

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS ELASTÓMEROS
UTILIZADOS EN AISLADORES Y NEOPRENOS.**

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

EDWIN HERNAN CORREA MANOSALVAS

SANGOLQUÍ, MAYO DE 2011.

RESUMEN

En el presente trabajo se estudia experimentalmente las características físicas de los elastómeros y sus respuestas mecánicas, utilizados en la fabricación de los neoprenos y aisladores elastoméricos. Se realiza ensayos de dureza, tracción, elongación, compresión y corte al elastómero. La respuesta que se obtiene en los ensayos permite dar un mejor criterio del comportamiento de elastómero, el ensayo de corte y compresión se realizó dinámicamente a diferentes frecuencias simulando las deformaciones producidas en un sismo el objetivo es generar las curvas de histéresis ya que estas permiten observar la capacidad de disipar energía.

Estos ensayos se llevan a cabo de acuerdo a las normas establecidas por el INEN y ASTM.

ABSTRACT

In this paper we study experimentally the physical properties of elastomers and mechanical responses used in the manufacture of wetsuits and elastomeric isolators. It makes testing the hardness, tensile, elongation, compression and cutting the elastomer. The response obtained in the tests allows for a better standard of behavior of elastomer, the compression and shear test was conducted at different frequencies dynamically simulating the earthquake deformations in order to generate hysteresis curves as these allow us to observe the ability to dissipate energy.

These tests were carried out in accordance with the standards set by the INEN and ASTM.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr: **EDWIN HERNÁN CORREA MANOSALVAS** como requerimiento parcial a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**.

Sangolquí, 22 de Junio de 2011

Dr. Roberto Aguiar Falconí

Director de Tesis

Ing. Estuardo Peñaherrera

Codirector de Tesis

REVISADO POR

Ing. Jorge Zuñiga

Director de la carrera de Ingeniería Civil

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mi familia, que con su amor, esfuerzo han hecho posible culminar una meta más, que me ha respaldado siempre en todo momento por apoyarme en cualquier decisión y ser la persona que con su amor ahora soy.

A todos mis amigos y compañeros del CEINCI que han estado cerca, brindándome su apoyo e hicieron que el tiempo fuese mucho más placentero.

Edwin Correa

AGRADECIMIENTOS

Quiero comenzar dando gracias a Dios por darme vida y amor en cada instante, estar siempre a mi lado y permitirme alcanzar esta meta de mi vida.

Expresar mis sinceros agradecimientos al director y codirector de tesis, Dr. Ing. Roberto Aguiar Falconí e Ing. Estuardo Peñaherrera por su invaluable colaboración, por sus consejos, recomendaciones y paciencia brindada durante la elaboración de esta tesis para culminar con éxito.

Gracias a los Ingenieros Francisco Navas y José Pérez que me ayudaron en la realización de los ensayos en el laboratorio de mecánica de materiales.

De manera especial Al Ing. Nelson Garzón gerente general de PLAMEC, por colaborar en la fabricación de las probetas utilizadas en este trabajo.

Agradezco a todas aquellas personas que de una u otra manera me han ayudado durante el transcurso de mi carrera; profesores, compañeros, amigos y familiares.

1 ÍNDICE

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO I | 13 |
| PELIGROSIDAD SÍSMICA | 13 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1.2 ANTECEDENTES | 19 |
| 1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 20 |
| 1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA | 20 |
| 1.5 OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO..... | 21 |
| 1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 21 |
| 1.7 ALCANCES..... | 21 |
| CAPÍTULO II | 23 |
| PUENTES CON APOYOS DE NEOPRENO Y AISLADORES ELASTOMERICOS | 23 |
| 2.1 PUENTES CON APOYOS DE NEOPRENO..... | 23 |
| 2.2 SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL PUENTE PAY PAY MANABÍ – TOSAGUA | 38 |
| 2.3 COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE PUENTES CON APOYOS DE NEOPRENO EN SISMO DE CHILE | 44 |
| 2.4 PUENTES CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS (PUENTE MARGA MARGA DE CHILE) | 52 |
| 2.5 COMPORTAMIENTO SÍSMICO DEL PUENTE MARGA MARGA DURANTE EL SISMO DE CHILE | 58 |
| 2.6 NECESIDAD DEL ESTUDIO (MATERIA PRIMA ES EL CAUCHO) | 62 |
| CAPÍTULO III | 74 |
| CARACTERÍSTICAS DE LA GOMA | 74 |
| 3.1 INTRODUCCIÓN | 74 |
| 3.2 COMPOSICIÓN DE LOS CAUCHOS..... | 77 |
| 3.3 EL NEGRO DE HUMO 660 | 80 |

| | |
|---|------------|
| 3.3 EL ACEITE PARAFÍNICO | 80 |
| 3.4 EL ÁCIDO ESTEÁRICO | 80 |
| 3.5 EL ÓXIDO DE ZINC..... | 81 |
| 3.6 EL AZUFRE..... | 81 |
| 3.7 VULCANIZACIÓN..... | 82 |
| 3.8 ACELERADORES DE LA VULCANIZACIÓN: | 84 |
| 3.9 ACTIVADORES Y RETARDANTES:..... | 84 |
| CAPÍTULO IV | 86 |
| ENSAYOS REALIZADOS | 86 |
| 4.1 ENSAYO DE DUREZA | 87 |
| 4.2 DUREZA SHORE (INEN 887) | 88 |
| 4.3 GRAFICAS DE DUREZA - TEMPERATURA..... | 92 |
| 4.4 ENSAYO A TRACCIÓN..... | 94 |
| 4.4 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO..... | 96 |
| 4.5 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO..... | 98 |
| 4.6 ENSAYO ELONGACIÓN PORCENTUAL A LA ROTURA..... | 99 |
| 4.7 GRAFICAS DE FUERZA DEFORMACIÓN | 100 |
| 4.8 ENSAYO POR CORTE | 106 |
| 4.9 ENSAYO DE COMPRESIÓN | 130 |
| 4.10 ENSAYO DE MÓDULO DE CORTE..... | 143 |
| CAPÍTULO V | 147 |
| Nuevos Criterios Sísmicos | 148 |
| 5.1 ANCHO MÍNIMO DE LA MESA DE APOYO | 149 |
| 5.2 TOPES SÍSMICOS EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL..... | 150 |
| 5.3 BARRAS DE ANCLAJE VERTICAL ANTISÍSMICAS | 151 |
| 5.4 ANCLAJE DE PLACAS DE APOYO: | 153 |
| 5.5 TOPES SÍSMICOS INTERMEDIOS Y EXTREMOS. | 154 |
| 5.6 PUENTES INTEGRALES- UNIÓN MONOLÍTICA ENTRE LA LOSA DEL TABLERO Y EL ESTRIBO | 157 |
| CAPÍTULO VI..... | 158 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 158 |

2 ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

| | |
|--|----|
| PELIGROSIDAD SÍSMICA | 1 |
| Figura 1-1 Cordillera de Carnegie (Fuente Pazmiño INOCAR) | 13 |
| Figura 1-2 Los 10 peores terremotos del mundo (Fuente Angelfire.com)..... | 14 |
| Figura 1-3 Distribución de sismos en el norte de Ecuador (Fuente INOCAR) | 14 |
| Figura 1-4 Mapa Histórico de sismicidad del Ecuador. (Fuente wikipedia)..... | 15 |
| Figura 1-5 Caída del Tablero por falta de apoyo (Dr. Aguiar 2010) | 17 |
| Figura 1-6 Apoyo de neopreno..... | 17 |
| Figura 1-7 Aislador Elastomérico..... | 18 |

CAPÍTULO I;Error! Marcador no definido. II

| | |
|---|----|
| PUNTES CON APOYOS DE NEOPRENO Y AISLADORES ELASTOMERICOS | 11 |
| Figura 2-1 Sección Transversal de Puente Tipo (Fuente CEE)..... | 24 |
| Figura 2-2 Elementos de la Subestructura y Superestructura de un puente losa..... | 25 |
| Figura 2-3 Colocacion de Apoyos de Neoprenos en un Puente..... | 26 |
| Figura 2-4 Puente con vigas de acero | 28 |
| Figura 2-5 Puente con vigas de hormigón..... | 28 |
| Figura 2-6 Neopreno sin y con presencia de elementos extraños (Ing. Jáuregui 2007) . | 29 |
| Figura 2-7 Neopreno con deformación (Ing. Jáuregui 2007) | 29 |
| Figura 2-8 Neopreno con degradación (Ing. Jáuregui 2007) | 30 |
| Figura 2-9 Apoyos con Oxidación (Ing. Jáuregui 2007)..... | 30 |
| Figura 2-10 Apoyos con Oxidación (Ing. Jáuregui 2007) | 30 |
| Figura 2-11 Mapa de ubicación de puentes en ejecución (fuente Subsecretaria de Infraestructura del Transporte)..... | 31 |
| Figura 2-12 Neoprenos con deformación (Ing. Jáuregui 2007)..... | 33 |
| Figura 2-13 Neoprenos con deformación (Ing. Jáuregui 2007)..... | 33 |
| Figura 2-14 Comportamiento del neopreno ante una fuerza horizontal | 37 |
| Figura 2-15 Puente PayPay Ecuador – Manabí (Dr. Aguiar 2010)..... | 38 |
| Figura 2-16 Ubicación del Puente PayPay Ecuador – Manabí | 39 |
| Figura 2-17 Vista en elevación del Puente PayPay Ecuador – Manabí | 40 |
| Figura 2-18 Vigas sobre Apoyos de Neopreno (PAY-PAY) | 41 |
| Figura 2-19 Estribos con contrafuertes | 42 |
| Figura 2-20 Vigas transversales y longitudinales..... | 43 |
| Figura 2-21 Protecciones laterales del puente | 43 |
| Figura 2-22 Epicentro del Sismo de Chile 2010 (Fuente Carlos Córdova)..... | 45 |
| Figura 2-23 Puente sobre el rio Claro (Fuente Cámara Chilena) | 48 |
| Figura 2-24 Puente en la Autopista de Santiago (Fuente Cámara Chilena)..... | 48 |
| Figura 2-25 Autopista en Santiago Fuente Cámara Chilena..... | 49 |

| | |
|--|----|
| Figura 2-26 Autopista en Santiago Fuente Cámara Chilena..... | 49 |
| Figura 2-27 Puente viejo de concepción Fuente Cámara Chilena..... | 50 |
| Figura 2-28 Autopista de Santiago Fuente Cámara Chilena..... | 50 |
| Figura 2-29 Puente Vespucio Norte (Fuente Santa María y Carlos Córdova 2010) | 51 |
| Figura 2-30 Descripción de las pilas en el puente (Taylor 2007) | 53 |
| Figura 2-31 Descripción de los pilotes en el puente (Taylor 2007) | 53 |
| Figura 2-32 Aisladores usados en el Puente Marga-Marga | 54 |
| Figura 2-33 Localización de sensores en el puente (Soto 2007) | 56 |
| Figura 2-34 Puente Marga-Marga Chile..... | 57 |
| Figura 2-35 Localización de Aisladores Sísmicos - Viaducto Marga-Marga..... | 57 |
| Figura 2-36 Aislador instalado en el puente Marga Marga..... | 58 |
| Figura 2-37 Espectro de Respuesta Elástica en campo libre (Boroschek 2010)..... | 58 |
| Figura 2-38 Registro de aceleraciones del puente | 60 |
| Figura 2-39 Registro del 24 de Julio 2001 - Viaducto Marga-Marga | 61 |
| Figura 2-40 Extracción del caucho | 63 |
| Figura 2-41 Látex y Caucho Sintético | 64 |
| Figura 2-42 Plantación del caucho | 65 |

CAPÍTULO III

| | |
|---|----|
| CARACTERISTICAS DE LA GOMA..... | 62 |
| Figura 3-1: Colocación del neopreno en un puente losa | 74 |
| Figura 3-2 Placa de Neopreno | 75 |
| Figura 3-3 Comportamiento del Neopreno..... | 76 |
| Figura 3-4 Fábrica de Caucho..... | 77 |
| Figura 3-5 Equipo de Vulcanización..... | 82 |
| Figura 3-6 Proceso de vulcanización | 83 |
| Figura 3-7 Verificación de las medidas del prototipo..... | 84 |

CAPÍTULO IV

| | |
|---|----|
| ENSAYOS REALIZADOS..... | 74 |
| Figura 4-1 Equipo de medida de dureza DURÓMETRO SHORE D..... | 88 |
| Figura 4-2 Realización de medición en caucho..... | 88 |
| Figura 4-3 Medidor de fuerza | 89 |
| Figura 4-4 Medición de dureza en el elastómero | 90 |
| Figura 4-5. Elastómeros utilizados en el ensayo de dureza..... | 90 |
| Figura 4-6 Dureza de los Prototipos Ensayados..... | 92 |
| Figura 4-7 Medición de temperatura y dureza a cada hora en el prototipo | 93 |
| Figura 4-8 Dureza – Temperatura de las probetas elastómeras | 93 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4-9 Resistencia – Temperatura de las probetas elastómeras | 93 |
| Figura 4-10 Molde para probetas de elastómeros | 94 |
| Figura 4-11 Prototipo de elastómero..... | 95 |
| Figura 4-12 Medición de las probetas elastómeras para el ensayo..... | 95 |
| Figura 4-13 Probetas elastómeras shore 50, 60 y 70 | 96 |
| Figura 4-14 Equipo del laboratorio para el ensayo de tracción..... | 97 |
| Figura 4-15 Ensayo de las probetas elastómeras a tracción | 97 |
| Figura 4-16 Ensayo de tracción del elastómero | 98 |
| Figura 4-17 Principio del funcionamiento del ensayo a tracción..... | 98 |
| Figura 4-18 Gráfico de los resultados obtenidos en el ensayo de elongación porcentual | 100 |
| Figura 4-19 Curva típica de tensión-deformación en polímeros | 102 |
| Figura 4-20 Grafico Curva de fuerza-deformación en shore 50 | 102 |
| Figura 4-21 Curva de fuerza-deformación en shore 60 | 103 |
| Figura 4-22 Curva de fuerza-deformación en shore 70 | 103 |
| Figura 4-23 Curva de Esfuerzo-deformación en shore 50..... | 104 |
| Figura 4-24 Curva de Esfuerzo-deformación en shore 60..... | 104 |
| Figura 4-25 Curva de Esfuerzo-deformación en shore 70..... | 105 |
| Figura 4-26 Grafico Fuerza máximas obtenidas a Tracción..... | 105 |
| Figura 4-27 Grafico Esfuerzo máximo obtenidos..... | 106 |
| Figura 4-28 Gráfico del prototipo a corte | 107 |
| Figura 4-29 Prototipo a ser ensayado a corte..... | 107 |
| Figura 4-30 Prototipo con la fuerza aplicada a tracción..... | 108 |
| Figura 4-31 Prototipo ensayado a fuerza de corte..... | 109 |
| Figura 4-32 Equipo del laboratorio para el ensayo | 110 |
| Figura 4-33 Desplazamiento 25% del prototipo..... | 111 |
| Figura 4-34 Desplazamiento 50% del prototipo..... | 111 |
| Figura 4-35 Desplazamiento 100% del prototipo | 111 |
| Figura 4-36 Desplazamiento 125% del prototipo | 112 |
| Figura 4-37 Desplazamiento 150% colapso la probeta..... | 112 |
| Figura 4-38 Ciclo histerético del amortiguador | 113 |
| Figura 4-39 modelo bilineal (fuerza – desplazamiento) | 114 |
| Figura 4-40 Fuerza – desplazamiento con ablandamiento..... | 117 |
| Figura 4-41 Curva fuerza – Desplazamiento Kef | 118 |
| Figura 4-42 Ciclos carga/descarga para 25%, 50%, 75%, 100% y 125% deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.1 Hz. | 121 |
| Figura 4-43 Ciclos carga/descarga para 25%, 50%, 75%, 100% y 125% deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.2 Hz. | 122 |
| Figura 4-44 Ciclos carga/descarga para 25%, deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz. | 124 |
| Figura 4-45 Ciclos carga/descarga para 50%, deformación, a 21°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz. | 124 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4-46 Ciclos carga/descarga para 75%, deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz. | 125 |
| Figura 4-47 Ciclos carga/descarga para 100%, deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz. | 125 |
| Figura 4-48 Ciclos carga/descarga para 25%, deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz. | 127 |
| Figura 4-49 Ciclos carga/descarga para 50%, deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz..... | 127 |
| Figura 4-50 Ciclos carga/descarga para 75%, deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz. | 128 |
| Figura 4-51 Ciclos carga/descarga para 100%, deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz..... | 128 |
| Figura 4-52 Fuerza de positiva - Deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz. | 129 |
| Figura 4-53 Fuerza de negativa - Deformación, a 21.5°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz..... | 129 |
| Figura 4-54 Prototipo para el ensayo de compresión..... | 131 |
| Figura 4-55 Medición de las probetas para el ensayo de compresión | 131 |
| Figura 4-56 Ensayo de compresión..... | 131 |
| Figura 4-57 Ensayo de compresión en la maquina..... | 132 |
| Figura 4-58 Probetas para ensayar a compresion..... | 132 |
| Figura 4-59 Curvas del ensayo de compresión 50, 60, 70 a 25% de deformación | 136 |
| Figura 4-60 Curvas del ensayo de compresión shore 50 a 25% de deformación | 136 |
| Figura 4-61 Curvas del ensayo de compresión shore 60 a 25% de deformación | 137 |
| Figura 4-62 Curvas del ensayo de compresión shore 70 a 25% de deformación | 137 |
| Figura 4-63 Curvas del ensayo de compresión shore 50 a 25% de deformación | 138 |
| Figura 4-64 Curvas del ensayo de compresión shore 60 a 25% de deformación | 138 |
| Figura 4-65 Curvas del ensayo de compresión shore 70 a 25% de deformación | 139 |
| Figura 4-66 Curvas del ensayo de compresión shore 70, 60, 50 a 25% de deformación..... | 139 |
| Figura 4-67 Curvas del ensayo de compresión shore 70, 60, 50 a 25% de deformación..... | 140 |
| Figura 4-68 Esfuerzo máximo de compresión para que se deforme el 25 %..... | 140 |
| Figura 4-69 Fuerza máxima de compresión para que se deforme el 25 % | 141 |
| Figura 4-70 Ensayo de compresión a 5, 10, 15, 20, 25 mm de deformación a 22 °C. | 142 |
| Figura 4-71 Módulo Compresión..... | 143 |
| Figura 4-72 Datos para módulo de corte | 143 |
| Figura 4-73 Equipo para el ensayo de corte | 144 |
| Figura 4-74 Funcionamiento del ensayo a corte | 145 |
| Figura 4-75 Equipo para el ensayo..... | 146 |
| Figura 4-76 Grafica esfuerzo - deformación unitaria | 147 |
| Figura 4-77 Módulo de elasticidad por cortante | 147 |

CAPÍTULO V

| | |
|---|-----|
| Nuevos Criterios Sísmicos..... | 136 |
| Figura 5-1 Apoyos sobre pilas y estribos..... | 150 |
| Figura 5-2 Ancho mínimo de la mesa de Apoyo basada en la norma japonesa..... | 150 |
| Figura 5-3 Conexiones de la superestructura y estribos..... | 151 |
| Figura 5-4 Topes sísmicos basada en la norma japonesa..... | 151 |
| Figura 5-5 Conexiones sísmicos basada en la norma japonesa..... | 151 |
| Figura 5-6 Barras sísmicas | 152 |
| Figura 5-7 Ejemplo aislador con perno de anclaje..... | 154 |
| Figura 5-8 Topes sísmicos y travesaño..... | 155 |
| Figura 5-9 Ejemplo Topes sísmicos y travesaño (fuente Paola Chapple revista bit) .. | 144 |
| Figura 5-10 Topes sísmicos externo (fuente revista bit) | 145 |
| Figura 5-11 Ejemplo de unión de losa tablero con estribo..... | 145 |

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II PUENTES CON APOYOS DE NEOPRENO Y AISLADORES ELASTOMERICOS

| | |
|--|----|
| Tabla 2-1 Puentes en Ejecución y Puentes Terminados por el MOPT | 32 |
| Tabla 2-2 Módulo de corte del elastómero (Fuente AASHTO 14.7.6) | 36 |
| Tabla 2-3 Distribución y dirección de los sensores | 55 |
| Tabla 2-4 Composición del látex natural fuente (Castellanos 2009)..... | 63 |

CAPÍTULO III **Error! Marcador no definido.** CARACTERISTICAS DE LA GOMA

| | |
|------------------------------------|----|
| Tabla 3-1 Química de la Goma | 77 |
|------------------------------------|----|

CAPÍTULO IV ENSAYOS REALIZADOS

| | |
|--|-----|
| Tabla 4-1 Datos de dureza y temperatura tomados en el ensayo..... | 91 |
| Tabla 4-2 Esfuerzo Máximo a Tracción | 106 |
| Tabla 4-3 Registro de desplazamientos del prototipo shore 60..... | 119 |
| Tabla 4-4 Registro de desplazamientos del prototipo shore 50..... | 120 |
| Tabla 4-5 Registro de desplazamientos del prototipo shore 70..... | 120 |
| Tabla 4-6 registro de desplazamientos del prototipo shore 55 | 123 |
| Tabla 4-7 Registro de desplazamientos del prototipo shore 65 | 126 |
| Tabla 4-8 Registro de desplazamientos del prototipo shore 50 a compresión..... | 133 |
| Tabla 4-9 Registro de desplazamientos del prototipo shore 60 a compresión..... | 134 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 4-10 Registro de desplazamientos del prototipo shore 70 a compresión..... | 135 |
| Tabla 4-11 Datos del ensayo de Compresión..... | 142 |
| Tabla 4-12 Registro de desplazamientos del prototipo shore 50, 60, 70 a corte..... | 146 |

3 ÍNDICE DE ECUACIONES

CAPÍTULO II_PUENTES CON APOYOS DE NEOPRENO Y AISLADORES ELASTOMERICO

| | |
|--------------------|----|
| Ecuación 2-1 | 37 |
|--------------------|----|

CAPÍTULO IV ENSAYOS RELIZADOS

| | |
|---------------------|-----|
| Ecuación 4-1 | 99 |
| Ecuación 4-2 | 99 |
| Ecuación 4-3 | 100 |
| Ecuación 4-4 | 115 |
| Ecuación 4-5 | 115 |
| Ecuación 4-6 | 116 |
| Ecuación 4-7 | 116 |
| Ecuación 4-8 | 117 |
| Ecuación 4-9 | 145 |
| Ecuación 4-10 | 145 |
| Ecuación 4-11 | 145 |
| Ecuación 4-12 | 145 |
| Ecuación 4-13..... | 145 |
| Ecuación 4-14 | 145 |
| Ecuación 4-15 | 145 |

CAPÍTULO V Nuevos Criterios Sísmicos

| | |
|--------------------|-----|
| Ecuación 5-1 | 149 |
| Ecuación 5-2 | 152 |

1.1

CAPÍTULO I

1.2 PELIGROSIDAD SÍSMICA

1.3 INTRODUCCIÓN

Ecuador por estar ubicado en una zona sísmica es afectado por una serie de sismos, que han producido daño en las estructuras, en especial a los puentes.

La actividad sísmica de Ecuador se debe al movimiento de las placas tectónicas lo que ha dado origen a la zona de subducción que existe entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana. Las dos placas están en contacto debido a la velocidad de avance entre ambas placas principalmente de la placa de Nazca que se mueve a una velocidad que está alrededor de 8.4 cm por año. Se destaca que en el Ecuador la velocidad no es uniforme debido a la cordillera de Carnegie, que se encuentra en el océano pacífico.



Figura 1-1 Cordillera de Carnegie (Fuente Pazmiño INOCAR)

En un registro del siglo pasado se observa que en las costas de Esmeraldas se produjo el sexto sismo mayor del mundo.

**LOS 10 PEORES TERREMOTOS REGISTRADOS
EN EL MUNDO (1900-2010)**

| PAIS | FECHA | MAGNITUD RICHTER | UBICACION EPICENTRO |
|-------------------------------|-------------|------------------|---------------------|
| 1.) Chile | 22/05/1960 | 9.5 Mw | 38.2 S 72.6 W |
| 2.) Alaska | 28/03/1964 | 9.2 Mw | 61.1 N 147.5 W |
| 3.) Rusia | 04/ 11/1952 | 9.0 Mw | 52.75 N 159.5 E |
| 4.) Indonesia | 28/12/2004 | 9.0 Mw | 3.298°N, 95.779°E |
| 5.) Chile | 27/02/2010 | 8.8 Mw | 35.93S 72.78W |
| 6.) Ecuador | 31/01/1906 | 8.8 Mw | 1.0 N 81.5 W |
| 7.) Alaska | 09/03/1957 | 8.8 Mw | 51.3 N 175.8 W |
| 8.) Islas Kuriles | 06/11/1958 | 8.7 Mw | 44.4 N 148.6 E |
| 9.) Alaska | 04/02/1965 | 8.7 Mw | 51.3 N 178.6 E |
| 10.) Chile | 11/11/1922 | 8.5 Mw | 28.5 S 70.0 W |

Figura 1-2 Los 10 peores terremotos del mundo (Fuente Angelfire.com)

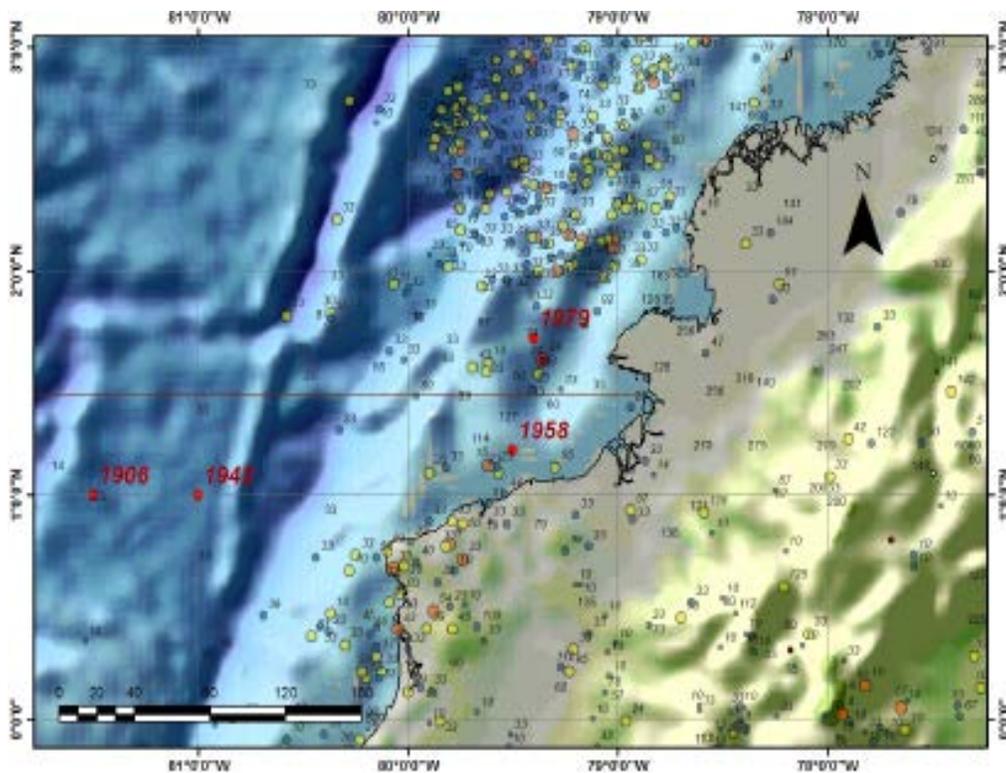


Figura 1-3 Distribución de sismos en el norte de Ecuador (Fuente INOCAR)

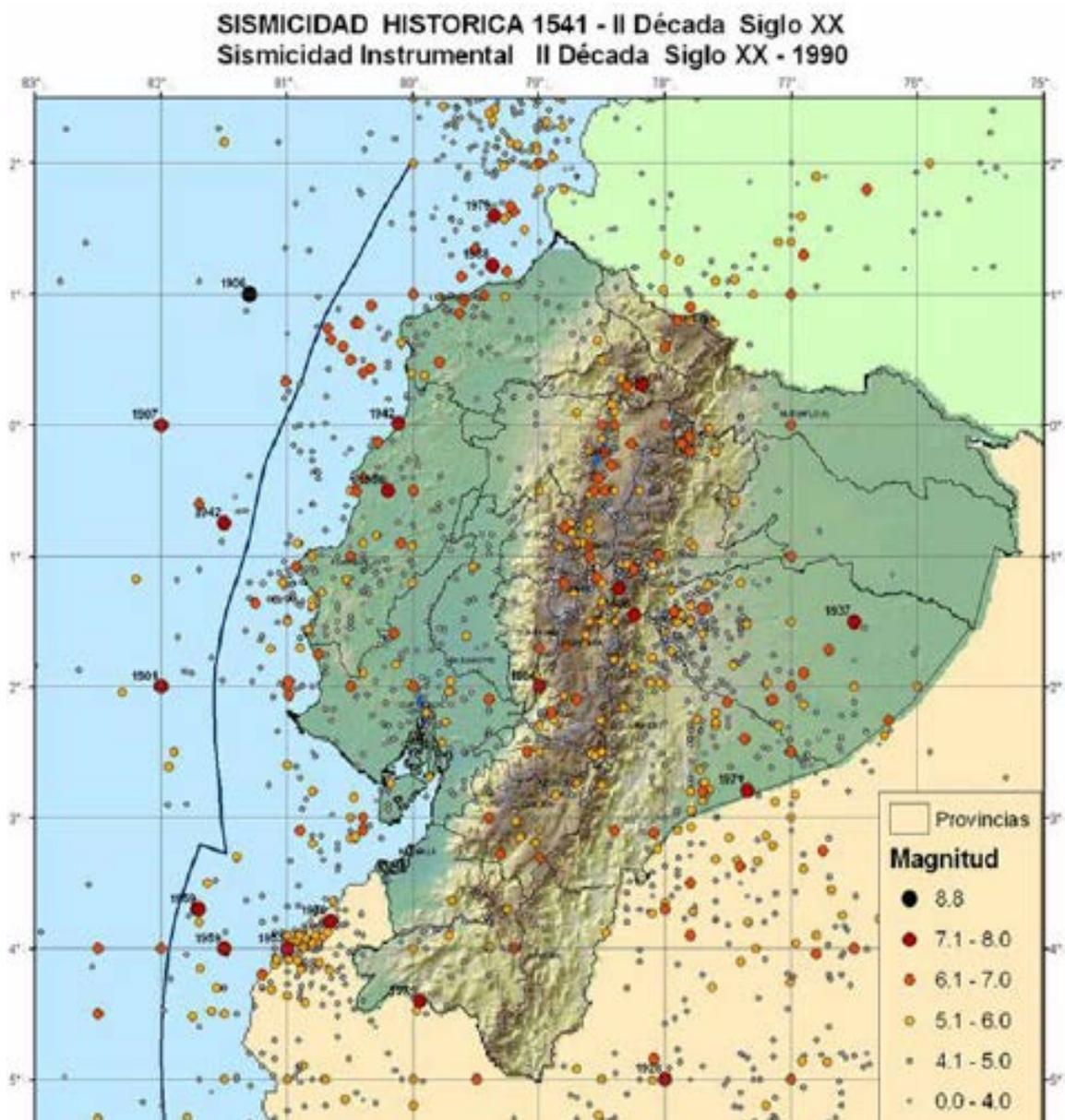


Figura 1-4 Mapa Histórico de sismicidad del Ecuador. (Fuente wikipedia)

En los últimos años se han observado eventos sísmicos en Centro y Sur América que han producido graves daños a las estructuras. Algunas edificaciones que fueron diseñados para resistir las fuerzas provocadas por los sismos no resistieron y colapsaron. Este evento ha llevado a cuestionar los métodos de diseño de estas estructuras con los materiales utilizados en la construcción y buscar una forma práctica de disminuir tales consecuencias.

Una de las maneras que ha sido aceptada para tal efecto, es incorporar en las estructuras, el sistema de aislación sísmica.

Sin embargo, para el diseño de puentes y estructuras especiales, se utilizan normas de otros países que no representan nuestra realidad. Por tal motivo se considera fundamental elaborar un documento que contenga criterios de diseño sísmico pensados para la geografía de Ecuador.

Cuando se diseña y se analiza las estructuras hay que tomar en cuenta, la peligrosidad sísmica que tiene el país, ya que la determinación de estas cargas es muy importante

En los últimos eventos sísmicos, algunos puentes sufrieron daños estructurales por las cargas sísmicas y ha tenido como consecuencia el colapso de la estructura, en la mayoría de los casos el desplazamiento relativo que sufrió entre las pilas y la estructura fue demasiado fuerte propiciando que se deba tener mucho cuidado en enfocar al estudio detallado de su comportamiento, para obtener diseños que mejoren el comportamiento sísmico y reducir los daños estructurales que se puedan presentar. En la Figura 2.4 se presenta el colapso de un tablero del puente Llacolen durante el Mega sismo de Chile 2010.



Figura 1-5 Caída del Tablero por falta de apoyo (Dr. Aguiar 2010)

Con el fin de mitigar tales daños es necesario colocar sistemas de aislación sísmica en las estructuras como, los Apoyos Elastoméricos de Neopreno que son más utilizados en estructuras elevadas y principalmente en Puentes.

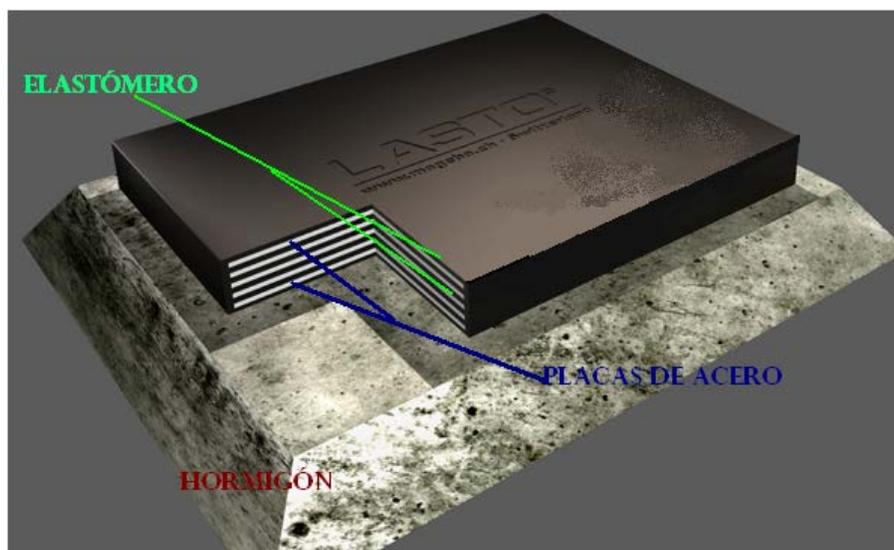


Figura 1-6 Apoyo de neopreno

Los neoprenos están constituidos en esencia por un bloque de elastómero de dureza shore 50, shore 60 o shore 70, que lleva intercaladas unas láminas de acero A 36 vulcanizadas y firmemente adheridas entre sí. La palabra elastómero es un término genérico para los materiales similares al caucho natural, el neopreno es el más común de los cauchos sintéticos.

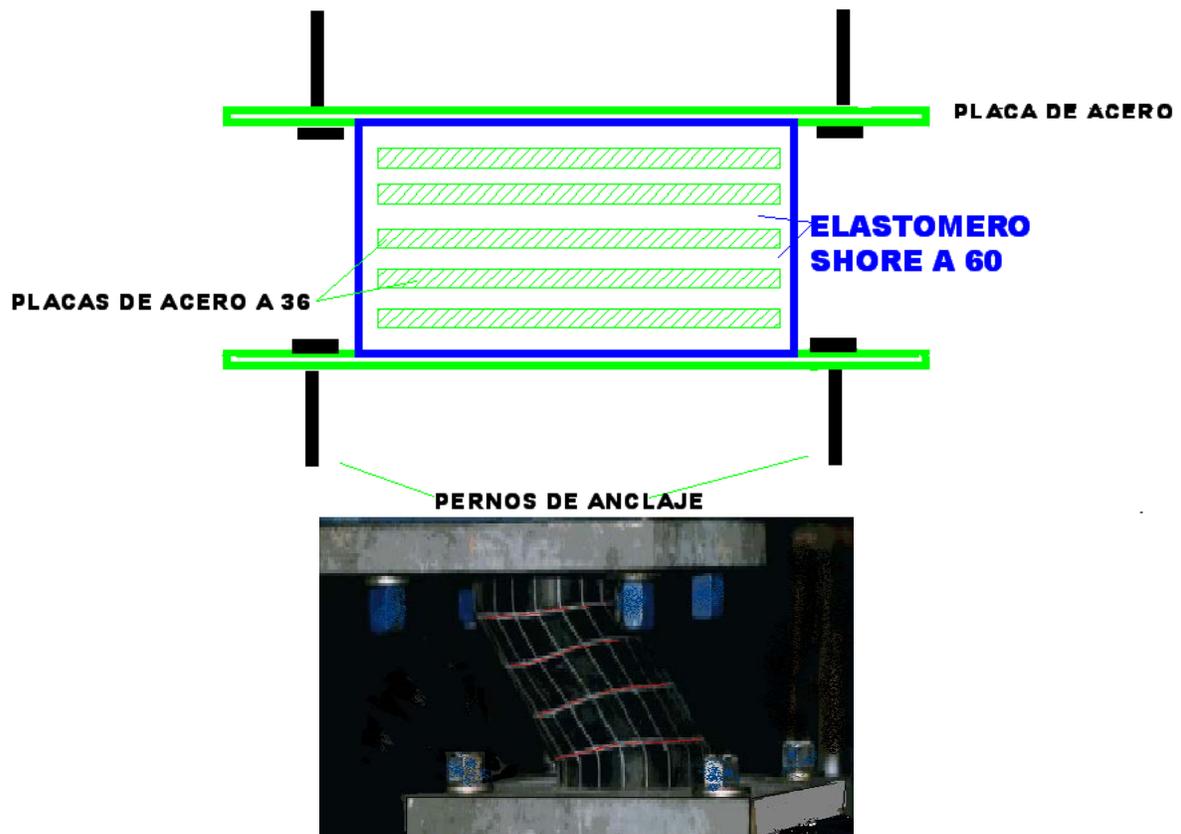


Figura 1-7 Aislador Elastomérico

1.4 ANTECEDENTES

En el Ecuador como en gran parte de los países latinoamericanos, últimamente está incorporando el aislamiento sísmico en las estructuras. Los aisladores elastoméricos son los más difundidos en edificaciones y los neoprenos en puentes; debido a su facilidad de construcción, mantenimiento y bajo costo con respecto al valor final de la edificación.

Este tema es de mucha importancia nacional, ya que las estructuras como edificios y puentes deben constar con aislamiento sísmico.

En el mundo se han emprendido campañas para mejorar el diseño sísmico en las que se han desarrollado varios métodos. Todo diseño utiliza una selección de materiales de gran calidad para lo cual tienen que cumplir ciertos parámetros como por ejemplo, para diseñar el aislador se necesita el módulo de corte de la goma, el factor de amortiguamiento etc.

Como es conocido el elastómero tiene la capacidad de sufrir gran alargamiento elástico el mismo que puede recuperarse en un tiempo determinado. En la antigüedad al caucho natural se utilizó como apoyo y amortiguador de las vibraciones de las cimentaciones de máquinas especiales e incluso en los ferrocarriles, pero tuvo limitaciones. El descubrimiento del "neopreno" llevado a cabo en la década de los años treinta nos ayudó a que se emplee en el sistema de aislación sísmica. Este nuevo material que teniendo las cualidades elásticas del caucho natural, posee un cambio con una excepcional resistencia contra la corrosión y el envejecimiento. Con estas cualidades se diseñan y construyen los aisladores elastoméricos. Como por ejemplo los producidos por

el Centro de Investigaciones Científicas (CEINCI, Auqui 2011). Se describen los ensayos realizados para determinar las características mecánicas y físicas de dicho material.

1.5 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Este proyecto tiene aplicación e importancia a nivel local y nacional, en la actualidad la aislación sísmica es muy conocida en nuestro país especialmente en la construcción de puentes. El material más usado en los puentes con aislación es el elastómero, por sus características de absorción de fuerzas verticales, horizontales y torsión, porque una estructura con aislación no sufre daños considerables y permite que siga funcionando antes y después de un sismo.

1.6 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Los aisladores elastoméricos ayudan a disipar energía, por esa razón es necesario que se conozcan las características de los materiales y las propiedades mecánicas de los mismos. Este proyecto se enfoca en la incorporación de un mejor criterio para la utilización de los elementos que componen los aisladores. Para resolver este problema realizaremos ensayos a prototipos elastoméricos.

