



FACULTAD DE ARQUITECTURA DISEÑO Y CONSTRUCCION
ESCUELA DE CONSTRUCCION CIVIL

ESTUDIO DE TÉCNICAS PARA LA REMODELACIÓN Y MANTENCIÓN DE PUENTES DE HORMIGON.

Proyecto de Título para Optar al Título de Constructor Civil

Estudiante:
Álvaro Orlando Osorio Rojas.

Profesor Guía:
Alejandro Ossandón Sasso.

Fecha:
Agosto 2020
Santiago, Chile

DEDICATORIA.

A mis Padres **Milton Osorio Catalán** y **Elisa Rojas Tapia**, por las enseñanzas y valores que me entregaron a lo largo de mi vida y que me enseñaron a nunca rendirme.

Que sin su apoyo incondicional, no estaría en estos momentos tan importantes, y que gran parte de este logro se los atribuyo a ellos.

SOLO USO ACADÉMICO

AGRADECIMIENTOS.

Quisiera agradecer a todas personas que estuvieron siempre presente en este proceso, a mis **Padres Milton Osorio Catalán, Elisa Rojas Tapia, a mis Hermanos Rodrigo Osorio Rojas, María José Osorio Rojas, Nicolas Osorio Rojas, Alejandra Osorio Rojas, Mis Sobrinos Josefina Osorio Brizuela, Lucas Osorio Brizuela, Angela Andrade Osorio, Samuel Ramírez Osorio,** a mi Tía **Palmira Rojas Tapia,** Tío **Francisco Rojas Tapia** y por último a **Maritza Brizuela, Cristian Ramírez y Nelson Castillo Rojas.** A las que alcanzaron estar un breve momento en este proceso, **Elena Tapia (Q.D.E.P)** y **Claudia Castillo Rojas (Q.D.E.P).**

Todos fueron personas que me apoyaron, ayudaron y confiaron en mí.

Agradecer a mi Profesor Guía **Alejandro Ossandón Sasso,** por darse el tiempo para ayudarme a realizar mi Proyecto de Titulo, organizando reuniones todos sábados y estar al pendiente llamando cuando las condiciones dificultaban una reunión. También al Profesor **Rodrigo Ternero,** ya que fue fundamental en el inicio para la realización del Proyecto de Titulo.

RESUMEN.

Actualmente en el mundo a medida que se avanza, más rápido es el avance tecnológico, y el área de la construcción no queda indiferente ante esta situación. Ya que cada vez más se producen técnicas para la construcción, en las que se incluyen la reparación y mantención de estructuras, las cuales tienden a disminuir posibles fallas en el tiempo, procurando que las estructuras perduren en el tiempo, pero lo más importante aún, que estas no colapsen y se desplomen, por causas externas como, sobrecargas, vientos, nieve, sismos, crecidas de caudales, mantenimiento y otros. Debido a esto es que se realizan nuevos avances tecnológicos en el ámbito de las Ciencias e Ingeniería de los Materiales, como también ensayos de laboratorios para estudiar el comportamiento de las estructuras ante terremotos, factores climáticos y permanencia.

Por lo anterior, es que este documento de investigación estudiara ciertas técnicas para la remodelación y mantención de puentes de hormigón, donde se pueden encontrar materiales como aditivo, hormigón de alta resistencia, etc., y para la mantención tecnológica como los drones y el monitoreo de salud estructural, con el fin de evitar daños futuros o para reparar daños ya presentes en las estructuras. Con la información obtenida se realizará un caso de estudio de un puente de hormigón (Puente Socos, Región de Coquimbo), para así poder analizar estas técnicas ya estudiadas v/s las aplicada en esta estructura, ya sean en el ámbito técnico (características, aplicaciones, etc.,) como también la parte económica. Para esto se debió realizar entrevistas con Profesionales del Ministerio de Obras Publicas e información Bibliográfica referente al tema.

Palabras Claves: Puente, Remodelación, Mantención, Técnicas, Fallas.

SUMMARY.

Currently in the world as it progresses, the faster the technological advance, and the area of construction is not indifferent to this situation. Since more and more techniques are produced for construction, which include the repair and maintenance of structures, which tend to decrease possible failures over time, ensuring that the structures last over time, but more importantly, that they do not collapse and collapse, for external causes such as, overloads, winds, snow, sisms, floods of flow, maintenance and others. Because of this, new technological advances are made in the field of Materials Science and Engineering, as well as laboratory tests to study the behavior of structures in the face of earthquakes, climatic factors and permanence.

Therefore, it is that this research document will study certain techniques for the remodeling and maintenance of concrete bridges, where materials such as additive, high-strength concrete, etc., can be found, and for the maintenance technology such as drones and structural health monitoring, in order to avoid future damage or to repair damage already present in the structures. With the information obtained, a case of study of a concrete bridge (Puente Socos, Coquimbo Region) will be carried out in order to analyze these techniques already studied v/s those applied in this structure, whether in the technical field (characteristics, applications, etc.), as well as the economic part. For this purpose, interviews were carried out with Professionals of the Ministry of Public Works and bibliographic information regarding the subject

Key Words: Bridge, Remodeling, Maintenance, Techniques, Faults.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN.....	4
SUMMARY.	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
ÍNDICE DE TABLAS.....	12
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. OBJETIVOS GENERALES.	14
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.	14
CAPITULO II. ESTADO DEL ARTE.....	15
2.1. Definición de puente.	15
2.2. Reseña Histórica.....	16
2.2.1. <i>Inicios</i>	16
2.2.1. <i>Puentes en la edad Media</i>	16
2.2.3. <i>Edad moderna</i>	16
2.3. Principales Usos.	17
2.4. Tipología de los Puentes.....	18
2.4.1. <i>Rectos</i>	19
2.4.2. <i>En arco</i>	19
2.4.3. <i>Colgante</i>	20
2.4.4. <i>Atirantados</i>	20
2.4.5 <i>Levadizos</i>	21
2.4.6 <i>Basculantes</i>	21
2.4.7. <i>Plegables</i>	21
2.4.8. <i>Giratorios</i>	22
2.5. Clasificación según longitud total.	22
2.6. ELEMENTOS PRINCIPALES DE PUENTES.....	23
2.6.1. <i>Súper estructura</i>	23

2.6.2. <i>Infraestructura.</i>	23
2.6.3 <i>Fundación.</i>	23
2.6.4. <i>Pilote.</i>	24
2.6.5. <i>Estribos.</i>	24
2.6.6. <i>Cepas.</i>	24
2.6.7. <i>Sistemas de anclajes antisísmicos.</i>	24
2.6.8. <i>Juntas de expansión.</i>	24
2.7. MATERIALIDAD DE LOS PUENTES.	25
2.7.1. <i>Madera.</i>	26
2.7.2. <i>Acero.</i>	27
2.7.3. <i>Hormigón Armado.</i>	28
2.7.4. <i>Hormigón Pretensado.</i>	29
2.7.5. <i>Hormigón Postensado.</i>	30
2.8. ESTUDIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE UN PUENTE.	31
2.8.1. <i>Anteproyecto.</i>	31
2.8.2. <i>Proyecto.</i>	31
2.8.3. <i>Planificación.</i>	31
2.8.4. <i>Estudios básicos de ingeniería para el diseño de un puente.</i>	32
2.9. MÁQUINARIAS E INSTRUMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES.	35
2.9.1. <i>SLJ 900/32.</i>	35
2.9.2. <i>Pilote Rodiostar.</i>	35
2.9.3. <i>Lanzadora de Vigas.</i>	36
2.9.4. <i>Lanzadora de pórticos.</i>	36
2.9.5. <i>Carros de avance para la construcción de puentes en voladizo.</i>	36
2.9.6. <i>Liebherr LTM 11200-9.1.</i>	37
2.9.7. <i>Grúa flotante.</i>	37
2.9.8. <i>Transparencia Mecánica.</i>	38
2.9.9. <i>Impedancia Mecánica.</i>	38
2.10. ESFUERZOS MECÁNICOS DE LOS PUENTES.	39

