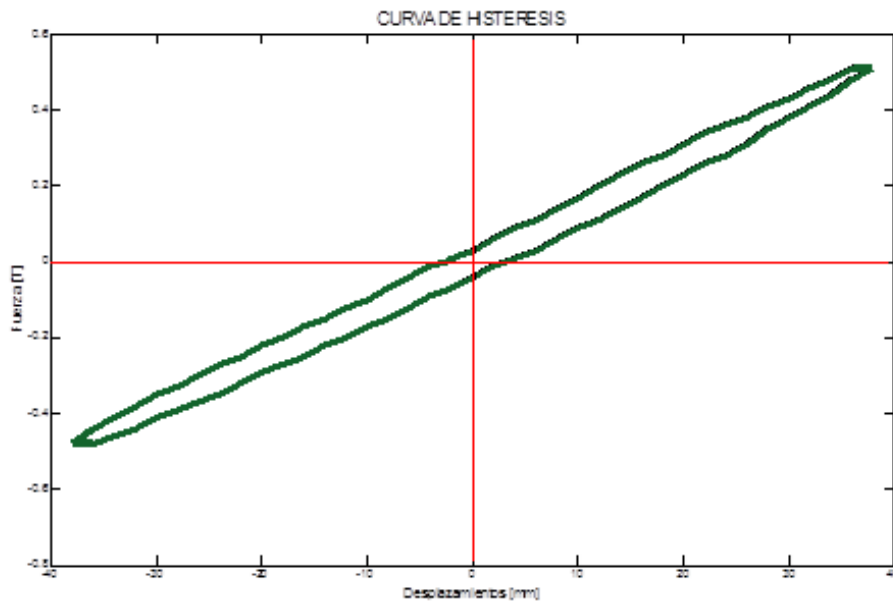
RIGIDEZ EFECTIVA = 13.58 t/m

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



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0393
 RIGIDEZ EFECTIVA = 12.87 t/m

- CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)



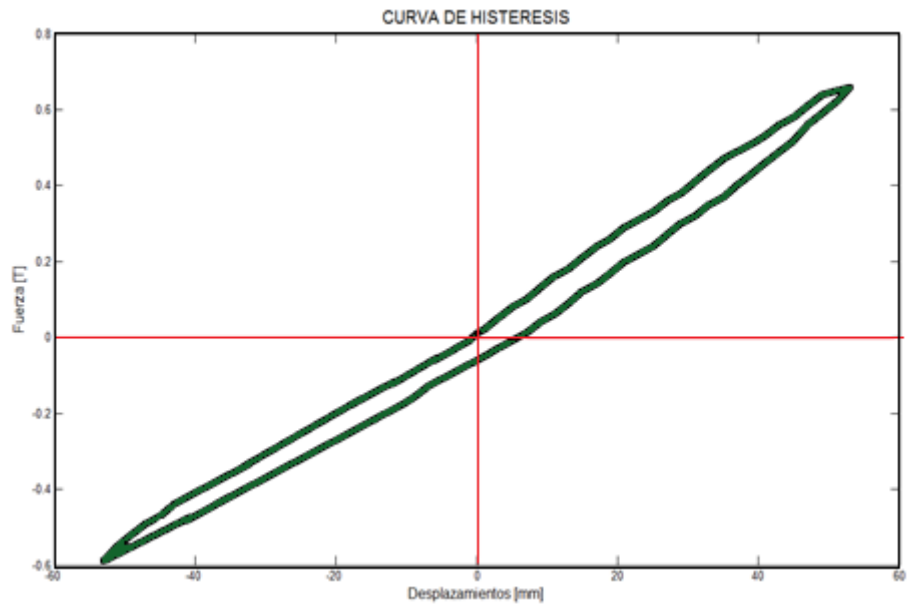
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0375
 RIGIDEZ EFECTIVA = 13.12 t/m

- CURVA CON 60% DEFORMACION (38mm)



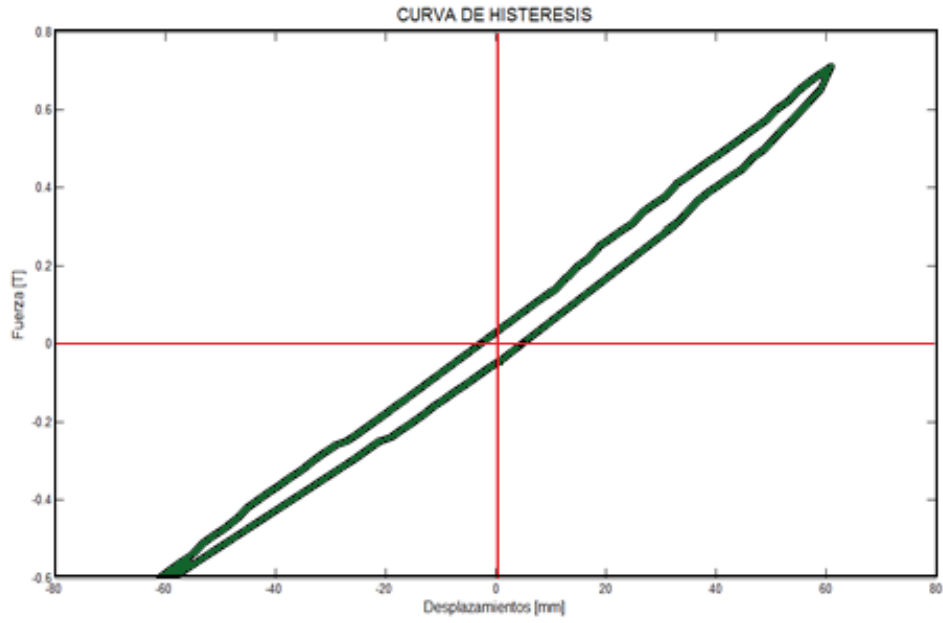
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0363
RIGIDEZ EFECTIVA = 12.67 t/m

- **CURVA CON 70% DEFORMACION (53mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0314
RIGIDEZ EFECTIVA = 11.78 t/m

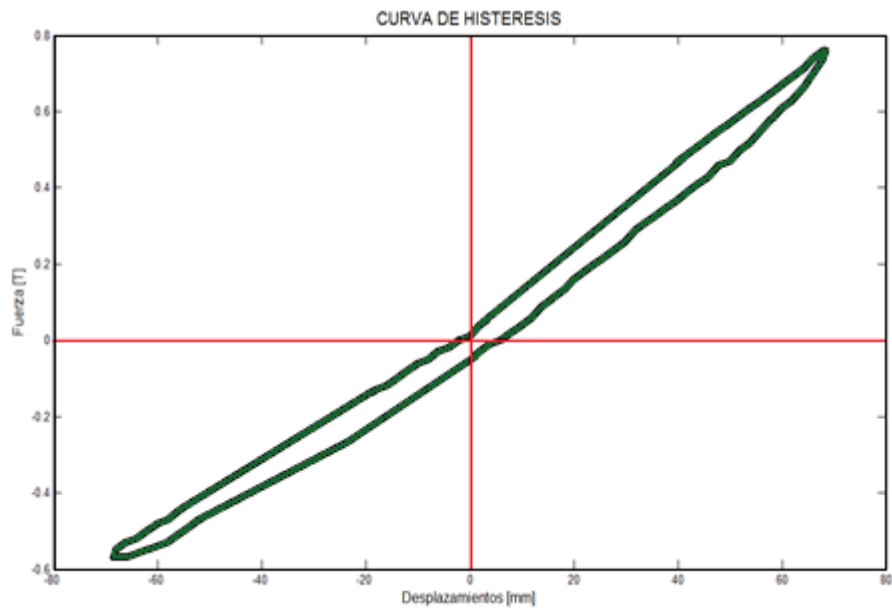
- **CURVA CON 80% DEFORMACION (60.8mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0282

RIGIDEZ EFECTIVA = 10.76 t/m

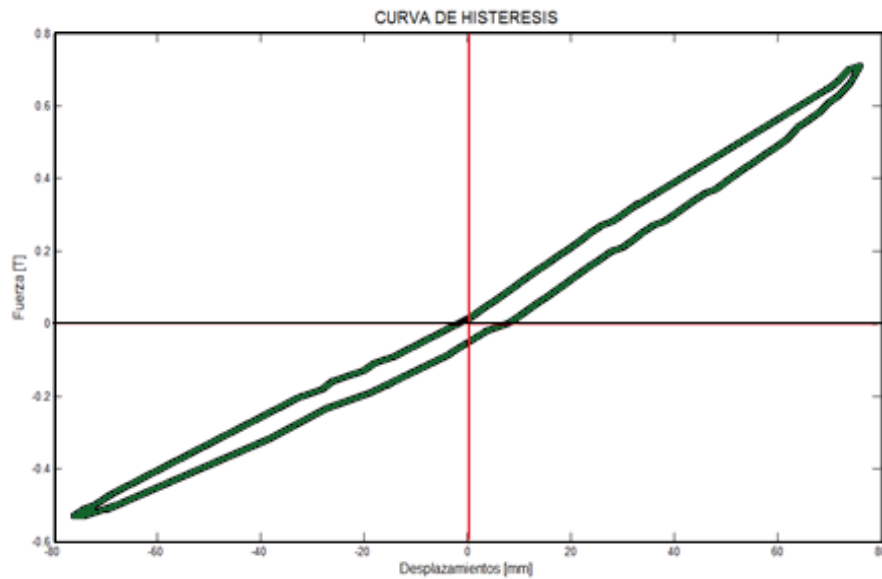
- CURVA CON 90% DEFORMACION (69 mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0287

RIGIDEZ EFECTIVA = 9.69 t/m

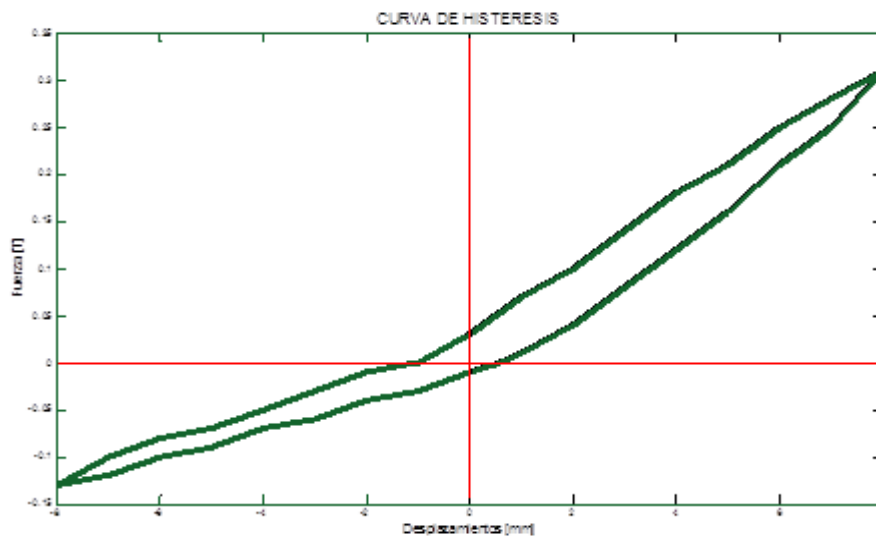
- CURVA CON 100% DEFORMACION (76 mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0260
RIGIDEZ EFECTIVA = 8.15 t/m

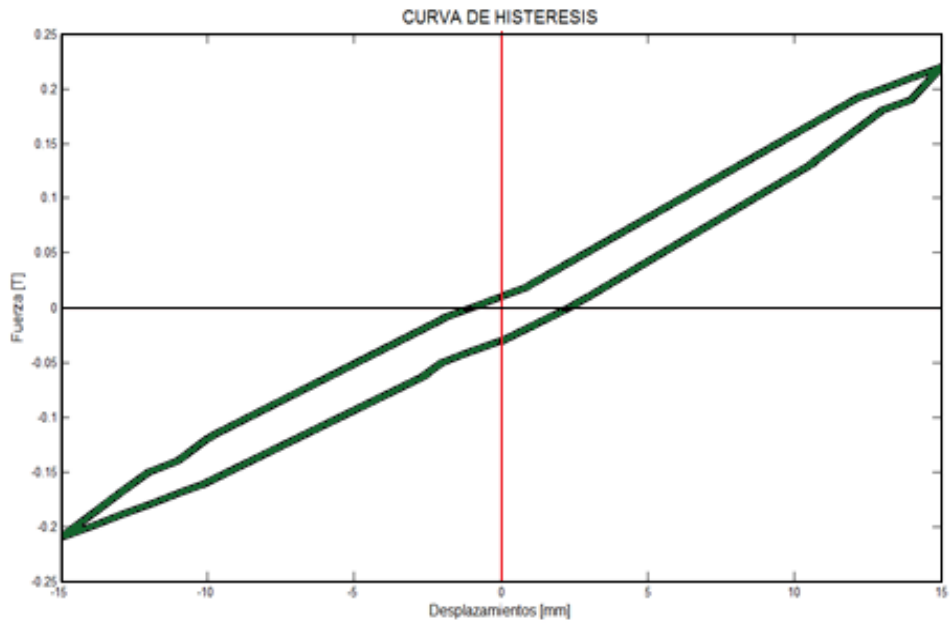
REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS ($\Omega= 0.15$ Hz) PROTOTIPO SIN PERNO PASANTE.

- **CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)**



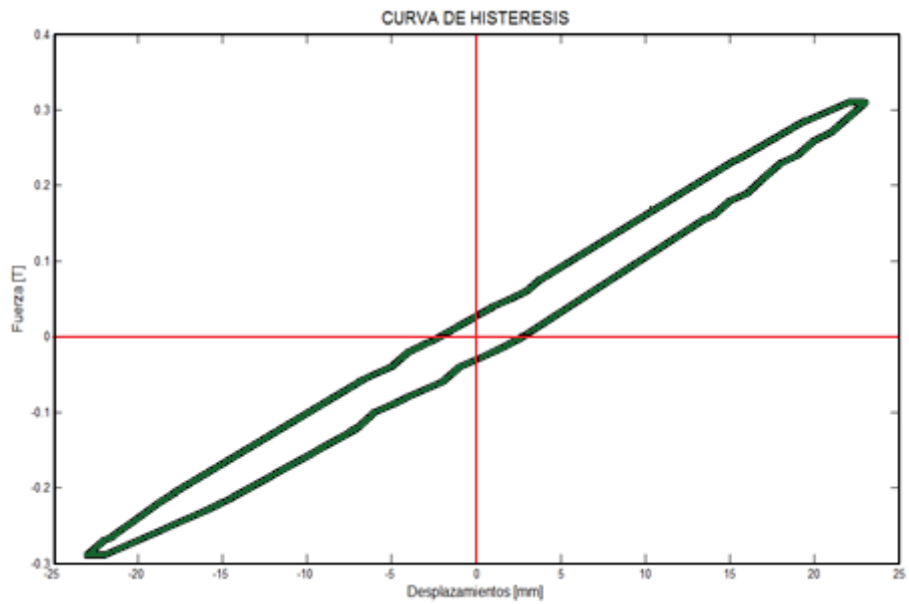
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0450
RIGIDEZ EFECTIVA = 27.20 t/m

- **CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)**



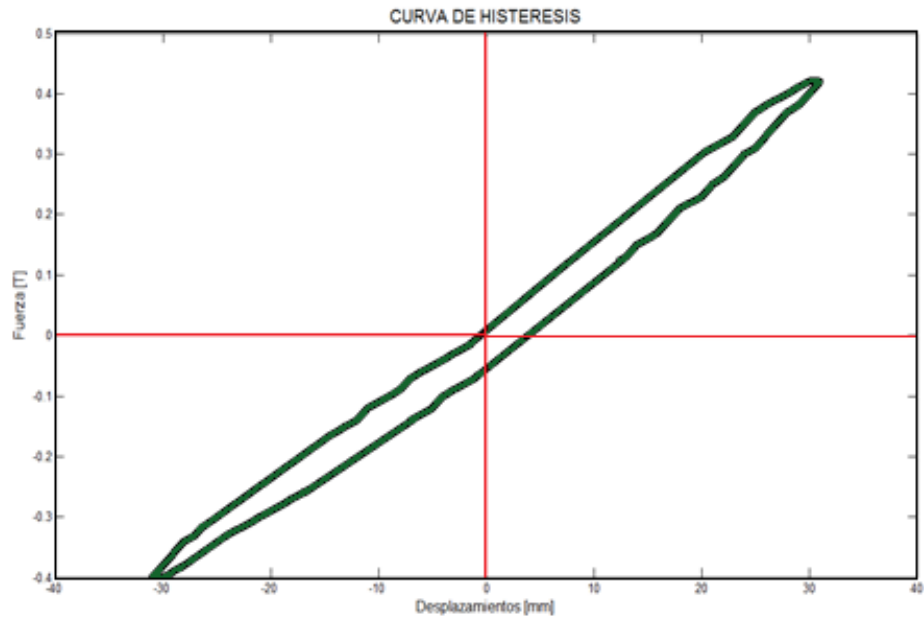
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0449
RIGIDEZ EFECTIVA = 14.35 t/m

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



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0425
RIGIDEZ EFECTIVA = 13.24 t/m

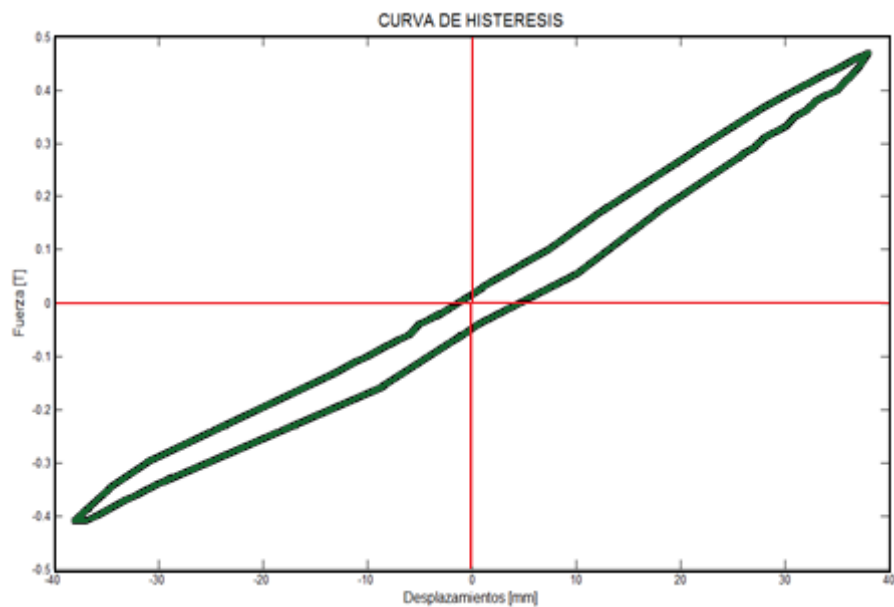
- **CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)**



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.0380

RIGIDEZ EFECTIVA = 13.29 t/m

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



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.036

RIGIDEZ EFECTIVA = 11.54 t/m

Con estas curvas de histéresis se calculó el factor de amortiguamiento (ξ), Rigidez efectiva (KH) y el módulo de corte de la goma (Ga), y se obtuvieron las siguientes graficas:

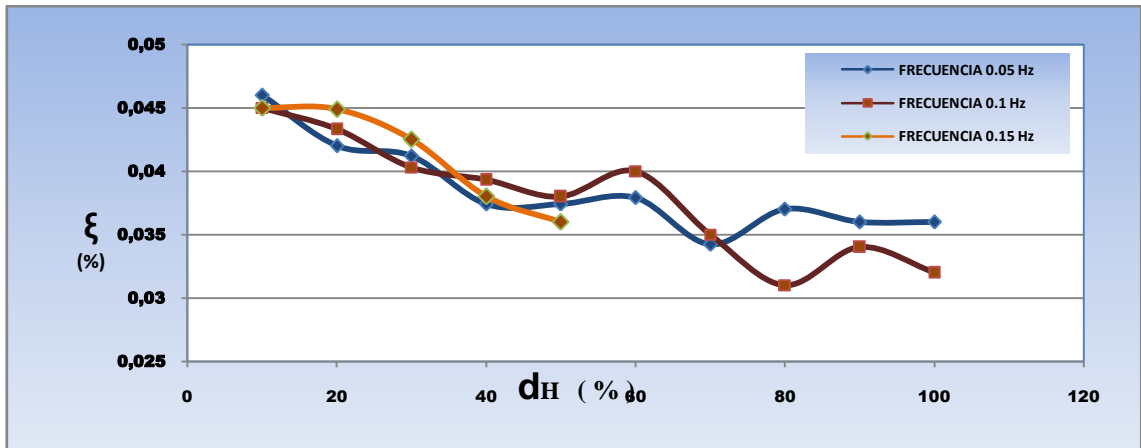


Fig. 4.15. Factor de amortiguamiento Vs Deformación (sin perno pasante)

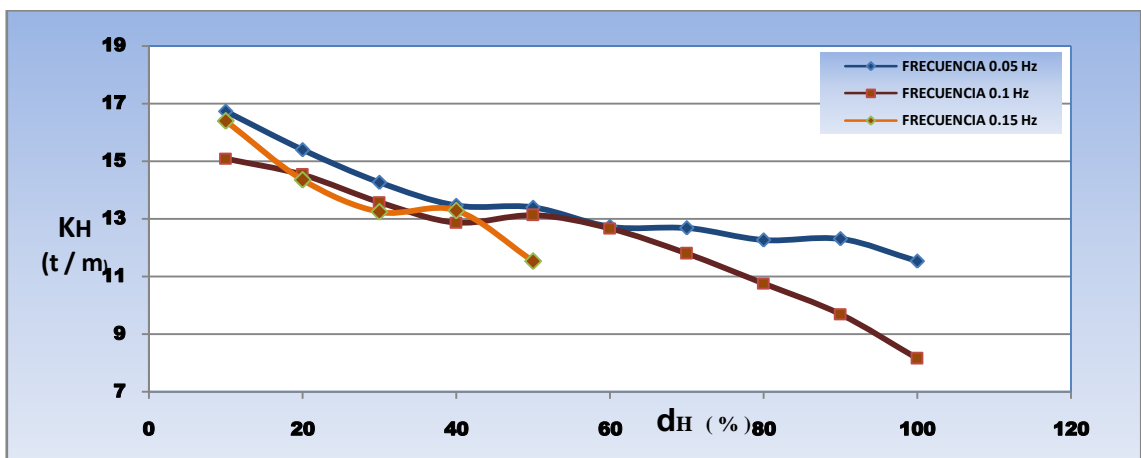


Fig. 4.16. Rigidez efectiva Vs Deformación (sin perno pasante)

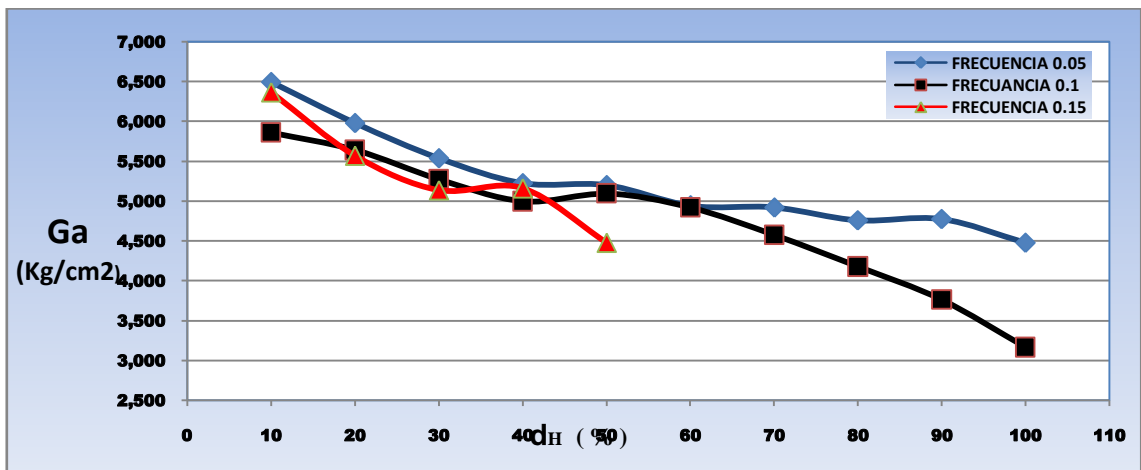


Fig. 4.17. Módulo de corte de la goma Vs Deformación (sin perno pasante)

CAPÍTULO 6

AISLADORES CON PERNO VULCANIZADO

6.1 DESCRIPCIÓN DEL SEGUNDO AISLADOR (PROTOTIPO).

Luego de analizar los resultados del prototipo anterior se optó por un nuevo modelo que en este caso se incluiría un perno macizo el cual se vulcanizó conjuntamente con las placas internas del prototipo. Este planteamiento de vulcanizar el perno se lo tomo para analizar cuanto rigidez absorbe cuando se le rigidiza al 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 a continuación (figura 6.1).

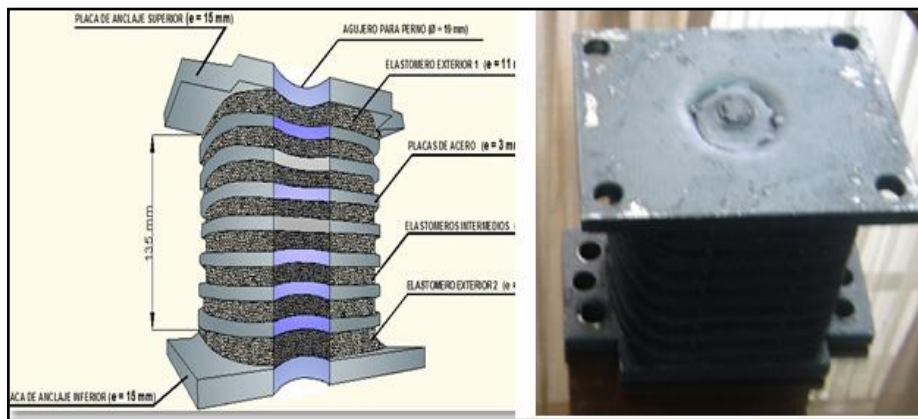


Fig. 6.1. Prototipo con perno macizo vulcanizado

El perno macizo vulcanizado tiene un diámetro de 19mm y de largo 136 mm, la función de este perno macizo es rigidizar el núcleo y permitir disipar a este prototipo mayor energía que los anteriores prototipos, de la misma manera la estructura de este prototipo es la siguiente:

La altura del prototipo es de 135mm, la base de 140mm, el número de gomas que componen este aislador son 8 en total, los espesores del neopreno en los extremos de este son de 11mm, y los espesores internos son de 9mm.

El número de placas de acero internas del prototipo son 7 en total, las mismas que tienen un espesor de 3mm cada una, las placas extremas que sirven para anclaje a la cimentación y a la superestructura respectivamente, tienen un espesor de 15mm cada una de ellas.

Para la fabricación del prototipo se utilizó un compuesto de caucho sintético de primera calidad, el cual a su vez permite soportar altas cargas dinámicas, tracción, fricción, desgaste con Shore A 65 ± 5 .

6.2 ENSAYOS REALIZADOS.

Una vez ya colocado el nuevo prototipo en la maquina Universal ,se procede a realizar el ensayo de corte directo, para ello el ASCE 7 – 05 Sección 17.8 que ya se detalló anteriormente para el primer prototipo.

La prueba a tomarse en cuenta es aquella que se realiza debido a la naturaleza del dispositivo ante cargas variables. Por lo tanto se propone realizar pruebas dinámicas para simular sismos, en las que se apliquen cargas de prueba similares a las aplicadas al sistema, es por ello que se continuo con frecuencias que vayan del rango de 0.05 y los desplazamientos que varíen en un rango del 10% al 100% de la deformación, tomando en cuenta que para este caso el 100% de deformación de la goma sigue siendo la misma.

Los ensayos se realizaron hasta frecuencias que emitan valores reales tanto en desplazamiento como en fuerzas, debido a la restricción que tiene la máquina, al momento de ensayar a frecuencias altas y desplazamientos mayores al 50% de deformación total de la goma, los desplazamientos no son iguales, es decir la maquina por cumplir la frecuencia programada no puede cumplir con desplazamientos significativos, es por ello que se decidió tomar como válidos los ensayos a desplazamientos máximos del 50% cuando se programó frecuencias altas o mayores de $\Omega = 0.30$ Hz.

6.3 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

De los datos obtenidos en los ensayos a corte directo del prototipo de aislador sísmico elastomérico se registraron:

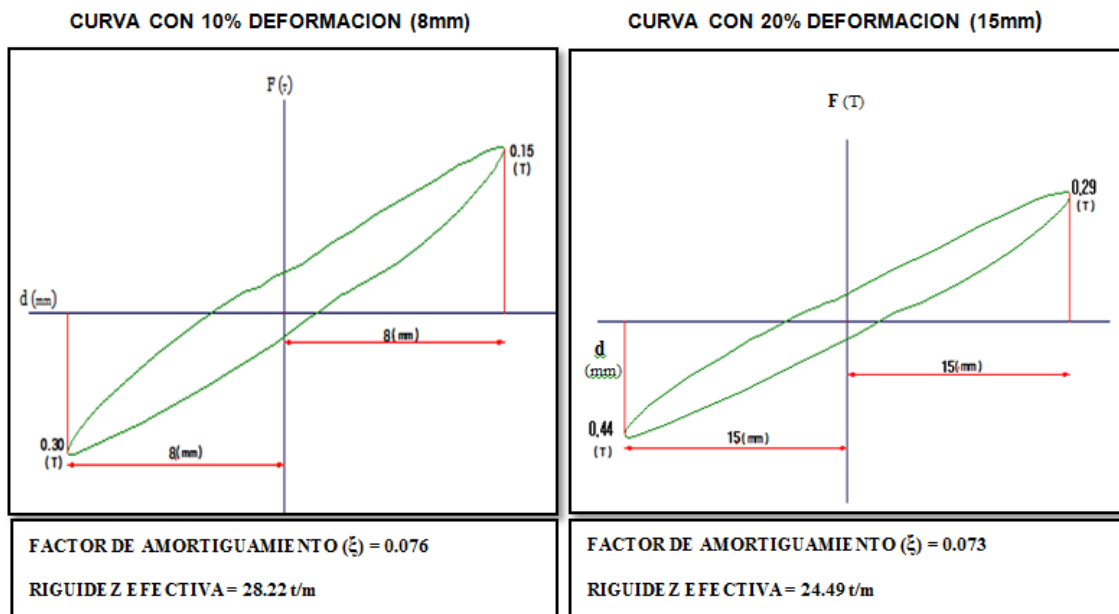
- La relación fuerza – desplazamiento mediante la gráfica de la curva de histéresis, las mismas que se grafican en papel milimetrado.