Determinaremos experimentalmente las características de los elementos elastómeros y sus respuestas mecánicas. Se realiza ensayos de dureza, tracción, elongación, compresión y corte al elastómero. La respuesta que se obtenga en los ensayos permitirá un mejor criterio del comportamiento de

aislación, dando una idea global de cómo va a funcionar el elemento elastómero en condiciones de reposo y ante un eventual sismo.

Por tal motivo se considera fundamental elaborar un documento que contenga criterios de diseño sísmico pensados para la geografía de Ecuador.

1.7 OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

Analizar las características físicas mecánicas del elastómero usados en la fabricación de aisladores sísmicos elastoméricos y neoprenos.

1.8 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar mediante ensayos de dureza, tracción, elongación, compresión y corte a los elastómeros usados en los primeros aisladores sísmicos con dureza shore 50, shore 60 y shore 70.
- Determinar mediante ensayos de corte cíclico cómo se comporta el elastómero a diferentes frecuencias simulando los desplazamientos del sismo.
- Evaluar la resistencia de los elastómeros mediante diagramas Esfuerzo – Deformación y Fuerza – Deformación Unitaria y curvas de histéresis.

1.9 ALCANCES

- Llegar a demostrar el comportamiento del elastómero a diferentes frecuencias y como varía su capacidad de aislación sísmica.
- Ensayar prototipos elastoméricos de diferentes durezas: shore 50, shore 60 y shore 70, obtener resultados de su comportamiento en

relación a la temperatura del ambiente considerando la norma INEN 887.

- Ensayar prototipos a tracción de 3 durezas shore 50, 60 y 70, obtener los resultados de su comportamiento de acuerdo a la norma INEN 1 165.
- Obtener gráficas de (fuerza – deformación), (esfuerzo – deformación), de tres prototipos de dureza shore 50, 60 y 70 y compararlos entre sí.
- Calcular la fuerza y esfuerzo máxima de los ensayos y graficar.
- Obtener las gráficas de curva de histéresis de los prototipos elastoméricos a corte. Calcular la fuerza máxima a corte, a tracción y graficar.
- Obtener las gráficas de curva de histéresis de los prototipos elastoméricos a compresión. Calcular la fuerza máxima a compresión y graficar.
- Calcular el módulo de elasticidad por cortante (G). Análisis de los resultados obtenidos.

1.10 CAPÍTULO II

1.11 PUENTES CON APOYOS DE NEOPRENO Y AISLADORES ELASTOMERICOS

1.12 PUENTES CON APOYOS DE NEOPRENO

A través de la historia los puentes son elementos principales de la red vial, su función es de unir dos puntos distintos. En nuestro país son muchas las condiciones que se deben tomar al momento de analizar y diseñar puentes, la peligrosidad y la vulnerabilidad sísmica, las cargas que deben soportar las estructuras como: cargas vivas, accidentales, de impacto, etc. El mal diseño de estas cargas producirá daños en la subestructura del puente.

Es muy importante que los puentes carreteros se rijan por normas que establezcan los parámetros de seguridad y utilidad. Gran parte de ellos se diseñan según las normas de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Un puente se divide en dos partes: La superestructura y la subestructura. En la Ingeniería de Puentes, el estudio de la subestructura es importante ya que se encarga de soportar todas las cargas a las que está sometida la superestructura del puente, desde los apoyos hasta la fundación donde está cimentado el puente como se observa en la figura 2.1. En nuestro país se han construido puentes y caminos con materiales y normas distintas a nuestra realidad, afectando el comportamiento estructural especialmente de la subestructura, por

ejemplo las cargas de tráfico que hoy en día soporta los puentes son distintos con los que fueron diseñados, afectando principalmente a los apoyos.

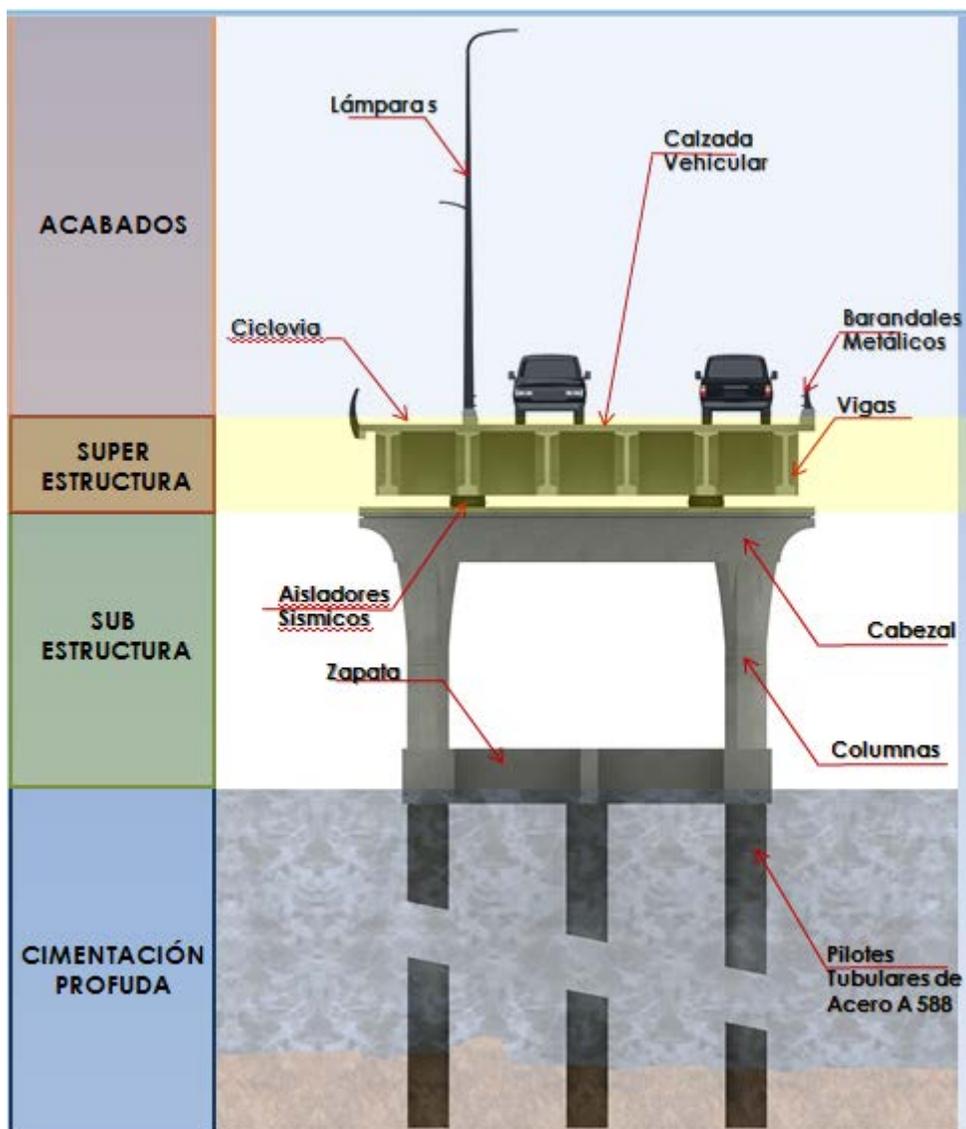


Figura 2-8 Sección Transversal de Puente Tipo (Fuente CEE)



Figura 2-9 Elementos de la Subestructura y Superestructura de un puente losa

SUPERESTRUCTURA

La superestructura comprende todos los componentes que se encuentran por encima de los elementos de soporte:

- Superficie de rodadura: sobre la cual van los vehículos. Puede ser de asfalto o de concreto.
- Losa: cuya función principal es distribuir las fuerzas transversal y longitudinalmente en todo el puente.
- Vigas: Las vigas son los miembros principales y se diseñan para resistir el trabajo a flexión y corte.

SUBESTRUCTURA

La subestructura está formada por todos los elementos que requiere la superestructura para sustentarse, como son:

- Apoyos: elemento donde se apoya las vigas y se colocan los aisladores, transfieren las fuerzas de la superestructura a la sub estructura, también ayudan a disipar energía y aislar los desplazamientos de rotación y traslación.
- Pilas y Columnas: elementos que trabajan a flexo compresión
- Estribos y cabezales: Elemento que transmite la carga de la sub estructura a la cimentación, también ayuda como muro de contención para retener la tierra de relleno según sea el diseño del proyecto.

Los Apoyos de neopreno y los Aisladores Elastoméricos son los más utilizados en Puentes y edificaciones, ya que actúa como aislante de vibraciones. Su función es la de transmitir eficientemente las cargas de la superestructura a la cimentación como observamos en la Fig. 2.3.

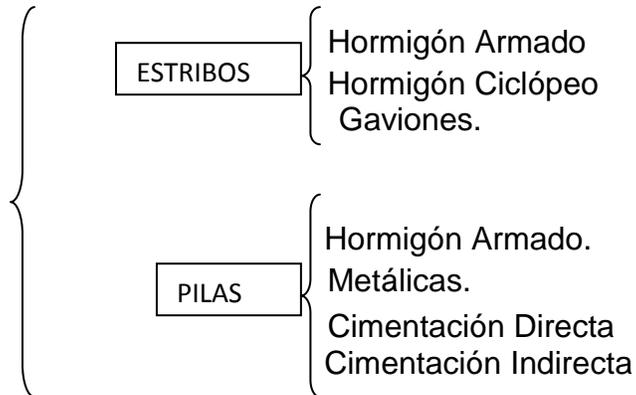


Figura 2-10 COLOCACION DE APOYOS DE NEOPRENOS EN UN PUENTE

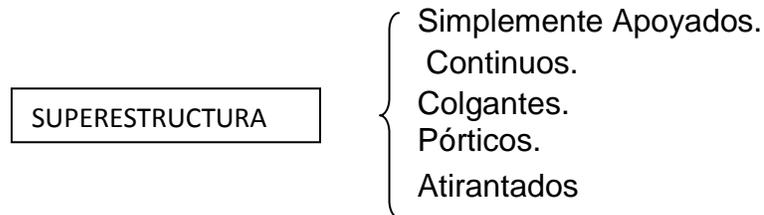
Los puentes y la red vial de nuestro país fueron construidos con especificaciones y condiciones de cargas muy distintas a las de hoy en día. En los inventarios realizados por el MTOP (Ministerio de Transporte y Obras

Publicas) existen puentes que ya están obsoletos y muchos con fallas leves que se ocasionaron por el paso del tiempo, y los últimos sismos ocurridos en el país. El Ing. Hugo Jáuregui del MTOP en el artículo red vial estatal nos da a conocer que las estructuras de puentes más comunes en el Ecuador son de:

➤ INFRAESTRUCTURA



➤ TIPOS DE PUENTES MÁS COMUNES EN ECUADOR



Esta información es muy importante porque nos ayuda a conocer más acerca de la realidad de nuestros puentes de cómo fueron analizados y diseñados las estructuras para los puentes.

También con que materiales están estructurados para saber cómo se encuentran en la realidad, porque dependiendo de los materiales se puede determinar los daños típicos de estos puentes.

➤ MATERIALES PREDOMINANTES EN LOS PUENTES:

- Vigas y Tablero del Hormigón Armado.
- Vigas de Acero y Tablero de Hormigón Armado.
- Celosías de Acero y Tablero de Hormigón Armado.
- Celosías de Acero y Tablero Metálico.



Figura 2-11 Puente con vigas de acero



Figura 2-12 Puente con vigas de hormigón

➤ ELEMENTOS MÁS AFECTADOS EN LA INFRAESTRUCTURA

- Aparatos de Apoyos
- Cimentaciones
- Pantallas y columnas

➤ PROBLEMAS QUE SE PUEDE PRESENTAR EN LOS APOYOS DE NEOPRENO

- Como perdida de espesor
- Aplastamiento
- Deformaciones Excesivas
- Presencia de elementos extraños

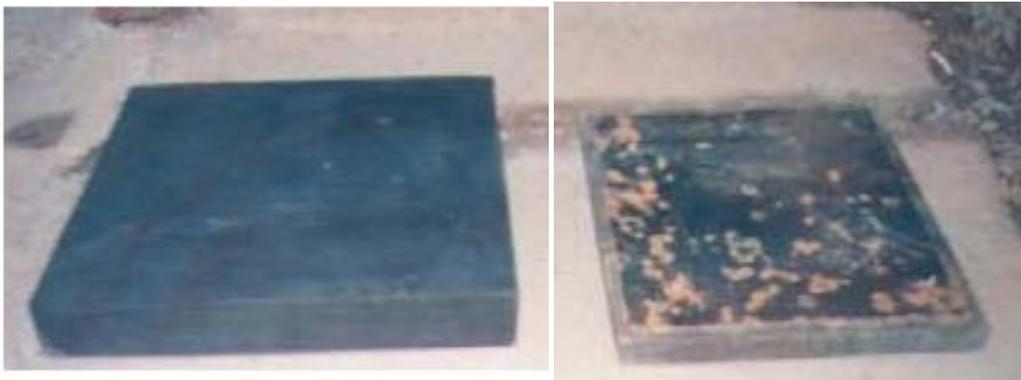


Figura 2-13 Neopreno sin y con presencia de elementos extraños (Ing. Jáuregui 2007)



Figura 2-14 Neopreno con deformación (Ing. Jáuregui 2007)



Figura 2-15 Neopreno con degradación (Ing. Jáuregui 2007)

➤ PROBLEMAS QUE SE PUEDE PRESENTAR EN LOS APOYOS DE ACERO

- Oxidación Intensa.
- Perdida del espesor.
- Desprendimientos (mal anclaje)
- Presencia de Elementos Extraños



Figura 2-16 Apoyos con Oxidación (Ing. Jáuregui 2007)



Figura 2-17 Apoyos con Oxidación (Ing. Jáuregui 2007)

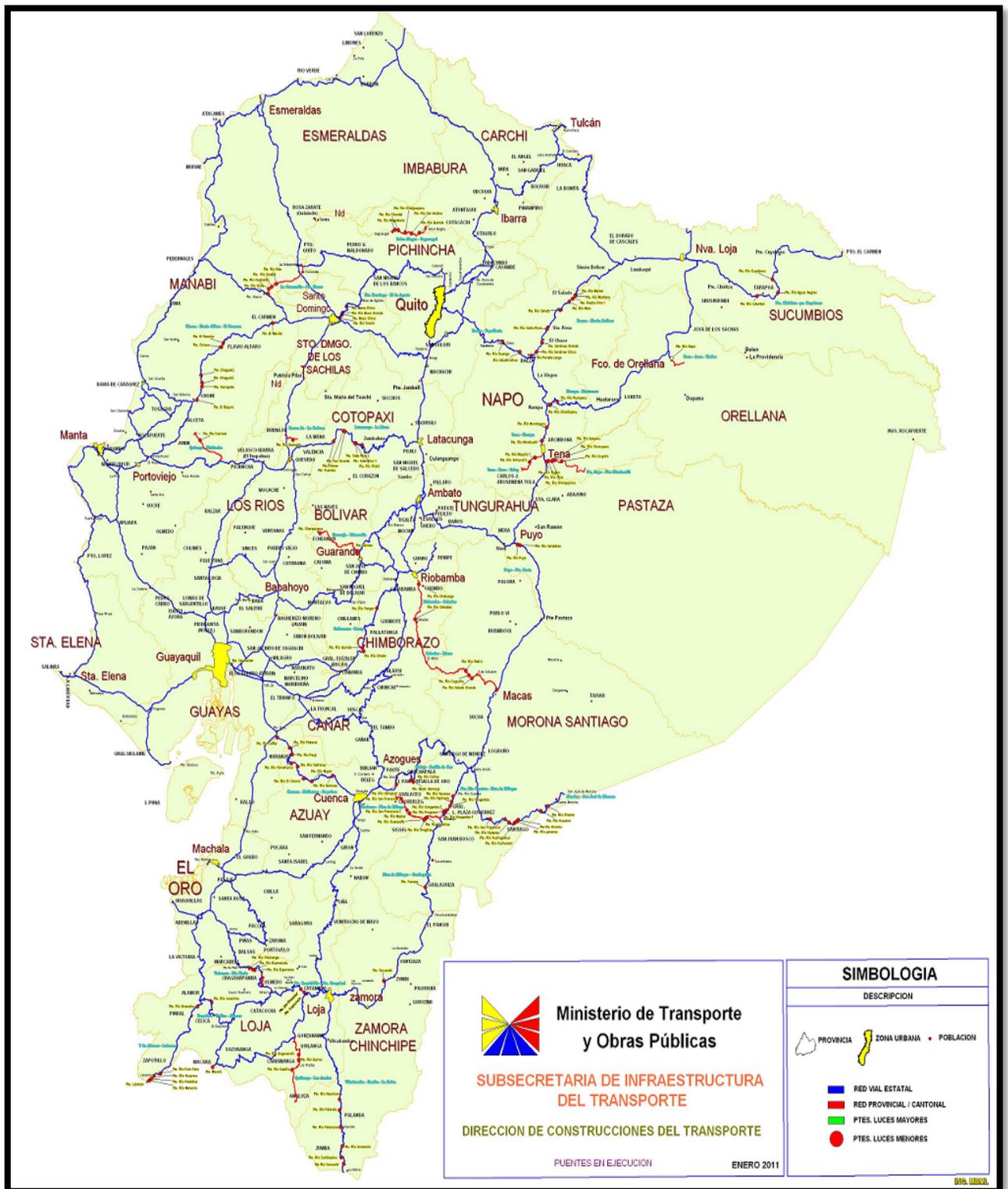


Figura 2-18 Mapa de ubicación de puentes en ejecución (fuente Subsecretaría de Infraestructura del Transporte)

En la figura 2.11 tenemos el mapa que nos indican la ubicación de los puentes que se están ejecutando en el Ecuador por parte del Ministerio de Obras Públicas y Transporte del Ecuador por tal razón es necesario tomar en cuenta el diseño sísmico de los puentes, ya que la inversión que hace el estado es bastante y los puentes tienen que soportar el paso del tiempo y eventuales sismos, de acuerdo al diseño del proyecto.

Tabla 2-1 Puentes en Ejecución y Puentes Terminados por el MOPT

| OBRAS | No. PROYECTOS | MONTO (USD) | LONGITUD VIAS (KM.) | LONGITUD PUENTES (M.) |
|----------------------|---------------|------------------|---------------------|-----------------------|
| Vías en Ejecución | 70 | 1 901'845.261,98 | 4 340.98 | |
| Vías Terminadas | 21 | 172'060.007,79 | 639.47 | |
| Puentes en ejecución | 19 | 359'397.855,00 | | 7 032.85 |
| Puentes terminados | 34 | 79'955.849,65 | | 1 620.70 |
| TOTAL | | 2 513'258.974,42 | 4 980.45 | 8 653.55 |

(Fuente Subsecretaria de la Infraestructura del Transporte, Dirección de Construcciones del Transporte MOPT)

También es necesario tener un inventario nacional y saber que puentes están dañados y que tipos de fallas presentan en sus elementos, cuales fueron intervenidos y cuantos tienen que ser reparados. Todo esto es necesario para tener un marco regulador que ofrezca a los diseñadores tener parámetros de que materiales se debe usar en nuestro país.

En la Figura 2.12 se observa neoprenos con presencia de elementos extraños en la superficie del terreno, las condiciones de carga que soporta el neopreno no son las adecuadas, porque se encuentra se necesita mayor atención en estos detalles.



Figura 2-19 Neoprenos con deformación (Ing. Jáuregui 2007)



Figura 2-20 Neoprenos con deformación (Ing. Jáuregui 2007)

Como se observa en la figura 2.13 el neopreno debe soportar las cargas verticales del puente, para ayudar a las fuerzas de compresión es necesario colocar placas de acero A-36, que ayuden a absorber dicha carga para que el

bloque de elastómero no quede deformado y así ayude a que se repartan bien las cargas en la superficie, que en la mayoría de los casos son irregulares y que se encuentran directamente sobre ella.

Una ventaja del uso del neopreno en los puentes es su fácil colocación y su fácil mantenimiento, pero hay que tener en cuenta cual va ser la función del neopreno, ya que puede colocarse como apoyo, como aislador y como junta de expansión entre otras aplicaciones.

Los neoprenos que se colocan en los puentes deben seguir requisitos de calidad, el diseñador debe estar de acuerdo con el productor de estos neoprenos, para poder exigir que el producto cumpla con las normas establecidas por el código.

Los neoprenos, como los demás elementos del puente por distintas causas son susceptibles a daños a lo largo de la vida útil del mismo, algunos defectos más comunes que se observa son mala colocación, debido a que no existe una nivelación entre la cara superior del aparato de apoyo y el tablero,

La calidad defectuosa de los materiales por no cumplir con las normas de diseño de los aparatos de apoyo, también puede existir una degradación en el elastómero y despegues en la unión goma-metal debidas a mala calidad de los materiales y en el procesos de vulcanizado.

Todo esto puede originar descentramientos de las reacciones verticales y ser transmitidas por el tablero al apoyo y este transmite a la sub estructura, por encima de sus tensiones de trabajo admisibles.

También hay que tener en cuenta que en la mayoría de constructoras la mano de obra no es calificada, y dejan restos de materiales de la construcción depositados en los neoprenos como es el caso de encofrados, tablas, suciedad en general, que pueden llegar a dificultar el funcionamiento correcto del aparato de apoyo.

En el mercado nacional existen una gran variedad de distribuidores y fabricantes de neoprenos pero no todos cumplen con las normas de fabricación y producción. La elongación o alargamiento se define como la capacidad del elastómero de estirarse hasta la ruptura, por lo general se habla en porcentaje de alargamiento. La elongación elástica es el porcentaje de elongación al que se puede llegar, sin una deformación permanente de la muestra. Es decir, cuánto puede estirársela, logrando que ésta vuelva a su longitud original luego de suspender la tensión. Los elastómeros tienen que ser capaces de estirarse bastante y luego recuperar su longitud original.

Realmente los parámetros más importantes si analizamos bien la función del neopreno, son elongación o alargamiento a la ruptura y carga o tensión a la ruptura, esto en el caso de que se utilice el neopreno como junta de expansión. En el caso de utilizar el neopreno, como apoyo o aislador sísmico en los puentes deberá aumentar la deformación remanente o prueba de compresión, pues el elemento estará sometido a presión por la carga de la estructura, a la cual sirve de base o apoyo.

No todas las formulaciones de neoprenos tienen la misma adherencia caucho metal, por eso se debe tener en cuenta este parámetro especialmente cuando los neoprenos tengan placas de acero A-36 insertas, ya que en el proceso de vulcanización se puede tomar correctivos, en el tiempo de que este en la cámara de vulcanización o en los aditivos, para que el producto salga correctamente. Generalmente en el caso de las juntas de expansión, no siempre llevan placas internas los apoyos, y he aquí donde el parámetro de la dureza debe tomarse en cuenta, pues si no lleva placas de acero A-36 la dureza de la mezcla debe ser mayor en aproximadamente 10 grados shore A.

Algo que siempre se debe tener en cuenta es que a menor dureza mayor elongación, pero menor resistencia a la rotura o desgarre, he aquí donde radica la calidad de la mezcla, pues se deben interpolar los dos parámetros, para cumplir los requisitos, elongación y carga a la ruptura.

El esquema de funcionamiento del apoyo cuando transmiten las cargas verticales por el tablero sufre acortamientos debido a las características elásticas y geométricas del apoyo. Un dato de gran importancia para el diseño de los apoyos de neopreno es el módulo de corte cuyo valor está dado en la siguiente tabla 2.2

Tabla 2-2 Módulo de corte del elastómero (Fuente AASHTO 14.7.6)

| | Dureza (Shore A) | | |
|------------------------------|------------------|-----------|-----------|
| | 50 | 60 | 70 |
| MÓDULO DE CORTE a 23°C (MPa) | 0.66-0.90 | 0.90-1.38 | 1.38-2.07 |

La selección y el diseño de los apoyos deberá ser coherente con el buen funcionamiento del puente, deberán ser diseñados para resistir las cargas y tener en cuenta los movimientos en la fuerza servicio, para satisfacer los requisitos de la fatiga y el estado límite de fractura.

El máximo desplazamiento horizontal de la superestructura del puente debe satisfacer la siguiente ecuación (AASHTO 14.7.5).

El apoyo deberá satisfacer:

$$h_{rt} \geq 2\Delta_s$$

Ecuación 2-1

Dónde:

h_{rt} = espesor total del elastómero (mm)

Δ_s = deformación máxima de corte total del elastómero (mm)

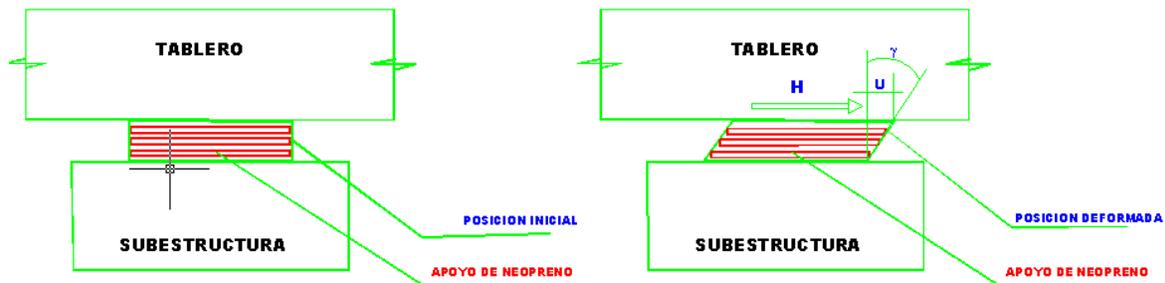


Figura 2-21 Comportamiento del neopreno ante una fuerza horizontal

1.13 SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL PUENTE PAY PAY MANABÍ – TOSAGUA



Figura 2-22 Puente PayPay Ecuador – Manabí (Dr. Aguiar 2010)

El puente Pay Pay se encuentra ubicado en la provincia de Manabí – Ecuador, fue construido en el año 2010 por la Secretaria Nacional del Agua y forma parte de la segunda etapa del proyecto Carrizal – Chone del sistema vial, con una longitud de 36m.

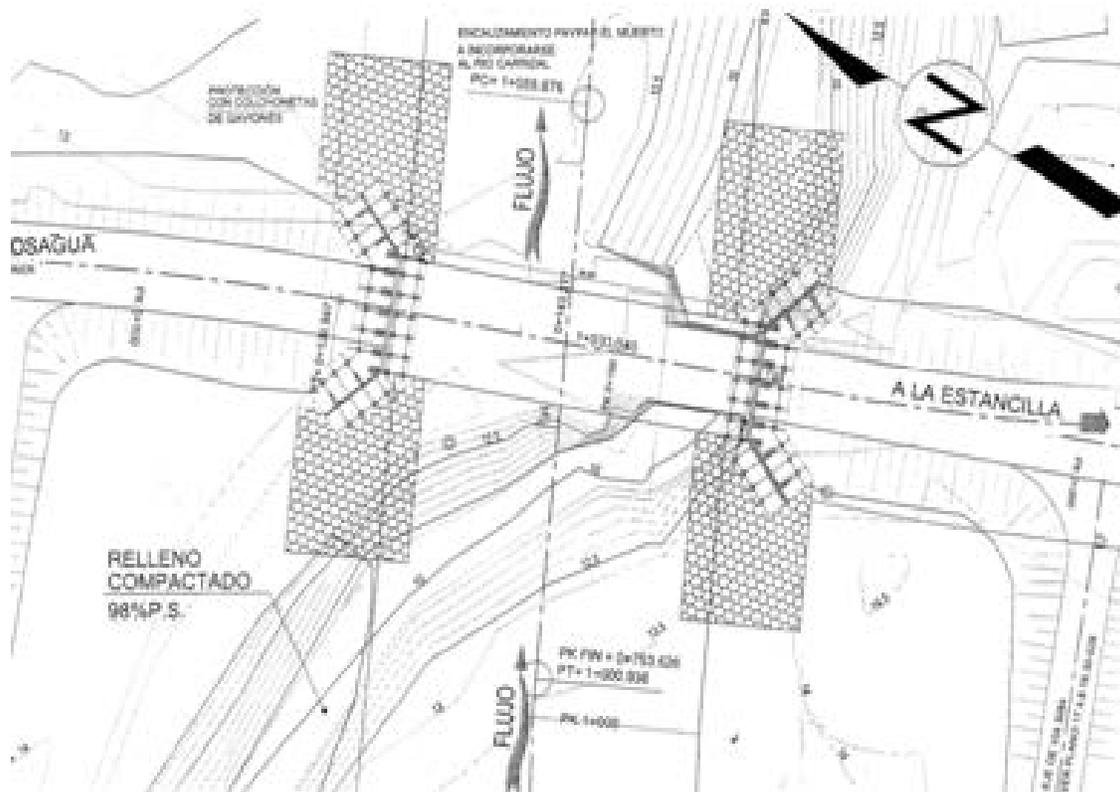


Figura 2-23 Ubicación del Puente PayPay Ecuador – Manabí

Este puente sirve para unir las poblaciones de Calceta – Tosagua es parte de la red vial de Manabí, este puente forma parte de una serie de nuevos puentes recién construidos en la región.

El puente Pay Pay es un puente de un tramo de 36 metros de longitud, está constituido por dos estribos, con su correspondiente contrafuerte a cada margen del río Muerto como se observa en la Figura 2.17, esta cimentado sobre pilotes. La superestructura consta de cinco vigas longitudinales de hormigón pretensado las cuales transmiten las sobrecargas vehiculares a la subestructura por medio de los apoyos de Neopreno Figura 2.18.

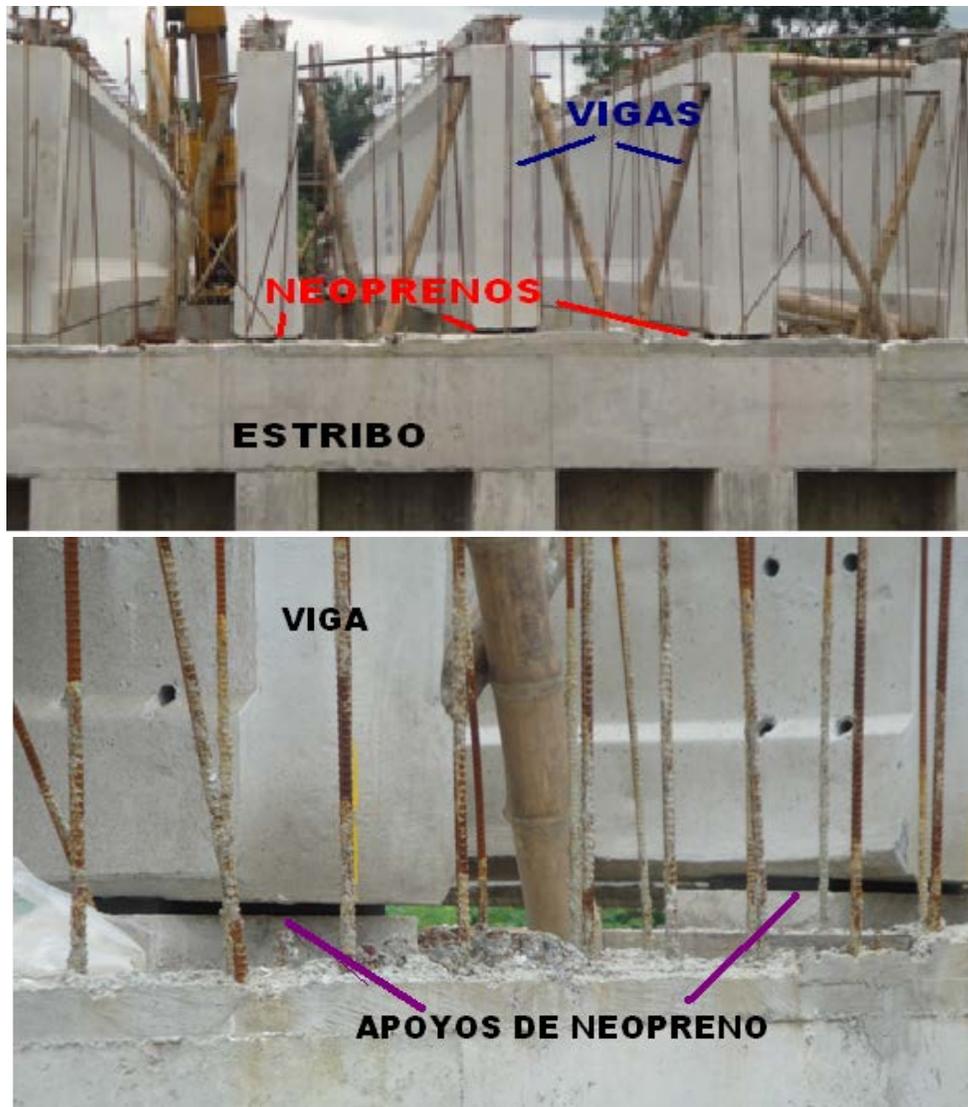


Figura 2-25 Vigas sobre Apoyos de Neopreno (PAY-PAY)

El sistema de aislación está compuesto por dispositivos de apoyos de neoprenos que se disponen sobre las mesas de apoyo de los estribos. En total son necesarios 5 apoyos de neopreno con dimensiones de 0.50 X 0.24 m, los refuerzos de acero son de A-36 correspondiente a 2 placas de 2 mm. La altura es de .05 m. como se puede observar en la Figura 2.17, un factor más es que no existen barras de anclaje que ayude a disminuir los efectos del sismo en el sentido vertical



Figura 2-26 Estribos con contrafuertes

El estribo norte tiene un contrafuerte de 9.83 m. de altura con alas de 6.0 m. de longitud como se observa en la Figura 2.19 la vista frontal en donde se puede observar algunas características especiales de la construcción,

El estribo sur tiene las mismas características que del norte con una altura de 9.83 m. de alto cimentada sobre pilotes.

En el Puente PAY PAY se construyeron vigas transversales que son de gran importancia para eventos sísmicos como se puede observar en la Figura 2.20.



Figura 2-27 Vigas transversales y longitudinales

Las vigas longitudinales y vigas transversales van a trabajar en conjunto con el tablero de tal manera que ayude disminuir el efecto del sismo en la componente horizontal ya que ayudan a dar mayor rigidez. La utilización de las vigas evita que exista desplazamiento.



Figura 2-28 Protecciones laterales del puente

1.14 COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE PUENTES CON APOYOS DE NEOPRENO EN SISMO DE CHILE

La mayoría de puentes construidos en Chile en la actualidad incluyen algún tipo de aislación sísmica, en varios de ellos se han instalado redes de acelerómetros con el fin de monitorear su respuesta frente a terremotos, ya que Chile es uno de los países con mayor actividad sísmica del planeta, tiene uno de los terremotos con mayor intensidad sísmica, ocurrido en Valdivia en el año 1960 con una magnitud de 9.5 en la escala de Richter, desde el año 1900 se han producido 25 terremotos sobre los 7 grados Richter.

Estos desastres naturales han hecho que los países deban contar con estructuras que ayuden a mitigar los daños producidos por estos eventos, ya que el costo de una reconstrucción es muy costoso.

Detalles del terremoto:

Fecha: 27 de febrero de 2010

Magnitud: 8.8 en la escala de Richter

Día: Sábado

Hora local: 3:34:14

Profundidad: 35 (km)

Duración: Aproximadamente 120 (s)

Longitud de la fractura: 600 (km)

Ancho de la fractura: 100 (km)

Ubicación: En las costas del Maule

Epicentro: en el Mar, centrosur del país, al norte de Cobquecura.

Distancias: 107 (km) desde Concepción, Chile -108 (km) desde Talca, Chile

Costo económico del terremoto: 20.940 MMU\$ (Cámara Chilena de la Construcción)

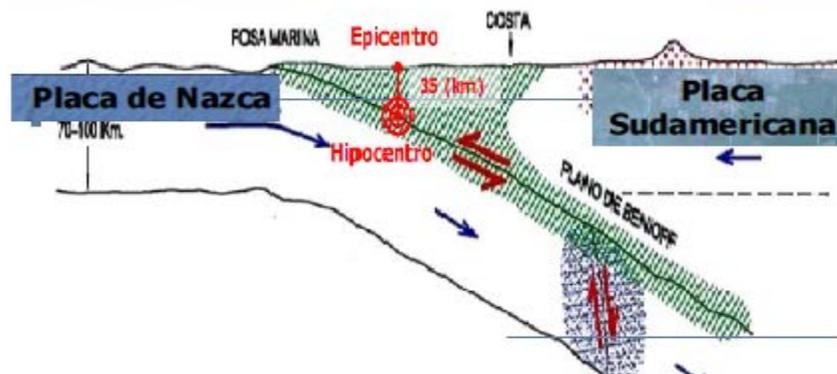


Figura 2-29 EPICENTRO DEL SISMO DE CHILE 2010 (Fuente Carlos Córdova)

Una de las áreas más afectadas durante el sismo fueron los puentes, ya que Chile cuenta con una red de 2200 puentes y entre estos puentes **221** fueron afectados en los últimos terremotos que hubieron en Chile (Cámara de Comercio de Chile 2010).

Chile es un país que tiene una estadística de mayor cantidad de sismos en el mundo ya que tiene una frecuencia de por lo menos 2.5 veces más altas que Japón. Para poder analizar el comportamiento de los puentes tienen instalados una serie de acelerógrafos en varios puentes y que gracias a ello se ha podido registrar una gran información que ayuda a observar el comportamiento de las estructuras durante un sismo y mostrando las deformaciones de los apoyos elastoméricos, siendo favorable la respuesta que se obtuvo en el comportamiento tanto en el sentido vertical como transversal. Esto nos da a conocer que los apoyos de neopreno reducen las aceleraciones desde el suelo hacia la superestructura. Esta red ayudo a determinar el comportamiento sísmico o dinámico de los puentes construidos y se pudo medir la aceleración, velocidad o desplazamiento que son importantes para saber el comportamiento sísmico de la estructura, generalmente esta red consta de un registro de aceleraciones que dependiendo de la ubicación del punto de la estructura envían información a una central de registro y ayuda a comprobar el comportamiento de los disipadores de energía.

Chile como otros países de latinoamericana invierte en la infraestructura vial, en particular en la construcción de nuevos puentes, pero como es conocido que los puentes carreteros sufrieron daños pero su comportamiento fue bueno, esto es importante no solo por tratarse de rutas turísticas sino también porque pasan por sitios de gran producción agrícola un ejemplo es la Ruta 5 que atraviesa a Chile de norte a sur, las estructuras quedaron en pie después del sismo de esa magnitud y naturaleza, estos puentes permitieron una comunicación fluida entre ciudades tanto como para el transporte de víveres como la evacuación de

heridos esto nos deja una lección importante para aumentar en el plan de contingencia la construcción segura de la red vial y especialmente la de los puentes.

La idea es que Chile cuenta con una tecnología sismo resistente de primera que minimizaron los efectos del sismo sobre todo en puentes, pero tienen la idea de incorporar de forma inmediata nuevas disposiciones sísmicas, algunas son:

- Ancho Mínimo de la Mesa de Apoyo
- Comportamiento Sísmico de Tableros Esviados
- Cálculo sísmico de conexiones para puentes que sean diseñados con el Método Coeficiente Sísmico
- Placas de Apoyo
- Juntas de dilatación
- Barras de Anclaje vertical antisísmicas
- Anclaje en placas de apoyo
- Travesaños
- Topes sísmicos intermedios y extremos
- Puentes Integrales - Unión Monolítica entre losa del tablero y el estribo
- Continuidad de tableros



Figura 2-30 Puente sobre el rio Claro (Fuente Cámara Chilena)



Figura 2-31 Puente en la Autopista de Santiago (Fuente Cámara Chilena)



Figura 2-32 Autopista en Santiago Fuente Cámara Chilena



Figura 2-33 Autopista en Santiago Fuente Cámara Chilena



Figura 2-34 Puente viejo de concepción Fuente Cámara Chilena



Figura 2-35 Autopista de Santiago Fuente Cámara Chilena



Figura 2-36 Puente Vespucio Norte (Fuente Santa María y Carlos Córdova 2010)

La mayoría de los puentes de Chile se encontró que los topes sísmicos fueron insuficientes y las conexiones entre el tablero con los estribos no existían (barras antisísmicas) y las que existían no fueron diseñadas para soportar el movimiento sísmico, para evitar daños mayores se debe diseñar con un mayor espesor para que resista. También se observa que en la mayoría de puentes no existían Vigas Travesaño ya que estas pudieron ayudar para que el movimiento del tablero no sea mayor, en general la mayoría de los puentes fallaron en los sistemas de conexión por ende hay que buscar la forma de mejorar este diseño.