2.10.1. Corte o Cizalle.....	39
2.10.2. Compresión.....	39
2.10.3. Tracción.....	39
2.10.4. Pandeo.....	40
2.10.5. Flexión.....	40
2.11. FALLAS Y CAUSAS QUE SE PRESENTAN EN LOS PUENTES.....	41
2.11.1. Terremotos.....	41
2.11.2. Erosión.....	41
2.11.3. Erosión por abrasión.....	41
2.11.4. Erosión por Cavitación.....	41
2.11.5. Erosión Hídrica.....	42
2.11.6. Humedad.....	42
2.11.7. Carbonatación.....	42
2.11.8. Corrosión.....	42
2.11.9. Falta de mantención.....	42
2.11.10. Grietas.....	43
2.11.11. Exceso de vibración.....	43
2.11.12. Variación de temperatura.....	43
2.11.13. Eflorescencia.....	43
CAPITULO III. SITUACIÓN CHILE.....	44
3.1. Cantidad de Puentes.....	44
3.2. Entidades encargadas en el control de los puentes.....	47
3.2.1. Ministerios de Obras Públicas (MOP).....	48
3.2.2. Dirección de Vialidad.....	48
3.2.4. Departamento de puentes.....	48
3.3. Puentes Chilenos.....	49
3.3.1 Puente de Chacao.....	49
3.3.2. Puente Cau Cau.....	50
3.3.3. Viaducto del Malleco.....	51
3.3.4. Puente Yelcho.....	52

3.4. Normativas.	53
3.4.1. <i>Manual de Carreteras</i>	53
3.4.2. <i>AASHTO</i>	54
3.5. Consecuencias del Terremoto del 27 de febrero del 2010.	55
3.6. Plan de inversión 2018-2023.	56
CAPITULO IV. TÉCNICAS PARA LA REMODELACION DE PUENTES.	58
4.1. Materiales para la remodelación de la estructura.	59
4.1.1. <i>Polímeros Reforzados con Fibras (FRP)</i>	59
4.1.2. <i>Impermeabilizantes</i>	63
4.1.3. <i>Recubrimiento anti carbonatación</i>	66
4.1.4. <i>Inhibidor de corrosión</i>	67
4.1.5. <i>Sistema Delpatch</i>	68
4.1.6. <i>Ultra- Alta resistencia (UHPC)</i>	69
4.2. Protección Sísmica.	70
<i>Disipadores y Aisladores Sísmicos</i>	70
4.2.1. <i>Aislación sísmica</i>	71
4.2.2. <i>Disipación Sísmica</i>	82
4.3. Juntas de Dilatación.....	83
4.3.1. <i>Juntas elásticas tipo chicle</i>	84
4.3.2. <i>Juntas apernadas de neopreno armado</i>	84
4.3.3. <i>Juntas Modulares</i>	85
4.3.4. <i>Juntas de Dilatación Maurer</i>	86
4.3.4.1. <i>Junta de dilatación de acero</i>	86
CAPITULO V: TÉCNICAS PARA LA MANTENCION DE PUENTES.	87
5.1. Situación Chile.	87
5.2. Inspección de Puentes (Manual de Carreteras).	88
5.3. Inspecciones visuales.	91
5.4. Sistema LAO Freyssinet.....	91
5.5. Monitoreo a través de RPAS (Drones).....	92
5.6. Monitoreo de Salud Estructural.....	93

5.6.1. Pasos de un programa de monitoreo.	94
CAPITULO IV:TÉCNICAS APLICADAS V/S POSIBLES EN PUENTE	
SOCOS.	95
6.1. Reposición de los apoyos.	97
6.2. Reparación del Hormigón en Cepas y Estribos.	99
6.3. Reposición de Juntas de dilatación.	101
6.4. Reposición pavimento con concreto reforzado.	103
6.5. Mantenciones Posibles.	107
6.5.1. Monitoreo de salud Estructural.	107
6.5.2. Monitoreo RPAS.	107
Conclusión.	108
Glosario	109
Bibliografía	111

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Puente Juan Pablo II, Concepción, Chile.	15
Figura 2: Puente Iron Bridge, Primer Puente de Hierro Forjado.	16
Figura 3: Porcentaje de la cantidad de Puentes en relación con materialidad.	45
Figura 4: Concentración de Puentes en la R.M.	46
Figura 5: Cantidad de Puentes No Concesionados por Región.	47
Figura 6: Cantidad de Puentes según Materialidad por Región.	47
Figura 7: Referencia de Puente de Chacao.	49
Figura 8: Puente Cau-Cau.	50
Figura 9: Viaducto Malleco.	51
Figura 10: Puente Yelcho.	52
Figura 11: Inversión Total por Año, Extraído de la tabla 2.	57
Figura 12: Característica Cuantitativas y/o Cualitativas, para Fibras de carbono.	61
Figura 13: Instalación de Sistema TYFO con fibras de Vidrio.	62
Figura 14: Características Cuantitativas y/o Cualitativas, Para fibras de Vidrio.	62
Figura 15: Matriz Resumen de Materialidad.	64
Figura 16: Propiedades Físicas y Rendimiento del Concreto Elastómero.	68
Figura 17: Hormigón Con Fibras.	69
Figura 18: Aislador de Energía LDRB.	72
Figura 19: Aislador con Núcleo de Plomo.	73
Figura 20: Péndulo Friccional.	75
Figura 21: Puente con Aisladores, Visualización con Sismo y sin Sismo.	76
Figura 22: Apoyo de Neopreno.	77
Figura 23: Apoyo Simple en Neopreno Reforzado.	78
Figura 24: Apoyo POT.	79
Figura 25: Demostración de deformación de Junta.	83
Figura 26: Junta Elástica Tipo Chicle.	84
Figura 27: Junta Apernadas de Neopreno Armado.	84
Figura 28: Juntas Modulares.	85
Figura 29: Lamina 7.204.3 A.	89
Figura 30: Lamina 7.204.B.	90

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Cantidad de Puentes y sus Tipologías.....	44
Tabla 2: Plan de Inversión para el Año 2018-2023.....	56
Tabla 3: Presupuesto Oficial para Reparación y Conservación del Puente Socos.....	96
Tabla 4: Soluciones Utilizada / Soluciones Posibles en "Reposición de los Apoyos" ...	97
Tabla 5: Porcentaje de Aumento del Presupuesto con Protección Sísmica.	98
Tabla 6: Soluciones Utilizado / soluciones Posibles para Reparación de Hormigón en Cepas y Estribos.....	99
Tabla 7: Porcentaje de Aumento del Presupuesto con Materiales en Conjunto.	100
Tabla 8: Soluciones Utilizado / Soluciones Posibles para Reposición de Juntas de Dilatación.	101
Tabla 9: Soluciones Utilizada / Soluciones Posibles para Reposición Pavimento con Concreto reforzado.....	103
Tabla 10: Porcentaje de Aumento del Presupuesto con Impermeabilizantes.....	105

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

La utilización de nuevas técnicas para la remodelación y mantención en estructuras como puentes son de gran importancia hoy en día, ya que existen muchas fallas que se producen en estos, y que con el tiempo tienen un elevado costo el tener que reparar de forma convencional. Para lo cual investigar algunas técnicas que puedan ayudar a responder estas variables serian de gran utilidad, sabiendo que los puentes generalmente están expuestos a climas extremos o constantemente sometidos a movimientos, ya sean por el tráfico vehicular o el mismo sismo, que en nuestro caso a nivel país es mayor. Para lo cual se procedió a tener reuniones con profesionales del Ministerio de Obras Publica y además de información bibliográfica existente, para conocer un poco más estas técnicas.

Con esto se conocerá mejor, otras alternativas existentes para remodelar y mantener puentes y así dejar de lado algunas técnicas convencionales las cuales, en su mayoría, no van cumpliendo con los requerimientos necesarios.

A nivel mundial la utilización de técnicas para la construcción, remodelación y mantención de puentes, es vital para que estas estructuras permanezcan en el tiempo.

En nuestro país existen una gran cantidad de puentes, alrededor de 8.000, esta cantidad a dificultado que manejar información acerca de su estado sea complicado de manejar, muchas estructuras han sido dañadas por los terremotos o climas extremos que posee el país, ya que es sabido que Chile es el país más sísmico del mundo junto a Japón, estas circunstancias han llevado a que las estructuras estén constantemente sometidos a fallas, de las cuales muchas se desconocen por no manejar su estado.

Esto por esto que la implementación de nuevas técnicas para la remodelación y mantención sea algo ventajoso a través del tiempo. Muchas de estas técnicas se centran en los materiales como lo son impermeabilizantes, aditivos, usos de fibras y hasta hormigones de Ultra alta resistencia, cuyos hormigones son ideales para este tipo de estructuras. También existen técnicas en base software para monitorear estas estructuras, ya que cuando ocurre un fenómeno como los terremotos es difícil saber que estructuras fueron afectadas, con estos softwares se sabría en tiempo real y sin la necesidad de ir al lugar, conocer cómo se encuentra estructuralmente el puente.

Sin bien estas técnicas pueden ser ventajosas, la variable costo es la que juega un papel importante a la hora de utilizar técnicas nuevas, ya que muchas de estas aumentan considerablemente los costos en un inicio, implicando que la mayoría de las veces sigan utilizándose las técnicas convencionales. Pero que con el tiempo no serían tan costoso, ya que disminuiría la necesidad de reparar en caso tener una respuesta inmediata y cuando se repara las estructuras los costos son tan elevados como la misma construcción.

