

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

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, mejorar el periodo fundamental de la estructura.

La disipación de la energía se logra a través de la instalación de elementos adicionales a la estructura como, por ejemplo, los amortiguadores.

En este caso de estudio, se utiliza un amortiguador de tipo telescópico hidráulico, muy inusual en el medio, tanto a nivel nacional como regional; sin embargo, utilizados en países desarrollados, principalmente en aplicaciones como rascacielos.

Un amortiguador o disipador telescópico hidráulico, también llamado de fluido viscoso, es un dispositivo que disipa energía reaccionando con una fuerza resistiva a un desplazamiento determinado. La fuerza de salida del disipador actúa en la dirección opuesta al movimiento de entrada.

El disipador se comporta de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos, y esto determina que el valor de la fuerza resistiva varíe con respecto a su velocidad traslacional y a su fluido de trabajo. La disipación de la energía se produce a través de la deformación de los elementos de la estructura.

En el presente proyecto, el objetivo principal es de conseguir la mayor cantidad de absorción de energía, a partir de la deformación del amortiguador tipo telescópico hidráulico y del aumento de la resistencia a través de un incremento en el coeficiente de amortiguamiento del mismo.

Se llegará al objetivo planteado y a otros que se detallan en los capítulos siguientes, trabajando en las variables que se manejan dentro de este tipo de

amortiguadores. Además se determinara que tipo de fluido, disponible en el mercado local es el más conveniente para esta aplicación.

1.2 ANTECEDENTES

En el mercado ecuatoriano, no se encuentra una línea de producción de amortiguadores de tipo telescópico hidráulico, y no se dispone con facilidad de estos elementos dentro del mercado nacional en el sector de la construcción civil, es por esto que surge la inquietud de diseñar y construir, para verificar una factibilidad de producir este tipo de disipadores.

La construcción de un disipador de energía sísmica, a partir de un amortiguador telescópico para automóviles, amerita la realización de varias modificaciones, trabajando con variables constructivas y funcionales.

Con el precedente de un estudio realizado en la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Escuela Politécnica del Ejército¹, cuyo objetivo planteado consiste en determinar, mediante análisis y simulación, el comportamiento mecánico de un amortiguador telescópico hidráulico sin ninguna modificación, como elemento de un pórtico sometido a cargas sísmicas. Las características del amortiguador no fueron las adecuadas y por tal razón no cumplen con los requerimientos mínimos para desempeñarse como un disipador de cargas sísmicas.

Este proyecto tenía como objetivo: Determinar, mediante análisis y simulación, el comportamiento mecánico de un amortiguador telescópico hidráulico sin ninguna modificación como elemento de un pórtico sometido a cargas sísmicas, en el cual se realizó lo siguiente:

- Se analizó desde un punto de vista mecánico el comportamiento de amortiguadores telescópico hidráulico como elementos controladores de energía.

¹SALAZAR, D, CALERO, D. "Análisis y simulación del comportamiento mecánico de un amortiguador telescópico hidráulico como elemento de un pórtico sometido a cargas sísmicas" Tesis Ing. Mecánica, ESPE, CIME 2008.

Con lo que se determinó que un amortiguador telescópico hidráulico de automóvil *sin ninguna modificación* no es adaptable a una estructura metálica actuando como disipador de energía sísmica.

- Se simuló mediante el programa SAP 2000 cargas sísmicas en un pórtico con y sin elemento de aislamiento sísmico. Esto se lo realizó de dos maneras: con espectros de respuesta máxima de la estructura y con acelerogramas. Los espectros de respuesta máxima están basados en la norma CEC 2000, en el cual la aceleración máxima de respuesta era 3.5 gravedades, y en la norma UBC 94 cuya máxima aceleración de respuesta es 1 gravedad. En la simulación se utilizó el acelerograma del sismo “el centro”.

1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el Ecuador, el efecto de la energía sísmica es de gran importancia en construcciones civiles, ya que el país se encuentra en una zona de alto riesgo, el 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 amortiguador con un fluido capaz de atenuar las cargas sísmicas, llegando al 20% de absorción de energía entregada a la estructura, según las recomendaciones de la norma ASCE 07 y TAYLOR DEVICES.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

En el proyecto mencionado², se establece una recomendación que conduce y fundamenta el presente proyecto de grado: “Debido a que el amortiguador

² SALAZAR, D, CALERO, D. “Análisis y simulación del comportamiento mecánico de un amortiguador telescópico hidráulico como elemento de un pórtico sometido a cargas sísmicas” Tesis Ing. Mecánica, ESPE, CIME 2008.

utilizado en el proyecto no mejora la respuesta de la estructura sometida a cargas sísmicas, se recomienda modificar ciertas características del amortiguador original (viscosidad del fluido de trabajo y válvulas internas) como se pudo observar en el análisis de resultados, a fin de mejorar su desempeño ante cargas sísmicas. Este amortiguador puede ser analizado mediante el procedimiento de ensayo realizado en este proyecto”.

En base a la recomendación planteada, el objetivo del presente trabajo es diseñar un amortiguador telescópico hidráulico a escala, capaz de cumplir con los requerimientos de la NORMA ASCE 07 y recomendaciones de Taylor devices. Al ser un amortiguador a escala reducida, no se consideran las condiciones en las que va a ser incluido en la estructura (como uniones, montaje, dimensiones transversales), pero la norma exige que se apliquen las mismas cargas y los mismos tipos de ensayos que al amortiguador de tamaño real.

Para el diseño del amortiguador se tomará, como punto de partida, un amortiguador existente en el mercado para el sector automotriz. Se harán las modificaciones que sean necesarias (válvulas interiores y fluido amortiguador), y se procurará, mediante el uso de determinados procedimientos, que el resultado cumpla con las recomendaciones dadas del proyecto anterior: manipular la capacidad de amortiguamiento de la estructura con el propósito de incrementarla, para lo cual, se debe modificar en la ecuación de balance de energías, la energía que disipa el elemento amortiguador.

La importancia del proyecto está dada al generar una propuesta de construcción de un amortiguador con estas características, a un costo accesible y competitivo en el mercado.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un amortiguador telescópico hidráulico como elemento de un pórtico y comprobar su comportamiento eficiente para atenuar las cargas sísmicas sometidas a todo el conjunto estructural.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar y seleccionar el fluido más eficiente como elemento hidráulico dentro del amortiguador telescópico, para obtener un buen desempeño de dicho elemento.
- Diseñar el amortiguador como elemento auxiliar de un conjunto estructural (diseño mecánico).
- Construir el amortiguador cumpliendo con la norma ASCE 07 y recomendaciones de TAYLOR DEVICES.
- Obtener las propiedades mecánicas del amortiguador construido, mediante los ensayos respectivos.
- Realizar un análisis económico-financiero, para determinar los costos y desembolsos de la investigación.

1.6 ALCANCE

Diseñar y construir un amortiguador telescópico hidráulico eficiente capaz de atenuar cargas sísmicas en un conjunto estructural, esto gracias a que se cumplió con la norma ASCE 07 y recomendación de TAYLOR DEVICES.

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

Que este proyecto, en el cual se pretende alcanzar resultados operativos óptimos, sirva como referencia técnica para otras propuestas y logre ser superada la eficiencia y el rendimiento del amortiguador.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 AMORTIGUADORES TIPO TELESCOPICO HIDRAULICO

2.1.1 FUNDAMENTOS DE AMORTIGUACION

El amortiguador telescópico hidráulico transforma la energía cinética del movimiento longitudinal en energía térmica, o energía calorífica, para disiparla a través del fluido hidráulico.

Los amortiguadores son básicamente bombas de aceite. Hay un pistón sujeto al extremo de la barra del pistón y dicho pistón funciona contra el fluido hidráulico en el tubo de presión.

A medida que el pistón se desplaza hacia arriba y hacia abajo, el fluido hidráulico es forzado a pasar a través de pequeños agujeros, llamados orificios, ubicados en el interior del pistón. Sin embargo, estos orificios dejan pasar solamente una pequeña cantidad de fluido a través del pistón. Esto reduce la velocidad de movimiento del pistón.

La resistencia que un amortiguador desarrolla depende de la velocidad de movimiento del conjunto y el número y tamaño de los orificios ubicados en el pistón. Todos los amortiguadores modernos son dispositivos amortiguadores hidráulicos sensibles a la velocidad, lo cual significa que cuanto más rápido se mueve el conjunto, más resistencia proporciona el amortiguador.

Los amortiguadores funcionan sobre el principio del desplazamiento de los fluidos tanto en el ciclo de compresión como en el de extensión.

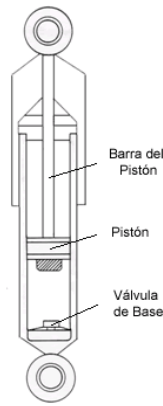
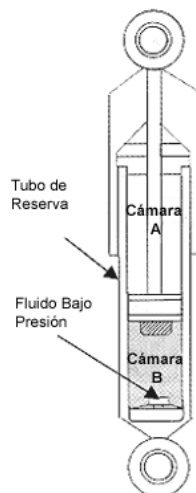


Figura 2.1 Esquema y partes principales del amortiguador

2.1.1.1 Ciclo de compresión

“Durante³ el tiempo de compresión o movimiento hacia abajo, un poco de fluido circula a través del pistón, de la cámara B a la cámara A, y un poco a través de la válvula de compresión, al tubo de reserva. Para controlar el flujo, hay tres etapas de valvulado tanto en el pistón como en la válvula de compresión.

En el pistón, el aceite fluye a través de los puertos del aceite y, a velocidades bajas del pistón, Los sangrados de la primera etapa entran en juego y restringen la cantidad de flujo de aceite. Esto permite un flujo controlado de fluido de la cámara B a la cámara A.



³ ² Asistencia Técnica Monroe, www.monroe.com, Ingles/Español, Septiembre 2008

Figura 2.2 Funcionamiento del amortiguador en el Ciclo de Compresión ²

A velocidades más rápidas del pistón, el aumento en la presión del fluido debajo del pistón en la cámara B hace que el disco se abra, alejándose del asiento de la válvula.

A velocidades altas, el límite de los discos de la segunda etapa pasa gradualmente a las restricciones de los orificios de la tercera etapa. Por lo tanto, el control de la compresión es la fuerza que resulta de la presencia de una ⁴presión más alta en la cámara B, la cual actúa sobre la parte inferior del pistón y el área de la barra del pistón.”

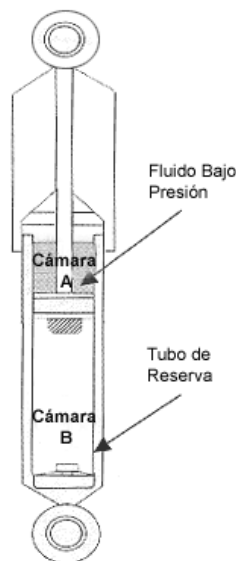


Figura 2.3 Funcionamiento del Amortiguador en el Ciclo de Extensión ³

2.1.1.2 Ciclo de extensión

A medida que el pistón y la barra se mueven hacia arriba, hacia la parte superior del tubo de presión, el volumen de la cámara A se reduce y por lo tanto está a una presión más alta que la cámara B. Debido a esta presión más alta, el fluido circula hacia abajo, a través de la válvula de extensión de 3 etapas del pistón, a la cámara B.

Sin embargo, el volumen de la barra del pistón ha sido extraído de la cámara B, lo cual aumenta enormemente su volumen. Por lo tanto, el volumen de fluido procedente de la cámara A es insuficiente para llenar la cámara B. La presión

³ Asistencia Técnica Monroe, www.monroe.com, Ingles/Español, Septiembre 2008

en el tubo de reserva es ahora mayor que la presión en la cámara B, lo cual fuerza a la válvula de entrada de compresión a desasentarse. A continuación, el fluido circula del tubo de reserva a la cámara B, manteniendo lleno el tubo de presión.

El control de la extensión es una fuerza presente como resultado de la presión más alta en la cámara A, que actúa en el lado superior del área del pistón.

2.1.2 CARACTERISTICAS DEL AMORTIGUADOR

2.1.2.1 Diseño de un amortiguador

Hoy en día se utilizan varios diseños de amortiguador como por ejemplo:

- Diseños Bitubo Cargado con Gas
- PSD
- Monotubo⁵

2.1.2.1.1 Diseño bitubo básico

El diseño bitubo tiene un tubo interior, conocido como el tubo de trabajo o tubo de presión, y un tubo exterior conocido como el tubo de reserva. El tubo exterior se utiliza para almacenar el exceso de fluido hidráulico.

⁴ Asistencia Técnica Monroe, www.monroe.com, Ingles/Español, Septiembre 2008

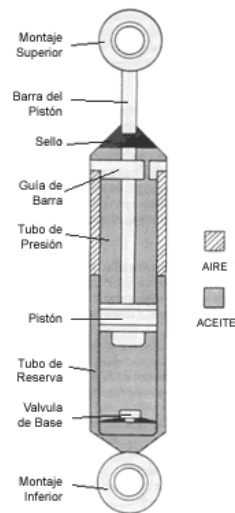


Figura 2.4 Elementos y Partes de un Amortiguador Bitubo Básico ⁴

Hoy en día se utilizan muchos tipos de montajes de amortiguador. La mayoría de éstos utilizan bujes de caucho entre el amortiguador y el bastidor. Los bujes de caucho son flexibles para permitir movimiento durante el recorrido de la suspensión. El montaje superior del amortiguador se conecta al bastidor.

La barra del pistón pasa a través de una guía de barra y un sello en el extremo superior del tubo de presión. La guía de barra mantiene la barra en línea con el tubo de presión y permite que el pistón se mueva libremente en el interior. El sello mantiene el aceite hidráulico en el interior y la contaminación en el exterior.

La válvula de base ubicada en la parte inferior del tubo de presión se conoce como válvula de compresión. Controla el movimiento del fluido durante el ciclo de compresión.

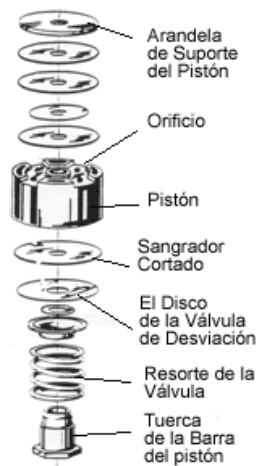


Figura 2.5 Despiece de un Pistón básico ^{6'}

El diámetro interior es el diámetro del pistón y el interior del tubo de presión. Generalmente, cuanto más grande es la unidad, más altos son los niveles potenciales de control, debido al mayor desplazamiento del pistón y las áreas de presión más grandes. Cuanto más grande sea el área del pistón, más pequeñas serán la presión de funcionamiento y las temperaturas internas. Esto proporciona capacidades de amortiguación más altas.

2.1.2.1.2 Diseño Bitubo - PSD

Un salto más allá del control de la velocidad del fluido es una tecnología avanzada que tiene en cuenta la posición de la válvula dentro del tubo de presión. Esto se denomina Amortiguación Sensible a la Posición (Position Sensitive Damping, o PSD).

Con el valvulado suave, el fluido circula más fácilmente, el fluido circula menos fácilmente.

Con la llegada de la carga con gas, se puede abrir los controles de los orificios de estas válvulas y mejorar el balance entre las capacidades de amortiguación y control disponibles en los amortiguadores sensibles a la velocidad tradicionales.

^{6'} Asistencia Técnica Monroe, www.monroe.com, Ingles/Español, Septiembre 2008

La clave de esta innovación son las ranuras conificadas con precisión en el tubo de presión. Cada aplicación es afinada individualmente, ajustando la longitud, profundidad y conicidad de esas ranuras, para asegurar que la suspensión brinde una comodidad óptima y se ofrezca control adicional. Esto crea, en esencia, dos zonas dentro del tubo de presión.

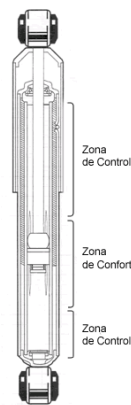


Figura 2.6 Diseño Amortiguador Bitubo ⁷

2.1.2.1.3 Diseño Monotubo

Estos amortiguadores están cargados con gas a alta presión con un solo tubo, denominado tubo de presión.

Dentro del tubo de presión hay dos pistones: un pistón divisor y un pistón de trabajo. El pistón de trabajo y la barra son muy similares al diseño del amortiguador bitubo. La diferencia en la aplicación real es que un amortiguador monotubo se puede montar en posición invertida o en posición al derecho y funcionará de cualquiera de las dos maneras.

Los amortiguadores monotubo, además de tener flexibilidad de montaje, son un componente significativo, junto con el resorte, para soportar las cargas a los que está sometidos.

⁷ Asistencia Técnica Monroe, www.monroe.com, Ingles/Español, Septiembre 2008

Otra diferencia es que el amortiguador monotubo no tiene una válvula de base. En lugar de ello, todo el control durante la compresión y la extensión tiene lugar en el pistón.

El tubo de presión del diseño monotubo es más grande que el del diseño bitubo para acomodar la longitud sin retirada. Un pistón divisor de flotación libre se desplaza en el extremo inferior del tubo de presión, separando la carga de gas y el aceite.



Figura 2.7 Diseño de Amortiguador Monotubo⁸

El área debajo del pistón divisor está presurizada a unas 360 psi con gas nitrógeno. Esta alta presión del gas ayuda a soportar parte de las cargas a las que esté sometido. El aceite está ubicado en el área situada encima del pistón divisor.

Durante el funcionamiento, el pistón divisor se mueve hacia arriba y hacia abajo a medida que la barra del pistón se mueve hacia dentro y hacia fuera del amortiguador, lo cual mantiene el tubo de presión lleno en todo momento.”

⁸ Asistencia Técnica Monroe, www.monroe.com, Ingles/Español, Septiembre 2008

2.1.3 FLUIDO AMORTIGUADOR

Dentro de los amortiguadores telescópicos hidráulicos, se denomina fluido hidráulico o amortiguador al que realiza el trabajo de amortiguamiento.

El fluido hidráulico es un líquido transmisor de energía que se utiliza para transformar, controlar y transmitir los esfuerzos mecánicos, a través de una variación de presión o de flujo. También es lubricante, sellador y medio de transferencia térmica.

Esto se consigue debido a la estabilidad en sus características sobretodo de viscosidad con respecto a presión y temperatura, por ejemplo un aceite hidráulico común a una presión constante de 20 bares, asegura su funcionalidad entre -40°C y 120°C , este rango comprende los márgenes más extremos de trabajo.⁹

2.1.4 APLICACIONES

2.1.4.1 Disipadores Viscosos

El principio básico de funcionamiento consiste en movilizar un elemento a través de un fluido viscoso. Esto genera fuerzas que se oponen al movimiento del elemento, de magnitud proporcional a la velocidad. Los fluidos viscosos (FV), tales como siliconas, aceites, etc. han sido utilizados con eficiencia en la generación de dispositivos disipadores de energía hace ya varias décadas en la industria militar y aeroespacial

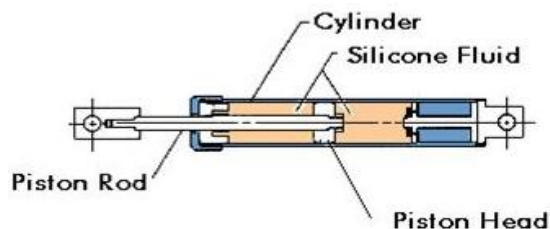


Figura 2.8 Esquema típico de un amortiguador viscoso ¹⁰

⁹ Amortiguadores Caca Universidad Tecnológica De Chile

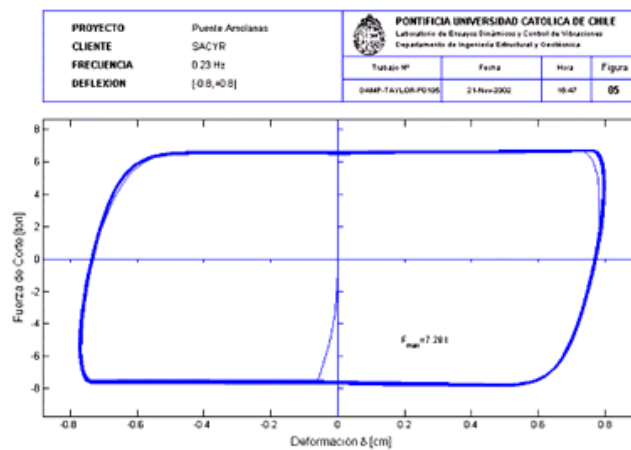
¹⁰ Sistemas de protección sísmica, www.sirve.cl, Español, Septiembre 2008



Figura 2.9 Disipadores viscosos



Figura 2.10. Amortiguador viscoso instalado en la estructura



2.11 Curva de Histéresis típica de un amortiguador viscoso

2.2 CARGAS SÍSMICAS

“Un terremoto es en definitiva un fenómeno energético y las fuerzas que causan tensión sobre la estructura, el efecto final de aquel fenómeno, dañando diversos puntos de la estructura tal como se muestra en la Figura 2.12 ¹¹

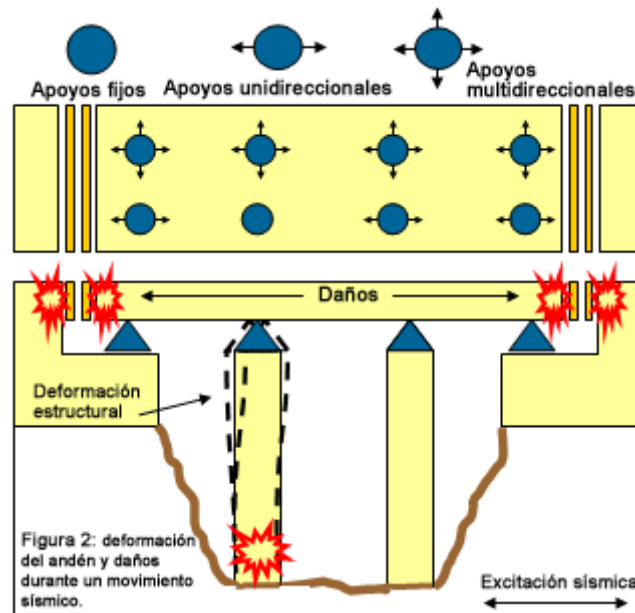


Figura 2.12 Efectos Sísmicos

Para evitar esto se usan los sistemas antisísmicos de protección, manejados a través del **concepto de DISTRIBUCION DE ENERGIA**, distribuir las fuerzas sísmicas en tantos lugares como sea posible, aunque sin dispositivos de transmisión de choque (MST), no será suficiente para proteger la estructura.

El **concepto de DISMINUCION DE ENERGIA**, se basa en la aplicación simultánea de dos métodos:

1. Aislación Sísmica: consiste en aislar la cubierta del puente apoyándolo sobre aisladores sísmicos SV.
2. Disipación de Energía: por medio de la disipación pasiva de energía, el resto de las fuerzas sísmicas que entren a la estructura son efectivamente disipadas por medio de dispositivos de amortiguación de la tensión.

¹¹ Amortiguadores Antisísmicos, <http://www.maurer-espana.com/>, Español, Septiembre 2008

2.2.1 ANÁLISIS DE CARGAS SÍSMICAS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES

En esta sección se seguirán las recomendaciones que se indican en Código ecuatoriano de la construcción:

CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN 2002 CEC. PELIGRO SÍSMICO, ESPECTROS DE DISEÑO Y REQUISITOS MÍNIMOS DE CALCULO PARA DISEÑO SISMO-RESISTENTE

DEFINICIONES:

“Altura de piso: la distancia entre los diferentes niveles de piso de una estructura.

Base de la estructura: nivel al cual se considera que la acción sísmica actúa sobre la estructura¹².

Cortante basal de diseño: fuerza total de diseño por cargas laterales, aplicada en la base de la estructura, resultado de la acción del sismo de diseño con o sin reducción, de acuerdo con las especificaciones del presente código.

Cortante de piso: sumatoria de las fuerzas laterales de todos los pisos superiores al nivel considerado.

Edificaciones esenciales: aquellas estructuras que deben permanecer operativas luego de un terremoto para atender emergencias.

Efectos P-Δ: son los efectos secundarios que afectan a las fuerzas cortantes y axiales, y a los momentos flectores, cuando se aplican cargas verticales que actúan en pórticos deformados lateralmente.

¹² ECUADOR, CODIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCION, 2002

Espectro de respuesta para diseño: es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño. Este espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura, o bien puede ser un espectro construido según los requerimientos especificados en este código.