- Los bucles histéricos 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.

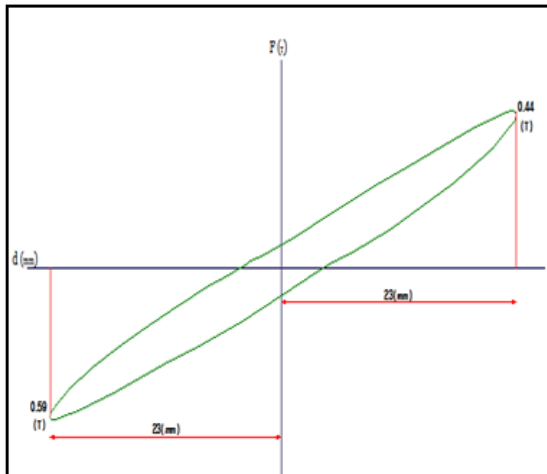
De estos datos se parte para el cálculo de factor de amortiguamiento, rigidez efectiva y módulo de corte de la goma.

De las curvas de histéresis obtenidas en los ensayos se pudo deducir los desplazamientos programados y las fuerzas que disipa el aislador ante el desplazamiento programado, los resultados obtenidos de dichos ensayos son los siguientes:

REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.05$ Hz) PROTOTIPO CON PERNO MACIZO VULCANIZADO.

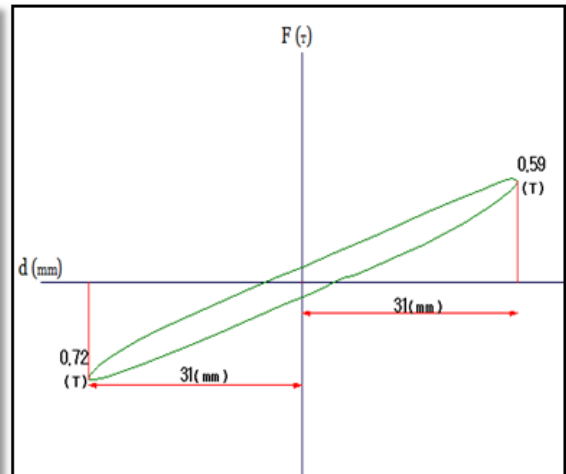


CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)



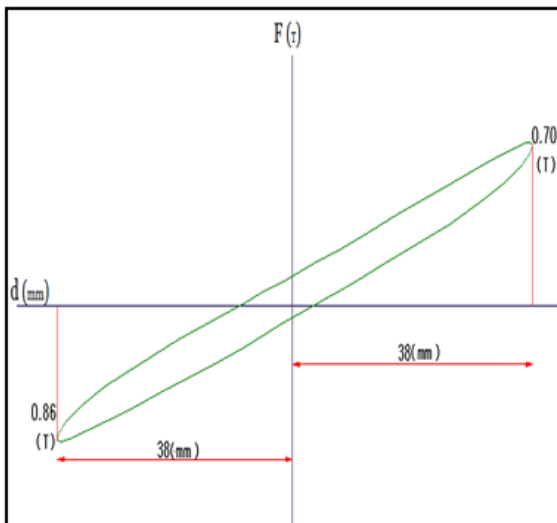
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.072
RIGIDEZ EFECTIVA = 22.37 t/m

CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)



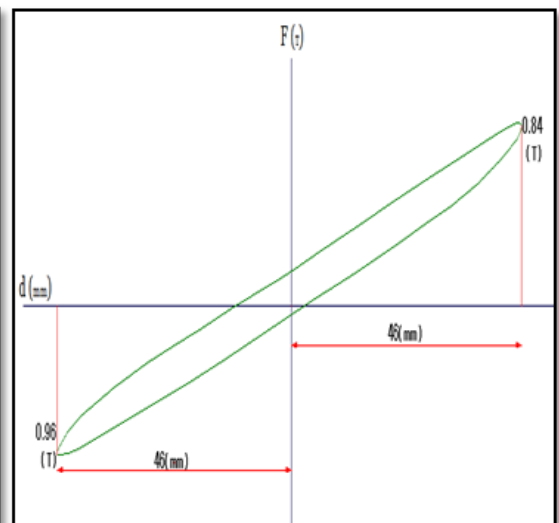
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.068
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.17 t/m

CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)



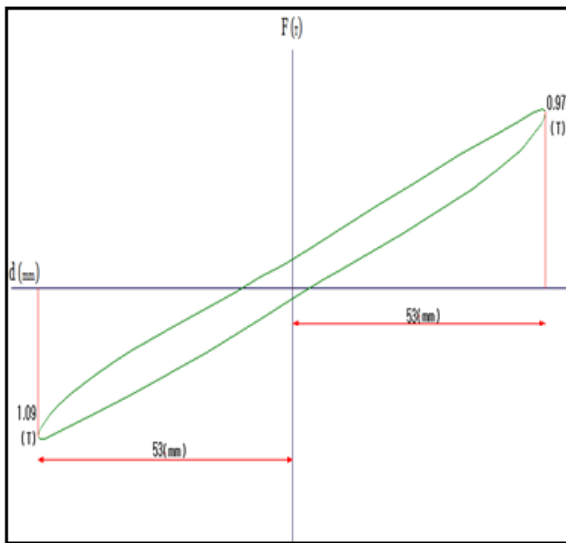
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.058
RIGIDEZ EFECTIVA = 20.45 t/m

CURVA CON 60% DEFORMACION (46 mm)



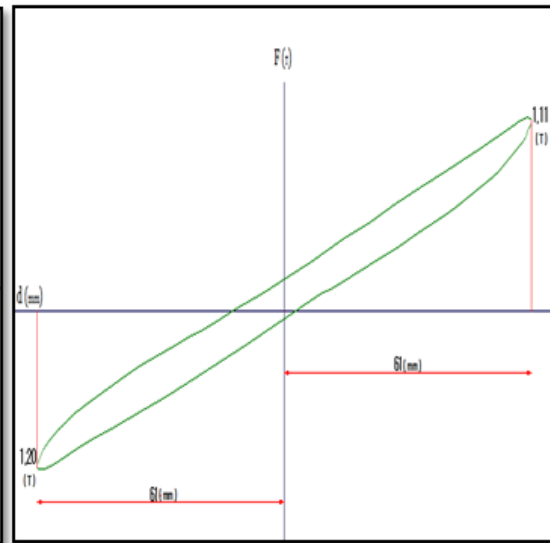
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.056
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.57 t/m

CURVA CON 70% DEFORMACION (53mm)



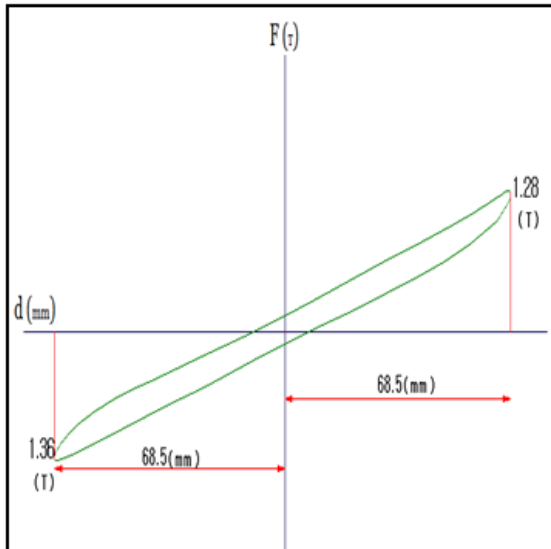
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.057
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.37 t/m

CURVA CON 80% DEFORMACION (61 mm)



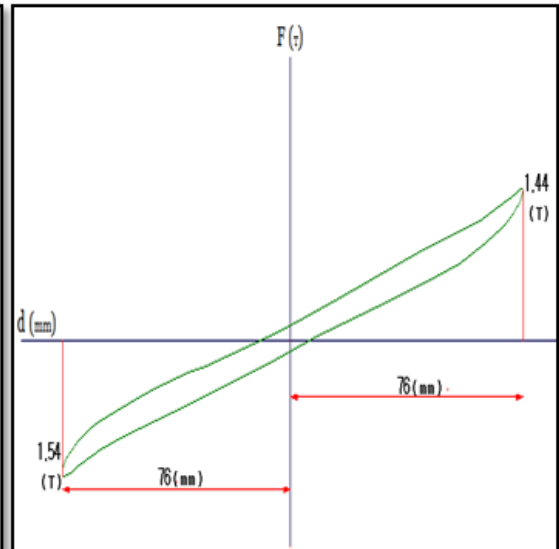
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.054
RIGIDEZ EFECTIVA = 18.93 t/m

CURVA CON 90% DEFORMACION (69mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.062
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.24 t/m

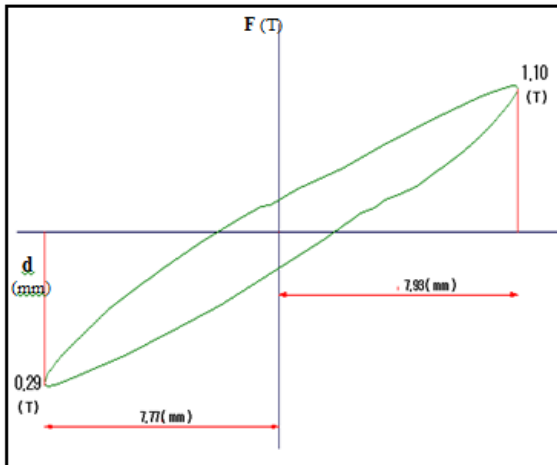
CURVA CON 100% DEFORMACION (76 mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.056
RIGIDEZ EFECTIVA = 18.58 t/m

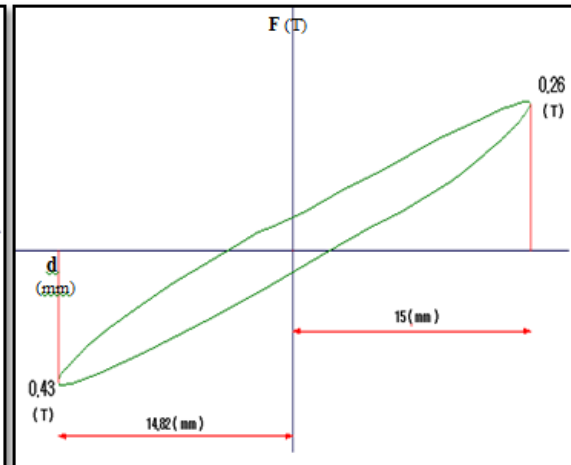
REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.10$ Hz) PROTOTIPO CON PERNO MACIZO VULCANIZADO.

CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)



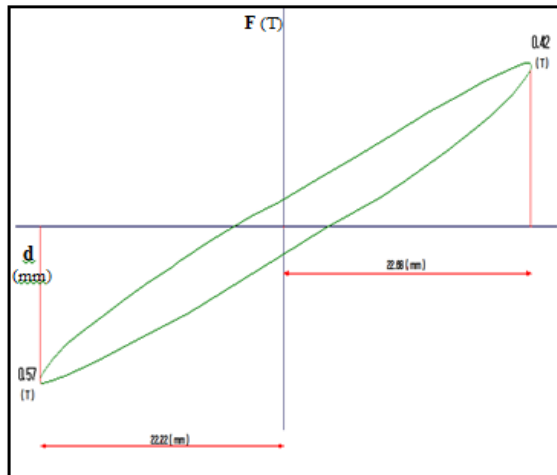
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.089
RIGIDEZ EFECTIVA = 25.54 t/m

CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



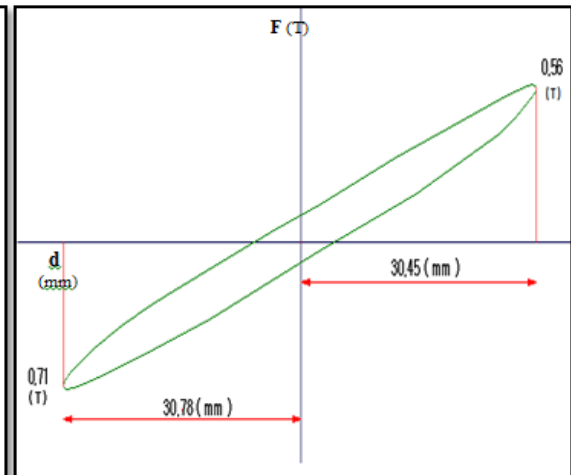
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.074
RIGIDEZ EFECTIVA = 22.92 t/m

CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)



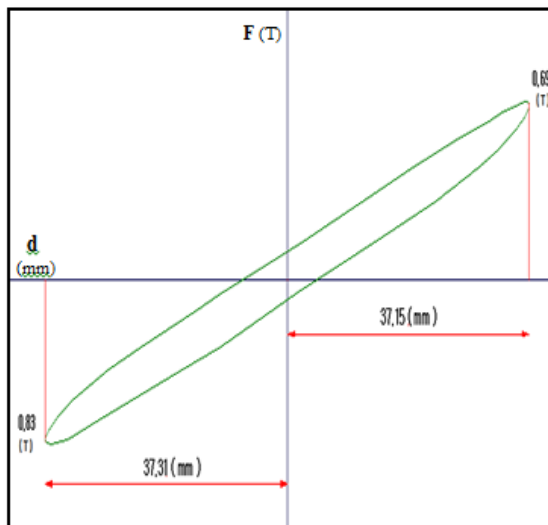
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.073
RIGIDEZ EFECTIVA = 22.14 t/m

CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)



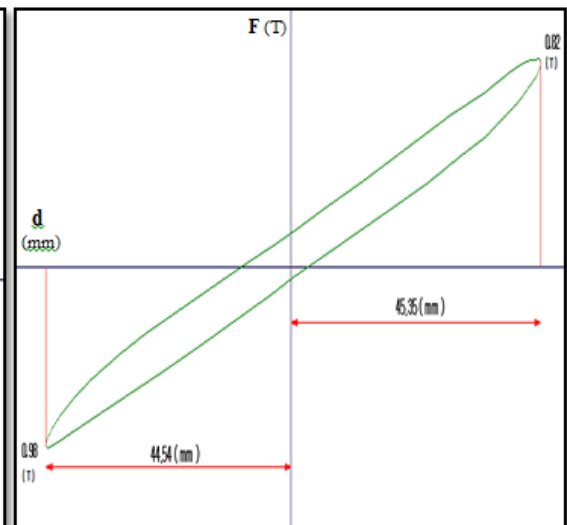
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.069
RIGIDEZ EFECTIVA = 20.65 t/m

CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)



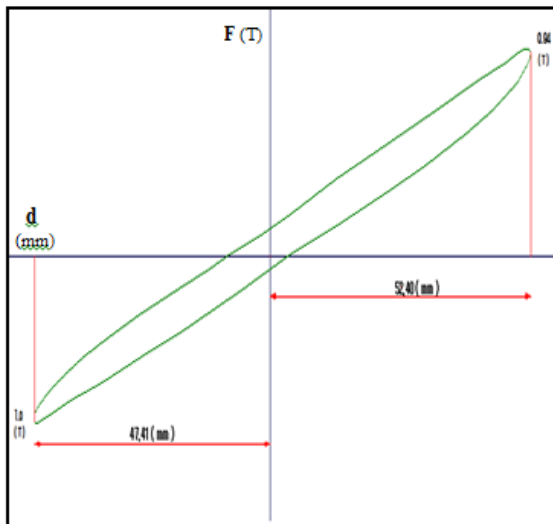
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.065
RIGIDEZ EFECTIVA = 20.44 t/m

CURVA CON 60% DEFORMACION (46 mm)



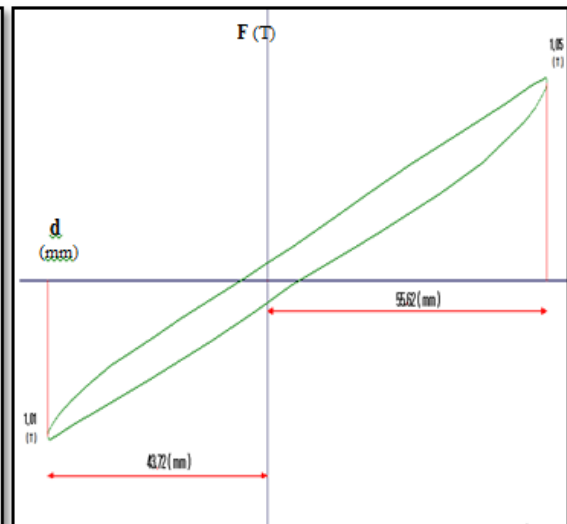
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.055
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.81 t/m

CURVA CON 70% DEFORMACION (53mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.050
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.38 t/m

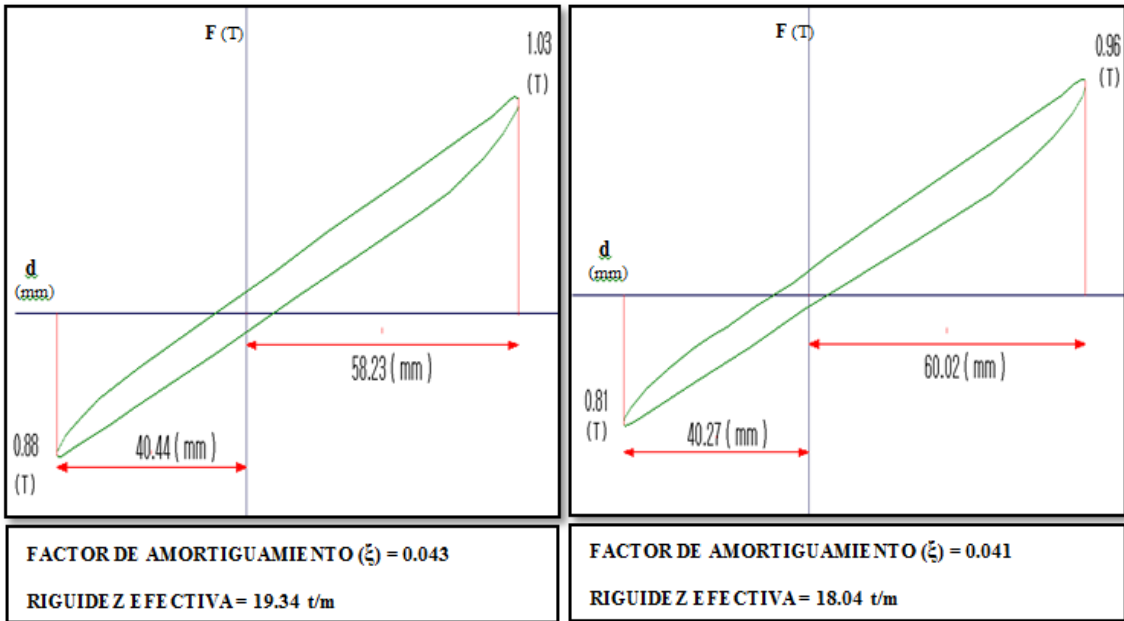
CURVA CON 80% DEFORMACION (61 mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.050
RIGIDEZ EFECTIVA = 20.96 t/m

CURVA CON 90% DEFORMACION (69mm)

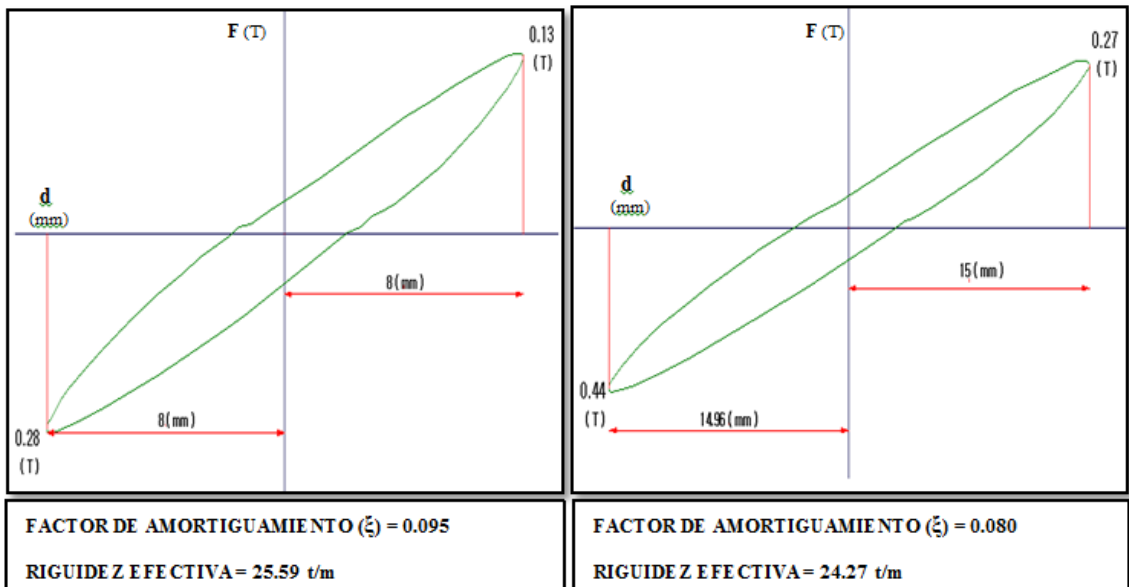
CURVA CON 100% DEFORMACION (76 mm)



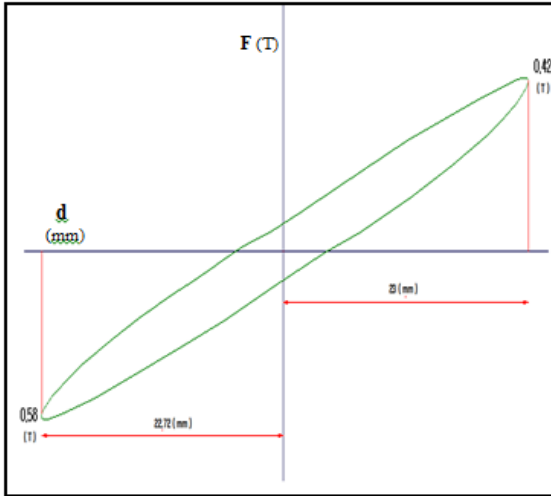
REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.15$ Hz) PROTOTIPO CON PERNO MACIZO VULCANIZADO.

CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)

CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)

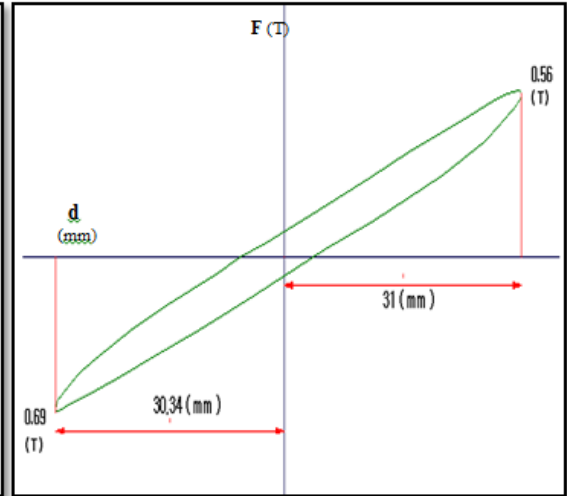


CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)



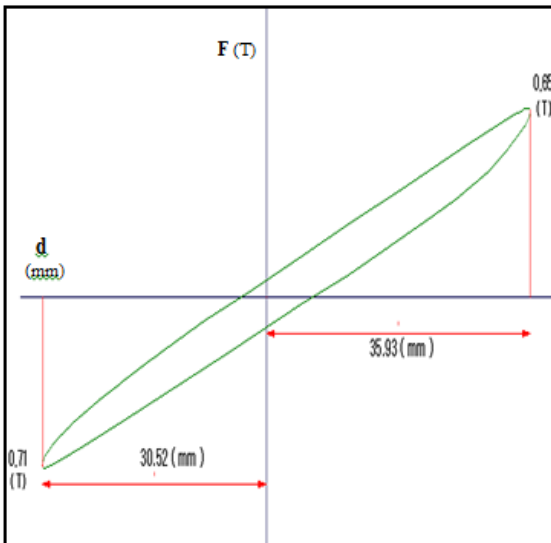
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.073
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.95 t/m

CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)



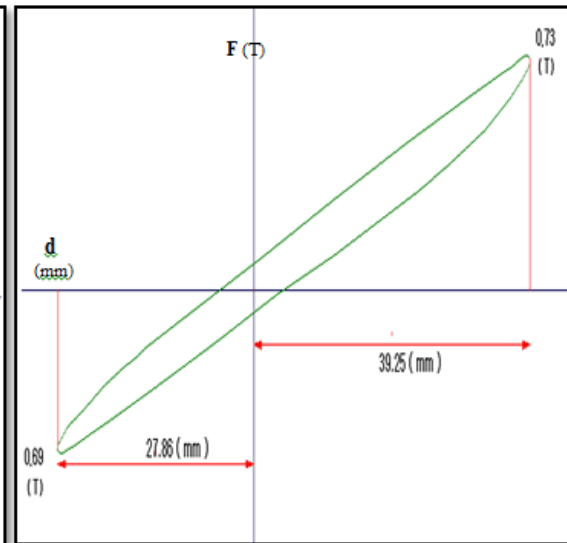
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.062
RIGIDEZ EFECTIVA = 20.39 t/m

CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.059
RIGIDEZ EFECTIVA = 20.81 t/m

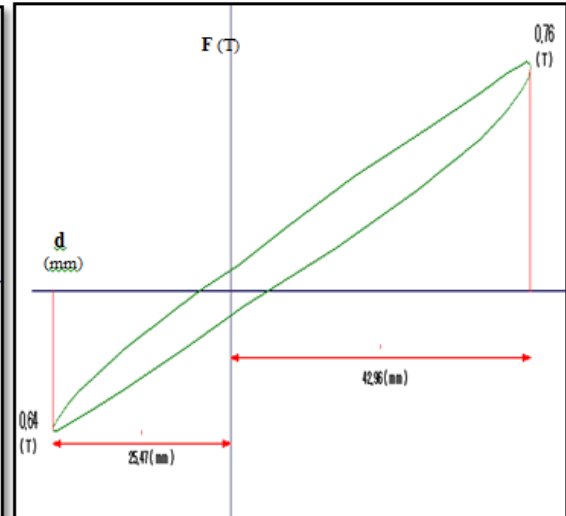
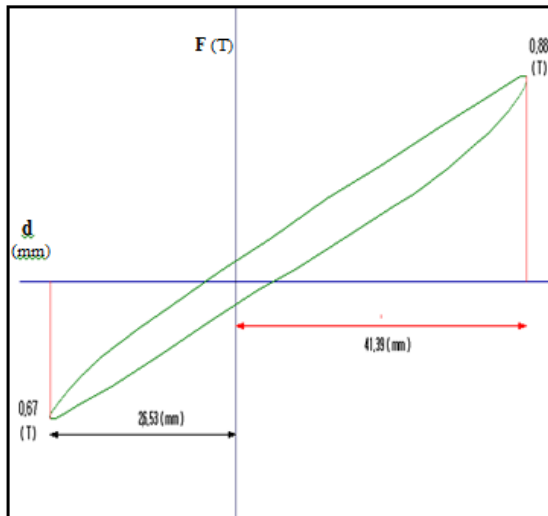
CURVA CON 60% DEFORMACION (46 mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.047
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.29 t/m

CURVA CON 70% DEFORMACION (53mm)

CURVA CON 80% DEFORMACION (61 mm)

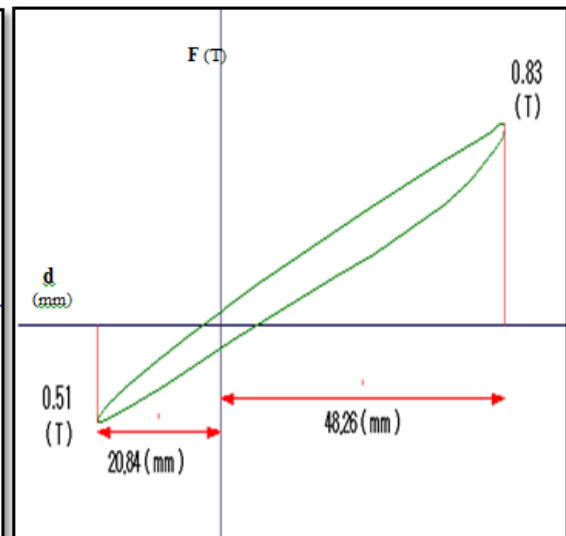
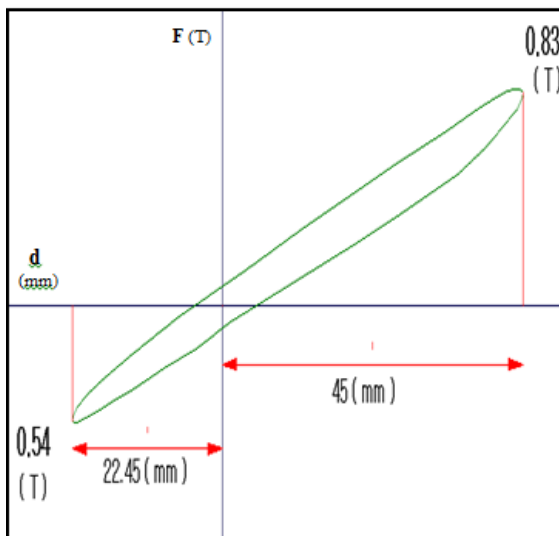


FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.045
RIGIDEZ EFECTIVA = 23.03 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.044
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.43 t/m

CURVA CON 90% DEFORMACION (69mm)

CURVA CON 100% DEFORMACION (76 mm)

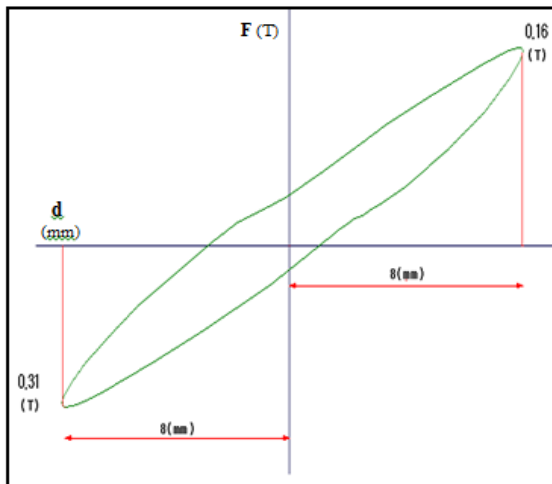


FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.041
RIGIDEZ EFECTIVA = 20.89 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.038
RIGIDEZ EFECTIVA = 20.87 t/m