Para conocer cómo afectan algunas técnicas en el costo, se tomó un puente en específico, “Puente Socos”, puente que se encuentra en reparación y así saber cómo lo repararon y posteriormente saber cómo hubiese sido con otras técnicas.

1.1. OBJETIVOS GENERALES.

Lo que busca este trabajo es estudiar las técnicas que existen para la remodelación y mantención de puentes de hormigón, debido a que esta materialidad es la más común en nuestro país y el resto del mundo, para esto se estudiara como se está llevando actualmente estos procesos en estas estructuras, a través de bibliografía existente y consultando en el Ministerio de Obras Públicas.

Posterior a la recopilación bibliográfica se realizará un caso de estudio, de un puente en concreto (Puente Socos, Región de Coquimbo), esto con el fin de conocer como esta siendo reparado dicho puente y si fueron aplicados algunas de las técnicas a estudiar y/o establecer que técnicas pudieran ser aplicadas y como se alteran los costos al incorporarlos. La información será en base a documentos como las Especificaciones Técnicas, A.P.U y entrevista con Profesional del Ministerio de Obras Públicas.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Revisión del estado del Arte con recopilación Bibliográfica y Obteniendo información en el Ministerio de Obras Publica.
- Conocer la cantidad y distribución en nuestro país de Puentes.
- Conocer la Tipología que más se encuentra en el país.
- Estudiar algunas técnicas que se aplican en estas estructuras.
- Analizar un Puente en particular que sea de hormigón en el país.

CAPITULO II. ESTADO DEL ARTE.

2.1. Definición de puente.

Un puente es un tipo de estructura la cual permite salvar accidentes geográficos, ayudando a tener una conexión entre dos terrenos, los cuales pueden estar separados por ríos, cañones, valles, carreteras, lagos, vía férrea, etc. Permitiendo así el libre tránsito vehicular y/o peatonal. Dependiendo la geografía existente el diseño del puente variara en longitud, material y tipo.



Figura 1: Puente Juan Pablo II, Concepción, Chile.
Fuente: (Campusano, 2012). Obtenido de Ministerios de Obras Públicas.

2.2. Reseña Histórica.

2.2.1. Inicios.

Los puentes tienen sus inicios en la época prehistórica, en donde posiblemente el primer puente pudo haber sido un árbol o piedras.

Todo nace por la necesidad de la humanidad de trasladarse a puntos que se encuentran separados por ríos, lagos, arroyos, etc.

2.2.1. Puentes en la edad Media.

Ya en esta época no fue mucho el cambio que se presentaron en los avances de los puentes, en donde la piedra y la manera seguían siendo utilizados de la misma manera y también siendo el principal material de utilización para la fabricación de estos. También nacen los primeros diseños de puentes como el puente de tipo arco.

2.2.3. Edad moderna.

Ya con en el siglo XIX con la revolución industrial los puentes comenzaron hacer diseñados de hierro, pero estos no poseían la capacidad de soportar grandes cargas, es aquí donde aparece el acero, material cuya resistencia elástica permitía resistir cargas deseadas y por lo tanto también realizar puentes muchos más largos.



Figura 2: Puente Iron Bridge, Primer Puente de Hierro Forjado.
Fuente: (Plasencia, 2011), Obtenido de www.puentemania.com

2.3. Principales Usos.

Un puente puede ser utilizado para diferentes usos, como lo puede ser: ferrocarriles, vehículos como automóviles, peatonal, tuberías de gas o aguas, también se le puede dar usos en conjunto como puede ser un puente peatonal y bicicleta, o automóviles y peatonal y finalmente los que pueden ayudar a salvar tramos donde transitan vehículos y embarcaciones, en donde estos pueden ser los más grandes que existen, abarcando Kilómetros.

➤ **Puentes Peatonales:**

Puente destinado exclusivamente para el tránsito de personas. Generalmente son de longitudes pequeñas en relación a los de otros tipos de puentes.

➤ **Puentes de Ferroviarios:**

Puentes destinados exclusivamente para el tránsito de ferrocarriles. Los cuales en nuestro son manejados por la empresa de ferrocarriles del estado EFE.

➤ **Puentes de Carreteras:**

Puentes que ayudan a darle continuidad a una carretera. Estos son los que más se encuentran en el país en especial en la zona sur.

➤ **Puentes para Acueductos:**

Puentes que permiten que un canal salve depresiones.

➤ **Puentes Especializados:**

Puentes que cumple ciertas funciones.

➤ **Puentes de Embarques:**

Son puentes que permiten que los aviones puedan embarcar.

2.4. Tipología de los Puentes.

Los puentes se van clasificando según su diseño, en donde estos dependerán de cómo lo estime conveniente el ingeniero y además en donde será emplazado, debido a las características que tiene cada tipología, ya que estos no pueden ser utilizados de igual manera, como, por ejemplo: un puente recto no puede abarcar grandes luces como una atirantado o un colgante, debido a que no es el idóneo para utilizarlo para salvar las luces más grandes. Dentro de los tipos de puentes podemos encontrar los puentes rectos, arcos, atirantados, colgantes, basculantes, las cuales se presentarán a continuación.

Cada tipología de puente tiene un proceso constructivo diferente ya que los materiales empleados van variando según el tipo y zona donde será emplazada, en algunos puede que el terreno tenga mayores desniveles que otros o el tipo de suelo sea más dificultoso de construir, es por eso que, dependiendo el uso y la ubicación de este, será su tipología.

2.4.1. Rectos.

Este tipo de puente es el más básico debido a su diseño, el cual los vanos son sostenidos por vigas. Este tipo de puente se puede construir con madera, acero o sistema mixto (Hormigón y acero). Los puentes rectos generalmente son utilizados para salvar pequeñas luces y la mayoría está construido por hormigón armado. Cuando se requiere salvar luces un poco más grandes se debe colocar más cantidad de cepas, para que no queden expuestas las luces a los esfuerzos de tracción en la zona inferior del tablero principal.

2.4.2. En arco.

El puente de arco debe su nombre debido a que su estructura forma un arco entre las cepas las cuales hacen que las cargas efectuadas en el tablero se distribuyan de tal manera que circulen por todo el arco trasmitiéndolas a las cepas y estas al terreno. (Structuralia, 2015)

Este tipo de puente no es muy común su construcción hoy día, ya que las tecnologías existentes hacen que no amerite la construcción de estos, dándole preferencia a otro tipo. Pero antiguamente se utilizaban ya que también era una forma de darle estética al puente.

Este tipo de diseño que presenta, consta de apoyos en los extremos realizando una forma en arco en su vano, distribuyendo su carga hacia los extremos y que a su vez estos la distribuyen al terreno, las fuerzas que se transmiten trabajan en las dos direcciones, en los ejes “X” e “Y”, y no como en los otros casos en donde las cargas son transmitidas de forma vertical en las cepas, ósea en el Y.

2.4.3. Colgante.

Es un tipo de puente donde la plataforma se encuentra sostenida por cables de suspensión que van anclados en las torres y a su vez en estos cables, se encuentran otros cables en suspensión que se ubican de forma vertical, resistiendo toda la carga de la plataforma. Los cables suspendidos que se apoyan en las torres son más largos debido a que sus extremos van anclados en unos soportes a nivel de plataforma. (Revista Construye, s.f.)

Este tipo de puente es el que se emplea para salvar las luces más grandes, debido a su diseño. Este tipo de puente puede llegar a salvar tramos que son en kilómetros. Su diseño implica a que los ingenieros lleven años realizando los cálculos, ya que estos puentes son utilizados generalmente en ríos, océanos, lagos, ósea prácticamente en zonas donde el viento tiende a ser mayor, y también en donde llegar a la roca madre lleva un tiempo más prolongado debido a las marejadas. Ya con esto se puede estimar a simple vista que su construcción tiene un alto costo.

En el caso de Chile actualmente se está realizando la construcción de un puente colgante considerado el que va hacer el más grande de Latinoamérica, el que lleva el nombre del puente de CHACAO.

2.4.4. Atirantados

En el caso de este tipo de puente la plataforma está suspendida en pilones, en los cuales estos pilones son sostenidos por tirantes gruesos, la ubicación de estos tirantes va desde la plataforma al pilón hasta pasar al otro lado y volver a la plataforma (a la mitad del tramo). (Carrión Viramontes, Hernández Jiménez, & Terán Guillén, 2005)

Los puentes atirantados son utilizados para salvar grandes luces, su cálculo y construcción tienden a ser más complejos, ya que las cargas que debe soportar el puente, las debe resistir estos mismos tirantes.