Estructura¹³: conjunto de elementos ensamblados para resistir cargas verticales y sísmicas. Las estructuras pueden clasificarse en estructuras de edificación y otras estructuras distintas a las de edificación.

Fuerzas sísmicas de diseño: fuerzas laterales que resultan de distribuir adecuadamente el cortante basal de diseño en toda la estructura, según las especificaciones de este código.

Sismo de diseño¹⁴: terremoto que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años, determinado bien a partir de un análisis de la peligrosidad sísmica del sitio de emplazamiento de la estructura, o a partir de un mapa de peligro sísmico, tal como el proporcionado por este código. Para representar este terremoto, puede utilizarse un grupo de acelerogramas que presenten propiedades dinámicas representativas de las características tectónicas, geológicas y geotécnicas del sitio. Los efectos dinámicos del sismo de diseño pueden representarse mediante un espectro de respuesta para diseño.

2.2.2 CRITERIOS DE DISEÑO PARA CARGAS SÍSMICAS

Como premisa fundamental es necesario contar con un documento actualizado para el cálculo sismoresistente de estructuras, que refleje lo que se conoce actualmente de la realidad sísmica del Ecuador.

¹³ ECUADOR, CODIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCION, 2002

¹⁴ ECUADOR, CODIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCION, 2002

Debe permitir, por un lado, poner al alcance de los calculistas y diseñadores herramientas sencillas de cálculo utilizando conceptos actuales de Ingeniería Sísmica.

Por otro lado debe dar a conocer claramente las hipótesis de cálculo, para que el diseñador tome conciencia de la responsabilidad que implica tomar ciertas decisiones a la hora de aceptar tales hipótesis.

2.2.2.1 Zonas Sísmicas y Factor de Zona Z

El mapa de zonas sísmicas para propósitos de diseño incluido en el código ecuatoriano de la construcción proviene de un estudio completo que considera fundamentalmente los resultados de los estudios de peligro sísmico del Ecuador.

También considera ciertos criterios adicionales relacionados con:

- La uniformidad del peligro de ciertas zonas del país.
- Criterios de practicidad en el diseño.
- Protección de ciudades importantes
- Irregularidad en curvas de definición de zonas sísmicas.
- Suavizado de zonas de límites inter-zonas.
- Compatibilidad con mapas de peligro de los países vecinos.

El estudio de peligro sísmico fue realizado de manera integral para todo el territorio nacional, de acuerdo con las metodologías actuales usadas a nivel mundial y a la disponibilidad de la información a nivel local¹⁵.

2.2.2.2 Tipo de Uso, Destino e Importancia de la Estructura. Coeficiente I.

La intención del Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC) es disponer de un mayor nivel de requisitos mínimos de cálculo al diseño de estructuras, que

¹⁵ ECUADOR, CODIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCION, 2002

por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia de un sismo severo.

2.2.2.3 Selección del procedimiento de cálculo de fuerzas laterales

Por ser el cálculo estático una simplificación del cálculo dinámico, el presente Código permite utilizarlo por sí solo únicamente en los casos en que las estructuras presentan regularidad tanto en planta como en elevación. En los casos restantes, la aplicación del cálculo dinámico permitirá detectar problemas de concentraciones de esfuerzos generados por la presencia de irregularidades, los cuales deberá enfrentar el calculista.

El Código permite la utilización de otros procedimientos de cálculo sísmico, tales como los análisis no lineales, estáticos o dinámicos, que requieren de la aplicación de principios avanzados de Dinámica de Estructuras y de Ingeniería Sísmica, que podrán ser aplicados por profesionales altamente calificados y con los suficientes conocimientos de estas disciplinas.

2.2.2.4 Procedimiento de Cálculo de Fuerzas Estáticas

2.2.2.4.1 Cortante Basal de Diseño

- Los valores de C_m y de S establecidos en la Tabla 2.1 provienen de los valores de aceleraciones espectrales máximas esperados para valores de Z . Adicionalmente, la intersección entre el valor de C y de su límite superior C_m , define la frecuencia de esquina o de corte que separa la zona de períodos con aceleración y velocidad constante, dependiendo del tipo de suelo.
- Si se trata de estudios de microzonificación sísmica realizados para una región determinada del país, se establecen valores de C , C_m y de S diferentes a los establecidos por este Código, se podrán utilizar los valores

de los mencionados estudios, prevaleciendo los de este Código como requisito mínimo.¹⁶

2.2.2.4.2 Factor de reducción de resistencia sísmica R

Para la definición del factor de reducción de resistencia R, se tomaron como criterios, tanto las recomendaciones de los códigos UBC-94 y UBC-97, como otros propios, que incluyen aspectos de agrupamiento de estructuración, diferencias entre realidades constructivas y de calidad entre los materiales y la construcción en los Estados Unidos y el Ecuador.

De igual manera penalizaciones dirigidas hacia cierto tipo de estructuras que no permiten disponer de ductilidad apropiada para soportar las deformaciones inelásticas requeridas por el sismo de diseño.

Si bien se conoce claramente que los factores de reducción de resistencia R dependen realmente de muchas variables, entre otras, del tipo de estructura, del tipo de suelo, del período de vibración considerado y de los factores de ductilidad, sobre resistencia, redundancia y amortiguamiento de una estructura en condiciones límite, se ha simplificado a un parámetro constante dependiente únicamente de la tipología estructural.

2.2.2.4.3 Distribución Vertical de Fuerzas Laterales

Para la distribución del cortante basal en altura, se ha utilizado una distribución triangular asociada con el modo fundamental de vibración, más una fuerza en el último piso que intenta tomar en cuenta la contribución de modos superiores.

2.2.2.4.4 EFECTOS P- Δ

La consideración de los efectos P- Δ se ha establecido tomando algunos criterios del UBC y de la normativa colombiana, con simplificaciones en cuanto a las expresiones a utilizar. El coeficiente de inestabilidad incorporado es una

¹⁶ ECUADOR, CODIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCION, 2002

substantial mejora para la normativa, a fin de tomar en cuenta este efecto poco considerado anteriormente en el país.

2.2.2.4.5 Componentes Verticales del Sismo de Diseño

El código reconoce la necesidad de considerar los efectos de la componente vertical de los sismos, especialmente sobre elementos que exceden los límites de las plantas de los pisos, como son los voladizos. La expresión toma en cuenta que, al menos en el campo no cercano, la acción máxima de la componente vertical se puede estimar como los dos tercios de la acción máxima horizontal, y que la rigidez de los voladizos horizontales requeriría utilizar un espectro de diseño plano establecido por el valor C_m , que a su vez depende del tipo de suelo del emplazamiento.

2.2.2.4.6 Zonas Sísmicas y Factor de Zona Z

El sitio donde se construirá la estructura determinará una de las cuatro zonas sísmicas del Ecuador, de acuerdo con la definición de zonas de la Figura 2.13. Una vez identificada la zona sísmica correspondiente, se adoptará el valor del factor de zona Z, según la Tabla 2.1. El valor de Z de cada zona representa la aceleración máxima efectiva en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

Para mayor exactitud al escoger el valor de Z, se incluye en la Tabla, un listado de algunas poblaciones con el valor correspondiente. Si se ha de diseñar una estructura en una zona que no consta en la lista, debe escogerse el valor de la población más cercana.

Tabla 2.1 Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.4

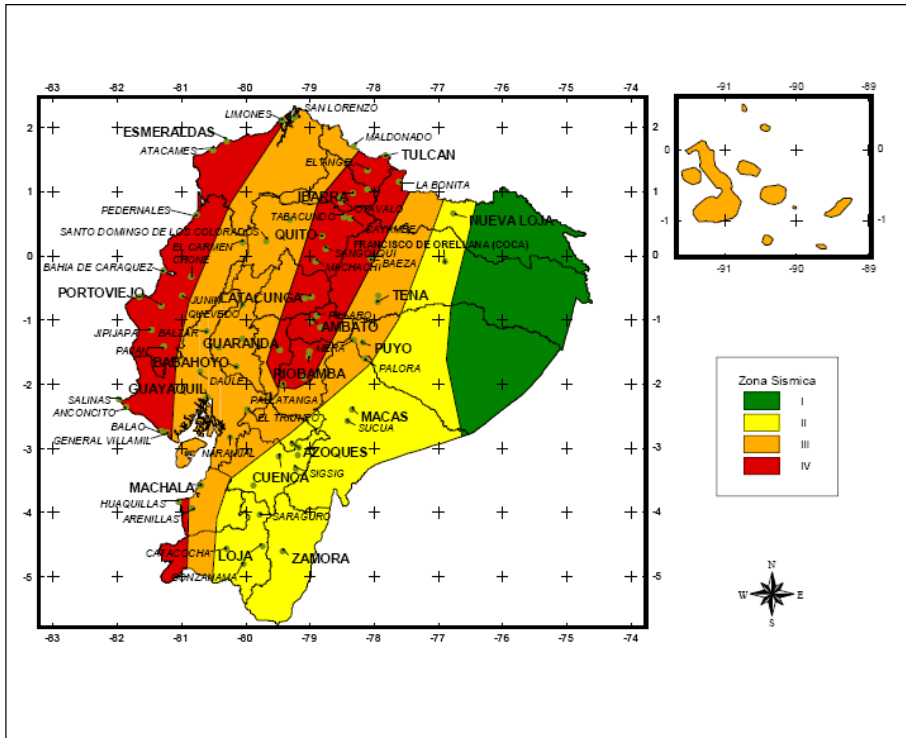


Figura 2.13 Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño ¹⁷

2.2.2.4.7 Tipo de Uso, Destino e Importancia de la Estructura. Coeficiente I.

La estructura a construirse se clasificará en una de las categorías que se establecen en la Tabla 2.2, y se adoptará el correspondiente factor de importancia I.

Tabla 2.2 Tipo de uso, destino e importancia de la estructura ¹⁸

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Factor
1. Edificaciones esenciales y/o	Hospitales, clínicas, centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación, transmisión y distribución eléctrica. Tanques u Otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, Químicos u otras sustancias peligrosas.	1,5

¹⁷ ECUADOR, CODIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCION, 2002

¹⁸ ECUADOR, CODIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCION, 2002

Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1,3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1,0

2.2.3 ANÁLISIS ESTÁTICO

2.2.3.1 Determinación de las Fuerzas Laterales de Diseño

2.2.3.1.1 Generalidades

Las estructuras deben diseñarse para resistir fuerzas sísmicas provenientes de cualquier dirección horizontal. Puede asumirse que las fuerzas sísmicas de diseño actúan de manera no concurrente en la dirección de cada eje principal de la estructura.¹⁹

La carga sísmica reactiva W para fines de este código, representa la carga reactiva por sismo, igual a la carga muerta total de la estructura. En el caso de estructuras de bodegas o de almacenaje, W se calcula como la carga muerta más un 25% de la carga viva de piso.

El modelo matemático de la estructura incluirá todos los elementos que conforman el sistema estructural resistente, así como su distribución espacial de masas y rigideces en la estructura.

2.2.3.1.2 Procedimiento de Cálculo de Fuerzas Estáticas

Cortante Basal de Diseño: El cortante basal total de diseño V , que será aplicado a una estructura en una dirección dada, se determinará mediante las expresiones:

$$V = \frac{ZIC}{R \cdot \phi P \cdot \phi E} \cdot W \quad (2.1)$$

¹⁹ ECUADOR, CODIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCION, 2002

$$C = \frac{1,25 \cdot S}{T} \quad (2.2)$$

Donde:

$C =$ No debe exceder del valor de C_m establecido en tablas, no debe ser menor a 0,5 y puede utilizarse para cualquier estructura.

$S =$ Su valor y el de su exponente se obtienen en tablas.

$R =$ Factor de reducción de respuesta estructural.

$\phi_P, \phi_E =$ Coeficientes de configuración estructural en planta y en elevación, respectivamente.

Tabla 2.3 Coeficiente de configuración estructural²⁰

Tipo	Descripción de las irregularidades en planta	Φ_{pi}
1	<i>Irregularidad torsional Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</i>	0,9
2	<i>Entrantes excesivos en las esquinas La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</i>	0,9
3	<i>Discontinuidad en el sistema de piso La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</i>	0,9

²⁰ ECUADOR, CODIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCION, 2002

4	<i>Desplazamiento del plano de acción de elementos verticales Una estructura se considera irregular cuando existen discontinuidades en los ejes verticales, tales como desplazamientos del plano de acción de elementos verticales del sistema resistente.</i>	0,8
5	<i>Ejes estructurales no paralelos La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</i>	0,9
6	<i>Sistema de piso flexible Cuando la relación de aspecto en planta de la edificación es mayor que 4:1 o cuando el sistema de piso no sea rígido en su propio plano se deberá revisar la condición de piso flexible en el modelo estructural</i>	-

2.2.3.1.3 Coeficiente de configuración estructural en elevación Φ_E .

El coeficiente Φ_E se estimará a partir del análisis de las características de regularidad e irregularidad en elevación de la estructura, descritas en la Tabla 2.4. Se utilizará la expresión:

$$\Phi_E = \Phi_{EA} \cdot \Phi_{EB} \cdot \Phi_{EC} \quad (2.3)$$

Donde:

Φ_{EA} El mínimo valor Φ_{Ei} de cada piso i de la estructura, obtenido en tablas.

Φ_{Ei} En cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por tablas para las dos irregularidades.

Φ_{EB} Se establece de manera análoga, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 2 y/o 3 en la estructura.

Φ_{EC} Se establece para cuando se encuentre presente la irregularidad tipo 4 en la estructura. Cuando una estructura no contempla ninguno de los tipos de irregularidades descritos en la Tabla, en ninguno de sus niveles, Φ_E tomará el valor de 1.²¹

Adicionalmente, se debe tomar en cuenta que, cuando la deriva máxima de cualquier piso es menor de 1,3 veces la deriva del piso inmediato superior, puede considerarse que no existen irregularidades.

²¹ ECUADOR, CODIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCION, 2002

Tabla 2.4 Coeficiente de configuración en elevación²²

Tipo	Descripción de las irregularidades en elevación	Pórticos espaciales y pórticos con vigas banda ΦE_i	Sistemas duales o con diagonales ΦE_i
1	Piso blando (irregularidad en rigidez) La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.	0,9	1,0
2	Irregularidad en la distribución de las masas La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.	0,9	1,0
3	Irregularidad geométrica La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.	0,9	1,0
4	Desalineamiento de ejes verticales La estructura se considera irregular cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema resistente, dentro del mismo plano en el que se encuentran, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento. Se exceptúa la aplicabilidad de este requisito cuando los elementos desplazados solo sostienen la cubierta de la edificación sin otras cargas adicionales de tanques o equipos.	0,8	0,9
	Piso débil-Discontinuidad en la resistencia		

²² ECUADOR, CODIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCION, 2002

5	La estructura se considera irregular cuando la resistencia del piso es menor que el 70% de la resistencia del piso inmediatamente superior, (entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada).	0,8	1,0
6	Columnas cortas Se debe evitar la presencia de columnas cortas, tanto en el diseño como en la construcción de las Estructuras.	-	-

2.2.4.1.4 Factor de reducción de resistencia sísmica R.

El factor R a utilizarse en el cálculo del cortante basal aplicado a una estructura de edificación, en cualquiera de las direcciones de cálculo adoptadas, se escogerá de la Tabla 2.5, tomándose el menor de los valores para los casos en los cuales el sistema resistente estructural resulte en una combinación de varios sistemas como los descritos en la tabla. El valor de R podrá aplicarse en el cálculo del cortante basal, siempre y cuando la estructura sea diseñada cumpliendo con todos los requisitos de diseño sismo-resistente acordes con la filosofía de diseño del presente código²³.”

Tabla 2.5 Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R

Sistema estructural	R
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente, con muros estructurales de hormigón Armado (sistemas duales).	12
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas Descolgadas o de acero laminado en caliente.	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda y Muros estructurales de hormigón armado (sistemas duales).	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas Descolgadas y diagonales rigidizadoras.*	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda y Diagonales rigidizadoras.*	9
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda.	8
Estructuras de acero con elementos armados de placas o con elementos de Acero conformados en frío. Estructuras de aluminio.	7

²³ ECUADOR, CODIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCION, 2002

Estructuras de madera	7
Estructura de mampostería reforzada o confinada	5
Estructuras con muros portantes de tierra reforzada o confinada	3
(*) = Cuando se utilizan diagonales, se debe verificar que los elementos en tensión cedan antes que los Elementos en compresión.	

2.2.4 ANÁLISIS DINÁMICO

“Con el fin de estudiar la respuesta de la estructura ante la imposición de cargas se utiliza un modelo matemático basado en la mecánica newtoniana. Toda estructura responde dinámicamente ante la acción de cargas o deformaciones, generando fuerzas inerciales iguales a su masa por la aceleración (segunda ley de Newton, ecuación dinámica de equilibrio). Para cargas o deformaciones aplicadas de una manera lenta, que es el caso de cargas muertas y vivas no dinámicas, las fuerzas inerciales pueden despreciarse, lo que hace posible un análisis estático de la estructura. Esta simplificación no es válida cuando la estructura se somete a cargas dinámicas o deformaciones rápidas como las causadas por viento, sismo, y vivas, dinámicas o con impacto, casos en los cuales las fuerzas inerciales no son despreciables y se hace necesario un análisis dinámico.²⁴

Considerando un sistema estructural idealizado en un modelo de un grado de libertad como el mostrado en la figura 2.14, se realiza el análisis dinámico para obtener la respuesta del sistema.

²⁴ Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 6, p. 105-120. Diciembre 2006, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia)

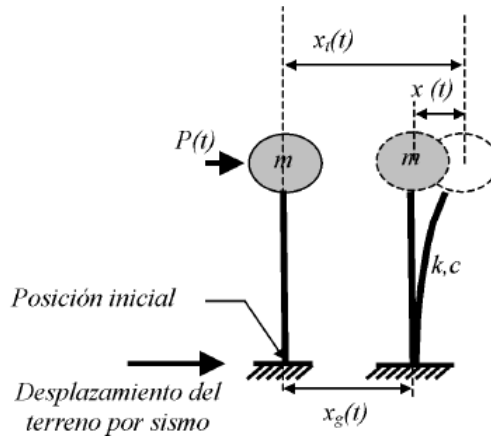


Figura 2.14 Sistema de un grado de libertad²⁵

El modelo consta de una masa concentrada m soportada por un elemento de rigidez k , con un coeficiente de amortiguamiento viscoso c propio del sistema. El sistema se somete a una carga sísmica caracterizada por un desplazamiento del suelo $X_g(t)$ y una carga $P(t)$ que puede ser o no dependiente del tiempo. La respuesta del sistema consiste en determinar el desplazamiento de la masa en cualquier instante con respecto a su posición inicial general, $X_t(t)$. Este parámetro se calcula en función del desplazamiento del terreno y del desplazamiento de la masa con respecto a su base:

$$X_t(t) = X_g(t) + x(t) \quad (2.4)$$

Para estas condiciones, la ecuación de equilibrio dinámico se escribe como:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{x}_g + p \quad (2.5)$$

Donde:

$m\ddot{x}$ = Representa la fuerza inercial de la masa de la edificación.

$c\dot{x}$ = Es el amortiguamiento inherente del sistema.

kx = Es la fuerza elástica del sistema.

²⁵ Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 6, p. 105-120. Diciembre 2006, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia)

Se propone utilizar el concepto de energía como herramienta para determinar el comportamiento y la respuesta de una estructura ante cargas dinámicas. Debido a que la ecuación de equilibrio dinámico está planteada en términos de fuerzas, éstas se multiplican por el desplazamiento dx , expresado como xdt , que es una función de la velocidad, para encontrar el trabajo realizado. Al integrar la ecuación resultante respecto al tiempo de aplicación de la carga (sismo, viento u otras) se obtiene la ecuación de balance de energía desarrollado en el sistema estructural:

$$E_k + E_D + E_S = E_I \quad (2.6)$$

Donde:

La energía cinética de la masa m viene dada por:

$$E_k = \int m\dot{x}dx = \frac{m\dot{x}^2}{2} \quad (2.7)$$

La energía disipada por el amortiguamiento inherente de la estructura es:

$$E_D = \int c\dot{x}dx = \int c\dot{x}^2 dt \quad (2.8)$$

La energía de deformación elástica del sistema es:

$$E_S = \int kxdx = \frac{kx^2}{2} \quad (2.9)$$

E_I es la energía impuesta por las cargas dinámicas:

$$E_I = E_{IS} + E_{IW} \quad (2.10)$$

Es la energía impuesta por el sismo:

$$E_{IS} = - \int m\ddot{x}gdx \quad (2.11)$$

Es la energía impuesta por el viento.²⁶

$$E_{IW} = \int P(t)dx \quad (2.12)$$

²⁶ Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 6, p. 105-120. Diciembre 2006, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia)

En el caso de que el sistema alcance a responder en el rango inelástico de los materiales, en el término E_s se debe incluir y distinguir la participación de la estructura dentro del rango elástico y el inelástico. Esto se logra introduciendo la función $f_s(x)$ que incluye la respuesta elástica y la inelástica histerética en el cálculo de la energía total proporcionada por la estructura, y quedan como:

$$E_s = \int f_s(x) dx = E_{s_s} + E_{s_p} \quad (2.13)$$

Donde E_{s_p} es la energía disipada por efectos histeréticos de deformación plástica y daño de los elementos estructurales, y el término E_{s_s} es la energía de deformación elástica no disipada (figura 2).

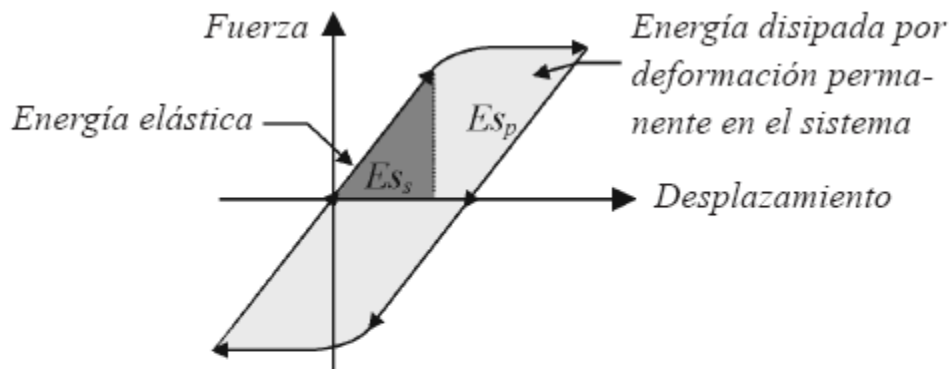


Figura 2.15 Ciclo de histéresis en un sistema estructural, energía elástica²⁷

Cuando se utilizan dispositivos especiales disipadores o amortiguadores de energía (dependientes de la velocidad, la deformación o la aceleración), se debe introducir un término en la ecuación que permita distinguir la participación de estos dispositivos en el balance de energía. Este término se identifica como E_p y se calcula por medio del operador de integro-diferenciación representativo de la disipación de energía proporcionada por dispositivos adicionales (ecuación 2.13).

²⁷ Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 6, p. 105-120. Diciembre 2006, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia)

$$E_P = \int T\bar{x}dx \quad (2.14)$$

La contribución de la energía obtenida por los disipadores o amortiguadores se suma al lado izquierdo de la ecuación de balance de energía, para quedar:²⁸

$$E_k + E_D + E_{SS} + E_{SP} + E_P = E_I \quad (2.15)$$

2.3 ECUACIONES APROPIADAS

Para la interpretación de los datos obtenidos de las pruebas para determinar si el amortiguador es efectivo al momento de atenuar cargas sísmicas, es necesario determinar y estudiar ecuaciones basadas en las recomendaciones del código ASCE 07 y bibliografía pertinente.

La sección del código en la cual se pueden encontrar las ecuaciones es el capítulo 17 “Requerimientos de diseño sísmico para estructuras aisladas sísmicamente”, cuyo alcance dice que “Cada estructura sísmicamente aislada y cada porción de esta deberá estar construida de acuerdo a los requerimientos de esta sección y los requerimientos aplicables de este código”.

Para las ecuaciones que no se encuentran dentro del código la bibliografía de la cual forman parte estas se las puede encontrar como Amortiguamiento estructural en donde encontramos el amortiguamiento histerético, vibración libre con amortiguamiento viscoso y la fuerza de amortiguación.