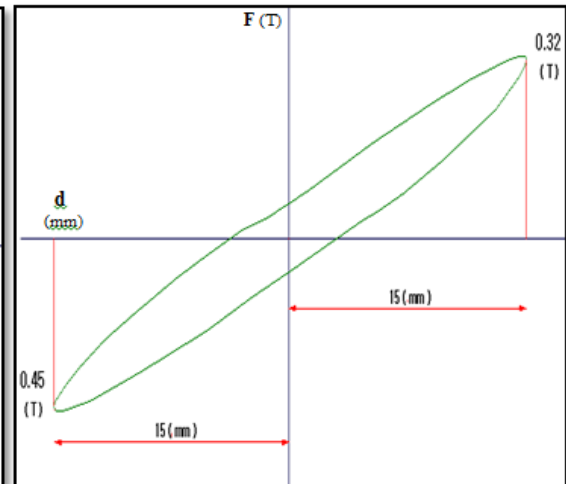
**REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.20$ Hz) PROTOTIPO
CON PERNO MACIZO VULCANIZADO.**

CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)



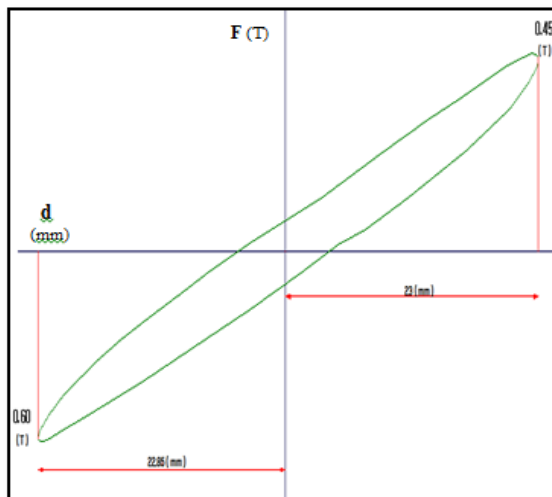
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.072
RIGIDEZ EFECTIVA = 29.53 t/m

CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



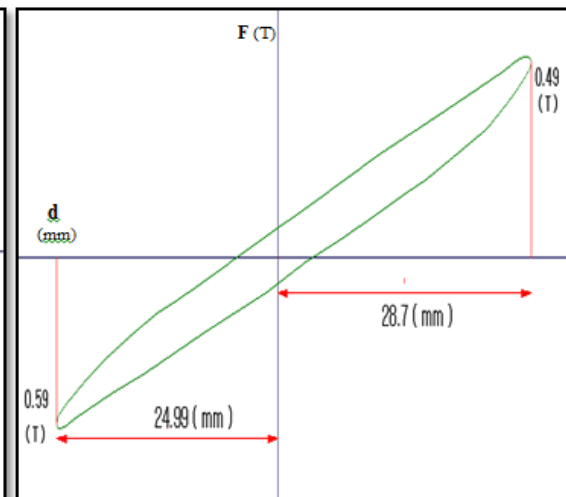
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.080
RIGIDEZ EFECTIVA = 25.55 t/m

CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)



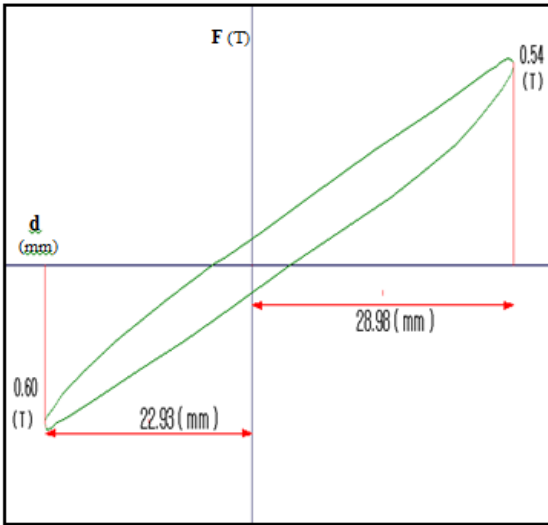
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.072
RIGIDEZ EFECTIVA = 22.79 t/m

CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.059
RIGIDEZ EFECTIVA = 20.37 t/m

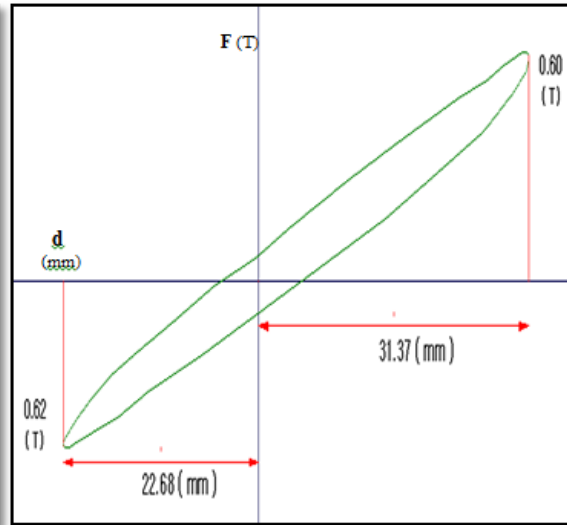
CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.057

RIGIDEZ EFECTIVA = 22.38 t/m

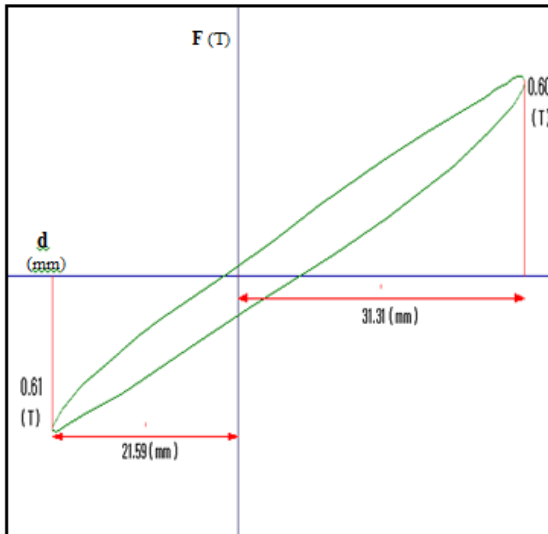
CURVA CON 60% DEFORMACION (46 mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.055

RIGIDEZ EFECTIVA = 22.96 t/m

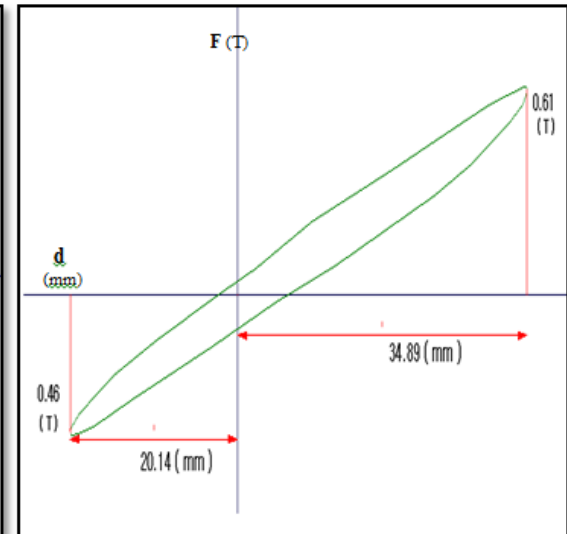
CURVA CON 70% DEFORMACION (53mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.056

RIGIDEZ EFECTIVA = 26.78 t/m

CURVA CON 80% DEFORMACION (61 mm)

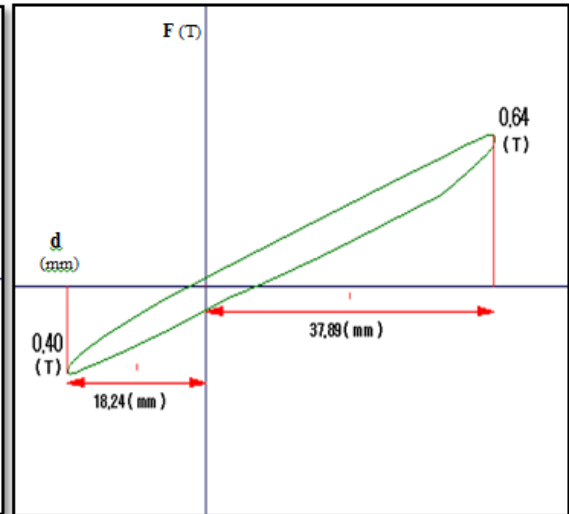
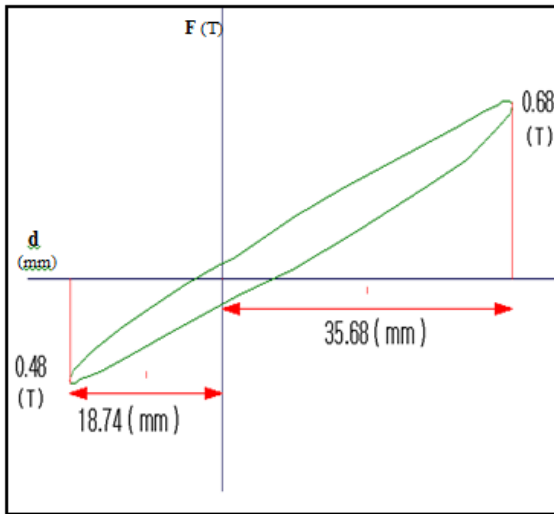


FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.049

RIGIDEZ EFECTIVA = 20.19 t/m

CURVA CON 90% DEFORMACION (69mm)

CURVA CON 100% DEFORMACION (76 mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.047

RIGIDEZ EFECTIVA = 21.93 t/m

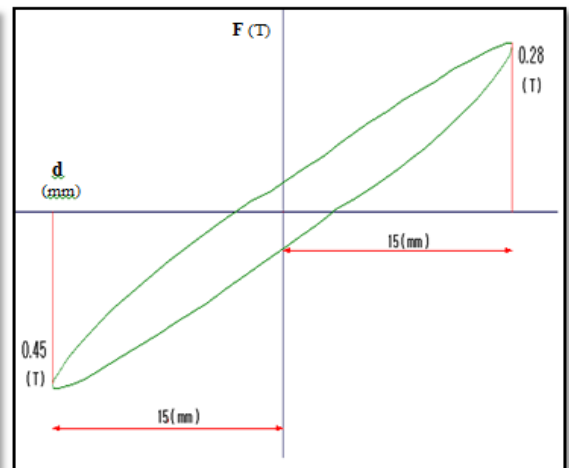
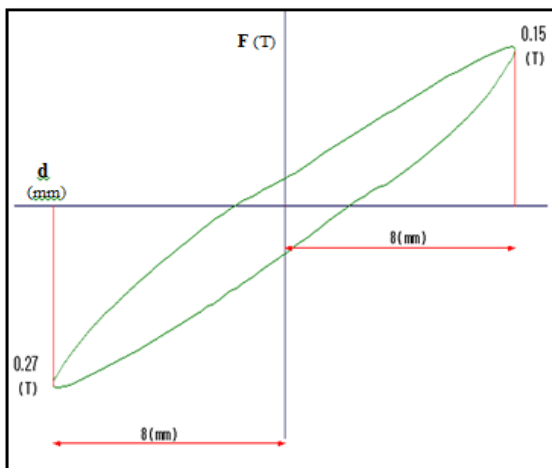
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.046

RIGIDEZ EFECTIVA = 19.53 t/m

REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.25$ Hz) PROTOTIPO CON PERNO MACIZO VULCANIZADO.

CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)

CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.100

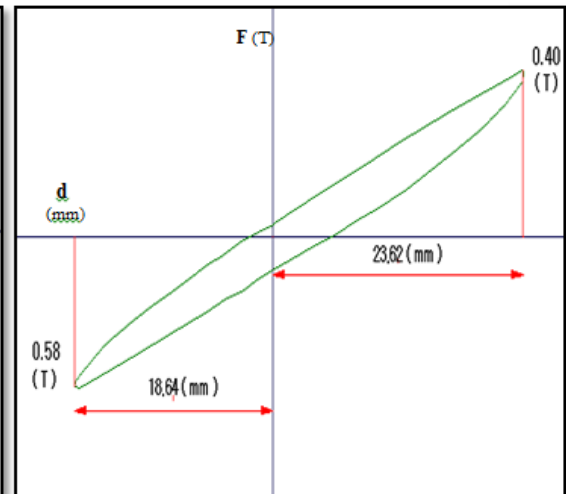
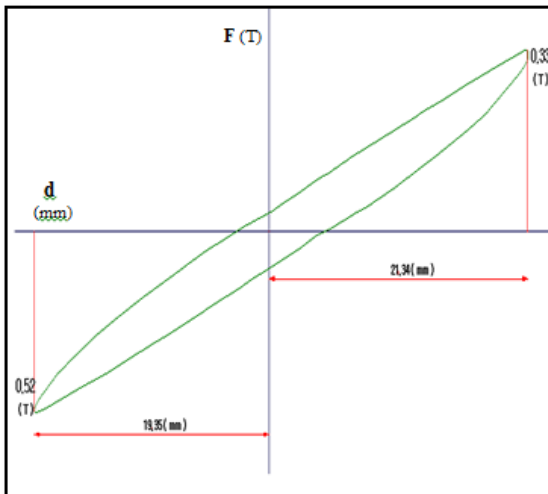
RIGIDEZ EFECTIVA = 26.25 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.085

RIGIDEZ EFECTIVA = 24.32 t/m

CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)

CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)

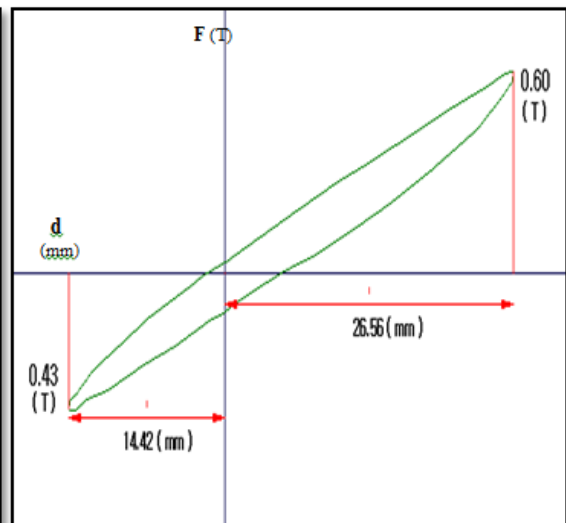
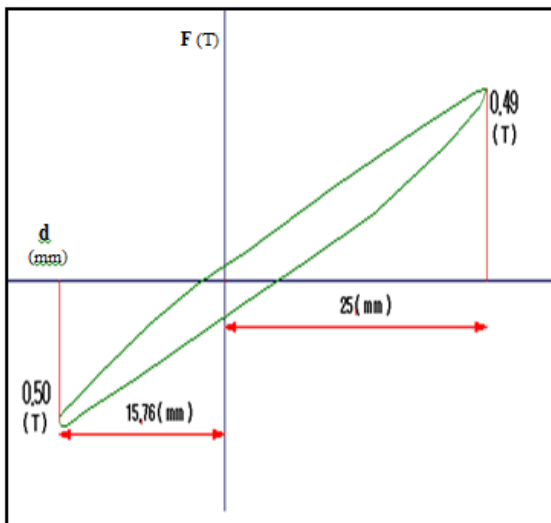


FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.072
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.19 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.064
RIGIDEZ EFECTIVA = 24.05 t/m

CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)

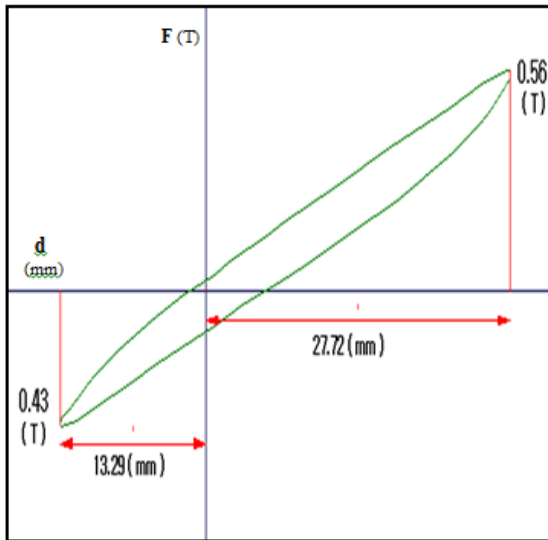
CURVA CON 60% DEFORMACION (46 mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.052
RIGIDEZ EFECTIVA = 25.86 t/m

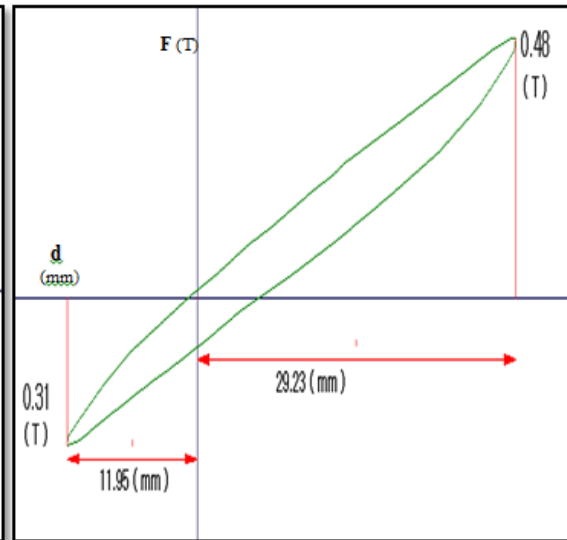
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.050
RIGIDEZ EFECTIVA = 25.8 t/m

CURVA CON 70% DEFORMACION (53mm)



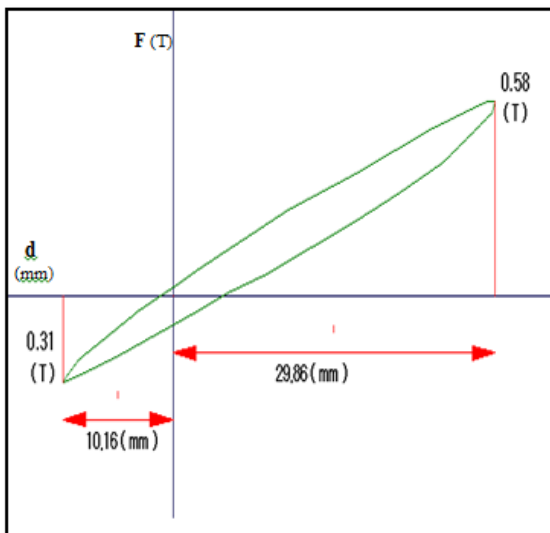
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.047
RIGIDEZ EFECTIVA = 26.04 t/m

CURVA CON 80% DEFORMACION (61 mm)



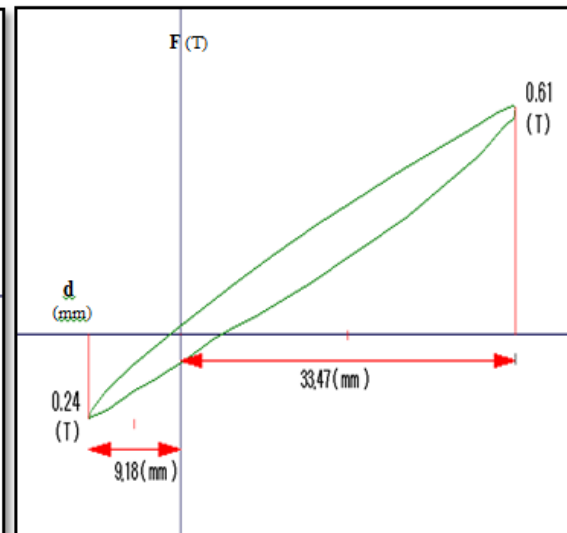
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.043
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.44 t/m

CURVA CON 90% DEFORMACION (69mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.037
RIGIDEZ EFECTIVA = 24.41 t/m

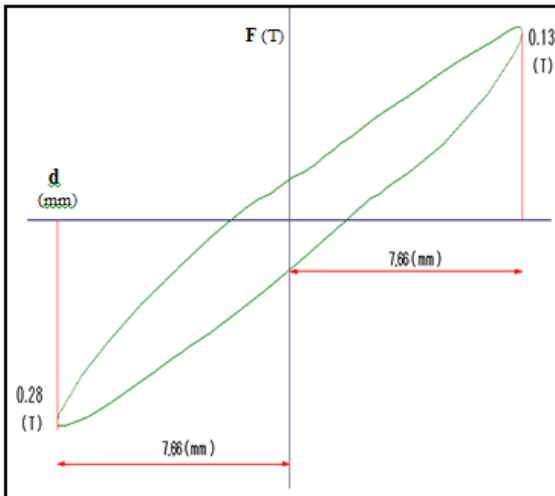
CURVA CON 100% DEFORMACION (76 mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.032
RIGIDEZ EFECTIVA = 22.04 t/m

REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.30$ Hz) PROTOTIPO CON PERNO MACIZO VULCANIZADO.

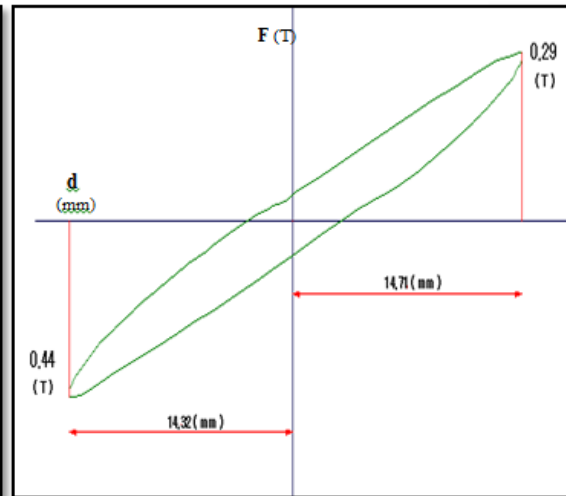
CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.093

RIGIDEZ EFECTIVA = 26.73 t/m

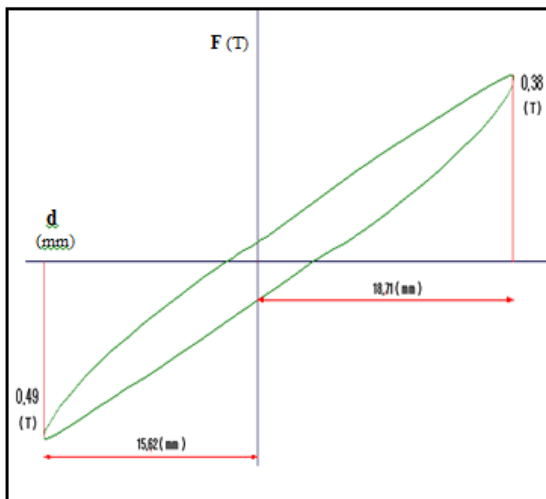
CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.081

RIGIDEZ EFECTIVA = 25.21 t/m

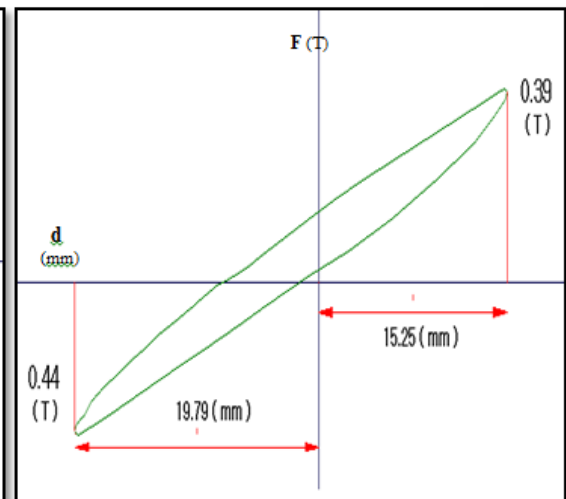
CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.070

RIGIDEZ EFECTIVA = 25.73 t/m

CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)

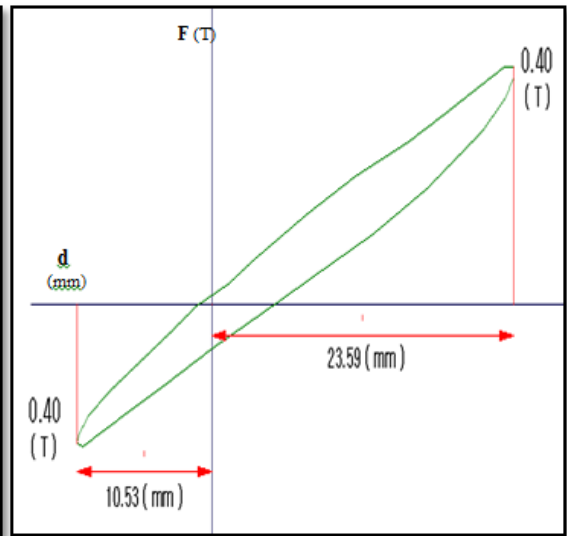
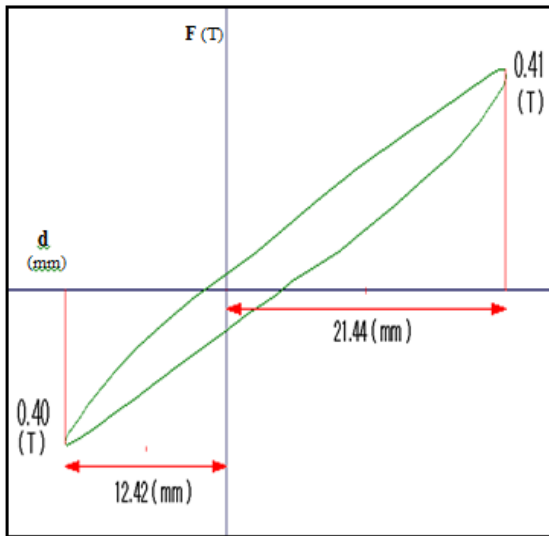


FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.056

RIGIDEZ EFECTIVA = 24.05 t/m

CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)

CURVA CON 60% DEFORMACION (46 mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.052

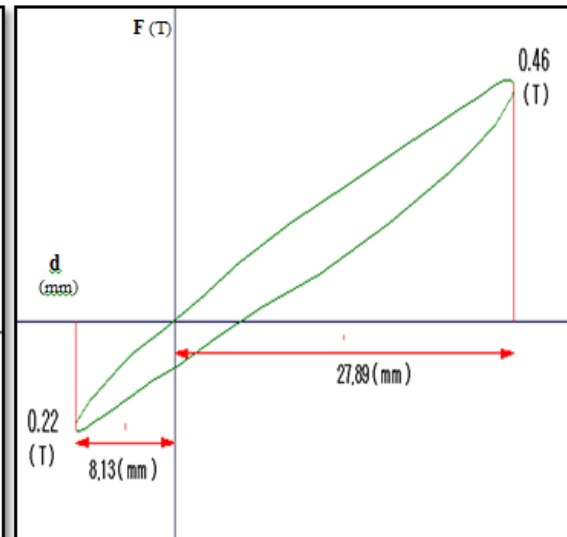
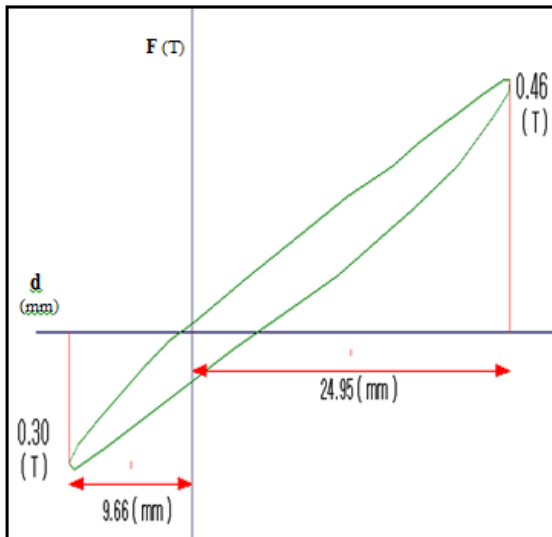
RIGIDEZ EFECTIVA = 25.73 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.047

RIGIDEZ EFECTIVA = 27.131 t/m

CURVA CON 70% DEFORMACION (53mm)

CURVA CON 80% DEFORMACION (61 mm)



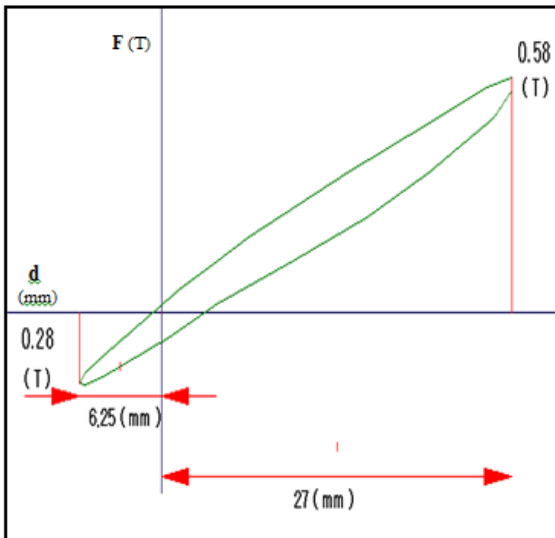
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.044

RIGIDEZ EFECTIVA = 24.54 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.041

RIGIDEZ EFECTIVA = 21.75 t/m

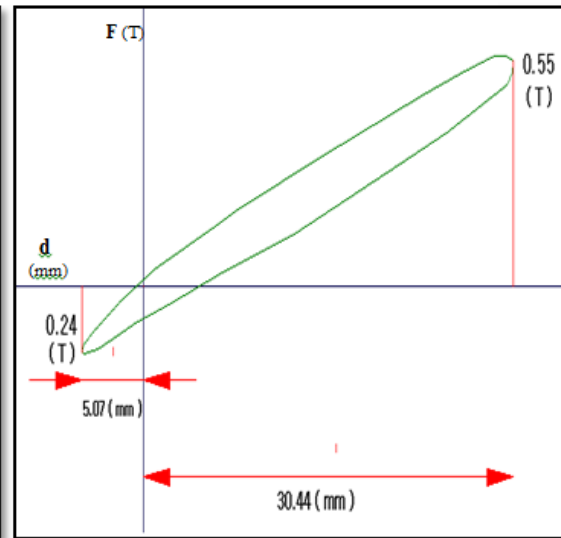
CURVA CON 90% DEFORMACION (69mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.032

RIGIDEZ EFECTIVA = 32.42 t/m

CURVA CON 100% DEFORMACION (76 mm)

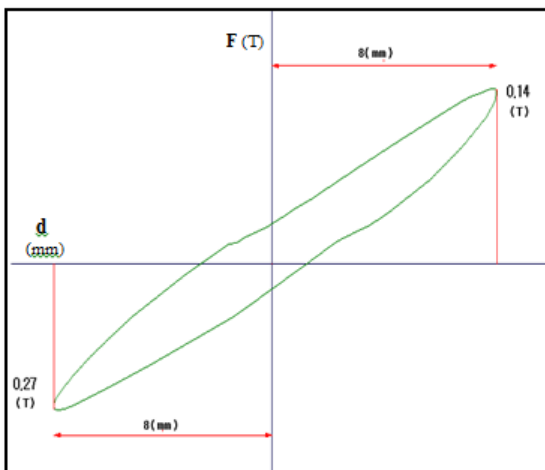


FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.034

RIGIDEZ EFECTIVA = 32.87 t/m

REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.35$ Hz) PROTOTIPO CON PERNO MACIZO VULCANIZADO.