1.15 Puentes con aisladores elastoméricos (puente Marga Marga de Chile)

El primer puente instrumentado, diseñado con aisladores sísmicos en Chile, es el puente Marga Marga, está ubicado en Villa del mar en el Km 7.3 de Vía Las palmas de la carretera Rodelillo- El Salto. Para determinar sus características dinámicas y verificar su comportamiento sísmico, se instaló 21 sensores de aceleración del tipo fuerza balanceada, 18 de ellos ubicados en diferentes puntos del puente, conectados a una central de control y registro, en el afloramiento rocoso se instalaron 3 sensores en dos direcciones horizontales perpendiculares entre sí y en dirección vertical, (Daroca ,1998). Con el fin de obtener el comportamiento frente a movimientos sísmicos, verificar cómo se comporta el sistema de aislación sísmica en forma permanente y así lograr una visión general del comportamiento de este tipo de puente debido a las condiciones del suelo en la que se encuentran cimentada las pilas ya que tiene distintos tipos de suelo.

El puente Marga-Marga según lo descrito por Boroschek et al 1997, se compone de cuatro vigas de acero, con una longitud de 383 m de largo, está dividido en 8 tramos el primero de una extensión de 33 m y los demás apoyos de 50 metros. El ancho total es de 18 m, con 7 pilas de hormigón con una altura de 20 y 30 m con un ancho de 10 m, de base rectangular (10 x 2).

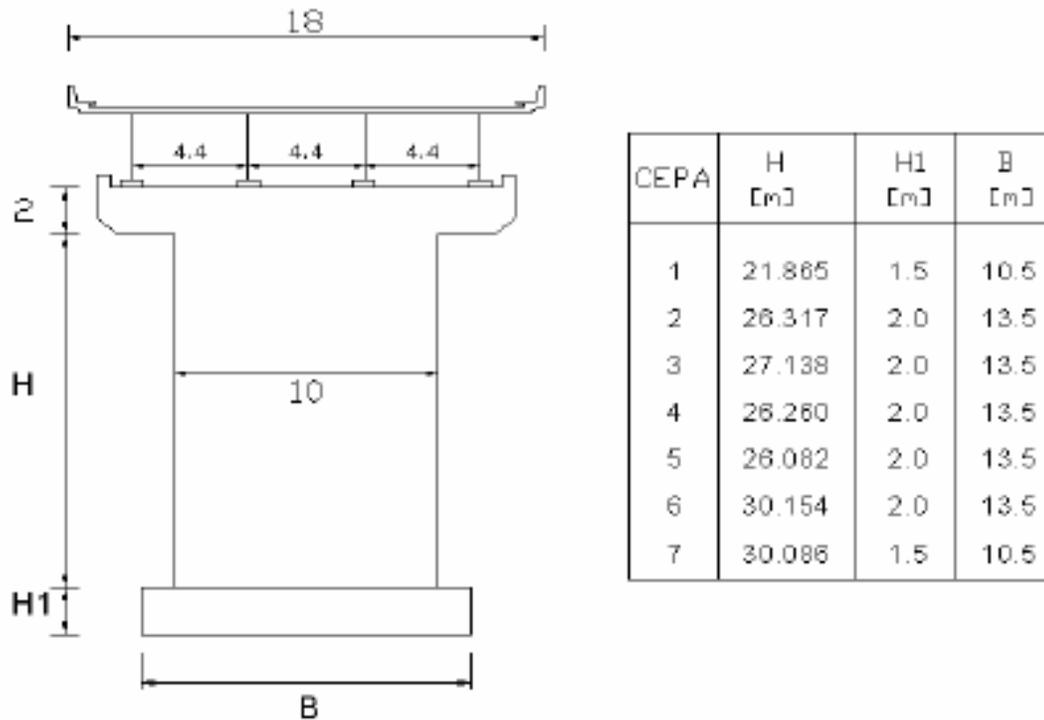


Figura 2-37 Descripción de las pilas en el puente (Taylor 2007)

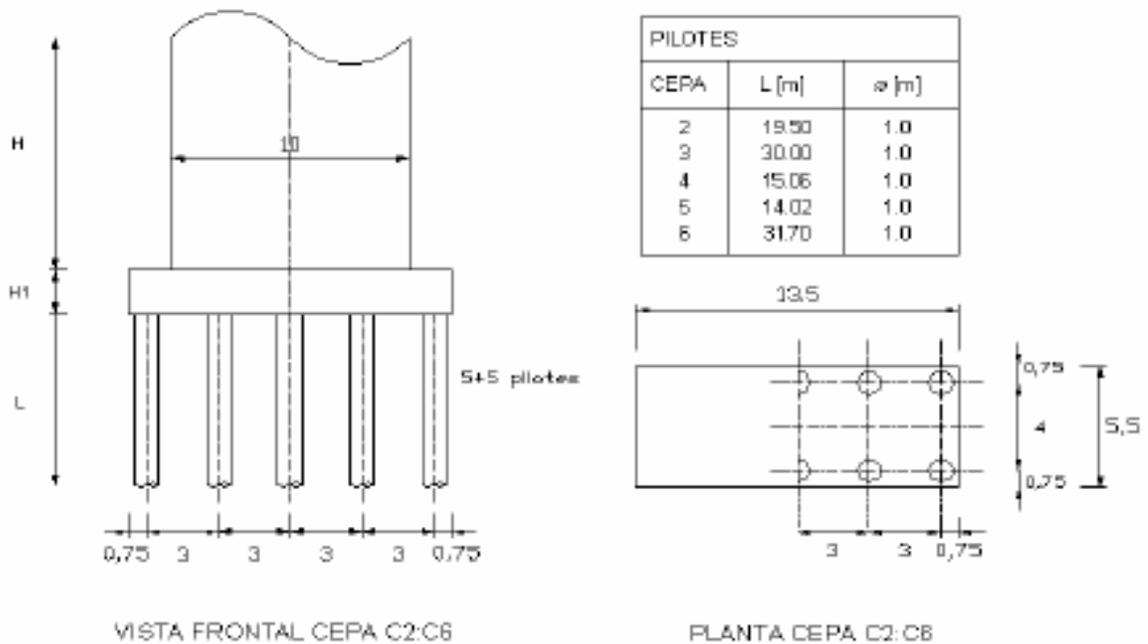


Figura 2-38 Descripción de los pilotes en el puente (Taylor 2007)

Las pilas 1 y 7 están cimentadas directamente, mientras las restantes están sobre pilotes de 1 m. de diámetro que varía de 14 a 32 m de profundidad.

La superestructura consta de un tablero de hormigón de una losa de 25 cm de espesor, tiene cuatro vigas de acero doble T, separadas entre sí por 4.4 m y las vigas están apoyadas sobre aisladores sísmicos de goma de alto amortiguamiento.

- Pila de hormigón H30 con acero A63-42H.
- Dado de fundación de hormigón H25.
- Emplantillado 170 Kgf cm/m³.
- Vigas de acero estructural con límite de fluencia 3800Kg/cm².

Fuente: Taylor Daniela 2007

El sistema de aislación



Figura 2-39 Aisladores usados en el Puente Marga-Marga

El sistema consiste en colocar los apoyos entre la viga y la pila, cada aislador está compuesto por 17 capas de caucho de espesor de 12mm y esta vulcanizada con 16 láminas de acero de 3 mm como podemos observar en la Figura 2-32.

En los extremos del puente el aislador tiene placas de 32 mm de espesor para su montaje.

Actualmente el puente consta de 24 canales que ayudan a mejorar la información, los cuales son capaces de registrar aceleraciones de hasta 2g,

Tabla 2-3 Distribución y dirección de los sensores

| Sensor | | Ubicación | Dirección |
|--------|----------------|---------------|-----------|
| 1 | triaxial | Base C4 | L |
| 2 | triaxial | Base C4 | V |
| 3 | triaxial | Base C4 | T |
| 4 | triaxial | Cabezal C4 | L |
| 5 | triaxial | Cabezal C4 | V |
| 6 | triaxial | Cabezal C4 | T |
| 7 | triaxial | Tablero C4 | L |
| 8 | triaxial | Tablero C4 | V |
| 9 | triaxial | Tablero C4 | T |
| 10 | Unidireccional | Estribo sur | L |
| 11 | Unidireccional | Tablero E.S | T |
| 12 | Unidireccional | Tablero E.S | L |
| 13 | Unidireccional | Tablero C2 | T |
| 14 | Unidireccional | Tablero C4 | V |
| 15 | Unidireccional | Tablero C6 | V |
| 16 | Unidireccional | Estribo Norte | L |
| 17 | Unidireccional | Tablero E.N | T |
| 18 | Unidireccional | Tablero E.N | L |
| 19 | triaxial | Pozo Valle | L |

| | | | |
|----|----------|--------------|---|
| 20 | triaxial | Pozo Valle | V |
| 21 | triaxial | Pozo Valle | T |
| 22 | triaxial | Pozo Estribo | L |
| 23 | triaxial | Pozo Estribo | V |
| 24 | triaxial | Pozo Estribo | T |

Fuente: Taylor Daniela 2007

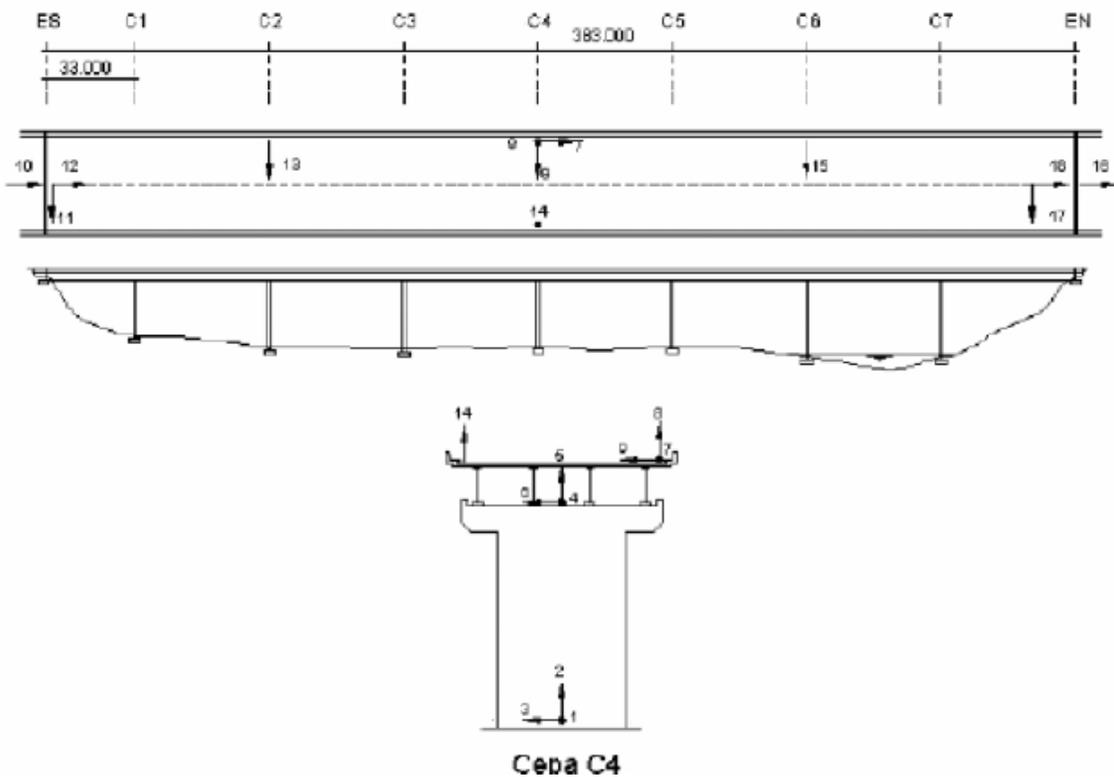


Figura 2-40 Localización de sensores en el puente (Soto 2007)

Algunas medidas de vibración fueron tomadas en varias oportunidades: antes y después que se abriera al tráfico sobre el puente, durante los períodos de día y de noche. El resultado obtenido del primer modo transversal tiene una

frecuencia de 1,05 Hz y el primer modo longitudinal tiene una frecuencia de 1,85 Hz.



Figura 2-41 Puente Marga-Marga Chile



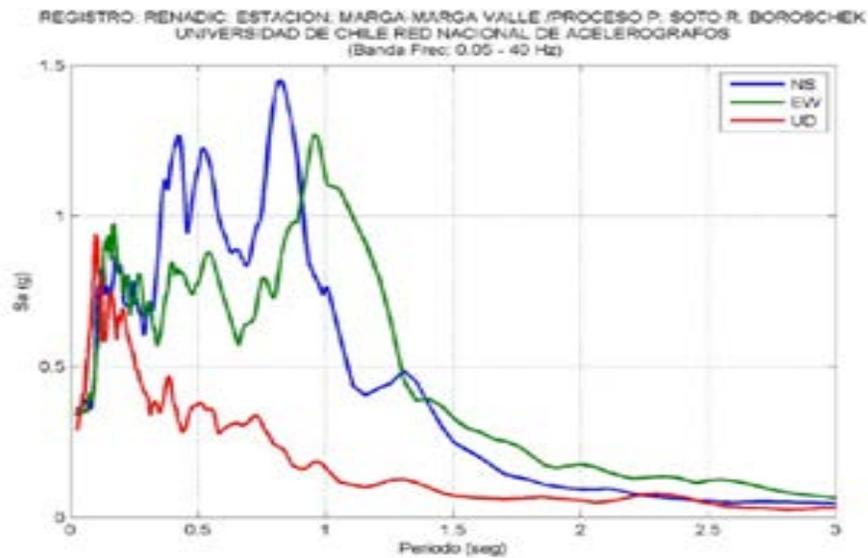
Figura 2-42 Localización de Aisladores Sísmicos - Viaducto Marga-Marga



Figura 2-43 Aislador instalado en el puente Marga Marga

1.16 COMPORTAMIENTO SÍSMICO DEL PUENTE MARGA MARGA DURANTE EL SISMO DE CHILE

Para tener una idea más clara, se detalla gráficamente las aceleraciones del espectro de respuesta obtenidas en el puente.



Espectro Respuesta de Aceleración. Estación Marga Marga.

Figura 2-44 Espectro de Respuesta Elástica en campo libre (Boroscchek 2010)

Este registro se obtuvo en el mismo lugar donde está ubicado el puente. El espectro de respuesta es la herramienta básica para evaluar la demanda sísmica de las estructuras, en las normas sísmicas se considera un espectro de demanda la comparación de estos espectros nos ayuda a comprender mejor la severidad del sismo

Existen dos tipos de instrumentos que se utilizan en la práctica: los acelerógrafos, que registran las componentes de la aceleración del suelo en función del tiempo, y los sismógrafos, que registran cualquier otro indicio de la ocurrencia de un sismo. Los sismógrafos son instrumentos muy sensibles que registran actividad muy tenue, imperceptible para las personas, o actividad que puede estar ocurriendo a decenas de miles de kilómetros de distancia en otro continente, por ello sus agujas están en permanente movimiento. Es usual entonces que los grandes eventos que ocurren en cualquier lugar del mundo sean inmediatamente reportados por los institutos geofísicos y sismológicos más importantes (Berkeley, Pasadena, Colorado en USA, Tokyo, Moscú, etc.). Los acelerógrafos en cambio se llaman instrumentos de movimiento fuerte, ya que registran movimientos claramente perceptibles en la superficie durante eventos que ocurren a distancias no mayores a unos pocos centenares de kilómetros. Para determinar los efectos del sismo sobre las estructuras o equipos, se trabaja con el registro de aceleraciones, llamado acelerograma, el cual permite obtener información de importancia como la intensidad misma del movimiento, su contenido de frecuencias y su duración. Los acelerógrafos modernos permiten obtener las tres componentes de la aceleración del suelo, dos componentes, horizontales y una vertical. En la Fig. 2.38 se muestran, las

mismas escalas de aceleración y de tiempo, las componentes horizontales más severas del sismos ocurrido en Chile, con la indicación del lugar o estación en que fueron registrados (Departamento de Estructuras y Geotecnia UC).

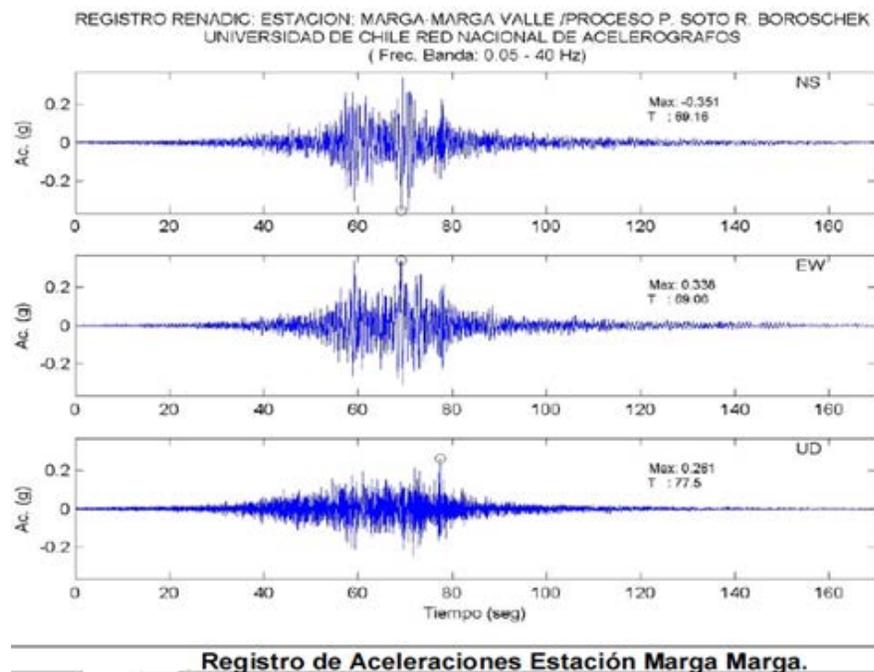


Figura 2-45 Registro de aceleraciones del puente

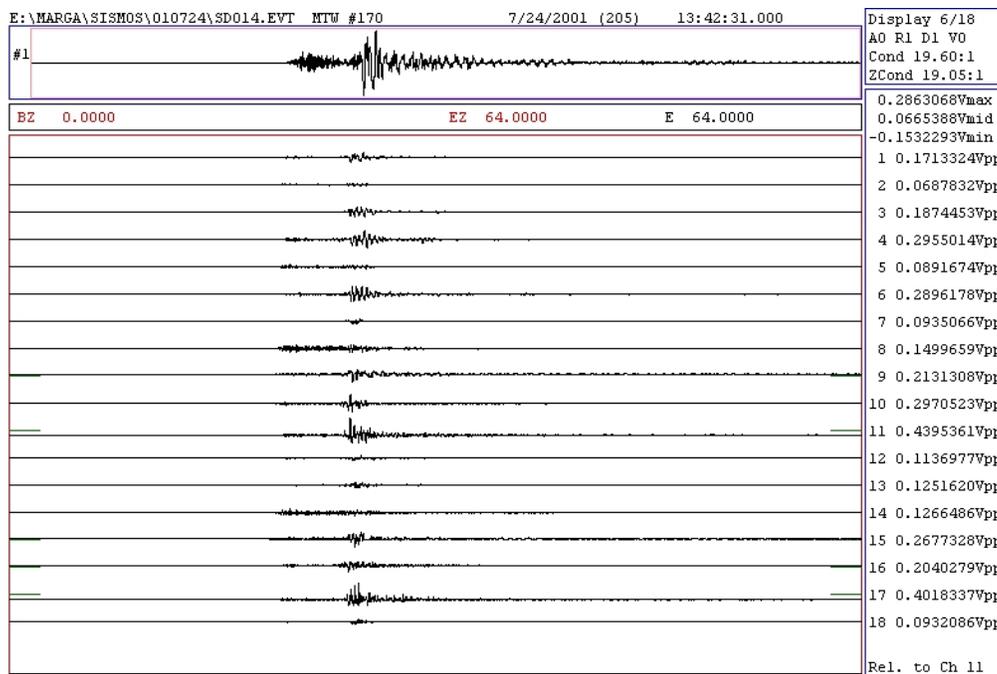


Figura 2-46 Registro del 24 de Julio 2001 - Viaducto Marga-Marga

El 29 de octubre de 1998, la red registró la respuesta del sismo cuya aceleración máxima en la roca fue de 0.023g. Se observó que este movimiento sísmico no fue lo suficientemente fuerte para producir deformaciones en los aisladores.

La deformación máxima de ellos en la pila central, fue de 2.8 mm en la dirección transversal y en dirección longitudinal 1.5 mm, lo cual representa deformaciones angulares de 1.2 % y 0.7 %, respectivamente cuando se compararon el movimiento en la dirección transversal en el extremo superior de la pila con el correspondiente en la superestructura, se observa una disminución en las aceleraciones de un 40 a 70 % (Depto. de Ingeniería Civil, Universidad de Chile).

El análisis de los registros de ese sismo, así como registros de micro vibraciones ambientales realizadas con sismómetros portátiles, ha servido para

identificar las propiedades dinámicas del puente. Una evidencia de ello es la diferencia en las frecuencias naturales obtenidas con micro vibraciones, comparada con las frecuencias obtenidas de los registros de terremotos, siendo mucho mayores estos últimos. Se verificó que aunque los terremotos eran pequeños, las frecuencias disminuían en un 10 % (Sarrazin 2007).

Los dos últimos terremotos que ocurrieron en Chile son de tipo thrust e interplaca de profundidad intermedia. Con la información en la zona del epicentro, se puede comprobar que el daño observado es menor que en otras zonas sísmicas del mundo, como son las de Haití.

1.17 NECESIDAD DEL ESTUDIO (MATERIA PRIMA ES EL CAUCHO)

El caucho es un hidrocarburo, cuya materia prima es llamada látex, producida a través del sangrado de la corteza de algunas variedades de árboles de las familias moráceas y euforbiáceas tropicales, entre las que se destaca la *Hevea Brasiliensis*, especie arbórea autóctona de la cuenca del Amazonas. La palabra caucho, con la cual se denomina tradicionalmente este producto, corresponde al vocablo amerindio cahuchu que significa material impermeable Otra planta productora de caucho es el árbol del hule *Castilloa elástica*, originario de México (de ahí el nombre de hule), muy utilizado desde la época prehispánica para la fabricación de pelotas instrumento primordial del juego de pelota, deporte religioso y simbólico que practicaban los antiguos mayas. Indonesia, Malaysia,

Tailandia, China y la India. Para la obtención del caucho se hacen incisiones de forma diagonal y en ángulo hacia abajo, aproximadamente entre 20 y 30 grados, en la corteza del árbol. Dicho corte produce una suspensión acuosa, llamada látex.



Figura 2-47 Extracción del caucho

El caucho es el cuerpo sólido que tiene el mayor coeficiente de dilatación conciso y que aumenta considerablemente con la vulcanización. Un corte reciente de caucho crudo, o sea sin vulcanizar se puede volver a unir soldándose entre sí, con solo presionar uno contra otro. Una vez vulcanizado pierde esta propiedad pero adquiere una mayor elasticidad, pudiendo alargarse hasta seis veces su longitud primitiva. El látex desde el momento de su extracción no debe sufrir contaminación con hojas y ramas

Tabla 2-4 Composición del látex natural fuente (Castellanos 2009)

| COMPONENTE | PORCENTAJE |
|------------------------|------------|
| Hidrocarburo de caucho | 30 – 36 % |
| Cenizas | 0,5 % |
| Proteínas | 1,5 % |
| Resina | 2 % |
| Quebrachitol (C7H14O6) | 0,5 % |
| Agua | 60 % |



Figura 2-48 Látex y Caucho Sintético

El caucho en estado natural es un hidrocarburo blanco o incoloro y lechoso producido por las células de las plantas, mediante un corte inicial y retirando selectivamente la corteza, un árbol de caucho produce anualmente alrededor de 1.8 Kg de caucho en crudo. Se plantan unos 250 árboles por hectárea, y la cosecha anual de caucho en seco suele ser de unos 450 Kg por hectárea.



Figura 2-49 Plantación del caucho

Es importante adicionar de 2 a 3 mL de solución amoniacal, que evite la coagulación del hule. También se debe agregar un 2% en volumen de solución bactericida. Por ejemplo 1 galón de amoniaco y 1 galón de bactericida por cada 50 galones de látex de campo.

Finalmente, el caucho es ahumado, secado y embalado para su distribución a los fabricantes.

La fórmula química es C_5H_8 . A la temperatura ambiente es líquido, a bajas temperaturas, se vuelve rígido y cuando se congela adquiere estructura fibrosa, de 0 a 10 °C es frágil y calentado a más de 100 °C., se ablanda y sufre alteración permanente. El caucho natural tiene una gran deformación debido a su naturaleza plástica. A temperaturas de 200 °C o superiores se descompone.

El caucho natural es insoluble en agua, y soluble en benceno, petróleo, hidrocarburos clorados y bisulfuro de carbono. Se oxida rápidamente con agentes químicos oxidantes, pero con el oxígeno de la atmósfera al ambiente lo hace lentamente.

Estos descubrimientos dieron lugar a un rápido desarrollo de la industria del caucho, que se empezó a utilizar especialmente para la fabricación de ruedas de bicicletas y automóviles y también en la impermeabilización de ropas y zapatos. Por los años 1780 fueron llevadas las semillas del árbol del caucho a Asia.

Con la aparición del automóvil es cuando llega la demanda del caucho favoreciendo el desarrollo de plantaciones en la actual Sri Lanka, Malasia, Indonesia y Vietnam, así como en Brasil. Muchas haciendas encontraron su sustento en el cultivo de árboles de caucho natural.

En Ecuador por la década de 1880 y en especialmente en la región del Napo, que comprende desde Coca hacia abajo y las zonas de los ríos Curaray, Villano y Tiputini comienzan a sembrar el caucho. La mayoría de este producto empieza a ser explotado por empresas, aventureros y comerciantes que cometen abusos y explotación a los indígenas. Todo este producto fue exportado desde el Coca sin pagar un solo centavo de impuesto. A comienzos de siglo XIX empieza la ocupación de tierras por los colonizadores y en la década de 1920 se establecen colonias oficiales que considera incentivar la

producción agrícola y ganadera debido a la acción estatal a través del FODERUMA (Fondo de Desarrollo Rural Marginal).

En 1839, el inventor estadounidense Charles Goodyear, descubrió que cocinando caucho con azufre desaparecían algunas de las propiedades del caucho, en un proceso denominado vulcanización.

Durante la Primera Guerra Mundial, los ingenieros y químicos alemanes buscaron un sustituto para el caucho natural, todo esto ocurrió ya que los ingleses no permitieron que nadie le venda caucho a Alemania y aliados. El caucho sintético surge a partir del 2,3-dimethyl butadieno, o methyl isopreno para mejorar el producto, deciden utilizar otro ingrediente, el butadieno. Así el B-metil-caucho y lo llaman Buna, **Bu** por butadieno y **Na** por natrium, el antiguo nombre del sodio. Esta alternativa es sumamente costosa y difícil de producir un caucho que pueda competir con el barato caucho natural y además resultaba que el caucho sintético es de menor calidad que el natural, En 1934 Eduard Tschunkur y Erich Konrad, deciden cambiar el estireno del caucho sintético o Buna-S, con un químico más caro, el acronitrilo. Este experimento da como resultado un nuevo producto de caucho sintético que tiene unas propiedades tan interesantes, es la resistencia a los lubricantes, La producción de caucho sintético en los Estados Unidos pasó de 60 mil toneladas en 1941, a 1 millón de toneladas en 1945, gracias al Buna-S y al Buna-N. La empresa Firestone es una de las principales productoras de caucho sintético en Estados Unidos

Comparado con el caucho vulcanizado, el caucho no tratado tiene muy pocas aplicaciones. Se usa en cementos, cintas aislantes, cintas adhesivas y como aislante en mantas y zapatos. El caucho vulcanizado tiene otras muchas aplicaciones. Por su resistencia a la abrasión, el caucho blando se utiliza en los dibujos de los neumáticos de los automóviles y en las cintas transportadoras; el caucho duro se emplea para fabricar carcasas de equipos de bombeo y tuberías utilizadas para perforaciones con lodos abrasivos.

Por su flexibilidad, se utiliza frecuentemente para fabricar mangueras, neumáticos y rodillos para una amplia variedad de máquinas. Por su elasticidad se usa en varios tipos de amortiguadores y mecanismos de las carcasas de máquinas para reducir las vibraciones. Al ser relativamente impermeable a los gases se emplea para fabricar mangueras de aire, globos y colchones. Su resistencia al agua y a la mayoría de los productos químicos líquidos se aprovecha para fabricar ropa impermeable, trajes de buceo, tubos de laboratorio y sondas para la administración de medicamentos, revestimientos de tanques de almacenamiento, máquinas procesadoras y vagones aljibes para trenes. Por su resistencia a la electricidad, el caucho blando se utiliza en materiales aislantes, guantes protectores, zapatos y mantas.

El coeficiente de rozamiento del caucho, alto en superficies secas y bajo en superficies húmedas, se aprovecha para correas de transmisión y cojinetes lubricados con agua en bombas para pozos profundos etc.

La extensión de las zonas dedicadas al cultivo del caucho alcanzó su apogeo en los años inmediatamente anteriores a la II Guerra Mundial (1939-1945). En las posesiones británicas de la India, Ceilán (hoy Sri Lanka), Malasia y el archipiélago Malayo, las plantaciones llegaron a ocupar cerca de 11800,000 hectáreas. En las Indias Orientales bajo dominio holandés (hoy Indonesia), una extensión de cultivos de 11400,000 hectáreas completaban las 31600,000 hectáreas del total mundial, antes de la gran destrucción de cultivos del Lejano Oriente durante la II Guerra Mundial.

La importancia política y económica del caucho natural se puso en evidencia en el transcurso de dicha contienda, cuando se suspendió el suministro. Este fenómeno aceleró el desarrollo del caucho sintético en algunos países. En 1990, la producción mundial de caucho superó los 15 millones de toneladas, de las cuales 10 millones fueron de caucho sintético.

Puede llamarse caucho sintético a toda sustancia elaborada artificialmente que se parezca al caucho natural. Se obtiene por reacciones químicas, conocidas como condensación o polimerización, a partir de determinados hidrocarburos insaturados. Los compuestos básicos del caucho sintético, llamados monómeros, tienen una masa molecular relativamente baja y

forman moléculas gigantes denominadas polímeros. Después de su fabricación, el caucho sintético se vulcaniza.

El origen de la tecnología del caucho sintético se puede situar en 1860, cuando el químico británico Charles Hanson Greville Williams descubrió que el caucho natural era un polímero del monómero isopreno, cuya fórmula química es $\text{CH}_2\text{C}(\text{CH}_3)\text{CH}=\text{CH}_2$. Durante los setenta años siguientes se trabajó en laboratorio para sintetizar caucho utilizando isopreno como monómero. También se investigaron otros monómeros, y durante la I Guerra Mundial químicos alemanes polimerizaron dimetilbutadieno (de fórmula $\text{CH}_2\text{C}(\text{CH}_3)\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$), y consiguieron sintetizar un caucho llamado caucho de metilo, de pocas aplicaciones.

Hubo que esperar hasta 1930 para que dos químicos, el estadounidense Wallace Hume Carothers y el alemán Hermann Staudinger, investigaran y contribuyeran al descubrimiento de los polímeros como moléculas gigantes, en cadena, compuestas de un gran número de monómeros. Entonces se consiguió sintetizar caucho de monómeros distintos al isopreno.

La investigación iniciada en Estados Unidos durante la II Guerra Mundial condujo a la síntesis de un polímero de isopreno con una composición química idéntica al caucho natural. Se producen varios tipos de caucho sintético: poliuretano, neopreno, buna, caucho de butilo, y otros cauchos especiales como el coroseal y tiocol que se han desarrollado con propiedades específicas.

Neopreno

Uno de los primeros cauchos sintéticos logrados gracias a la investigación de Carothers fue el neopreno, el polímero del monómero cloropreno, de fórmula $\text{CH}_2\text{C}(\text{Cl})\text{CH}=\text{CH}_2$. Las materias primas del cloropreno son el etino y el ácido clorhídrico. El neopreno fue desarrollado en 1931 y es resistente al calor y a productos químicos como aceites y petróleo. Se emplea en tuberías de conducción de petróleo, como aislante en cables, últimamente en la fabricación de apoyos para la construcción, este producto es muy versátil y se lo emplea en infinidad de productos.

Buna o caucho artificial

Químicos alemanes sintetizaron en 1935 el primero de una serie de cauchos sintéticos llamados buna o cauchos buna, obtenidos por copolimerización, que consiste en la polimerización de dos monómeros denominados comonómeros. La palabra buna se deriva de las letras iniciales de butadieno, uno de los comonómeros, y natrium (sodio), empleado como catalizador. En la buna N, el otro comonómero es el propenonitrilo ($\text{CH}_2=\text{CH}(\text{CN})$), que se produce a partir del ácido cianhídrico. La buna N es muy útil en aquellos casos en los que se requiere resistencia a la acción de aceites y a la abrasión. También se obtiene caucho industrialmente por copolimerización de butadieno y estireno (buna S).

Aunque no es tan flexible como el caucho natural y otros sintéticos, es muy resistente a la oxidación y a la acción de productos corrosivos. Debido a su baja permeabilidad a los gases, se utiliza en las cámaras interiores de los neumáticos.

Otros cauchos especiales

Se han desarrollado numerosos tipos de cauchos con propiedades específicas para aplicaciones y usos especiales. Uno de estos cauchos especiales es el coroseal, un polímero de cloruro de vinilo (CH_2CHCl). Estos polímeros son resistentes al calor, la corrosión y la electricidad, y no se deterioran por la acción de la luz ni por un almacenamiento prolongado. El coroseal no se puede vulcanizar, pero mientras no se le someta a altas temperaturas, se muestra más resistente a la abrasión que el caucho natural o el cuero. Otro tipo de caucho especial es el tiocol, que se obtiene por copolimerización de di cloruro de etileno (CHClCHCl) y tetrasulfuro de sodio (Na_2S_4). Puede trabajarse y vulcanizarse como el caucho natural y es resistente a la acción de los aceites y los disolventes orgánicos usados en barnices; se emplea para aislamientos eléctricos pues no se deteriora con la luz ni la electricidad.

Muchos otros tipos de caucho sintético se producen con métodos parecidos a los antes descritos. La introducción de algunos cambios en los procesos de polimerización ha mejorado la calidad de los productos y abaratado costes. Uno de los mayores avances ha sido la utilización del petróleo como

aditivo, bajando los costes al poder conservarse grandes cantidades de caucho sintético almacenado. Gracias a ello se ha conseguido fabricar neumáticos de larga duración.

1.18 CAPÍTULO III

1.19 CARACTERÍSTICAS DE LA GOMA

3.1 INTRODUCCIÓN

Existen una gran variedad de apoyos de neoprenos, con distintas características. Las funciones de los apoyos, además de transferir las fuerzas de la superestructura a la subestructura, son las de disipar y aislar los desplazamientos de traslación y rotación debidos a expansión térmica, contracción, deflexión en miembros estructurales, cargas dinámicas y vibraciones, entre otros. También establecen un vínculo entre el tablero del puente y la sub-estructura (pilas y estribos). El neopreno por su alta eficiencia para disipar los movimientos de traslación y rotación, es adoptado como una solución de aislamiento sísmico.

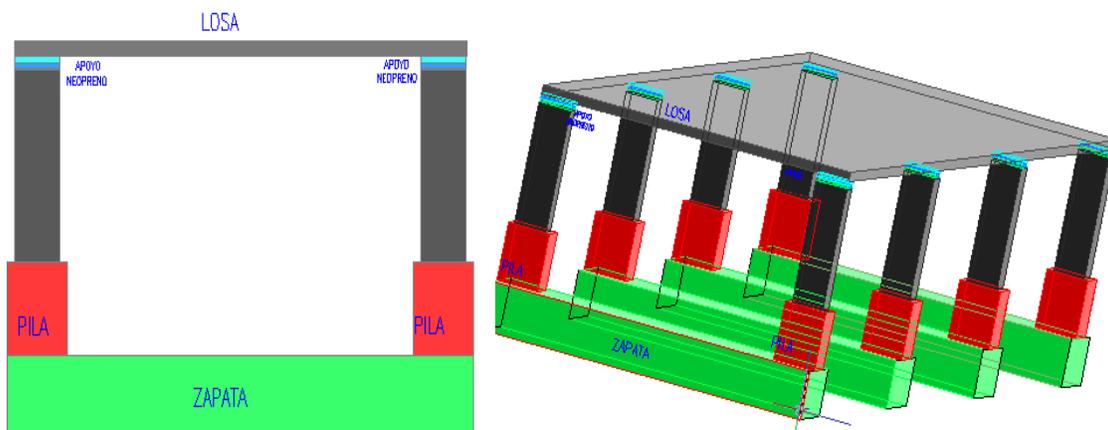


Figura 3-50: Colocación del neopreno en un puente losa

En la Figura 3.1 se muestra una manera de apoyar la superestructura de un puente sobre columnas, pilas.

Estos apoyos se fabrican con materiales de caucho natural o sintético y con características de resistencia y flexibilidad que le permiten combinar rigidez y amortiguamiento en el mismo elemento. Están constituidos en esencia por un bloque de elastómero formado por varias capas de elastómero, vulcanizadas de una sola pieza y firmemente adheridas a ella, unas placas de acero como refuerzo. La palabra elastómero es un término genérico para los materiales sintéticos similares al caucho natural.

El componente del apoyo de neopreno es:

- policloropeno (neopreno virgen),
- polisopreno natural (caucho natural).

Las ventajas del neopreno respecto al caucho natural son su mejor comportamiento a baja temperatura, mayor resistencia a la acción del ozono y menor deterioro bajo condiciones ambientales. Aunque hay apoyos de neopreno sencillos, sin placas metálicas intercaladas, los más utilizados son los laminados conformados por varias placas de neopreno y acero estructural (como refuerzo interno) que se intercalan y vulcanizan entre sí (Figura

3.2).

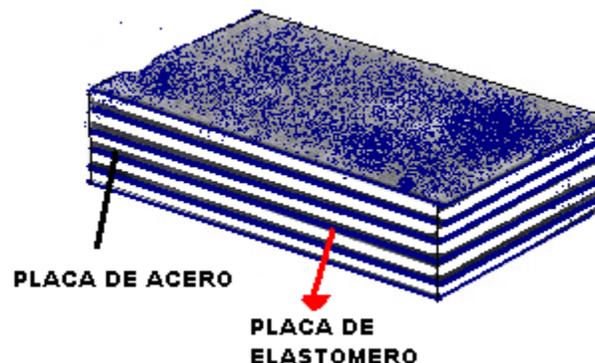


Figura 3-51 Placa de Neopreno

La inclusión del refuerzo incrementa el amortiguamiento histerético, permite lograr una rigidez vertical alta, ya que las placas de acero disminuyen el efecto de pandeo en las caras laterales del elastómero, con lo cual es posible apoyar cargas estáticas de magnitud considerable con una deflexión mínima.

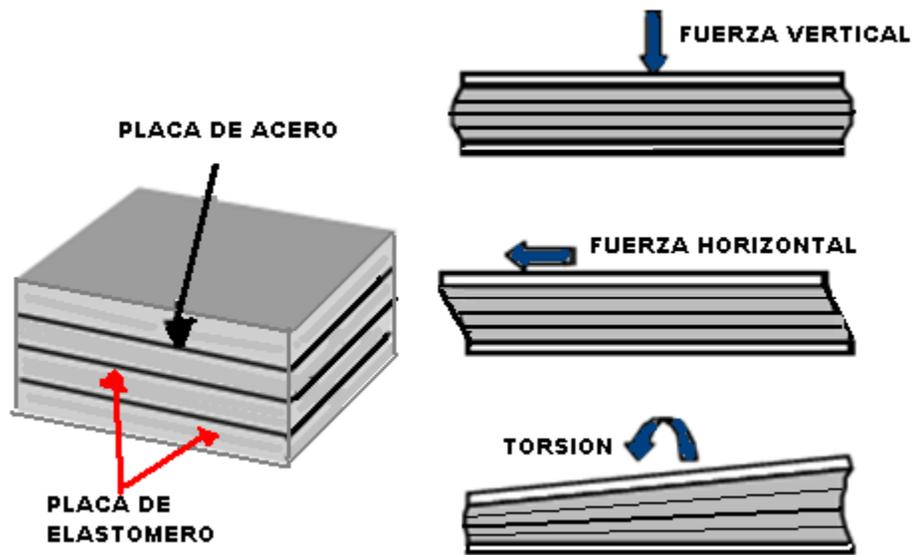


Figura 3-52 Comportamiento del Neopreno

Un dato de gran importancia para el diseño de los aparatos de apoyo de neopreno es el módulo de elasticidad transversal de la goma o elastómero (G) que, de acuerdo con el esquema de la Figura 3-3, relaciona las fuerzas horizontales aplicadas al apoyo con los movimientos horizontales del mismo, según los conceptos clásicos de Resistencia de Materiales. El valor de G para acciones lentas suele estar comprendido entre 0.66 y 2.07 Mpa (AASHTO 14.7).