2.3.1 ECUACIÓN DE ELASTICIDAD EFECTIVA

Según las recomendaciones del ASCE 07 la **elasticidad efectiva**²⁹ deberá ser calculada para cada ciclo de carga según:

$$k_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} \quad (2.16)$$

Donde:

F^+ = Fuerza positiva en kips o KN en una unidad de aislamiento durante un solo ciclo de pruebas de prototipo en un desplazamiento Δ^+ .

²⁸ Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 6, p. 105-120. Diciembre 2006, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia)

²⁹ Teoría general de vibraciones, <http://www.umss.edu.bo>, Español, Octubre 2008

F^- = Máxima fuerza negativa en una unidad de aislamiento durante un solo ciclo de pruebas de prototipo en un desplazamiento Δ^+ .

Δ^+ = Máximo desplazamiento positivo de una unidad de aislamiento durante cada ciclo de pruebas de prototipo.

Δ^+ = Máximo desplazamiento positivo de una unidad de aislamiento durante cada ciclo de pruebas de prototipo.

2.3.2 ECUACIÓN DEL COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO EFECTIVO

Partiendo del concepto que el amortiguamiento controla el movimiento de las estructuras sometidas a fuerzas variables en un periodo de tiempo, mediante la disipación de energía, y también que el amortiguamiento histerético es la relación en donde la fuerza de amortiguamiento es proporcional al desplazamiento y de signo opuesto al de la velocidad. Tenemos que la representación elíptica del comportamiento estructural, dificulta la descripción de fenómenos esenciales como la disipación de energía en cargas cíclicas posteriores a la fluencia, esta es una característica importante la cual afecta significativamente la respuesta sísmica global del sistema estructural ante movimientos importantes del suelo. Tal característica puede denotarse como una relación de *amortiguamiento histerético efectivo*.³⁰

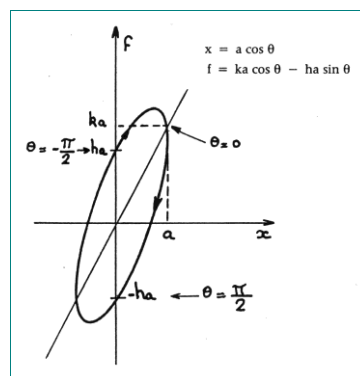


Figura 2.16 Ciclo elíptico carga-desplazamiento

$$\zeta = \frac{E_h}{4 \cdot \pi \cdot E_{el}} \quad (2.17)$$

³⁰ Teoría general de vibraciones, <http://www.umss.edu.bo>, Español, Octubre 2008

Donde:

E_h = Energía disipada en un ciclo completo de carga-descarga-recarga.

E_{el} = Energía de deformación elástica a la fuerza y deformación máximas en el ciclo.

$$E_{el} = \frac{F_{max} \cdot \delta_{max}}{2} \quad (2.18)$$

F_{max} = Valor máximo de fuerza experimentada.

δ_{max} = Valor máximo de deformación experimentada.

También siguiendo las recomendaciones del código ASCE 07 encontramos una relación de amortiguamiento efectivo, que es de una unidad de aislamiento y es calculada para cada ciclo de carga mediante la ecuación:

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{E_{loop}}{k_{eff} (|\Delta^+| + |\Delta^-|)^2} \quad (2.19)$$

Donde:

E_{loop} = Energía disipada en una unidad de aislamiento en un ciclo completo de carga reversible en una prueba de desplazamiento con un rango de Δ^+ a Δ^- , medido por el área dentro de la curva fuerza deflexión.

k_{eff} = Elasticidad efectiva.

Δ^+ = Máximo desplazamiento positivo de una unidad de aislamiento durante cada ciclo de pruebas de prototipo.³¹

³¹Teoría general de vibraciones, <http://www.umss.edu.bo>, Español, Octubre 2008

2.3.3 ECUACIÓN DEL COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO CRÍTICO

La ecuación del coeficiente de amortiguamiento crítico parte del fenómeno de la vibración libre con amortiguamiento viscoso. Como introducción a la ecuación partimos de los siguientes conceptos:

El estudio de las vibraciones se refiere a los movimientos de los cuerpos y a las fuerzas asociadas con ellos. Una vibración mecánica es el movimiento de una partícula o cuerpo que oscila alrededor de una posición de equilibrio. Una vibración se produce cuando el sistema en cuestión es desplazado desde una posición de equilibrio estable, el sistema tiende a retornar a dicha posición, bajo la acción de fuerzas de restitución elásticas o gravitacionales, moviéndose 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*.

Existen dos clases de vibraciones, las libres y las forzadas. Cualquier sistema elástico puede tener una *vibración libre* a consecuencia de 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.

Cuando al sistema se le aplica fuerzas perturbadoras externas, el movimiento resultante es una *vibración forzada*. 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*, en este estado tienen lugar oscilaciones peligrosamente grandes; así la falla por resonancia de estructuras como puentes o edificios es una dramática posibilidad que debe tenerse muy en cuenta.

El movimiento de las estructuras, dependen en particular, de las propiedades de amortiguamiento, es decir, de la disipación de la energía por los materiales

constitutivos de la estructura, entre las ligaduras de sus diferentes elementos, entre ellos y el medio circunvecino. De acuerdo a los fenómenos físicos, se distinguen tres tipos de amortiguamiento:

- El amortiguamiento de Coulomb, que corresponde a un amortiguamiento de fricción, con dirección del desplazamiento y de signo opuesto al de la velocidad.
- El amortiguamiento viscoso, por el cual la fuerza de amortiguamiento es proporcional a la velocidad.
- El amortiguamiento histerético, para el cual la fuerza de amortiguamiento es proporcional al desplazamiento y de signo opuesto al de la velocidad.

El coeficiente de amortiguamiento crítico, c_{cr} , 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 mono oscilatorio.

Las estructuras como puentes, edificios, embalses, etc. poseen una relación de amortiguamiento $\xi < 1$ la cual las cataloga como sistemas subamortiguados, es por esta razón que dichos sistemas se estudian con mayor preferencia.

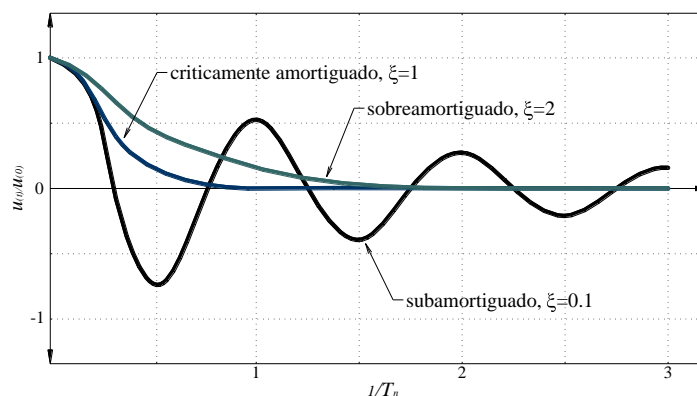


Figura 2.17 Curva de Sistemas amortiguados³²

La ecuación de movimiento para un sistema lineal amortiguado en vibración libre es:

³² Identificación del amortiguamiento histerético efectivo de algunos modelos cíclicos en variables generalizadas, <http://www.ciu.reduaz.mx>, Español, Octubre 2008

$$m \cdot \ddot{u} + c \cdot \dot{u} + k \cdot u = 0 \quad (2.20)$$

Dividiendo por la masa se obtiene:

$$\ddot{u} + 2 \cdot \xi \omega_n \cdot \dot{u} + \omega_n^2 \cdot u = 0 \quad (2.21)$$

$$\xi = \frac{C}{C_{cr}}$$

Donde:

$$C_{cr} = 2 \cdot m \cdot \omega_n = 2 \cdot \sqrt{k \cdot m} = \frac{2 \cdot k}{\omega_n} \quad (2.22)$$

2.3.4 ECUACIÓN DEL EXPONENTE DEL AMORTIGUAMIENTO

La fuerza de amortiguación que producen los amortiguadores como reacción ante movimientos de vibración es:

$$F = C \cdot V^\alpha \quad (2.23)$$

Esta expresión generalizada para amortiguadores de cualquier fluido está en función de la velocidad que adquiere la estructura lo que incrementa su capacidad de amortiguación.

F = Fuerza aplicada al pistón del amortiguador

V = Velocidad del pistón

C = Constante de amortiguamiento

α = Exponente de amortiguamiento, el cual varía según el tipo de amortiguador de 0.2 hasta 1. Una vez que los requerimientos de desempeño fueron satisfechos usando amortiguamiento lineal = 1.0, pruebas posteriores se pueden evaluar con exponentes de velocidad menores.³³

Despejando de la ecuación original encontramos la ecuación del exponente de amortiguamiento:^{34 35}

^{33 34} Identificación del amortiguamiento histerético efectivo de algunos modelos cíclicos en variables generalizadas, <http://www.ciu.reduaz.mx>, Español, Octubre 2008

$$\alpha = \frac{\log F - \log C}{\log(\omega \cdot \Delta_{m\acute{a}x})} \quad (2.24)$$

2.4 COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO BÁSICO

Una forma convencional de tratar el amortiguamiento que se presenta en los ciclos de histéresis es asociar la energía disipada con amortiguamiento viscoso equivalente, mediante la siguiente expresión:

$$\beta_0 = \frac{E_D}{4\pi E_{SO}} \quad (2.25)$$

Donde E_D es la energía disipada (área encerrada en los ciclos de histéresis) y E_{SO} es la energía elástica total (ver Figura 2.18).

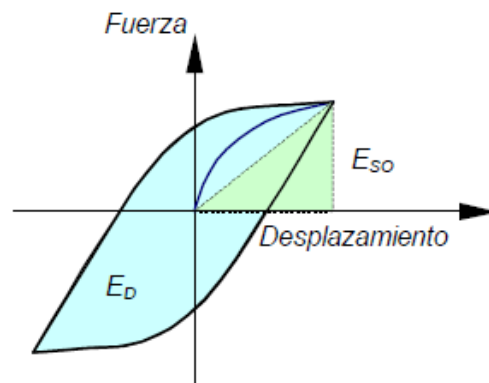


Figura 2.18 Grafico fuerza desplazamiento de un amortiguador³⁶

Los fluidos amortiguadores tienen la capacidad de reducir los esfuerzos y la deformación al mismo tiempo dentro de una estructura sometida a un sismo. Esto se debe a que un fluido amortiguador varía su resistencia sólo con la velocidad, que ofrece una respuesta que es de por sí fuera de la zona elástica de la estructura. Otros amortiguadores, puede ser clasificado como histeréticos, donde una fuerza de amortiguación fija se genera en virtud de cualquier desviación, o como visco-elástico, cuando un amortiguador se comporta como

³⁵ Fabricante de disipadores sísmicos, www.taylordevices.com, Ingles, Octubre 2008

³⁶ Sistemas De Control De Respuesta Sísmica En Edificaciones, Juan Andrés Oviedo María del Pilar Duque

un resorte y una combinación de amortiguación. En este último caso, la fuerza puede ser un desplazamiento y la velocidad depende de parámetros que proporcionan resultados en una onda sinusoidal de excitación de estos tres tipos de amortiguador. Inclusive en estos amortiguadores no viscosos están dando por elementos como dispositivos de fricción, bisagras de plástico, láminas de fricción, de caucho, moldeado de goma. Ninguno de estos otros dispositivos trabaja fuera de la fase de la respuesta estructural a flexión. Esto es simplemente porque los resultados de estos dispositivos dependen de otros parámetros distintos, además de, la velocidad. Por lo tanto, todos estos otros tipos de amortiguadores disminuirá la deformación en una estructura, pero a costa de aumentar el esfuerzo.

El esfuerzo se encuentra en un pico cuando el edificio ha flejado al máximo de su posición normal. Este es también el punto en el que la flexión de las columnas cambia de dirección para mover en la dirección opuesta. Si añadimos un líquido amortiguador a la construcción, la fuerza de amortiguación se reducirá a cero en este punto de máxima de deformación. Esto se debe a que la velocidad de recorrido amortiguador tiende a cero, como las columnas dirección opuesta. Como el edificio flexiona en la dirección opuesta, la fuerza máxima de amortiguación se produce a velocidad máxima, y esto se genera cuando la columna pasa por su posición normal vertical.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DEL FLUIDO AMORTIGUADOR

3.1 INTRODUCCIÓN

Dentro de los amortiguadores telescópicos hidráulicos, se denomina fluido hidráulico al que realiza el trabajo de amortiguamiento.

Uno de los objetivos específicos de este proyecto, tiene como finalidad hallar un fluido más eficiente que el líquido hidráulico común, para la aplicación de disipamiento de energía sísmica de los amortiguadores telescópicos hidráulicos.

El fluido hidráulico es un líquido transmisor de energía que se utiliza para transformar, controlar y transmitir los esfuerzos mecánicos, a través de una variación de presión o de flujo. También es lubricante, sellador y medio de transferencia térmica.

Las principales propiedades de este fluido son: viscosidad apropiada, variación mínima de viscosidad con la temperatura, estabilidad frente al cizallamiento, baja compresibilidad, buen poder lubricante, entre otras.³⁷

3.2 POSIBILIDADES DE FLUIDO AMORTIGUADOR

- Aceite de silicona 350 CSt.
- Aceite de silicona 60000 CSt.
- Aceite de amortiguador de avión.

³⁷ Fluidos Hidráulicos y sus características <http://www.quiminet.com.mx>, Español, Octubre 2008

3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE FLUIDO AMORTIGUADOR

Para realizar una selección adecuada de un fluido amortiguador, apto para aplicaciones sísmicas, se toma como referencia para esta aplicación tres tipos de fluidos hidráulicos más eficientes que el aceite común de amortiguadores de automóvil.

En el caso del aceite hidráulico utilizado en el campo de la aeronáutica, el fluido hidráulico empleado en trenes de aterrizaje es mucho más eficiente que el de uso común, debido a sus estrictas normas de seguridad, las cuales aplican la especificación militar americana MIL-H-5606F.

Con el aceite de silicona se toma el fluido para el análisis siguiendo las recomendaciones de fabricantes como TAYLOR DEVICES, que ha demostrado que este es un elemento eficiente para el amortiguamiento sísmico.

Al determinar las características y propiedades de los fluidos en análisis, se debe realizar una comparación teórica y experimental de viscosidades y analizar el fluido que tenga un valor más alto de este parámetro, ya que es directamente proporcional al coeficiente de amortiguamiento del amortiguador.

3.3.1 COMPARACIÓN CARACTERÍSTICAS

3.3.1.1 Aceite Aeroshell Fluid 41



Figura 3.1 Aceite Aeroshell Fluid 41

El Aeroshell Fluid 41 es un aceite mineral hidráulico de color rojo, fabricado con un alto índice de limpieza y con excelente propiedad de fluidez.

Se utiliza el nombre de aceite mineral hidráulico para aceites obtenidos por refinamiento del petróleo y cuyo uso es para lubricantes y extensivo en la industria metalmeccánica y automotriz.

Este aceite se destaca por contener aditivos que le otorgan una viscosidad adecuada y capacidad de lubricación frente a la temperatura y de disipación calor. Además, posee resistencia a la oxidación, características antidesgaste y es capaz de operar dentro de una amplia banda de temperatura.

El Aeroshell Fluid 41 se utiliza en todas las aplicaciones de aeronaves modernas que requieren de un aceite mineral hidráulico. Está particularmente recomendado donde el uso de un fluido "súper limpio" puede contribuir para la mejoría de la confiabilidad del componente. También puede ser utilizados en sistemas despresurizados entre -54° C y 90° C, y presurizados entre -54° C y 135° C, y en aquellos componentes de goma sintética. No debe ser usado en sistemas que incorporan goma natural.³⁸

Su precio en Europa, por ejemplo, para un envase de 5lt puede variar entre 25 y 30 Euros.³⁹

³⁸ Distribuidor de Lubricantes Shell Aviación <http://www.aerotecno.com>, Ingles, Octubre 2008

³⁹ Catalogo en línea de Productos Químicos <http://secure.silmid.com>, Ingles, Octubre 2008

3.3.1.1.1 Características físicas y químicas

En la Tabla 3.1 se describen las características y químicas del Aceite Aeroshell Fluid 41.

Tabla 3.1 Propiedades Aceite Aeroshell Fluid 41⁴⁰

AEROSHELL FLUID 41	
Color	Rojo
Estado físico	Líquido en temperatura ambiente
Olor	Característico de aceite mineral
Solubilidad en el agua	Negligible
Densidad	De 850 a 875 kg/m ³ at 15°C
Punto de flama	De 105 a 110°C
Temperatura de auto ignición	230°C.
Viscosidad cinemática	13 a 14 mm ² /s a 40°C
Gravedad específica	0.8670
Ph	0.03
Formación de espuma	20
Viscosidad cinemática a -40 F	437
Viscosidad cinemática a -65 F	1888
Viscosidad cinemática a 100 C	5.3
Viscosidad cinemática a 40 C	14

3.3.1.2 Aceite de Silicona Dow Corning 200 Fluid

Este es un fluido polidimetilsiloxano, transparente, inodoro e insaboro, que mejora el desempeño de los pulimentos de madera, metal y vidrio. Con un gran rango de viscosidades, el fluido es generalmente usado para pulimentos de 100 a 60000 centistokes.

Es insoluble en agua y muchas sustancias orgánicas, y altamente soluble en solventes orgánicos comunes, como el alifato e hidrocarbones aromáticos solventes.

A pesar de no ser un típico fluido hidráulico, se lo puede utilizar como tal debido a su estabilidad de viscosidad con respecto a cambios de temperatura, y también por su resistencia a altas presiones.

⁴⁰ Aeroshell Fluid 41 Safety Data Sheet, Ingles, 2008

Su precio en el mercado nacional es de 38USD por galón.

3.3.1.2.1 Características físicas y químicas

En la Tablas 3.2 y 3.3, se describen las características y químicas del Aceite de Silicona DOW CORNING

Tabla 3.2 Propiedades Aceite de Silicona DOW CORNING

<i>DOW CORNING 200 FLUID</i>	
Tipo	Dimetil Silixano Polímero
Estado	Fluido
Propiedades especiales	Repele al agua, fácil de remover, peso bruto
Usos frecuentes	Aplicaciones en automóviles, muebles, vidrio, pulimentos metálicos

Tabla 3.3 Propiedades Típicas Aceite de Silicona DOW CORNING

	Viscosidad Nominal a 25°C (77°F), CSt.				
	10	100	350	1000	30000
Color APHA, máximo	35				
Gravedad específica (25°C)	0,934	0,965	0,969	0,971	0,973
Índice de refractividad (25°C)	1,399	1,403	1,403	1,403	1,403
Punto de ebullición	163°C	315°C	315°C	321°C	321°C

3.3.1.3 Aceite de Silicona Wacker® ak 60000 Silicone Fluid

En la compañía fabricante de aceites WACKER, existe el producto WACKER® AK 60000 SILICONE FLUID, que es un polimethyl siloxano con una viscosidad aproximada de 60000 CSt. Debido a su estructura química, esta silicona tiene un excelente perfil de propiedades que la distinguen de materiales orgánicos como aceites minerales.

3.3.1.3.1 Características físicas y químicas

En la Tablas 3.4 y 3.5, se describen las características y químicas del Aceite de Silicona WACKER.

Tabla 3.4 Propiedades Aceite de Silicona WACKER

WACKER® AK 60000		
<i>Características típicas generales</i>	<i>Método de inspección</i>	<i>Valor</i>
Apariencia		Transparente, incoloro
Viscosidad, cinemática a 25°C	DIN 53018	aprox, 60000 mm ² /s
Densidad a 25°C	DIN 51757	aprox 0,97 g/cm ³
Índice de refracción a 25°C		aprox 1,404
Punto de inflamación	ISO 2592	>320°C
Tensión superficial a 25°C		0,022N/m
Temperatura de ignición (líquido)	DIN 51794	aprox 450°C

Tabla 3.5 Propiedades adicionales Aceite de Silicona WACKER⁴¹

Características Especiales	<ul style="list-style-type: none">- Cambios mínimos de las propiedades físicas con amplio rango de temperatura- Excelentes propiedades repelentes al agua- Baja tensión superficial y alta actividad superficial- Bajo punto de solidificación- Alto punto de inflamación- Alta resistencia al calor- Buena solubilidad con un amplio rango de solventes
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none">- Fluido hidráulico- Agente anti-espuma- Agente impermeable- Líquido dieléctrico para equipos eléctricos y electrónicos- Aditivo de pulimento- Medio amortiguador

⁴¹ Compañía fabricante de producto químicos, <http://www.wacker.com>, Ingles, Noviembre 2008

3.3.1.4 Comparación teórica de diferentes fluidos hidráulicos

En la Tablas 3.6, se describen la comparación teórica de diferentes fluidos hidráulicos.

Tabla 3.6 Cuadro comparativo diferentes tipos de fluidos hidráulicos⁴²

	<i>Flujo a baja temperatura</i>	<i>Estabilidad contra oxidación</i>	<i>Estabilidad térmica</i>	<i>Compatibilidad con sellos y pinturas</i>	<i>Costo relativo</i>
Hidrocarburos	MB	MB	MB	B	Moderado
Poliglicoles	MB	B	MB	R – B	Moderado
Ésteres de fosfatos	M	B	M	M	Moderadamente Alto
Esteres orgánicos	E	E	B	M	Moderado
Siliconas	E	E	MB	MB	Alto
Polifeniléteres	M	E	E	E	Muy Alto
Fluorocarbonos	M	E	E	MB	Muy Alto

⁴² Avallone , Eugene A., Manual del Ingeniero , novena edición tomo 2 Capitulo 6 Lubricantes

3.3.2 SELECCIÓN DE FLUIDO

3.3.2.1 Comparación de viscosidades

El análisis de viscosidades de los tres tipos de aceites seleccionados, Aceite Aeroshell Fluid 41, Aceite de Silicona Dow Corning 200 Fluid y Aceite de Silicona Wacker® 60000 Silicone Fluid, consiste en determinar las viscosidades de manera experimental, y realizar una comparación entre los valores teóricos y los obtenidos mediante el experimento. Una vez obtenidos estos resultados se puede seleccionar el fluido más eficiente para utilizar en el diseño del amortiguador.

Esta comparación tiene como objetivo comprobar el aumento del coeficiente de amortiguamiento de un amortiguador telescópico hidráulico. De esta manera como preámbulo, se espera tener un aumento considerable del coeficiente de amortiguamiento solamente cambiando el fluido de trabajo.

Los ensayos que posibilitaron la realización del análisis para este proyecto de grado se lo realizó en el CEINCI⁴³ con la ayuda de los Doctores Vicente Delgado y Aguirre, quienes facilitaron a los autores del mismo, los instrumentos, los equipos y la ayuda técnica para su correcta realización.

3.3.2.2 Ensayo

El ensayo se lo realizó con el Viscosímetro Brookfield DV-II. Al momento de la actividad, el equipo no se encontraba calibrado y se realizó una aproximación de datos de entrada, así como el número de paletas (splindles) y las rpm más aptas para los fluidos y así tener unos resultados con muy bajo error.

Este tipo de experimentos se los realiza a 25°C de temperatura y un porcentaje de humedad determinado; sin embargo, este ensayo no se lo pudo realizar con estos parámetros y, por lo tanto, los resultados obtenidos no son del todo

⁴³ ECUADOR, Centro de Investigaciones Científicas de la Escuela Politécnica del Ejercito

exactos pero son una excelente aproximación de los valores reales, debido a que la viscosidad de los fluidos en prueba es estable, con variaciones pequeñas de temperatura.