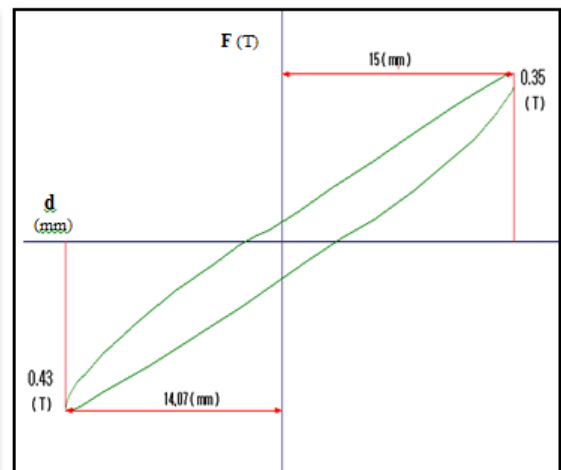
CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.076

RIGIDEZ EFECTIVA = 25.59 t/m

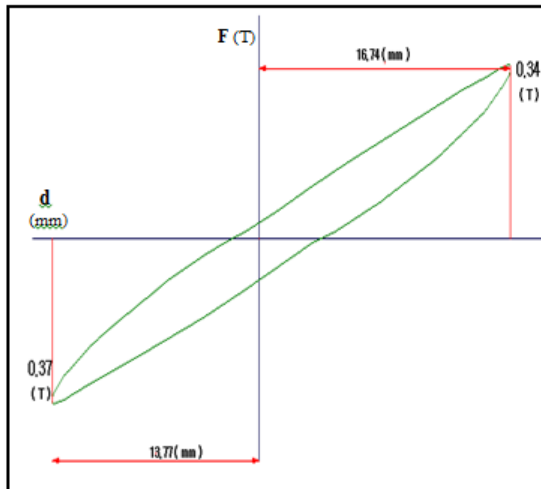
CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.081

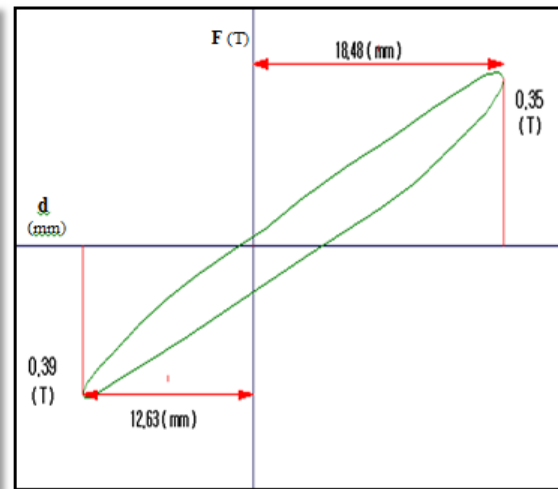
RIGIDEZ EFECTIVA = 26.84 t/m

CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)



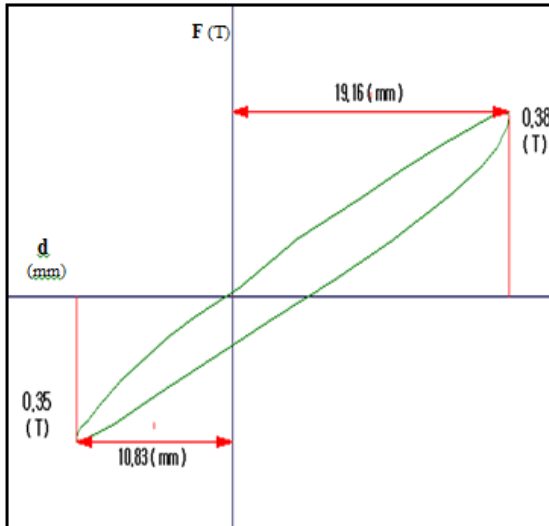
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.074
RIGIDEZ EFECTIVA = 23.38 t/m

CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)



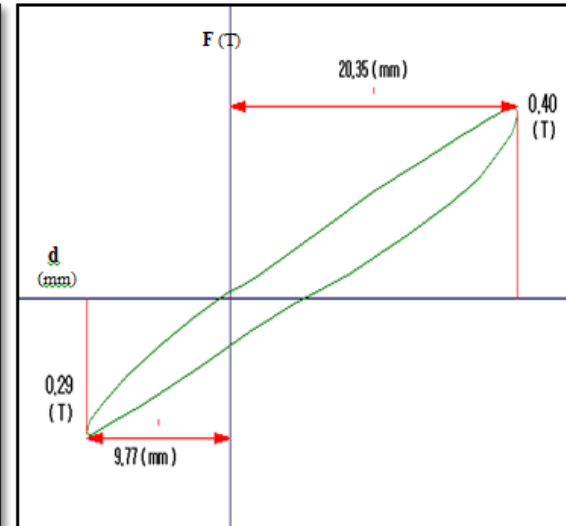
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.069
RIGIDEZ EFECTIVA = 24.75 t/m

CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.062
RIGIDEZ EFECTIVA = 26.24 t/m

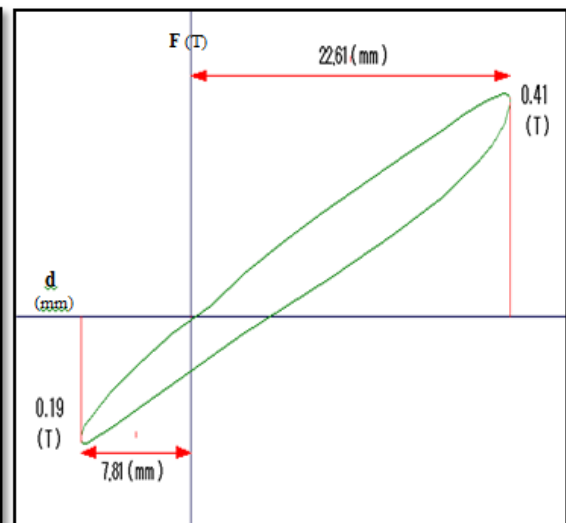
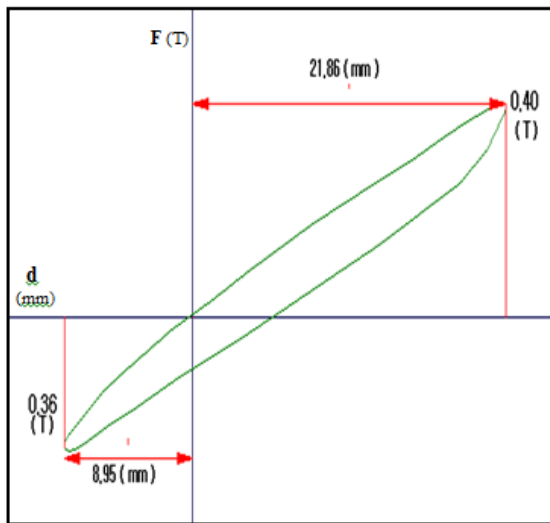
CURVA CON 60% DEFORMACION (46 mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.059
RIGIDEZ EFECTIVA = 23.84 t/m

CURVA CON 70% DEFORMACION (53mm)

CURVA CON 80% DEFORMACION (61 mm)

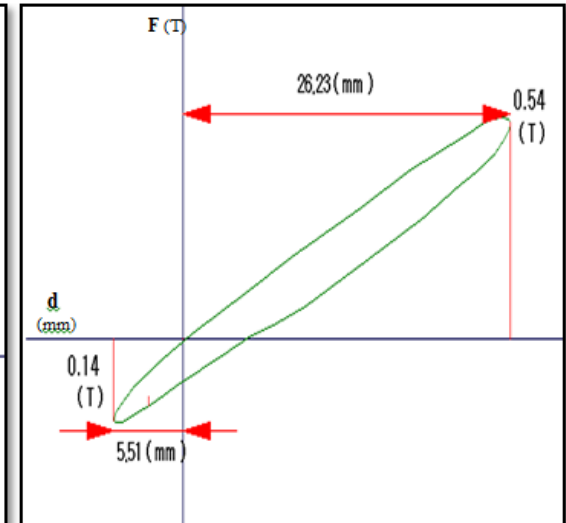
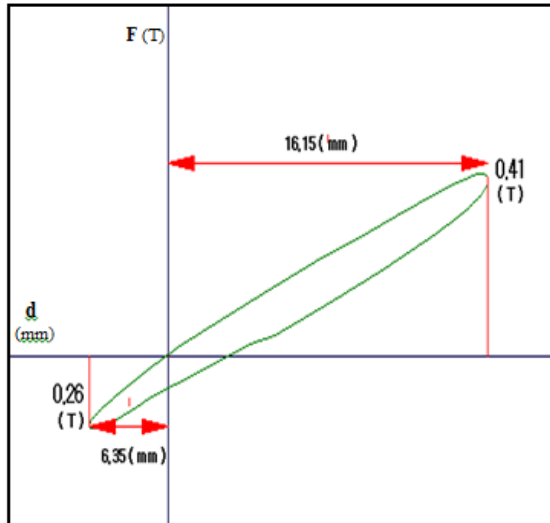


FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.052
RIGIDEZ EFECTIVA = 28.96 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.051
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.49 t/m

CURVA CON 90% DEFORMACION (69mm)

CURVA CON 100% DEFORMACION (76 mm)



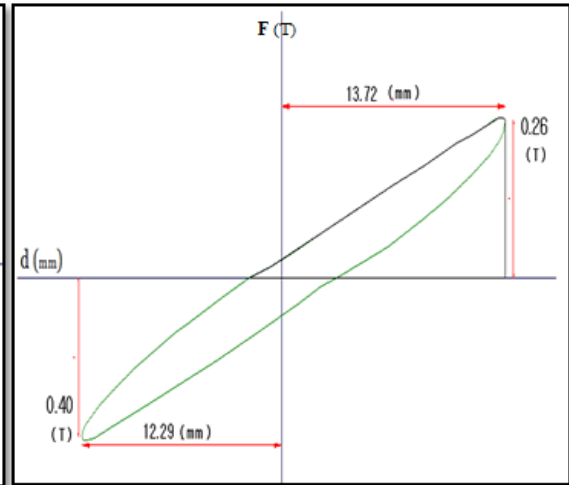
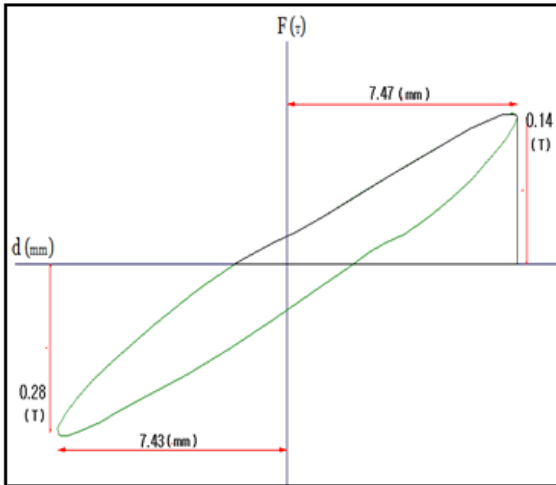
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.039
RIGIDEZ EFECTIVA = 27.62 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.038
RIGIDEZ EFECTIVA = 22.59 t/m

REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS(Ω = 0.40 Hz) PROTOTIPO CON PERNO MACIZO VULCANIZADO.

CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)

CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.101

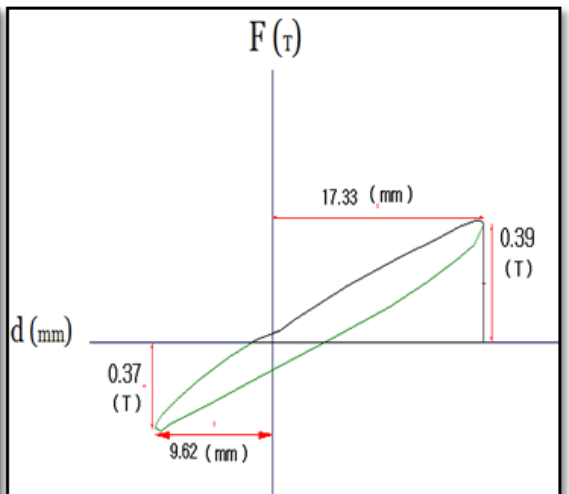
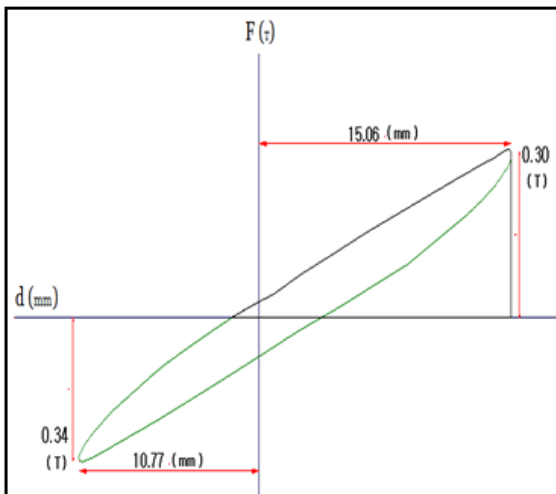
RIGIDEZ EFECTIVA = 28.21 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.081

RIGIDEZ EFECTIVA = 25.82 t/m

CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)

CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.068

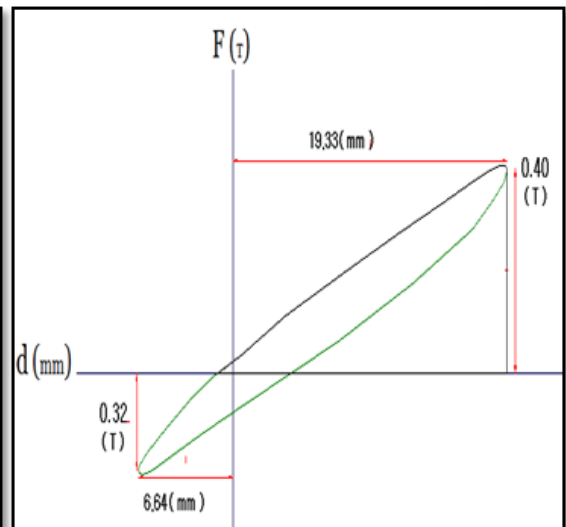
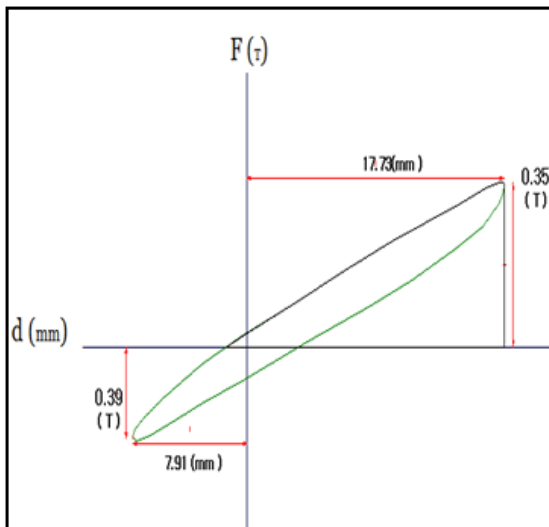
RIGIDEZ EFECTIVA = 25.71 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.061

RIGIDEZ EFECTIVA = 30.31 t/m

CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)

CURVA CON 60% DEFORMACION (46 mm)

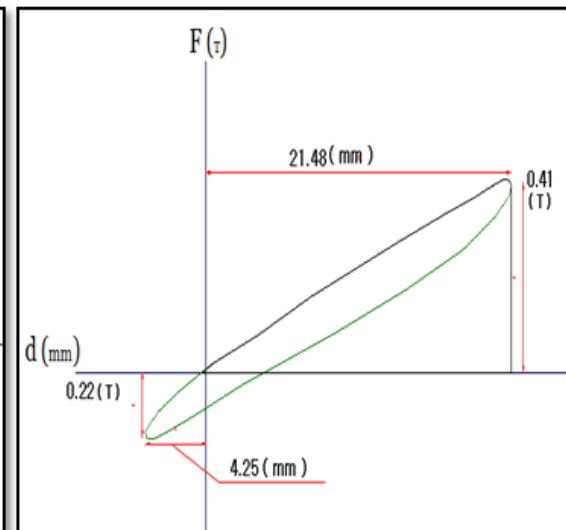
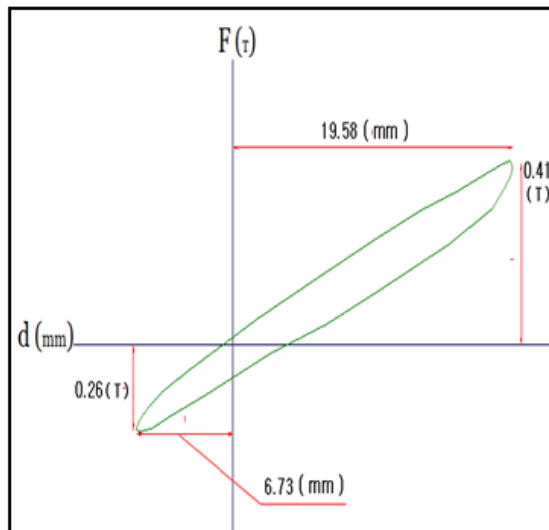


FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.051
RIGIDEZ EFECTIVA = 34.33 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.047
RIGIDEZ EFECTIVA = 33.78 t/m

CURVA CON 70% DEFORMACION (53mm)

CURVA CON 80% DEFORMACION (61 mm)

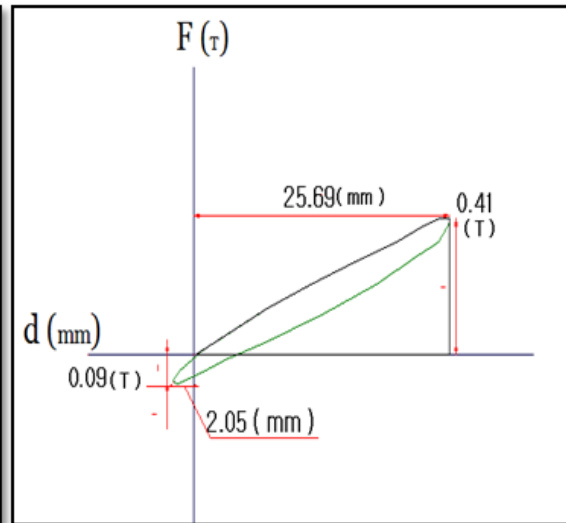
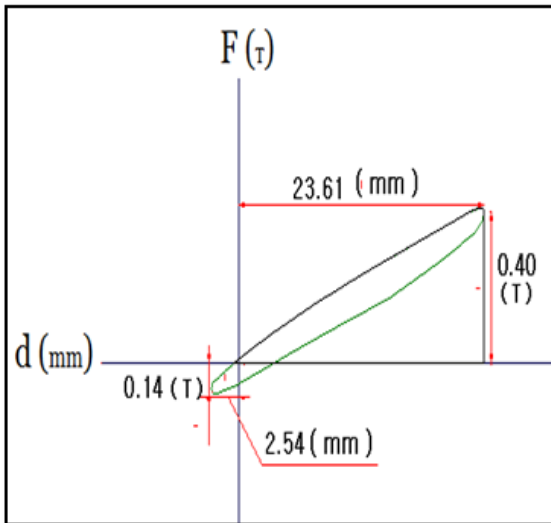


FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.045
RIGIDEZ EFECTIVA = 30.11 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.039
RIGIDEZ EFECTIVA = 35.47 t/m

CURVA CON 90% DEFORMACION (69mm)

CURVA CON 100% DEFORMACION (76 mm)



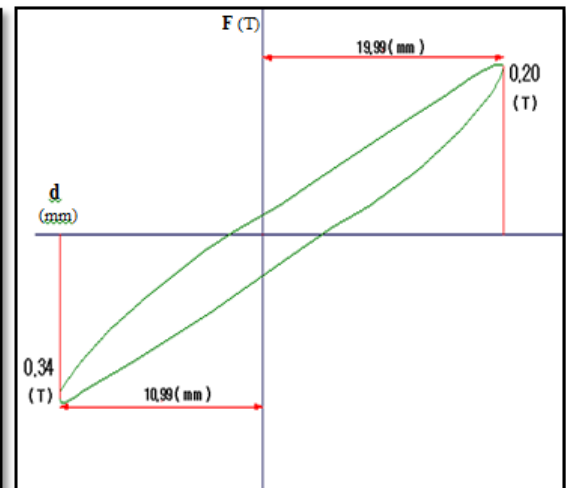
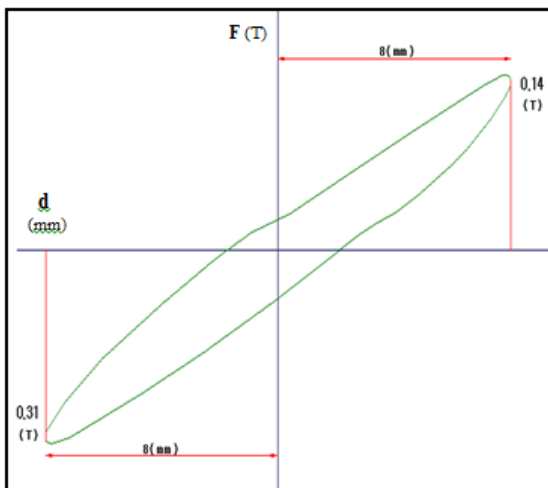
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.033
RIGIDEZ EFECTIVA = 34.74 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.033
RIGIDEZ EFECTIVA = 31.97 t/m

REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.45$ Hz) PROTOTIPO CON PERNO MACIZO VULCANIZADO.

CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)

CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)

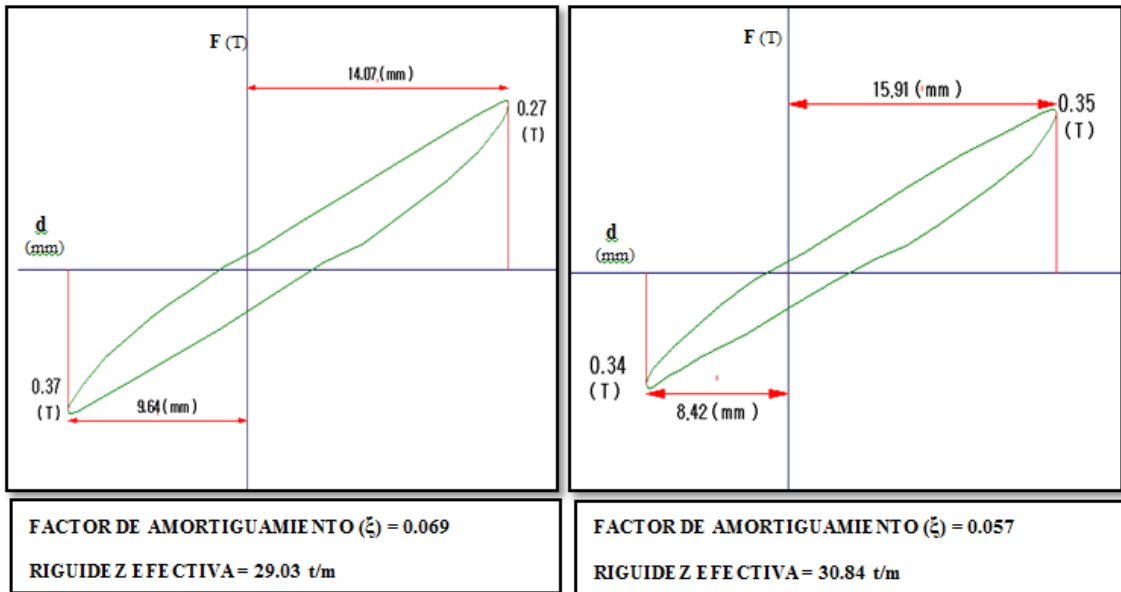


FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.095
RIGIDEZ EFECTIVA = 28.55 t/m

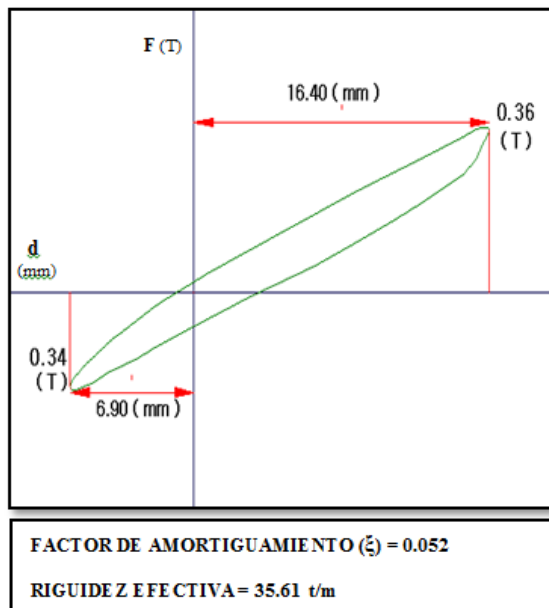
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.078
RIGIDEZ EFECTIVA = 23.2 t/m

CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)

CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)



CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)



CAPÍTULO 7

AISLADORES CON RESORTE EN EL NUCLEO

7.1 DESCRIPCIÓN DEL AISLADOR (PROTOTIPO).

La nueva idea de construir un tercer aislador surgió del análisis significativo que brinda el resorte ante una rigidez vertical figura 6.1. De esta manera también se decidió optar por el resorte para analizar que comportamiento y que disipación de energía se obtiene al momento de sufrir deformaciones con los desplazamientos programados en la máquina de Ensayos Universales.

La característica del neopreno es de shore 65 ± 5 , de las cuales también se mejoró el acoplamiento entre neopreno y acero, este resorte esta 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.

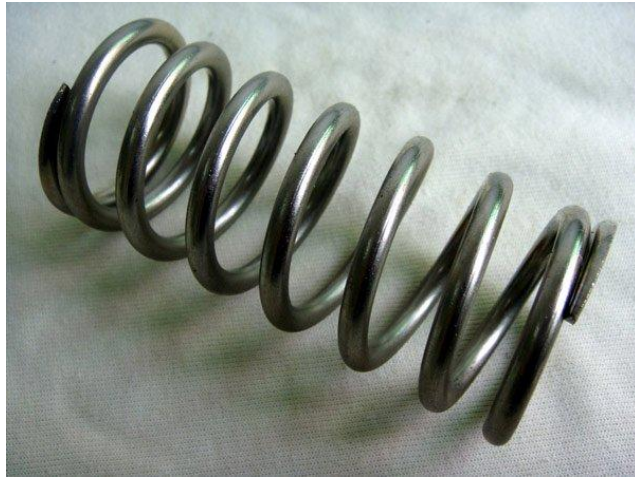


Fig. 7.1. Esquema del resorte colocado en el núcleo del prototipo

La figura 7.2 muestra el prototipo ya listo para ejecutar los ensayos pertinentes.



Fig. 7.1. Prototipo con resorte vulcanizado en el núcleo

El resorte vulcanizado en el núcleo tiene un diámetro de 5cm, y el paso es de 1cm, la función de este resorte es generar un núcleo macizo que rigidice y aíse mayor energía al momento de aplicar una carga lateral a dicho prototipo.

La altura del prototipo es de 135mm, la base de 140mm, el número de gomas que componen este aislador son 8 en total, los espesores del neopreno en los extremos de este son de 11mm, y los espesores internos son de 9mm.

El número de placas de acero internas del prototipo son 7 en total, las mismas que tienen un espesor de 3mm cada una, las placas extremas que sirven para anclaje a la cimentación y a la superestructura respectivamente, tienen un espesor de 15mm cada una de ellas.

7.2 ENSAYOS REALIZADOS.

Los ensayos realizados se basan a los dos primeros prototipos antes analizados, según la norma ASCE 7 – 05 Sección 17.8.

La prueba a tomarse en cuenta es aquella que se realiza debido a la naturaleza del dispositivo ante cargas variables. Se continuó con frecuencias que vayan del rango de 0.05 y los desplazamientos que varíen en un rango del 10% al 100% de la deformación, tomando en cuenta que para este caso el 100% de

deformación de la goma sigue siendo la misma. Para así ir paulatinamente comparando datos y resultados obtenidos de los primeros dos aisladores. De la misma manera para desplazamientos altos y frecuencias altas, no se tomaron como datos reales de los ensayos realizados debido a la restricción que tiene la maquina bajo estas condiciones.

7.3 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

De los datos obtenidos en los ensayos a corte directo del prototipo de aislador sísmico elastomérico se registraron:

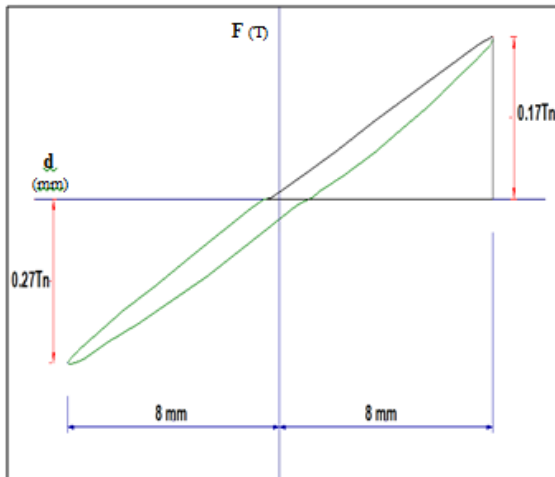
- La relación fuerza – desplazamiento mediante la gráfica de la curva de histéresis, las mismas que se grafican en papel milimetrado.
- Los bucles histéricos o comportamiento no lineal obtenidos de la gráfica fuerza – desplazamiento para determinar el área promedio y la energía disipada por el aislador.
- Las fuerzas y desplazamientos máximos, relacionados con el voltaje tanto programado, como el observado en el lector digital de la máquina.