3.2 COMPOSICIÓN DE LOS CAUCHOS

El compuesto de caucho natural más simple es el isopreno o 2-metilbutadieno, cuya fórmula química es C_5H_8 . Es blando a temperatura ambiente $25\text{ }^\circ\text{C}$, a temperaturas de congelación $-^\circ\text{C}$, el caucho puro es sólido transparente. De 0 a $10\text{ }^\circ\text{C}$ es frágil y opaco, Al amasarlo mecánicamente, o al calentarlo por encima de $50\text{ }^\circ\text{C}$, el caucho adquiere una textura pegajosa. A temperaturas de $200\text{ }^\circ\text{C}$ o superiores se descompone. El caucho utilizado en los prototipos fue preparado en la fábrica PLAMEC ubicada al sur de Quito en Chillogallo, es un caucho mejorado en base de los elementos químicos, tabla 3.1., que definen su característica física y mecánica.



Figura 3-53 Fábrica de Caucho

Tabla 3-5 Química de la Goma

| |
|-------------------|
| PRODUCTO 1 |
| Caucho Natural |
| Negro de Humo 660 |

| |
|-------------------|
| Aceite Parafínico |
| Rubbersil |
| Antilux |
| Acido Esteárico |
| Óxido de Zinc |
| Azufre |
| Antioxidante TMQ |

| |
|-----------------|
| PRODUCTO 2 |
| Mercapto |
| Aceite quemado |
| Acido Esteárico |
| Óxido de Zinc |
| Azufre |
| Thiuram |

En el producto 2 se
como lubricante en lugar

utiliza el aceite quemado
de aceite parafínico. El

Caucho Natural, se le mezcla con diferentes aditivos y sustancias en porcentajes definidos los cuales se muestran en la tabla 3.1, esta es la base para obtener el elastómero que se utilizó en los prototipos ensayados. Los aditivos son parte importante en el proceso de fabricación ya que aumentan la eficiencia y rendimiento en la producción de caucho cambiando así sus características primarias.

Muchos aditivos tienen, múltiples funciones y su número ha aumentado significativamente a través de los años por ejemplo hay aditivos que al mezclar con el caucho le hace que se estire pero manteniendo la capacidad de ser

blando, todo aditivo que se pone en la mezcla debe ser controlado minuciosamente porque dependiendo del uso que se le va a dar al caucho cambia la cantidad de aditivos. Por esta razón, se ha vuelto más importante hacer una correcta selección del producto natural como en los aditivos. La gran demanda que tiene el caucho ha hecho que se encuentren otros aditivos, así mejorando las características en el producto.

En la actualidad, existen sustancias bien definidas y fórmulas específicas de cada fábrica de neoprenos. En lugar de ver a los aditivos como ayudas sólo cuando un compuesto causa dificultad, en la actualidad son tomados en cuenta por el formulador o la fábrica.

La mayoría de los aditivos tienen la facultad de facilitar a la mezcla a que los polímeros sean homogéneos y la unión sea rápida con otros materiales del producto en el molino abierto y otros aditivos ayudan con la aceleración del proceso. En la medida de lo posible, hay que tener en cuenta la pegajosidad del compuesto que debe ser controlada, se debe evitar una pegajosidad excesiva en las máquinas en este proceso se colorea la goma por ejemplo se añade aceite plastificante.

La viscosidad del compuesto debe disminuirse y debe ser tal que sea posible un mezclado eficiente en energía a bajas temperaturas. Se debe mantener la distribución uniforme y la dispersión óptima de todos los compuestos (Jiménez 2009).

3.3 EL NEGRO DE HUMO 660

Es un producto derivado del negro de carbón, que ayuda a la resistencia de la goma, este aditivo ayuda para dar dureza al producto final y aumentan la rigidez de las gomas, y disminuye el alargamiento en la rotura. Es la carga por excelencia en la industria del caucho, consta de finísimas partículas de carbón, obtenidas por combustión parcial de gas natural o de aceites de petróleo, por consiguiente ayuda a obtener mejores resultados con resistencia a la tracción, al desgarro y a la abrasión. Las empresas emplean el negro de humo como material de relleno en un 90 % principalmente en la fabricación de los neumáticos.

3.3 EL ACEITE PARAFÍNICO

Es un lubricante, que ayudan con efectos positivos en el procesamiento de la vulcanización, Incorporación de la carga más rápida, mejor dispersión, menor temperatura de descarga, viscosidad reducida, despegue mejorado en el molde no deja sustancia que afecte a los demás compuestos y un despegue del prototipo rápido.

3.4 EL ÁCIDO ESTEÁRICO

Es un aditivo ($\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{16} \text{COOH}$) que actúa como lubricante más que homogenizante, se dispersa fácilmente actuando como también agente dispersante, lubricante interno y fundamentalmente como activador de los

acelerantes de vulcanización en el curado reduciendo la pegajosidad del caucho, se encuentra en grasas vegetales y animales.

3.5 EL ÓXIDO DE ZINC

Compuesto químico (ZnO) que se consigue en polvo de partícula fina de color blanco y alta reactividad para ser usado en caucho y látex. El óxido de zinc es el más importante activador inorgánico que actúa sobre los acelerantes orgánicos. Su alta pureza hacen que sea usado como reforzante, acelerador y activador en el proceso de vulcanización. Su baja absorción de humedad lo hace apto para compuestos de caucho en uso eléctrico. Da un mínimo de opacidad en cauchos translúcidos y en látex tiene una excelente dispersión, permite lograr mejores estados de cura actúa como reserva para neutralizar los productos de descomposición del azufre.

3.6 EL AZUFRE

Es un elemento químico de color amarillento no metálico, se encuentra fácilmente en regiones volcánicas combinados en forma de sulfuros Es el principal agente vulcanizante, su presentación viene en sacos de 50 Kg en polvo de azufre, el cual amasándolo o mezclándolo bien con el caucho y calentándolo a una temperatura superior a los $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, se combina químicamente y el efecto principal del azufre es la aceleración en la cura del caucho producto resultante tiene propiedades muy útiles a saber:

- * No se deforma por el calor,
- * No es quebradizo en frío

* Y sobre todo, no es pegajoso.

3.7 VULCANIZACIÓN



Figura 3-54 Equipo de Vulcanización

El proceso de vulcanizado se lleva a cabo en el interior de una cámara a una temperatura de 140 grados, dependiendo del producto que se requiere distribuir y que puede durar desde unos minutos, hasta varias horas, en el cual se agrega azufre a la mezcla en el proceso de acelerado reacciona con el calor generado dentro de la cámara y le confiere ciertas propiedades a la mezcla cambiando así sus características principales controlando siempre la temperatura de la cámara.

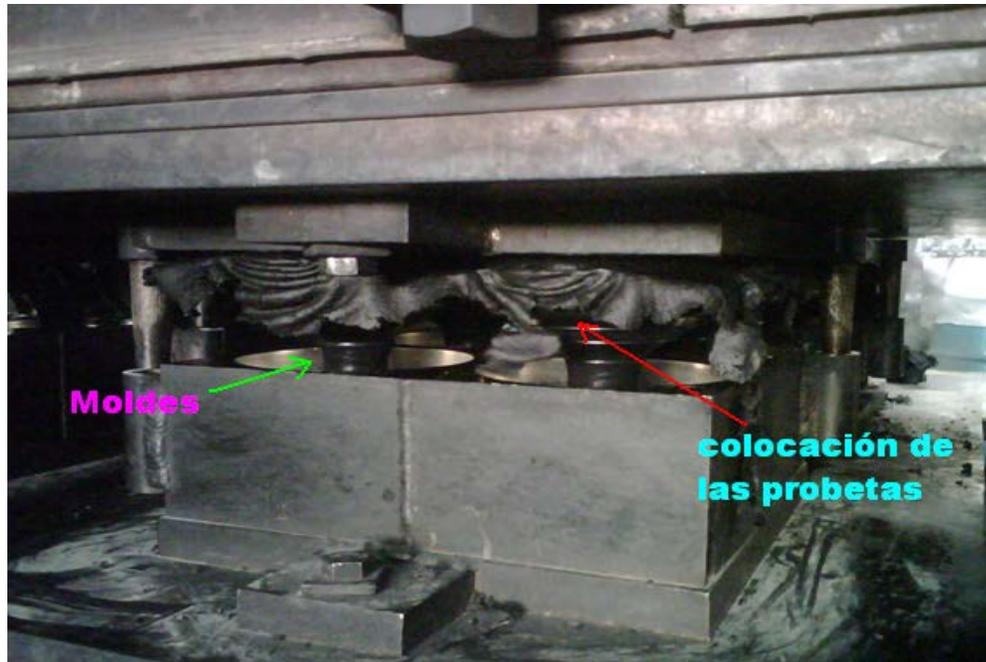


Figura 3-55 Proceso de vulcanización

Después se verifica las medidas del prototipo (figura 3.6), así como el estado de cocción del mismo, si se presenta alguna inconformidad avisa al encargado de la extrusora para que tome las respectivas medidas para corregir el defecto en caso de que el problema sea de forma o de dimensiones, si el vulcanizado del prototipo este saliendo bien se lleva donde se enfríe y se pueda manipular más fácil, se realiza una inspección del pegue de las platinas y aplica un poco de fuerza para ver qué tan resistentes quedaron, en caso de que el pegue haya quedado mal o se note que se empieza a despegar, se pegan nuevamente las platinas en la prensa y queda listo el prototipo.



Figura 3-56 Verificación de las medidas del prototipo

3.8 ACELERADORES DE LA VULCANIZACIÓN:

Son sustancias que añadidas en cantidades pequeñas a la mezcla de caucho aumentan considerablemente la rapidez de vulcanización, a la vez que mejoran notablemente la calidad del producto y disminuyen la cantidad de azufre empleada.

3.9 ACTIVADORES Y RETARDANTES:

Es una sustancia que retarda el comienzo de la vulcanización, no afecta el curso subsiguiente de la vulcanización y ayuda a que los acelerantes ejerzan por completo su efecto. Un retardante verdaderamente eficaz debe aumentar el tiempo requerido para el comienzo de la vulcanización (dependiendo de la temperatura), pero no debe retardar la velocidad de vulcanización.

Un agente vulcanizador es aquel que efectúa la vulcanización después de ser expuesto a temperatura conveniente. Este agente vulcanizador debe ser soluble en el caucho o estar dividido en partículas finas para que pueda dispersarse con facilidad y uniformidad en el caucho.

1.20 CAPÍTULO IV

1.21 ENSAYOS REALIZADOS

Los aisladores elastoméricos ayudan a disipar energía, por esa razón es necesario que se conozcan las características de los materiales y las propiedades de los mismos. En este capítulo determinaremos experimentalmente las características de los elementos elastómeros y sus respuestas mecánicas. Se realiza ensayos de dureza, tracción, elongación, compresión y corte. La respuesta que se obtenga en los ensayos permitirá un mejor criterio del comportamiento de aislación, dando una idea global de cómo va a funcionar el elemento elastómero en condiciones de reposo y ante un eventual sismo.

La mayoría de estos ensayos depende de la temperatura que es un factor muy importante que hay que tener en cuenta al momento de realizar los ensayos. Todos estos ensayos se realizaron utilizando los equipos del laboratorio de mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE). Las probetas utilizadas fueron elaboradas por Plamec una empresa privada que ayudo con la fabricación de los prototipos. Todos estos procedimientos se apegaron a las normas del INEN y normas ASTM. Los prototipos elastoméricos ensayados tenían composiciones que variaba la dureza de shore 50, shore 60 y shore 70. Una de las composiciones fue igual a la empleada en los primeros aisladores elastoméricos construidos en el Ecuador por el CEINCI (Auqui 2010).

4.1 ENSAYO DE DUREZA

Este ensayo es muy utilizado por la facilidad de ser realizado con aparatos muy sencillos y portátiles. Para tener un control de la uniformidad de datos obtenidos, se deberá tomar las muestras de un mismo lote, puesto que los valores de dureza cambian para diferentes producciones del caucho.

Para la medición de la dureza Shore se utilizan varias escalas: Shore A, B, C, D, 0 y 00. La escala Shore A es la más conveniente para medir la dureza de los cauchos blandos, hasta 90 grados, mientras que la escala Shore D se usa para la medición de dureza de cauchos más duros que 90 grados Shore A. Aproximadamente 40 grados Shore D corresponden a 90 Shore A.

Para todas estas escalas se fabrican durómetros digitales y análogos, así como portátiles y de mesa, siendo estos últimos más precisos. En los durómetros portátiles la influencia del operario que mide tiene gran importancia ya que se puede obtener una lectura errada, aunque el instrumento se encuentre calibrado. El Shore A, por ejemplo, es necesario admitir una variación de ± 5 puntos.



Figura 4-57 Equipo de medida de dureza DURÓMETRO SHORE D.

4.2 DUREZA SHORE (INEN 887)

Consiste en evaluar la dureza superficial del material midiendo la profundidad que alcanza una punta de acero normalizada cuando se presiona contra el material. Se puede medir con instrumentos simples (ver durómetro en la Figura 4.2).



Figura 4-58 Realización de medición en caucho

La superficie de apoyo y de la muestra deberán ser lisas y de caras paralelas. El durómetro se coloca sobre la muestra con paralelismo de caras con ayuda de un dispositivo apropiado. La presión aplicada por estos aparatos es de 12,5 N en la *Shore A* y de **50 N en la *Shore D***.



Figura 4-59 Medidor de fuerza

La dureza *Shore* se expresa en unidades de *Shore A* o *D*. Son posibles diferencias de 2-3 unidades *Shore*. Es muy importante realizar la medida siempre al mismo tiempo, 3 ó 10 segundos. Al momento de soltar el indentador, tiene que haber una distancia de por lo menos 12 mm a cualquier borde de la muestra, la lectura se toma a los 5 segundos después de ser aplicada una masa de 5 Kg (11 libras) centrada aproximada al eje de pie indentador (aguja del durómetro).



Figura 4-60 Medición de dureza en el elastómero

La media aritmética es determinada después de obtener 5 medidas en diferentes posiciones, cada una de estas con una distancia de un radio mínimo de 6 mm una de otra, obteniendo la dureza de la muestra. Probetas que se realizaron el ensayo de dureza



Figura 4-61. Elastómeros utilizados en el ensayo de dureza

DATOS: tomados a cada hora con la temperatura **SHORE 50**

Tabla 4-6 Datos de dureza y temperatura tomados en el ensayo

| SHORE 50 | | | | | | | |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| hora | 09:07 | 10:09 | 11:09 | 12:12 | 13:04 | 14:02 | 15:00 |
| Temp °C | 21.1 | 20 | 19.5 | 20.3 | 19.4 | 18.8 | 18.5 |
| shore | 12.22 | 11.38 | 12.22 | 11.80 | 11.80 | 12.22 | 11.80 |
| | 12.22 | 12.22 | 12.64 | 12.64 | 12.64 | 11.80 | 11.80 |
| | 11.80 | 11.38 | 11.80 | 12.22 | 12.22 | 11.80 | 12.22 |
| | 13.07 | 11.80 | 11.38 | 11.80 | 11.80 | 11.80 | 12.22 |
| promedio | 12.22 | 11.80 | 11.89 | 12.22 | 12.14 | 11.97 | 12.22 |

12.07

| SHORE 60 | | | | | | | |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| hora | 09:00 | 10:02 | 11:05 | 12:07 | 13:05 | 14:06 | 15:02 |
| Temp °C | 21.1 | 20 | 19.5 | 20.3 | 19.4 | 18.8 | 18.5 |
| shore | 17.28 | 17.28 | 17.28 | 17.28 | 17.28 | 17.28 | 17.28 |
| | 18.12 | 18.12 | 18.12 | 18.12 | 18.12 | 17.28 | 17.28 |
| | 17.70 | 17.70 | 17.70 | 17.70 | 17.70 | 17.28 | 17.70 |
| | 17.28 | 17.28 | 17.28 | 17.28 | 17.28 | 17.70 | 18.55 |
| promedio | 17.70 | 17.70 | 17.70 | 17.70 | 17.70 | 17.53 | 17.70 |

17.68

| SHORE 70 | | | | | | | |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| hora | 09:05 | 10:06 | 11:07 | 12:10 | 13:03 | 14:05 | 15:05 |
| Temp °C | 21.1 | 20 | 19.5 | 20.3 | 19.4 | 18.8 | 18.5 |
| shore | 22.76 | 24.02 | 23.60 | 23.18 | 23.60 | 23.18 | 23.60 |
| | 23.60 | 23.60 | 24.02 | 22.76 | 23.60 | 23.60 | 22.76 |
| | 23.60 | 23.60 | 23.60 | 23.18 | 22.76 | 23.18 | 23.60 |
| | 23.18 | 23.60 | 23.60 | 23.60 | 23.60 | 22.76 | 24.02 |
| | 23.60 | 24.02 | 23.18 | 23.60 | 23.60 | 23.60 | 22.76 |
| promedio | 23.35 | 23.77 | 23.60 | 23.27 | 23.43 | 23.27 | 23.35 |

23.43

Comparación de la dureza en shore A y shore D del caucho obtenido en el ensayo

| | | | |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|
| shore D del caucho | 12.07 | 17.68 | 23.43 |
| shore A del caucho | 50.18 | 62.80 | 72.38 |

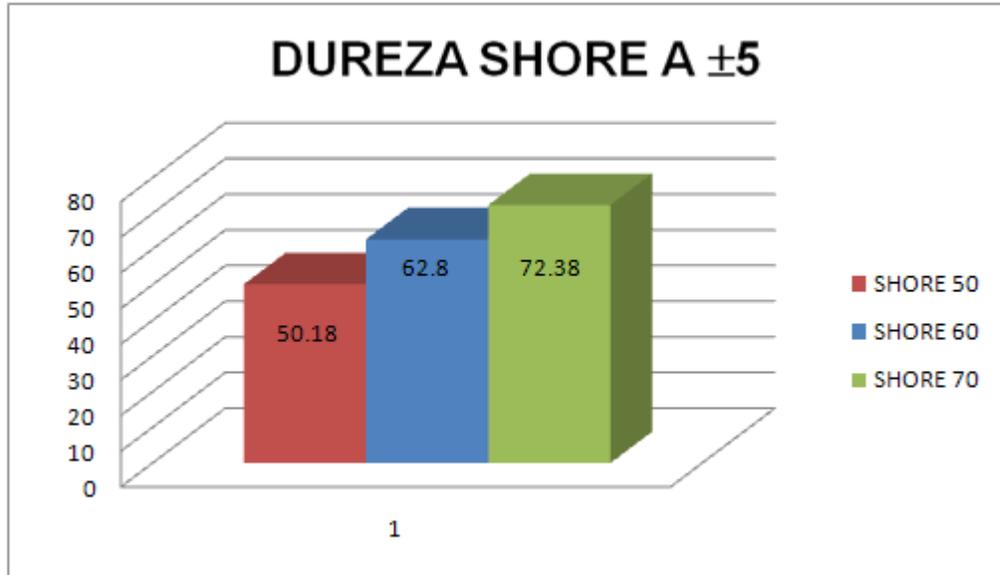


FIGURA 4-62 Dureza de los Prototipos Ensayados

4.3 GRAFICAS DE DUREZA - TEMPERATURA

En todas las mediciones que se realizaron se registraron los datos de temperatura y dureza y la hora en que fueron realizados los ensayos para saber el comportamiento que sufren los elastómeros con respecto a la temperatura.





Figura 4-63 Medición de temperatura y dureza a cada hora en el prototipo

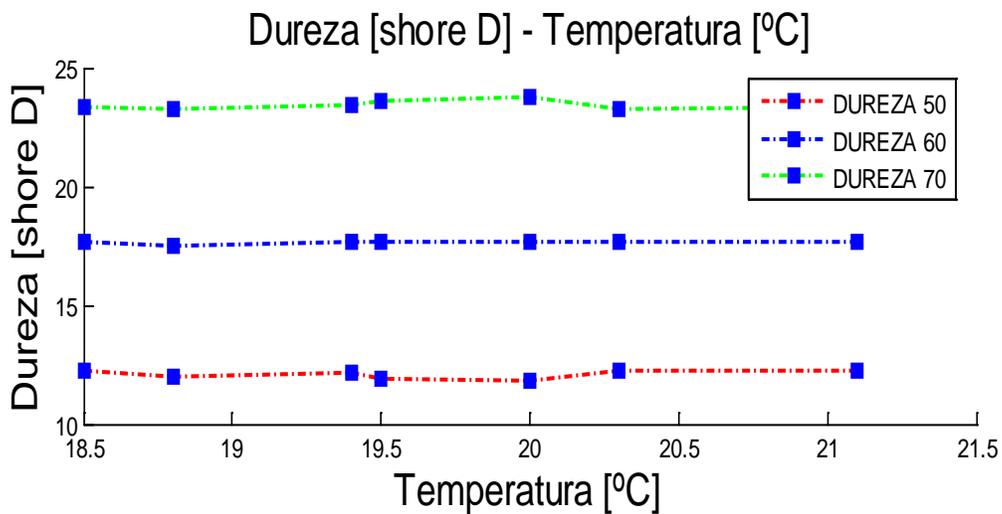


Figura 4-64 Dureza – Temperatura de las probetas elastómeras resistencia - temperatura

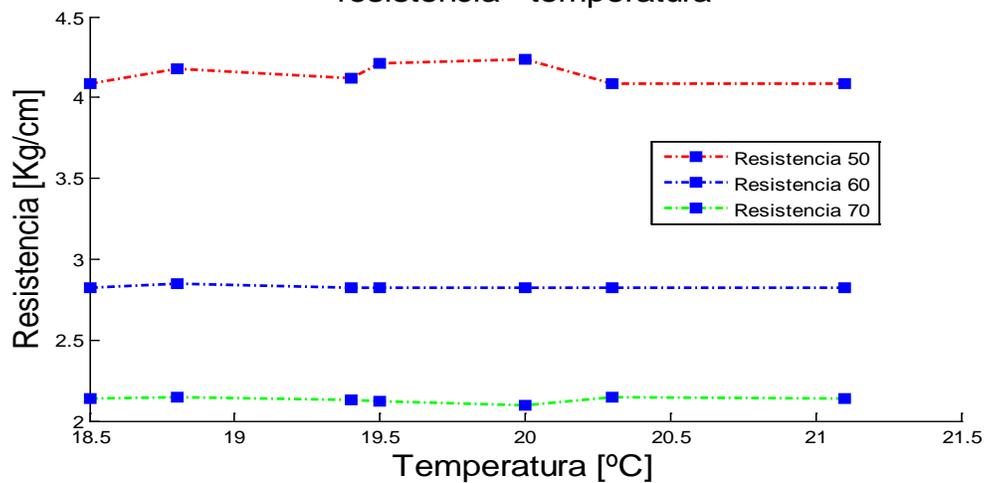


Figura 4-65 Resistencia – Temperatura de las probetas elastómeras

4.4 ENSAYO A TRACCIÓN

La obtención de probetas para el ensayo de tracción se enmarca dentro del proceso general de fabricación de piezas prensadas hechas de elastómeros utilizadas en la fabricación de disipadores de energía, es decir, comprende las etapas de preparación del compuesto (que incluye, a su vez, los mezclados), cortado, vulcanización (prensado por un cierto tiempo de un trozo de material en un molde bajo condiciones determinadas de temperatura)

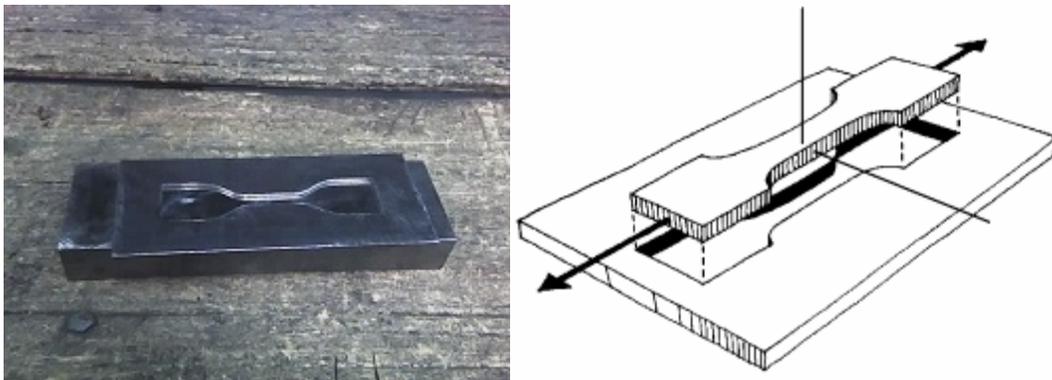


Figura 4-66 Molde para probetas de elastómeros

Este ensayo se llevó a cabo de acuerdo a las dimensiones establecidas por la norma INEN 1 165 Las probetas para este ensayo tienen la forma tipo B con las siguientes dimensiones

| Dimensión | TipoB (cm) |
|--------------------------|------------|
| A longitud mínima | 11.5 |
| B Ancho extremos | 2.5 |
| C longitud parte angosta | 3.3 |
| D ancho parte angosta | 0.60 |
| E Radio menor | 1.4 |
| F radio mayor | 2.5 |
| espesor | 0.2 |

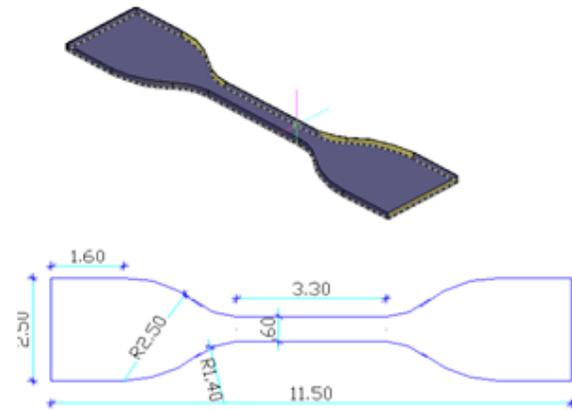


Figura 4-67 Prototipo de elastómero



Figura 4-68 Medición de las probetas elastómeras para el ensayo





Figura 4-69 Probetas elastómeras shore 50, 60 y 70

4.4 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO

Debido a que se necesitará realizar pruebas de carga dinámica para poder evaluar el desempeño del prototipo a ser utilizado en los ensayos, 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.

El comportamiento del elastómero, provoca que la interpretación de los ensayos de tensión-deformación sea muchas veces más compleja que en otros análisis, el ensayo de resistencia a la tracción y de alargamiento porcentual según la norma INEN 1165, es utilizado para la determinación de las propiedades mecánicas de este material. En esencia consisten en someter a una probeta de forma y dimensiones determinadas, a un esfuerzo de tracción en la dirección de su eje.



Figura 4-70 Equipo del laboratorio para el ensayo de tracción

La descripción del equipo es la siguiente:

Máquina de Tracción Horizontal Amsler

Ciclos: 60 Hz

Peso: 160 Kg

Capacidad Máxima: 200 Kg

Potencia motor: 1/4 HP

Velocidad máxima motor: 500 rpm



Figura 4-71 Ensayo de las probetas elastómeras a tracción

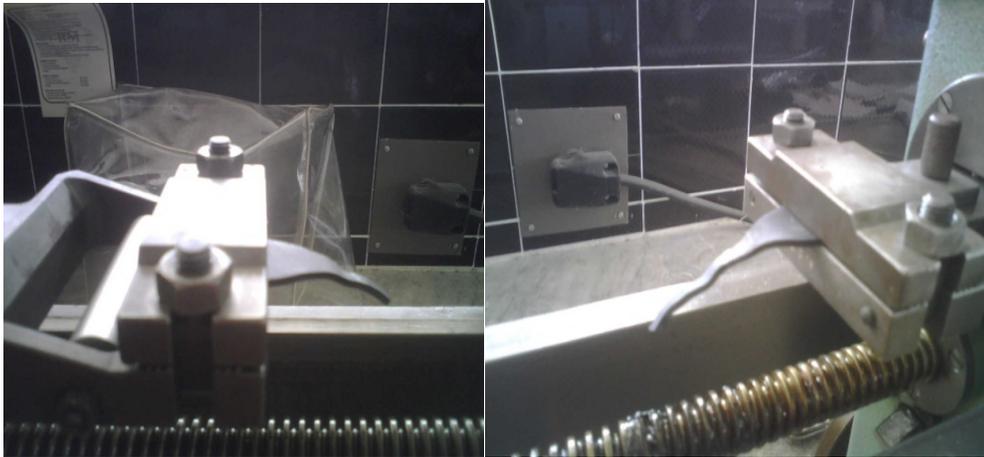


Figura 4-72 Ensayo de tracción del elastómero

4.5 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El estiramiento de la probeta se logra a través del control de la velocidad del equipo de carga. Las mediciones se realizaron en las direcciones axiales y a lo largo del ancho y espesor de la probeta en la zona central de la misma.

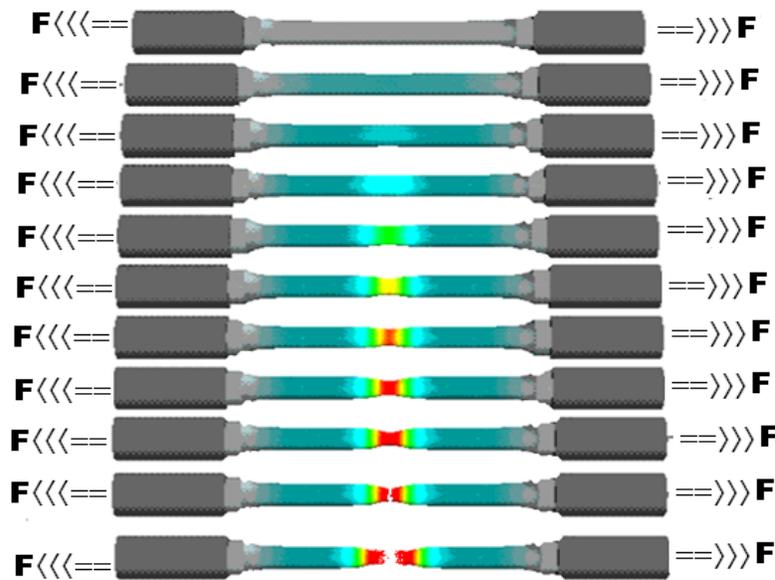


Figura 4-73 Principio del funcionamiento del ensayo a tracción

Se realizó en primera instancia una estimación del rango de deformación correspondiente a un comportamiento elástico de cada compuesto. La deformación se calculó de la forma habitual.

$$\frac{L2 - L1}{L1}$$

Ecuación 4-2

Dónde: $L1=25$ mm

$L2 =$ es la ruptura.

Son las longitudes de medida inicial y a la que se rompe respectivamente.

4.6 ENSAYO ELONGACIÓN PORCENTUAL A LA ROTURA

El alargamiento en la rotura se expresa en porcentaje.

$$Elongacion = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \times 100$$

Ecuación 4-3

| SHORE 50 | | | SHORE 60 | | | SHORE 70 | | |
|----------|---------|-------------|----------|---------|----------------|----------|---------|----------------|
| L2 (mm) | L1 (mm) | | L2 (mm) | L1 (mm) | | L2 (mm) | L1 (mm) | |
| 113 | 25 | 352% | 119 | 25 | 376% | 123 | 25 | 392% |
| 114 | 25 | 356% | 123 | 25 | 392% | 125 | 25 | 400% |
| 112 | 25 | 348% | 122 | 25 | 388% | 126 | 25 | 404% |
| | | 352% | | | 385.30% | | | 398.60% |

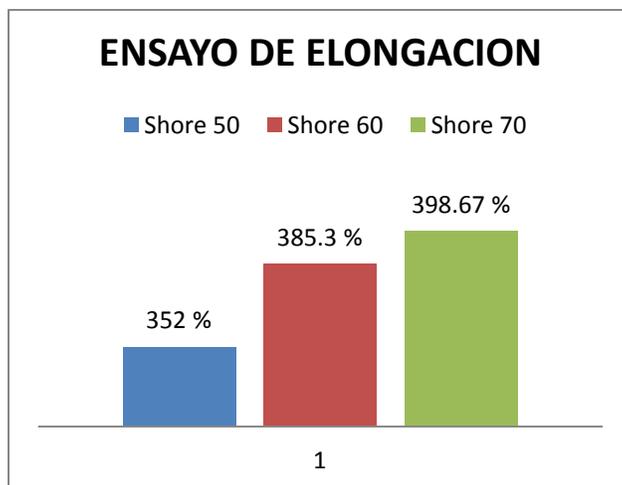


Figura 4-74 Gráfico de los resultados obtenidos en el ensayo de elongación porcentual

4.7 GRAFICAS DE FUERZA DEFORMACIÓN

La tensión (σ) y deformación (ϵ) se definen como:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 4-4}$$

Dónde: A es el área inicial de la sección transversal de la probeta,

F es la fuerza aplicada.

En este ensayo de tracción se obtiene los datos de tensión y deformación, se realiza el ensayo a una temperatura del ambiente 20°C y velocidad constante del equipo, el equipo nos grafica la curva tensión-deformación (σ - ϵ), cuya forma varía de acuerdo a la naturaleza química del elastómero.

A partir de estas curvas se realiza el análisis. La primera parte de la curva corresponde a la deformación elástica del material donde σ (F/A) y ϵ son proporcionales según la ley de Hooke ($\sigma = E \cdot \epsilon$), hasta alcanzar un punto

determinado llamado límite de proporcionalidad. La pendiente en ese tramo corresponde al módulo de Young o módulo elástico,

A partir de este punto, se entra en una zona de transición entre el comportamiento elástico y el comportamiento plástico del material, hasta que se rebasa el límite elástico, punto que corresponde al máximo valor de la tensión que puede soportar un material sin sufrir una deformación permanente. El límite elástico es un valor importante para el uso del material, pues las piezas tienen que diseñarse para trabajar por debajo de dicho valor, paraqué de este modo no adquieran deformaciones permanentes. Cuando se supera el límite elástico, el material sufre deformación plástica, que es permanente, es decir, si se suprime la carga, el material no recupera sus dimensiones originales.

En el gráfico de las curvas típicas se puede observar que, si la deformación plástica entre el límite elástico y el punto de fractura es grande, el material es dúctil (curvas b, d). Si la fractura se produce en torno al límite elástico o antes, el material es quebradizo o **frágil (curva a) que es nuestro caso**, y el comportamiento intermedio entre frágil y dúctil (curva c).

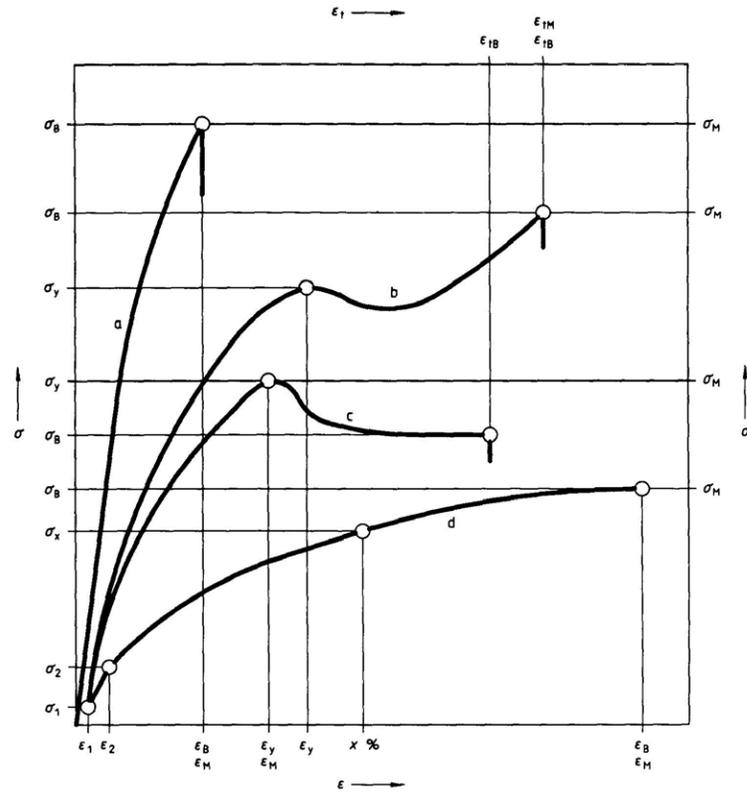


Figura 4-75 Curva típica de tensión-deformación en polímeros

GRAFICAS DE FUERZA - DEFORMACIÓN

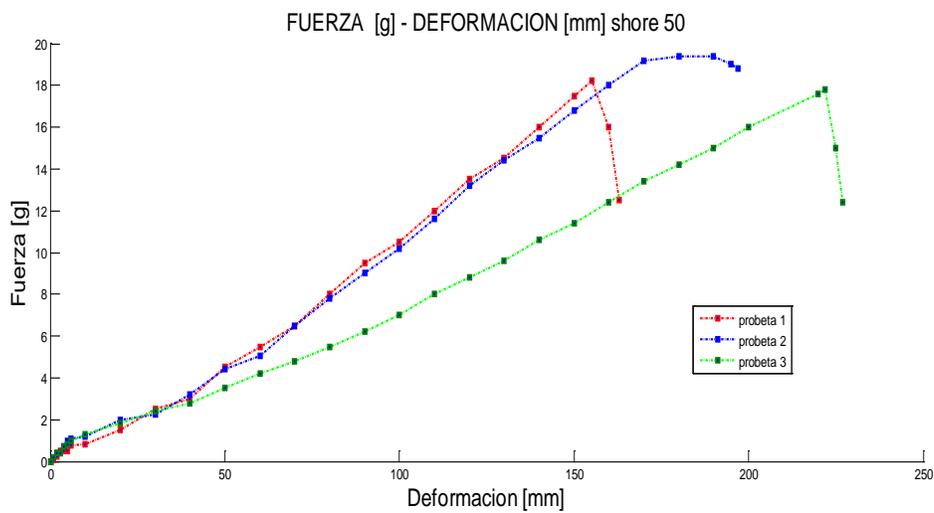


Figura 4-76 Grafico Curva de fuerza-deformación en shore 50

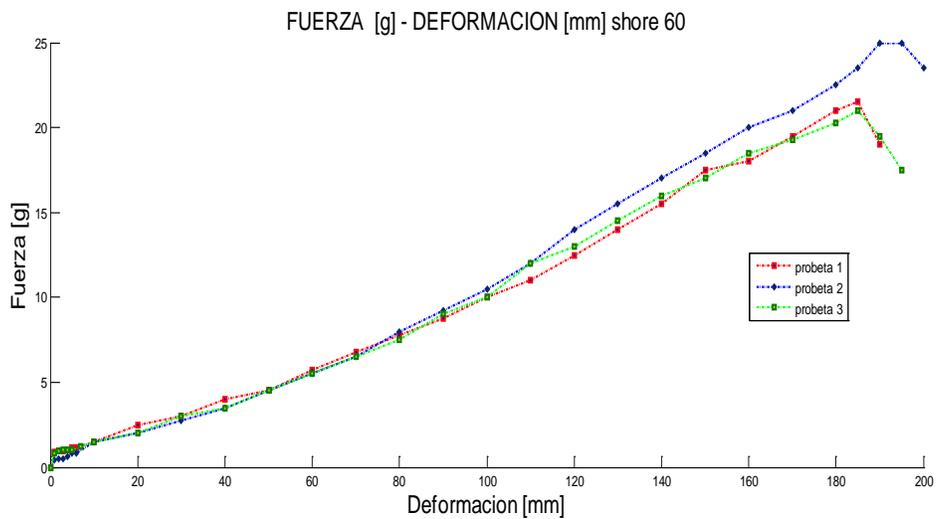


Figura 4-77 Curva de fuerza-deformación en shore 60

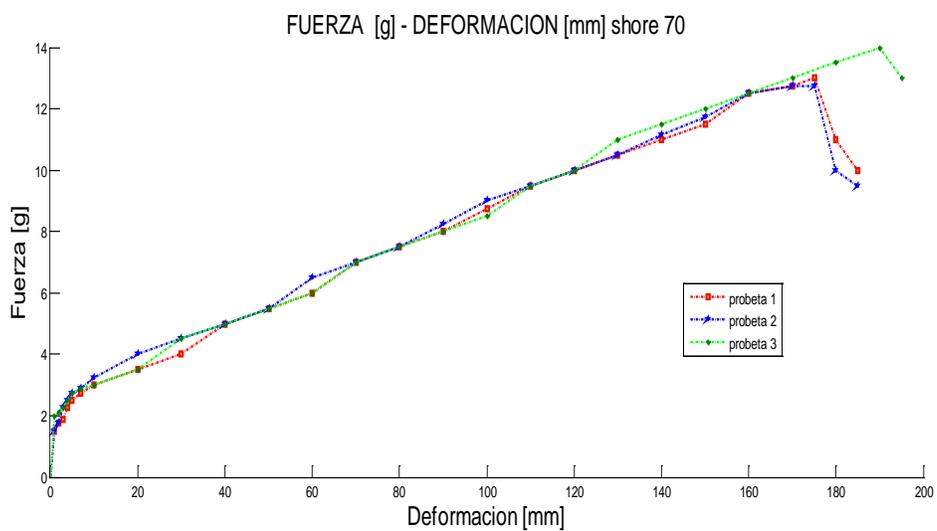


Figura 4-78 Curva de fuerza-deformación en shore 70

GRAFICAS DE ESFUERZO - DEFORMACIÓN

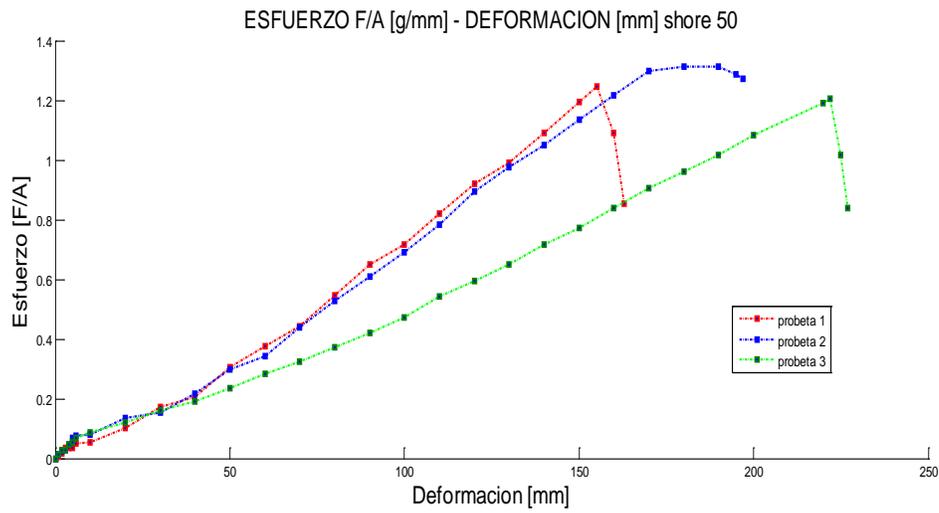


Figura 4-79 Curva de Esfuerzo-deformación en shore 50

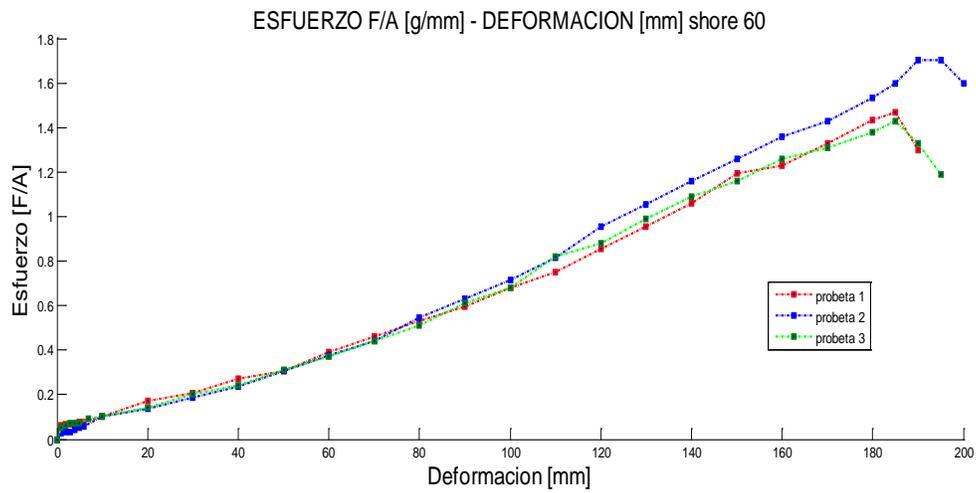


Figura 4-80 Curva de Esfuerzo-deformación en shore 60

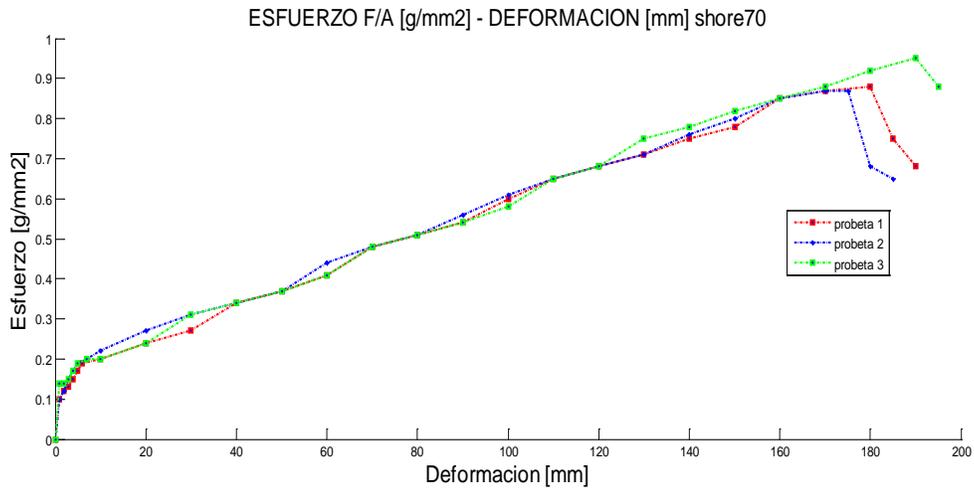


Figura 4-81 Curva de Esfuerzo-deformación en shore 70

| FUERZA MAXIMA | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|-------------|----------|--------|
| shore | F (kg) | F (kg) | F (kg) | F (kg) | F (N) |
| | prototipo 1 | prototipo 2 | prototipo 3 | promedio | |
| 50 | 18.250 | 19.400 | 17.800 | 18.483 | 181.14 |
| 60 | 21.500 | 25.000 | 20.250 | 22.250 | 218.05 |
| 70 | 12.750 | 12.750 | 14.000 | 13.167 | 129.03 |