3.3.2.2.1 Equipos empleados

Para la realización de estos ensayos se utilizó el Viscosímetro Brookfield DV-II



Figura 3.2 Viscosímetro Brookfield DV-II



Figura 3.3 Viscosímetro Brookfield DV-II

A continuación, se detallan los componentes de este viscosímetro, las características técnicas, especificaciones y el procedimiento de uso:

- **Componentes**

Component	Part Number	Quantity
DV-II+ Viscometer	varies	1
Model S Laboratory Stand	MODEL S	1
Spindle Set with Case	varies	1
LV DV-II+ set of four spindles or	(SSL)	1
RV DV-II+ set of seven spindles or	(SSR)	1
HA/HBDV-II+ set of seven spindles	(SSH)	1
<i>For Cone/Plate versions: a spindle wrench, one cone spindle and sample cup, Part No. CPE-44Y replace the spindle set.</i>		
Power Cord		1
DVP-65 for 115 or		
DVP-66 for 230		
RTD Temperature Probe	DVP-94Y	1
Guard Leg:		1
LV DV-II+	B-20Y	
RV DV-II+	B-21Y	
Carrying Case	DVE-7Y	1
DVLOADER Software Disk (3-1/2")	DVLOADER	1
Interconnecting Cable	DVP-80Y	1
Operating Manual	M/97-164	1

Figura 3.4 Componentes Viscosímetro Brookfield DV-II⁴⁴

- **Características técnicas**

Tabla 3.7 Características técnicas Viscosímetro Brookfield

Voltaje de entrada:	115 VAC o 230 VAC
Ciclos:	50/60 Hz
Consumo de poder:	Menos de 20 WATTS
Código de colores del cable de poder:	
Vivo:	Café
Neutral:	Azul
Tierra:	Verde/Amarillo

⁴⁴ Manual Viscosímetro Brookfield, http://foodeng.wisc.edu/manual/brookfield_DV2_D.pdf, Ingles, Enero 2009

- **Especificaciones**

Tabla 3.8 Especificaciones Viscosímetro Brookfield

Tipo:	Rotatoria
Peso Bruto:	23 lbs. (10.5 kg.)
Peso Neto	20 lbs. (9 kg.)
Rango de Temperatura de medición:	-100°C a 300°C (-148°F a 572°F)
Torque Análogo de Salida:	0 - 1 Volt DC (0 - 100% Torque)
Temperatura Análoga de Salida:	0 - 4 Volts DC (10mv / °C)
Precisión de Viscosidad:	±1.0% en escala total
Repetitividad de Viscosidad:	±0.2%
Precisión de Temperatura:	±1°C: -100°C a +149°C ±2°C: +150°C a +300°C

- **Procedimiento de uso**

El siguiente procedimiento se utiliza, en general, para hacer mediciones de viscosidad. Brookfield recomienda el uso de un vaso de precipitación de 600 ml. cuando se utilizan ejes o paletas (splindles) de tipo: LV / RV / HA / HB.

Pasos:

1. Monte las paletas en el viscosímetro (RV o LV).
2. Insertar y centrar el husillo en el fluido de ensayo hasta que el nivel del líquido este en el nivel a la altura ranura del eje del árbol.

Con un husillo tipo disco, es necesario inclinar ligeramente el eje, mientras se realiza la inmersión para evitar la captura de burbujas de aire en la superficie del fluido.

Conectar el eje de la parte inferior del viscosímetro. Levantar ligeramente el eje, manteniéndolo firmemente con una mano mientras se

enrosca el husillo. Verificar la correcta profundidad de inmersión del eje que el viscosímetro este a nivel.

3. El proceso de selección del husillo y la velocidad de un líquido desconocido es normalmente ensayo y error. Una selección apropiada dará lugar a las mediciones efectuadas entre 10-100 % de la escala de torque del instrumento.
4. Pulsar la tecla MOTOR ON / OFF / ESCAPE y apagar el motor con la tecla "OFF" cuando se cambie un eje o alguna muestra. Remover el husillo antes de limpiarlo.

3.3.2.2.2 Resultados Obtenidos

Quito, Noviembre 29 del 2008

Determinación de Viscosidad

Tabla 3.9 Resultados Muestra 1

<i>MUESTRA 1</i>		
<i>Producto</i> Dimetil Siloxano Polímero Fluido 200		
<i>Parámetros De Análisis</i>		
Temperatura	20,5	°C
Paleta	RV2	
RPM	20	
<i>Resultado</i>		
Viscosidad	436	cP

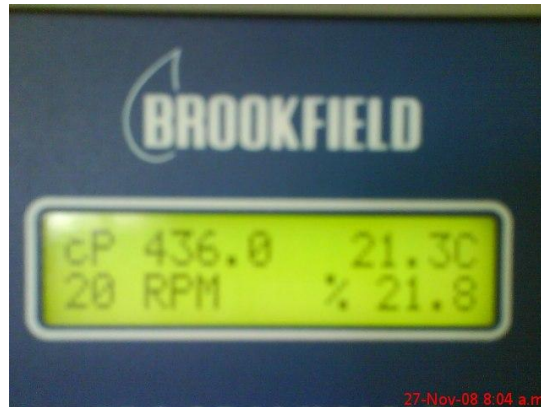


Figura 3.5 Resultado Muestra 1

Tabla 3.10 Resultados Muestra 2

MUESTRA 2		
Producto		
Aeroshell Fluid 41		
Parámetros De Análisis		
Temperatura:	21,1	°C
Paleta:	RV2	
RPM:	20	
Resultado		
Viscosidad	51,6	cP

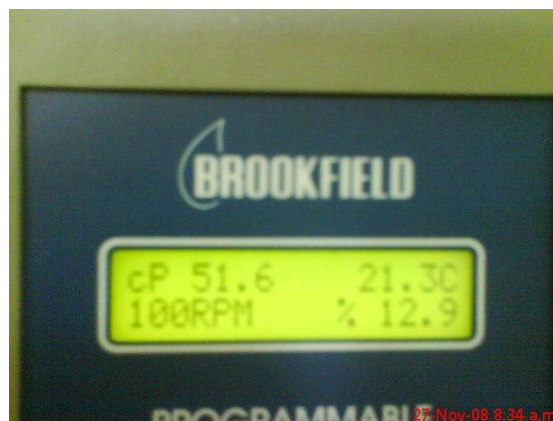


Figura 3.6 Resultados Muestra 2

Tabla 3.11 Resultados Muestra 3

MUESTRA 3		
Producto		
Dimetil Siloxano Polímero WACKER®AK 60000		
Parámetros De Análisis		
Temperatura	24,8	°C
Paleta	RV6	
RPM	20	
Resultados		
Viscosidad	66408	cP



Figura 3.7 Resultados Muestra 3

Tabla 3.12 Cuadro Comparativo de Resultados de Ensayos

CUADRO COMPARATIVO DE VISCOSIDADES		
	TEÓRICO	PRÁCTICO
Aeroshell Fluid 41	93,3 CSt.	43,9 CSt.
Dimetil Siloxano Polímero Fluido 200	350 CSt.	422,5 CSt.
Dimetil Siloxano Polímero Fluido 200 AK 60000	60000 CSt.	64408 CSt.

3.3.2.3. Determinación del fluido a emplear en construcción

Dadas las características mostradas en los ensayos, y en las propiedades de cada material según su fabricante, se determina que para la construcción del amortiguador se va a utilizar el ACEITE DE SOLICONA WACKER® AK 60000 SILICONE FLUID.

CAPÍTULO 4

DISEÑO MECÁNICO

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL AMORTIGUADOR A UTILIZAR

Para el diseño de un amortiguador óptimo, se elige un amortiguador telescópico hidráulico para automóvil marca SACHS (Figura 4.1), de tipo bitubo y con todas sus partes desmontables; por lo tanto se permite la inclusión de otro fluido hidráulico y manipulación de las válvulas. Las partes del amortiguador se las puede apreciar en los planos en el ANEXO A.



Figura 4.1 Amortiguador SACHS

Este amortiguador fue elegido en el presente proyecto, debido a que presenta propiedades adecuadas para su modificación y al ser un amortiguador de automóvil de competencia posee características de robustez adicionales con respecto a los amortiguadores comunes; con esto hay más libertad de aumentar las cargas de trabajo a las cuales este va a operar y con las modificaciones pertinentes, aumentar las propiedades que lo harán apto para funcionar como disipador sísmico; esto con el respectivo respaldo del diseño mecánico a desarrollar en el presente capítulo.

4.1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Uno de los mecanismos más eficientes para añadir capacidad de disipación de energía a una estructura, es mediante el uso de amortiguadores viscosos.

Como se muestra en la Figura 4.3, este mecanismo disipa energía transfiriendo un fluido a través de un orificio y produciendo una presión de amortiguamiento.

Básicamente un amortiguador viscoso es comparable a los amortiguadores utilizados en los autos, con la diferencia de que los utilizados en estructuras operan en un rango de fuerzas más alto.

Además, los amortiguadores utilizados en estructuras son considerablemente mayores que los usados en los autos y también son construidos en acero inoxidable y otros materiales extremadamente duraderos los cuales tienen una duración de por lo menos 40 años. El fluido de estos amortiguadores tiene las siguientes propiedades generales: es inerte, no inflamable, no tóxico, y estable por largos periodos de tiempo.

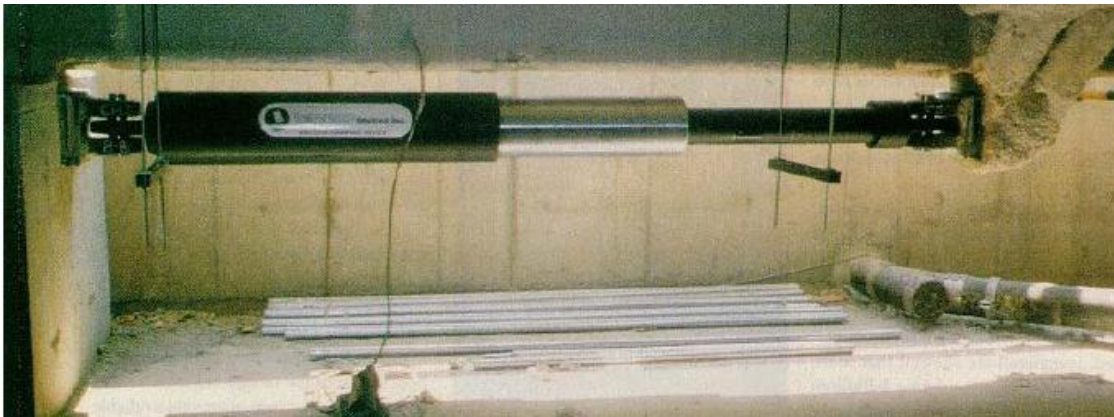


Figura 4.2 Ejemplo de un amortiguador viscoso.⁴⁵

Si a un fluido que circula por un conducto se le pone una restricción, como por ejemplo, un orificio o un estrangulamiento, el fluido, el cual tenía una cierta presión y temperatura en la entrada, sale con una presión inferior y una temperatura superior. De esta manera se ha transformado energía mecánica en energía térmica.

Además, es fácil ver que el fluido ejerce una fuerza sobre el orificio o estrangulamiento debido a la variación de presión que generó. Por lo tanto, se determina que, este efecto de conversión de energía es la base de todo amortiguador hidráulico.

En cualquier amortiguador hidráulico existe una parte móvil que desplaza un fluido (generalmente aceite) a través de unos orificios y/o válvulas que son las

⁴⁵ Universidad de Castilla-La Mancha, www.uclm.es, Español, Octubre 2008

encargadas de producir una pérdida de carga. La fuerza de amortiguamiento se produce, principalmente, por la caída de presión generada en las válvulas, aunque también influyen otros factores como la fuerza de fricción existente o la presión del gas en caso de que lo haya.

4.1.1.1 Carrera de compresión

Cuando el vástago penetra, como se muestra en la figura 4.3, el aceite contenido en la cámara interior fluye sin resistencia a través de los orificios A, B, C y D, y la válvula de no retorno 19, hacia el espacio generado al otro lado del pistón.

Simultáneamente, una cierta cantidad de aceite se desplaza por el volumen que el vástago va ocupando en la cámara interior. Este aceite pasa, forzosamente, por la válvula de pie hacia la cámara de reserva. La fuerza de amortiguamiento viene se da por la resistencia que impone la válvula de pie al paso del aceite.

4.1.1.2 Carrera de extensión

Al tirar del vástago hacia afuera, el aceite que queda por encima del pistón se comprime y pasa a través de las válvulas que hay en él. La resistencia que el aceite encuentra en dichas válvulas es la fuerza de amortiguamiento de extensión. El aceite que había llegado a la cámara de reserva (6) vuelve sin hallar resistencia por la válvula de pie a la cámara interior para compensar el volumen liberado por el vástago.

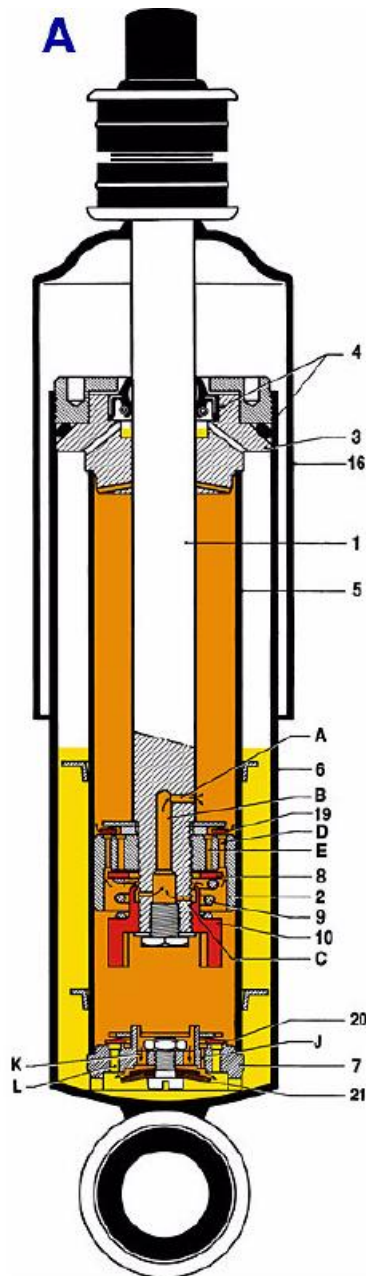


Figura 4.3 Componentes Principales⁴⁶

4.1.1.3 Componentes principales

- Tubo y cámara exterior o de reserva (6).
- Tubo y cámara interior o cilindro (5).
- Pistón (2), acoplado al vástago (1).
- Válvula de pie (7).
- Guía del vástago (3).
- Acoplamiento superior e inferior(A).

⁴⁶ Universidad de Castilla-La Mancha, www.uclm.es, Español, Octubre 2008

4.1.2 DESPIECE DEL AMORTIGUADOR

El despiece y detalle de partes y piezas del amortiguador se detallan en planos realizados partir del amortiguador SACHS (Figura 4.1), estos se muestran en el ANEXO A.

4.1.3 DETALLE DE LAS PARTES Y ELEMENTOS DEL AMORTIGUADOR.

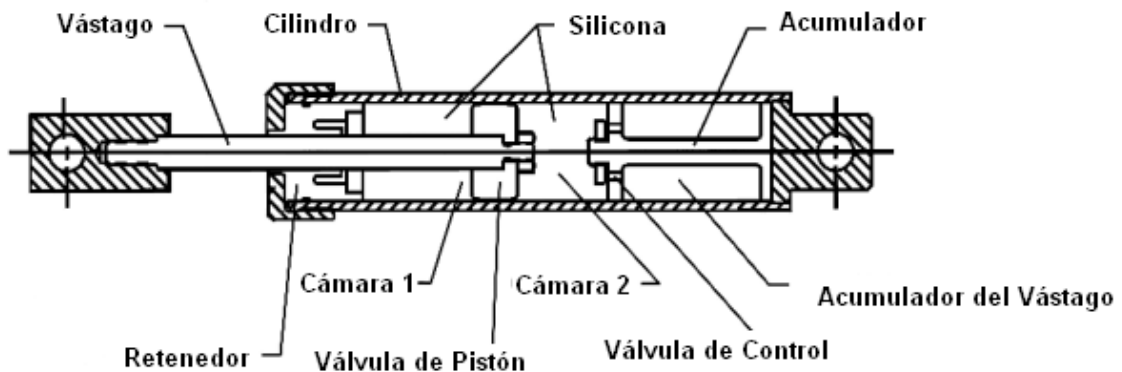


Figura 4.4 Amortiguador Hidráulico⁴⁷

Un amortiguador viscoso (Figura 4.4) básicamente comprende 7 partes, estas van a ser detalladas a continuación:

Vástago:

El vástago es altamente pulido en su diámetro exterior, se desliza a través de la junta y el sello retenedor. Su extremo exterior se adhiere a uno de los dos bujes de montaje acoplados y el extremo interior alcanza la cabeza del pistón.

En general, el vástago debe reaccionar con todas las fuerzas de amortiguación, además de proporcionar una interfaz de sellado con el sello. Dado que el vástago es relativamente delgado y debe soportar en su eje condiciones de carga que normalmente se fabrica a partir de materiales de alta resistencia como el acero.

El acero inoxidable es la primera opción para su fabricación ya que cualquier tipo de herrumbre o corrosión en la superficie de la varilla puede causar problemas en el sello del cilindro.

⁴⁷ Fabricante de disipadores sísmicos, www.taylordevices.com, Ingles, Octubre 2008

Cargas de flexión sobre el vástago pueden convertirse en una cuestión de diseño, en caso de que un amortiguador tenga más de 0,3 m de desplazamiento. Para aplicaciones que requieren un desplazamiento largo, se usa un tubo de acero estructural guía manga para proteger el vástago de un exceso de cargas de flexión.

Cilindro:

El cilindro, que contiene fluido de trabajo, se encuentra bajo un medio de presión de carga cuando el amortiguador está en funcionamiento. Las botellas suelen ser fabricadas a partir de tubos de acero sin costura, ya que, soldadas no son admisibles para el amortiguador de cilindros, debido a posibles fallas por fatiga y un concentrador debido a grietas.

Los cilindros normalmente están diseñados para una presión mínima de prueba de carga igual a 1,5 veces la presión interna en virtud de una espera máxima creíble del evento sísmico. Por definición, en la prueba de presión de carga deben ser capaces de resistir sin ceder, a daño o fugas de cualquier tipo.

Fluido Amortiguador:

Para aplicaciones de ingeniería estructural se requiere un líquido que sea resistente al fuego, no tóxico, térmicamente estable, y que no se degrade con el tiempo. Este líquido debe ser clasificado como no inflamable, con punto de inflamación superior a 90 ° C.

Dentro de los fluidos comerciales que cumplen estas características esta la familia de las siliconas, esta tienen un punto de inflamación superior a 340 ° C, son considerados inertes, completamente no tóxicos, y son térmicamente estables. Dado que los fluidos de silicona son producidos por destilación, el líquido es completamente uniforme. Los líquidos utilizados en un amortiguador son prácticamente idénticos a la silicona utilizada en aplicaciones como de crema facial y cosmética.

Sello:

Los retenedores y empaques utilizados en un fluido amortiguador deben ser capaces de tener una larga vida de servicio, a los menos 25 años sin necesidad de una sustitución periódica. Los materiales de sellado deben ser cuidadosamente elegidos para este servicio y deben tener una buena compatibilidad con el fluido del amortiguador. Los amortiguadores en las estructuras están sujetos a menudo sujetos a largos períodos de uso. Los sellos no se deben exponer a largos periodos de carga ni permitir la filtración de líquido. La mayoría de amortiguadores dinámicos usa los sellos en la interfaz de vástago, y las juntas cuando los empaques o retenedores se adhieren a la botella.

Pistón:

El pistón se sujeta al vástago, y divide el cilindro de presión en dos cámaras. Como tal, el pistón sirve para barrer el líquido a través de orificios situados en su interior, generando así la presión de amortiguación.

Acumulador (Tubo de reserva):

A medida que el pistón y la barra se mueven hacia arriba, hacia la parte superior del tubo de presión, el volumen de la cámara superior se reduce y por lo tanto está a una presión más alta que la cámara inferior. Debido a esta presión más alta, el fluido circula hacia abajo, a través de la válvula de extensión del pistón, a la cámara inferior.

Sin embargo, el volumen de la barra del pistón ha sido extraído de la cámara inferior, lo cual aumenta enormemente su volumen. Por lo tanto, el volumen de fluido procedente de la cámara superior es insuficiente para llenar la cámara inferior. La presión en el tubo de reserva es ahora mayor que la presión en la cámara inferior, lo cual fuerza a la válvula de entrada de compresión a desasentarse. A continuación, el fluido circula del tubo de reserva a la cámara inferior, manteniendo lleno el tubo de presión.

Orificios:

El efecto de pérdida de carga que tiene lugar dentro del amortiguador depende básicamente del caudal que circula a través de los orificios, caudales mismo que es, en teoría, directamente proporcional a la velocidad a la que se mueve el pistón relativo al cilindro de trabajo, por lo que la fuerza de amortiguamiento estará función de la velocidad.

El éxito en el funcionamiento de cualquier amortiguador se alcanza al conseguir el control de la fuerza generada en función del movimiento impuesto sobre éste, para poder optimizar el amortiguamiento. Los amortiguadores hidráulicos convencionales se basan en la conversión de la energía cinética (movimiento) en energía térmica (calor).

4.2 PRINCIPIO Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO

El principio de funcionamiento de los amortiguadores hidráulicos convencionales está basado en la conversión de la energía cinética (movimiento) en energía térmica (calor).

Para conseguir este objetivo, el aceite hidráulico que contiene el amortiguador en su interior debe pasar, de la cámara inferior a la superior del cilindro hidráulico cuando se comprime y de la cámara superior a la inferior en la fase de extensión, a través de unos orificios reducidos y sistemas de válvulas que incorpora el pistón

La resistencia hidráulica resultante en el movimiento del pistón define la mayor o menor rigidez de amortiguación.

4.2.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Los amortiguadores telescópicos hidráulicos tienen más de un siglo de evolución, los primeros funcionaron con fricción seca. Luego de que se descubrieron las ventajas de la fricción dinámica con fluidos, se diseñaron diferentes configuraciones. La configuración telescópica ha sido la más exitosa debido a su simplicidad, desempeño y bajo costo.

Los fabricantes de amortiguadores desarrollan y diseñan el disipador apropiado para cada tipo de uso, esto sobre la base de las dimensiones constructivas y en función de las “Curvas características de amortiguación”: Fuerza–Velocidad y Fuerza–Desplazamiento.

El calibre de los orificios reducidos y de los sistemas de válvulas internos y el fluido hidráulico que incorporan los amortiguadores configura el tratado de amortiguación de estas curvas características de trabajo.

4.2.2 REDUCCIÓN DE LAS OSCILACIONES

La finalidad de los amortiguadores es reducir las oscilaciones, en el campo de la disipación sísmica, este debe hacerlo para evitar el fallo de la estructura. La reducción de las oscilaciones se logra al completar el ciclo de amortiguamiento del disipador. El ciclo se lo detalla a continuación:

Las válvulas internas del amortiguador están diseñadas de tal forma, que la fuerza de amortiguación se ajusta automáticamente en función de la velocidad del pistón en las fases de extensión y compresión. A mayor velocidad del pistón en su movimiento mayor es la fuerza de amortiguación generada y viceversa.

En la fase de extensión, las oscilaciones aplicadas al amortiguador, provocan una carrera ascendente del pistón. En este caso, la válvula del pistón es la encargada de la amortiguación. La válvula del pistón “se opone y retiene” el paso del aceite que tiende a fluir de la cámara superior a la inferior, “frenando” el movimiento del pistón.

La válvula de fondo permite el paso del aceite necesario de la cámara de reserva a la cámara inferior del cilindro. En la fase de compresión, las oscilaciones aplicadas provocan una carrera descendente del pistón. En este caso, es la válvula de fondo la encargada de la amortiguación.

El aceite desalojado, al introducirse el pistón, fluye a la cámara de reserva. La válvula de fondo “se opone y retiene” el paso del aceite que tiende a fluir de la

cámara inferior a la de reserva, “frenando” el movimiento del pistón. La válvula del pistón está abierta y permite el paso del aceite de la cámara inferior a la superior del cilindro.

4.3 DISEÑO DEL AMORTIGUADOR

4.3.1 DETERMINACIÓN REQUERIMIENTOS DEL AMORTIGUADOR

Se toma como ejemplo un amortiguador que tiene la capacidad de atenuar el 51% de la energía sísmica que ingresa a un pórtico de similares características al de la Figura 4.5, al ser sometido una simulación con el acelerograma del sismo “EL CENTRO” (Figura 4.6).

Las características de este elemento se las puede ver en la Tabla 4.1 y tomando como referencia los amortiguadores TAYLOR, se toma dos disipadores con desempeño parecido al amortiguador de ejemplo, y se utilizan estas propiedades como los requerimientos que debe cumplir el amortiguador a diseñar.