De estos datos se partió para el cálculo del factor de amortiguamiento, rigidez efectiva y módulo de corte de la goma.

De las curvas de histéresis obtenidas en los ensayos podemos deducir los desplazamientos programados y las fuerzas que disipa el aislador ante el desplazamiento programado, los resultados obtenidos de dichos ensayos son los siguientes:

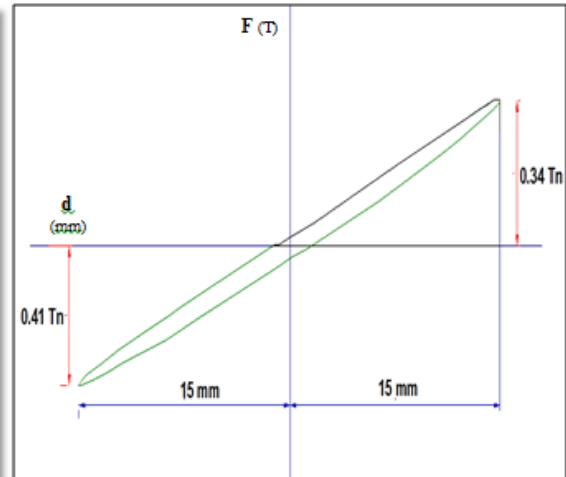
REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.05$ Hz) PROTOTIPO CON RESORTE VULCANIZADO EN EL NUCLEO.

CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)



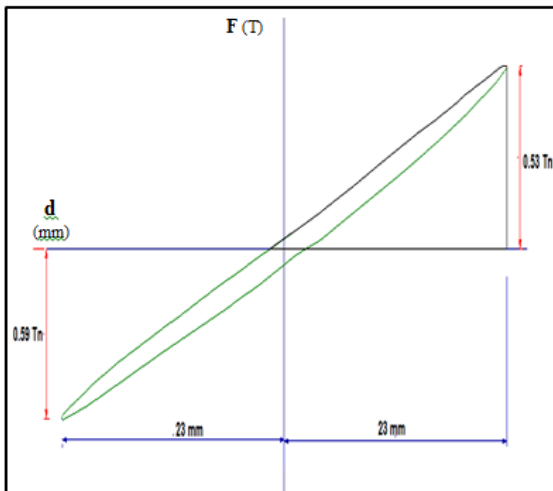
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.047
RIGIDEZ EFECTIVA = 27.23 t/m

CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



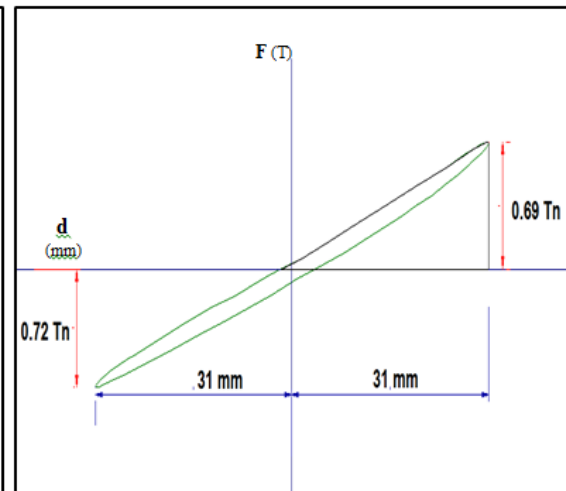
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.04
RIGIDEZ EFECTIVA = 25.024 t/m

CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)



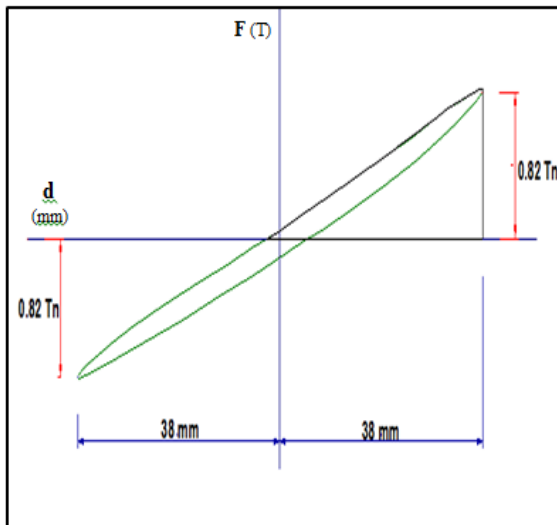
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.038
RIGIDEZ EFECTIVA = 24.31 t/m

CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.043
RIGIDEZ EFECTIVA = 22.86 t/m

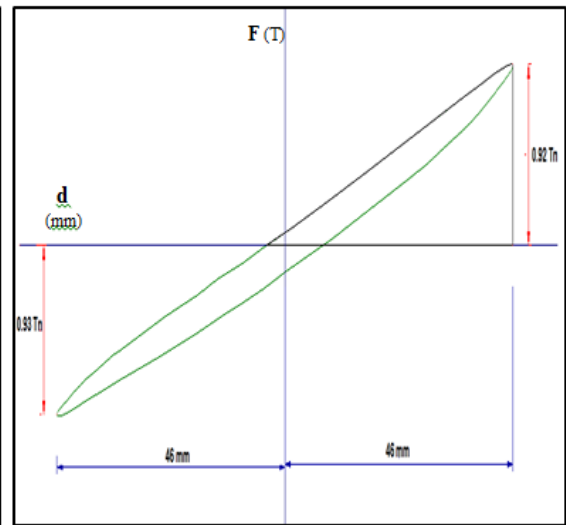
CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.049

RIGIDEZ EFECTIVA = 21.69 t/m

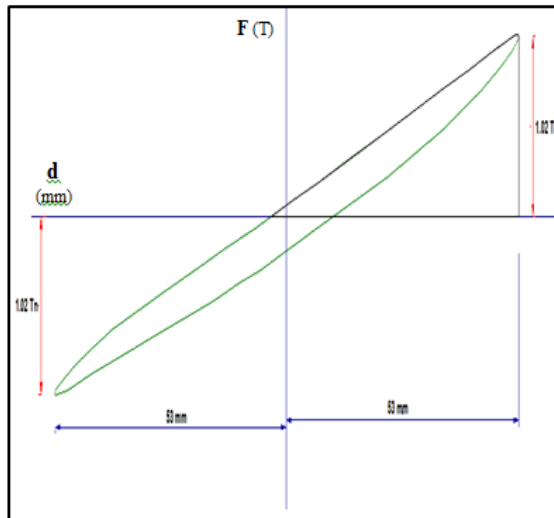
CURVA CON 60% DEFORMACION (46 mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.054

RIGIDEZ EFECTIVA = 20.14 t/m

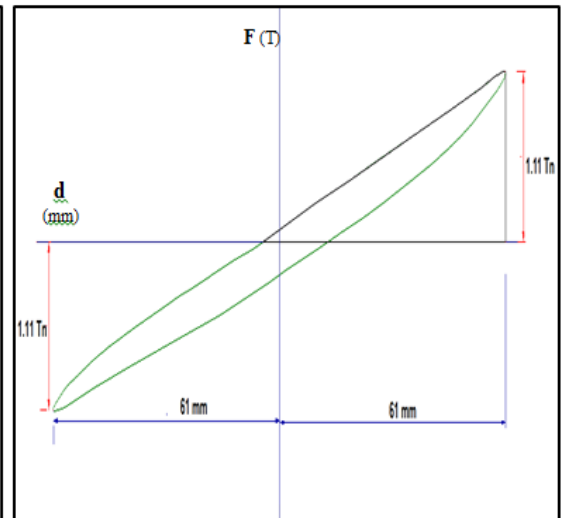
CURVA CON 70% DEFORMACION (53mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.062

RIGIDEZ EFECTIVA = 19.27 t/m

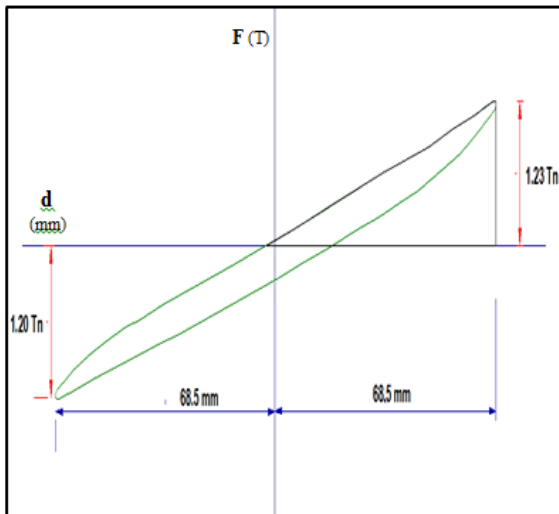
CURVA CON 80% DEFORMACION (61 mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.066

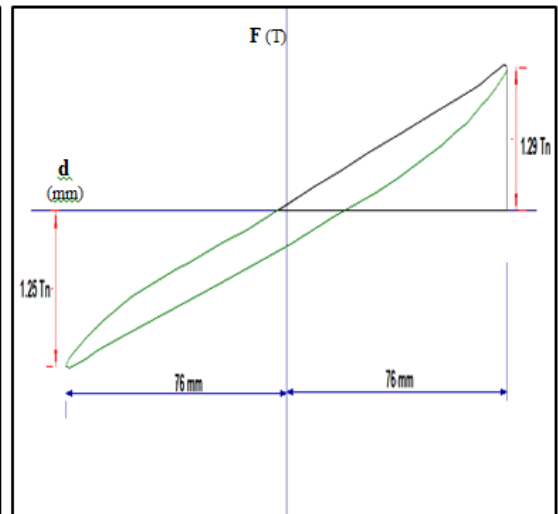
RIGIDEZ EFECTIVA = 18.16 t/m

CURVA CON 90% DEFORMACION (69mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.074
RIGIDEZ EFECTIVA = 17.78 t/m

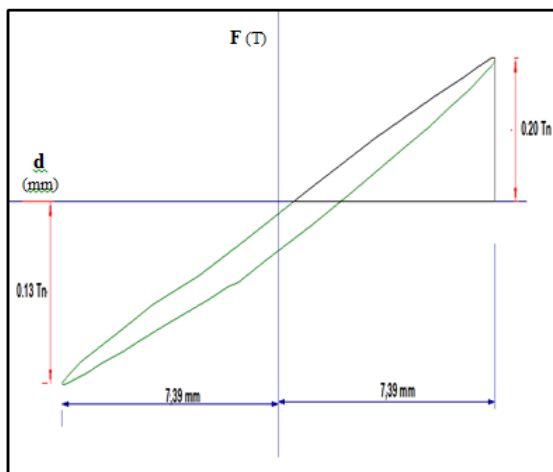
CURVA CON 100% DEFORMACION (76 mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.075
RIGIDEZ EFECTIVA = 16.68 t/m

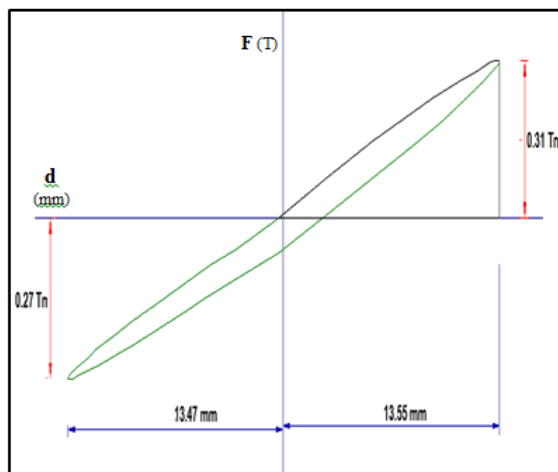
REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.10$ Hz) PROTOTIPO CON RESORTE VULCANIZADO EN EL NUCLEO.

CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)



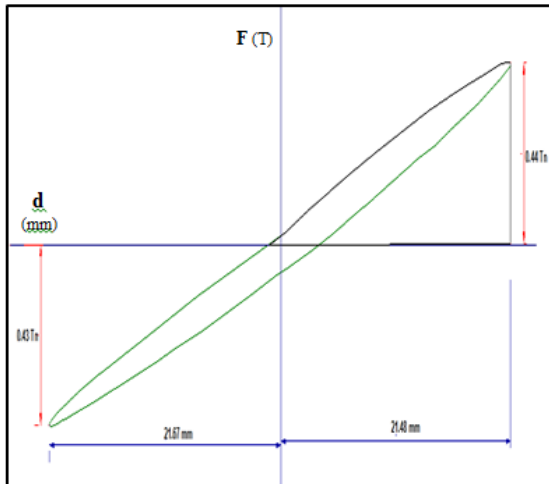
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.063
RIGIDEZ EFECTIVA = 22.02 t/m

CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



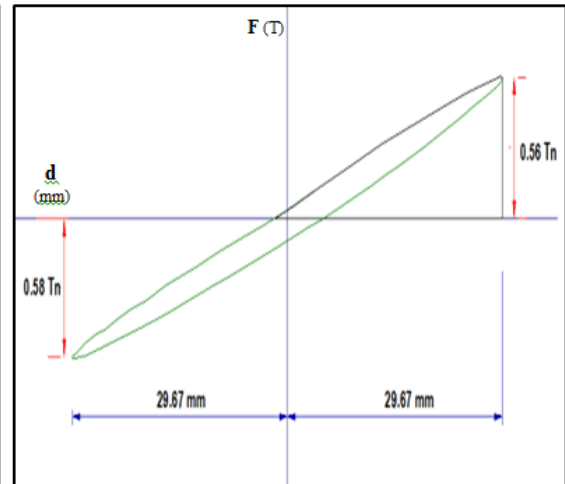
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.051
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.56 t/m

CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)



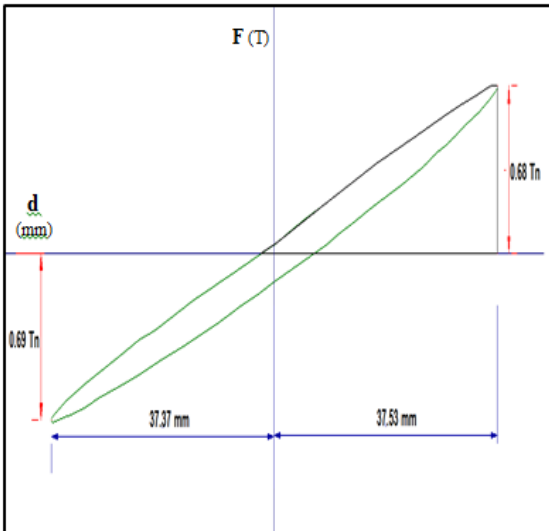
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.051
RIGIDEZ EFECTIVA = 20.075 t/m

CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)



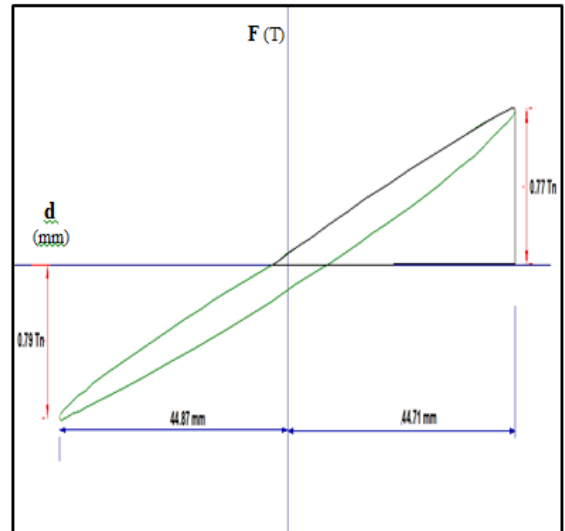
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.053
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.11 t/m

CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)



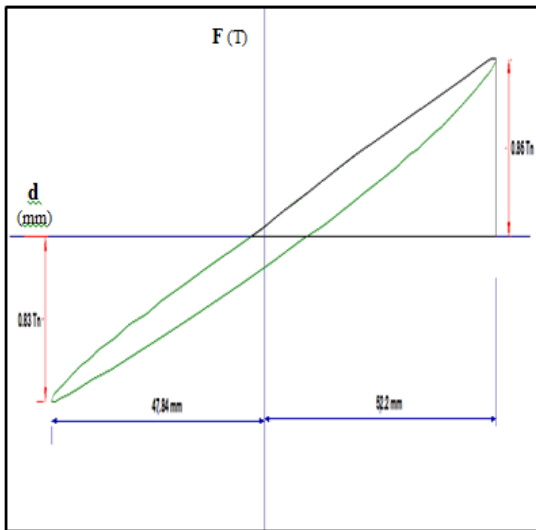
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.056
RIGIDEZ EFECTIVA = 18.22 t/m

CURVA CON 60% DEFORMACION (46 mm)



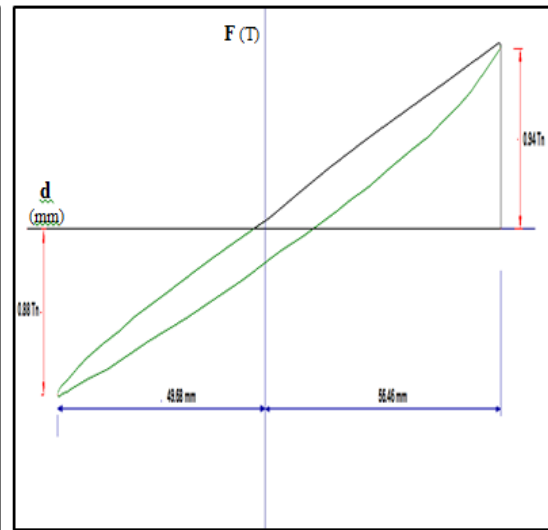
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.057
RIGIDEZ EFECTIVA = 17.41 t/m

CURVA CON 70% DEFORMACION (53mm)



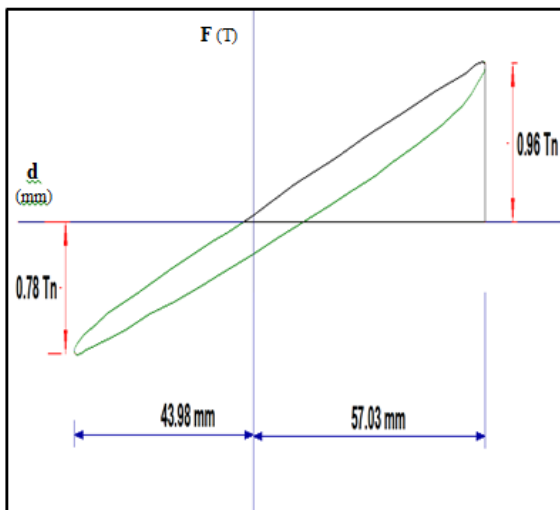
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.054
RIGIDEZ EFECTIVA = 16.97 t/m

CURVA CON 80% DEFORMACION (61 mm)



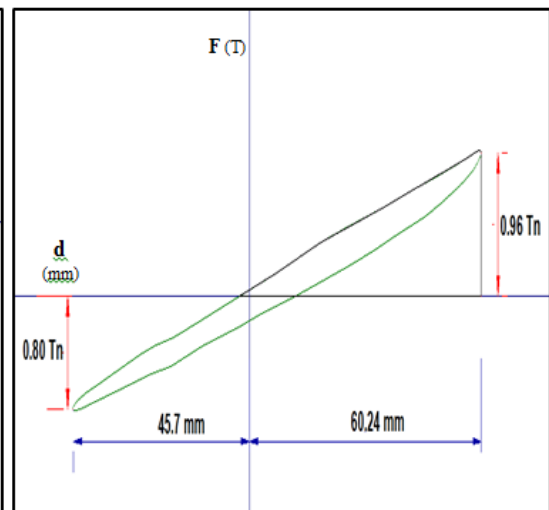
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.056
RIGIDEZ EFECTIVA = 17.19 t/m

CURVA CON 90% DEFORMACION (69mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.058
RIGIDEZ EFECTIVA = 17.21 t/m

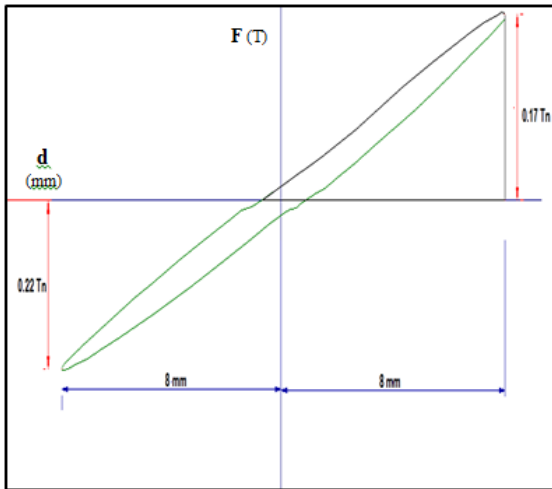
CURVA CON 100% DEFORMACION (76 mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.052
RIGIDEZ EFECTIVA = 16.76 t/m

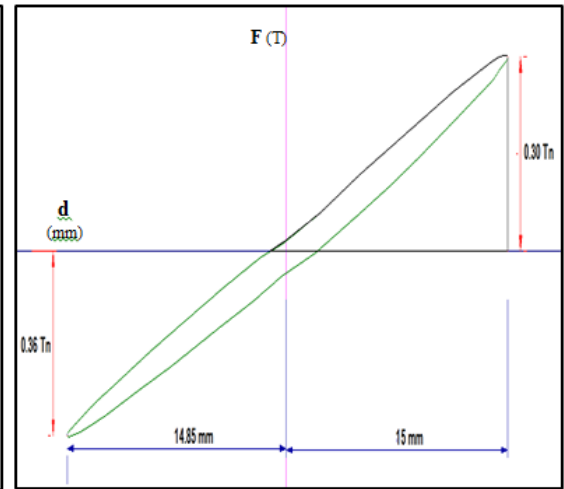
REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.15$ Hz) PROTOTIPO CON RESORTE VULCANIZADO EN EL NUCLEO.

CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)



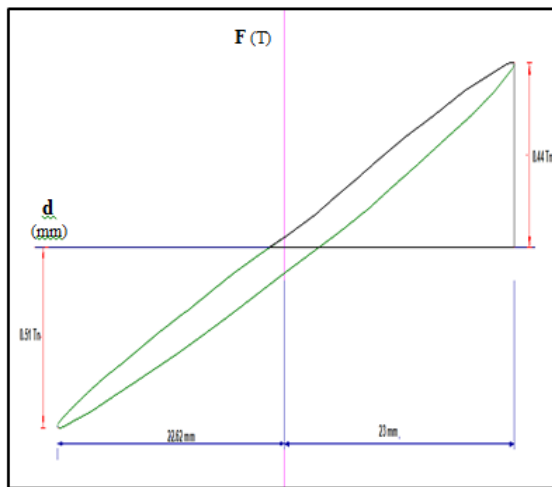
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.044
RIGIDEZ EFECTIVA = 24.28 t/m

CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



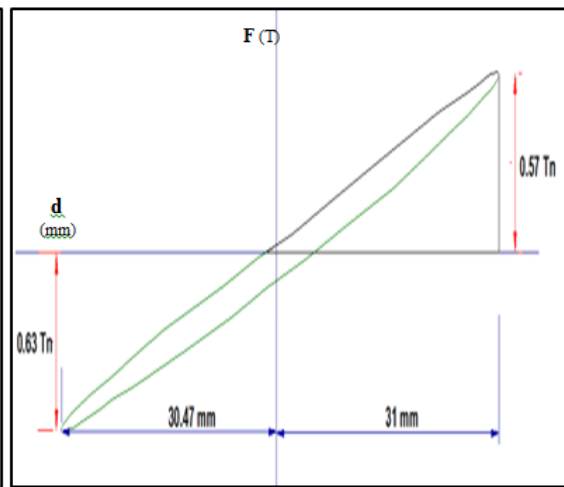
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.045
RIGIDEZ EFECTIVA = 22.17 t/m

CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.049
RIGIDEZ EFECTIVA = 20.84 t/m

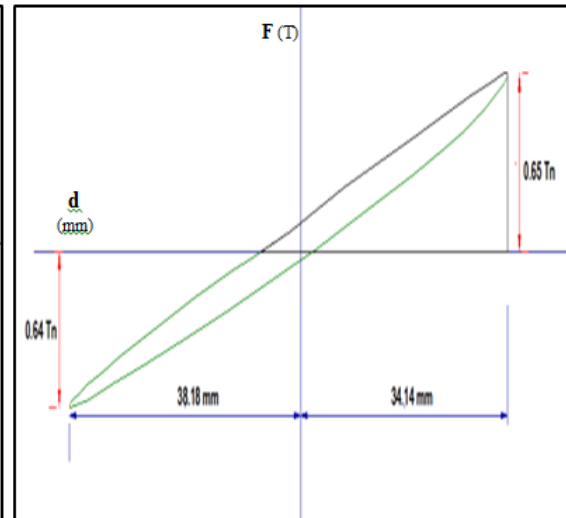
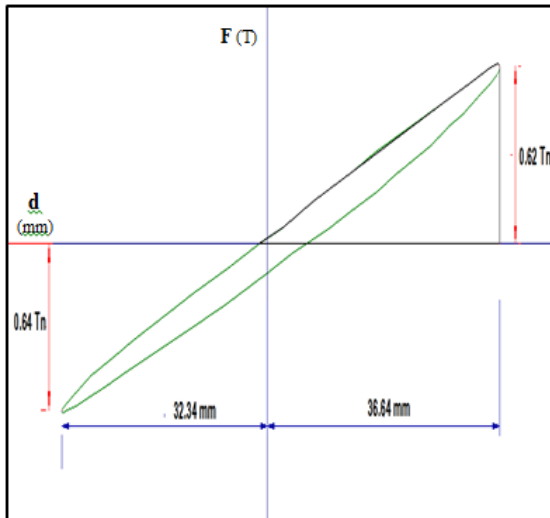
CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.051
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.57 t/m

CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)

CURVA CON 60% DEFORMACION (46 mm)

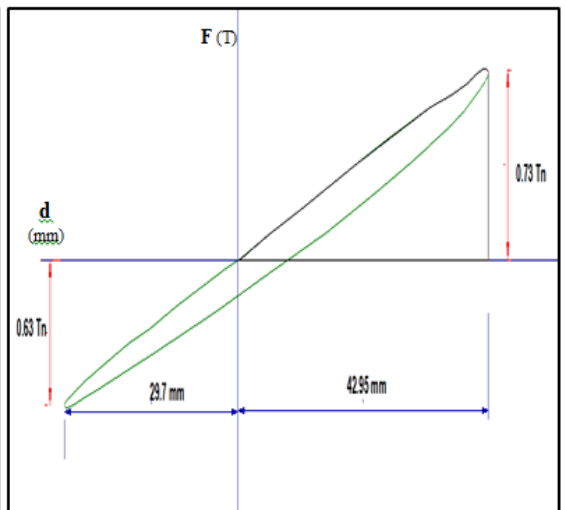
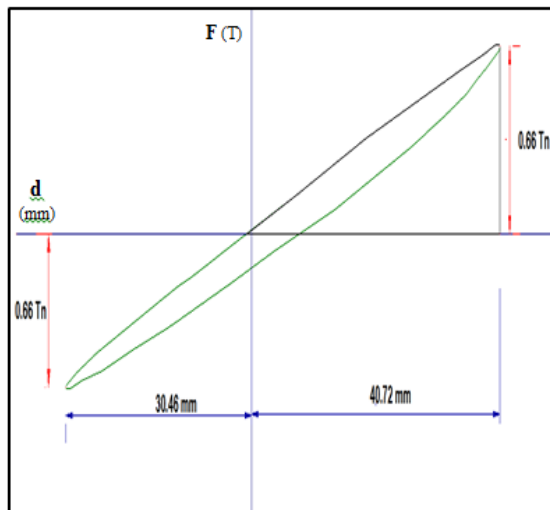


FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.049
RIGIDEZ EFECTIVA = 18.27 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.048
RIGIDEZ EFECTIVA = 17.84 t/m

CURVA CON 70% DEFORMACION (53mm)

CURVA CON 80% DEFORMACION (61 mm)

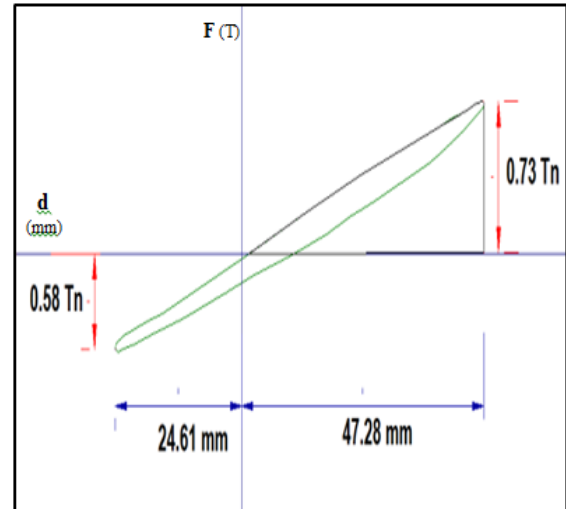
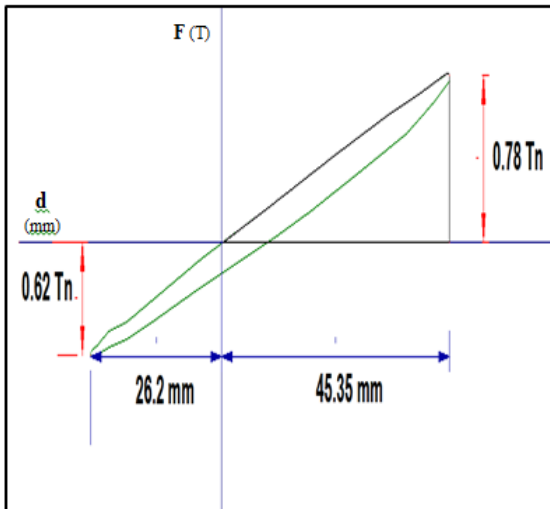


FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.047
RIGIDEZ EFECTIVA = 18.89 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.045
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.16 t/m

CURVA CON 90% DEFORMACION (69mm)

CURVA CON 100% DEFORMACION (76 mm)



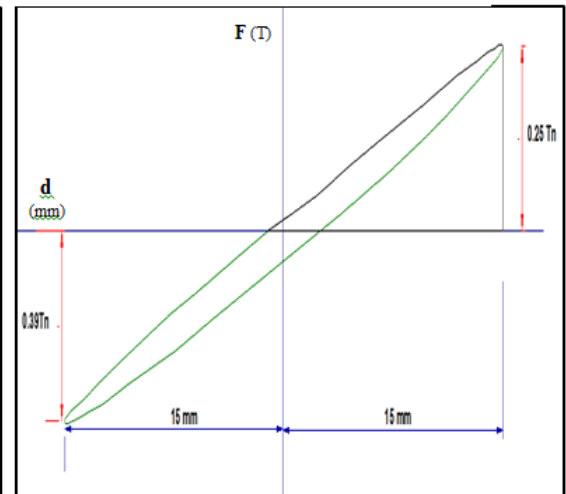
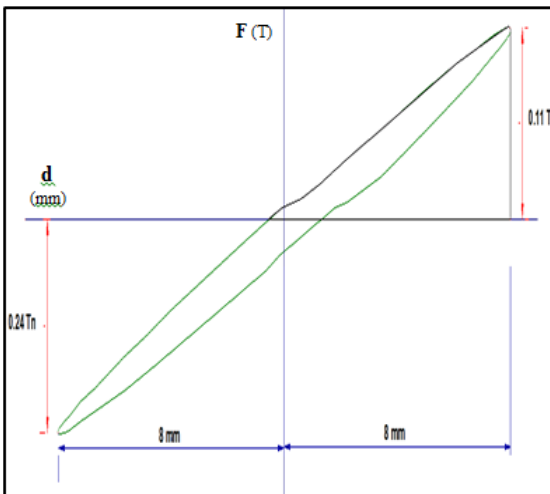
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.041
RIGIDEZ EFECTIVA = 20.49 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.04
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.51 t/m

REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.20$ Hz) PROTOTIPO CON RESORTE VULCANIZADO EN EL NUCLEO.

CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)

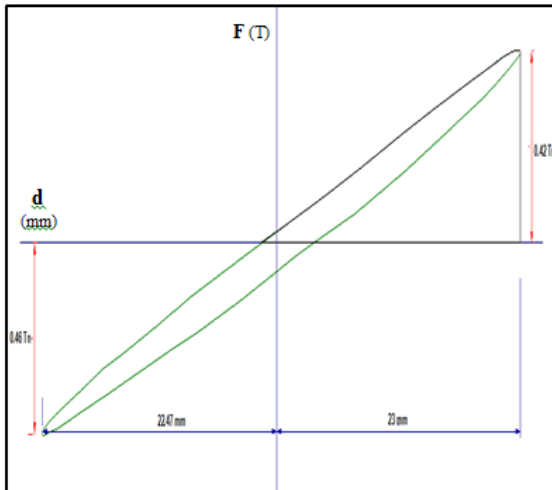
CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.056
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.98 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.053
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.35 t/m

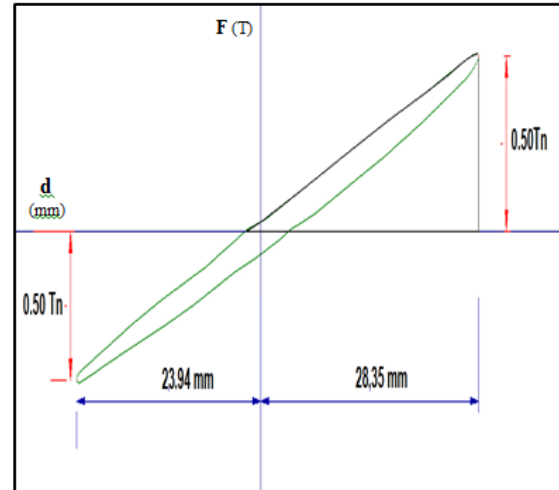
CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.049

RIGIDEZ EFECTIVA = 19.29 t/m

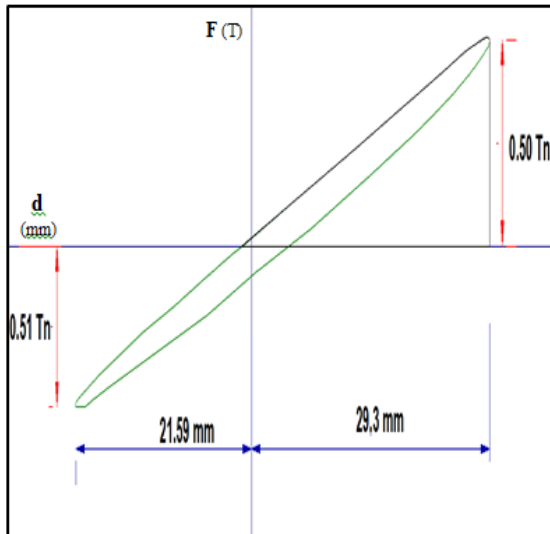
CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.042

RIGIDEZ EFECTIVA = 19.32 t/m

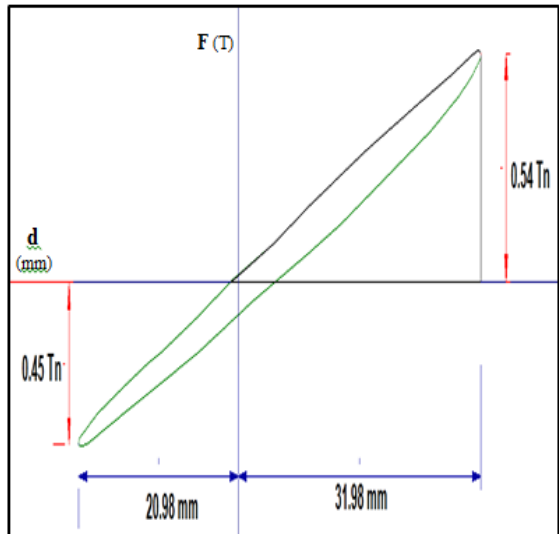
CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.042

RIGIDEZ EFECTIVA = 20.43 t/m

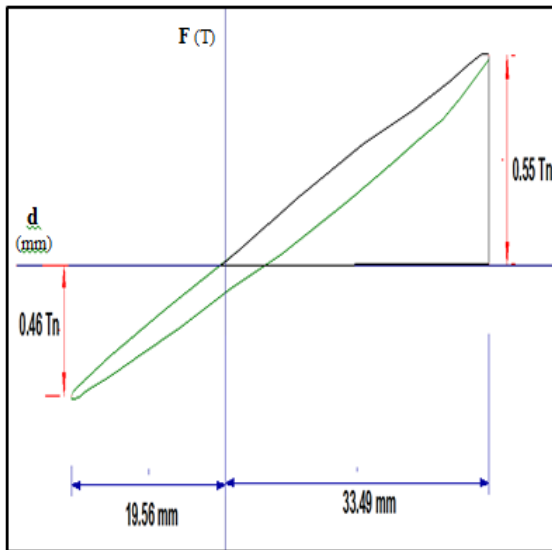
CURVA CON 60% DEFORMACION (46 mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.039

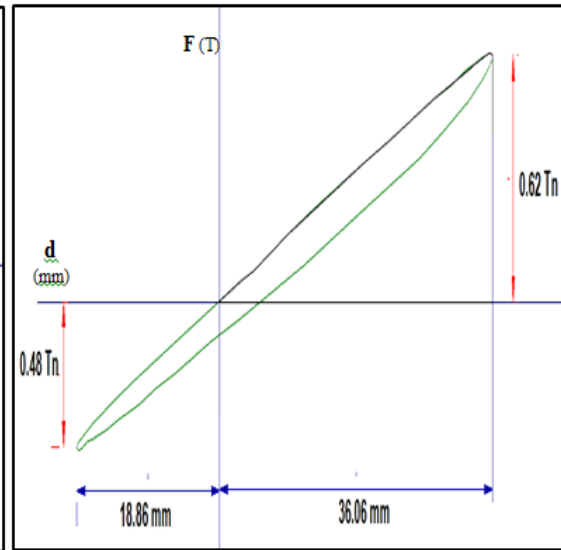
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.13 t/m

CURVA CON 70% DEFORMACION (53mm)



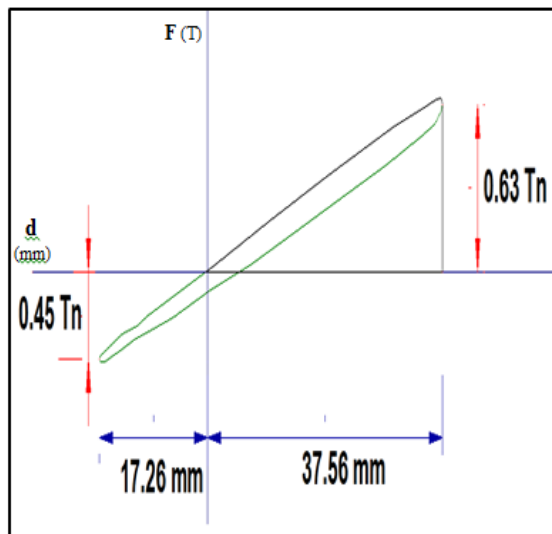
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.036
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.91 t/m

CURVA CON 80% DEFORMACION (61 mm)



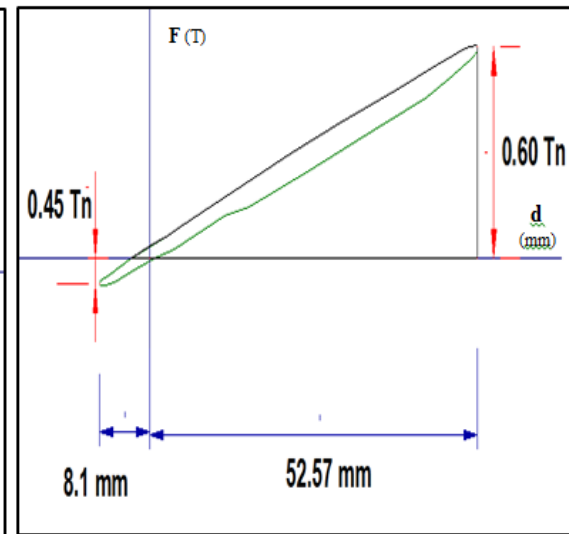
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.034
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.39 t/m

CURVA CON 90% DEFORMACION (69mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.032
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.47 t/m

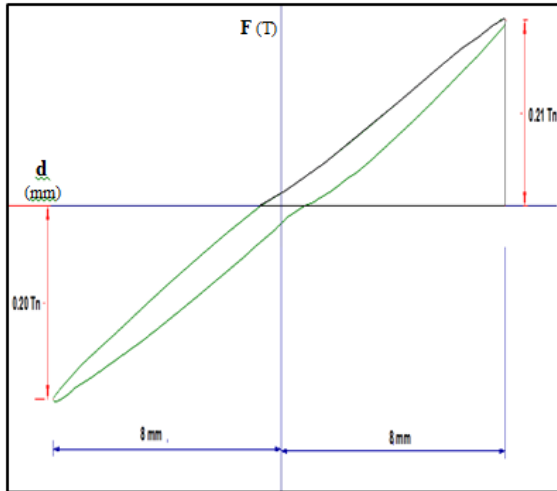
CURVA CON 100% DEFORMACION (76 mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.017
RIGIDEZ EFECTIVA = 33.29 t/m

REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.25$ Hz) PROTOTIPO CON RESORTE VULCANIZADO EN EL NUCLEO.

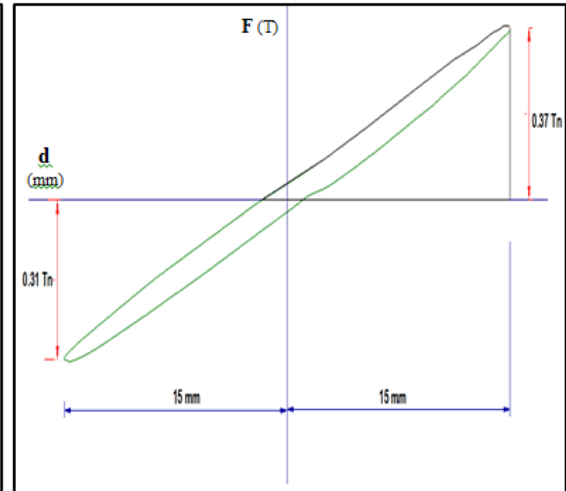
CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.047

RIGIDEZ EFECTIVA = 25.92 t/m

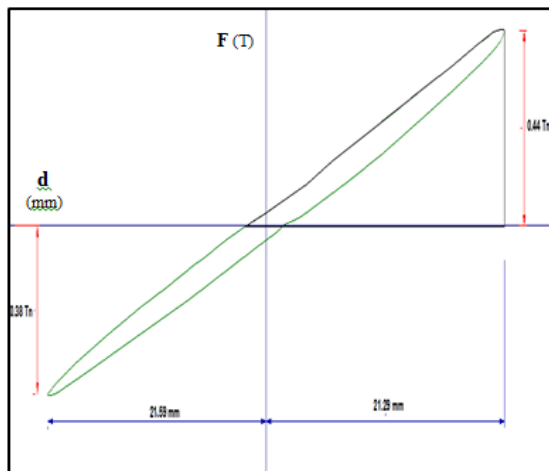
CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.043

RIGIDEZ EFECTIVA = 22.57 t/m

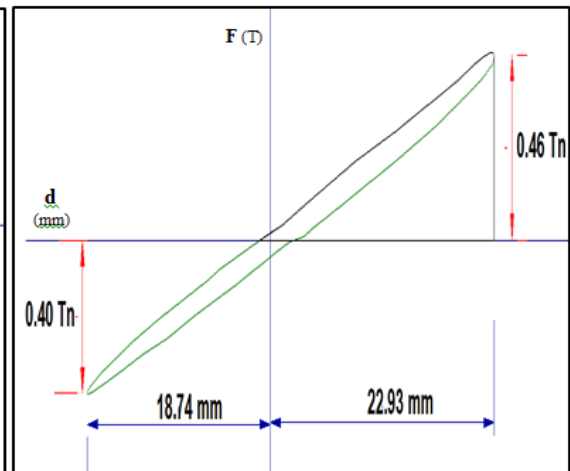
CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.037

RIGIDEZ EFECTIVA = 19.11 t/m

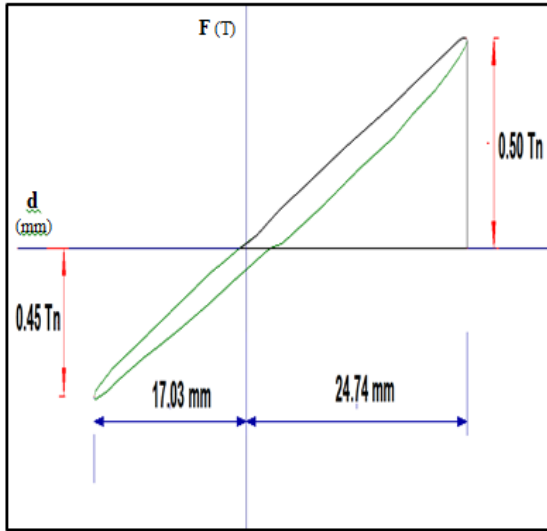
CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.037

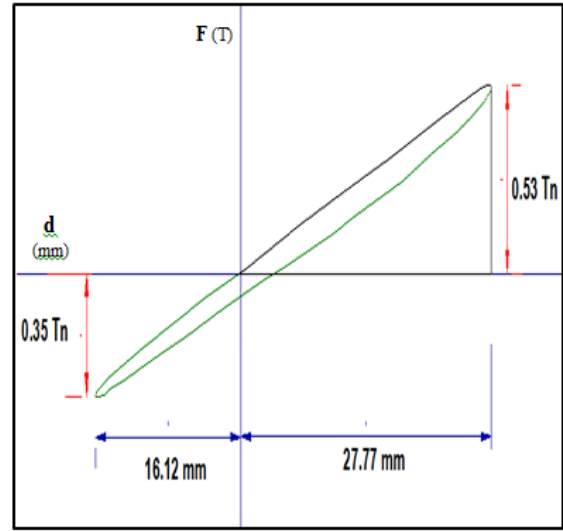
RIGIDEZ EFECTIVA = 20.6 t/m

CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)



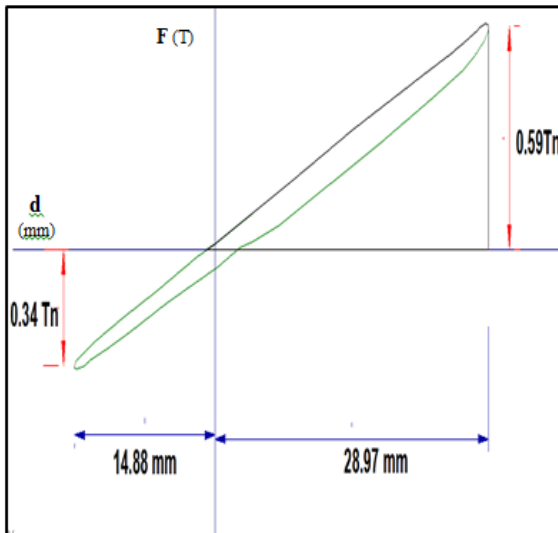
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.033
RIGIDEZ EFECTIVA = 23.18 t/m

CURVA CON 60% DEFORMACION (46 mm)



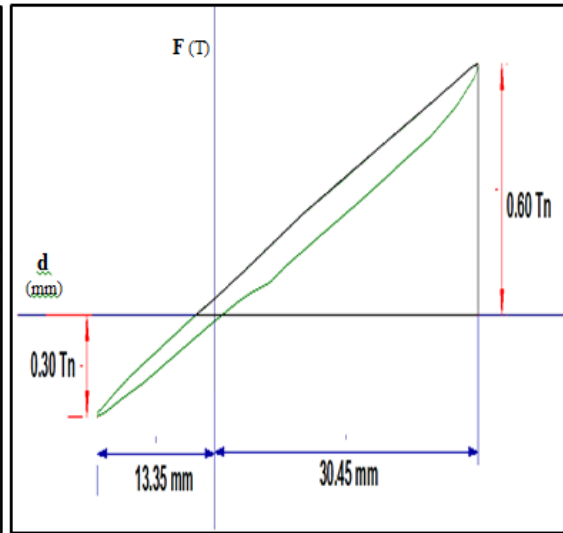
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.033
RIGIDEZ EFECTIVA = 20.29 t/m

CURVA CON 70% DEFORMACION (53mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.028
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.61 t/m

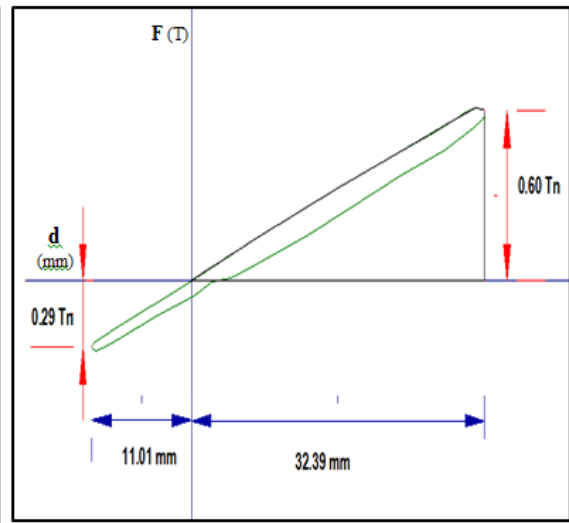
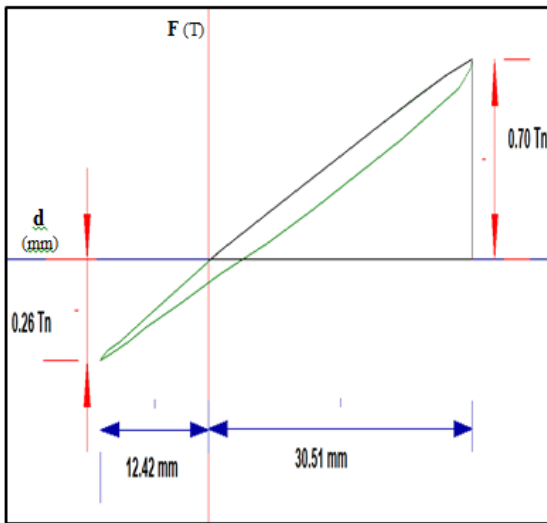
CURVA CON 80% DEFORMACION (61 mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.023
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.03 t/m

CURVA CON 90% DEFORMACION (69mm)

CURVA CON 100% DEFORMACION (76 mm)



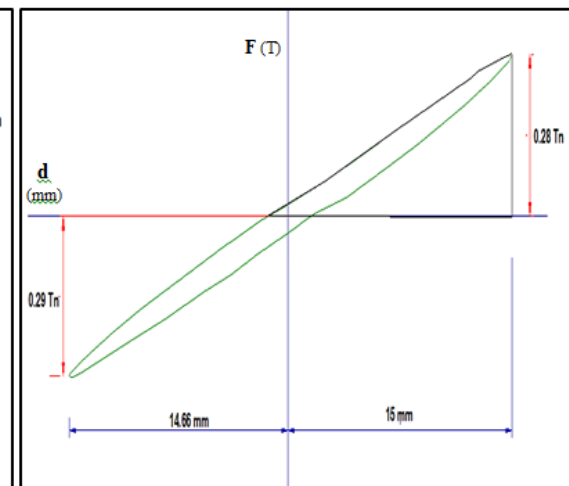
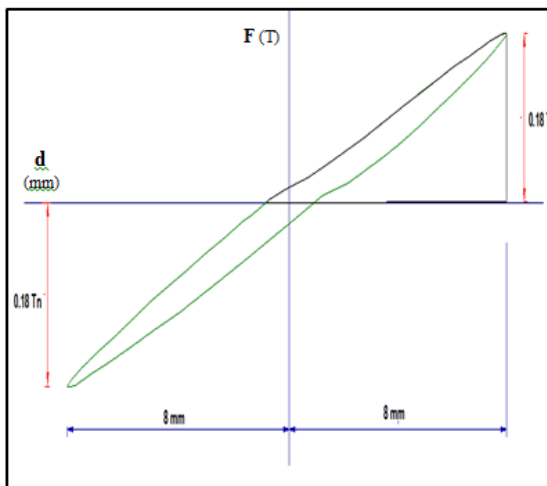
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.026
RIGIDEZ EFECTIVA = 22.01 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.024
RIGIDEZ EFECTIVA = 22.35 t/m

REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.30$ Hz) PROTOTIPO CON RESORTE VULCANIZADO EN EL NUCLEO.

CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)

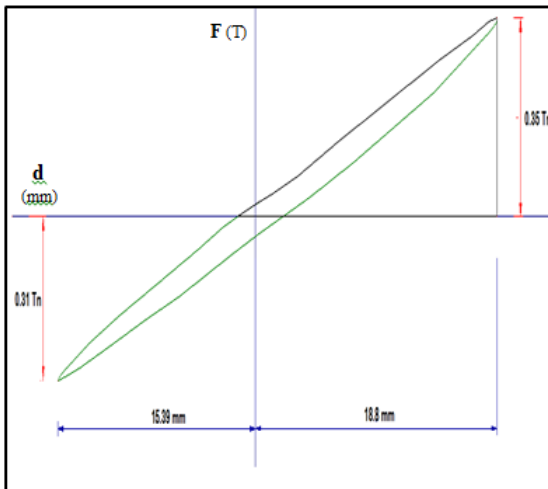
CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.051
RIGIDEZ EFECTIVA = 22.64 t/m

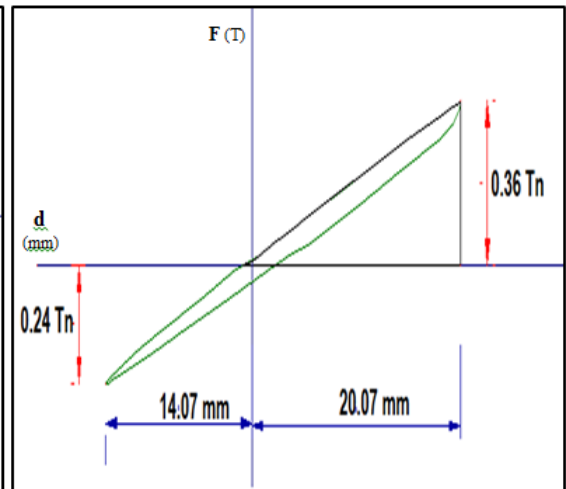
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.045
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.12 t/m

CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)



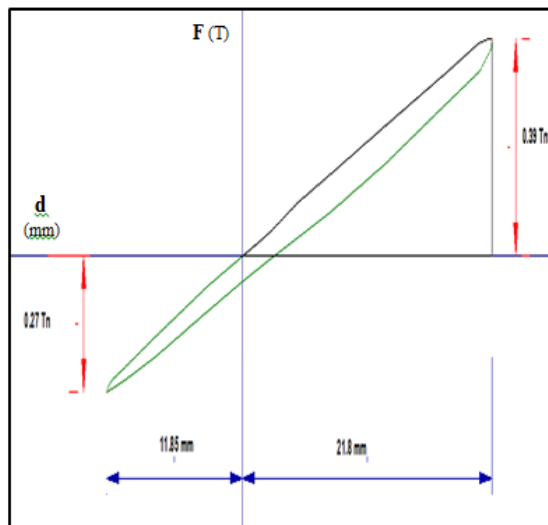
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.037
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.28 t/m

CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)



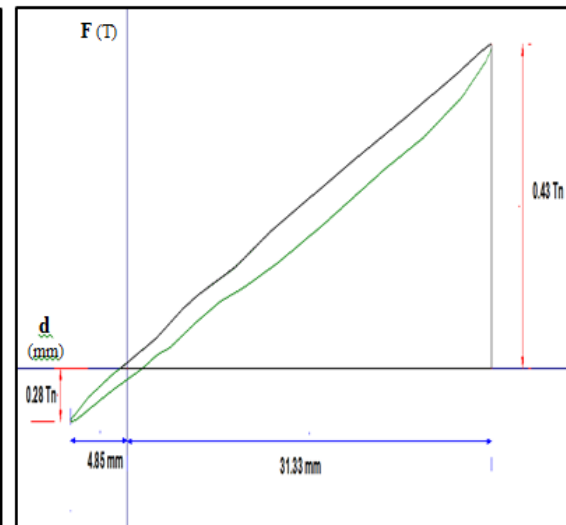
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.033
RIGIDEZ EFECTIVA = 17.61 t/m

CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.031
RIGIDEZ EFECTIVA = 20.21 t/m

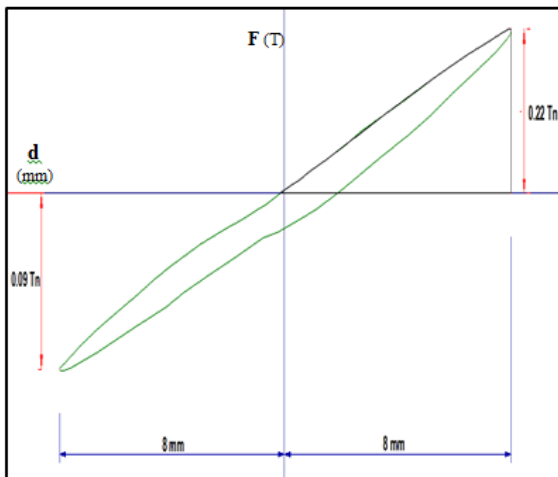
CURVA CON 60% DEFORMACION (46 mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.015
RIGIDEZ EFECTIVA = 35.47 t/m

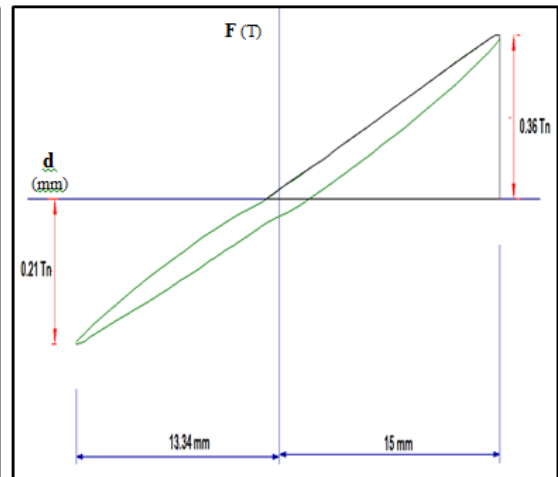
REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.35$ Hz) PROTOTIPO CON RESORTE VULCANIZADO EN EL NUCLEO.

CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)



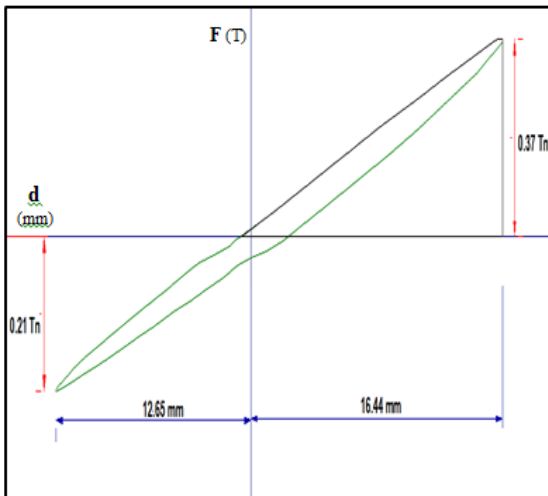
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.058
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.68 t/m

CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



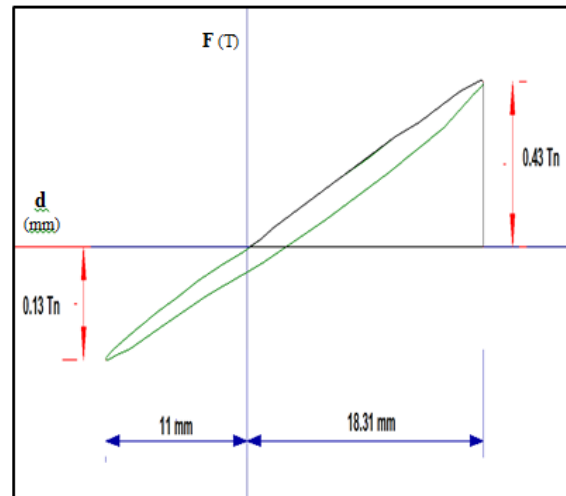
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.042
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.95 t/m

CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.036
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.48 t/m

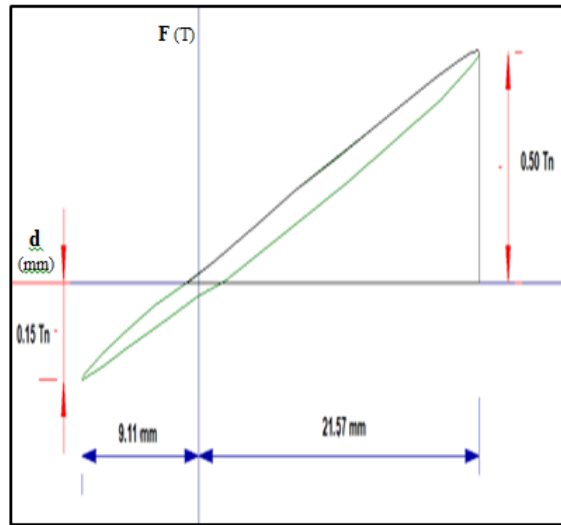
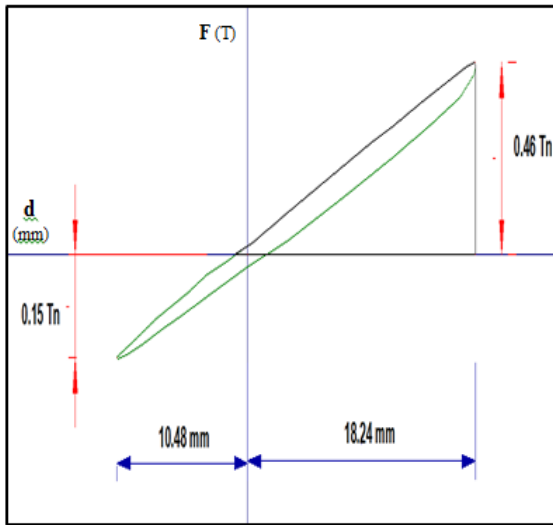
CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.033
RIGIDEZ EFECTIVA = 17.72 t/m

CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)

CURVA CON 60% DEFORMACION (46 mm)



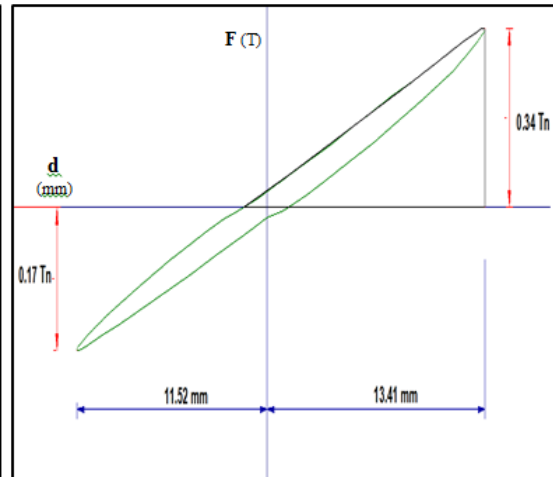
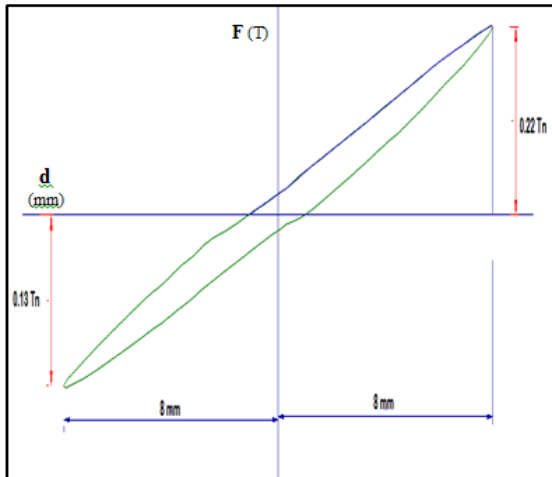
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.029
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.68 t/m

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.023
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.63 t/m

REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega = 0.40$ Hz) PROTOTIPO CON RESORTE VULCANIZADO EN EL NUCLEO.

CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)

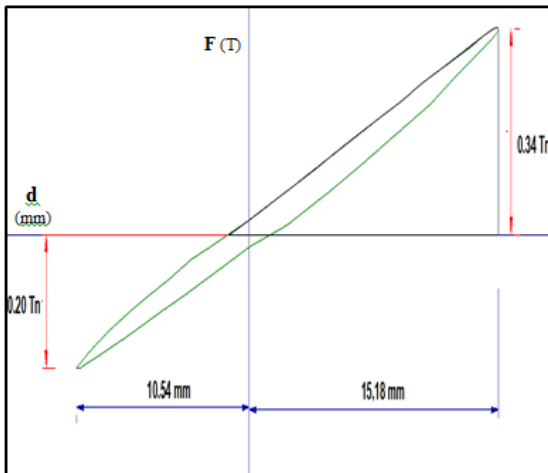
CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.049
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.33 t/m

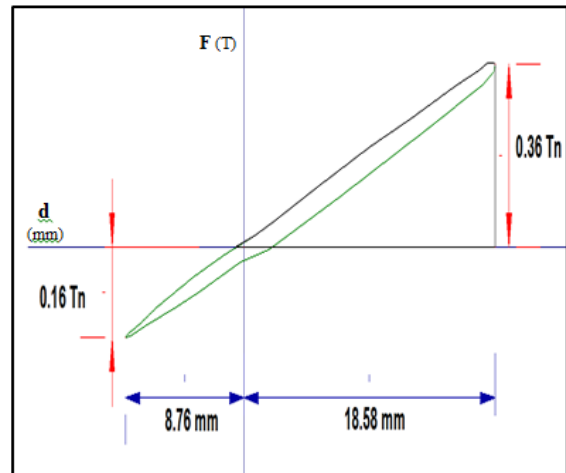
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.039
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.82 t/m

CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)



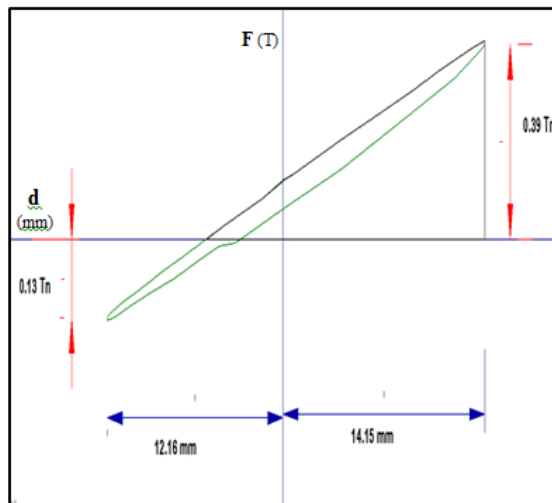
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.031
 RIGIDEZ EFECTIVA = 20.53 t/m

CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.024
 RIGIDEZ EFECTIVA = 18.89 t/m

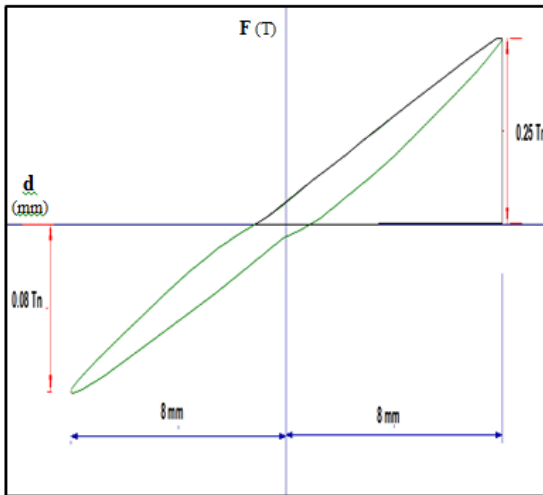
CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.022
 RIGIDEZ EFECTIVA = 18.91 t/m

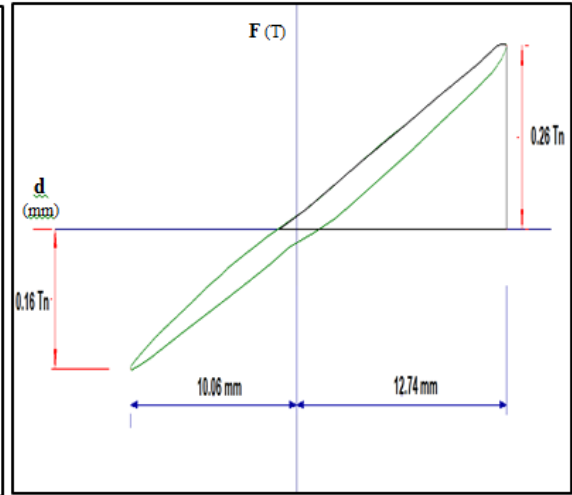
REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.45$ Hz) PROTOTIPO CON RESORTE VULCANIZADO EN EL NUCLEO.

CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)



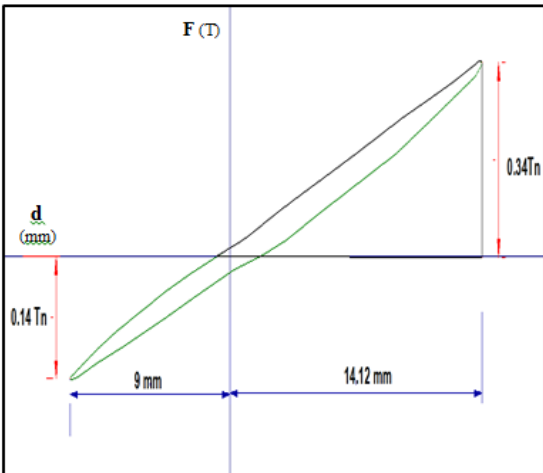
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.049
RIGIDEZ EFECTIVA = 20.67 t/m

CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



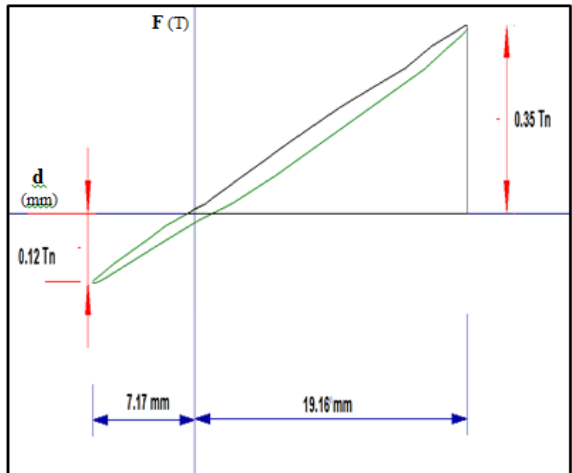
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.037
RIGIDEZ EFECTIVA = 18.39 t/m

CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)



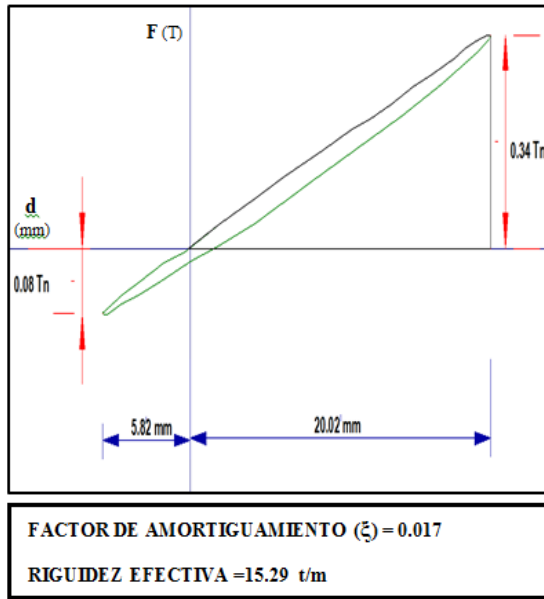
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.031
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.96 t/m

CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)



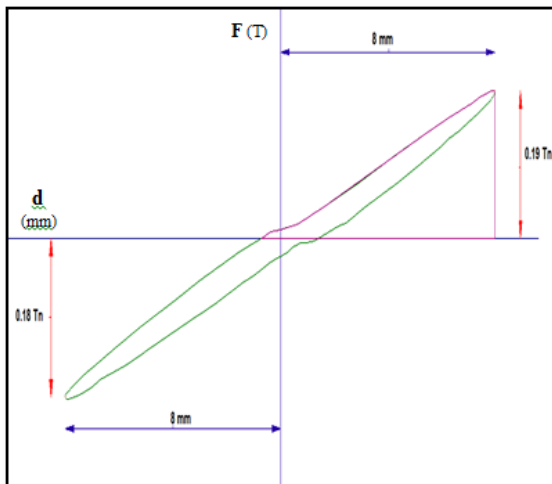
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.018
RIGIDEZ EFECTIVA = 17.46 t/m

CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)



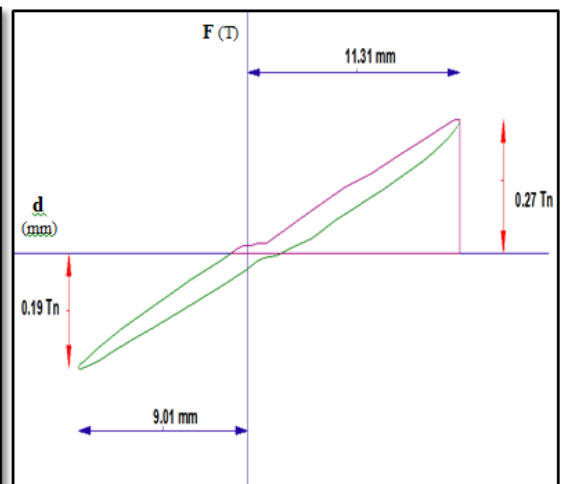
REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS ($\Omega = 0.50$ Hz) PROTOTIPO CON RESORTE VULCANIZADO EN EL NUCLEO.

CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.054
RIGIDEZ EFECTIVA = 23.29 t/m

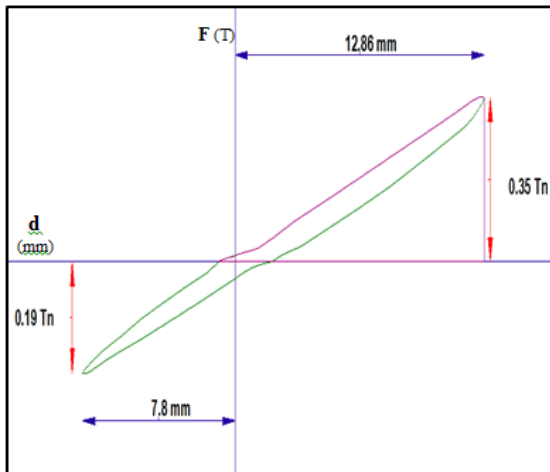
CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



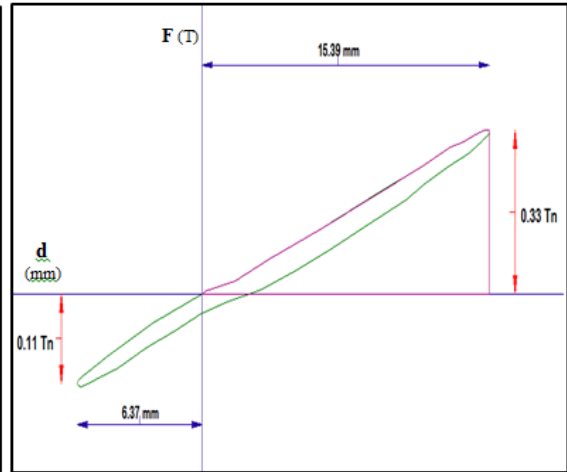
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.043
RIGIDEZ EFECTIVA = 22.85 t/m

CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)

CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)

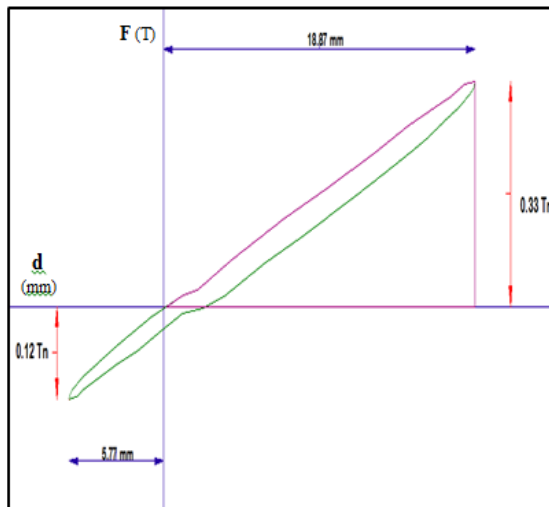


FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.035
RIGIDEZ EFECTIVA = 26.13 t/m



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.029
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.40 t/m

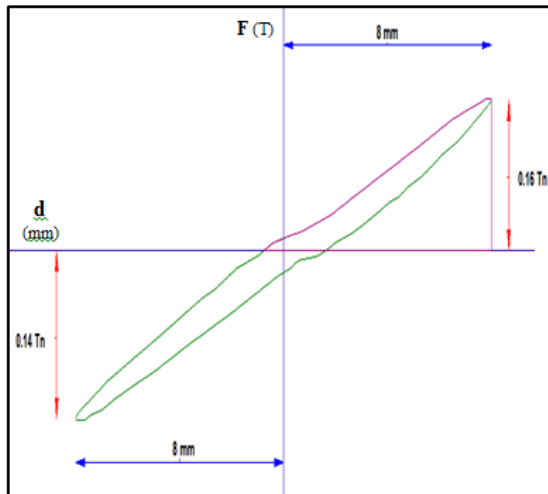
CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.022
RIGIDEZ EFECTIVA = 19.23 t/m

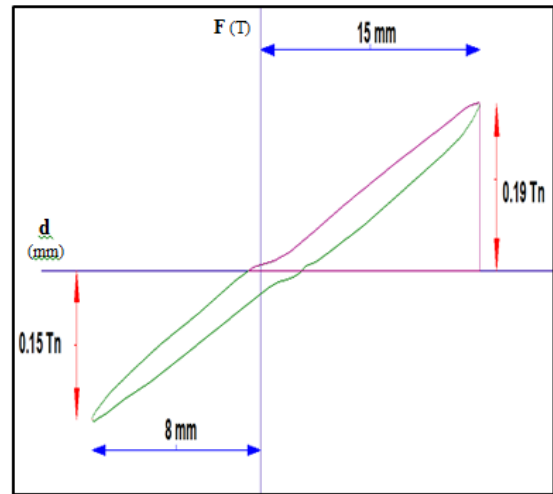
REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.55$ Hz) PROTOTIPO CON RESORTE VULCANIZADO EN EL NUCLEO.

CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)



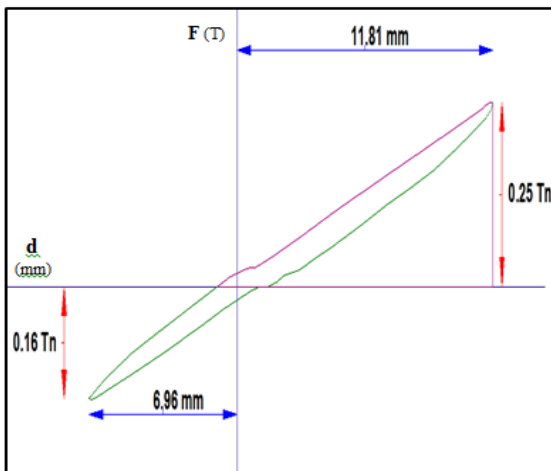
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.059
RIGIDEZ EFECTIVA = 18.7 t/m

CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)



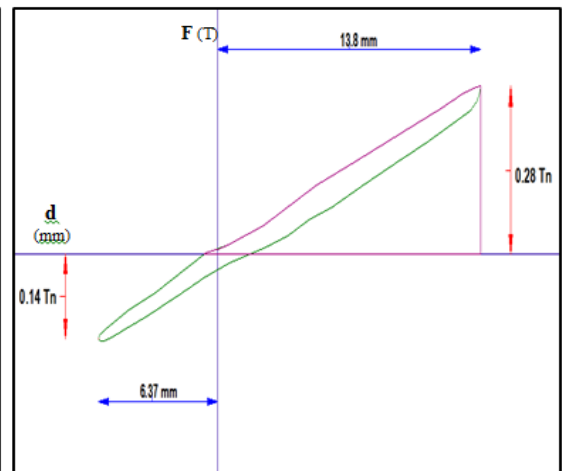
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.046
RIGIDEZ EFECTIVA = 15.49 t/m

CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)



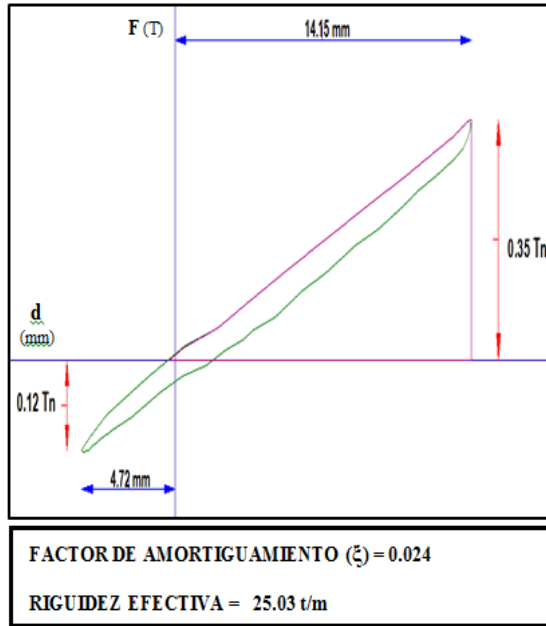
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.033
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.98 t/m

CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)



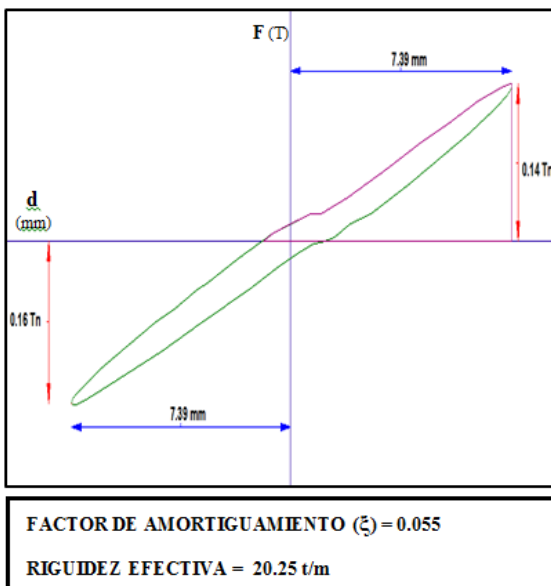
FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.031
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.34 t/m

CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)

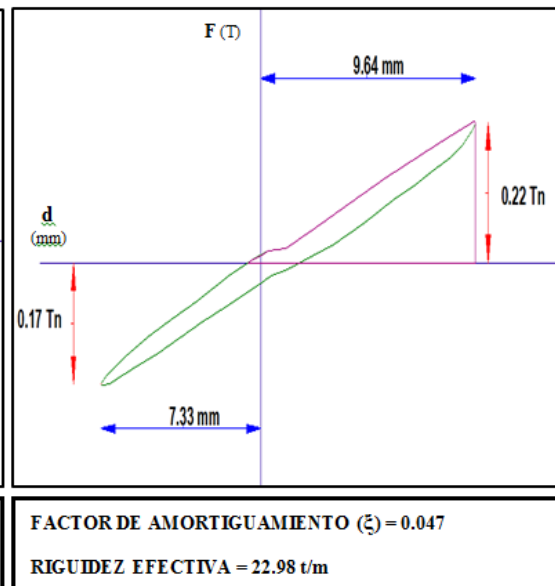


REPORTE DE CURVAS DE HISTERESIS CON FRECUENCIAS($\Omega= 0.60$ Hz) PROTOTIPO CON RESORTE VULCANIZADO EN EL NUCLEO.

CURVA CON 10% DEFORMACION (8mm)

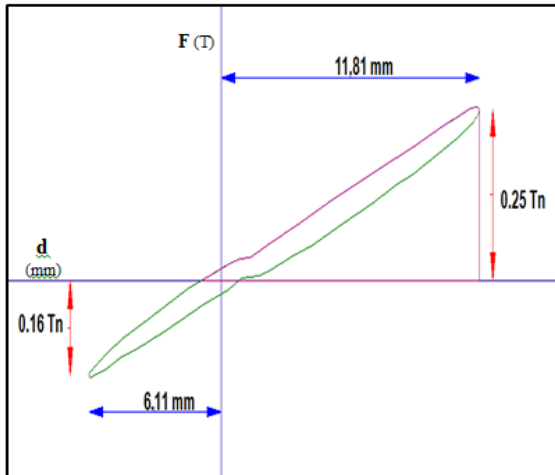


CURVA CON 20% DEFORMACION (15mm)

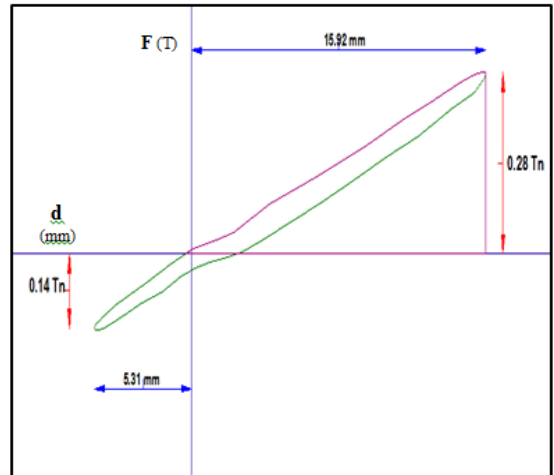


CURVA CON 30% DEFORMACION (23mm)

CURVA CON 40% DEFORMACION (30mm)

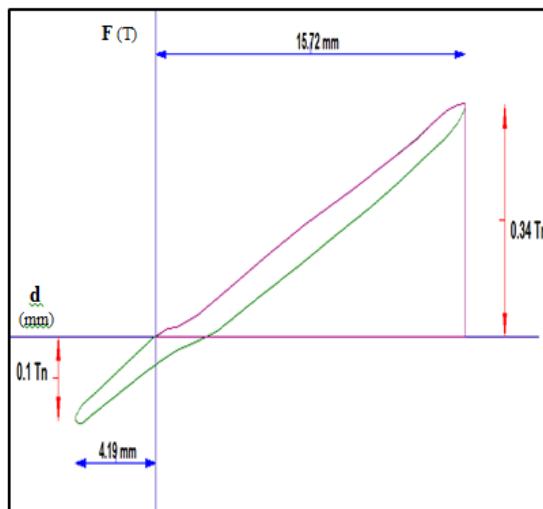


FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.032
RIGIDEZ EFECTIVA = 23.57 t/m



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.027
RIGIDEZ EFECTIVA = 22.25 t/m

CURVA CON 50% DEFORMACION (38mm)



FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO (ξ) = 0.025
RIGIDEZ EFECTIVA = 21.34 t/m

CAPÍTULO 8

EVALUACION DE LA RESPUESTA DINÁMICA DE UNA CASA DE UN PISO COLOCADA AISLADORES CON PERNO VULCANIZADO

8.1 GENERALIDADES:

En este capítulo se describe resultados del análisis y dinámico de una casa de un piso. En la figura 8.1 se presenta la vista en planta del edificio que se realizara el análisis sísmico, Se tomará para análisis del comportamiento dinámico el pórtico 2, del cual se obtienen las cargas actuantes en ese pórtico figura 8.2. Las columnas son de 25/25, las vigas son de 20/20, Además se da a notar que para colocación de los aisladores se debe construir una viga que conectara al aislador con la superestructura para crear un elemento rígido, y en la parte inferior del aislador va empotrada a la cimentación.

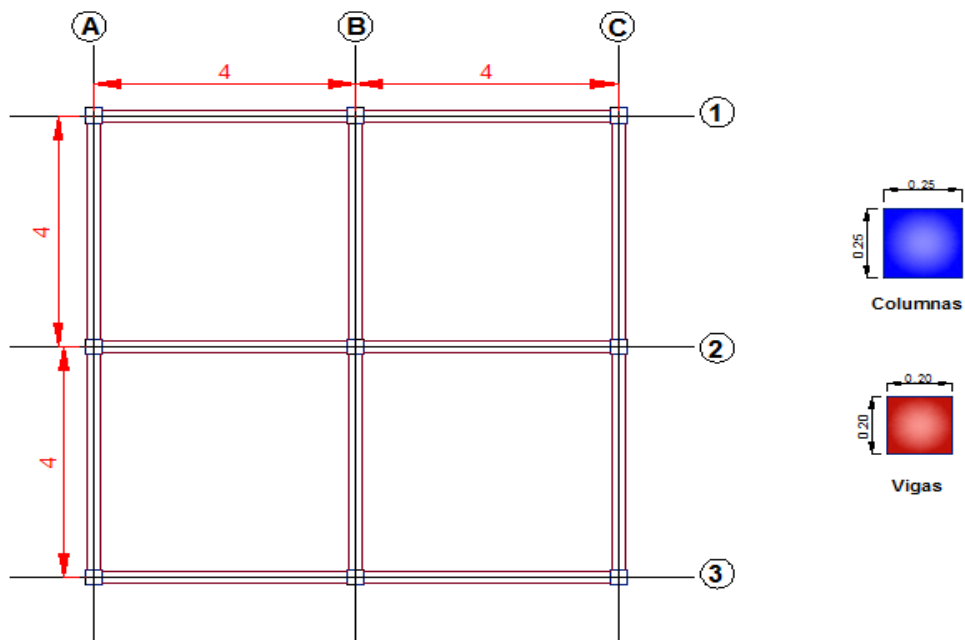


Fig. 8.1. Vista en planta Casa de un piso.