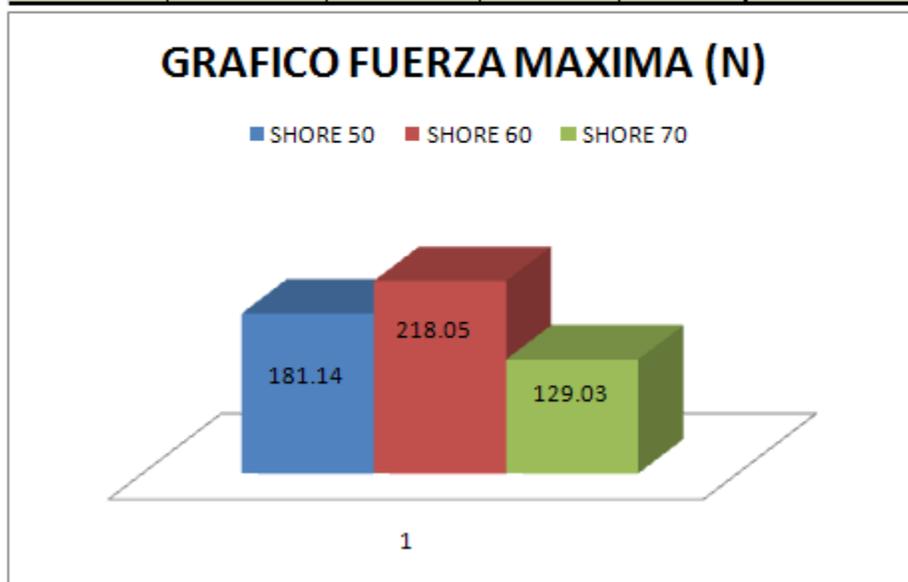


Figura 4-82 Grafico Fuerza máximas obtenidas a Tracción

Tabla 4-7 Esfuerzo Máximo a Tracción

| ESFUERZO (FUERZA/ AREA) | | | | | |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| shore | σ/A | σ/A | σ/A | σ/A | σ/A |
| | prototipo 1 | prototipo 2 | prototipo 3 | | Mpa(N/mm2) |
| 50 | 1.250 | 1.310 | 1.204 | 1.255 | 12.296 |
| 60 | 1.470 | 1.700 | 1.430 | 1.533 | 15.027 |
| 70 | 0.880 | 0.870 | 0.950 | 0.900 | 8.820 |

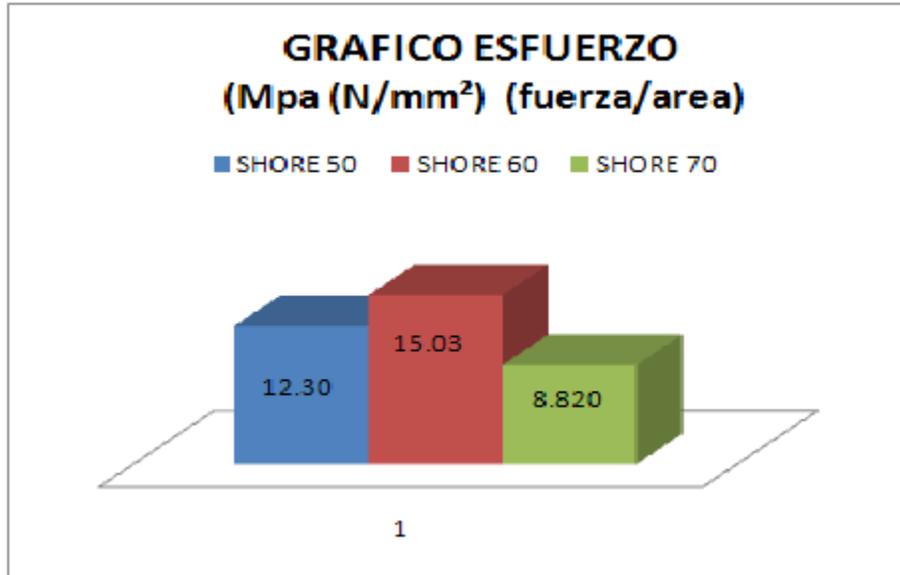


Figura 4-83 Grafico Esfuerzo máximo obtenidos

4.8 ENSAYO POR CORTE

La realización de este ensayo, requiere de una preparación de las probetas a ensayar. Se muestra la configuración geométrica de la probeta adoptada en este trabajo.

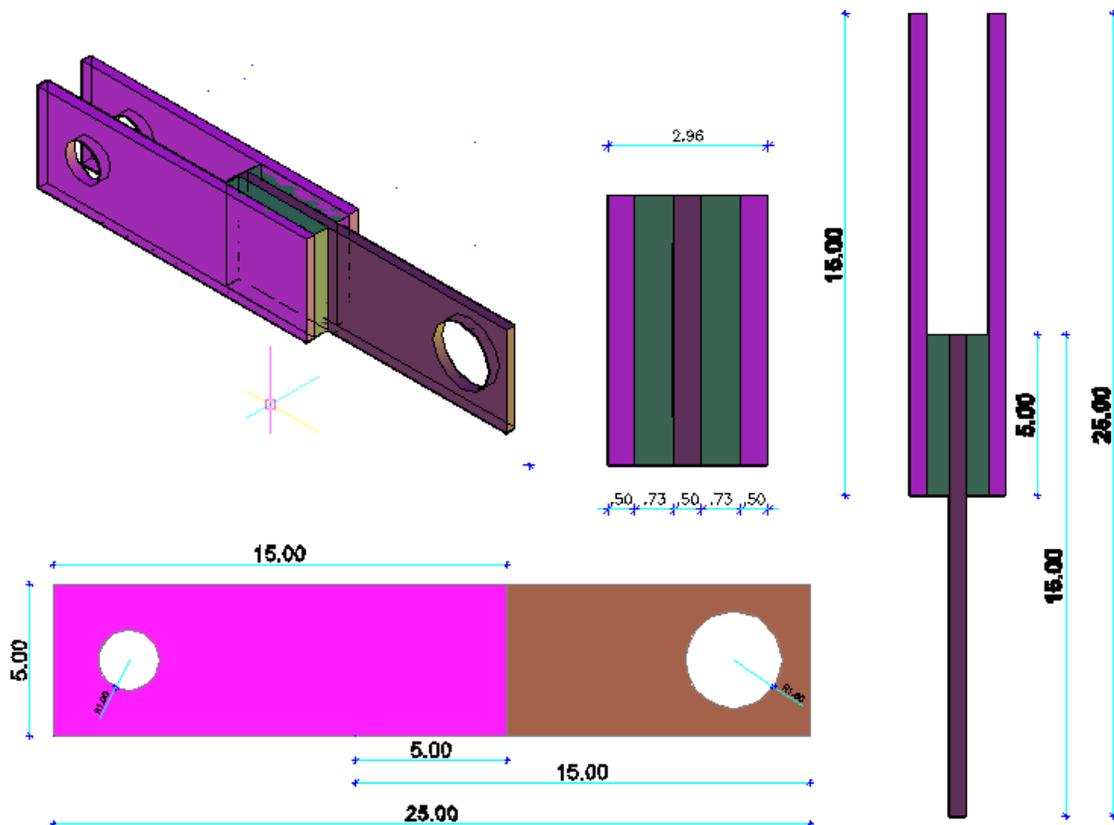


Figura 4-84 Gráfico del prototipo a corte



Figura 4-85 Prototipo a ser ensayado a corte

La probeta consta de tres placas de acero A36 y dos trozos de elastómero intercalados entre las mismas. La sollicitación de corte en los trozos de caucho se produce mediante la aplicación de una carga en el sentido longitudinal del

conjunto. Una adherencia adecuada entre las placas y los trozos de caucho garantiza que en el ensayo se verifique la condición de deformación plana.

Cuando las tres placas metálicas experimentan un desplazamiento relativo longitudinal entre ellas se produce una deformación por cortante en el material elastomérico. Esta deformación se puede aprovechar como un mecanismo de disipación de energía si se coloca este dispositivo en una estructura.

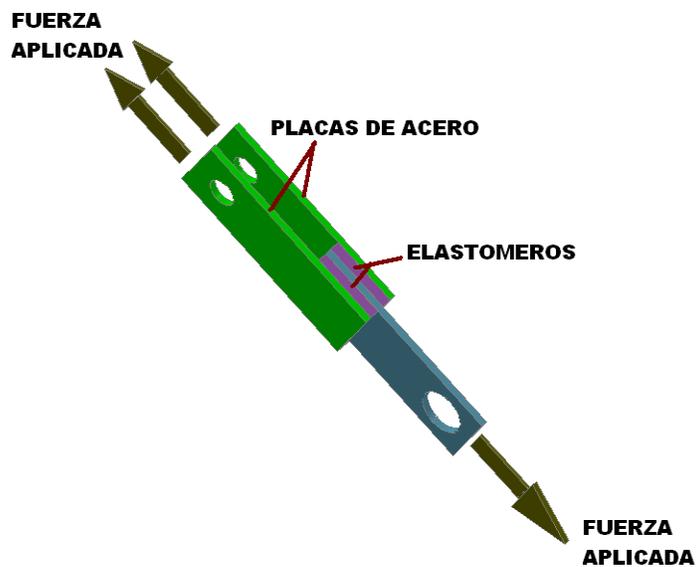


Figura 4-86 Prototipo con la fuerza aplicada a tracción

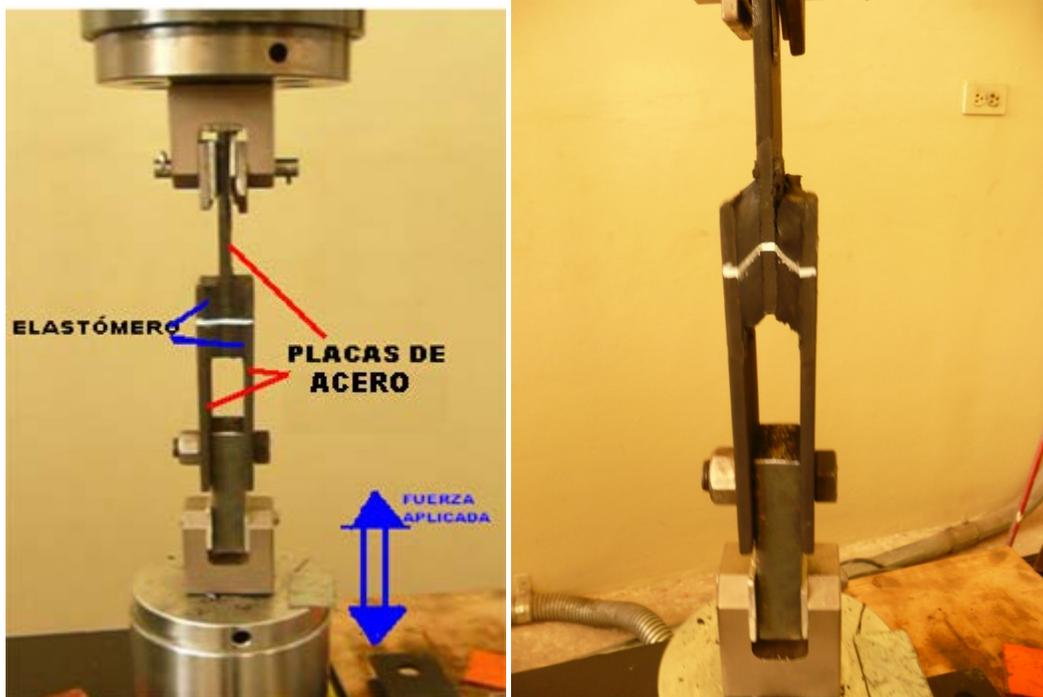


Figura 4-87 Prototipo ensayado a fuerza de corte

La descripción del equipo es la siguiente:

Máquina de Ensayos Universales MTS 810 Material Test System

Ciclos: 60 Hz

Peso: 3000 Kg

Capacidad Máxima: 500 KN

Potencia motor: 40 HP

Velocidad máxima motor: 1765 rpm

El equipo consta de tres partes principales:

-La máquina posee un equipo hidráulico, una bomba que da la presión necesaria al pistón hidráulico que se mueve de arriba hacia abajo según lo requiera realizar.

-El control de la máquina, es a través de circuito eléctrico

-un juego de instalaciones fijas y móviles para sostener a las probetas con mordazas y la información de desplazamiento, carga o deformación se puede registrar y graficar los datos.



Figura 4-88 Equipo del laboratorio para el ensayo

Las propiedades mecánicas de las probetas influyen directamente en los parámetros de diseño, porque de estas pruebas se puede conocer la capacidad de disipar energía.



Figura 4-89 Desplazamiento 25% del prototipo



Figura 4-90 Desplazamiento 50% del prototipo



Figura 4-91 Desplazamiento 100% del prototipo

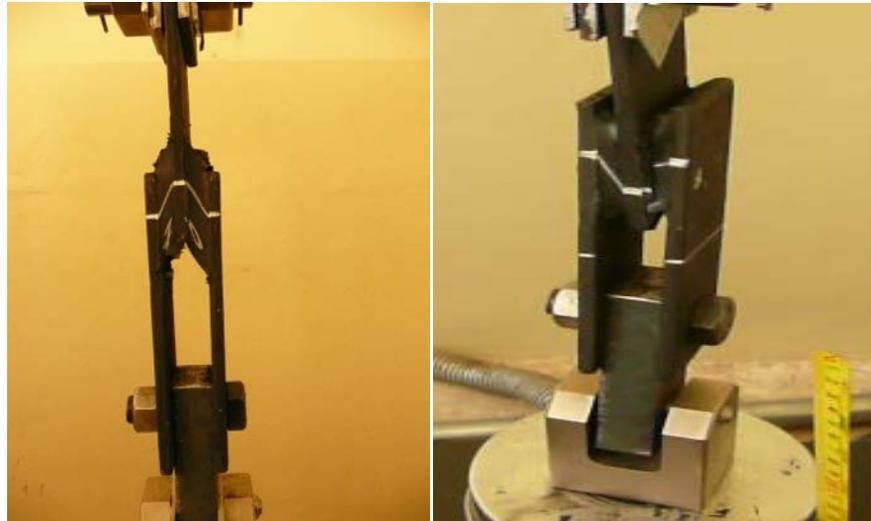


Figura 4-92 Desplazamiento 125% del prototipo



Figura 4-93 Desplazamiento 150% colapso la probeta

Para tener aisladores seguros en la práctica se ha incorporado las propiedades mecánicas del elastómero ya que influyen directamente en los parámetros de diseño, de ellos depende la capacidad de disipar energía y la fuerza que transmite a la subestructura.

El sistema de aislación lineal queda representado por la rigidez al corte K_b (horizontal).

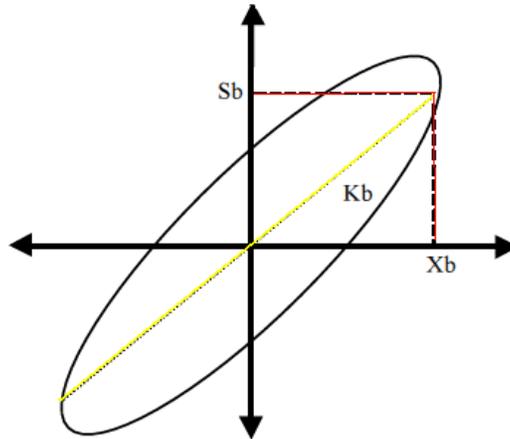


Figura 4-94 Ciclo histérico del amortiguador

En el sistema de aislación bilineal (figura 4.39), se puede conocer el factor de amortiguamiento ξ , que resulta ser proporcional al área encerrada por el ciclo de histéresis (EDC), y la rigidez efectiva K_{ef} , respectivamente. A su vez, estas variables dependen de la resistencia característica Q_d y la rigidez post-fluencia K_d .

La curva de histéresis se refiere al corrimiento que se produce entre la curva de carga y descarga al aplicarse cargas cíclicas.

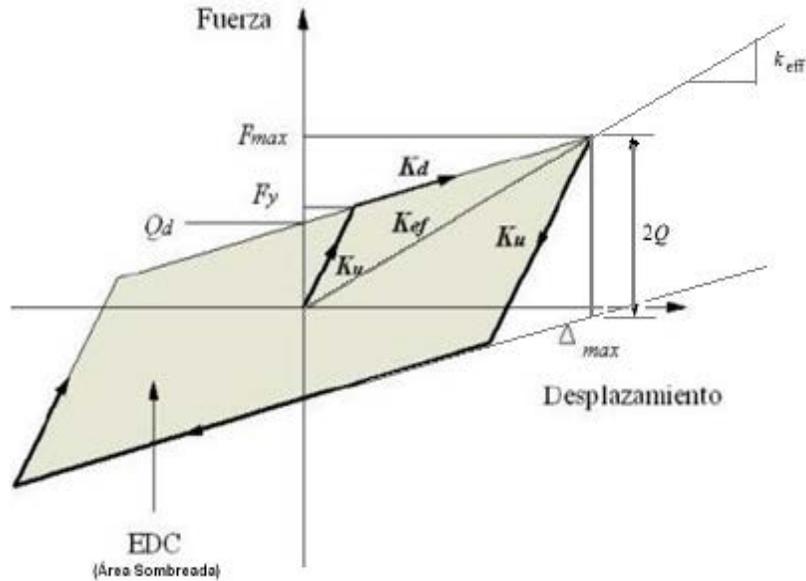


Figura 4-95 modelo bilineal (fuerza – desplazamiento)

La curva fuerza-deformación bi-lineal de un sistema de aislación, tiene dos variables importantes, las cuales están influenciadas por efectos de temperatura. Las variables son K_d , la rigidez de la segunda rama en la curva bi-lineal, y Q_d , la resistencia característica. El área del ciclo de histéresis EDC, coeficiente de amortiguamiento, son afectados principalmente por Q_d . La rigidez efectiva K_{ef} depende de Q_d y K_d .

Las dos variables de diseño de un sistema de aislación son K_{ef} y ξ , el coeficiente de amortiguamiento (Soto 2007).

El modelo bilineal que se utiliza para la representación entre la fuerza cortante y el desplazamiento. El elastómero se diseña para soportar las cargas verticales, cuando resisten cargas del sismo trabajan al corte con una rigidez horizontal k_h ;

La rigidez del dispositivo de aislación, depende de la geometría y del módulo de corte del compuesto de elastómero utilizado.

En el caso de aisladores elastoméricos se define el nivel de rigidez horizontal a través de la siguiente ecuación

$$k_h = \frac{G_a A}{H}$$

Ecuación 4-5

Dónde: G_a es el módulo de corte del elastómero.

A : es el área de la sección transversal de la goma que trabaja al corte.

H : es la altura efectiva de la goma.

La rigidez vertical de los aisladores depende la geometría de cada una de las láminas del elastómero utilizado en la elaboración de los prototipos.

La ecuación normalmente usada para calcular el valor de rigidez vertical del aislador es:

$$k_v = \frac{E_c A}{H}$$

Ecuación 4-6

Dónde:

E_c Es el módulo de compresión efectivo del aislador elastómero.

A : Es el área de la sección del elastómero.

H : Es la altura efectiva de las láminas del elastómero.

El desplazamiento horizontal D está relacionado a la máxima deformación por cortante γ , que se realiza en el laboratorio.

$$\gamma = \frac{D}{H}$$

Ecuación 4-7

Un factor de amortiguamiento ξ .

$$c_h = 2 \xi \sqrt{m k_h}$$

Ecuación 4-8

m : es la masa que gravita sobre el apoyo de Neopreno.

k_h, c_h : Son la rigidez y amortiguamiento; ξ es el factor de amortiguamiento del Neopreno (Dr Aguiar 2010)

Los aisladores elastoméricos, al ser ensayados, muestran una resistencia característica y una rigidez post-fluencia más elevada en el primer ciclo, la que se dice no estar afectada por ablandamiento (unscragged). Luego, en los ciclos que siguen, las propiedades se estabilizan en un valor menor y se dice de ellas que están afectas al ablandamiento por deformación (scragged), tal como lo muestra la figura 4.40 (Soto 2007).

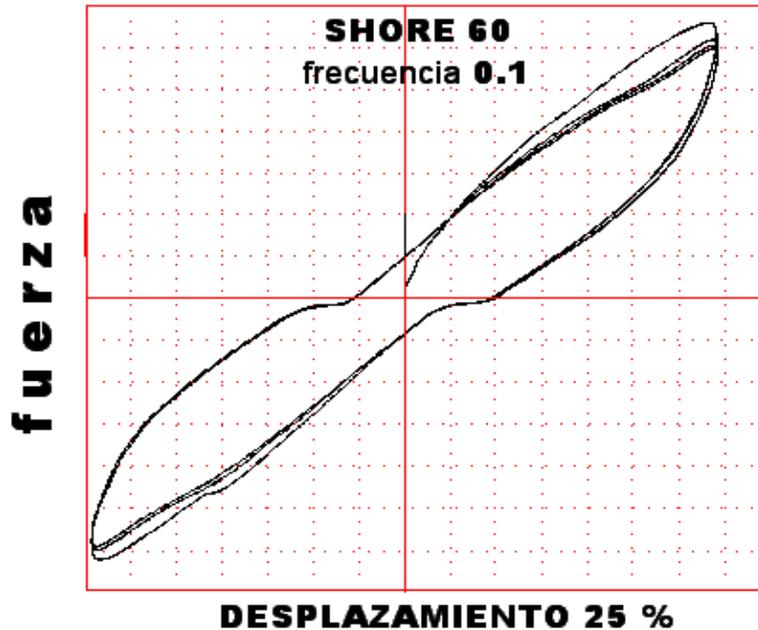


Figura 4-96 Fuerza – desplazamiento con ablandamiento

La rigidez efectiva del aislador se puede calcular con la siguiente ecuación (4.8), la gráfica de la curva de histéresis se realizó para 5 ciclos de carga con frecuencias que van de 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6:

$$k_{ef} = \frac{F_p - F_n}{\Delta_p - \Delta_n}$$

Ecuación 4-9

Donde Δ_p y Δ_n son los desplazamientos máximo y mínimo, respectivamente, F_p y F_n son las fuerzas máxima y mínima que ocurren simultáneamente con los desplazamientos (figura 4.41).

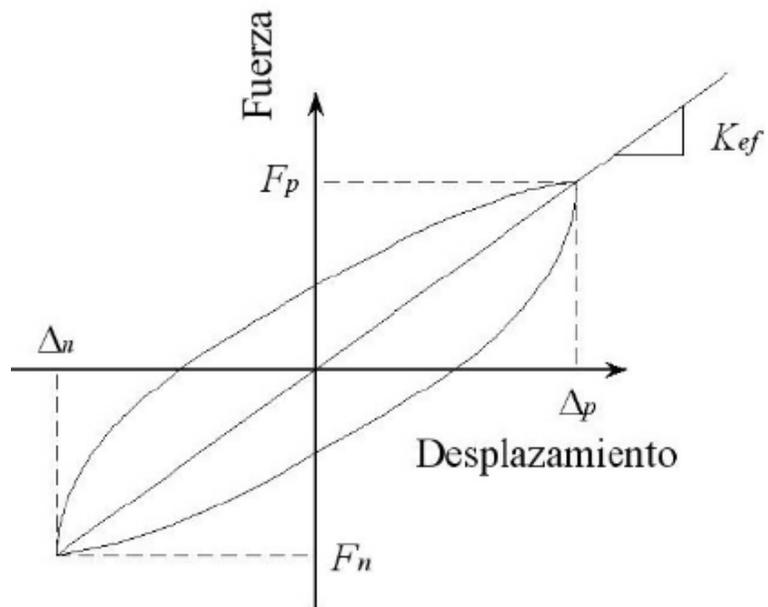


Figura 4-97 Curva fuerza – Desplazamiento K_{ef}

Tabla 4-8 Registro de desplazamientos del prototipo shore 60

REGISTRO DE DATOS ENSAYO CORTE ELASTOMERICO

CONTROL DE CARGA MÁQUINA MTS 810

DATOS GENERALES

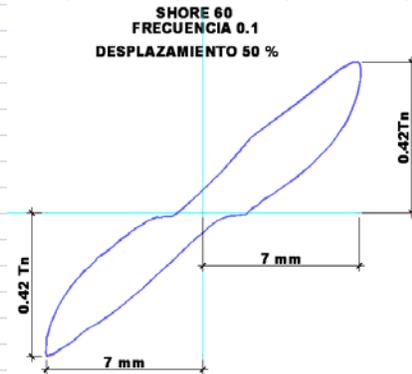
Fecha: 11/07/2010
 Temperatura ambiente: 20 °C
 Probeta ° SHORE 60

DATOS DE LA MAQUINA UTILIZADA

capacidad de la maquina= 500 KN 50000 N
 voltaje de la maquina= 10 V
 valor de ajuste de la maquina = 1.03

REGISTRO GRÁFICO

Datos eje X: Desplazamiento Datos eje Y: Fuerza
 Escala eje X: 1 Escala eje Y: 1



| Frecuencia (Hz) | desplazamiento | | lector digital | | fuerza | | | | k eff (Tn/cm) |
|-----------------|----------------|------------|----------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------|
| | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc (Kg.f) | F Mín comp (Kg.f) | F Máx tracc (Tn.) | F Mín comp (Tn.) | |
| 0.1 | 25% | 3.5 | 0.5 | -0.46 | 262.49 | -241.49 | 0.262 | -0.241 | 1.44 |
| | 50% | 7 | 0.8 | -0.8 | 419.98 | -419.98 | 0.420 | -0.420 | 1.20 |
| | 75% | 10.5 | 1.1 | -1.14 | 577.47 | -598.47 | 0.577 | -0.598 | 1.12 |
| | 100% | 14 | 1.69 | -1.72 | 887.21 | -902.96 | 0.887 | -0.903 | 1.28 |
| | 125% | 17.5 | 2.28 | -2.3 | 1196.94 | -1207.44 | 1.197 | -1.207 | 1.37 |

| Frecuencia (Hz) | desplazamiento | | lector digital | | fuerza | | | | k eff (Tn/cm) |
|-----------------|----------------|------------|----------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------|
| | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc (Kg.f) | F Mín comp (Kg.f) | F Máx tracc (Tn.) | F Mín comp (Tn.) | |
| 0.2 | 25% | 3.5 | 0.32 | -0.33 | 167.99 | -173.24 | 0.168 | -0.173 | 0.97 |
| | 50% | 7 | 0.61 | -0.64 | 320.23 | -335.98 | 0.320 | -0.336 | 0.94 |
| | 75% | 10.5 | 0.81 | -0.85 | 425.23 | -446.23 | 0.425 | -0.446 | 0.83 |
| | 100% | 14 | 1.22 | -1.32 | 640.47 | -692.97 | 0.640 | -0.693 | 0.95 |
| | 125% | 17.5 | 1.46 | -1.51 | 766.46 | -792.71 | 0.766 | -0.793 | 0.89 |

| Frecuencia (Hz) | desplazamiento | | lector digital | | fuerza | | | | k eff (Tn/cm) |
|-----------------|----------------|------------|----------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------|
| | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc (Kg.f) | F Mín comp (Kg.f) | F Máx tracc (Tn.) | F Mín comp (Tn.) | |
| 0.3 | 25% | 3.5 | 0.28 | -0.29 | 146.99 | -152.24 | 0.147 | -0.152 | 0.85 |
| | 50% | 7 | 0.47 | -0.43 | 246.74 | -225.74 | 0.247 | -0.226 | 0.67 |
| | 75% | 10.5 | 0.73 | -0.69 | 383.23 | -362.23 | 0.383 | -0.362 | 0.71 |

| Frecuencia (Hz) | desplazamiento | | lector digital | | fuerza | | | | k eff (Tn/cm) |
|-----------------|----------------|------------|----------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------|
| | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc (Kg.f) | F Mín comp (Kg.f) | F Máx tracc (Tn.) | F Mín comp (Tn.) | |
| 0.4 | 25% | 3.5 | 0.68 | -0.72 | 356.98 | -377.98 | 0.357 | -0.378 | 2.10 |
| | 50% | 7 | 1.2 | -1.29 | 629.97 | -677.22 | 0.630 | -0.677 | 1.87 |
| | 75% | 10.5 | 1.74 | -1.8 | 913.46 | -944.95 | 0.913 | -0.945 | 1.77 |
| | 100% | 14 | 2.32 | -2.28 | 1217.94 | -1196.94 | 1.218 | -1.197 | 1.72 |
| | 125% | 17.5 | 2.9 | -2.91 | 1522.43 | -1527.68 | 1.522 | -1.528 | 1.74 |

Tabla 4-9 Registro de desplazamientos del prototipo shore 50

REGISTRO DE DATOS ENSAYO CORTE ELASTOMERICO

| CONTROL DE CARGA MÁQUINA MTS 810 | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------|--------------|----------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------|
| DATOS GENERALES | | | | | | | | | |
| Fecha: | 11/07/2010 | | | | | | | | |
| Temperatura ambiente: | 21.5 °C | | | | | | | | |
| Probeta ° | SHORE 50 | | | | | | | | |
| DATOS DE LA MAQUINA UTILIZADA | | | | | | | | | |
| capacidad de la maquina= | 500 | KN | 50000 | N | | | | | |
| voltaje de la maquina= | 10 | V | | | | | | | |
| valor de ajuste de la maquina = | 1.03 | | | | | | | | |
| REGISTRO GRÁFICO | | | | | | | | | |
| Datos eje X: | Desplazamiento | | | Datos eje Y: Fuerza | | | | | |
| Escala eje X: | 1 | | | Escala eje Y: 1 | | | | | |
| Frecuencia (Hz) | Desplazamiento | | lector digital | | Fuerza | | | | k eff (Tn/cm) |
| | D +- (%) | D +- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc Kg.f | F Mín comp Kg.f | F Máx tracc Tn. | F Mín comp Tn. | |
| 0.1 | 25% | 3.5 | 0.27 | -0.25 | 141.74 | -131.24 | 0.142 | -0.131 | 0.78 |
| | 50% | 7 | 0.86 | -0.88 | 451.48 | -461.98 | 0.451 | -0.462 | 1.30 |
| | 75% | 10.5 | 1.29 | -1.25 | 677.22 | -656.22 | 0.677 | -0.656 | 1.27 |

Tabla 4-10 Registro de desplazamientos del prototipo shore 70

REGISTRO DE DATOS ENSAYO CORTE ELASTOMERICO

CONTROL DE CARGA MÁQUINA MTS 810

| DATOS GENERALES | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------|----|-------|---------------------|--|--|--|--|--|
| Fecha: | 11/07/2010 | | | | | | | | |
| Temperatura ambiente: | 20 °C | | | | | | | | |
| Probeta ° | SHORE 70 | | | | | | | | |
| DATOS DE LA MAQUINA UTILIZADA | | | | | | | | | |
| capacidad de la maquina= | 500 | KN | 50000 | N | | | | | |
| voltaje de la maquina= | 10 | V | | | | | | | |
| valor de ajuste de la maquina = | 1.03 | | | | | | | | |
| REGISTRO GRÁFICO | | | | | | | | | |
| Datos eje X: | Desplazamiento | | | Datos eje Y: Fuerza | | | | | |
| Escala eje X: | 1 | | | Escala eje Y: 1 | | | | | |

SHORE 70
FRECUENCIA 0.1
DESPLAZAMIENTO 25 %

| Frecuencia (Hz) | Desplazamiento | | lector digital | | Fuerza | | | | k eff (Tn/cm) |
|--------------------|----------------|--------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------|
| | D +- (%) | D +- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc Kg.f | F Mín comp Kg.f | F Máx tracc Tn. | F Mín comp Tn. | |
| 0.1 | 25% | 3.5 | 0.5 | -0.56 | 262.49 | -293.99 | 0.262 | -0.294 | 1.59 |
| | 50% | 7 | 0.69 | -0.78 | 362.23 | -409.48 | 0.362 | -0.409 | 1.10 |
| | 75% | 10.5 | 0.63 | -0.69 | 330.73 | -362.23 | 0.331 | -0.362 | 0.66 |
| | 100% | 14 | 1.26 | -1.31 | 661.47 | -687.72 | 0.661 | -0.688 | 0.96 |
| | 125% | 17.5 | 1.17 | -1.08 | 614.22 | -566.97 | 0.614 | -0.567 | 0.67 |

| Frecuencia (Hz) | Desplazamiento | | lector digital | | Fuerza | | | | k eff (Tn/cm) |
|--------------------|----------------|--------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------|
| | D +- (%) | D +- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc Kg.f | F Mín comp Kg.f | F Máx tracc Tn. | F Mín comp Tn. | |
| 0.2 | 25% | 3.5 | 1.13 | -1.18 | 593.22 | -619.47 | 0.593 | -0.619 | 3.46 |
| | 50% | 7 | 0.94 | -0.98 | 493.48 | -514.48 | 0.493 | -0.514 | 1.44 |

CURVAS DE HISTÉRESIS

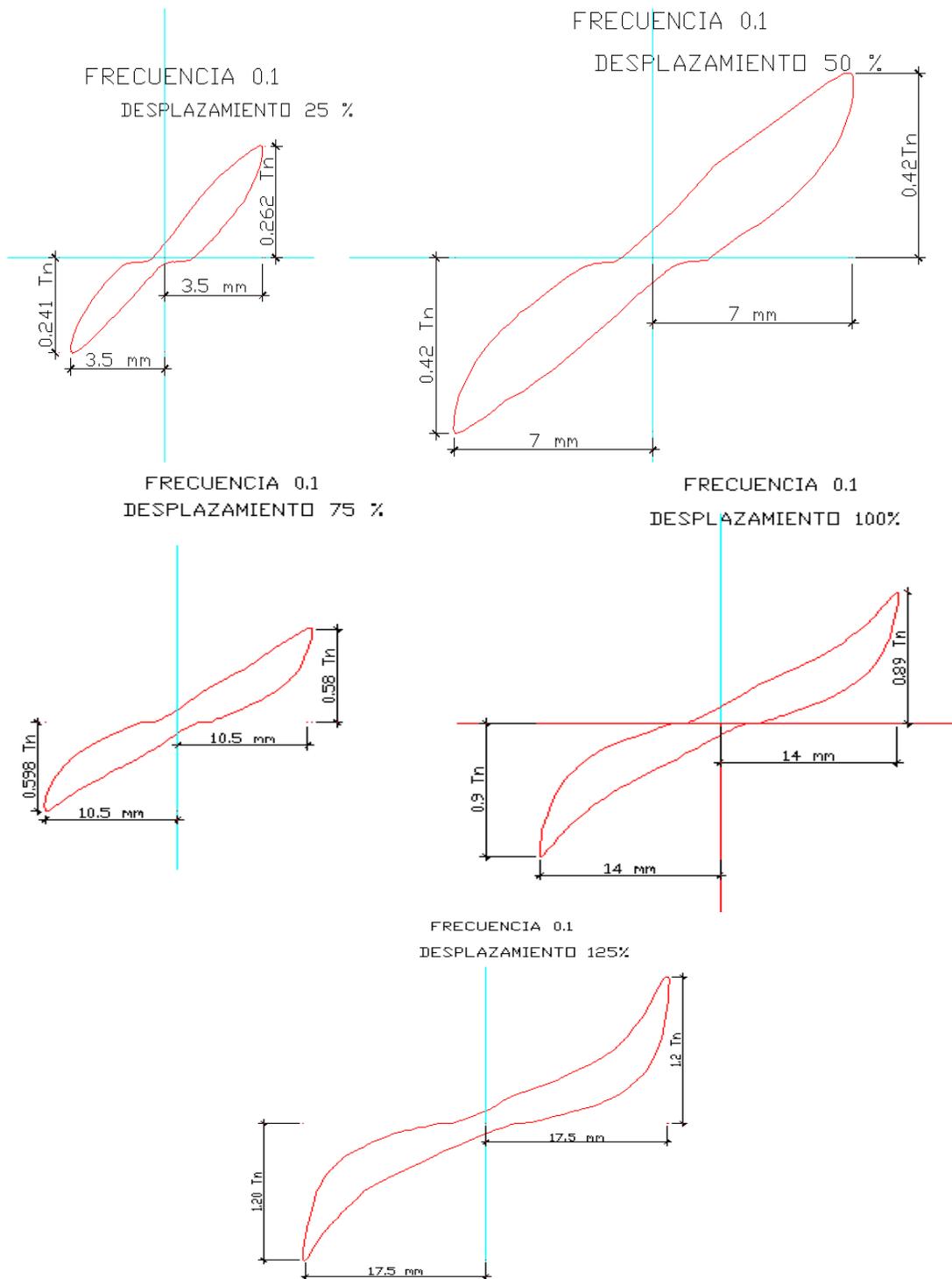
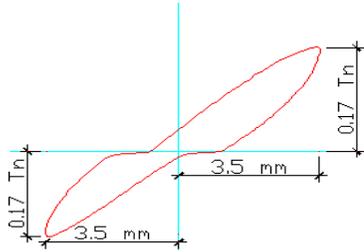


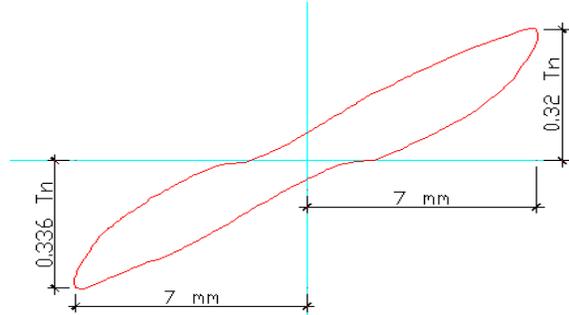
Figura 4-98 Ciclos carga/descarga para 25%, 50%, 75%, 100% y 125% deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.1 Hz.