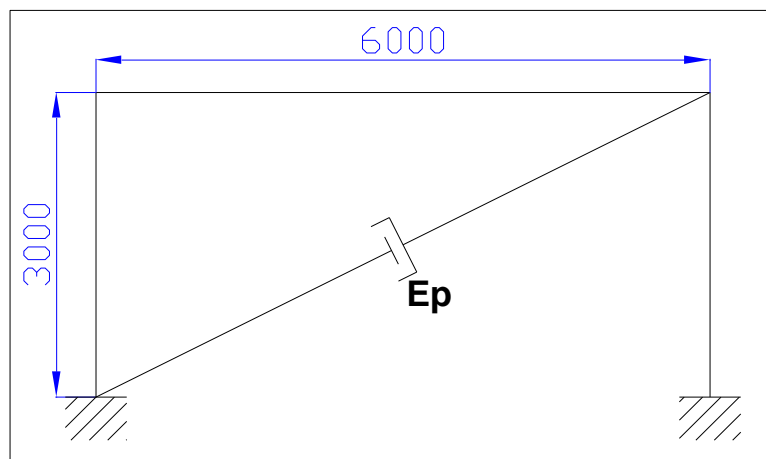


Figura 4.5 Pórtico de prueba

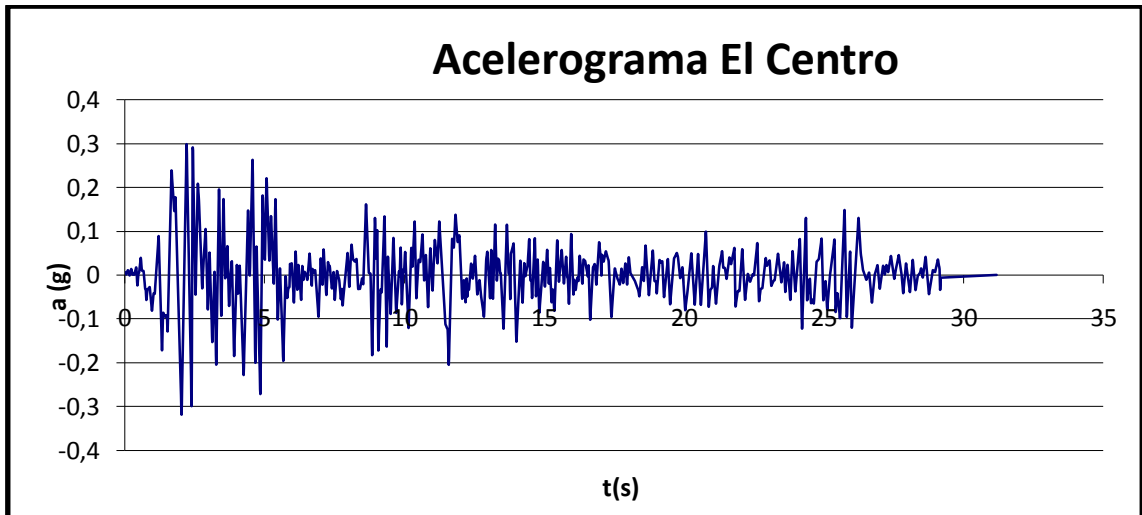


Figura 4.6 Acelerograma sismo “EL CENTRO”

Tabla 4.1 Características amortiguador prueba

Valores para el análisis lineal	
A Elasticidad efectiva (N/cm)	0
Coefficiente de amortiguamiento efectivo (N – s/cm)	160
Valores para el análisis no lineal	
Elasticidad (N/cm)	100000
	0
Coefficiente de amortiguamiento (N – s/cm)	160
Exponente de amortiguamiento	1

Fuente: Ejemplo 6 – 006 SAP 2000

Tabla 4.2 Características amortiguadores TAYLOR

	<i>Amortiguador 1x1 HS</i>	<i>Amortiguador 1-1/2 x 3 HS</i>
Capacidad de Energía (in-lbs.)	2000	19200
Fuerza de amortiguamiento (lbs.)	2400	8000
Desplazamiento (in)	0,4	3
Diámetro vástago (in)	0,46	1,34
Longitud del cuerpo (in)	3,12	11,74
Diámetro del cuerpo (in)	0,74	1,62
Velocidad de operación in/sec	10-150	10-150

Fuente: www.taylordevices.com

4.3.2 PARÁMETROS DE ENTRADA DEL AMORTIGUADOR A UTILIZAR

Los parámetros de entrada para el diseño son geometría, diámetro hidráulico, velocidad de trabajo y Número de Reynolds y estos se detallan a continuación:

4.3.2.1 Geometría

Dentro de la comprobación y rediseño del amortiguador SACHS, la geometría a tomar en cuenta es la del pistón principal, la de la válvula de pie y la del tubo interior donde ésta se encuentra ubicada.

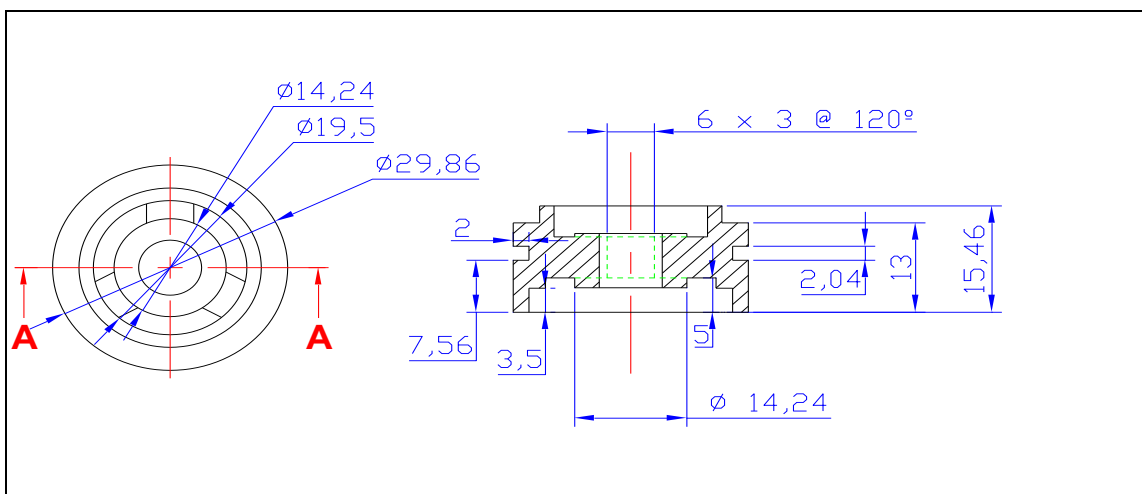


Figura 4.7 Geometría del pistón amortiguador SACHS

Tabla 4.3 Valores de área y perímetro de los agujeros del pistón

Área	16,143	mm ²
Perímetro	17,932	mm
Área Total	48,43	mm ²
Perímetro Total	53,796	mm

Fuente: AUTOCAD

4.3.2.2 Diámetro hidráulico

Gran parte de las fórmulas para la determinación de las características de los elementos del amortiguador son desarrolladas para conductos de sección recta circular. Por tal razón, se utiliza la fórmula del diámetro hidráulico para hacer uso de estas expresiones.

En el caso del amortiguador SACHS se determinará el diámetro hidráulico para el pistón, con los datos de la TABLA 4.3

$$D = \frac{4 \cdot S}{P} \quad (4.1)$$

Donde

P Perímetro mojado

S Superficie del conducto

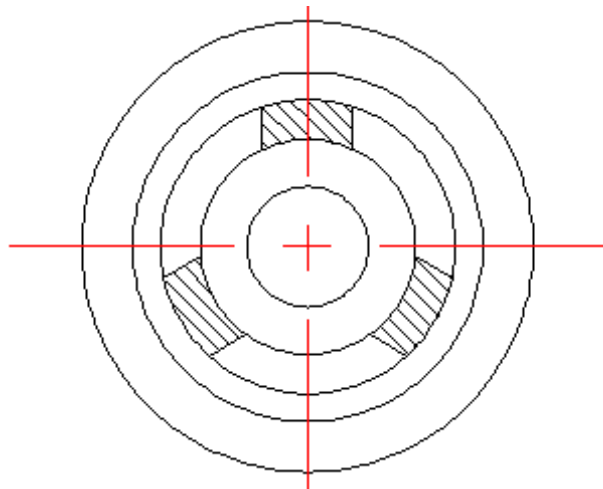


Figura 4.8 Agujeros del Pistón del amortiguador SACHS

4.3.2.3 Velocidad

Tomando como referencia las recomendaciones de las velocidades de trabajo de los amortiguadores TAYLOR Serie M (TABLA 4.2), se tiene un rango de operación de velocidad del pistón de 10-150 in/seg. Para el diseño se toma el mayor valor donde el disipador presentara su mayor eficiencia.

4.3.2.4 Reynolds

Para la determinación del factor de fricción, se utiliza

El número de Reynolds y con flujo laminar para la determinación de la fricción.

$$Nr = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (4.2)$$

Donde

D : Diámetro del ducto

v : Velocidad promedio del líquido

ν : Viscosidad cinemática del líquido

4.3.3 COMPROBACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL AMORTIGUADOR

4.3.3.1 Consideraciones Previas

En el proceso de la comprobación de la geometría del amortiguador SACHS, se va a analizar 4 tipos de amortiguadores para justificar esta comprobación y comparar el tipo de desempeño de estos como disipadores de energía. Los amortiguadores son:

- *Amortiguador 1:*

Amortiguador SACHS sin ningún tipo de modificación, utiliza aceite hidráulico como fluido de trabajo (AEROSHELL FLUID 41). Las válvulas no sufren ninguna modificación.

- *Amortiguador 2:*

Amortiguador SACHS con aceite de silicona como fluido de trabajo (350 CSt.). Las válvulas no sufren ninguna modificación.

- *Amortiguador 3:*

Amortiguador SACHS con aceite de silicona como fluido de trabajo (350 CSt.). Las válvulas si son modificadas.

- *Amortiguador 4:*

Amortiguador SACHS con aceite de silicona como fluido de trabajo (60000 CSt.). Las válvulas si son modificadas.

4.3.3.2 Análisis válvula del pistón

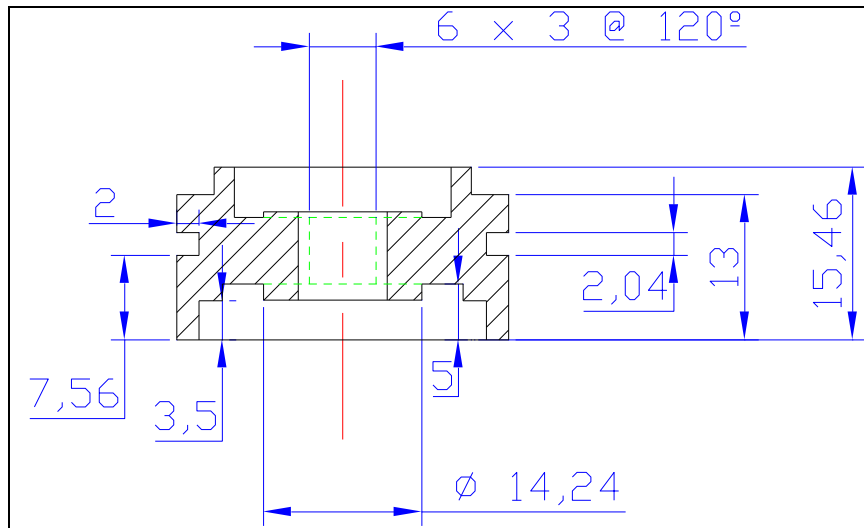


Figura 4.9 Vista en corte del pistón del amortiguador SACHS

De acuerdo a investigaciones realizadas⁴⁸, se determina que el uso de la ecuación de Bernouilli aplicada entre las cámaras “1” y “2” de la figura 4.10 conduce a la relación funcional siguiente, la cual tiene en cuenta las pérdidas de cargas continuas y singulares.

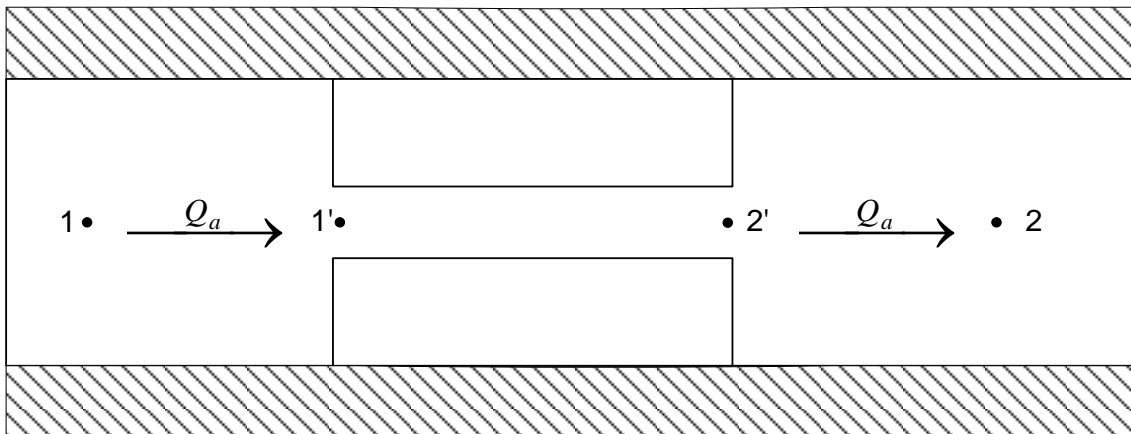


Figura 4.10 Diferencia de presión en los agujeros⁴⁹

$$p_1 - p_2 = \frac{8 \cdot \rho \cdot Q_a^2}{\pi^2 \cdot D_a^4} \left[1 + K_a + \frac{f_a \cdot L_a}{D_a} \right] \quad (4.3)$$

⁴⁸ Idelchik I.E. , Mémento des pertes de charge

⁴⁹ Estudio del comportamiento térmico y dinámico de los amortiguadores para vehículos automóviles tipo turismo, Tesis Doctoral, Marcos Alonso Báez

Donde

p_1 : Presión entrada

p_2 : Presión de salida

ρ : Densidad del fluido circulante

Q_a : Caudal volumétrico referenciado a la entrada

D_a : Diámetro (hidráulico del cilindro)

K : Coeficiente adimensional de pérdida de carga en la entrada

f : Coeficiente de Darcy-Weisbach

L : Longitud del conducto

Por medio de los agujeros del pistón SACHS se disipa aproximadamente un 10% de la carga ingresada al amortiguador. La caída de presión a través de una válvula de alivio no debe sobrepasar el 25% de la carga ingresada⁵⁰.

4.3.3.3 Análisis válvula del tubo de reserva

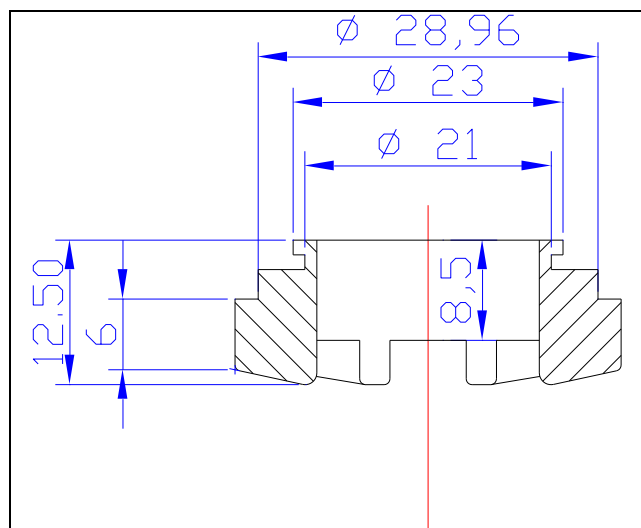


Figura 4.11 Vista en corte de la válvula de pie del amortiguador SACHS

$$Av = \left(\frac{Q \cdot \sqrt{Sf}}{27.2 \cdot \sqrt{Pd} \cdot Kp} \right) \quad (4.4)$$

⁵⁰ GREENE, R. Válvulas: selección, uso y mantenimiento

Donde

A_v : Orificio requerido en la válvula

Q : Caudal

S : Densidad del fluido

P_d : Presión graduada

K_p : Factor de corrección de acuerdo a la caída de presión

4.3.3.4 Diseño de los resortes de las válvulas

Para aumentar la energía absorbida por el pistón se procede al redimensionamiento del resorte del pistón. Su diseño se detalla a continuación:

4.3.3.4.1 Esfuerzo en el resorte helicoidal

$$\tau = \frac{8 \cdot F \cdot D_i}{\pi \cdot d^3} \quad (4.5)$$

Donde

D_i : Diámetro exterior del resorte

d : Diámetro del alambre del resorte

τ : Esfuerzo de torsión del resorte

F : Fuerza ejercida

4.3.3.4.2 Número de vueltas

$$N_a = \frac{d^4 \cdot G_s \cdot c_s}{8 \cdot D_i^3 \cdot F^3} \quad (4.6)$$

Donde

D_i : Diámetro exterior del resorte

d : Diámetro del alambre del resorte

G_s : Módulo de elasticidad en torsión para un alambre A228

c_s : Desplazamiento en compresión del resorte

4.3.3.5 Análisis constante de amortiguamiento

La constante de amortiguamiento de un amortiguador se la puede obtener mediante la ecuación 4.7. Este análisis comprende un método adicional de diseño para la determinación de las características del amortiguador.

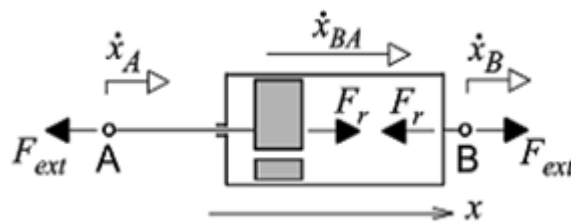


Figura 4.12 Esquema funcionamiento amortiguador telescópico

$$c = 8\pi v l \left[\left(\frac{D}{d} \right)^2 - 1 \right]^2 \quad (4.7)$$

Donde

D : Diámetro del cilindro

d : Diámetro del orificio

l : Longitud del orificio

v : Viscosidad del fluido amortiguador

4.3.3.6 Análisis Fuerza de Amortiguamiento

Según la ecuación 4.8, la fuerza de amortiguamiento de un amortiguador viene dado por:

$$F = c \cdot v \quad (4.8)$$

Donde

c : Constante de amortiguamiento

v : Velocidad de operación del amortiguador

4.3.4 REDISEÑO DEL AMORTIGUADOR

4.3.4.1. Diseño del pistón

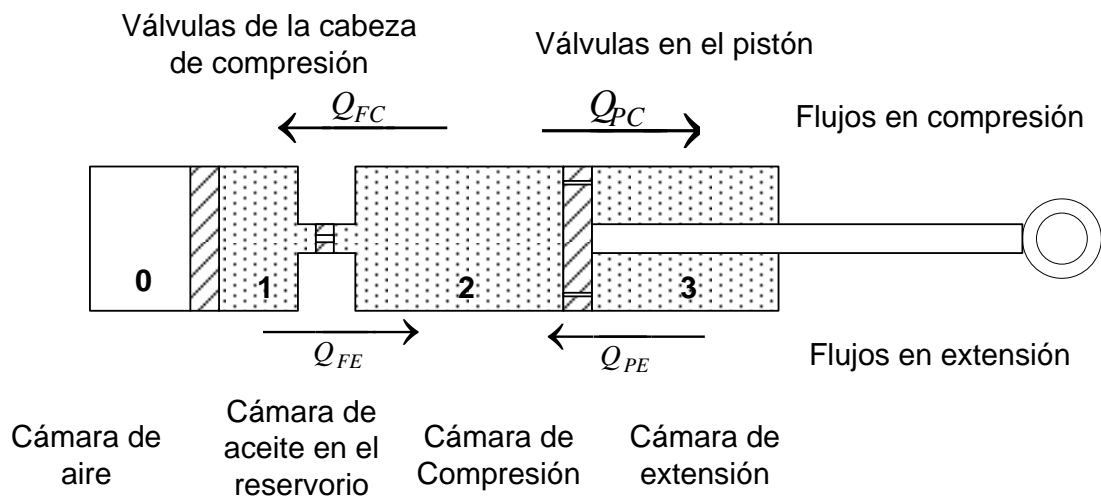


Figura 4.13 Funcionamiento Amortiguador Hidráulico⁵¹

Donde

Q_{FC} : Caudal por la cabeza de compresión en compresión

Q_{PC} : Caudal por el pistón en compresión

Q_{FE} : Caudal por la cabeza de compresión en extensión

Q_{PE} : Caudal por el pistón en extensión

⁵¹ Estudio del comportamiento térmico y dinámico de los amortiguadores para vehículos automóviles tipo turismo, Tesis Doctoral, Marcos Alonso Báez

4.3.4.1.1 Fuerza axial en la compresión

La fuerza axial resultante sobre el pistón durante en compresión es:

$$F_{PC} = P_C \cdot A_P - P_E \cdot (A_P - A_E) \quad (4.9)$$

Donde

P_C : Presión en la cámara de compresión

P_E : Presión en la cámara de extensión

A_P : Área transversal del pistón

A_E : Área transversal del eje

4.3.4.1.2 Fuerza axial en la extensión

La fuerza axial resultante sobre el pistón durante extensión es:

$$F_{PE} = P_E \cdot (A_P - A_E) - A_P \cdot P_C \quad (4.10)$$

4.3.4.1.3 Esfuerzo en el pistón

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (4.11)$$

4.3.4.2 Diseño del Vástago

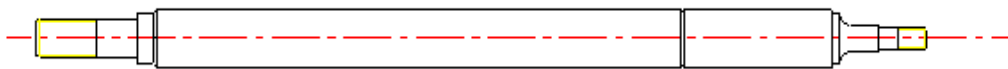


Figura 4.14 Vástago Amortiguador SACHS

4.3.4.2.1 Relaciones geométricas

$$R = \frac{L}{b} \quad (4.12)$$

L : Longitud del vástago

b : Radio del vástago

- *Momento de Inercia*

$$I = \frac{\pi \cdot b^4}{4} \quad (4.13)$$

- *Área transversal*

$$A_t = \pi \cdot b^2 \quad (4.14)$$

- *Longitud efectiva: Articulada – articulada*

$$L_e = 2L \quad (4.15)$$

- *Esbeltez: Si $L_e/b < 200$ entonces el vástago es NO ESBELTO*

$$E_s = \frac{L_e}{b} \quad (4.16)$$

4.3.4.2.2 Demanda capacidad

Si:

$$\frac{L_e}{b} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4.17)$$

Entonces:

- *Esfuerzo admisible de la columna*

$$F_e = \frac{E \cdot \pi^2}{E_s^2} \quad (4.18)$$

Donde
 E : Módulo de elasticidad del acero

- *Esfuerzo crítico*

$$F_{cr} = 0,658 \frac{F_y}{F_e} \cdot F_y \quad (4.19)$$

Donde
 F_y : Fluencia del Acero

- *Esfuerzo de entrada*

$$F_u = \frac{F}{A_t} \quad (4.20)$$

<p>Donde</p> <p>F: Fuerza de entrada</p> <p>A_t: Área transversal</p>

- *Demanda Capacidad*

$$Dc = \frac{Fu}{0,9 \cdot Fcr} \quad (4.21)$$

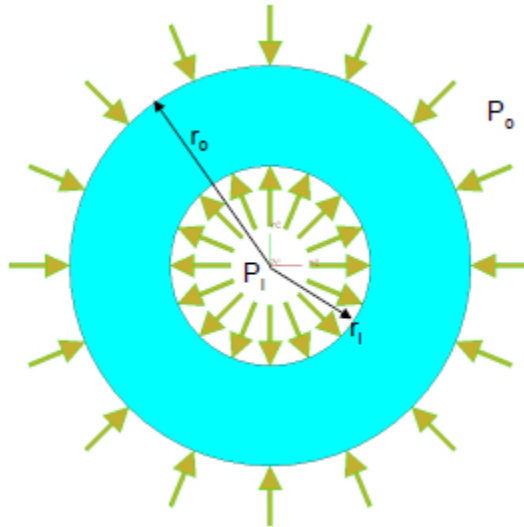
4.3.4.3 Diseño del cilindro

Ya que el amortiguador seleccionado tiene elementos cilíndricos, que van a ser sometidos a cargas de presiones, internas y/o externas se debe comprobar mediante el diseño su comportamiento óptimo.