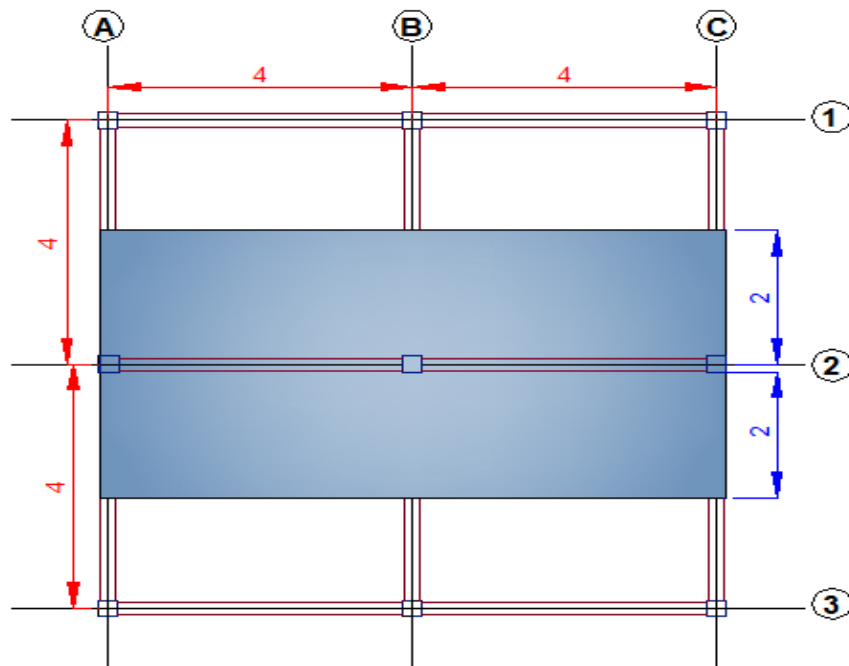


Fig. 8.2. Aporte de cargas al portico2

Una vez que ya hemos calculado las cargas actuantes en el p3rtico 2 como se puede observar en elevaci3n con las debidas cargas actuantes sobre ese p3rtico, que es el m3s cr3tico, Se detalla el modelo que planteamos para la colocaci3n de los aisladores elastom3ricos con perno macizo.

La cimentaci3n estar3 conectada directamente al aislador, mientras que la conexi3n de la superestructura con el aislador se lo hace a trav3s de una viga cuyas dimensiones ser3n de 20/20, esto es debido a que se debe dar una rigidez adecuada para un comportamiento eficiente antes las fuerzas s3smicas que afectaran a la estructura, esto podemos observar m3s detalladamente en la figura 8.3.

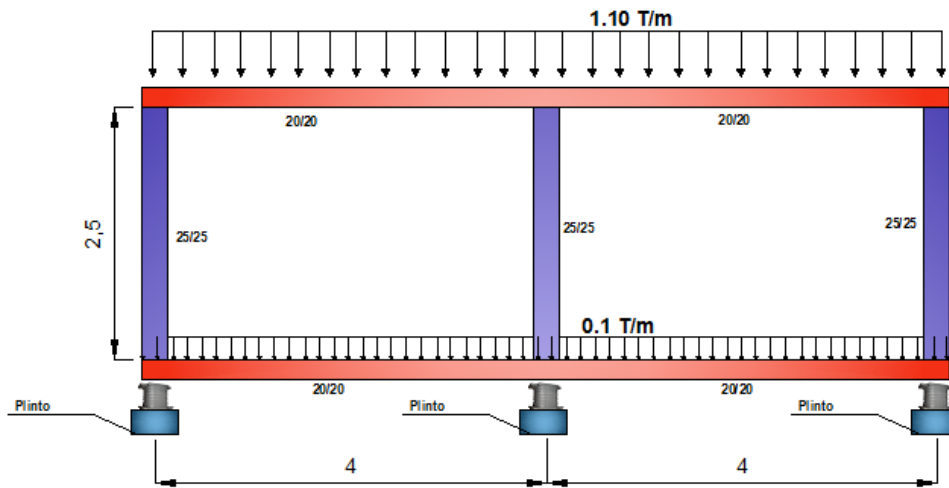


Fig. 8.3. Vista elevación pórtico 2 y detalle de conexiones de la superestructura y la cimentación con el aislador

Para empezar el análisis sísmico de la estructura planteada como ejemplo, se numera las coordenadas principales y secundarias del pórtico, la numeración de los elementos, como se observa en la figura 8.4 y figura 8.5

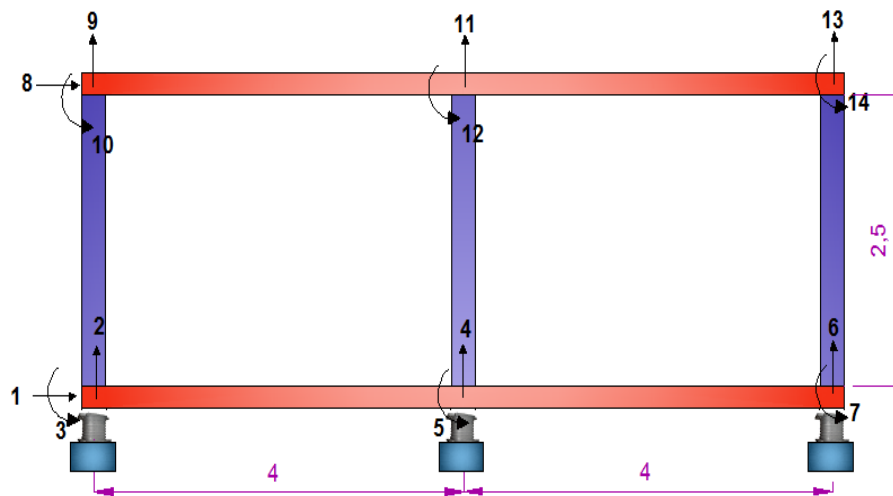


Fig. 8.4. Sistema de coordenadas del pórtico 2 con aisladores elastoméricos de perno macizo.

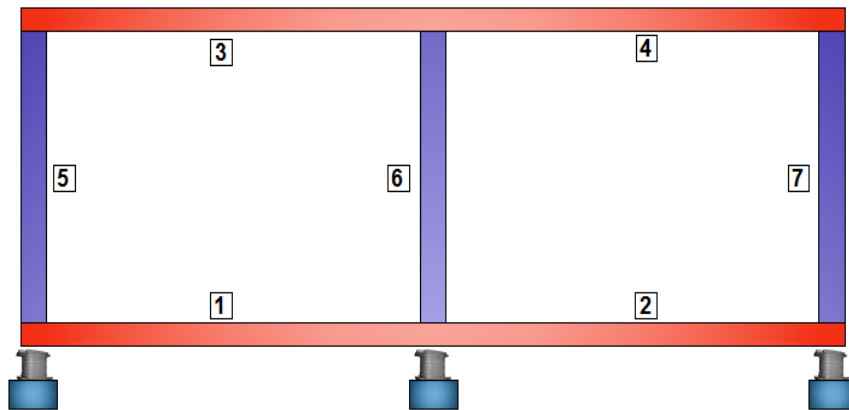


Fig. 8.5. Numeración de los elementos del pórtico 2.

Se calcula la matriz de rigidez del pórtico, matriz de masas, y amortiguamiento (Coordenadas principales). Para encontrar la matriz de masa \mathbf{M} se encontrara la masa en los nudos (figura 8.6) , los giros son muy bajos respecto a los desplazamientos horizontales, por esto se los considera como coordenadas secundarias pero como se está trabajando con todos los grados de libertad se considera la energía cinética de rotación que vale $J\dot{\theta}$ siendo J el momento de inercia de la masa que es igual a $J=mr^2$ donde r es el radio de giro que se considera igual a $r = L/20$.Nótese que los grados de libertad de las coordenadas principales se han notado como 1, para el desplazamiento horizontal del sistema de aislación y 8 para el desplazamiento horizontal del primer piso (Aguiar 2007-2008).

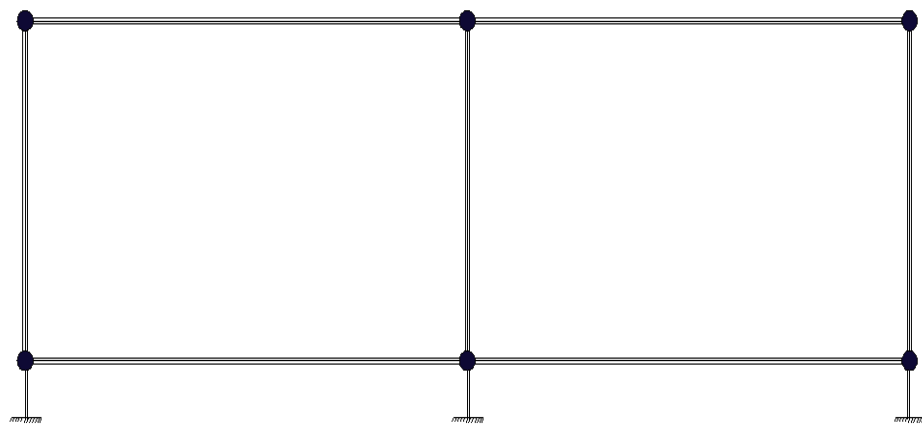


Fig. 8.6. Modelo de masas puntuales

Para el presente análisis se planteó un periodo objetivo de 2 seg ($T=2\text{seg}$), en el programa se ingresaran la rigidez efectiva (K_h) a una deformación del 50% y un factor de amortiguamiento (ξ) igualmente para una deformación del 50%, estos datos fueron obtenidos en los ensayos del prototipo aislador elastomérico con perno macizo.

En la figura 8.7 representa los resultados del factor de amortiguamiento (ξ) Vs Porcentaje de deformación (δ_f) de los ensayos realizados al prototipo con perno macizo, igualmente en la figura 8.8 está representada la curva de rigidez (K_H) Vs porcentaje de deformación (δ_f).

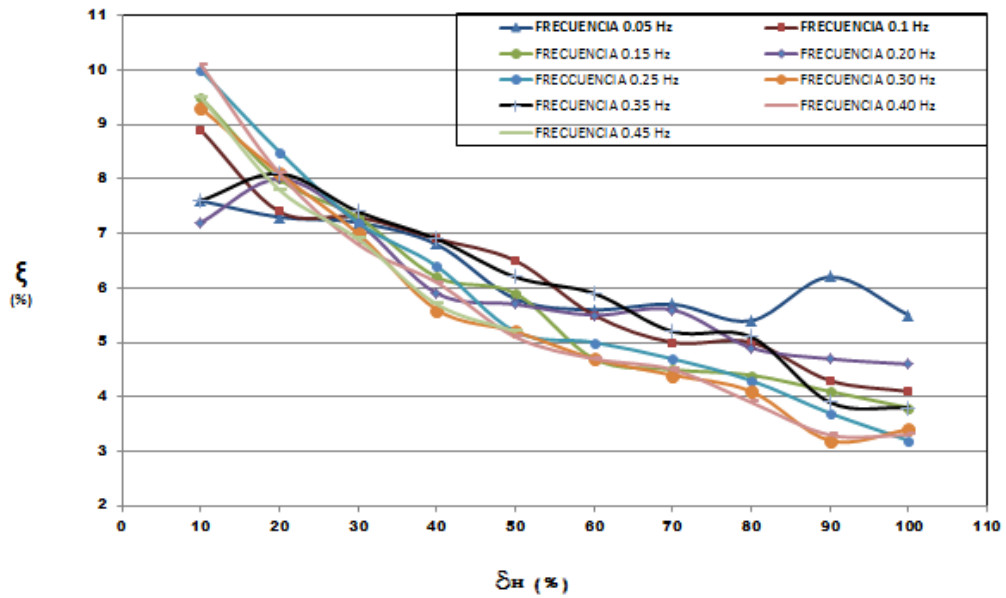


Fig. 8.7. Curva Amortiguamiento Vs porcentaje de deformación

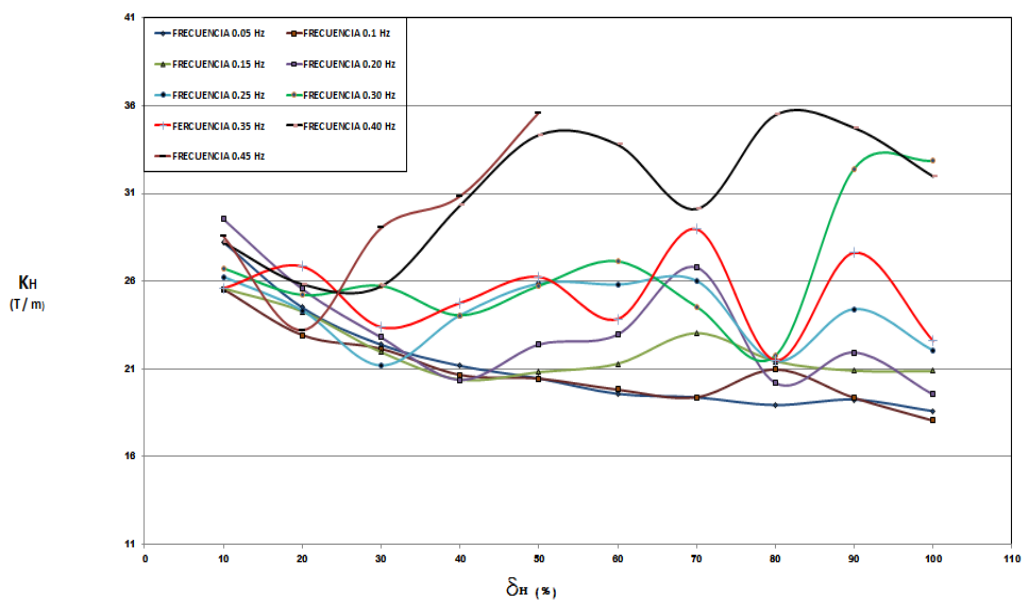


Fig. 8.8. Curva rigidez Vs porcentaje de deformación

Tabla. 8.1. Rigidez efectiva y Amortiguamiento utilizados en el cálculo

DATOS A DEFORMACION DEL 50%	
Kh (T/m)	ξ (%)
22.38	6

8.2 RESULTADOS OBTENIDOS:

La característica básica del aislamiento sísmico es la reducción de fuerzas sísmicas mediante un incremento de la capacidad de disipación de energía y del periodo fundamental, logrando reducir la aceleración de la superestructura¹⁴.

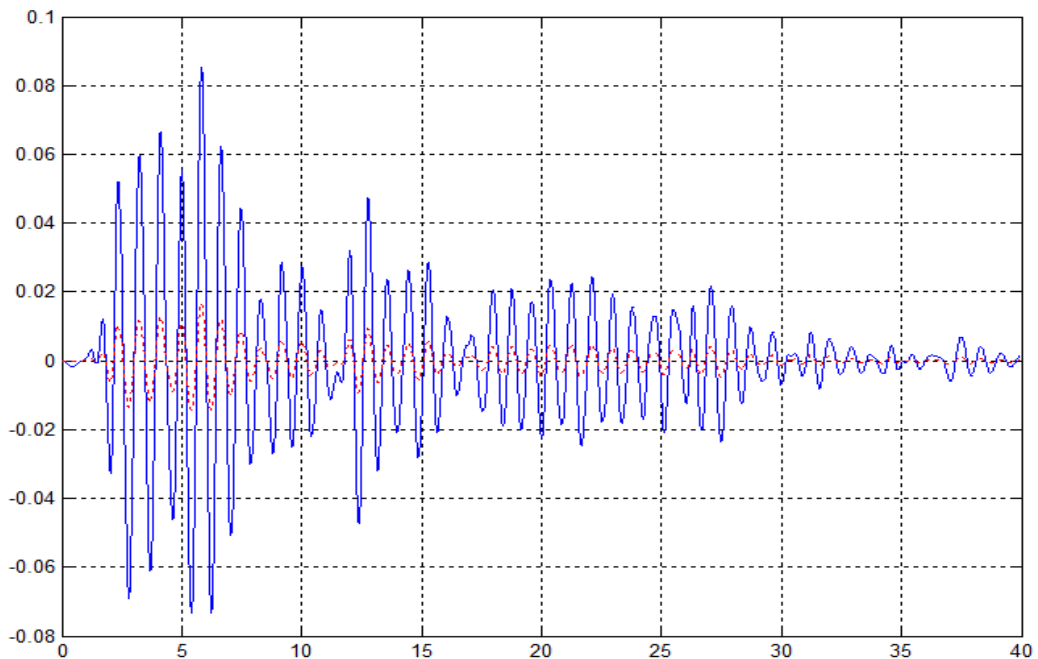


Fig. 8.9. Desplazamiento absoluto del aislador y desplazamiento absoluto de la superestructura.

¹⁴(Skinner, Robinson y McVerry, 1993, Buckle y Mayes, 1992).

En la Figura 8.9 se observa claramente los desplazamientos absolutos de la superestructura, y del aislador. El desplazamiento máximo absoluto de la superestructura es de $0,016\text{ m} = 1,6\text{ cm}$, y del aislador es de $0,083\text{ m} = 8,3\text{ cm}$.

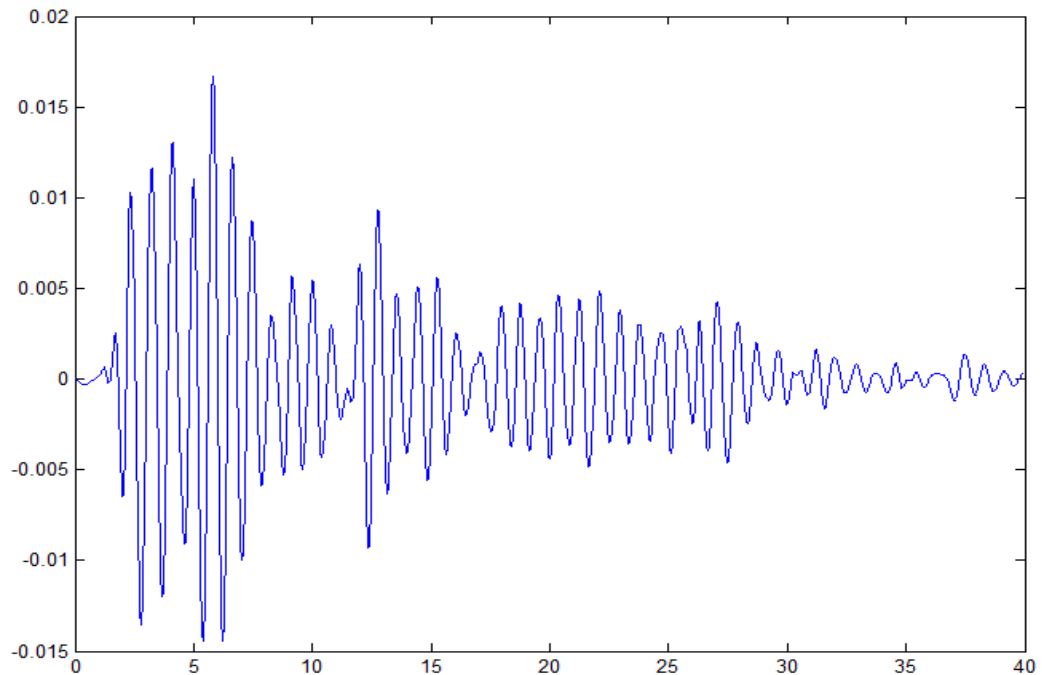


Fig. 810. Desplazamiento relativo de la superestructura.

El incremento del periodo natural, provoca la disminución de la respuesta de aceleración y un aumento del desplazamiento de la superestructura. Consecuentemente debido a la disminución de energía, se produce un incremento de amortiguamiento.

Con los resultados obtenidos en el corrimiento del programa Aisladores (CEINCILAB), se obtiene las fuerzas cortantes, axiales y momentos de la superestructura ante acción sísmica (figura 8.11). Con los cuales se realiza el diseño de armado para vigas y columnas de la casa.

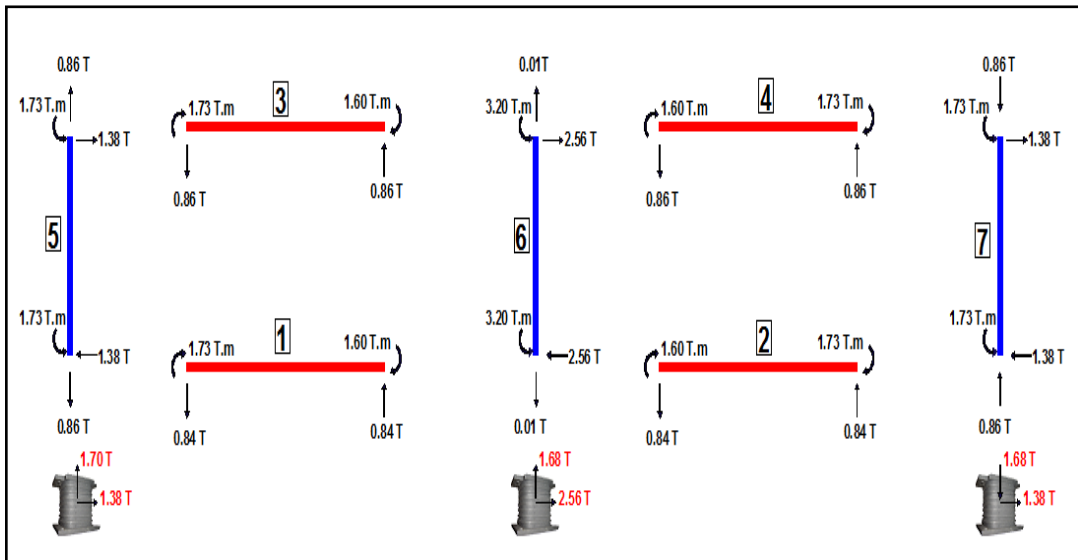


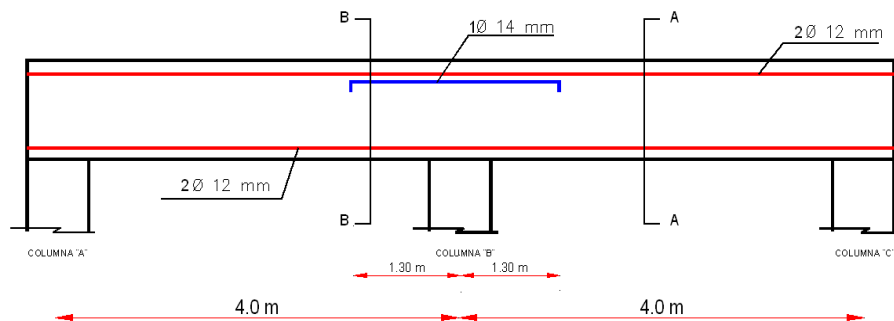
Fig.8.11. Fuerzas y Momentos en elementos debido a Sismo.

Estas fuerzas actuantes en la superestructura son solamente debido a sismo, hay que recordar que el sismo que se cargó para correr el programa Aisladores (CEINCILAB) fue el sismo del centro, con una aceleración máxima de 8gals.

8.3 ARMADO DE ELEMENTOS VIGAS Y COLUMNAS

La armadura analizada y requerida para los elementos estructurales de la casa se detalla a continuación:

- ARMADO DE VIGA NIVEL +2.25.



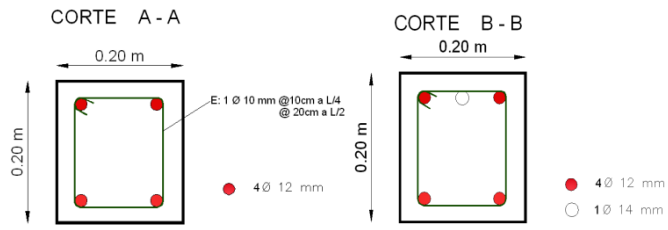


Fig.8.12. Esquema de armado viga N+ 2.25

- **ARMADO DE VIGA NIVEL + 0.15.**

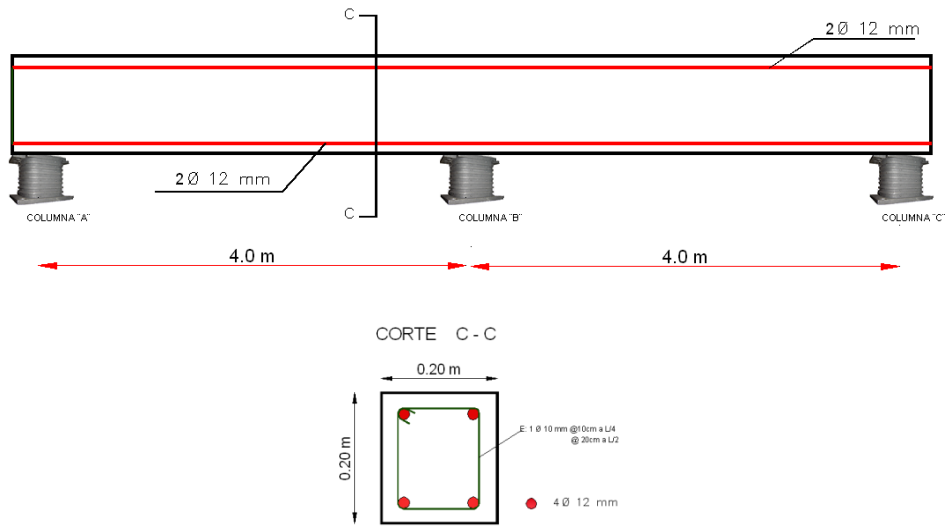
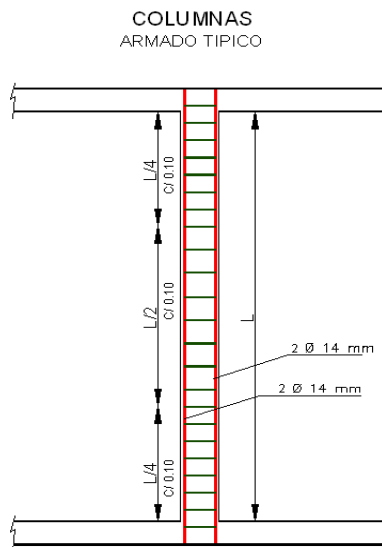


Fig.8.13. Esquema de armado viga N+ 0.15

- **ARMADO DE COLUMNAS.**



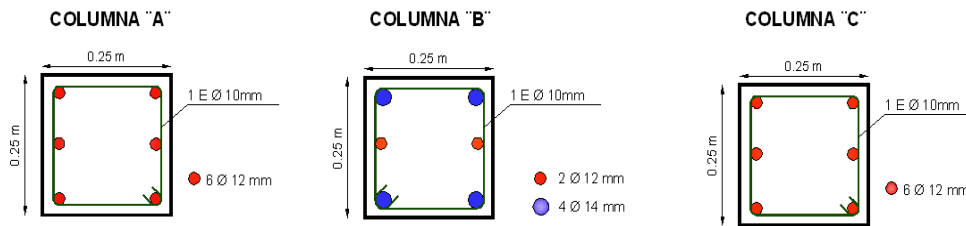


Fig.8.14. Esquema de armado Columnas

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado tres prototipos de aisladores elastoméricos, construidos con neopreno de buenas características y con una dureza shore 65 ± 5 , el mismo que fue elaborado 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, perno macizo vulcanizado y resorte, con esto se pretendió simular un amortiguamiento semejante o mejor que los aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo.

Los ensayos realizados tuvieron un cierto grado de error, al momento de analizar los datos obtenidos de la máquina de ensayos universales, Ya que la máquina no es la adecuada para este tipo de ensayos, es por ello que por cumplir las frecuencias programadas no cumple con los desplazamientos requeridos para los ensayos. Pues de todas maneras se dio como válidos los resultados que arrojaron los ensayos con frecuencias hasta 0.45Ω , y desplazamientos de hasta 60% de deformación.

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 (ξ) de 6%.

Como un aporte a este trabajo se realizó el análisis de una casa de un piso, simulando el sismo del centro y con uso del prototipo de aislador elastomérico con perno macizo vulcanizado, de dicho análisis se observó un comportamiento eficiente del aislador, tal como se detalla en el anexo "A".

9.2 RECOMENDACIONES

- En el Ecuador no se posee máquinas adecuadas para este tipo de ensayos, es por ello que para tener una mejor visión del comportamiento de estos aisladores se debería analizar un aislador con dimensiones reales en países que sí poseen estas máquinas, y comparar resultados con los que se obtienen en Chile (Vulco).
- El vulcanizado y adherencia entre caucho y acero es un factor primordial para estos tipos de aisladores, por ello sería eficiente un análisis exhaustivo y profundo en lo que se refiere a la adhesión caucho acero.
- Realizar futuros estudios en los que consten varios tipos de aisladores sísmicos para comprobar la eficiencia desarrollada, con el fin de obtener una información comparativa y sacar conclusiones más exactas.

REFERENCIAS

- Aguiar R., Almazán J. L., Dechent P., Suárez V., (2008), Aisladores de base elastoméricos y FPS, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 292 p., Quito.
- Tornello M. E., Sarrazin A. M., Desarrollo e implementación de un sistema de aislación sísmica de base para el edificio de la residencia universitaria de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras. Edit. Barbat A., Aguiar Falconi R., Escuela Politécnica del Ejército. Ecuador. Vol. 9 Nº 1. pp. 71-91. ISSN 1390-0315, 2004.
- JIMENEZ M. Análisis Experimental de un Disipador de Energía Viscoelástico. Tesis Ing. Civil. Sangolquí. Escuela Politécnica del Ejército. Facultad de Ingeniería Civil. 2007.134 p.
- Araya, M., (1994), "Desarrollo y fabricación de aisladores sísmicos para Edificio Habitacional", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.
- Bozzo, L., (1996), "Análisis de edificios con sistemas de aislamiento de base", Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, Vol. 1, Nº1, pp. 17-38.
- CRAWLER S., DILLON R. Estructuras de Acero, Análisis y Diseño. México. Grupo Noriega Editores. 1992. pp. 383 - 429
- GUTIERREZ G., REYES J. C. Metodología simplificada para el Análisis Dinámico no Lineal de edificios con amortiguadores viscosos. Colombia. Universidad de los Andes. 2004.
- OVIEDO J. A., DUQUE M. P. Sistemas de Control de Respuesta Sísmica en Edificaciones. Colombia. Escuela de Ingeniería de Antioquia. 2006.
- Standard ASCE / SEI 7 – 05. ASCE. 2005
- INEN. Peligro sísmico, Espectros de diseño y Requisitos mínimos de cálculo para diseño sismo-resistente. Ecuador. Código Ecuatoriano de la Construcción. 2002.

- Read HH, Watson Janet (1975). Introduction to Geology. New York: Halsted. pp. 13-15.
- Murphy, J.B.; Gutiérrez, G.; Nance, R.D.; Fernández, J.; Keppie, J.D.; Quesada, C.; Strachan, R.A. y Doatal, J. (2008): Rotura de las placas tectónicas. Investigación y Ciencia, 380[mayo]: 31-41
- www.monroe.com, Amortiguadores telescópico hidráulicos para automóviles.
- http://es.wikipedia.org/wiki/Tect%C3%B3nica_de_placas
- www.vibrationdata.com, Datos de acelerogramas sismo "El Centro".
- www.gueandpartners.com.my, Ingeniería Sísmica.