2.4.5 Levadizos.

Este es un tipo de puente móvil, en donde también fueron los primeros en ser utilizados, debido a que, en la edad media, ya se utilizaban en las entradas como una forma de asegurar el ingreso a sus territorios. Los puentes levadizos se utilizan hoy en día para darle el libre tránsito a embarcaciones, su particularidad es que solo tiene una plataforma la cual se eleva de forma perpendicular con respecto al terreno.

2.4.6 Basculantes.

Los puentes basculantes son un tipo de puente móvil, el cual es utilizado en zonas donde transitan embarcaciones, la finalidad de este tipo de puentes es que no sea necesario realizar puentes más altos y así darle continuidad a los caminos y a su vez facilitar el tránsito de las embarcaciones. Los puentes basculantes están compuestos por dos plataformas (brazos), los cuales se levantan cuando una embarcación se aproxima a pasar por dicho lugar, estos se levantan gracias a los contrapesos que tienen, los cuales están situados por debajo de las dos plataformas. Este tipo de puente es diferente al voladizo, debido a que el voladizo está compuesto por una sola plataforma.

2.4.7. Plegables.

Es un tipo de puente, el cual está dividido por un conjunto de plataformas las cuales están conectadas entre sí, para así darle el libre tránsito a embarcaciones, su forma de funcionar consiste en que las secciones que tiene, realizan pliegues entre sí, de forma que se van recogiendo como un acordeón, estos se recogen solamente hacia una orilla del río, canal, etc.

Los puentes plegables no son puentes comunes, muchas veces estos tipos de diseños son llevados a cabo para marcar una diferencia en la ingeniería actual y desafiando a sí a lo que se tiene costumbre.

2.4.8. Giratorios.

Este tipo de puente es aquel que tiene una o más plataformas que giran a través de un eje central de la pila, su giro es de 90° con respecto a su posición inicial, esto ayuda a que las embarcaciones transiten por ambos costados de la plataforma una vez que se realiza la rotación.

2.5. Clasificación según longitud total.

La clasificación de la longitud se deberá al tipo de uso el cual será destinado el puente y además de su ubicación geográfica, los puentes más pequeños generalmente son para tránsito peatonal y los de longitudes mayores son para el libre tránsito de embarcaciones. Entre mayor sea la longitud a salvar, mayor será el costo, debido al tipo de puente que se empleara. (Ingenieriaymas, 2016)

- ✓ ***Puentes Menores:*** 10m a 40m.
- ✓ ***Puentes Medianos:*** 40m a 200m.
- ✓ ***Puentes mayores:*** 400 a 600m
- ✓ ***Puentes de grandes luces:*** Mayores a 600m

2.6. ELEMENTOS PRINCIPALES DE PUENTES

Los puentes cuentan con dos elementos que son relevantes en su estructura, los cuales son la infraestructura, elemento el cual se compone de subelementos que son los encargados de recibir las cargas y así transmitir las al terreno y la superestructura, que es el elemento que le da continuidad a la calzada de un camino, en estos se pueden encontrar las barandas, veredas, etc. Dentro de los elementos que podemos encontrar en los puentes se distinguen los más importantes los cuales son:

2.6.1. Súper estructura.

La súper estructura corresponde a la parte superior del puente, la cual está constituida por otros elementos que le permite dar continuidad a un camino, estos elementos son: travesaños, tablero resistente, vigas, arrostramientos, barandas etc. Es en la súper-estructura donde se encuentran las cargas dinámicas, debido que es aquí donde circula el tránsito vehicular y/o peatonal.

2.6.2. Infraestructura.

La infraestructura de un puente corresponde al conjunto de elementos que son la base de un puente y que está constituido por estribos, cepas (apoyos centrales) y las fundaciones. Todos estos elementos son los encargados de recibir las cargas, ya sean estáticas o dinámicas y posteriormente transmitir las al terreno.

2.6.3 Fundación.

La fundación es el elemento de un puente ubicado en la parte más baja, su función es la de transmitir las cargas realizadas del puente hacia el terreno. Este elemento debe estar diseñado para resistir todas las cargas que transmite el puente en conjunto. Además, es la encargada de estabilizar la estructura en el terreno.

2.6.4. Pilote.

Es un elemento que se encuentra en la base del puente, encargada de distribuir todas las cargas, ya sean muertas o vivas al terreno natural, su utilización se aplica cuando es inviable la utilización de métodos convencionales como lo es el de tipo zapata, debido a que algunos estratos se encuentran en zonas muy profundas, como por ejemplo cuando se construye un puente en el mar, donde el terreno natural se encuentra a una profundidad tal, que siempre se debe llegar a la roca madre, es por esto que se aplica la técnica pilote.

2.6.5. Estribos.

Este elemento es la encargada de realizar la conexión entre la superestructura y el terraplén y a su vez de recibir y soportar la carga de esta. Este elemento está conformado por una losa de fundación, la cual transmite las cargas directamente al terreno, también el estribo debe tener juntas de dilatación, esto por el desplazamiento que presenta de la superestructura. Es en este elemento donde la plataforma se apoya en sus extremos dándole continuidad al pavimento.

2.6.6. Cepas.

Las cepas son elementos que pertenecen a la infraestructura, estos son apoyos intermedios de dos o más tramos, son las encargadas de recibir las cargas permanentemente del puente y transmitirlas a los cimientos. También las cepas deben ser diseñado de tal forma que no falle por causas del entorno como lo es la erosión o abrasión por partículas que arrastra el cauce.

2.6.7. Sistemas de anclajes antisísmicos.

Son elementos que se encuentran entre la superestructura y sus apoyos, y su finalidad es la de evitar el desplazamiento del primero de estos con respecto a los apoyos ante la presencia de sismos.

2.6.8. Juntas de expansión.

Elemento del puente cuya función consiste en permitir deformaciones longitudinales debido a los cambios de temperatura u otras acciones, para que así los elementos no se encuentren entre sí.

2.7. MATERIALIDAD DE LOS PUENTES.

A lo largo de la historia los puentes han ido evolucionando en lo que materialidad respecta, debido a que los primeros puentes fueron de madera y piedra, con el tiempo fueron siendo contruidos por ladrillos y otros, pero hoy en día el hormigón y el acero con los principales materiales que se utiliza, y muy pocas veces los de madera, debido a que la vida útil de estos son menores en comparación con el Hormigón y el acero, además llevar una correcta mantención es más difícil, porque este tipo de puente suele ser más fácil a que falle por agentes externos; dentro los materiales que se presentaran a continuación podemos encontrar la madera, acero, hormigón, hormigón armado, pretensado y postensado, explicando sus características donde se incluirán las ventajas y desventajas de estos y ver cuál es el mejor material a utilizar sin dejar de lado en qué tipo de uso será, porque si es un puente de 4 mt para uso peatonal, obviamente no se utilizara un puente postensado, debido a los costos que este implica, donde el de madera podría ser el más viable, ya sea por costos como por vida útil.

A continuación, los materiales utilizados en la construcción de puentes son:

2.7.1. Madera.

La madera fue uno de los primeros materiales en los cuales se construyeron puentes, en donde quizás tan solo el hecho de cortar un árbol y colocarlo sobre un río o arroyo ya ayudaba a cruzar de un lado a otro. También la madera es un material mucho más fácil de trabajar en comparación con los otros, es por esto que existe una cantidad de puentes de madera mayor que otros materiales como la piedra, pero uno de los inconvenientes de este material tiene que ver con su durabilidad, debido a que está muy expuesto a agentes, como fuego, termitas, clima, humedad, etc. Hoy en día con las nuevas tecnologías en los materiales, la madera ya está quedando afuera de la construcción de puentes, a excepción de algunos casos en particulares, pero prácticamente no se utiliza, debido al gran uso del hormigón armado.

Ventaja.

- Rapidez en su construcción.
- Amigable con el medio ambiente.

Desventaja.

- Deterioro a través del tiempo en el caso de que no se tenga un cuidado adecuado de este.
- Vulnerable al fuego.
- Inclemencia climática como es el sol y la lluvia

2.7.2. Acero.

Debido a sus características el acero comenzó a ser muy utilizado en las grandes construcciones, dejando de lado así a muchos materiales que se utilizaban antes que este, de hecho, hoy en día el acero es uno de los materiales más utilizados debido a las características de resistencia que posee, pero con un alto costo, pero también una construcción más rápida. Si bien es un material resistente a soportar grandes cargas, también posee debilidades como es la corrosión en caso que no se lleve un adecuado control de su estado, debido a que está sometido constantemente a las inclemencias del clima, pero el fuego también es un agente que debilita al acero, haciéndolo perder sus propiedades físicas y llevándolo así a que fatigüe y lleve al colapso de un puente.

Muchos de los puentes más emblemáticos están hechos de acero, como es el caso del puente Golden Gate, en San Francisco, EE.UU.