Para determinar si es cilindro de pared gruesa o delgada se aplica la ecuación 4.22. Al estar sometido el cilindro a presiones internas o externas, como se puede apreciar en la figura 4.14, el diseño se lo toma como cilindro de pared gruesa.

$$40 < \frac{di}{t_h} \quad (4.22)$$

<p>Donde</p> <p>di: Diámetro interno del cilindro</p> <p>t_h: Espesor de pared</p>
--



52

Figura 4.15 Geometría de un cilindro de pared gruesa, con presión interna y externa ejercida

En el proceso de diseño del cilindro de pared gruesa, se determina el esfuerzo tangencial (Ecuación 4.11), esfuerzo radial (Ecuación 4.12) y esfuerzo longitudinal (Ecuación 4.13), se realiza la combinación de estos y se los somete a la teoría del esfuerzo cortante máximo absoluto (Ecuación 4.14) para determinar su valor de factor de seguridad (Ecuación 4.14)

$$\sigma_{\theta} = \frac{r_i^2 \cdot P_i - r_o^2 \cdot P_o}{(r_o^2 - r_i^2)} + \frac{(P_i - P_o) \cdot r_i^2 \cdot r_o^2}{(r_o^2 - r_i^2) \cdot r^2} \quad (4.23)$$

$$\sigma_r = \frac{r_i^2 \cdot P_i - r_o^2 \cdot P_o}{(r_o^2 - r_i^2)} - \frac{(P_i - P_o) \cdot r_i^2 \cdot r_o^2}{(r_o^2 - r_i^2) \cdot r^2} \quad (4.24)$$

$$\sigma_z = \frac{r_i^2 \cdot P_i - r_o^2 \cdot P_o}{r_o^2 - r_i^2} \quad (4.25)$$

⁵² Diseño de cilindros de pared gruesa, <http://courses.washington.edu>, Ingles, Enero 2009

Donde

r_i : Radio interno del cilindro

r_o : Radio externo del cilindro

P_i : Presión interna sobre el cilindro

P_o : Presión externa sobre el cilindro

Para el caso planteado en el diseño se utiliza este caso del esfuerzo cortante máximo.

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_{\theta} - \sigma_r}{2} \quad (4.26)$$

$$n = \frac{\sigma_y}{2 \cdot \tau_{max}} \quad (4.27)$$

Donde

σ_y : Fluencia del acero

CAPÍTULO 5

CONSTRUCCIÓN

5.1 CARACTERÍSTICAS DEL AMORTIGUADOR DISEÑADO

Descritos los pasos del proceso de diseño del amortiguador (Capítulo 4), y sustentado dicho procedimiento en el contenido de la memoria técnica (Anexo B), se detallan, a continuación las características de este tanto de su fuerza teórica de amortiguamiento (Tabla 5.2) y el rediseño con la carga a la cual este va a ser sometido (Tabla 5.3).

Tabla 5.1 Parámetros de Entrada diseño amortiguador SACHS

Parámetros de entrada		
Área Agujero	16,143	[mm ²]
Perímetro Agujero	17,932	[mm]
Área Total Agujeros	48,43	[mm ²]
Perímetro Total Agujeros	53,796	[mm]
Diámetro Hidráulico	3,601	[mm]
Velocidad	3,81	[m/s]
Fuerza	50000	[N]

Fuente: Memoria Técnica

Tabla 5.2 Comprobación de diseño del amortiguador SACHS con diferentes tipos de fluido y modificaciones de válvulas

Comprobación				
	Amortiguador 1	Amortiguador 2	Amortiguador 3	Amortiguador 4
Reynolds				
Factor de fricción	0,01	0,024	0,024	0,1
Análisis Válvula de Pistón				
Fuerza Disipada [N]	459	531	531	575
Análisis Válvula de pie				
Fuerza Disipada [N]	16,4	18,7	18,7	19,1
Resortes				
Fuerza para deformación [N]	23	23	575,7	575,7
Análisis CA				
Constante de Amortiguamiento [N-s/m]	8,398	239,58	239,58	41070
Fuerza de Amortiguamiento [N]	32	912,8	912,8	156500

FUERZA MÉTODO 1 [N]	498,4	572,7	1125,4	1169,8
FUERZA MÉTODO 2 [N]	32	912,8	912,8	156500

Fuente: Memoria Técnica

Tabla 5.3 Rediseño del amortiguador SACHS con carga de prueba

Rediseño		
Diseño del pistón		
Fuerza en la extensión	9724	[N]
Fuerza en la compresión	-9724	[N]
Esfuerzo Normal	1,40E+07	[Pa]
Factor de Seguridad	62	
Diseño del vástago		
Esfuerzo Admisible	98	[ksi]
Esfuerzo Critico	30	[ksi]
Esfuerzo de entrada	4,5	[ksi]
Demanda capacidad	0,162	
Demanda capacidad máx.	0,831	
Diseño del cilindro		
Esfuerzo Tangencial	158,54	[Mpa]
Esfuerzo Radial	-70	[Mpa]
Esfuerzo Longitudinal	44,27	[Mpa]
Factor de Seguridad Critico	1,094	[Mpa]

Fuente: Memoria Técnica

Tabla 5.4 Valores Teóricos Fuerza Amortiguamiento Amortiguador Real

Comprobación Fuerza Amortiguamiento	
	Amortiguador Tamaño Real
Reynolds	
Factor de fricción	0,1
Análisis Válvula de Pistón	
Fuerza Disipada [N]	9120
Análisis Válvula de pie	
Fuerza Disipada [N]	307
Resortes	
Fuerza para deformación [N]	575,7
Análisis CA	
Constante de Amortiguamiento [N-s/m]	161200
Fuerza de Amortiguamiento [N]	614100
FUERZA MÉTODO 1 [N]	10002,7
FUERZA MÉTODO 2 [N]	614100

5.2 DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

Para la construcción del disipador sísmico se necesitan los siguientes elementos.

- *Amortiguador:* La caracterización del amortiguador (Figura 5.1) se lo detalla en el Capítulo 4, así como sus planos en el Anexo A.



Figura 5.1 Amortiguador SACHS

- *Fluido Amortiguador:* El fluido más apto para la construcción del amortiguador es ACEITE DE SILICONA WACKER® AK 60000 SILICONE FLUID. Sus características y propiedades se pueden ver en la Capítulo 3.
- *Resortes Modificados:* El rediseño del resorte de la válvula del pistón se realizó para que sea requerida más energía y para permitir el libre flujo de aceite por el amortiguador. Al resorte fabricado se lo puede ver en la figura 5.2 y sus características en la Tabla 5.5.



Figura 5.2 Resorte Fabricado

Tabla 5.5 Propiedades Resorte Utilizado

CARACTERISTICAS RESORTE	
Marca	Fabricado
Tipo	Helicoidal Cónico
Diámetro Alambre	2,16 [mm]
Diámetro Mínimo E	13,62 [mm]
Diámetro Máximo E	23, 28 [mm]
Número de vueltas	2,5

- *Retenedor*: Para el correcto funcionamiento del amortiguador, se hace uso de un retenedor que soporte las cargas a las cuales va a trabajar el amortiguador. Se puede apreciar el retenedor utilizado en las figuras 5.3 y 5.4, y sus características en la Tabla 5.6.



Figura 5.3 Retenedor utilizado (Cara Anterior)



Figura 5.4 Retenedor utilizado (Cara Posterior)

Tabla 5.6 Propiedades Retenedor Utilizado

CARACTERISTICAS RETENEDOR	
Marca	SOG
Tipo	Ceja sencilla
Diámetro Interior	20 [mm]
Diámetro Exterior	38 [mm]

- *Bujes*: Es necesaria la inclusión de bujes para la fijación del prototipo en la máquina de ensayos que se detalla en el Capítulo 6. Se incluyeron en el amortiguador de prueba bujes de acero con alma de caucho, tal y como se muestra en la figura 5.5 y sus propiedades se muestran en la tabla 5.7.



Figura 5.5 Bujes utilizados

Tabla 5.7 Propiedades Bujes de Caucho Utilizado

CARACTERISTICAS BUJE	
Material	Caucho
Diámetro Mínimo	12 [mm]
Diámetro Máximo	32 [mm]

5.3 CONSTRUCCIÓN DEL AMORTIGUADOR

5.3.1 ADQUISICION DE MATERIALES

Para empezar la construcción de amortiguador se realizó la adquisición de los materiales. A continuación la lista de lugares de adquisición.

5.3.1.1 Amortiguador

Una vez determinada la necesidad principal de que el amortiguador sea totalmente desmontable, por facilidad de construcción, se encontró un disipador usado en el siguiente local:

- ***Lubrifast***

Lubrifast Automotriz es una empresa dedicada al servicio y mantenimiento vehicular multimarca.

Dirección: Madreselvas N49-82 y Eloy Alfaro Sector el Inca

Teléfono: 326 31 24 / 099 929 508

E-mail: info@lubrifast.com

Pagina Web: <http://www.lubrifast.com>

5.3.1.2 Fluido Amortiguador

Determinado el requerimiento del aceite de silicona, como fluido amortiguador, se presentaron como alternativas aceites con viscosidades de 60000 CSt. y 350 CSt. Los locales que venden este tipo de fluidos en cantidades mínimas son:

- **QUIMI.CORP PRODUCTOS QUIMICOS**

Materias primas y fragancias para la industria en general.

Dirección: Versalles N17-190 y Asunción

Teléfono: 352 7465/ 25 7681

E-mail: quimicorp@andinanet.net

- **ASODINA**

Materias primas para fabricar productos de limpieza y cosméticos

Dirección: Mariana de Jesús 1709 y Ulloa.

Teléfono: 2550948 - 2524846

Pagina Web: <http://www.asodina.com>

5.3.1.3 Resortes

Los resortes requeridos para la construcción del amortiguador se los fabrico en:

- **GRAN COLOMBIANA DE RESORTES**

Trabajos en lámina de acero y aceros inoxidable

Dirección: Av. 10 de Agosto N44-75 (6847) y El Inca.

Teléfono: 226 6318

5.3.1.4 Retenedor

- **FULL RETENEDOR**

Retenedores milimétricos y en pulgadas

Dirección: Av. El Inca E8 -31 y El Morlán

5.3.1.5 Bujes

La adquisición del los bujes se la realizo en:

- ***LA CASA DEL PERNO***

Profesionales en Pernos

Dirección: Sangolquí, Av. General Enríquez 1750

Teléfono: 2334 098

Email: casadelperno@andinanet.net

5.3.2 DIAGRAMA DE PROCESOS

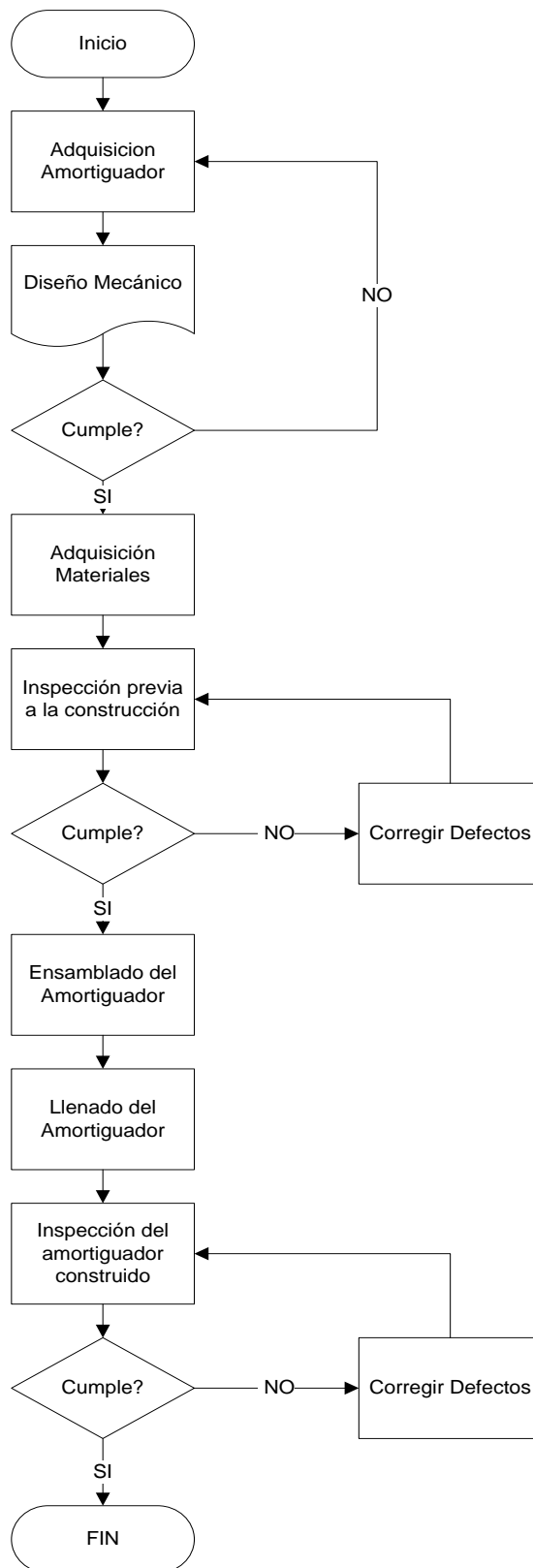


Figura 5.6 Diagrama de flujo del proceso de construcción

5.3.3 MAQUINARIA UTILIZADA

En la construcción del amortiguador sísmico, se procede a comprobar que la geometría del prototipo sea adecuada, en ensamblar sus partes, reemplazar las modificadas y llenarlo con el nuevo fluido amortiguador.

5.3.3.1 Ensamblaje Amortiguador

El proceso de ensamblaje consistió en el correcto acoplamiento de las piezas del amortiguador incluyendo las piezas modificadas. En este punto de la construcción se utilizaron las siguientes herramientas:

- Llaves de tuercas # 10,
- Entenalla
- Alicates
- Playo de presión
- Martillo de goma

5.3.3.2 Llenado de Fluido Amortiguado

Este proceso consiste en llenado, sangrado y sellado del amortiguador. Al no tener un retenedor a la medida para el amortiguador se tuvo que acoplar el retenedor de la figura 5.3 con el tapón superior del amortiguador utilizado para que proporcione un sello correcto. La maquinaria utilizada en este proceso fue:

- Aceitero
- Entenalla
- Esmeril
- Llave de Tubo

5.3.3.3 Inspección

En este proceso se verifica el correcto funcionamiento del amortiguador. Sus procedimientos se detallan en el punto 5.3.4 del presente Capítulo.

Debido a la gran fuerza que se requiere para mover al amortiguador, la maquinaria que se utiliza para llevar del punto muerto superior y al inferior del amortiguador y viceversa es una prensa hidráulica.

5.3.4 PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN

5.3.4.1 Procedimientos de inspección del amortiguador previos a la construcción

Se detalla el procedimiento de inspección de partes de manera visual como funcional si es que se requiere.

- **Empaques:** El amortiguador cuenta con empaques y o-ringas los cuales se debe verificar previo al ensamblaje y de ser necesario reemplazarlos.

En el presente proyecto descrito, los empaques del amortiguador SACHS fueron encontrados en perfecto funcionamiento y no fue necesario su reemplazo.

- **Tubo Interior:** Se debe verificar de manera visual que el cilindro mantenga una geometría constante a lo largo de su recorrido y que no se encuentren deformaciones, en caso de que este ya haya sido usado con anticipación.

En el proceso descrito, el cilindro interior del amortiguador SACHS, mantenía su geometría uniforme lo que permitió su inclusión en el dispositivo a construir.

- **Válvula de pistón:** Se debe forzar, manualmente se debe forzar el recorrido completo de la válvula del pistón, desplazándola para comprobar que se

encuentre funcionando de manera óptima sin que se detecte alguna obstrucción de los componentes implicados en su funcionamiento.

- Válvula de pie: De igual manera se requiere forzar el recorrido completo para evitar obstrucción de sus componentes.

En el proceso de construcción que se describe, una de las 2 válvulas requirió de un pequeño ajuste en la canastilla, la cual que contiene todos los elementos de la válvula. Previo al inicio de la construcción, las 2 válvulas quedaron en perfecto funcionamiento ya con el resorte diseñado reemplazado.

- Sello: Se debe verificar el correcto sello de las partes del amortiguador que se acoplan entre sí, esto se verifica para evitar las fugas del fluido de amortiguador y evitar pérdidas. Las partes son: Tubo interior – Válvula de pie, Tapón superior (vástago) – Retenedor, Pistón – Tubo interior.

En este proceso de construcción, todos los acoplamientos del amortiguador SACHS presentaban un sello correcto y no requirió algún tipo de ajuste.

5.3.4.2 Procedimientos de inspección del amortiguador construido

Una vez verificado el funcionamiento en las partes y piezas previas a la construcción del amortiguador, el procedimiento de inspección del amortiguador construido se detalla en los siguientes puntos.

- Recorrido: Se debe verificar el correcto funcionamiento del amortiguador, sin que presente ningún tipo de anomalías, haciéndolo trabajar desde su punto muerto superior hasta su punto muerto inferior.
- Fugas: Se debe verificar que el acoplamiento entre el Tapón superior, el vástago y el retenedor no presente ningún tipo de fugas, mientras el amortiguador está en uso y cuando no sea puesto en funcionamiento.

5.3.5 EJECUCION DE ACTIVIDADES

A continuación se expone la tabla de ejecución de actividades del amortiguador SACHS

Tabla 5.8 Tabla de Ejecución de Actividades Amortiguador SACHS

ACTIVIDAD	INSUMOS	LUGAR	RESPONSABLES
Adquisición Amortiguador	-----	Lubrifast	Carlos Vela / Juan Narváez
Adquisición materiales adicionales	-----	Quimi.Corp Asodina Gran Colombiana de Resortes Full Retenedores La Casa del Perno	Carlos Vela / Juan Narváez
Inspección previa a la construcción	Amortiguador Resortes Retenedor Bujes	La Clínica del Amortiguador (Talleres: 6 de Dic. N47-287 y Fritz)	Inspección: Sr. Jairo Naranjo Supervisión: Carlos Vela / Juan Narváez
Ensamblado amortiguador (Construcción)	Amortiguador Resortes Retenedor Bujes Herramientas Varias (Llaves de tuercas, Entenalla, Alicates, Playo de presión, Martillo de goma, Llave de Tubo)	La Clínica del Amortiguador (Talleres: 6 de Dic. N47-287 y Fritz)	Construcción: Sr. Jairo Naranjo Supervisión: Carlos Vela / Juan Narváez
Llenado amortiguador (Construcción)	Amortiguador ensamblado Fluido Amortiguador Aceitero Entenalla Esmeril	La Clínica del Amortiguador (Talleres: 6 de Dic. N47-287 y Fritz)	Construcción: Sr. Jairo Naranjo Supervisión: Carlos Vela / Juan Narváez
Inspección del amortiguador construido	Amortiguador Construido Prensa Hidráulica	La Clínica del Amortiguador (Talleres: 6 de Dic. N47-287 y Fritz)	Inspección: Sr. Jairo Naranjo Supervisión: Carlos Vela / Juan Narváez

CAPÍTULO 6

PRUEBAS MECÁNICAS

6.1 ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO Y PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO A SER UTILIZADOS PARA LOS ENSAYOS.

6.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO

Para evaluar el desempeño del prototipo se utilizará el equipo que se tiene a disposición en el Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Escuela Politécnica del Ejército para prácticas de la carrera de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Civil.

La descripción del equipo es:

Equipo: Máquina de Ensayos Universales MTS 810 Material Test System

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:

- Circuito hidráulico
- Control de la máquina (Figura 6.1)
- Instalaciones fijas y móviles (Figura 6.2)



Figura 6.1 Control de la máquina

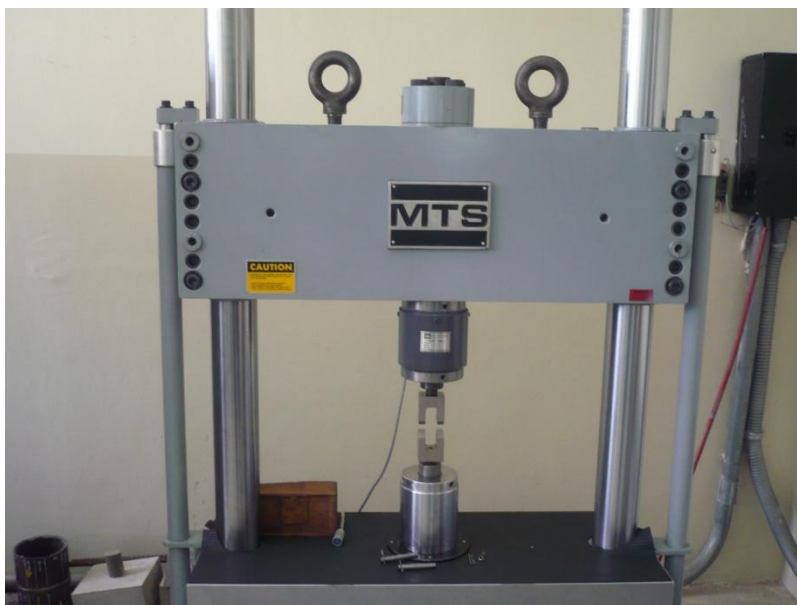


Figura 6.2 Instalaciones fijas y móviles

6.1.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El principio de funcionamiento para la máquina de ensayos es el siguiente:

- Se realiza la programación en el panel de control de la máquina del tipo de ensayo a realizar ya sea variando el desplazamiento, la carga o la deformación aplicada al prototipo de ensayo.
- Se enceran los valores de control y se configuran los valores máximos del parámetro controlado comparándolo con el valor de voltaje del lector digital, teniendo un máximo voltaje de 10V.
- Una vez estabilizada la presión del circuito hidráulico, la bomba espera recibir la señal eléctrica que controlará el comportamiento del pistón que es el que genera el movimiento final.
- El movimiento del pistón genera la respuesta del dispositivo en prueba que se registran mediante sensores como: celdas de carga y galgas de desplazamiento.
- El control de máquinas recepta las señales enviadas por los sensores para su registro y a la vez envía nueva información.

6.1.3 PARÁMETROS DE OPERACIÓN

El control de la máquina consta de:

- Panel de Control Máster (Master Control Panel): Controla el circuito hidráulico y varía la presión así como su estabilización para la iniciación de los ensayos. El PCM también enciende el control de la máquina y el circuito hidráulico.
- Controlador (Controller): Indica el tipo de control (desplazamiento o carga), el porcentaje total de utilización de la máquina, los valores máximos y mínimos del parámetro controlado y los valores a registrar gráficamente.
- Controladores del Operador (Operator Controls): Donde se encera y se varía el movimiento del pistón para comparar los valores de salida de los parámetros.

- Generador de la Función Digital (Digital Function Generator): indica el tipo de variación del parámetro de control (sinusoidal, recta, rampa, etc.), si se va a controlar manual o automáticamente y los valores de tiempo y frecuencia.
- Panel Contador (Counter Panel): Registra el número de ciclos de carga del ensayo y el número total de ciclos al cual ha sido sometido el dispositivo de prueba.
- Lector digital (Digital Indicador): Registra el valor de voltaje generado por los sensores
- Generador de gráficas: Grafica los valores indicados en el controlador, en la escala y unidades seleccionadas

6.2 PROCEDIMIENTOS PARA ENSAYOS EN AMORTIGUADORES TIPO TELESCÓPICO HIDRÁULICOS CON CARGAS SÍSMICAS SIMULADAS

6.2.1 PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS EN AMORTIGUADORES PARA CARGAS SÍSMICAS

Este proyecto requerirá la comprobación del diseño mecánico mediante la realización de ensayos, por lo cual las pruebas estarán basadas en los procedimientos de pruebas y simulación de los amortiguadores del proyecto de grado “ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN AMORTIGUADOR TELESCÓPICO HIDRÁULICO COMO ELEMENTO DE UN PÓRTICO SOMETIDO A CARGAS SÍSMICAS” que se detallan a continuación:

6.2.1.1 Ensayos para dispositivos de aislamiento sísmico

Algunos procedimientos que utilizan los fabricantes de los dispositivos de aislamiento sísmico se detallan en la Norma ASCE 7 – 05, Capítulo 17, en el cual se detallan las pruebas a realizarse.

La información a ser obtenida incluye la “Curva de fuerza – desplazamiento”, y el comportamiento histerético básico, en el cual se analiza el dispositivo dentro del rango no lineal (curvas de histéresis) y la cantidad de energía que puede absorber el dispositivo por sí solo.

Entre las pruebas que propone esta norma se observan:

- Veinte ciclos completos con la 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.

Se deben realizar pruebas dinámicas donde se aplican cargas de prueba similares a las aplicadas al sistema, con frecuencias que vayan del rango de 0.1 hasta 2 veces la inversa del período natural de la estructura.¹ Si los prototipos utilizados son a escala reducida, se deben aplicar, las mismas cargas y a la misma frecuencia, como si fueran de escala real.