FRECUENCIA 0.2

DESPLAZAMIENTO 25 %

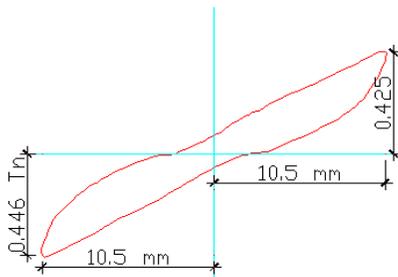


DESPLAZAMIENTO 50 %

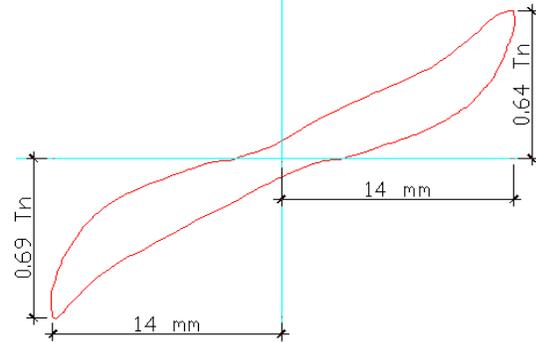


FRECUENCIA 0.2

DESPLAZAMIENTO 75 %



DESPLAZAMIENTO 100%



FRECUENCIA 0.2

DESPLAZAMIENTO 125%

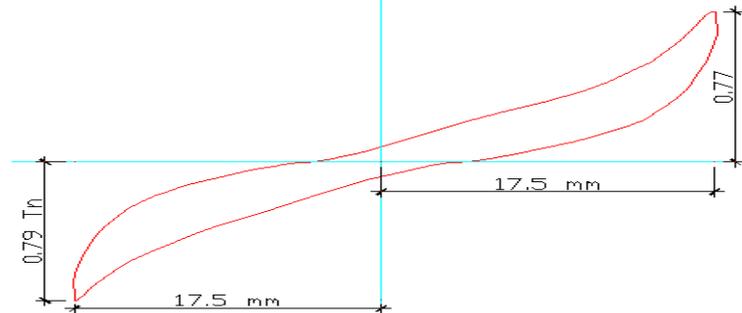


Figura 4-99 Ciclos carga/descarga para 25%, 50%, 75%, 100% y 125% deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.2 Hz.

Tabla 4-11 registro de desplazamientos del prototipo shore 55

REGISTRO DE DATOS ENSAYO CORTE ELASTOMERICO

CONTROL DE CARGA MÁQUINA MTS 810

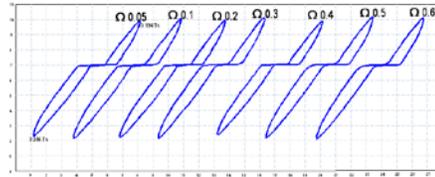
DATOS GENERALES

Fecha: 10/09/2010
 Temperatura ambiente: 21.5 °C
 Probeta ° SHORE 55

shore 55
 desplazamiento 25%

DATOS DE LA MAQUINA UTILIZADA

capacidad de la maquina= 500 KN
 voltaje de la maquina= 10 V
 valor de ajuste de la maquina = 1.03



REGISTRO GRÁFICO

Datos eje X: Desplazamiento Escala eje X: 1
 Datos eje Y: Fuerza Escala eje Y: 1

50000 N

| lector digital | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|
| Frecuencia (Hz) | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc Kg.f | F Min comp Kg.f | F Máx tracc Tn. | F Min comp Tn. | k eff (Tn/cm) |
| 0.05 | 25% | 3.5 | 0.37 | -0.66 | 194.24 | -346.48 | 0.194 | -0.346 | 1.54 |
| | 50% | 7 | 0.78 | -1.15 | 409.48 | -603.72 | 0.409 | -0.604 | 1.45 |
| | 75% | 10.5 | 1.34 | -1.42 | 703.47 | -745.46 | 0.703 | -0.745 | 1.38 |
| | 100% | 14 | 2.22 | -3.34 | 1165.44 | -1753.41 | 1.165 | -1.753 | 2.08 |

| lector digital | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|
| Frecuencia (Hz) | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc Kg.f | F Min comp Kg.f | F Máx tracc Tn. | F Min comp Tn. | k eff (Tn/cm) |
| 0.1 | 25% | 3.5 | 0.37 | -0.66 | 194.24 | -346.48 | 0.194 | -0.346 | 1.54 |
| | 50% | 7 | 0.78 | -1.15 | 409.48 | -603.72 | 0.409 | -0.604 | 1.45 |
| | 75% | 10.5 | 1.34 | -1.42 | 703.47 | -745.46 | 0.703 | -0.745 | 1.38 |
| | 100% | 14 | 2.1 | -2.92 | 1102.45 | -1532.93 | 1.102 | -1.533 | 1.88 |

| lector digital | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|
| Frecuencia (Hz) | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc Kg.f | F Min comp Kg.f | F Máx tracc Tn. | F Min comp Tn. | k eff (Tn/cm) |
| 0.2 | 25% | 3.5 | 0.37 | -0.66 | 194.24 | -346.48 | 0.194 | -0.346 | 1.54 |
| | 50% | 7 | 0.78 | -1.15 | 409.48 | -603.72 | 0.409 | -0.604 | 1.45 |
| | 75% | 10.5 | 1.34 | -1.42 | 703.47 | -745.46 | 0.703 | -0.745 | 1.38 |
| | 100% | 14 | 2.06 | -2.83 | 1081.45 | -1485.68 | 1.081 | -1.486 | 1.83 |

| lector digital | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|
| Frecuencia (Hz) | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc Kg.f | F Min comp Kg.f | F Máx tracc Tn. | F Min comp Tn. | k eff (Tn/cm) |
| 0.3 | 25% | 3.5 | 0.37 | -0.66 | 194.24 | -346.48 | 0.194 | -0.346 | 1.54 |
| | 50% | 7 | 0.78 | -1.15 | 409.48 | -603.72 | 0.409 | -0.604 | 1.45 |
| | 75% | 10.5 | 1.34 | -1.42 | 703.47 | -745.46 | 0.703 | -0.745 | 1.38 |
| | 100% | 14 | 1.97 | -2.35 | 1034.20 | -1233.69 | 1.034 | -1.234 | 1.62 |

| lector digital | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|
| Frecuencia (Hz) | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc Kg.f | F Min comp Kg.f | F Máx tracc Tn. | F Min comp Tn. | k eff (Tn/cm) |
| 0.4 | 25% | 3.5 | 0.37 | -0.66 | 194.24 | -346.48 | 0.194 | -0.346 | 1.54 |
| | 50% | 7 | 0.78 | -1.15 | 409.48 | -603.72 | 0.409 | -0.604 | 1.45 |
| | 75% | 10.5 | 1.34 | -1.42 | 703.47 | -745.46 | 0.703 | -0.745 | 1.38 |
| | 100% | 14 | 1.97 | -2.35 | 1034.20 | -1233.69 | 1.034 | -1.234 | 1.62 |

| lector digital | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|
| Frecuencia (Hz) | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc Kg.f | F Min comp Kg.f | F Máx tracc Tn. | F Min comp Tn. | k eff (Tn/cm) |
| 0.5 | 25% | 3.5 | 0.37 | -0.66 | 194.24 | -346.48 | 0.194 | -0.346 | 1.54 |
| | 50% | 7 | 0.78 | -1.15 | 409.48 | -603.72 | 0.409 | -0.604 | 1.45 |
| | 75% | 10.5 | 1.06 | -1.32 | 556.47 | -692.97 | 0.556 | -0.693 | 1.19 |
| | 100% | 14 | 1.42 | -0.7 | 745.46 | -367.48 | 0.745 | -0.367 | 0.79 |

| lector digital | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|
| Frecuencia (Hz) | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc Kg.f | F Min comp Kg.f | F Máx tracc Tn. | F Min comp Tn. | k eff (Tn/cm) |
| 0.6 | 25% | 3.5 | 0.37 | -0.66 | 194.24 | -346.48 | 0.194 | -0.346 | 1.54 |
| | 50% | 7 | 0.78 | -1.15 | 409.48 | -603.72 | 0.409 | -0.604 | 1.45 |
| | 75% | 10.5 | 0.85 | -1.29 | 446.23 | -677.22 | 0.446 | -0.677 | 1.07 |
| | 100% | 14 | 1.22 | -0.7 | 640.47 | -367.48 | 0.640 | -0.367 | 0.72 |

shore 55 desplazamiento 25%

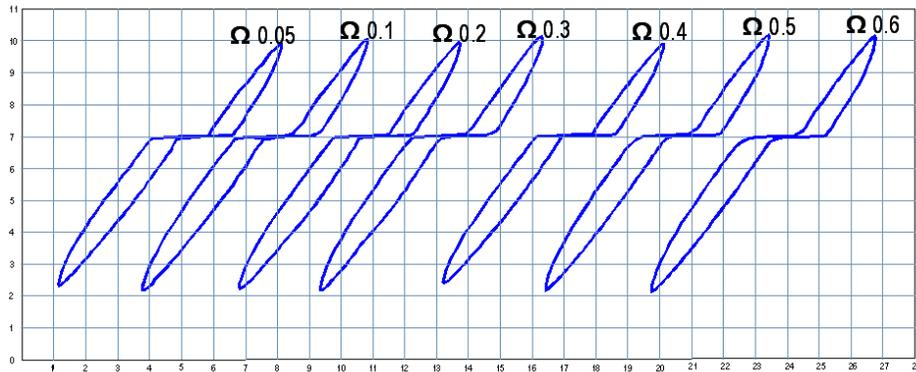


Figura 4-100 Ciclos carga/descarga para 25%, deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz.

shore 55 desplazamiento 50%

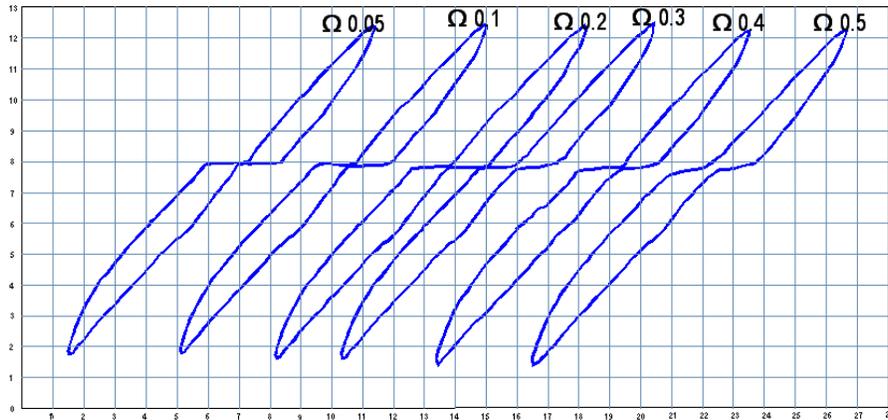


Figura 4-101 Ciclos carga/descarga para 50%, deformación, a 21°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz.

shore 55 desplazamiento 75%

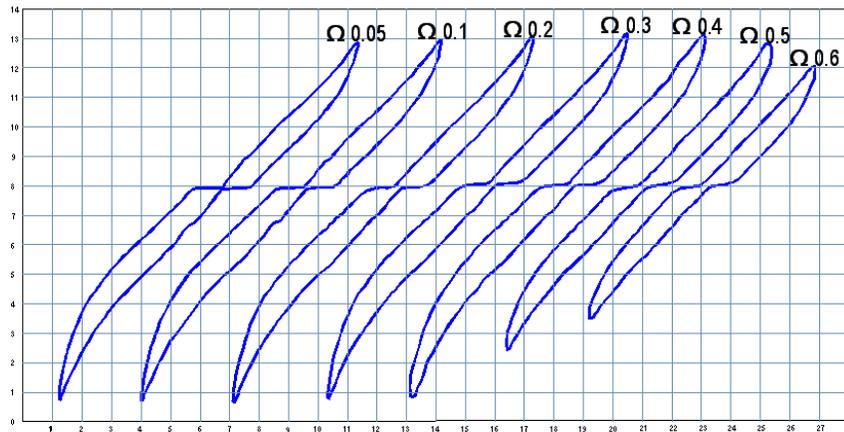


Figura 4-102 Ciclos carga/descarga para 75%, deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz.

shore 55 desplazamiento 100%

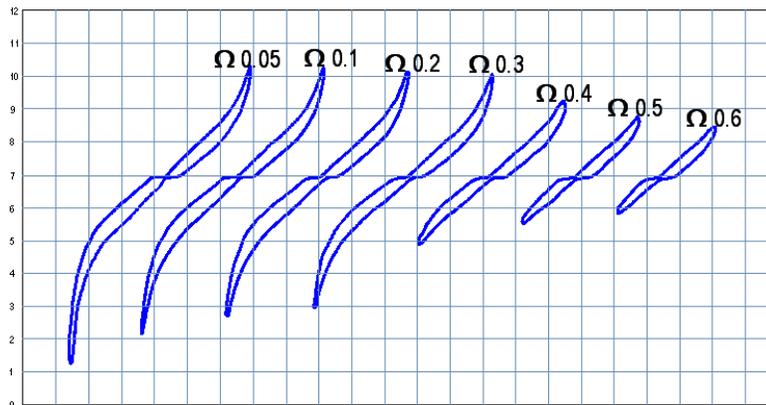


Figura 4-103 Ciclos carga/descarga para 100%, deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz.

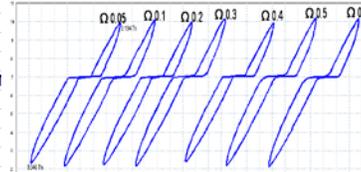
Tabla 4-12 Registro de desplazamientos del prototipo shore 65

REGISTRO DE DATOS ENSAYO CORTE ELASTOMERICO

CONTROL DE CARGA MÁQUINA MTS 810

DATOS GENERALES
 Fecha: 13/09/2010
 Temperatura ambiente: 20.5 °C
 Probeta ° SHORE 65

DATOS DE LA MAQUINA UTILIZADA
 capacidad de la maquina= 500 KN 50000
 voltaje de la maquina= 10 V
 valor de ajuste de la maquina = 1.03



REGISTRO GRÁFICO
 Datos eje X: Desplazamiento
 Escala eje X: 1
 Datos eje Y: Fuerza
 Escala eje Y: 1

| lector digital | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|------------|-------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------|
| Frecuencia (Hz) | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc (Kg.f) | F Min comp (Kg.f) | F Máx tracc (Tn.) | F Min comp (Tn.) | k eff (Tn/cm) |
| 0.05 | 25% | 3.5 | 0.45 | -0.47 | 236.24 | -246.74 | 0.236 | -0.247 | 1.38 |
| | 50% | 7 | 0.91 | -0.86 | 477.73 | -451.48 | 0.478 | -0.451 | 1.33 |
| | 75% | 10.5 | 1.52 | -1.13 | 797.96 | -593.22 | 0.798 | -0.593 | 1.32 |
| | 100% | 14 | 2.22 | -3.34 | 1165.44 | -1753.41 | 1.165 | -1.753 | 2.08 |
| | | | | | | | | | |

| lector digital | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|------------|-------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------|
| Frecuencia (Hz) | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc (Kg.f) | F Min comp (Kg.f) | F Máx tracc (Tn.) | F Min comp (Tn.) | k eff (Tn/cm) |
| 0.1 | 25% | 3.5 | 0.45 | -0.46 | 236.24 | -241.49 | 0.236 | -0.241 | 1.36 |
| | 50% | 7 | 0.92 | -0.86 | 482.98 | -451.48 | 0.483 | -0.451 | 1.33 |
| | 75% | 10.5 | 1.6 | -1.38 | 839.96 | -724.46 | 0.840 | -0.724 | 1.49 |
| | 100% | 14 | 2.1 | -2.92 | 1102.45 | -1532.93 | 1.102 | -1.533 | 1.88 |
| | | | | | | | | | |

| lector digital | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|------------|-------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------|
| Frecuencia (Hz) | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc (Kg.f) | F Min comp (Kg.f) | F Máx tracc (Tn.) | F Min comp (Tn.) | k eff (Tn/cm) |
| 0.2 | 25% | 3.5 | 0.45 | -0.47 | 236.24 | -246.74 | 0.236 | -0.247 | 1.38 |
| | 50% | 7 | 0.92 | -0.86 | 482.98 | -451.48 | 0.483 | -0.451 | 1.33 |
| | 75% | 10.5 | 1.61 | -1.39 | 845.21 | -729.71 | 0.845 | -0.730 | 1.50 |
| | 100% | 14 | 2.06 | -2.83 | 1081.45 | -1485.68 | 1.081 | -1.486 | 1.83 |
| | | | | | | | | | |

| lector digital | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|------------|-------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------|
| Frecuencia (Hz) | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc (Kg.f) | F Min comp (Kg.f) | F Máx tracc (Tn.) | F Min comp (Tn.) | k eff (Tn/cm) |
| 0.3 | 25% | 3.5 | 0.47 | -0.47 | 246.74 | -246.74 | 0.247 | -0.247 | 1.41 |
| | 50% | 7 | 0.95 | -0.85 | 498.73 | -446.23 | 0.499 | -0.446 | 1.35 |
| | 75% | 10.5 | 1.6 | -1.46 | 839.96 | -766.46 | 0.840 | -0.766 | 1.53 |
| | 100% | 14 | 1.97 | -2.35 | 1034.20 | -1233.69 | 1.034 | -1.234 | 1.62 |
| | | | | | | | | | |

| lector digital | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|------------|-------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------|
| Frecuencia (Hz) | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc (Kg.f) | F Min comp (Kg.f) | F Máx tracc (Tn.) | F Min comp (Tn.) | k eff (Tn/cm) |
| 0.4 | 25% | 3.5 | 0.47 | -0.47 | 246.74 | -246.74 | 0.247 | -0.247 | 1.41 |
| | 50% | 7 | 0.95 | -0.85 | 498.73 | -446.23 | 0.499 | -0.446 | 1.35 |
| | 75% | 10.5 | 1.62 | -1.43 | 850.46 | -750.71 | 0.850 | -0.751 | 1.52 |
| | 100% | 14 | 1.97 | -2.35 | 1034.20 | -1233.69 | 1.034 | -1.234 | 1.62 |
| | | | | | | | | | |

| lector digital | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|------------|-------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------|
| Frecuencia (Hz) | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc (Kg.f) | F Min comp (Kg.f) | F Máx tracc (Tn.) | F Min comp (Tn.) | k eff (Tn/cm) |
| 0.5 | 25% | 3.5 | 0.47 | -0.47 | 246.74 | -246.74 | 0.247 | -0.247 | 1.41 |
| | 50% | 7 | 0.93 | -0.86 | 488.23 | -451.48 | 0.488 | -0.451 | 1.34 |
| | 75% | 10.5 | 1.53 | -1.1 | 803.21 | -577.47 | 0.803 | -0.577 | 1.31 |
| | 100% | 14 | 1.42 | -0.7 | 745.46 | -367.48 | 0.745 | -0.367 | 0.79 |
| | | | | | | | | | |

| lector digital | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|------------|-------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------|
| Frecuencia (Hz) | D +/- (%) | D +/- (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc (Kg.f) | F Min comp (Kg.f) | F Máx tracc (Tn.) | F Min comp (Tn.) | k eff (Tn/cm) |
| 0.6 | 25% | 3.5 | 0.47 | -0.48 | 246.74 | -251.99 | 0.247 | -0.252 | 1.42 |
| | 50% | 7 | 0.93 | -0.85 | 488.23 | -446.23 | 0.488 | -0.446 | 1.33 |
| | 75% | 10.5 | 1.3 | -0.92 | 682.47 | -482.98 | 0.682 | -0.483 | 1.11 |
| | 100% | 14 | 1.22 | -0.7 | 640.47 | -367.48 | 0.640 | -0.367 | 0.72 |
| | | | | | | | | | |

shore 65 desplazamiento 25%

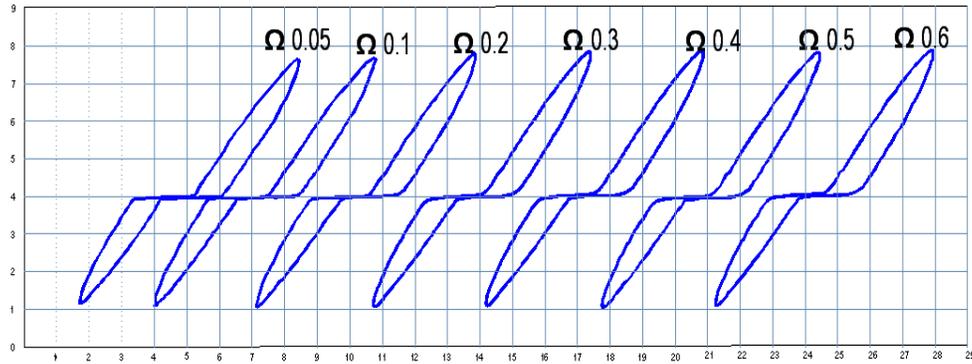


Figura 4-104 Ciclos carga/descarga para 25%, deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz.

shore 65 desplazamiento 50%

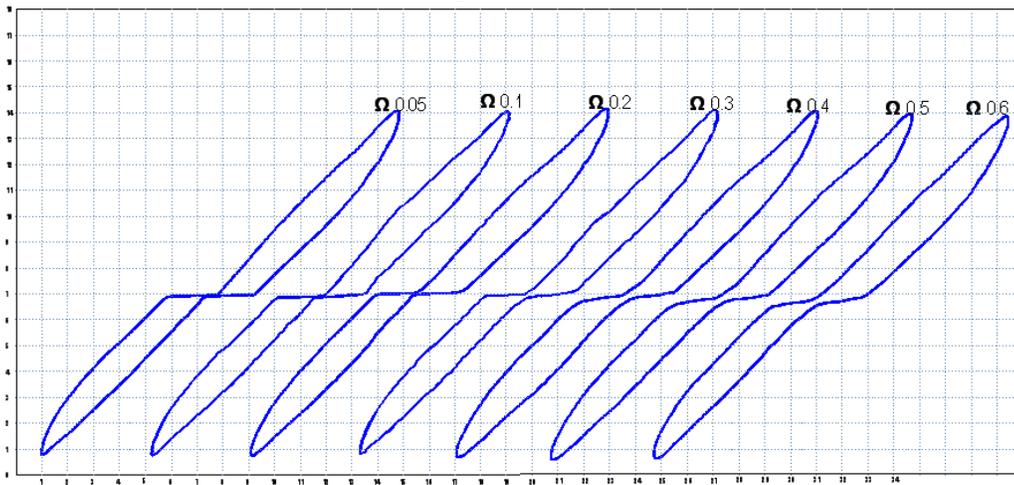


Figura 4-105 Ciclos carga/descarga para 50%, deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz.

shore 65 desplazamiento 75%

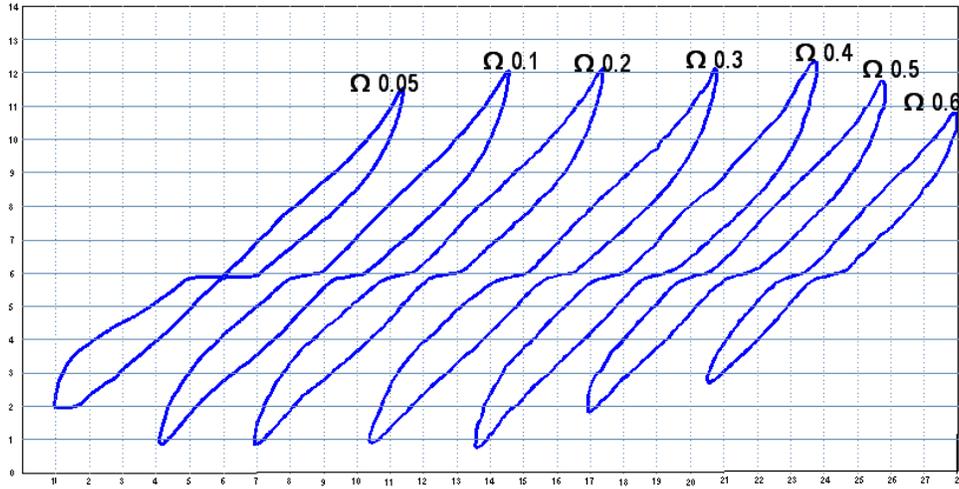


Figura 4-106 Ciclos carga/descarga para 75%, deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz.

shore 65 desplazamiento 100%

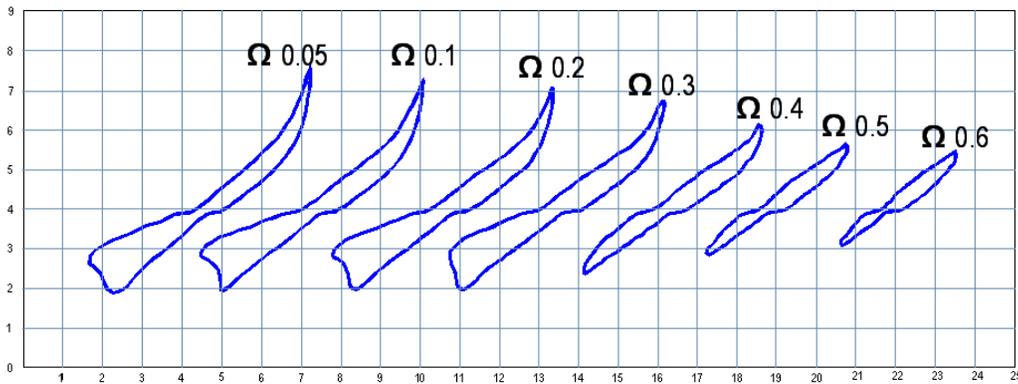


Figura 4-107 Ciclos carga/descarga para 100%, deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz.

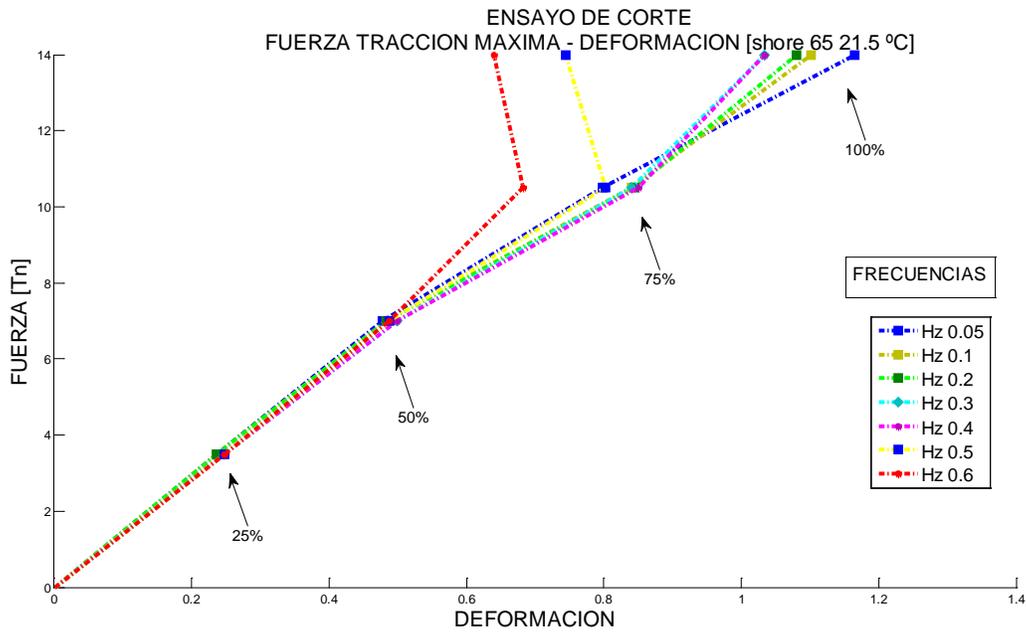


Figura 4-108 Fuerza de positiva - Deformación, a 20°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz.

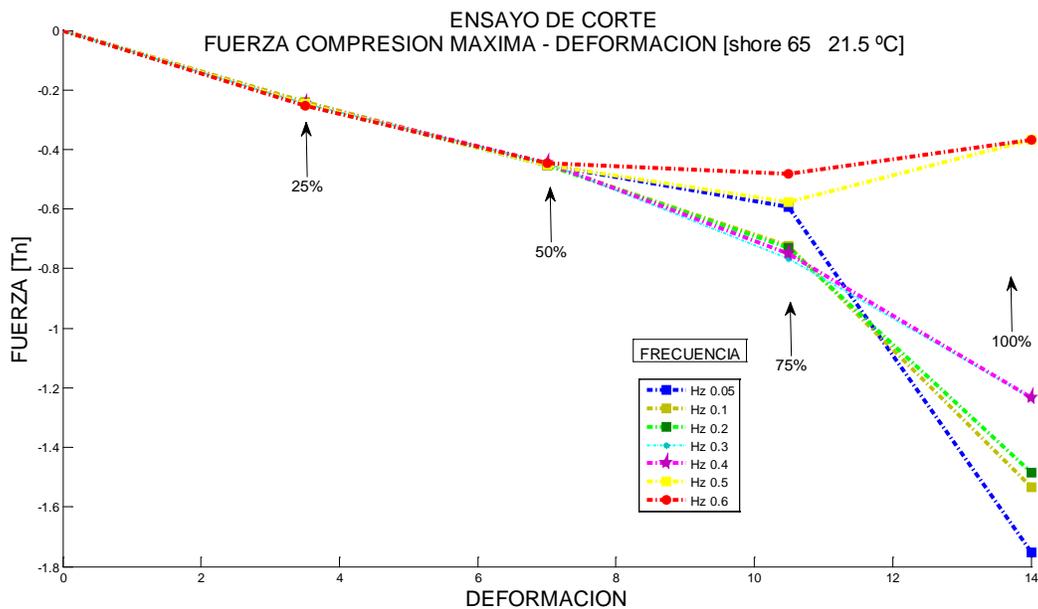


Figura 4-109 Fuerza de negativa - Deformación, a 21.5°C. Frecuencia, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 y 0.6 Hz.

Como se observa en las figuras 4.52 y 4.53, se mantiene una línea recta hasta una deformación del 50% y cuando llega al 75% se observa un cambio de trayecto entre las frecuencias 0.5 y 0.6, cuando llega al 100% existe un evidente

cambio entre las frecuencias de 0.5 y 0.6 se deforma diferente. Entonces ha mayor frecuencia menor energía de disipación existe.

4.9 ENSAYO DE COMPRESIÓN

Este ensayo está regido por la norma ASTM D395 INEN 887. La realización de este ensayo existente la fricción entre los platos de la máquina y la probeta. Este efecto produce que la probeta no pueda expandirse libremente en el plano perpendicular a la dirección de aplicación de la carga, por lo tanto. En este ensayo se utilizaron probetas cilíndricas de 48 mm de diámetro y 10 mm de altura de diferente dureza shore.

Se observa que mientras la probeta se desplaza libremente en la dirección radial para el ensayo se forma de tipo barril producto de los esfuerzos de corte que se desarrollan durante la aplicación de la carga axial para que se deforme el 25% de la longitud inicial.

Probeta de caucho

-Diámetro = 4.8cm

-Espesor elastomérico = 1.0cm

-Espesor placa = 0.2cm

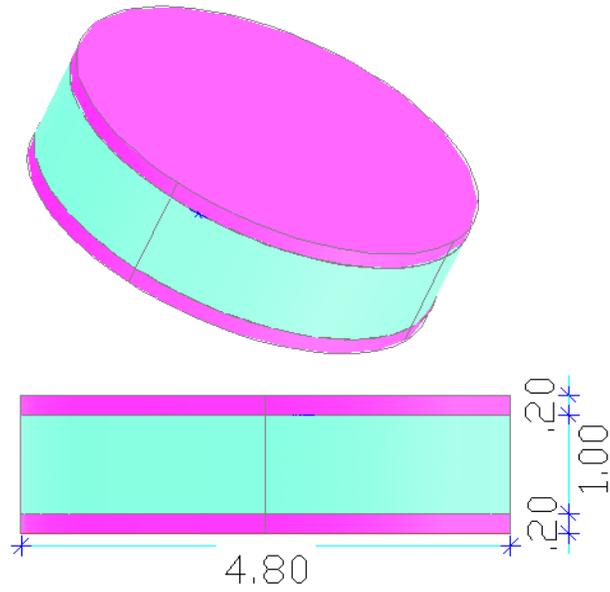


Figura 4-110 Prototipo para el ensayo de compresión.



Figura 4-111 Medición de las probetas para el ensayo de compresión

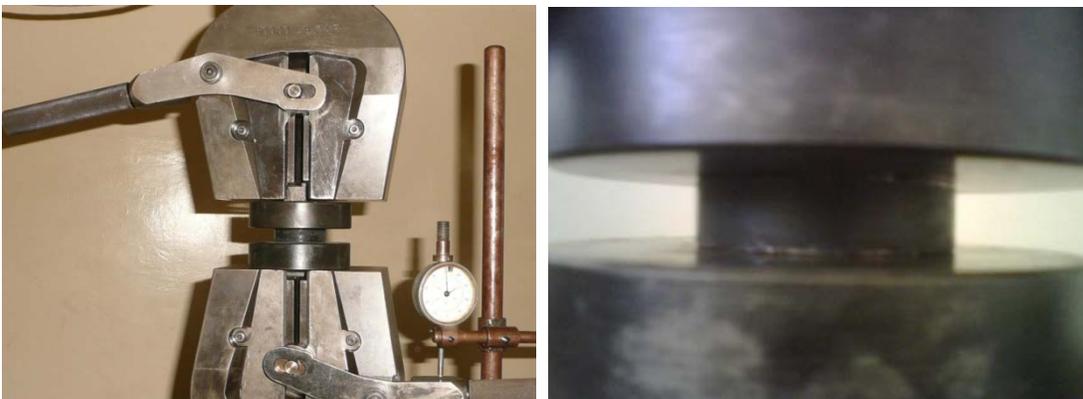


Figura 4-112 Ensayo de compresión



Probeta sin fuerza de compresión

Probeta con fuerza de compresión a 25%

Figura 4-113 Ensayo de compresión en la maquina



Figura 4-114 Probetas para ensayar a compresion

Tabla 4-13 Registro de desplazamientos del prototipo shore 50 a compresión
REGISTRO DE DATOS ENSAYO COMPRESIÓN ELASTOMERICO

| CONTROL DE CARGA MÁQUINA MTS 810 | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------|----|---------------|----------|---------------------------|--|--|--|
| DATOS GENERALES | | | | | | | | |
| Fecha: | 29/10/2010 | | | diametro | 49.36 mm | | | |
| Temperatura ambiente: | 21.3 °C | | | | 1913.5561 mm ² | | | |
| Probeta ^º | SHORE 50 | | | | | | | |
| AREA= | 1913.56 mm ² | | | | | | | |
| DATOS DE LA MAQUINA UTILIZADA | | | | | | | | |
| capacidad de la maquina= | 500 | KN | 50000 | N | | | | |
| voltaje de la maquina= | 10 | V | | | | | | |
| valor de ajuste de la maquina = | 1.03 | | | | | | | |
| REGISTRO GRÁFICO | | | | | | | | |
| Datos eje X: | Desplazamiento | | Datos eje Y: | | Fuerza | | | |
| Escala eje X: | 1 | | Escala eje Y: | | 1 | | | |

| Frecuencia (Hz) | Desplazamiento | | lector digital | | Fuerza | | | |
|-----------------|----------------|---------|----------------|-------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | D+ (%) | D+ (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc Kg.f | F Mín comp Kg.f | F Máx tracc Tn. | F Mín comp Tn. |
| 0.1 | 25% | 2.5 | 2.15 | -2.15 | 1128.70 | -1128.70 | 1.129 | -1.129 |
| 0.2 | 25% | 2.5 | 2.17 | -2.17 | 1139.19 | -1139.19 | 1.139 | -1.139 |
| 0.3 | 25% | 2.5 | 2.2 | -2.2 | 1154.94 | -1154.94 | 1.155 | -1.155 |
| 0.4 | 25% | 2.5 | 2.23 | -2.23 | 1170.69 | -1170.69 | 1.171 | -1.171 |
| 0.5 | 25% | 2.5 | 2.24 | -2.24 | 1175.94 | -1175.94 | 1.176 | -1.176 |
| 0.6 | 25% | 2.5 | 2.24 | -2.24 | 1175.94 | -1175.94 | 1.176 | -1.176 |

Tabla 4-14 Registro de desplazamientos del prototipo shore 60 a compresión
 REGISTRO DE DATOS ENSAYO COMPRESIÓN ELASTOMERICO

| CONTROL DE CARGA MÁQUINA MTS 810 | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------|----|---------------------|-----------|--|--|--|
| | | | | 49.33 | | | |
| DATOS GENERALES | | | | 1911.2308 | | | |
| Fecha: | 25/10/2010 | | | | | | |
| Temperatura ambiente: | 21.6 °C | | | | | | |
| Probeta ^o | SHORE 60 | | | | | | |
| AREA= | 1911.23 mm ² | | | | | | |
| DATOS DE LA MAQUINA UTILIZADA | | | | | | | |
| capacidad de la maquina= | 500 | KN | 50000 | | | | |
| voltaje de la maquina= | 10 | V | | | | | |
| valor de ajuste de la maquina = | 1.03 | | | | | | |
| REGISTRO GRÁFICO | | | | | | | |
| Datos eje X: | Desplazamiento | | Datos eje Y: Fuerza | | | | |
| Escala eje X: | 1 | | Escala eje Y: 1 | | | | |

| Frecuencia (Hz) | Desplazamiento | | lector digital | | Fuerza | | | |
|-----------------|----------------|---------|----------------|-------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | D+ (%) | D+ (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc Kg.f | F Mín comp Kg.f | F Máx tracc Tn. | F Mín comp Tn. |
| 0.1 | 25% | 2.5 | 2.56 | -2.56 | 1343.93 | -1343.93 | 1.344 | -1.344 |
| 0.2 | 25% | 2.5 | 2.58 | -2.56 | 1354.43 | -1343.93 | 1.354 | -1.344 |
| 0.3 | 25% | 2.5 | 2.64 | -2.56 | 1385.93 | -1343.93 | 1.386 | -1.344 |
| 0.3 | 25% | 2.5 | 2.66 | -2.56 | 1396.43 | -1343.93 | 1.396 | -1.344 |
| 0.5 | 25% | 2.5 | 2.7 | -2.56 | 1417.43 | -1343.93 | 1.417 | -1.344 |
| 0.6 | 25% | 2.5 | 2.72 | -2.56 | 1427.93 | -1343.93 | 1.428 | -1.344 |