También es utilizado en los tirantes o cables de los puentes atirantados o colgantes.

Es por esto que el acero es un material muy importante en los puentes, además que le aporta en las resistencias mecánicas al hormigón.

Ventaja-

- Rapidez en su construcción.
- Mayor durabilidad.
- Facilidad de transporte.
- Es idóneo en caso que se requiera cambiar el diseño.

Desventaja.

- Sometido al constante cambio de temperatura.
- Alto costo del acero.
- Posibles fallas por corrosión.
- Posible falla por fatiga.

2.7.3. Hormigón Armado.

El hormigón armado es el material más utilizado en la construcción de toda de infraestructura desde viviendas a mega puentes o rascacielos, esto debido a su resistencia mecánica a la flexión, pero la resistencia a este fenómeno nace a que el hormigón armado es una unión de materiales los cuales son el hormigón y el acero, en donde cada material tiene una resistencia diferente a ciertas cargas, en donde el hormigón es un material que resiste bien a la compresión pero no a la tracción, es aquí donde aparece el acero, material resistente a la tracción pero no a la compresión; al unir estos dos materiales se forma un solo material que es el hormigón armado en donde tiene la habilidad de resistir a la compresión y tracción, cuyo nombre recibe la flexión. Estos dos materiales (hormigón y acero) deben estar adherido de tal forma que no separen en ningún momento y así uno suple la resistencia que no tiene el otro.

Antiguamente las barras de aceros que se introducían en el hormigón, eran lisas, pero a través del tiempo con ensayos se dieron cuenta que las barras debían tener resaltes, de manera tal, que estos quedaran mejor adheridos al hormigón y así subió su resistencia considerablemente.

Ventaja.

- Duración de vida útil es mayor.

Desventaja.

- Con lleva un alto costo, en especial en nuestro país, por la variable sísmica presente constantemente.
- Tiempo de construcción es mayor.

2.7.4. Hormigón Pretensado.

El hormigón pretensado consiste en la colocación de cables al interior del hormigón, esto con la finalidad de ayudar al hormigón a resistir las cargas de tracción debido a que el hormigón es un material que resiste de muy buena manera la compresión, pero no así la tracción. la construcción de esta tipología del hormigón, consiste en colocar las barras o cables de aceros previo a la puesta en marcha del hormigonado, de ahí que proviene el “pre”, los cables se ubican en el lugar que corresponde, ya ubicados se deben estirar los cables de tal manera que queden tensadas, esto se realiza con unas gatas hidráulicas, ya una vez que son estirados, comienza el vaciado del hormigón, el hormigón debe iniciar su fraguado para que pueda adquirir dureza, una vez ya cumplido esto, se inicia a soltar los cables los cuales quedan tensado y trabajando a tracción mientras que estos mismos hacen quedar al hormigón trabajando a compresión, con esto el hormigón está apto para trabajar y resistir a tracción y compresión.

Ventaja

- Ayuda a disminuir costos.
- Facilidad en la puesta en marcha debido que son elementos industrializados.
- Mayor eficiencia

Desventaja

- El diseño estructural suele ser más complejo.
- Se requiere mano de obra especializada.

2.7.5. Hormigón Postensado.

El hormigón postensado cumple las mismas características que el pretensado con la diferencia que este no queda adherido al hormigón, debido a que puede transmitir esfuerzos de tracción al hormigón al momento de ser estirados los cables o barras de acero, es por esto que, al momento de realizar el encofrado para el hormigón, se deben colocar unas vainas plásticas, las cuales posterior al fraguado del hormigón pasaran los cables por dentro de estas, para que puedan ser estiradas. Para que los cables queden protegidos y así el elemento que quede como un solo elemento monolítico se debe rellenar las vainas con morteros de altas resistencias.

Ventaja

- Aumenta la vida útil del hormigón al disminuir la fisuración.
- Es más eficiente.

Desventaja

- Los cálculos de cargas a las cuales estará sometido la estructura suelen ser más complejos.
- Al ser un método más complejo que el que se aplica con el hormigón, requerirá maquinaria y mano de obra especializada.

2.8. ESTUDIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE UN PUENTE.

Es sabido de la gran importancia que tiene un puente en un país y el riesgo que siempre conlleva el construir uno, debido al alto tránsito y ataque de agentes externos e internos es indispensable un gran estudio previo antes de la materialización de este, en donde en algunos casos puede llevar años en la realización de estos, debido a las complicaciones que presenta construirlos. Algunos de estos estudios deben arrojar una gran cantidad de información como lo puede ser el estudio de los suelos donde se emplazará la estructura o también como lo son los estudios sísmicos, ya que este factor es una causa por el cual generalmente se desploma un puente, ya que somete realmente a un puente, en especial si hablamos de nuestro país que es sabido su altísimo nivel sísmico y que además poseemos una gran diversidad de fenómenos climáticos junto con la geografía. A continuación, se detallarán los estudios relevantes para el diseño de un puente.

2.8.1. Anteproyecto.

El anteproyecto consiste en abordar los criterios fundamentales para realizar una propuesta, las cuales se desarrollarán posteriormente en el proyecto. Esto ayuda para plasmar los objetivos de una idea la cual se quiere realizar. Los anteproyectos son fundamentales en las áreas de ingeniería y arquitectura.

2.8.2. Proyecto.

El proyecto se lleva a cabo cuando los objetivos o criterios abordados en el anteproyecto son aceptados, para lo cual ya en el proyecto se deja establecidos los objetivos definitivos para realizar el producto o servicio, que para nuestro efecto sería el proyecto de un puente.

2.8.3. Planificación.

En esta etapa el ingeniero debe comenzar a considerar ciertos aspectos, como posición, tamaño, el uso que este tendrá para saber las cargas a las cuales serán sometidas. Una buena planificación conlleva un buen resultado.

2.8.4. Estudios básicos de ingeniería para el diseño de un puente.

Son estudios que se deben tener en consideración, debido a que toda zona es diferente al momento de construir un puente, los siguientes estudios son los considerados básicos, debido a que es la primera información que se debe recabar para el diseño del puente.

La parte de los estudios son los que implican un mayor tiempo cuando se requiere construir un puente, esto porque se deben realizar todo tipo de estudios, para resguardarse que el puente perdurara en el tiempo y no colapsara por variables externas e internas.

2.8.4.1. Estudio Sísmico de Riesgo Sísmico.

Este estudio es uno de los más importantes debido que nuestro país es uno de los países más sísmicos, la finalidad de esta etapa es establecer los aspectos de diseño, para saber cómo actuaran los elementos del puente al momento de presenciarse un sismo y así ya diseñarlo con ciertos criterios.

Para realizar este estudio se deberá tener ciertos datos, como lo son:

Ubicación del puente: debido a que no todos los lugares actúan de la misma manera ante el efecto de un sismo.

Tipo de puente: no todos los puentes actúan de la misma manera ante los sismos, debido a su materialidad como a su longitud, ya que entre más largo es más fácil que se presenten deformidades.

Tipo de suelo: los suelos van variando según la zona, puede que se requiera construir en una zona rocosa o en zona arcillosa, dependiendo de esto se deben ir realizando estudios diferentes, ya que el diseño variara, ya que muchas veces si se encuentra en zonas arcillosas se deberá perforar hasta llegar a la roca madre, afectando así en las longitudes de las pilas y por ende en los costos, en cambio sí se construye de manera directa en una zona rocosa, no será tan necesario dimensiones mayores en las pilas.

2.8.4.2. Estudios Topográficos.

Ayuda para saber dónde específicamente se ubicará los elementos del puente y que para tales efectos se necesitaran los planos de ubicación, la planimetría de curvas dependiendo el tipo de terreno donde se emplazara. Prácticamente ayuda a conocer el entorno al cual se enfrentan los profesionales.

2.8.4.3. Estudios de Hidrología e Hidráulica.

Es un tipo de estudio, la cual recaba la información de las precipitaciones anuales, crecidas máximas, mínimas y los caudales, En el caso que el puente se ubique en un lugar de ríos, lagos, etc. Se deberán mantener los registros históricos de las crecidas del agua, para así tener un conocimiento claro de la altura con la cual se diseñará o para saber si es viable construir en dicho lugar. Además, se estudia como interactúa los caudales, ya que, si tiene un movimiento muy fuerte, estos hacen que al chocar con las cepas de puente comienza un fenómeno llamado erosión, que es el desgaste de la estructura, este estudio es fundamental para definir los diámetros de pilas y cepas.

2.8.4.4. Estudios Geológicos y Geotécnicos.

Estudio en donde se establecen las características geológicas propias de diferentes formaciones del suelo, identificando a su vez la distribución las características geotécnicas. Como lo son:

Dureza del terreno-Tipo de suelo-Espesores de los estratos-Profundidad de Roca Madre-Clasificación por tamaño de las partículas.