Para justificar la realización de las pruebas, las propiedades obtenidas no deben variar más del 15% del valor obtenido como promedio.

¹ ASCE 7 – 05 Section 17.8

6.2.1.2 Ensayos para dispositivos de amortiguamiento viscoso

Algunos procedimientos para la realización de pruebas para estos dispositivos se detallan en la Norma ASCE 7 – 05, Capítulo 18.

Para realizar las pruebas se exigen dos prototipos, los cuales deben ser de las mismas características y medidas que los usados dentro de la estructura. Si se utilizan dispositivos a escala reducida, estos deben ser de la misma calidad y tipo de fabricación que el usado en la estructura. Además los resultados obtenidos deben ser analizados con la correcta base científica.

Los resultados a ser obtenidos son la relación fuerza – desplazamiento para cada ciclo de carga para cada prueba.

Entre las pruebas que se propone realizar constan las siguientes:

- No menos de 2000 ciclos de carga igual a la máxima amplitud de carga de viento, con frecuencia igual a la inversa del período natural de la estructura.
- Cinco ciclos completos sinusoidales del máximo desplazamiento al cual va estar sometido el dispositivo por motivo de cargas sísmicas. La frecuencia con la que se harán los ensayos es aproximadamente igual a la inversa del período natural de vibración de la estructura (incluyendo el dispositivo). La prueba debe ser realizada a tres temperaturas (mínima, ambiente y máxima) que deben salir del rango de temperaturas especificado para el dispositivo. Los métodos alternativos son permitidos bajo cierta responsabilidad.
- Si se observa que las propiedades a calcularse pueden variar más del 15% del valor promedio de la propiedad en estudio, se deben ampliar el número de frecuencias de ensayo para comparar los resultados obtenidos. El rango puede ir desde 1 hasta 2.5 veces la inversa del período natural de la estructura (con o sin el dispositivo).

6.2.2 ENSAYOS A REALIZARSE

Se realizaron los siguientes ensayos, tomando en cuenta los procedimientos de ensayo del proyecto antes mencionado, después de haber revisado las recomendaciones del código ASCE 7-05, y saber que los resultados del ensayo mecánico solo proporcionan una conducta inherente al amortiguador:

- Ensayos dinámicos, en los cuales se sometió al amortiguador a cinco ciclos de desplazamiento que varían de forma sinusoidal (control de desplazamiento) a catorce valores de frecuencia (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1, 1.1, 1.2, 1.5 y 2 Hz. Los desplazamientos serán de 5, 10, 15 y 18 cm, estableciendo que los datos obtenidos cumplan desplazamientos y las frecuencias programadas.

Los datos a registrar son:

- La relación fuerza – desplazamiento mediante la gráfica de estas variables en papel milimetrado.
- Los bucles histeréticos o comportamiento no lineal obtenidos de la gráfica fuerza – desplazamiento para determinar el área promedio y la energía disipada por el amortiguador.
- 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:

- La elasticidad efectiva o valor de k utilizado para las simulaciones.
- La relación de amortiguamiento propia del amortiguador.
- El coeficiente de amortiguamiento crítico del dispositivo para obtener el coeficiente de amortiguamiento C efectivo utilizado para las simulaciones.
- La relación aproximada entre la fuerza y la velocidad a fin de obtener el exponente de amortiguamiento α . Además se podrá obtener un rango de frecuencias en el cual el amortiguador no tiene elasticidad efectiva.
- La energía que es capaz de disipar el amortiguador.

6.4 ENSAYOS DINÁMICOS

6.4.1 PROCEDIMIENTO REALIZADO

Se siguió el procedimiento del **Anexo C** para realizar el enceramamiento de la máquina, pasos de la programación y los procedimientos a diferentes frecuencias con diferentes desplazamientos. Se introdujeron desplazamientos de 5,10 ,15 y 18 mm con frecuencias de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 Hz donde se pudo observar el comportamiento a frecuencias bajas del amortiguador y comparar los valores obtenidos tanto del lector digital como el de las graficas. Luego para determinar si el comportamiento del amortiguador se mantenía a frecuencias altas se introdujeron frecuencias de 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1, 1.1, 1.2, 1.5 y 2 Hz pero solamente a desplazamientos de 5 y 10 mm.

Los desplazamientos se ingresaron de manera que exista relación correcta entre los valores de las graficas y los voltajes obtenidos con los desplazamientos reales del pistón y por consecuencia del amortiguador. Esto se pudo comprobar verificando los valores programados de desplazamiento con las escalas de las graficas en donde claramente se puede determinar la correcta ejecución del ensayo

Para realizar el ingreso de datos se tomaron las equivalencias en voltaje, y con la condición antes mencionada, se determinó un desplazamiento máximo de 18mm.

Se documentaron los valores de voltaje del lector digital, así como se realizó el registro gráfico de los ensayos hasta los valores de frecuencia de 0.5 Hz. Se tomó en cuenta también que el número de ciclos no puede ser menor que cinco ni mayor que veinte ciclos.

La hoja de datos registrados así como las gráficas se pueden observar en el Anexo D

6.4.2 RESULTADOS OBTENIDOS

Tabla 6.1 Datos de voltaje del lector digital (Parte I)

Frecuencia	n	Desplazamiento (\pm mm)	F Máxima (V)	F Mínima (V)
0,1	5	2,5	0,01	-0,07
	5	5	0,02	-0,12
	5	7,5	0,02	-0,15
	5	9	0,06	-0,24
0,2	5	2,5	0,01	-0,08
	5	5	0,02	-0,14
	5	7,5	0,03	-0,17
	5	9	0,03	-0,18
0,3	5	2,5	0,01	-0,07
	5	5	0,03	-0,16
	5	7,5	0,04	-0,2
	5	9	0,05	-0,21
0,4	5	2,5	0,02	-0,07
	5	5	0,04	-0,17
	5	7,5	0,04	-0,21
	5	9	0,05	-0,21
0,5	5	2,5	0,05	-0,07
	5	5	0,05	-0,12
	5	7,5	0,05	-0,22
	5	9	0,05	-0,22

Fuente: Ensayos dinámico amortiguador telescópico hidráulico SACHS

Tabla 6.2 Datos de voltaje del lector digital (Parte II)

Frecuencia	n	Desplazamiento	F Máxima (V)	F Mínima (V)
0,6	10	2,5	0,02	-0,07
	12	5	0,04	-0,16
0,7	10	2,5	0,03	-0,05
	12	5	0,03	-0,16
0,8	10	2,5	0,03	-0,07
	12	5	0,05	-0,17
0,9	10	2,5	0,04	-0,08
	12	5	0,05	-0,17
1	10	2,5	0,04	-0,08
	12	5	0,04	-0,15
1,1	10	2,5	0,03	-0,07
	12	5	0,04	-0,14
1,2	10	2,5	0,04	-0,08
	12	5	0,05	-0,14
1,5	10	2,5	0,04	-0,1
	12	5	0,05	-0,12
2	10	2,5	0,05	-0,07
	12	5	0,05	-0,07

Fuente: Ensayos dinámico amortiguador telescópico hidráulico SACHS

6.4 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL AMORTIGUADOR CONSTRUIDO.

6.4.1 CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES

La elasticidad efectiva para cada ciclo de carga puede ser calculada como:

$$k_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} \quad (6.1)$$

Donde F^+ y F^- son las fuerzas positivas y negativas para Δ^+ y Δ^- respectivamente.

La relación de amortiguamiento efectiva para cada ciclo de carga puede ser calculada como:

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \frac{E_{loop}}{k_{eff} (|\Delta^+| + |\Delta^-|)^2} \quad (6.2)$$

Donde, la energía disipada por ciclo de carga E_{loop} (área del bucle), y la elasticidad efectiva k_{eff} pueden ser obtenidos en las pruebas de control de desplazamiento para Δ^+ y Δ^- .

El dato de la masa del dispositivo fue medido en el laboratorio de resistencia de materiales y se lo detalla en la tabla 6.3

Tabla 6.3 Masas de los amortiguadores hidráulicos

Amortiguador	Masa (Kg)
SACHS	3,335

Fuente: Báscula del laboratorio Mecánica de Materiales

Para obtener el coeficiente de amortiguamiento c_{eff} se utiliza la relación de amortiguamiento y la elasticidad efectiva obtenidos anteriormente. La frecuencia natural del amortiguador ω_A se puede obtener como:

$$\omega_A = \sqrt{\frac{k_{eff}}{m_A}} \quad (6.3)$$

El amortiguamiento efectivo es:

$$c_{eff} = 2m_A \sqrt{\frac{k_{eff}}{m_A}} \beta_{eff} \quad (6.4)$$

El amortiguador ofrece mayor resistencia al movimiento a mayores velocidades, lo que indica un comportamiento cercano al lineal. Se puede ver que las gráficas se ven afectadas en la sensibilidad por lo que da un porcentaje de error alto, y los valores más útiles provienen del lector digital.

Para obtener el exponente de amortiguamiento se utiliza la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{\log F - \log C}{\log(\omega \Delta_{máx})} \quad (6.5)$$

El cálculo de propiedades se los muestra a continuación:

Tabla 6.4 Propiedades Amortiguador SACHS (Parte I)

Frecuencia (Hz)	D +/- (mm)	F Máx. (N)	F Mín. (N)	k eff (N/cm)	E (N - cm)	B eff	C eff (N - s/cm)	Vel (cm/s)	Exponente
0,1	2,5	50	-350	800,00	274,89	0,88	9,04	0,16	-1,97534065
	5	100	-600	700,00	942,48	0,86	8,28	0,31	-3,69885778
	7,5	100	-750	566,67	1767,15	0,88	7,67	0,47	-6,09066003
	9	300	-1200	833,33	3392,92	0,80	8,43	0,57	-8,69668247
0,2	2,5	50	-400	900,00	314,16	0,89	9,74	0,31	-3,20873608
	5	100	-700	800,00	1099,56	0,88	9,04	0,63	-9,35965636
	7,5	150	-850	666,67	2002,77	0,85	8,02	0,94	-78,7235316
	9	150	-900	583,33	2544,69	0,86	7,56	1,13	38,8318208
0,3	2,5	50	-350	800,00	274,89	0,88	9,04	0,47	-4,85966025
	5	150	-800	950,00	1256,64	0,84	9,48	0,94	-74,8685696
	7,5	200	-1000	800,00	2356,19	0,83	8,61	1,41	13,7338758
	9	250	-1050	722,22	2968,81	0,81	7,93	1,70	9,24456057
0,4	2,5	100	-350	900,00	274,89	0,78	8,52	0,63	-7,9948087
	5	200	-850	1050,00	1335,18	0,81	9,58	1,26	19,635313
	7,5	200	-1050	833,33	2474,00	0,84	8,86	1,88	7,53328827
	9	250	-1050	722,22	2968,81	0,81	7,93	2,26	5,98627802
0,5	2,5	250	-350	1200,00	274,89	0,58	7,38	0,79	-15,9754153
	5	250	-600	850,00	942,48	0,71	7,52	1,57	9,69882083
	7,5	250	-1100	900,00	2591,81	0,81	8,93	2,36	5,61679755
	9	250	-1100	750,00	3110,18	0,81	8,15	2,83	4,71923166

Fuente: Ensayos mecánicos amortiguador hidráulico

Tabla 6.5 Propiedades Amortiguador SACHS (Parte II)

Frecuencia (Hz)	D +/- (mm)	F Máx (N)	F Mín (N)	k eff (N/cm)	E (N - cm)	B eff	C eff (N - s/cm)	Vel (cm/s)	Exponente
0,1	2,5	50	-350	800,00	192,42	0,61	6,33	0,16	-2,17
	5	100	-600	700,00	688,01	0,63	6,05	0,31	-3,97
	7,5	100	-750	566,67	1343,03	0,67	5,83	0,47	-6,46
	9	300	-1200	833,33	2714,34	0,64	6,75	0,57	-9,09
0,2	2,5	50	-400	900,00	219,91	0,62	6,82	0,16	-2,20
	5	100	-700	800,00	802,68	0,64	6,60	0,31	-4,03
	7,5	150	-850	666,67	1522,10	0,65	6,09	0,47	-6,56
	9	150	-900	583,33	2035,75	0,69	6,05	0,57	-8,78
0,3	2,5	50	-350	800,00	192,42	0,61	6,33	0,16	-2,17
	5	150	-800	950,00	917,35	0,61	6,92	0,31	-4,10
	7,5	200	-1000	800,00	1790,71	0,63	6,54	0,47	-6,68
	9	250	-1050	722,22	2375,04	0,65	6,34	0,57	-8,96
0,4	2,5	100	-350	900,00	192,42	0,54	5,97	0,16	-2,20
	5	200	-850	1050,00	974,68	0,59	6,99	0,31	-4,15
	7,5	200	-1050	833,33	1880,24	0,64	6,73	0,47	-6,71
	9	250	-1050	722,22	2375,04	0,65	6,34	0,57	-8,96
0,5	2,5	250	-350	1200,00	192,42	0,41	5,17	0,16	-2,28
	5	250	-600	850,00	688,01	0,52	5,49	0,31	-4,05
	7,5	250	-1100	900,00	1969,78	0,62	6,79	0,47	-6,76
	9	250	-1100	750,00	2488,14	0,65	6,52	0,57	-9,00

Tabla 6.6 Propiedades Amortiguador SACHS (Parte III)

Frecuencia (Hz)	D +/- (mm)	F Máx. (N)	F Mín. (N)	k eff (N/cm)	E (N - cm)	B eff	C eff (N - s/cm)	Vel (cm/s)	Exponente
0,6	2,5	100	-350	900,00	274,89	0,78	10,96	0,94	-58,4700659
	5	200	-800	1000,00	1256,64	0,80	11,55	1,88	6,68545065
0,7	2,5	150	-250	800,00	196,35	0,63	10,33	1,10	33,5731934
	5	150	-800	950,00	1256,64	0,84	11,26	2,20	5,41026023
0,8	2,5	150	-350	1000,00	274,89	0,70	11,55	1,26	14,9328914
	5	250	-850	1100,00	1335,18	0,77	12,11	2,51	4,61259573
0,9	2,5	200	-400	1200,00	314,16	0,67	12,65	1,41	9,97517723
	5	250	-850	1100,00	1335,18	0,77	12,11	2,83	4,08988884
1	2,5	200	-400	1200,00	314,16	0,67	12,65	1,57	7,64782987
	5	200	-750	950,00	1178,10	0,79	11,26	3,14	3,6681525
1,1	2,5	150	-350	1000,00	274,89	0,70	11,55	1,73	6,23752325
	5	200	-700	900,00	1099,56	0,78	10,96	3,46	3,3523792
1,2	2,5	200	-400	1200,00	314,16	0,67	12,65	1,88	5,44818502
	5	250	-700	950,00	1099,56	0,74	11,26	3,77	3,11220107
1,5	2,5	200	-500	1400,00	392,70	0,71	13,67	2,36	4,20011096
	5	250	-600	850,00	942,48	0,71	10,65	4,71	2,600649
2	2,5	250	-350	1200,00	274,89	0,58	12,65	3,14	2,90033164
	5	250	-750	1000,00	1178,10	0,75	11,55	6,28	2,27077056

Fuente: Ensayos mecánicos amortiguador hidráulico

Tabla 6.7 Propiedades Amortiguador SACHS (Parte IV)

Frecuencia (Hz)	D +/- (mm)	F Máx. (N)	F Mín. (N)	k eff (N/cm)	E (N - cm)	B eff	C eff (N - s/cm)	Vel (cm/s)	Exponente
5	2,5	200	-375	1150,00	294,52	0,65	12,39	7,85	1,65469911
	5	250	-750	1000,00	1178,10	0,75	11,55	15,71	1,51530242
7,5	2,5	200	375	1150,00	294,52	0,65	12,39	11,78	1,38268345
	5	250	-750	1000,00	1178,10	0,75	11,55	23,56	1,32084874
10	2,5	200	375	1150,00	294,52	0,65	12,39	15,71	1,23825752
	5	250	-750	1000,00	1178,10	0,75	11,55	31,42	1,21062252
12,5	2,5	200	375	1150,00	294,52	0,65	12,39	19,63	1,14545259
	5	250	-750	1000,00	1178,10	0,75	11,55	39,27	1,13702337
15	2,5	200	375	1150,00	294,52	0,65	12,39	23,56	1,07935608
	5	250	-750	1000,00	1178,10	0,75	11,55	47,12	1,08321707
30	2,5	200	375	1150,00	294,52	0,65	12,39	47,12	0,88517094
	5	250	-750	1000,00	1178,10	0,75	11,55	94,25	0,91805189

Fuente: Ensayos mecánicos amortiguador hidráulico

Tabla 6.8 Valores promedio de fuerza absorbida por el amortiguador SACHS

D +/- (mm)	F Máx. (N)	F Mín. (N)
2,5	200	375
5	250	-750

Fuente: Ensayos mecánicos amortiguador hidráulico

6.4.1.1 Ejemplo de Cálculos

En las pruebas realizadas para desplazamiento de $\pm 2,5$ mm y frecuencia de 0,1 Hz.

6.4.1.1.1 Fuerza Absorbida

$$F = \frac{0,01 V \cdot 50000 N}{10 V} = 50 N$$

6.4.1.1.2 Elasticidad Efectiva

$$k_{eff} = \frac{50 N + |-350| N}{(2 \cdot 2,5 mm)/10} = 800 N/cm$$

6.4.1.1.3 Energía

$$E = \pi \cdot |-350| N \cdot 2,5 \frac{mm}{10} = 274,89 N - cm$$

6.4.1.1.4 Relación de amortiguamiento efectivo

$$B_{eff} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{274,89 N - cm}{800 N/cm (2 \cdot 2,5 mm/10)^2} = 0,88$$

6.4.1.1.5 Amortiguamiento Efectivo

$$C_{eff} = 2 \cdot 3,335 kg \cdot \sqrt{\frac{800 N/cm \cdot 100}{3,335 kg}} \cdot 0,88 \cdot \frac{1}{100} = 9,04 N - s/cm$$

6.4.1.1.6 Velocidad

$$V = \frac{2,5 mm}{10} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,1 Hz = 0,16 cm/s$$

6.4.1.1.7 Exponente

$$\alpha = \frac{\text{Log}(|-350N|) - \text{Log}(9,04 N - s/cm)}{\text{Log}(0,16cm/s)} = -1,97$$

6.4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los valores a ser utilizados en la simulación se detallan a continuación:

Tabla 6.9 Valores a utilizar en la simulación

Valores para el análisis lineal	
Elasticidad efectiva (N/cm)	0
Coefficiente de amortiguamiento efectivo (N – s/cm)	12,39
Valores para el análisis no lineal	
Elasticidad (N/cm)	1150
Coefficiente de amortiguamiento (N – s/cm)	12,39
Exponente de amortiguamiento	1

Fuente: Ensayos mecánicos amortiguador telescópico hidráulico

Ya que se tiene un prototipo a escala del amortiguador a instalar, manteniendo las relaciones geométricas y con una masa aproximada de 80 kg con una longitud de 6,7m solamente se modifica el coeficiente de amortiguamiento y las propiedades se detallan en la tabla 6.10

Tabla 6.10 Valores a utilizar en la simulación (tamaño real)

Valores para el análisis lineal	
Elasticidad efectiva (N/cm)	0
Coefficiente de amortiguamiento efectivo (N – s/cm)	60
Valores para el análisis no lineal	
Elasticidad (N/cm)	1150
Coefficiente de amortiguamiento (N – s/cm)	60
Exponente de amortiguamiento	1

Fuente: Ensayos mecánicos amortiguador telescópico hidráulico

6.5 SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AMORTIGUADOR EN UN ELEMENTO ESTRUCTURAL

6.5.1 INGRESO DE LOS PARÁMETROS OBTENIDOS

Se procede a utilizar el ingreso de datos del pórtico acelerogramas y espectros según el **Anexo E**.

Una vez ingresados los datos se desarrollarán los siguientes pasos:

- Insertar el elemento amortiguador en el pórtico. Para dicho propósito se deberá ingresar al menú “Define” después se seleccionará el submenú “Link Support Properties” por medio del cual se presentará la ventana del mismo nombre, (Figura 6.3), en la que se deberá seleccionar el menú “Add New Property”.

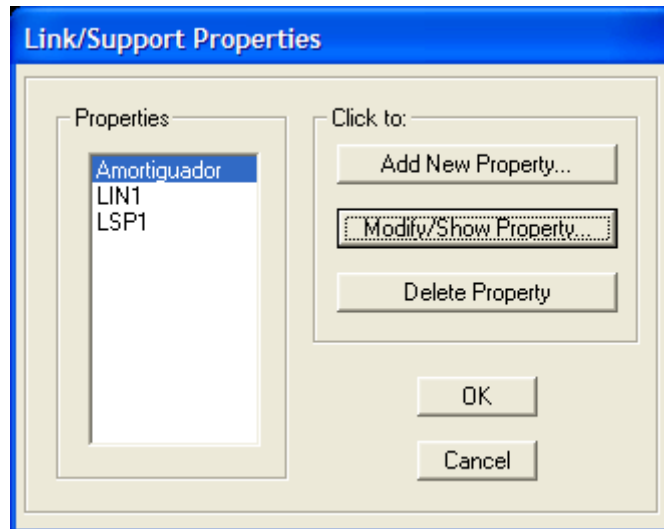


Figura 6.3 Selección de elemento amortiguador

- Después de seleccionar dicho menú el programa presentará una nueva ventana llamada "Link Support Property Data" en la que se definirá el tipo de elemento que en este caso es un amortiguador por medio de la opción "Damper" (Figura 6.4).

De la misma manera se definirá algunos parámetros de trabajo del amortiguador como son la masa, la dirección en la que actúa y el rango en que trabajará (no lineal), las cuales se encuentran en el recuadro "Direccional Properties".

Link/Support Property Data

Link/Support Type: Damper

Property Name: Amortiguador Set Default Name

Total Mass and Weight

Mass: 0,0143 Rotational Inertia 1: 0,

Weight: 0, Rotational Inertia 2: 0,

Rotational Inertia 3: 0,

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...
<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

P-Delta Parameters

Advanced...

Display Color

OK Cancel

Figura 6.4 Definición de propiedades del amortiguador

- Determinadas las propiedades direccionales de trabajo del amortiguador, se procederá a definir ciertas propiedades características del amortiguador por medio de la selección del comando “Modif./Show for U1” que se encuentra dentro del recuadro “Direccional Properties”. En ese instante en el programa presentará la ventana “Link/ Support Direccional Properties” (Figura 6.5). En dicha ventana se deberán definir las propiedades inherentes al amortiguador para los dos tipos de análisis que se van a realizar en el pórtico: lineal y no lineal. Los valores a ser ingresados son aquellos determinados preliminarmente y aquellos obtenidos de los ensayos dinámicos realizados en el Laboratorio de Mecánica de Materiales.

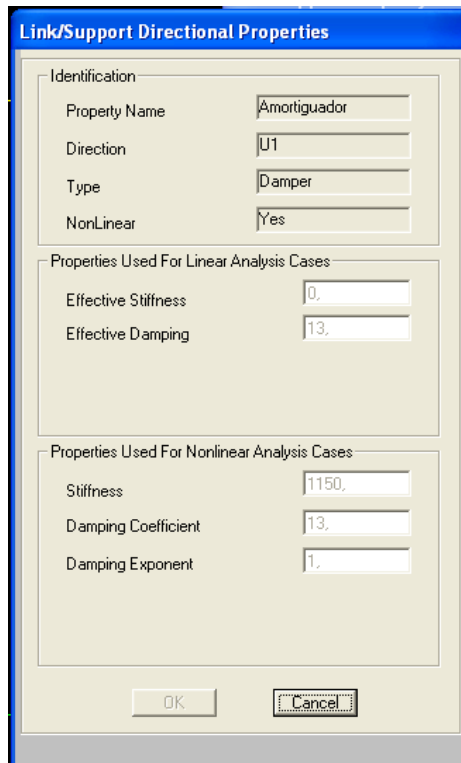


Figura 6.5 Definición de propiedades direccionales del amortiguador para los casos de análisis

- Definidas las propiedades características del amortiguador, se dibuja a continuación el elemento amortiguador por medio del comando “Draw” y el submenú “Draw 2 Joint link”. De esta manera el programa presentará una ventana en la cual se seleccionará el elemento a ser dibujado, en este caso el amortiguador. Finalmente por medio del cursor se dibujará el amortiguador en la posición requerida como se muestra en la Figura 6.6.