Tabla 4-15 Registro de desplazamientos del prototipo shore 70 a compresión
 REGISTRO DE DATOS ENSAYO COMPRESIÓN ELASTOMERICO

| CONTROL DE CARGA MÁQUINA MTS 810 | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------|----|---------------|-----------|----------|--|--|--|
| DATOS GENERALES | | | | | | | | |
| Fecha: | 27/10/2010 | | | 49.29 | diámetro | | | |
| Temperatura ambiente: | 21.8 °C | | | 1908.1325 | área | | | |
| Probeta ^º | SHORE 70 | | | | | | | |
| AREA= | 1908.13 mm ² | | | | | | | |
| DATOS DE LA MAQUINA UTILIZADA | | | | | | | | |
| capacidad de la maquina= | 500 | KN | 50000 | N | | | | |
| voltaje de la maquina= | 10 | V | | | | | | |
| valor de ajuste de la maquina = | 1.03 | | | | | | | |
| REGISTRO GRÁFICO | | | | | | | | |
| Datos eje X: | Desplazamiento | | Datos eje Y: | | Fuerza | | | |
| Escala eje X: | 1 | | Escala eje Y: | | 1 | | | |

| Frecuencia (Hz) | Desplazamiento | | lector digital | | Fuerza | | | |
|-----------------|----------------|----------|----------------|-------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | D + (%) | D + (mm) | V (+) = (V) | V (-) = (V) | F Máx tracc Kg.f | F Mín comp Kg.f | F Máx tracc Tn. | F Mín comp Tn. |
| 0.1 | 25% | 2.5 | 3.28 | -3.28 | 1721.92 | -1721.92 | 1.722 | -1.722 |
| 0.2 | 25% | 2.5 | 3.28 | -3.28 | 1721.92 | -1721.92 | 1.722 | -1.722 |
| 0.3 | 25% | 2.5 | 3.28 | -3.28 | 1721.92 | -1721.92 | 1.722 | -1.722 |
| 0.4 | 25% | 2.5 | 3.28 | -3.28 | 1721.92 | -1721.92 | 1.722 | -1.722 |
| 0.5 | 25% | 2.5 | 3.28 | -3.28 | 1721.92 | -1721.92 | 1.722 | -1.722 |
| 0.6 | 25% | 2.5 | 3.26 | -3.26 | 1711.42 | -1711.42 | 1.711 | -1.711 |

GRAFICO DE LAS CURVA DE HISTERESIS COMPRESIÓN

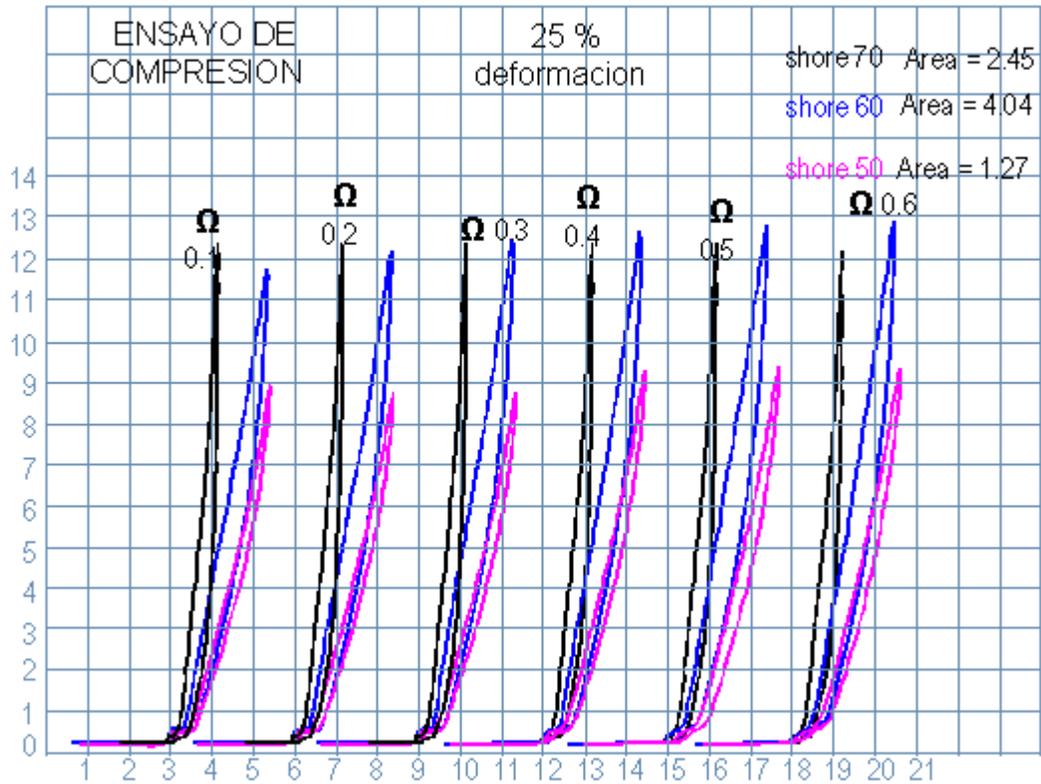


Figura 4-115 Curvas del ensayo de compresión 50, 60, 70 a 25% de deformación

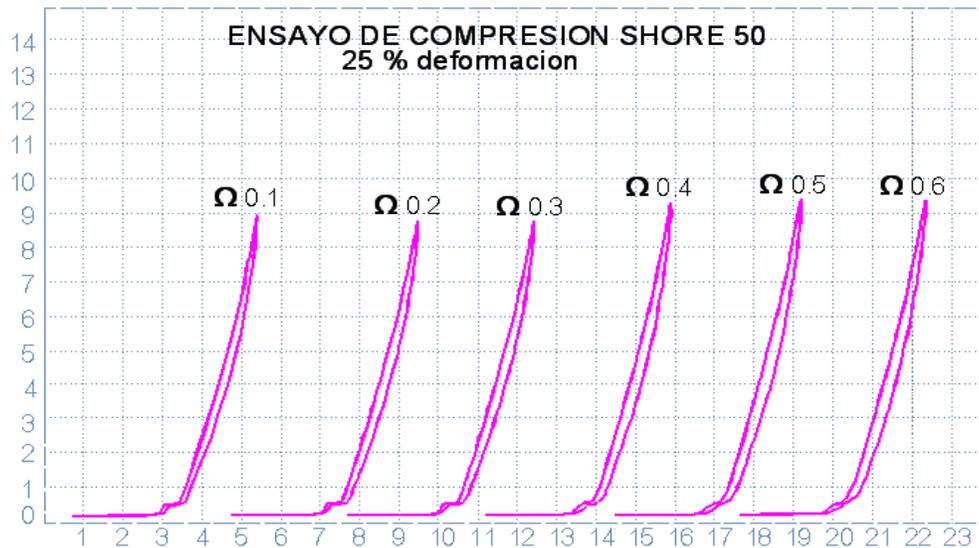


Figura 4-116 Curvas del ensayo de compresión shore 50 a 25% de deformación

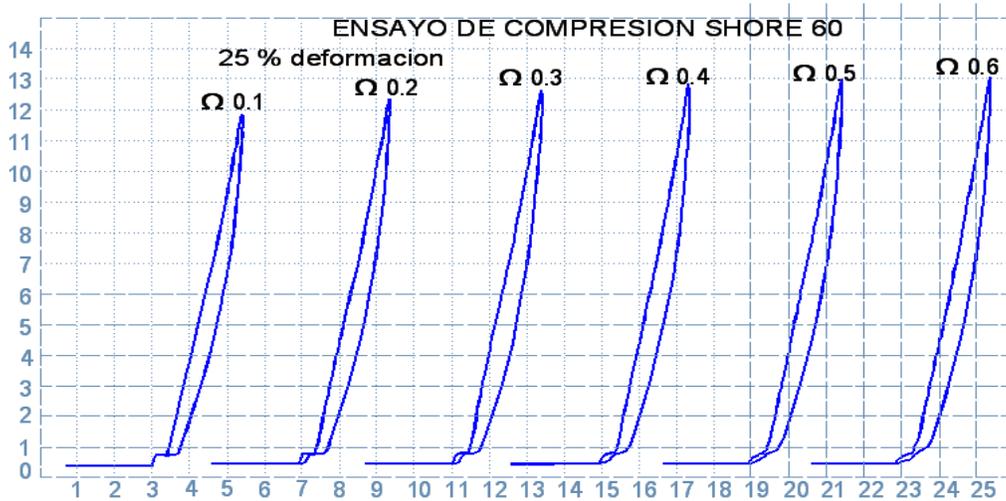


Figura 4-117 Curvas del ensayo de compresión shore 60 a 25% de deformación

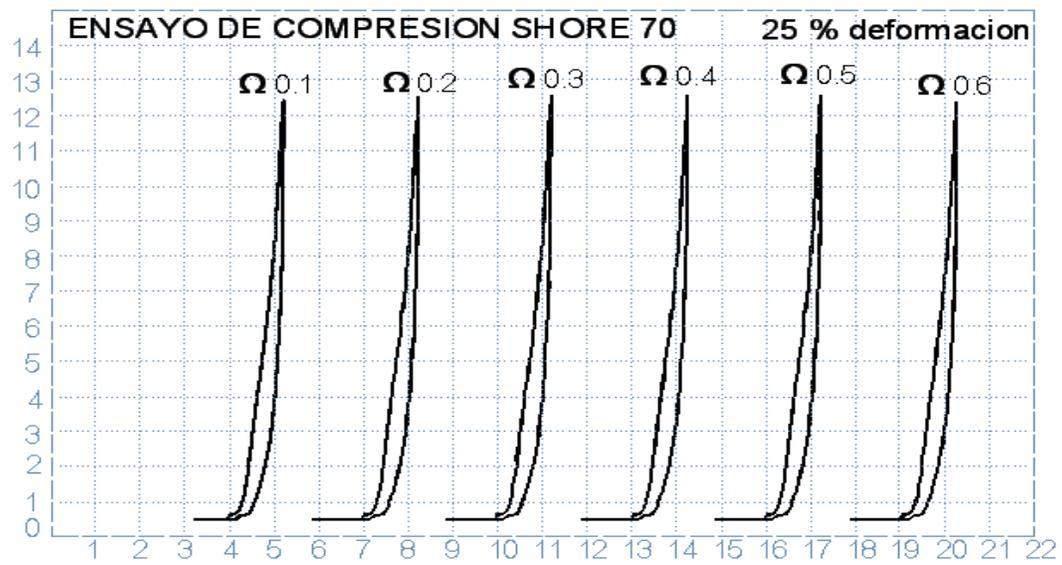


Figura 4-118 Curvas del ensayo de compresión shore 70 a 25% de deformación

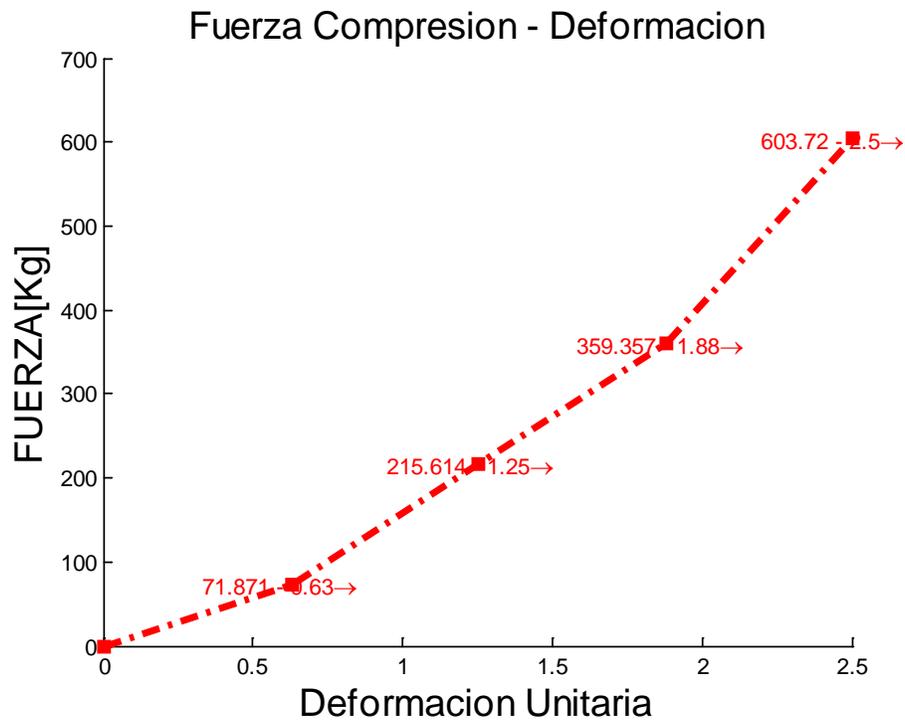


Figura 4-119 Curvas del ensayo de compresión shore 50 a 25% de deformación

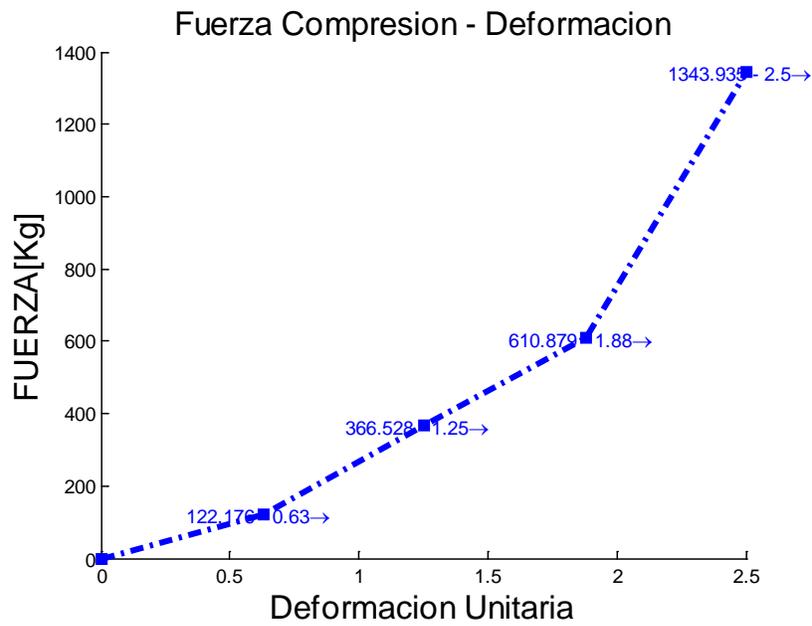


Figura 4-120 Curvas del ensayo de compresión shore 60 a 25% de deformación

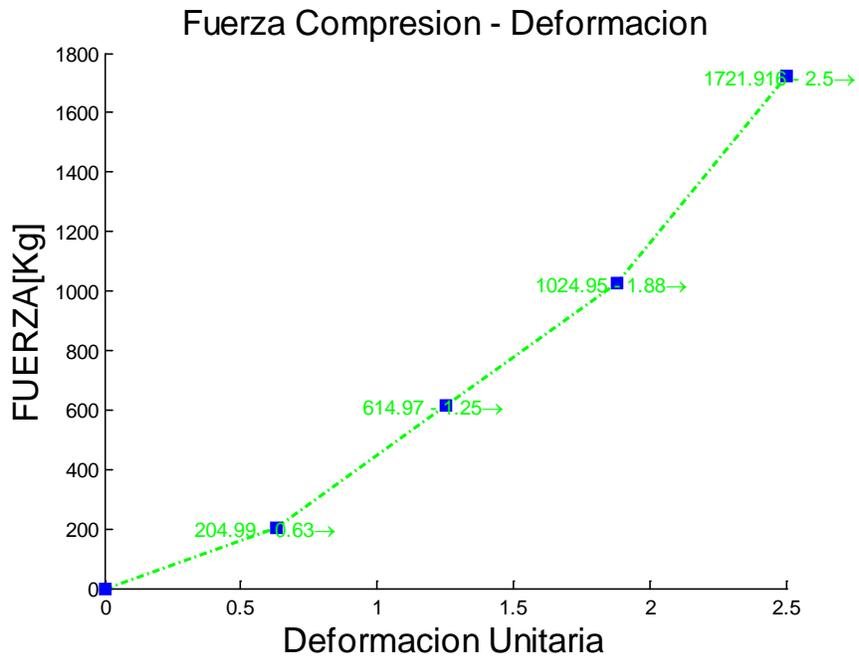


Figura 4-121 Curvas del ensayo de compresión shore 70 a 25% de deformación

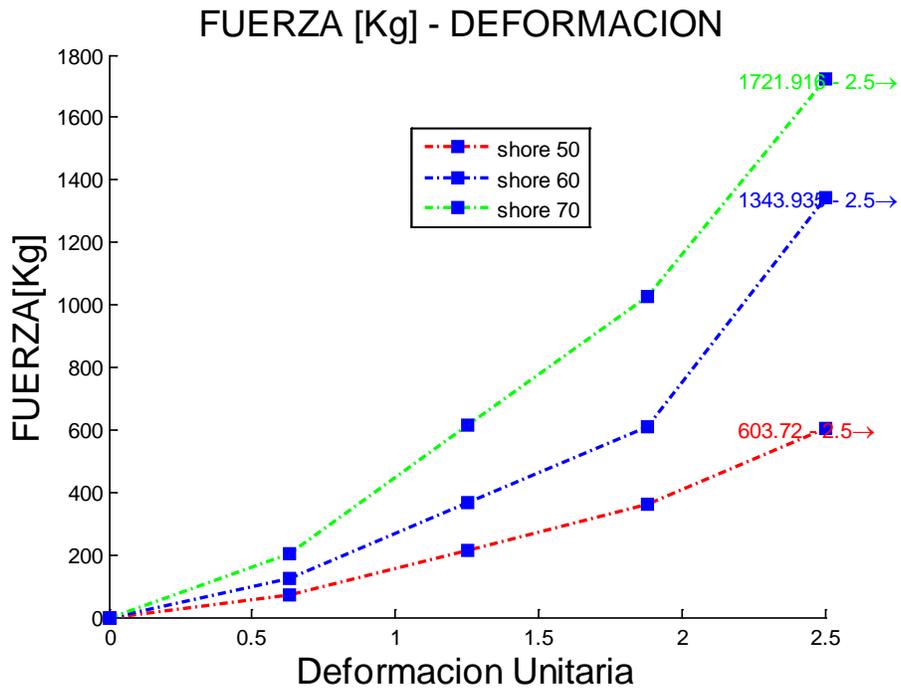


Figura 4-122 Curvas del ensayo de compresión shore 70, 60, 50 a 25% de deformación

Esfuerzo de Compresion - Deformacion

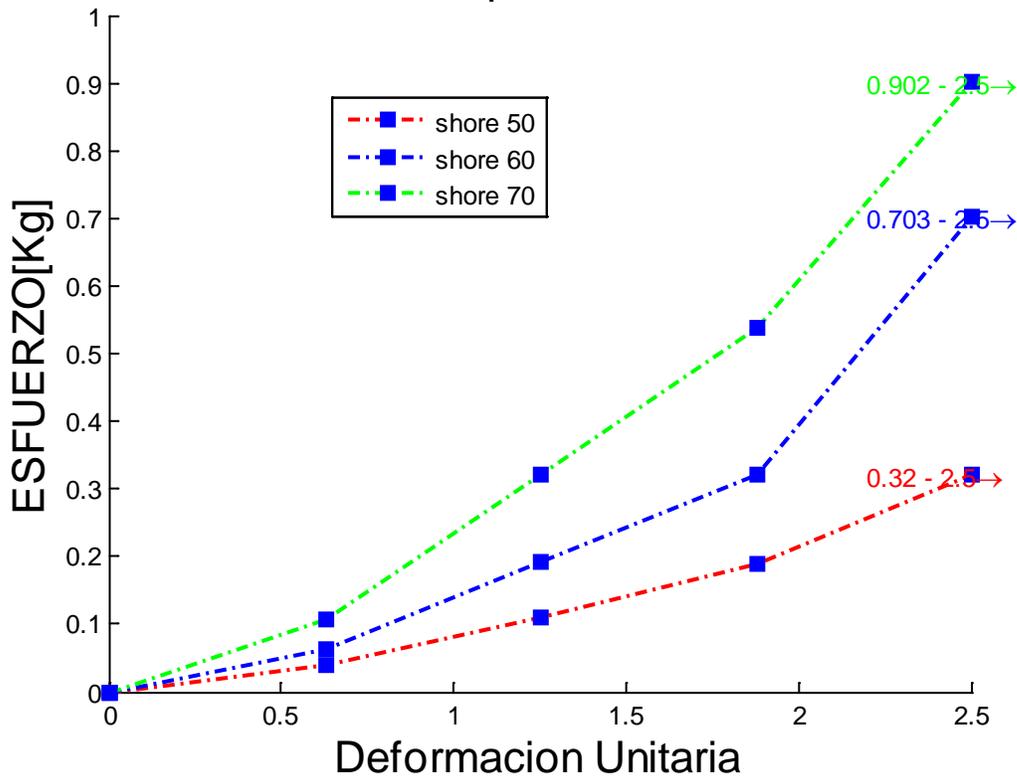


Figura 4-123 Curvas del ensayo de compresión shore 70, 60, 50 a 25% de deformación

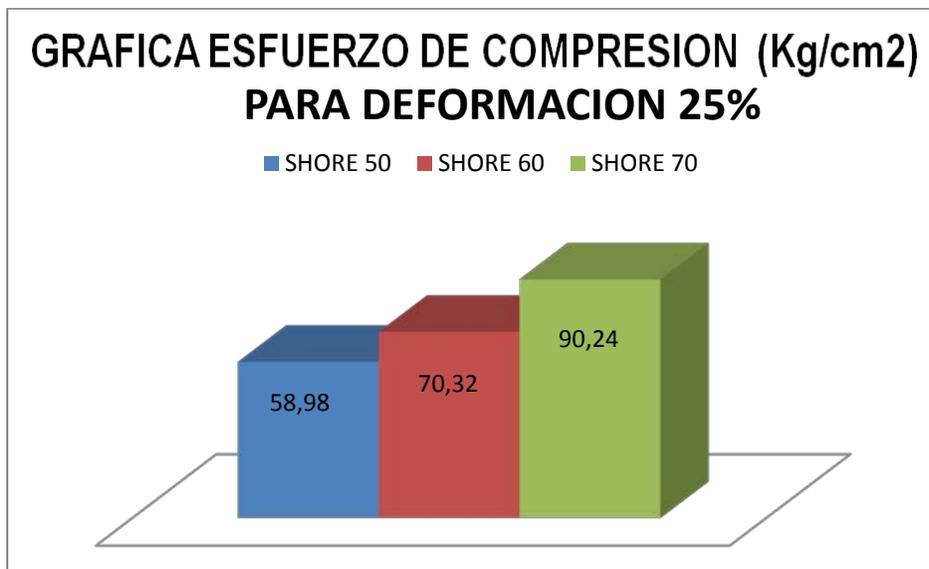


Figura 4-124 Esfuerzo máximo de compresión para que se deforme el 25 %

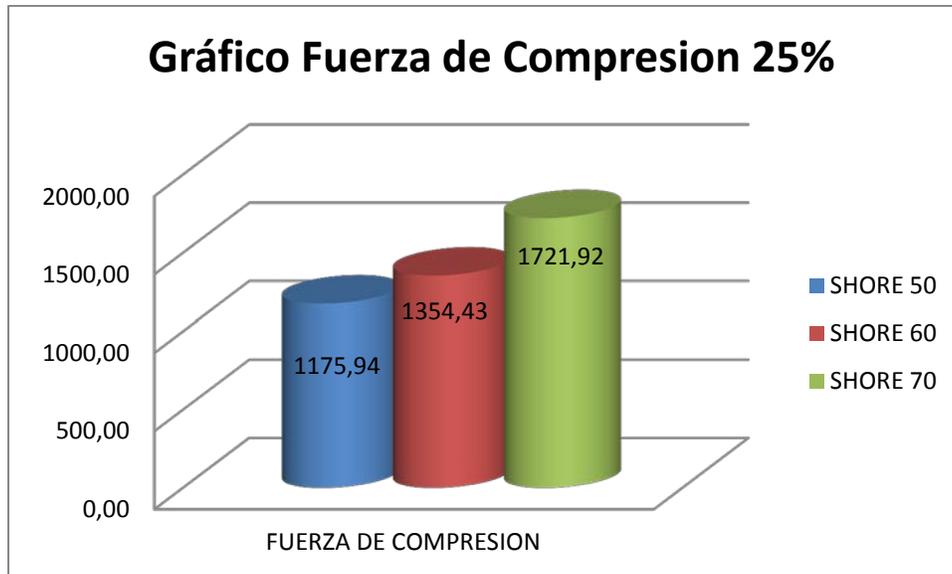


Figura 4-125 Fuerza máxima de compresión para que se deforme el 25 %



5mm de deformación

10mm de deformación

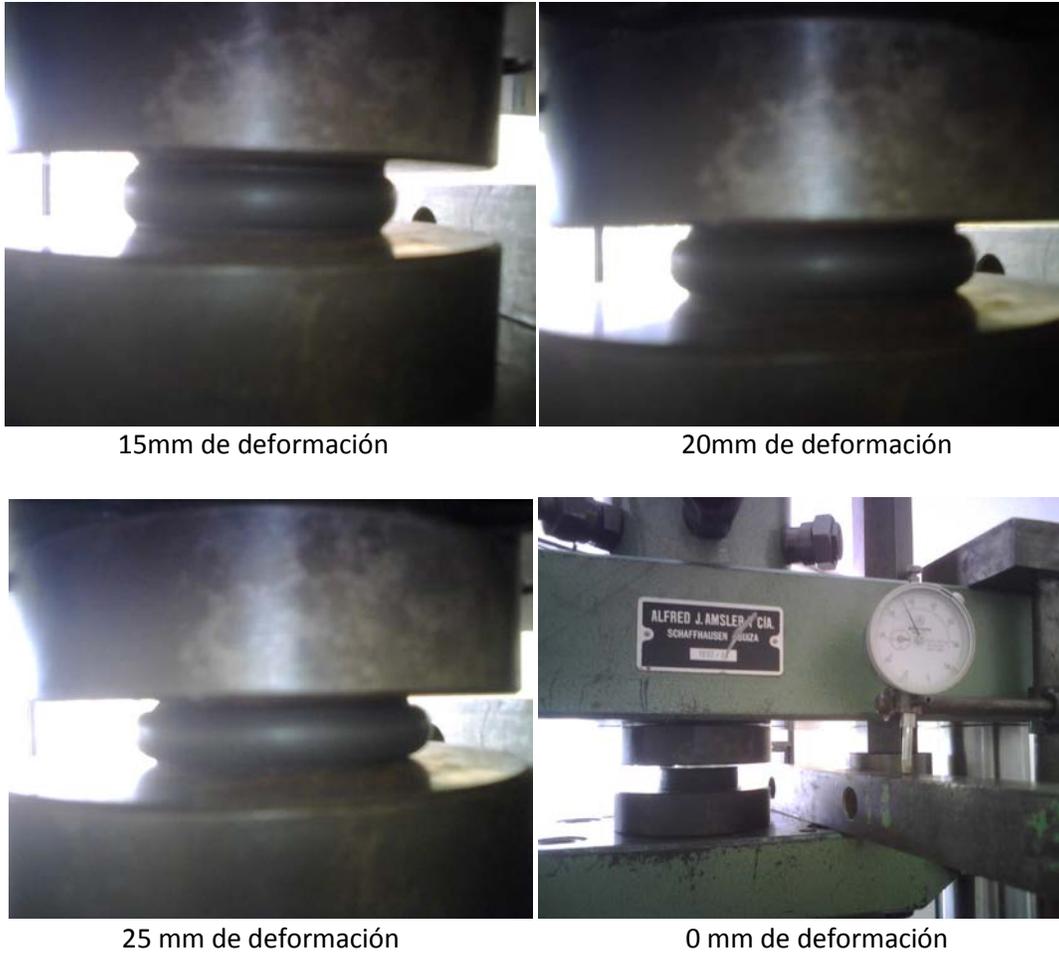


Figura 4-126 Ensayo de compresión a 5, 10, 15, 20, 25 mm de deformación a 22 °C

Tabla 4-16 Datos del ensayo de Compresión

| REGISTRO DE DATOS ENSAYO COMPRESIÓN ELASTOMERICO | | | | | | | | | | |
|--|------------|-----|---------|-------------|----------|---------------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|
| DATOS GENERALES | | | | | | | | | | |
| Fecha: | 12/04/2011 | | | | diametro | 49.36 mm | | | | |
| Temperatura ambiente: | 20.5 °C | | | | | 1913.5561 mm ² | | | | |
| Probeta ^o | SHORE 50 | | | | | | | | | |
| area | L0 | Lf | (Lf-L0) | ε | shore 50 | | shore 60 | | shore 70 | |
| | | | | (Lf-L0)/L0 | F | σ (f/a) | F | σ (f/a) | F | σ (f/a) |
| mm ² | mm | mm | mm | deformacion | N | N/mm ² | N | N/mm ² | N | N/mm ² |
| 1913.56 | 10 | 0.5 | 9.5 | -0.05 | 921.2 | 0.481 | 1999.2 | 1.045 | 1999.2 | 1.045 |
| 1913.56 | 10 | 10 | 0 | -1 | 2097.2 | 1.096 | 3763.2 | 1.967 | 5782 | 3.022 |
| 1913.56 | 10 | 1.5 | 8.5 | -0.15 | 3430 | 1.792 | 5742.8 | 3.001 | 9153.2 | 4.783 |
| 1913.56 | 10 | 2 | 8 | -0.2 | 5017.6 | 2.622 | 8545.6 | 4.466 | 14445.2 | 7.549 |
| 1913.56 | 10 | 2.5 | 7.5 | -0.25 | 7565.6 | 3.954 | 12230.4 | 6.391 | 17718.4 | 9.259 |

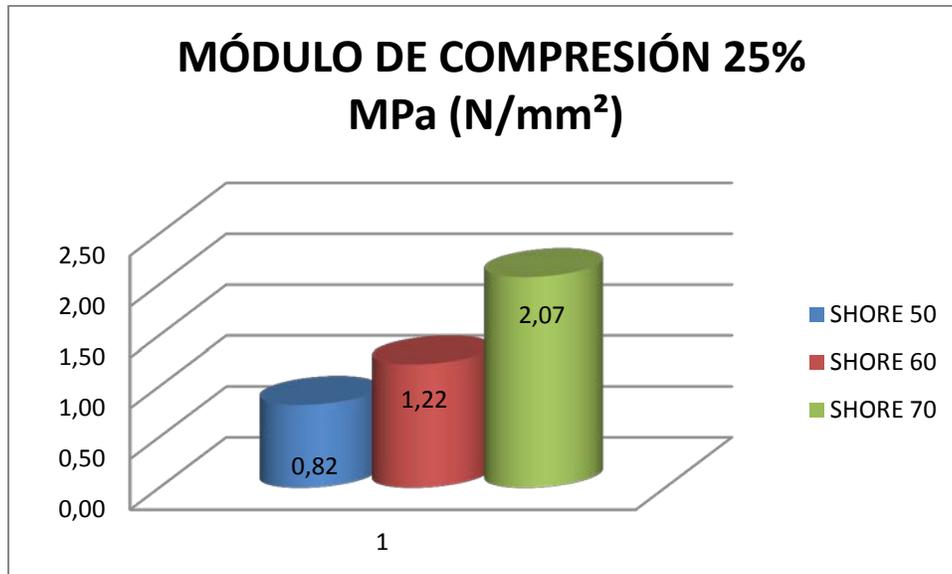


Figura 4-127 Módulo Compresión

4.10 ENSAYO DE MÓDULO DE CORTE

El ensayo de módulo de corte es importante, porque con este valor se puede encontrar la rigidez de la estructura y con estos valores se pueda modelar y diseñar al aislador en conjunto con la estructura.

Se toma las medidas de la sección transversal de la placa de neopreno ancho, alto, espesor para calcular el área.

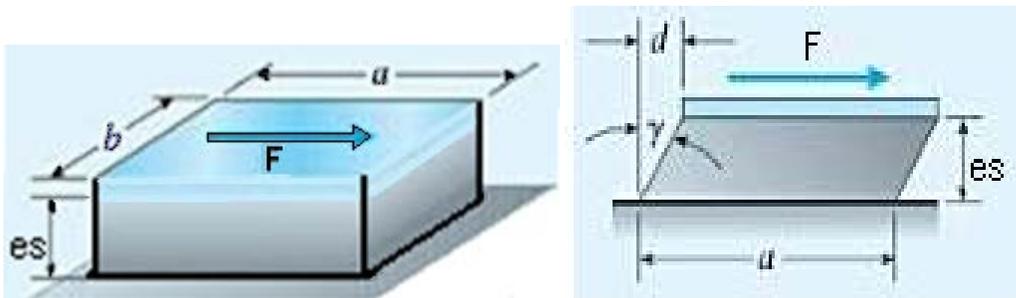


Figura 4-128 Datos para módulo de corte

Se coloca el sistema en una antena para fijarlo para evitar cualquier posible error en la medición y lectura del equipo en el ensayo.



Figura 4-129 Equipo para el ensayo de corte

Se somete al esfuerzo cortante a través de pesas colocadas en el porta pesas donde se coloca pesas progresivamente de 5 kg en 5 Kg, cada vez que se aumente la carga se toma la lectura de la deformación.

La deformación unitaria por cortante es proporcional al esfuerzo cortante que se aplique es decir, mientras mayor sea el esfuerzo cortante, mayor será la deformación unitaria por cortante

El comportamiento de la curva del diagrama esfuerzo cortante vs deformación unitario por cortante es lineal. Es decir, el módulo de Corte depende de las deformaciones que sufren los aisladores.

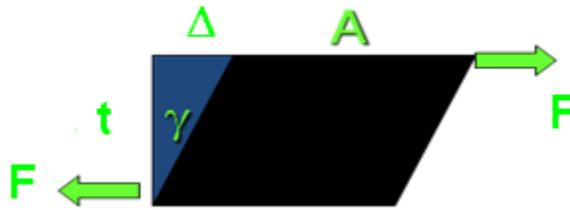


Figura 4-130 Funcionamiento del ensayo a corte

$$\text{ESFUERZO } \sigma = \frac{F}{A}$$

Ecuación 4-10

$$\text{DEFORMACION} = \gamma = \frac{\Delta}{t}$$

Ecuación 4-11

$$G = \frac{\left(\frac{F}{A}\right)}{\gamma}$$

Ecuación 4-12

$$\sigma = G\gamma$$

Ecuación 4-13

$$\sigma = G \frac{\Delta}{t}$$

Ecuación 4-14

$$\Delta = \frac{\sigma t}{G}$$

Ecuación 4-15

$$\Delta = \frac{F t}{G a b}$$

Ecuación 4-16



Figura 4-131 Equipo para el ensayo

Tabla 4-17 Registro de desplazamientos del prototipo shore 50, 60, 70 a corte

| REGISTRO DE DATOS ENSAYO de CORTANTE ELASTOMERICO | | | | | | | | |
|---|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|
| DATOS GENERALES | | | | | | | | |
| Fecha: | 13/11/2010 | | | | | | | |
| Temperatura ambiente: | 20.8 °C | | | | | | | |
| Probeta ° | SHORE 50,60,70 | | | | | | | |
| Datos eje X: | Desplazamiento | | Datos eje Y: | Esfuerzo | | | | |
| Escala eje X: | 1 | | Escala eje Y: | 1 | | | | |
| dimensiones de las probetas | | | | | | | | |
| largo | 150 | | | | | | | |
| ancho | 62.1 | | | | | | | |
| espesor | 26.48 | | | | | | | |
| | shore50 | shore60 | shore70 | | shore70 | shore60 | shore50 | |
| P | δ1 | δ2 | δ3 | P | δ1 | δ2 | δ3 | area |
| Kgf | pulg | pulg | pulg | N | mm | mm | mm | mm ² |
| 0.000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9315 |
| 5.205 | .0025 | .0027 | 0.0028 | 51.009 | 0.0635 | 0.06858 | 0.07112 | 9315 |
| 10.205 | .005 | .0059 | .006 | 100.009 | 0.127 | 0.14986 | 0.1524 | 9315 |
| 15.205 | .0083 | .0092 | .0092 | 149.009 | 0.21082 | 0.23368 | 0.23368 | 9315 |
| 20.205 | 0.0119 | .013 | .0128 | 198.009 | 0.30226 | 0.3302 | 0.32512 | 9315 |
| 25.205 | .015 | .0165 | .0163 | 247.009 | 0.381 | 0.4191 | 0.41402 | 9315 |
| Esfuerzo cortante | | | | | | | | |
| | shore70 | shore60 | shore50 | | shore70 | shore60 | shore50 | |
| $\tau = F/A$ | $\tau = F/A$ | $\gamma = d/es$ | $\gamma = d/es$ | $\gamma = d/es$ | $G = (\tau/\gamma)$ | $G = (\tau/\gamma)$ | $G = (\tau/\gamma)$ | |
| Mpa(N/mm ²) | Kgf/mm ² | rad | rad | rad | Mpa(N/mm ²) | Mpa(N/mm ²) | Mpa(N/mm ²) | |
| 0 | 0 | 0.00000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 0.005 | 0.0006 | 0.00240 | 0.0026 | 0.0027 | 2.28 | 2.11 | 2.04 | |
| 0.011 | 0.0011 | 0.00480 | 0.0057 | 0.0058 | 2.24 | 1.90 | 1.87 | |
| 0.016 | 0.0016 | 0.00796 | 0.0088 | 0.0088 | 2.01 | 1.81 | 1.81 | |
| 0.021 | 0.0022 | 0.01141 | 0.0125 | 0.0123 | 1.86 | 1.70 | 1.73 | |
| 0.027 | 0.0027 | 0.01439 | 0.0158 | 0.0156 | 1.84 | 1.68 | 1.70 | |
| | | | | PROMEDIO= | 2.047 | 1.841 | 1.829 | |

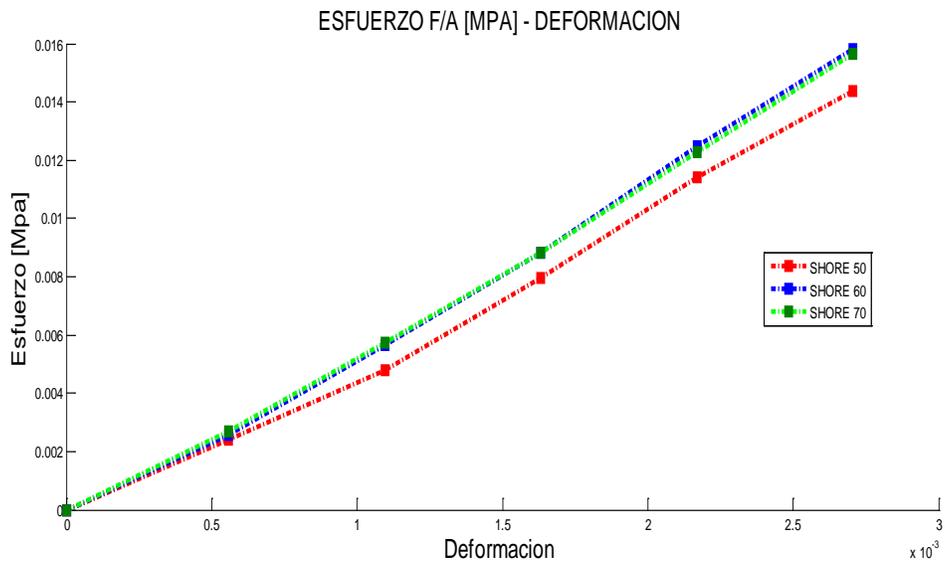


Figura 4-132 Gráfica esfuerzo - deformación unitaria

Módulo de Elasticidad por Cortante MPa (N/mm²)

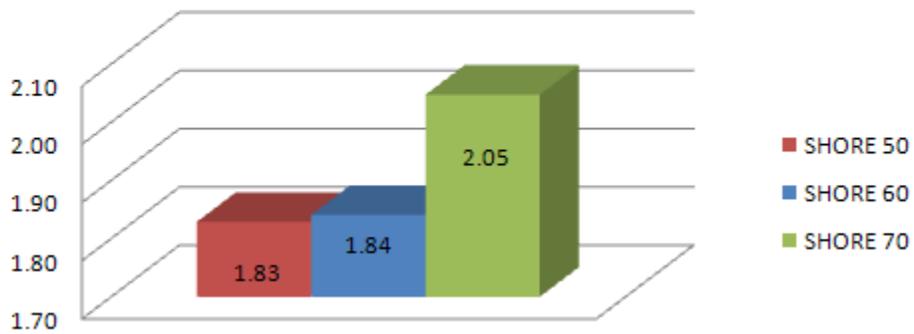


Figura 4-133 Módulo de elasticidad por cortante

1.22 CAPÍTULO V

1.23 Nuevos Criterios Sísmicos

A raíz de los terremotos ocurridos en los últimos años, algunas estructuras, especialmente los puentes han sufrido algún tipo de daño considerable, por lo que resulta necesario incorporar nuevas medidas en la norma de diseño de los puentes, a fin de mejorar su comportamiento sísmico. Para garantizar así la seguridad durante los eventos sísmicos. Estos daños y la pérdida de vidas hicieron hincapié en la necesidad de desarrollar nuevos criterios y especificaciones para el diseño sísmico de los puentes.