Para la realización de estos estudios se deben realizar ensayos, ya sean de campo donde se obtienen las resistencias y deformidades, como los ensayos de laboratorios en donde se realizan los ensayos con las normativas técnicas.

Dentro de estos ensayos podemos encontrar el “Ensayo de Penetración Estándar” (SPT de sus siglas en ingles), este ensayo consiste en la penetración del terreno para obtener un reconocimiento geotécnico, a través de golpes que ayudan a introducir en el terreno una sonda que obtiene una muestra normalizada en donde las dimensiones obtenidos son de 63,5 Kg. y 75 cm de diámetro.

2.8.4.5. Estudio de Impacto Ambiental.

Estudio de gran relevancia al querer construir un puente, ya que con esto se evalúa el entorno del lugar, las cuales no generen alteraciones al ambiente.

Estos estudios tienen la intención de disminuir, mitigar corregir, todo lo que pueda ser alterado al momento de realizar un proyecto. En Chile todo proyecto a realizarse debe tener una declaración de impacto ambiental (DIA) y un estudio de impacto ambiental (EIA), las cuales organismos competentes las evaluarán dándole la aprobación o rechazo, en el caso de un rechazo se deberá realizar de nuevo con las correcciones de las observaciones realizadas, el proyecto no puede comenzar a construirse en el caso de rechazado.

2.8.4.6. Estudios de Tráfico.

Este estudio es determinante debido a que es la que encargara de estimar cuanto es la cantidad de vehículos que circulan diariamente por ciertas zonas, con estos datos se pueden estimar de cuanto serán las cargas dinámicas (vehículos) para calcular un puente, también ayuda a saber si es necesario realizar un puente para tener conectividad, ya que en muchas zonas el tránsito de vehículos es escasa, por lo cual no amerita una inversión para este de infraestructura.

2.9. MÁQUINARIAS E INSTRUMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES.

Existen un sinnúmero de máquinas que ayudan a la construcción de puentes, donde algunos se caracterizan por construir de forma automatizada las plataformas de los puentes entre cepas, otros donde se debe realizar de la forma tradicional, que es encofrados y recurso humano. También existen instrumentos, los cuales aportan en la construcción llevar un análisis de ciertos aspectos, como lo puede ser instrumentos que ayudan saber si un pilote fue hormigonado correctamente en sus profundidades y que no presenten los llamados “nidos de piedra”. A continuación, se presentarán algunos instrumentos y maquinarias que se utilizan en la construcción de puentes.

2.9.1. SLJ 900/32.

Es una máquina creada en China y que ayuda en la construcción de puentes y vías de tren, está construido de tal forma que les permite construir los puentes de formas más rápido (60% más rápido que otro método), pero con una particularidad, que consiste en que siempre se encuentra suspendida en el aire, pero manteniéndose fija en los pilares propio del puente que ya son construidos.

La máquina fue construida por la empresa asiática Shijiazhuang railway design institute. Una de las características más llamativas es su impresionante tamaño, la cual es de 91,8 m de largo, 7 m de ancho, también posee 64 ruedas las que se encuentran repartidas en 4 grupo de 16 ruedas cada una, todo esto la hace tener un peso impresionante de 580 Toneladas. (Reveal Maquinaria., 2018)

2.9.2. Pilote Rodiostar.

Es una máquina para realizar las perforaciones de los pilotes a través de una hélice, la cual ayuda a retirar los residuos excavados, permite la realización de perforaciones de un diámetro de hasta 1.2 m y para una profundidad de 30m. además permite la realización del hormigonado al momento de ir retirando la hélice. (Rodio Kronsa)

2.9.3. Lanzadora de Vigas.

La utilización de la lanzadora de vigas es utilizada cuando la utilización de grúas convencionales no es viable. Con este tipo de grúa la productividad disminuye debido a la complejidad que con lleva la puesta en marcha, también amerita que sean manejado por personal especializada, por los esfuerzos que genera ya que se compromete la estabilidad del conjunto.

Las vigas de este sistema pueden llegar a cubrir luces que oscilan en los 35 y 75 mt, con pesos que varían entre los 600 kN y 4500 kN y pendientes máximas de 5%. La grúa cuenta con dos vigas reticuladas unidad en sus extremos que permiten elevar la viga.

2.9.4. Lanzadora de pórticos.

La lanzadora de pórtico es un tipo de grúa, el cual se utiliza para la construcción de puentes, en donde su funcionalidad consiste en el levantamiento y transporte de vigas prefabricadas. Esta grúa tiene un alto rendimiento y seguridad para lo cual es mejor su utilización en comparación con las grúas convencionales.

La lanzadora de pórticos no amerita que su estructura principal tenga que ser apoyada en el terreno como en otros tipos de grúas, ya que, tiene la capacidad de construir el puente colocando las estructuras de la plataforma entre cepas en la zona de arriba.

2.9.5. Carros de avance para la construcción de puentes en voladizo.

Es un sistema que permite el avance a través de carros para la construcción de puentes en voladizo. Es un sistema en donde el carro avanza a medida que se va hormigonando el tablero principal de la estructura. Para esto se debe garantizar la posición geométrica y soportar su propio peso previo al fraguado del hormigón, para esto se debe apoyar en la penúltima dovela, equilibrada a través de contrapesos traseros.

2.9.6. Liebherr LTM 11200-9.1.

Es la grúa más grande que existe en el mundo, debido a sus características y capacidades, ya que puede elevar 1.200 toneladas a una altura de 50 mt, y mientras aumenta la carga disminuye la altura que alcanza.

Esta grúa fue construida por la empresa Liebherr Group y consta con un contrapeso de 202 toneladas y posee cuatro brazos de 14 mt que ayuda a estabilizar la grúa. Es mayormente utilizada para Obras Civiles, pero habitualmente utilizada para la mantención y reparación de torres eólicas. (Liebherr)

2.9.7. Grúa flotante.

Las grúas flotantes son construidas para levantar cargas elevadas en el medio marino. Este tipo de grúa presenta una ventaja en comparación con sus homónimas que son en tierra, ya que se tiene conocimiento y características del agua, en cambio las que se utilizan en tierras se debe conocer previamente como es el subsuelo, ya que estos varían según el lugar. Estas grúas son fijas, que no tienen la capacidad de girar en su eje, lo que conlleva que la carga debe ser acercada a la grúa para realizar el izado. Estas grúas pueden llegar a levantar cargas desde las 50 a 4.000 toneladas.

2.9.8. Transparencia Mecánica.

Es un tipo de ensayo la cual consiste en el seguimiento del tiempo de propagación a presión desde un emisor y un receptor, con sus ubicaciones conocidas, son utilizados pilotes de hormigón armado. Este método que es un ultrasonido es el método más preciso para la detección de anomalías y establecer si el hormigón es homogéneo o heterogéneo.

Para efectuar dicho ensayo se debe conocer la distancia “L”

El tiempo de propagación que tarda “ $T=L/C$ ”

Donde “C” corresponde a la velocidad de propagación en un medio infinito.

El tiempo en el que debe propagarse la onda debe ser uniforme, si el tiempo comienza a disminuir, esto significa que hay zonas con distintas características en el material, como, por ejemplo: baja resistencia, nidos, etc.).

2.9.9. Impedancia Mecánica.

Es un tipo de ensayo de integridad para cimentaciones en pilotes fabricados con hormigón armado. El ensayo consiste en la aplicación de un conjunto de golpes en el cabezal del elemento con martillo manual plástico, estos golpes son para saber si el ruido producido en el golpe es uniforme y estable.

Al ser golpeado el pilote este emite una onda que viaja por todo el elemento hasta devolverse al mismo punto de donde fue emitido el golpe. Para estudiar la onda emitida es utilizado un acelerómetro de alta sensibilidad, donde es instalado también en el cabezal del pilote, lugar donde se efectúa el golpe, todo esto para registrar el golpe realizado y la señal que refleja, para así saber cómo es la amplitud de la onda y el tiempo que demora la señal al chocar con alguna anomalía en el pilote.

2.10. ESFUERZOS MECÁNICOS DE LOS PUENTES.

Los puentes están constantemente recibiendo diferentes tipos de esfuerzos, estos pueden ser por características propias de su estructura como también lo pueden ser las externas, que son provenientes del entorno donde se encuentran. Debido a este esfuerzo es que se demora el diseño del puente porque para saber cómo será el esfuerzo, se debe conocer el entorno, como por ejemplo si el lugar donde se empleara, existe un gran tránsito vehicular o si las condiciones climáticas son fuertes. Dependiendo de estas características se conocerá a que esfuerzo estarán más expuestas las estructuras.