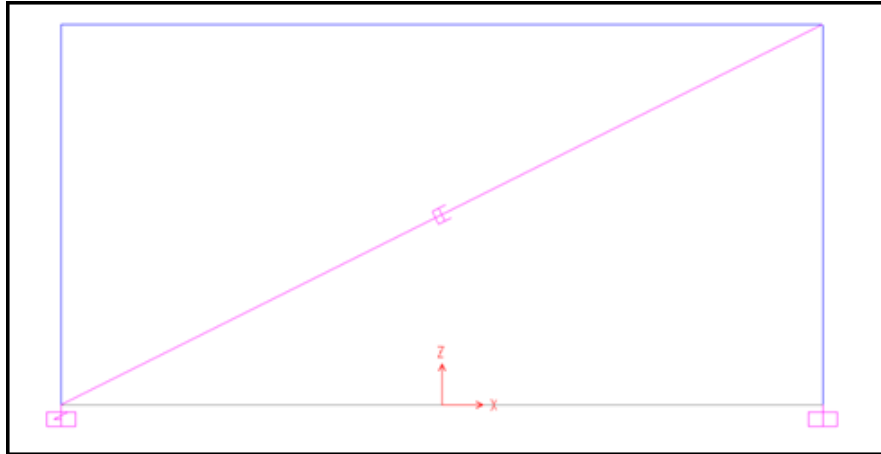


Figura 6.6 Pórtico con amortiguador

6.5.2 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Los resultados de la simulación para el amortiguador SACHS se muestran a continuación:

Tabla 6.11 Análisis espectral amortiguador SACHS

Información de Respuesta del Espectro				
Caso	Periodo	Amortiguamiento	U1 Acel.	U1 Desp.
	Seg		cm/sec ²	cm
CEC2000	0,065064	0,0598	343,717	-0,042825
CEC2000	0,004576	0,0212	436,258	2,10E-07
CEC2000	0,004572	0,0202	440,883	4,57E-07
CEC2000	0,004568	0,0228	429,943	-1,29E-09
UBC94	0,065064	0,0598	504,106	-0,062808
UBC94	0,004576	0,0212	405,364	1,96E-07
UBC94	0,004572	0,0202	409,644	4,24E-07
UBC94	0,004568	0,0228	399,462	-1,20E-09

Fuente: SAP 2000

Tabla 6.12 Análisis energético amortiguador SACHS

Energía Total							
Caso	Entrada	Cinética	Potencial	AmortModal	Amort Link	LinkHiste	Error
	N-cm	N-cm	N-cm	N-cm	N-cm	N-cm	N-cm
Muerta	0	0	0	0	0	0	0
Modal	0	0	0	0	0	0	0
Cec2000	0	0	0	0	0	0	0
Ubc94	0	0	0	0	0	0	0
Elcentro1	51,64	4,43	14,05	50,95	0	0	9,24E-14
Elcentro2	48,4	4,08	12,94	23,14	24,49	0	0,04934

Fuente: SAP 2000

Para un amortiguador de 6.7m y 80kg basado en el diseño de SACHS los resultados se muestran a continuación:

Tabla 6.13 Análisis espectral amortiguador tamaño real

Información de Respuesta del Espectro				
Caso	Periodo	Amortiguamiento	U1 Acel.	U1 Desp.
	Seg		cm/sec ²	cm
CEC2000	0,065064	0,2038	234,165	-0,029175
CEC2000	0,004576	0,0257	419,145	2,022E-07
CEC2000	0,004572	0,0208	438,222	0,000000454
CEC2000	0,004568	0,0329	397,15	-1,192E-09
UBC94	0,065064	0,2038	343,432	-0,042789
UBC94	0,004576	0,0257	389,463	1,878E-07
UBC94	0,004572	0,0208	407,171	4,218E-07
UBC94	0,004568	0,0329	368,995	-1,107E-09

Fuente: SAP 2000

Tabla 6.14 Análisis energético amortiguador tamaño real

Energía Total							
Caso	Entrada	Cinética	Potencial	AmortModal	Amort Link	LinkHiste	Error
	N-cm	N-cm	N-cm	N-cm	N-cm	N-cm	N-cm
MUERTA	0	0	0	0	0	0	0
MODAL	0	0	0	0	0	0	0
CEC2000	0	0	0	0	0	0	0
UBC94	0	0	0	0	0	0	0
ELCENTRO1	73,83	3,74	12,09	73,39	0	0	1,705E-13
ELCENTRO2	47,23	4,55	12,41	28,26	18,31	0	0,0256

Fuente: SAP 2000

6.5.3 ANALISIS DE RESULTADOS

6.5.3.1 Amortiguador SACHS

- El amortiguador disipa como tal un total del 6% de la energía ingresada por el acelerograma
- El amortiguador en total disipa 50,60% adicionando la energía que disipa como elemento adicional de un pórtico.

6.5.3.2 Amortiguador tamaño real

- El amortiguador disipa como tal un total del 20,38% de la energía ingresada por el acelerograma
- El amortiguador en total disipa 38,76% adicionando la energía que disipa como elemento adicional de un pórtico.

6.5.3.3 Amortiguador Viscoelástico

Para poder realizar una comparación entre disipadores experimentales se determinan las características de este basándose en los datos obtenidos en el proyecto de grado “ANALISIS EXPERIMENTAL DE UN DISIPADOR DE ENERGIA VISCOELASTICO”. Los datos obtenidos fueron:

6.5.3.3.1 Valores de rigidez

Valores de Rigidez para 0.05 Hz.

FRECUENCIA DE ENSAYO: 0.05Hz										
Deformación	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Ke (T/m)	1109.8	1286.7	989.198	959.769	929.872	902.353	877.596	851.411	816.263	790.852

Valores de Rigidez para 0.10 Hz.

FRECUENCIA DE ENSAYO: 0.10Hz										
Deformación	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Ke (T/m)	1238.4	1131	1068.3	1020.7	983.431	947.096	918.903	886.148	853.825	822.615

Valores de Rigidez para 0.15 Hz.

FRECUENCIA DE ENSAYO: 0.15Hz										
Deformación	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Ke (T/m)	1187.5	1054.2	977.983	937.779	888.425	859.92	853.482	822.112	816.019	822.315

Valores de Rigidez para 0.20 Hz.

FRECUENCIA DE ENSAYO: 0.20Hz										
Deformación	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Ke (T/m)	1086.8	1011.2	942.389	1079.8	1029.2	860.081	833.193	800.086	767.585	761.125

6.5.3.3.2 Valores de amortiguamiento

Valores de Amortiguamiento para 0.05 Hz.

FRECUENCIA DE ENSAYO: 0.05Hz										
Deformación	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
ξ	0.0141	0.0054	0.0046	0.0047	0.0037	0.0037	0.0034	0.0038	0.004	0.0038

Valores de Amortiguamiento para 0.10 Hz.

FRECUENCIA DE ENSAYO: 0.10Hz										
Deformación	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
ξ	0.0055	0.0061	0.0055	0.0054	0.0051	0.0055	0.0054	0.0056	0.0056	0.0064

Valores de Amortiguamiento para 0.15 Hz.

FRECUENCIA DE ENSAYO: 0.15Hz										
Deformación	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
ξ	0.0071	0.0074	0.0059	0.0056	0.0053	0.0056	0.005	0.0054	0.0041	0.0032

Valores de Amortiguamiento para 0.20 Hz.

FRECUENCIA DE ENSAYO: 0.20Hz										
Deformación	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
ξ	0.0024	0.0025	0.0043	0.0043	0.0043	0.0051	0.0041	0.0044	0.0043	0.0044

Tabla 6.15 Características amortiguador Viscoelástico

<i>Frecuencia (Hz)</i>	<i>k eff (T/m)</i>	<i>k eff (N/cm)</i>	<i>B eff</i>	<i>C eff (N - s/cm)</i>
0,2	1086,80	10650,64	0,24	35,03
	1011,20	9909,76	0,25	35,20
	942,39	9235,41	0,43	58,44
	1079,80	10582,04	0,43	62,56
	1029,20	10086,16	0,43	61,07
	860,08	8428,79	0,51	66,22
	833,19	8165,29	0,41	52,39
	800,09	7840,84	0,44	55,10
	767,59	7522,33	0,43	52,74
	761,13	7459,03	0,44	53,74
PROMEDIO	917,15	8988,03	0,40	53,25

Tabla 6.16 Análisis Espectral Amortiguador Viscoelástico

Información de Respuesta del Espectro				
Caso	Periodo	Amortiguamiento	U1 Acel.	U1 Desp.
	Seg		cm/sec2	cm
CEC2000	0,065064	0,1823	244,101	-0,030413
CEC2000	0,004576	0,0251	421,495	2,033E-07
CEC2000	0,004572	0,0207	438,613	4,544E-07
CEC2000	0,004568	0,0314	401,335	-1,204E-09
UBC94	0,065064	0,1823	358,006	-0,044605
UBC94	0,004576	0,0251	391,646	1,889E-07
UBC94	0,004572	0,0207	407,535	4,222E-07
UBC94	0,004568	0,0314	372,883	-1,119E-09

Tabla 6.17 Análisis Energético Amortiguador Viscoelástico

Energía Total							
Caso	Entrada	Cinética	Potencial	AmortModal	Amort. Link	LinkHiste	Error
	N-cm	N-cm	N-cm	N-cm	N-cm	N-cm	N-cm
MUERTA	0	0	0	0	0	0	0
MODAL	0	0	0	0	0	0	0
CEC2000	0	0	0	0	0	0	0
UBC94	0	0	0	0	0	0	0
ELCENTRO1	70,71	3,89	12,53	70,22	0	0	1,279E-13
ELCENTRO2	64,06	3,41	10,36	8,01	55,54	0	0,04655

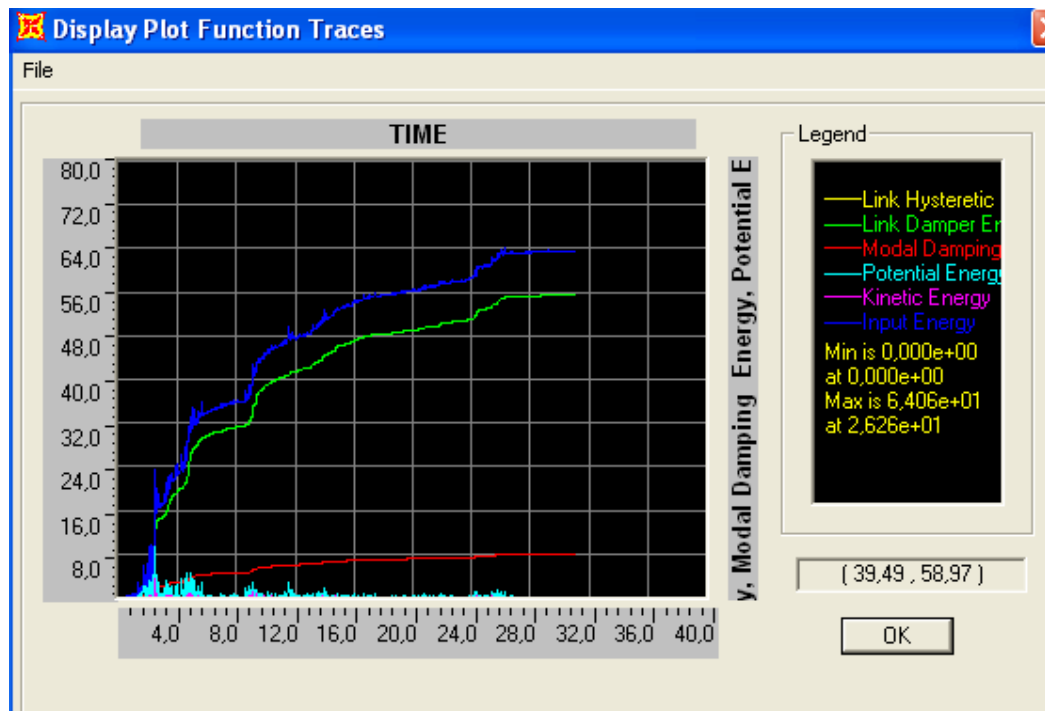


Figura 6.7 Grafico Análisis Energético amortiguador Visco elástico

CAPÍTULO 7 ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO

7.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

7.1.1 COSTOS INDIRECTOS

7.1.1.1 Misceláneos

Tabla 7.1 Descripción de costos misceláneos

No	Descripción	Costo Unitario	Costo Total
1	Juego de herramientas de Taller	\$ 100,00	\$ 100,00
6	Transporte	\$ 50,00	\$ 300,00
6	Suministros de Oficina	\$ 30,00	\$ 180,00
6	Otros	\$ 10,00	\$ 60,00
			\$ 640,00

7.1.2 COSTOS DIRECTOS

7.1.2.1 Materiales Directos

Tabla 7.2 Descripción de costos de materiales directos

No	Descripción	Costo Unitario	Costo Total
1	Amortiguador Sachs	\$ 100,00	\$ 100,00
2	Resorte	\$ 5,00	\$ 10,00
1	Retenedor	\$ 5,00	\$ 5,00
4	Silicona DOW CORNING 350 CST	\$ 10,00	\$ 40,00
4	Silicona WACKER 60000 CST	\$ 7,50	\$ 30,00
2	Buje	\$ 5,00	\$ 10,00
1	Aceite Aero Shell	\$ 38,00	\$ 38,00
1	Ensayos Mecánicos de Materiales	\$ 150,00	\$ 150,00
TOTAL			\$ 383,00

7.1.2.2 Remuneraciones

Tabla 7.3 Descripción de costos de remuneraciones

No	Descripción	Costo Unitario	Costo Total
1	Director de Tesis	\$ 750,00	\$ 750,00
1	Codirector de Tesis	\$ 450,00	\$ 450,00
2	Estudiantes	\$ 300,00	\$ 600,00
	TOTAL		\$ 1.800,00

7.1.3 RESUMEN

Tabla 7.4 Resumen de costos

Total Costos Directos	\$ 2.183,00
Total Costos Indirectos	\$ 640,00
Subtotal	\$ 2.823,00
5% Imprevistos	\$ 1.411,50
Total	\$ 2.823,00

El monto total de los costos fue financiado por los responsables del proyecto en su totalidad. En el análisis económico constan solamente los costos que implican la realización del presente proyecto y los métodos de financiamiento.

7.2 ANÁLISIS FINANCIERO

7.2.1 COSTOS Y GASTOS

Al ser este un proyecto de construcción tiene como objetivo la obtención de un producto tangible, con el aporte de conocimientos.

Tabla 7.5 Descripción de costos y gastos

COSTOS	TIPO DE COSTO	Valor
Costos de Materiales Directos	Costo de producción	\$ 233,00
Prestación de Servicio Lab. Mecánica de Materiales	Costo de producción	\$ 150,00
Electricidad	Costo de producción	\$ 30,00
Mantenimiento de Equipos	Costo de producción	\$ 20,00
Movilización	Gasto de venta	\$ 50,00
Conexión a Internet	Costo de producción	\$ 30,00
Material de oficina	Gasto Administrativo	\$ 180,00
TOTAL DE COSTOS Y GASTOS		\$ 693,00

7.2.2 INGRESOS

Se considera como ingreso el pago por parte de 15 alumnos, pagando 2 créditos al semestre por concepto de prácticas de laboratorio. El costo del crédito se asume como \$50.00.

Tabla 7.6 Descripción de ingresos

	Total
Prestación de Servicios a ESPE (Práctica de Laboratorio - Mecánica de Materiales)	\$ 1.500,00
TOTAL INGRESOS	\$ 1.500,00

7.2.3 DEPRECIACIÓN

Para el cálculo de la depreciación se considera un método lineal, es decir el valor de los activos para la vida útil. Los amortiguadores tienen una vida útil 25 años (en las condiciones de los ensayo). Las herramientas tienen una vida útil de 10 años definida por el uso que se le dé, sin embargo su valor tecnológico puede disminuir.

Tabla 7.7 Valores de depreciación de activos

	Año 1	Año 2
Amortiguador	\$ 30,00	\$ 30,00
Herramientas	\$ 10,00	\$ 10,00

7.2.4 INVERSIONES Y VALOR RESIDUAL

Se considera como inversión los materiales necesarios y del capital de trabajo de estudiantes y asesores (director y codirector) para hacer el presente proyecto, además del formato de las prácticas de laboratorio posteriores.

Tabla 7.8 Descripción de inversiones y valor residual

INVERSIONES	Valor	Total inversión	Valor residual
Amortiguador	\$ 400,00	\$ 400,00	\$ 340,00
Juego de herramientas de Taller	\$ 100,00	\$ 100,00	\$ 80,00
Capital de Operación	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
TOTAL		\$ 2.000,00	\$ 1.920,00

7.2.5 FLUJO DE CAJA

Se asume como culminación de vida del proyecto 2 años. Esto no significa que deje de ser un proyecto rentable sino que puede dar paso a otros proyectos de investigación, diseño o construcción.

Tabla 7.9 Flujo de caja

	Año 0	Año 1	Año 2
Ingresos	0	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
(-) Costos de producción	0	\$ 463,00	\$ 463,00
(-) Gastos de venta	0	\$ 50,00	\$ 50,00
(-) Gastos de administración	0	\$ 180,00	\$ 180,00
(-) Depreciación	0	\$ 40,00	\$ 40,00
= Utilidad antes de impuestos y participación	0,00	\$ 767,00	\$ 767,00
(-) 15% participación	0	\$ 115,05	\$ 115,05
= Utilidad antes de impuestos	0,00	\$ 651,95	\$ 651,95
(-) 25% de impuestos	0	\$ 162,99	\$ 162,99
= Utilidad neta	0,00	\$ 488,96	\$ 488,96
(+) Depreciación	0	\$ 40,00	\$ 40,00
(-) Inversión	\$ 500,00	\$ -	\$ -
(-) Capital de trabajo	\$ 1.500,00	\$ -	\$ -
(+) Valor residual	0	\$ -	\$ 1.920,00
FLUJO DE CAJA EFECTIVO	-2000	\$ 528,96	\$ 2.448,96

7.2.6 CÁLCULO DEL VALOR ACTUAL NETO CON TASA DE DESCUENTO DE 5%

Se asume una tasa de descuento baja ya que el proyecto es de bajo riesgo, al definirse horizontes de vida fijos y remuneraciones exactas.

Tabla 7.10 Cálculo del VAN

Año	Flujo efectivo	Tasa 5%	Valor Actual
0	-2000	0	-2000
1	\$ 528,96	1,05	\$ 503,77
2	\$ 2.448,96	1,10	\$ 2.221,28
VAN			725,05

7.2.7 CÁLCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO

Debido a que la tasa de interés escogida es menor que el TIR se puede aceptar el proyecto como válido.

Tabla 7.11 Cálculo del TIR

Año	Tasa 40%	Valor Actual	Tasa 50%	Valor Actual	Tasa 47,2997%	Valor Actual
0	0,00	528,96	0,00	528,96	0,00	528,96
1	1,40	0,75	1,50	0,70	1,47300	0,71
2	1,96	257,03	2,25	223,90	2,16972	232,18
TIR		786,74		753,56		761,86

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

1. El prototipo a escala diseñado y construido disipa un 6% de la energía como amortiguador, sin embargo al probarlo bajo las mismas relaciones geométricas a tamaño real y con un peso aproximado de 80kg. este es capaz de disipar un 20,38% de la energía como amortiguador y un total de 38,76% de la energía ingresada como elemento adicional de un pórtico.
2. Se determinó como fluido más eficiente al aceite de silicona, marca Wacker y con una viscosidad de 60000 CSt. Este fluido se encuentra fácilmente en el mercado y después de los ensayos se determinó que mejora notablemente las propiedades del amortiguador como disipador sísmico.
3. Se realizó el diseño mecánico del amortiguador, en donde se comprobó el correcto funcionamiento de cada una de sus partes bajo las condiciones de carga de un sismo (50000N) y adicional se determinó la fuerza de amortiguamiento teórica del amortiguador mediante 2 métodos: 1169N y 156500N.
4. Una vez comprobado el amortiguador mediante el diseño mecánico, se construyó en el amortiguador con las modificaciones necesarias para cumplir con el objetivo general del presente proyecto, adicional se realizaron procedimientos de inspección para comprobar el correcto funcionamiento del dispositivo construido.
5. Con los ensayos dinámicos del amortiguador se determinó que las características varían según los parámetros de carga al que esté sometido en los ensayos. Las propiedades obtenidas de los ensayos (elasticidad efectiva y amortiguamiento efectivo) son distintas para cada frecuencia ya que la fuerza de salida del amortiguador es directamente proporcional a la

velocidad de movimiento del pistón. Mientras más aumenta la frecuencia del ensayo más energía es absorbida, pero las propiedades de elasticidad y amortiguamiento se mantienen como una constante. Con frecuencias cercanas a 15Hz se obtuvieron como resultados más relevantes una elasticidad efectiva de 1150 N/cm y un amortiguamiento efectivo de 12,39 N – s/cm. Con estos datos se procedió a simular el amortiguador en el programa SAP 2000.

6. Se realizó también una comparación adicional con un Disipador Viscoelástico el cual bajo las condiciones de determinación de características pero bajo diferentes condiciones de ensayo y simulación presenta los siguientes resultados después de la simulación: 18,23% como amortiguador como tal y 86,70% de la energía total ingresada al tomarlo como elemento adicional de un pórtico, esto gracias a su elasticidad de casi 9000 N/cm y Coeficiente de amortiguamiento de 53,25.

La curva de histéresis de este amortiguador presenta en su eje mayor una inclinación con respecto a la horizontal lo que conlleva a que absorba más fuerza por unidad de distancia, esto hace que los amortiguadores viscoelásticos presenten un más alto valor de elasticidad que disipadores equivalentes para trabajo sísmico, no así su valor de amortiguamiento efectivo.

Esto simplemente es una comparación teórica ya que este elemento funciona como un muro mas no como una diagonal o como elemento adicional de la estructura.

7. Finalmente se concluye que en nuestro medio es factible el diseño y la construcción de un amortiguador telescópico hidráulico, y esto se refleja en el desarrollo del capítulo de análisis económico financiero.

8.2 RECOMENDACIONES

1. Mejorar las características del amortiguador construido realizando la construcción de diferentes tipos de válvulas las cuales harán trabajar de manera más eficiente al amortiguador construido.
2. A pesar que para el presente proyecto se realizó una vasta investigación del fluido más eficiente para utilizarlo como medio amortiguador, se recomienda buscar fluidos con características de viscosidad más elevadas y si es posible con mejor estabilidad que el utilizado para la construcción del amortiguador. Ya que según recomendaciones de fabricantes de disipadores sísmicos, no existe limitación para la utilización de fluidos con mas viscosidad.
3. El diseño mecánico consistió en una verificación de la geometría planteada del amortiguador, tanto para verificar que los elementos de este no fallen bajo las nuevas condiciones de trabajo, como para obtener el nuevo valor de la fuerza de amortiguamiento del dispositivo. Al no haber en bibliografía abierta este diseño se procedió a la verificación de cada uno de sus elementos. Con objeto de mejorar y optimizar este tipo de disipadores, para futuros estudios y posibles implementaciones, se recomienda realizar las mejoras en este diseño planteado, en caso de haberlo.
4. Al momento de la construcción y una vez culminada esta, es importante seguir los procedimientos de inspección planteados para asegurar el correcto funcionamiento del dispositivo.
5. Realizar varias pruebas previas al ensayo final en la máquina del laboratorio de resistencia, ya que es importante la familiarización con esta para poder obtener resultados coherentes. También es importante observar y verificar que el prototipo no presente ningún tipo de juego con las mordazas instaladas para que no se presenten errores en los datos obtenidos.
6. Realizar futuros estudios en los que consten varios tipos de disipadores sísmicos para comprobar la aplicación de cada uno así como la eficiencia

desarrollada, con el fin de obtener una información comparativa y las diferentes aplicaciones para cada tipo de disipador.

7. Incentivar el estudio de las diferentes características de los disipadores sísmicos y en especial al amortiguador telescópico hidráulico, al cual con este trabajo se lo considera eficiente, de diseño accesible al igual que la construcción.
8. Realizar estudios de factibilidad de instalación del amortiguador telescópico hidráulico en diferentes tipos de construcciones civiles que tengan como base estructuras metálicas en la actualidad de muy aplicables en nuestro medio. También analizar la factibilidad de la instalación de estos dispositivos en paralelo y del tamaño de un amortiguador de automóvil común.