Este diseño sísmico de puentes ha pasado por cambios significativos desde 1956, hasta nuestros días. Los puentes diseñados con las normas vigentes se han caído o han resultado severamente dañados en los últimos eventos sísmicos.

Otra razón para crear nuevos criterios sísmicos son los gastos de reparación de los puentes, que resultan muy costosos, hay que tener en cuenta que el diseño sísmico de una manera limita los gastos de reparación y el tiempo necesario para completar dicha reparación. El comportamiento de los puentes durante los sismos no fue lo esperado en los últimos años, ya que no cumplió con el diseño, que es de resistir. También puede ser atribuido, a la poca atención dedicada a los detalles de diseño y criterio sísmico, porque los puentes deben resistir terremotos.

Otro problema también está relacionado con la necesidad de desarrollar o refinar los modelos para simular el comportamiento histerético de las columnas del puente ante un eventual terremoto.

A continuación se enuncian algunas disposiciones sísmicas que se pueden implementar de manera inmediata en los nuevos diseños de puentes que está basado en el Departamento de Proyectos de Estructuras de la dirección de Vialidad de Chile.

5.1 ANCHO MÍNIMO DE LA MESA DE APOYO

Está basado en la norma Japonesa "Specifications for Highway Bridges, March 2002, Part V Seismic Design", en la section 16.2 "Seat Length" y su expresión es la siguiente:

$$S_E \geq 0.7 + 0.005L$$

Ecuación 5-17

Dónde:

SE= ancho de apoyo mínimo de una viga en la mesa de apoyo (m).

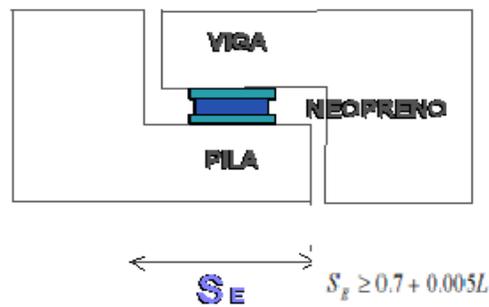
SE es la longitud de la viga desde el borde de la viga al borde de la mesa de apoyo o la longitud de viga apoyo tipo Gerber en la junta de movimiento mostrada en la figura 5.1

L = Longitud del vano (m). Distancia entre dos subestructuras, cuando dos superestructuras están apoyadas en una pila diferente longitud de vano, L1 Y L2 se deberá considerar el vano de mayor longitud para el valor de L.



S_E = ANCHO MINIMO DE LA MESA DE APOYO

Figura 5-134 Apoyos sobre pilas y estribos



S_E = ANCHO MINIMO DE LA MESA DE APOYO

ARTICULACIONES MÓVILES DE VIGAS

Figura 5-135 Ancho mínimo de la mesa de Apoyo basada en la norma japonesa.

5.2 TOPES SÍSMICOS EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL.

A continuación se detallan algunos ejemplos de topes sísmicos en la dirección longitudinal. Basados de la norma japonesa,



**CONEXIONES DE LA SUPERESTRUCTURA CON EL ESTRIBO
PARA EVITAR CAIDA DEL TABLERO EN PUENTES**

Figura 5-136 Conexiones de la superestructura y estribos



Figura 5-137 Topes sísmicos basada en la norma japonesa

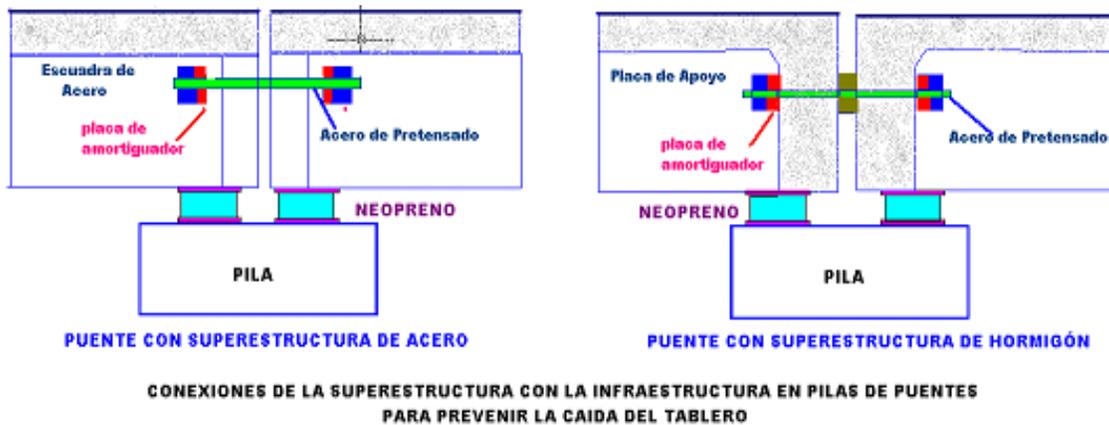


Figura 5-138 Conexiones sísmicas basada en la norma japonesa

5.3 BARRAS DE ANCLAJE VERTICAL ANTISÍSMICAS

Todos los puentes deben llevar un sistema de fijación o amarre del tablero a la infraestructura, esta fijación cumple un papel fundamental que no se pueda levantar el tablero por su propio peso por efecto de un sismo, se debe tener en cuenta que el anclaje vertical tiene que ser de una buena calidad de acero, esta conexión en el tablero ayuda a que la superestructura no se desplace.

Habitualmente esta fijación se hace a través de los diafragmas o travesaños extremos directamente a las mesas de apoyo o cabezales de los estribos.

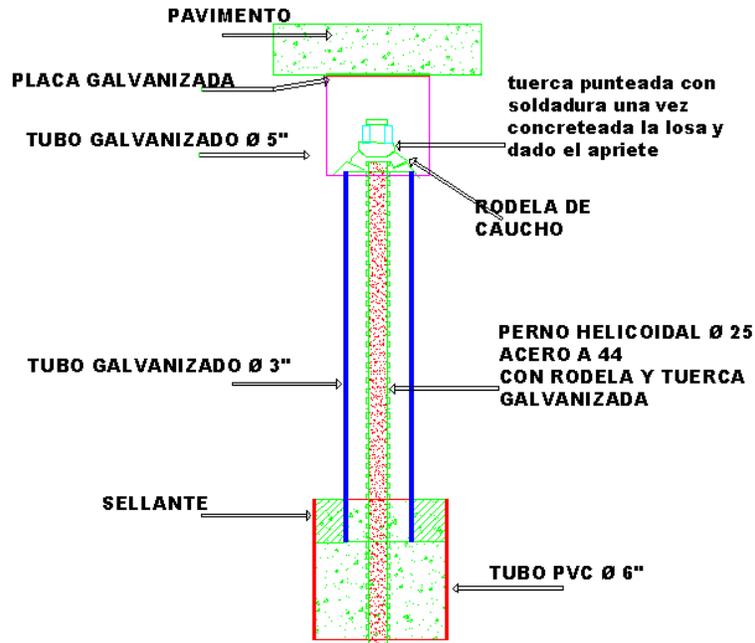


Figura 5-139 Barras sísmicas

Para el diseño del anclaje vertical será:

$$k_v = \frac{A_0}{4g}$$

Ecuación 5-18

Dónde:

K=coeficiente sísmico Vertical

A = aceleración efectiva máxima del suelo, que es diferente de la aceleración máxima del suelo,

g = es la aceleración de la gravedad.

Retomando el cálculo de la fuerza Sísmica vertical, esta se realiza en función del coeficiente sísmico vertical. Despreciando la contribución de las cargas por peso propio (Dr. Aguiar 2010).

- Las barras de anclaje deberán cumplir con las disposiciones ASTM A 706 M, se permite el empleo de acero de refuerzo ASTM A 615 grados 280 y 420, en estos elementos siempre y cuando:

- a) La resistencia real a la fluencia, obtenida en laboratorio no sea mayor que la resistencia especificada en más de 120 Mpa.

- b) La razón entre la tensión última de tracción y la tensión real de fluencia no sea menor de 1.25.

Las barras antisísmicas se colocan en forma vertical, dentro de conductos plásticos o de acero galvanizado que les permiten un cierto juego, empotradas en un extremo y apernadas en el otro. Las barras antisísmicas cumplen un papel fundamental al evitar que los movimientos originados por un sismo desmonten el tablero. En consecuencia, cualquier defecto exige una reparación inmediata.

5.4 ANCLAJE DE PLACAS DE APOYO:

Todas las placas de apoyo deberán ser ancladas a la infraestructura y a la viga respectiva. Un ejemplo de una placa anclada se muestra en la figura 5.7.

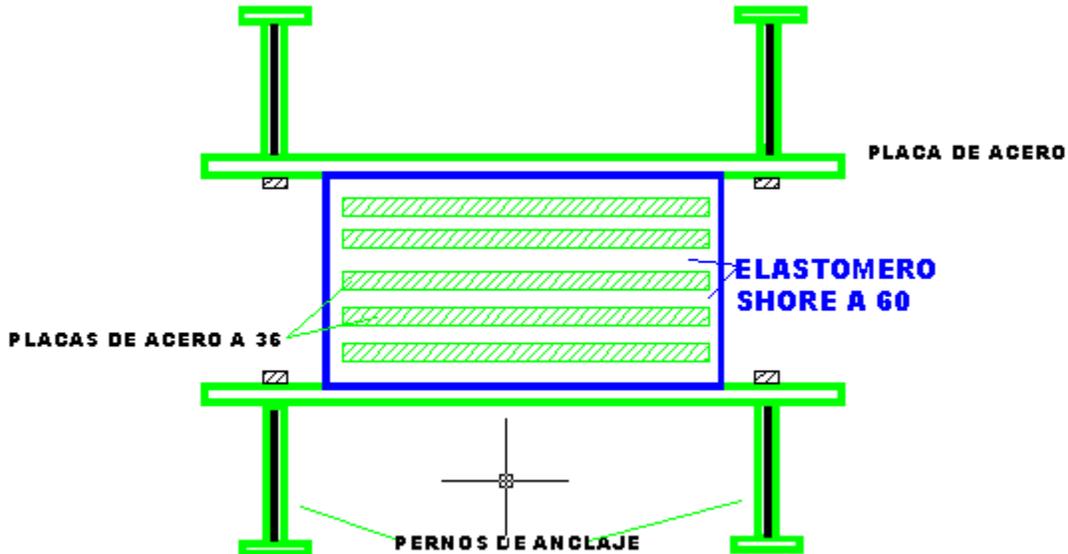


Figura 5-140 Ejemplo aislador con perno de anclaje

En caso de puentes de más de 3 vanos, puentes de gran envergadura y en aquellos en los que la Dirección de Vialidad lo requiera, será obligatorio realizar a todas las placas consideradas, los ensayos de control de calidad. En el resto de los casos, se deberá ensayar al menos 2 placas por apoyo.

Se deberá privilegiar el uso de aisladores sísmicos de goma natural con amortiguamientos mayores iguales a $\xi = 10\%$, en reemplazo de los apoyos de neopreno, con el fin de mejorar el comportamiento sísmico de las estructuras.

5.5 TOPES SÍSMICOS INTERMEDIOS Y EXTREMOS.

Se deberá considerar el uso de topes sísmicos intermedios, adicionales a los topes extremos. Los topes sísmicos intermedios deberán formar una Llave de

corte con los travesaños, con el fin de que ante un probable impacto, debido al sismo, solo se dañe al travesaño y no las vigas.

La distancia libre a considerar en las Llaves de corte, deberá ser la altura máxima del apoyo (aisladores sísmicos de goma o neoprenos) H (cm) + 5 (cm) para los topes intermedios, y H (cm)+ 7(cm) para los topes extremos, como se muestra en la figura 5.8.

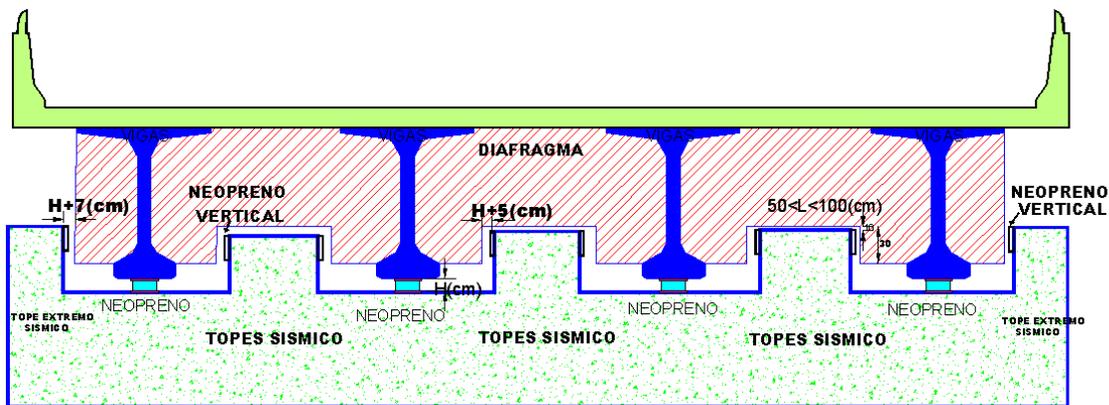


Figura 5-141 Topes sísmicos y travesaño

En todos los topes se debe incluir un neopreno lateral de bajo espesor, para amortiguar el impacto sobre estos.

Los topes sísmicos, extremos e intermedios, se deberán calcular considerando una aceleración igual a A_0 . Cada tope debe ser capaz de resistir toda la fuerza transversal del tablero.



Figura 5-142 Ejemplo Topes sísmicos y travesaño (fuente Paola Chapple revista bit)

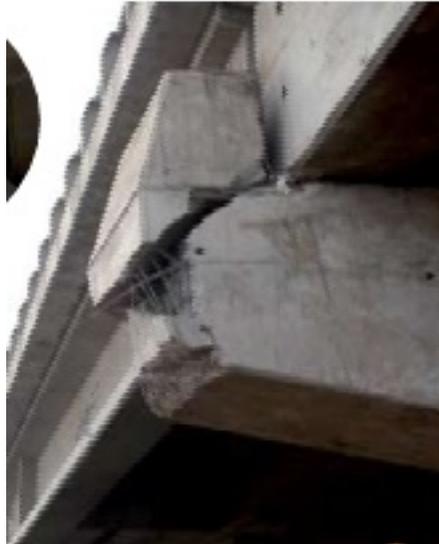
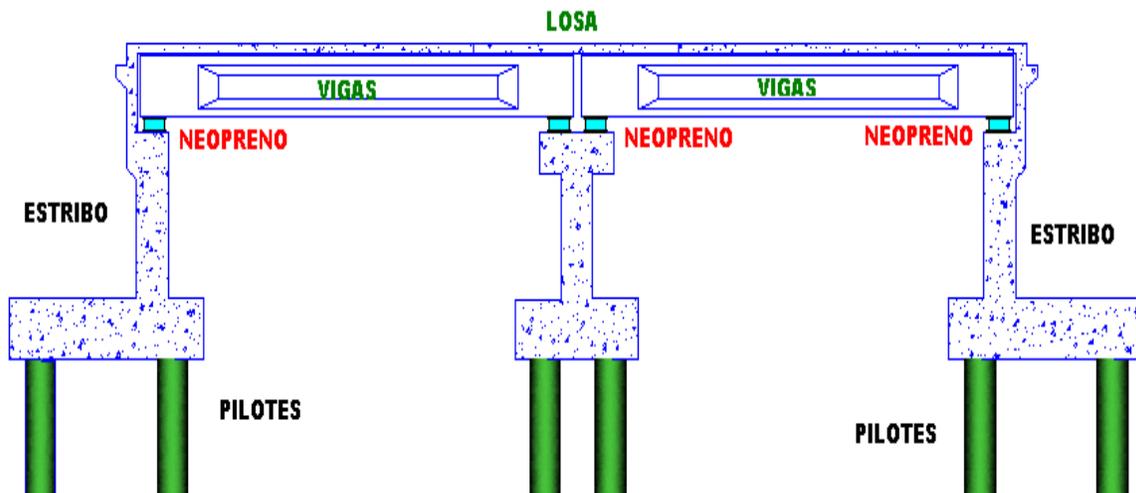


Figura 5-143 Topes sísmicos externo (fuente revista bit)

Los topes sísmicos transversales tienen por motivo restringir movimientos en el sentido transversal, para evitar el desmonte de la superestructura. Los topes de hormigón trabajan de mejor manera por sus características de absorber la energía sísmica mientras el resultado de los topes de acero resulta insuficiente por su menor capacidad de absorber la energía.

5.6 PUENTES INTEGRALES- UNIÓN MONOLÍTICA ENTRE LA LOSA DEL TABLERO Y EL ESTRIBO

En puentes de hasta 2 vanos, donde la luz de cada vano no exceda los 30 (m), se deberá privilegiar el uso de puentes integrales, en los cuales existe una conexión monolítica entre la losa del tablero y el coronamiento del muro espaldar del estribo, ver figura 5-11. En el caso que sea un puente de 2 vanos debe existir continuidad del tablero sobre la pila.



EN PUENTES 1 a 2 VANOS CONECTAR LA LOSA CON LOS ESTRIBOS PARA EVITAR CAIDA DE LOS TABLEROS

Figura 5-144 Ejemplo de unión de losa tablero con estribo

1.24 CAPÍTULO VI

1.25 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este proyecto se ha realizado ensayos a prototipos elastoméricos de diferente dureza que son usados en la elaboración de neoprenos y aisladores sísmicos.

Se realiza en primera instancia ensayos a:

Dureza

La dureza Shore "A" del elastómero determinada conforme al procedimiento de la normas INEN 887 es:

Grado cincuenta (50 ± 5). $\Rightarrow 50.18$

Grado sesenta (60 ± 5). $\Rightarrow 62.80$

Grado setenta (70 ± 5). $\Rightarrow 72.38$

Resistencia a la tensión

La resistencia a la ruptura del elastómero se determinó conforme al procedimiento de la norma INEN1165 de la *resistencia a la tracción y de Alargamiento porcentual*, obteniendo las siguientes respuestas.

Shore (50 ± 5). $\Rightarrow 12.296$ Mpa.

Shore (60 ± 5). $\Rightarrow 15.027$ Mpa.

Shore (70 ± 5). $\Rightarrow 8.820$ Mpa.

El valor (15,69) megapascales se considera como valor comparativo que debe tener el neopreno según la norma Mexicana.

El alargamiento mínimo a la ruptura:

Para el grado cincuenta (50) Cuatrocientos (400 %); $\Rightarrow 352$ %

Para el grado sesenta (60) Trescientos cincuenta (350 %); \Rightarrow 385 %

Para el grado setenta (70) Trescientos (300 %); \Rightarrow 398.67 %

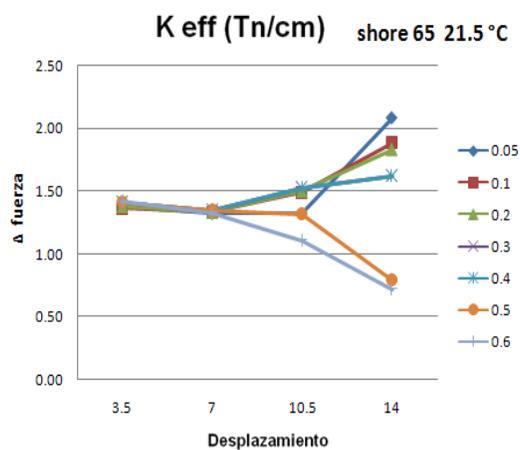
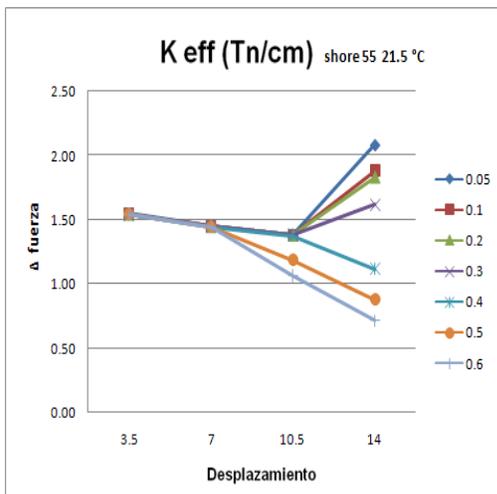
Estos valores son considerados por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (México) N-CMT-2-08/04 Placas y Apoyos Integrales de Neopreno

La probeta de elastómero shore 60 si cumple con las condiciones solicitadas en la norma mexicana, y si puede trabajar de forma eficiente.

Ensayo al Corte

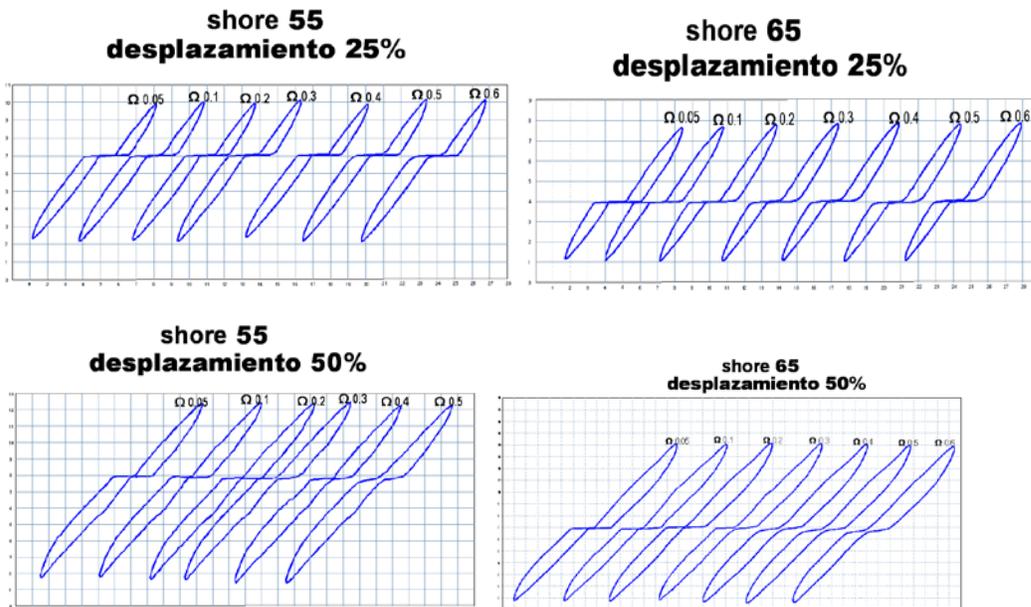
Se realizó este ensayo a prototipos de diferentes durezas (50, 60, 70). Se analizó La respuesta del elastómero en un rango de deformación desde 25% hasta el 100% obteniendo los siguientes resultados.

Rigidez efectiva.

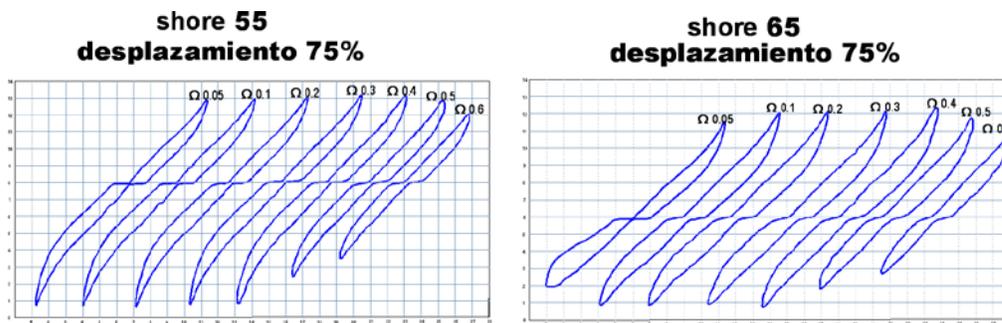


En el gráfico de la rigidez efectiva del elastómero se observa que al aplicar las diferentes fuerzas, que se necesita para que se deforme el material existe un cambio de dirección a partir del 50% (0.7), de deformación. Manteniéndose igual a frecuencias de Ω 0.05, Ω 0.1, Ω 0.2, y Ω 0.3, con un cambio de sentido en las frecuencias de Ω 0.5 y Ω 0.6.

En las gráficas de curvas de histéresis se observa que hasta el 50% de deformación se mantiene constante el área de la curva de histéresis. Que representa la energía de disipación.

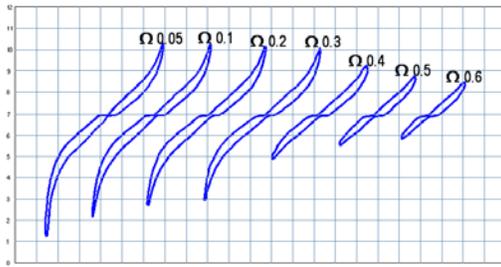


En las gráficas de las curvas se observa que desde 75% de deformación hay cambio del área en la curva de histéresis a partir de la frecuencia Ω 0.5 y Ω 0.6.

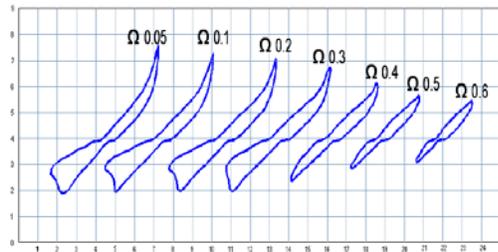


En las gráficas de las curvas se observa que al 100% de deformación hay cambio del área en la curva de histéresis a partir de la frecuencia Ω 0.2, hasta la Ω 0.6.

**shore 55
desplazamiento 100%**



**shore 65
desplazamiento 100%**

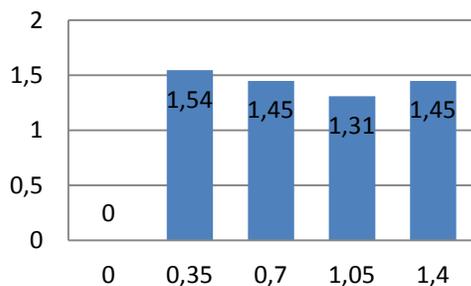


En las gráficas también podemos darnos cuenta que al aumentar la frecuencia, la energía de disipación disminuye.

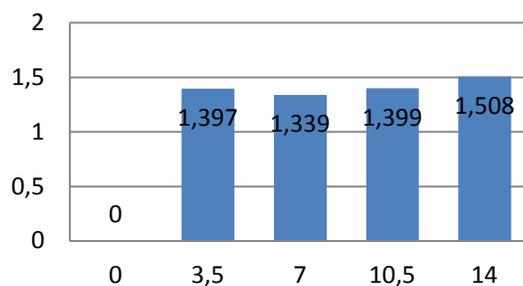
Como se observa en las curvas fuerza – desplazamiento, a mayor frecuencia el elastómero disipa menor energía que a frecuencias pequeñas

La energía se caracteriza en un ciclo de histéresis cuya área es medida de energía disipada en un ciclo de movimiento.

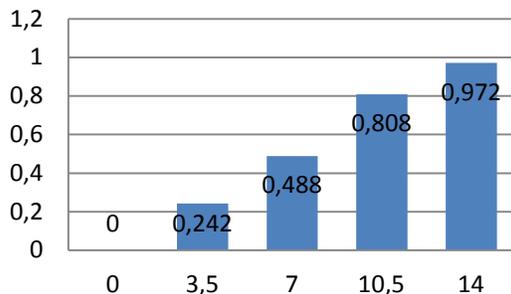
Keff promedio SHORE 55



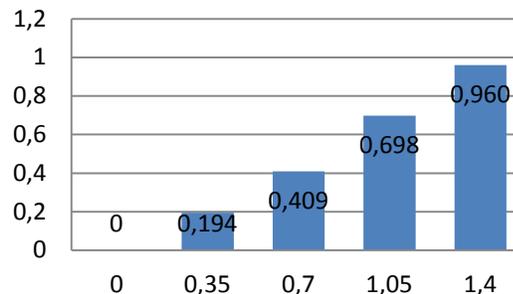
Keff promedio SHORE 65



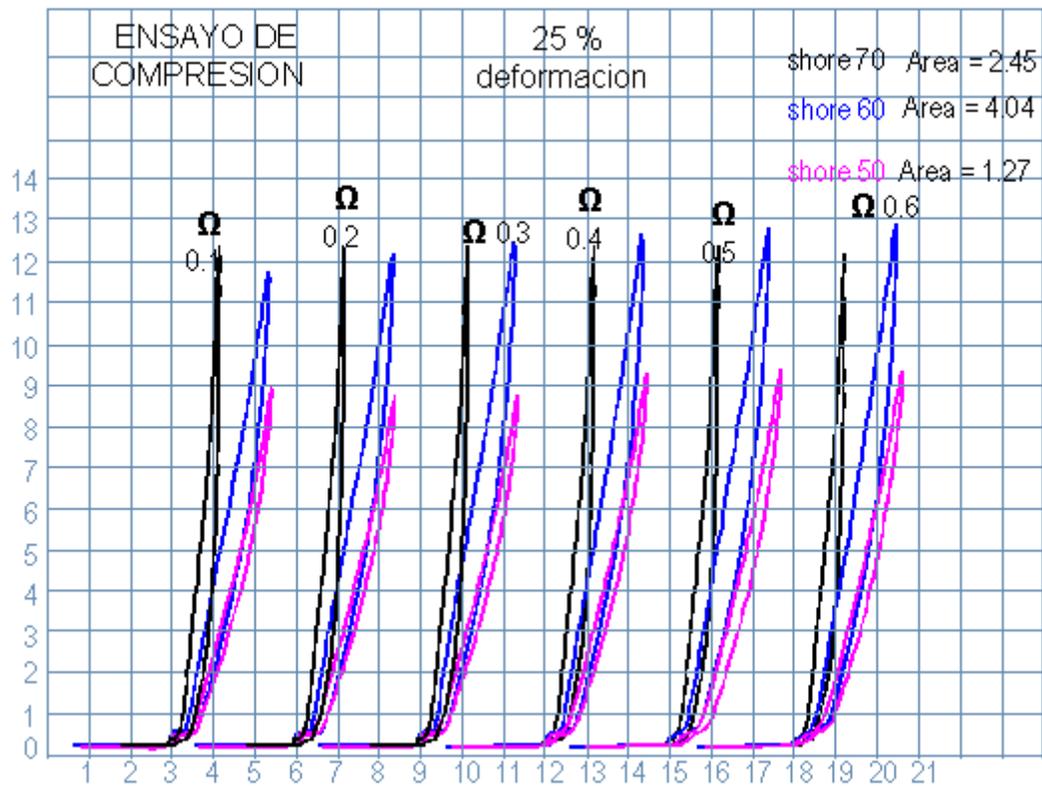
Fuerza promedio SHORE 65 (Tn)



Fuerza promedio SHORE 55 (Tn)

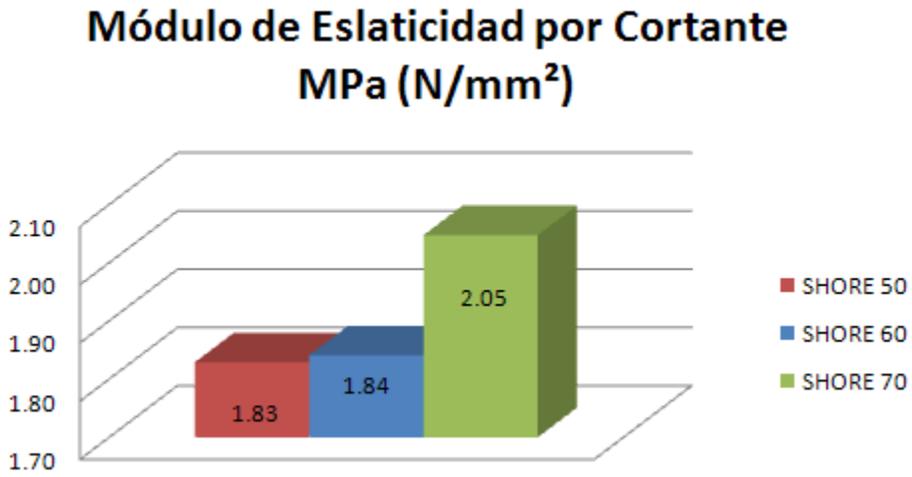
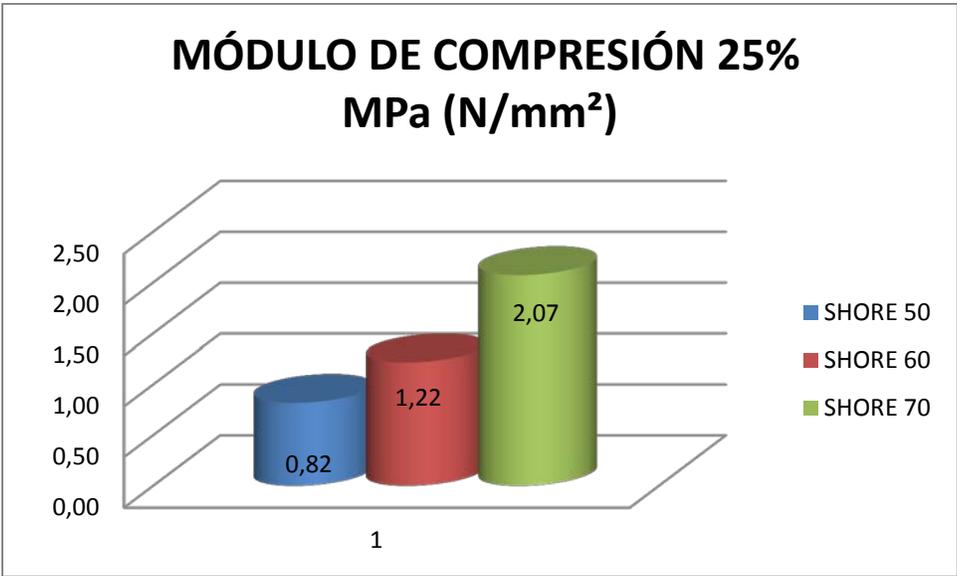


El ensayo de Compresión se realizó conforme a la norma INEN y ASTM D395=89
 Test Method for Rubber Property Compression



Curvas del ensayo de compresión 50, 60, 70 a 25% de deformación a frecuencias diferentes.

El elastómero de dureza shore 60 disipa mayor energía de compresión



Módulo de corte del elastómero (Fuente AASHTO 14.7.6)

| | Dureza (Shore A) | | |
|------------------------------|------------------|-----------|-----------|
| | 50 | 60 | 70 |
| MÓDULO DE CORTE a 23°C (MPa) | 0.66-0.90 | 0.90-1.38 | 1.38-2.07 |

Tras el terremoto han comparado los registros del edificio aislado, tanto los del suelo en dirección trasversal, vertical y longitudinal y los del techo en las mismas direcciones, con lo registrado en el edificio vecino (no aislado sísmicamente),

observando que la magnitud de aceleraciones de este último aumentaron en 5 veces, lo que significa que el sistema funcionó tal como se había pensado.

RECOMENDACIONES:

En el Ecuador no se posee máquinas adecuadas para este tipo de ensayos, es por ello que para tener una mejor visión del comportamiento de estos aisladores se debería analizar un aislador con dimensiones reales.

Realizar futuros estudios en los que consten varios tipos de neoprenos con las dimensiones reales para comprobar la eficiencia desarrollada, con el fin de obtener una información comparativa y sacar conclusiones más exactas, por ello sería eficiente un análisis exhaustivo y profundo en lo que se refiere a la adhesión caucho acero.

BIBLIOGRAFÍA

- Tesis de grado “*Análisis Sísmico del Puente Carrizal y Contribuciones a la Peligrosidad Sísmica del Ecuador*”, por Edwin García Pozo- Ecuador 2010.
- Aguiar R., y Jiménez M., (2007), “Estudio experimental de un disipador visco elástico con goma de seis milímetros (6mm.)”, *XIX Jornadas Nacionales de Ingeniería Estructural. Universidad Nacional del Chimborazo, Riobamba.*
- Aguiar R., (2002), *Sistema de computación CEINCI3 para evaluar daño sísmico en los Países Bolivariano*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 302 p., Quito.
- Aguiar R., Almazán J. L., Dechent P., Suárez V., (2008), *Aisladores de base elastoméricos y FPS*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 292 p., Quito.
- Sarrazarin M., Moroni O., *Respuesta sísmica de puentes chilenos con apoyos aislantes*, Depto. de Ingeniería Civil, Universidad de Chile
- Zamudio L., Hernández J., (2004), *Aplicación de herramientas estadísticas para mejorar la calidad del proceso de mezcla de empaques de caucho para tubería en la empresa eterna s.a*, Depto. de Ingeniería Industrial, Universidad Javeriana de Colombia.
- Herrera Paulina, (2008), *Estudio Sísmico del Viaducto Quebrada el Salto* Depto. de Ingeniería Civil, Universidad de Chile
- Manual de Carreteras, (2002), Sección 3.1004 Diseño Sísmico, Volumen N.- 3. Instrucciones y Criterios de Diseño, Santiago de Chile.
- A. Escandar, M. O. Moroni y M. Sarrazin. Propiedades Mecánicas de Goma de alto Amortiguamiento en Función de la Temperatura. Departamento de Ingeniería Civil Universidad de Chile
- Cristián A. Núñez y Diego J. Celentano Caracterización experimental y numérica del comportamiento mecánico de los cauchos naturales HD-812 y HD-812.30 Departamento de Ingeniería Mecánica Universidad de Santiago de Chile.
- Normas INEN 8881982-10 CAUCHO ENSAYO DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Normas INEN 889 1982-10 Caucho determinar la compresión residual Instituto Ecuatoriano de Normalización

- Normas INEN 887 1982-10 DETERMINACIÓN DE LA DUREZA (ESCALA IRHD) Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Normas INEN 1 165 CAUCHO VULCANIZADO DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA TRACCON Y DE ALARGAMIENTO PORCENTUAL Instituto Ecuatoriano de Normalización
- Norma ASTM D412-87, Standard Test Method for Rubber Property in Tension, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 09.01, Washington, Government Printing
- Norma ASTM D395-89, Standard Test Method for Rubber Property – Compression Set, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 09.01, Washington, Government Printing
- Norma ASTM D945-92, Standard Test Method for Rubber Property in Compression or Shear, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 09.01, Washington, Government Printing.
- http://www.youtube.com/watch?v=o_9XHnvyUJU&feature=related
- <http://www.youtube.com/watch?v=BNGULnlbn84>
- http://www.youtube.com/watch?v=c_tniJA47MM
- <http://www.youtube.com/watch?v=AyHsqTrOtaM>
- <http://vodpod.com/watch/3137884-puentes-en-santiago-destrudos-por-terremoto>
- es.wikipedia.org/.../Terremoto_de_Chile_de_2010
- www.cic-lapaz.com/
- www.aeromental.com/
- www.ideasgeek.net
- www.lapetus.uchile.cl/lapetus/
- www.scribd.com/.../Danos-ocasionados-por-el-terremoto
- www.aeromental.com/2010/02/27/

CURRÍCULUM VITAE

Edwin Hernán Correa Manosalvas

Teléfono: 084433775

E-mail: edwicorrea@yahoo.com



INFORMACIÓN PERSONAL

- Documento Identidad: 1710044619
- Fecha de nacimiento: 29 de noviembre de 1969
- Nacionalidad : Ecuador
- Estado Civil: Soltero
- Domicilio: Quilliscacha S9 155 y Puruhá
Cdla, San José La Magdalena
Quito - Ecuador
- TITULO Ingeniero Civil (ESPE)

ESTUDIOS CURSADOS

- Primaria:
ESCUELA SAN JOSÉ "LA SALLE", Quito.
- Secundaria:
COLEGIO FRANCISCANO "SAN ANDRÉS", Quito.
- Superior:
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, (Ing. Civil)
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ESUELA DE CONSTRUCCIONES
CIVILES Y MEDIO AMBIENTE (tec, en Construcciones)

IDIOMAS

- Español: nativo
- Inglés: nivel medio
- Portugués: nivel avanzado

CURSOS

- "ANÁLISIS DE TERRENOS INESTABLES".
Realizados en Sangolquí, del 20 al 25 de julio del 2004.
Organizador: ESPE
- "DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS"
Realizado en Quito, 23 al 28 de Septiembre de 2002.
Organizadores: Universidad Católica (PUCE), Universidad del Cauca
Concejo Nacional de Competitividad, Cámara de la Construcción
Quito.
- "Diseño de Edificios, Losas y Cimentaciones Usando Etabs y Safe Básico "
Realizado en Quito, 30 de enero al 07 de febrero del 2010.
Organizadores: Colegio de Ingenieros de Pichincha.