2.10.1. Corte o Cizalle.

Este esfuerzo es más conocido por esfuerzo cortante, debido a como su nombre lo dice, corta un elemento, debido al deslizamiento de una estructura sobre la otra, en los puentes este fenómeno se presenta en la unión entre cepa y plataforma, en donde la cepa debe recibir toda la carga de esta, si la cepa recibe mucha carga, este puede llegar a perforar el tablero haciendo que la plataforma colapse.

2.10.2. Compresión.

La compresión se debe a que cuando un elementos u objeto al recibir una carga en la misma dirección, este acorte sus dimensiones. En los puentes en la cara superior del tablero es donde se produce más compresión por constante tránsito de vehículo, y el hormigón es un material que dentro de sus características mecánicas es soportar el esfuerzo a la compresión.

2.10.3. Tracción.

Esfuerzo el cual hace que un objeto o elemento se alargue debido a dos fuerzas contrarias en el mismo sentido, en el caso de los puentes la tracción se produce generalmente por debajo del tablero, es por esto mismo que es que se instalan vigas de grandes dimensiones, ya que están son las encargadas de que el puente no falle al recibir exceso de carga y se produzca un exceso de tracción. También es por esto que es fundamentales la armadura de acero ya que el acero suple este esfuerzo debido a que el hormigón no resiste dicho esfuerzo.

2.10.4. Pandeo.

Este esfuerzo se debe a cuando un elemento recibe sobre cargas de forma axial al elemento, generalmente los elementos como pilares son los que pueden fallar por este esfuerzo, ya que este elemento trabaja contra esa carga, es por esto mismo que para evitar esto, la carga recibida debe ser distribuida de tal forma que no se produzca tal fenómeno. Donde los pilares o cepas son los más propensos a este fenómeno. Debido a esto es que cuando ocurre un terremoto las cepas se destruyen en su zona media, ya que ahí se concentra la carga del pandeo.

2.10.5. Flexión.

La flexión es un tipo de carga en donde están involucradas las descargas antes mencionadas, la compresión y tracción, este esfuerzo se produce cuando un elemento está sometido a una carga, la cual provoca que por un lado de la cara del elemento (que es donde se produce la carga), este comience a comprimirse y por el lado opuesto, ósea la cara contraria se alargue dándole lugar a la tracción, este tipo de esfuerzo se puede apreciar en los tableros de los puentes.

2.11. FALLAS Y CAUSAS QUE SE PRESENTAN EN LOS PUENTES.

Los puentes están constantemente expuestos a diversos agentes, los cuales provocan daños que a futuro podrían provocar un posible deterioro o falla, que con el tiempo se convierta en un colapso de la estructura, a continuación, se presentaran algunas causas por las cuales los puentes deben ser reparados para evitar un futuro colapso.

2.11.1. Terremotos.

Como primera causa por la cual los puentes fallan es debido al ámbito sísmicos, ya que estas estructuras están expuestas constantemente a estos. Los terremotos hacen que el puente se mueva en diferentes direcciones, haciendo que trabajen sus elementos completamente, Chile es uno de los países con más terremotos en el mundo por lo cual sus estructuras son las más expuestas, lo que significa que se deban evaluar sus estados constantemente. Ya que los terremotos hacen que los elementos trabajen en sus diferentes esfuerzos mecánicos, como los son: cizalle, tracción, flexión, flexo tracción, fisuramiento, etc. Generalmente los puentes colapsan por esta causa, es por eso que los estudios de sus diseños se prolongan por años antes del visto bueno.

2.11.2. Erosión.

La erosión consiste en el roce o frotamiento superficial de un elemento, en el caso de los puentes la erosión se produce generalmente en su base, debido al constante movimiento de las aguas, donde estos también traen materiales particulares, provocando que la erosión vaya en aumento a través del tiempo, a continuación, se presentan algunos tipos de erosiones.

2.11.3. Erosión por abrasión.

Este tipo de erosión es producida por la constante circulación peatonal y de vehículos, esto quiere decir que son producidas por acciones mecánicas.

2.11.4. Erosión por Cavitación.

Es un tipo de erosión que produce desgaste en las superficies de los hormigones en contacto con las corrientes de aguas, atacando el hormigón de forma tal que esta produce picaduras las cuales se van uniendo a erosión de mayor amplitud en la superficie.

2.11.5. Erosión Hídrica.

En este tipo de erosión es donde se producen las excavaciones profundas provocadas por el agua dándole origen a la socavación. este se produce por los remolinos de agua, debido que las corrientes de aguas se encuentran con algún obstáculo que produce su formación.

2.11.6. Humedad.

Gran parte de los puentes se encuentran en ríos, valles u otras zonas donde la presencia de humedad es alta, es por esto mismo que es una de sus fallas más comunes, la cuales provocan humedad capilar, humedad de filtración, humedad de condensación, etc. Provocando que se produzcan fallas por carbonatación, corrosión, etc. Debilitando así elementos de la estructura a través del tiempo.

2.11.7. Carbonatación.

Es una reacción química que a través de la penetración del dióxido de carbono CO_2 provocando la disminución de PH en los elementos haciendo que comience una corrosión, debido a que estos penetran hasta llegar a la estructura de acero, es por lo mismo que el recubrimiento de los puentes tiene un papel fundamental a la hora de prevenir esta patología y futuros colapsos de los puentes.

2.11.8. Corrosión.

Muchas veces los puentes pierden su recubrimiento a través del tiempo debido a sismos que hace que se desprenda hormigón de ciertas zonas, dejando así expuestas las armaduras de acero, y al ocurrir esto comienza el proceso de corrosión, que es la pérdida progresiva de partículas en el acero, que finalmente va paulatinamente debilitando la estructura.

2.11.9. Falta de mantención.

En Chile existen casi 8.000 puentes, lo que hace que su falta de control en la mantención de los puentes sea más complicada, ya que es casi imposible tener el control de todos estos, provocando que algunos no se le un control como responde y provocando que estos, en el caso de que tenga falla, no sea detectado a tiempo y posteriormente se corra el riesgo de derrumbe.

2.11.10. Grietas.

Las grietas son producidas por deformación en los elementos por cargas mecánicas o medioambientales, las cuales pueden ser causadas por contracción, esfuerzo cortante o torsión.

Cuando se producen las grietas los elementos de hormigón quedan expuestos a sufrir otras falladas ya mencionadas.

2.11.11. Exceso de vibración.

Al ser diseñado un puente, uno de los primeros estudios que se realiza, es la carga que deberá resistir, es por esto mismo que cuando se habla de exceso de vibración se refiere a las cargas no consideradas en dicho estudio, y por ende, se debe tener especial cuidado con esto, porque es una de las formas más fáciles de que desplome un puente.

2.11.12. Variación de temperatura.

Los puentes suelen estar a procesos de cambio de temperaturas durante todo el día y noche o cuando hay cambios de estaciones, estos cambios conllevan que la estructura tenga comportamientos cambiantes en sus componentes donde se producen esfuerzos térmicos los cuales provocan movimientos internos dando como resultados fisuramiento. Muchas veces se debe utilizar elementos como juntas de dilatación para evitar que al producirse un cambio de temperaturas estas con choques con otros elementos.

2.11.13. Eflorescencia.

Consiste en manchas blancas, las cuales se presentan en las superficies que han sido afectada por causa de humedad. Esto se produce, debido a que cuando las superficies se van secando, se va generando vapor y estos comienzan a cristalizarse las sales solubles que se encuentran presentes en el agua y eso es la eflorescencia.

CAPITULO III. SITUACIÓN CHILE.

Chile debido a su forma geográfica, como lo es el sur, en donde está compuesta por una gran cantidad de islas, lagos, ríos, y mar, debe tener una forma de conectar ciertos lugares para tener una correcta comunicación, debido a esta situación el país presenta una gran cantidad de puentes, donde van variando bastante las dimensiones, tipología y materiales, porque el clima es muy variado, como por ejemplo en donde la zona norte es más seca por los desiertos, pero por otro lado también posee hartas zonas costeras, esto hace que la construcción de puentes no se lleve de la misma manera que en el sur, en donde la gran parte del año se encuentra con clima de lluvias y vientos, haciendo que las mareas de ríos y lagos aumente, lo que implica que los diseños de los puentes se les deba considerar los aumentos de estos niveles de agua, y recordando además que Chile es uno de los países más sísmicos del mundo. Todo esto hace que construir puentes en Chile sea un gran desafío de ingeniería, donde cada movimiento que se realice se deba tomar las precauciones necesarias.

3.1. Cantidad de Puentes.

Actualmente en Chile existen aproximadamente 7.686, en donde están considerados todos los materiales (Acero, Hormigón, Madera y Mixtos). A continuación, se presentan planilla extraídas del el Ministerio de Obras Públicas (MOP), donde considera la materialidad, tres elementos del puente, además cuantos elementos hay de cada materialidad y el valor del metro lineal en dólares.

INFRAESTRUCTURA	VIGAS	TABLERO	N° PUENTES	US\$/m.L	COSTO US\$
H	H	H	2.875	31.000	2.357.116.000
H	A	H	2.520	33.000	2.484.900.000
A	A	A	160	34.000	85.850.000
H	A	M	646	18.000	254.160.000
H	M	M	485	12.000	84.756.000
A	AM	M	130	14.000	28.350.000
M	M	M	870	9.000	72.324.000
			7.686		5.367.456.000

Tabla 1: Cantidad de Puentes y sus Tipologías.

Fuente: Creación Propia con datos de misma tabla del Ministerio de Obras Públicas.

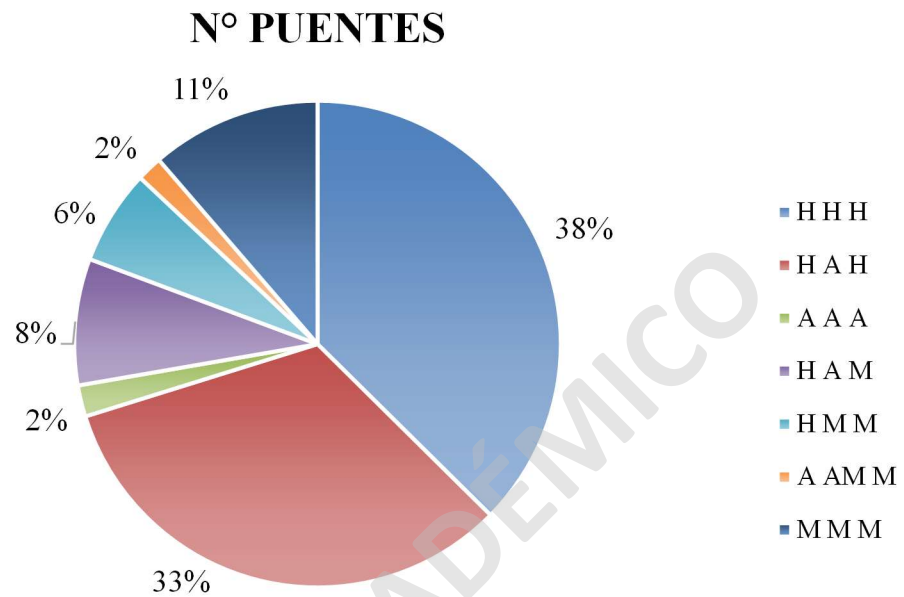


Figura 3: Porcentaje de la cantidad de Puentes en relación con materialidad.
Fuente: Creación Propia con datos de la Tabla 1.

Según el grafico de la figura 3 se puede apreciar que la tipología que más presente en el país, es de hormigón (HHH), pero según la tabla 1 el de (HAH) tiene mayor costo, debido al alto costo del acero.



Concentración de Puente en Chile.

Distribución de Puentes en el país.

El mapa a continuación del país, muestra como están distribuidos los puentes en nuestro país, en donde se puede apreciar que a medida que nos vamos acercando hacia el sur del país, se comienza a tener un aumento significativo de estas estructuras, debido a la geografía que se presenta, como lo son la abundancia de lagos y ríos, y en el extremo pequeñas islas, las cuales deben estar conectadas entre sí para un mayor y mejor conectividad.

Cada punto amarillo representa un puente.



Figura 4: Concentración de Puentes en la R.M

Fuente: Creación Propia, con mapa original del M.O.P

El mapa de la **Figura 4**, pertenece a la distribución de los puentes en la región metropolitana. Donde se aprecia que a medida que se nos vamos alejando a las comunas más periféricas comienza un aumento en la cantidad los puentes.

Región	Nº Puentes	metros lineales
Arica y Parinacota	7	643
Tarapacá	5	297
Antofagasta	7	366
Atacama	15	1.114
Coquimbo	52	3.412
Valparaíso	53	5.329
Metropolitana	59	6.706
O'Higgins	65	7.494
Maule	140	11.889
Biobío	146	16.663
Araucanía	157	10.956
Los Ríos	83	5.783
Los Lagos	161	10.004
Aysén	100	5.200
Magallanes	14	1.022
Total	1.064	86.876

Figura 5: Cantidad de Puentes No Concesionados por Región

Fuente: (Brüning Maldonado, 2016). Obtenido de Presentación de Dirección de Vialidad, en el 12° congreso del Nacional del Acero, ICHA.

Debido a la falta de control de la cantidad de puentes en el país, donde el Ministerio de Obras Públicas tampoco sabe a exactitud cuantas estructuras hay, se obtiene solo la cantidad de No Concesionados, el país aún se encuentra realizando una base de datos para tener el catastro de los puentes.

Región	HORMIGÓN	METALICA	METALICA/HORMIGÓN	S/C
Arica y Parinacota	2	-	5	-
Tarapacá	2	3	-	-
Antofagasta	3	4	-	-
Atacama	12	-	3	-
Coquimbo	18	-	31	3
Valparaíso	31	18	3	1
Metropolitana	39	-	20	-
O'Higgins	31	-	32	2
Maule	90	-	50	-
Biobío	79	-	66	1
Araucanía	84	1	72	-
Los Ríos	44	-	39	-
Los Lagos	73	2	86	-
Aysén	4	2	94	-
Magallanes	9	1	4	-
Total	521	31	505	7

Figura 6: Cantidad de Puentes según Materialidad por Región

Fuente: (Brüning Maldonado, 2016). Obtenido de Presentación de Dirección de Vialidad, en el 12° congreso del Nacional del Acero, ICHA.

3.2. Entidades encargadas en el control de los puentes.

3.2.1. Ministerios de Obras Públicas (MOP).

Este ministerio está encargado de planificar y construir infraestructura pública, como también en conservación y administración.

3.2.2. Dirección de Vialidad.

Corresponde a unos de los departamentos del MOP, la cual se encarga de construir, conservar y mejorar los caminos del país, además de puentes, cruces, túneles y pasarelas. Además, este departamento es la que se encarga de actualizar en caso que lo amerite, el manual de carretera, la norma está conformada con normativas las que recomienda como construir, conservar, mantener, los puentes.

3.2.4. Departamento de puentes.

Este departamento perteneciente a la dirección de vialidad, tiene como misión proponer y aplicar las normas y especificaciones técnicas en la construcción y conservación de los puentes a nivel país de manera de supervisar los cumplimientos de las direcciones regionales. De manera tal de proponer, revisar y supervisar toda ejecución de estas estructuras, y de la mano de la rehabilitación y conservaciones de los puentes.

Dentro de las tareas del departamento de puentes incluye la planificación, coordinación y control de actividad de los sub departamentos, supervisando la gestión de inspectores y visitadores de obra. (Dirección de Vialidad, 2004).

3.3. Puentes Chilenos.

Chile presenta un sinfín de puentes, pero algunos son más emblemáticos que otros, ya sea por hechos históricos, costos, envergadura, etc. Los cuales se presentarán a continuación, algunos de estos.

Los siguientes puentes son los más emblemáticos ya sea por ser primero en su tipo en el país como lo es puente de Chacao o también por ser considerado como uno de los más grandes errores por falta de control como es el Cau Cau.

3.3.1 Puente de Chacao.

Es un puente de tipo colgante ubicado en la región de los lagos, es el puente colgante que será el más largo de américa latina, con una longitud de 2750 m y con un costo de US\$ 670.000.000. donde su entrega está programada inicialmente para 2023. La finalidad de este puente consiste en la unión de la isla grande de Chiloé con el territorio continental, cruzando así el canal de Chacao, de ahí su nombre “Puente Chacao”.

El puente cuenta con tres torres de 180 m, y cuenta con tres luces de vano 379 m, 1.055 m y 1.100 m respectivamente, la razón de construcción de pilotes es de 1 cada 8 días, siendo en total 36 los pilotes, donde se distribuyen 9 pilote en la base de los apoyos centrales.



Figura 7: Referencia de Puente de Chacao.

Fuente: (*La Tercera*, 2017). Obtenido de <https://www.latercera.com/noticia/puente-chacao-mop-recurre-la-corte-zanjar-situacion-consorcio/>

3.3.2. Puente Cau Cau

Es un puente de tipo Basculante, ubicado en la región de los ríos, es el primer puente en su tipo que se construye en Chile, con un costo de \$15.768.000.000. Su construcción tuvo una gran controversia, debido a su mal cálculo en los brazos basculantes, donde las ciclo vías estaban en lados contrarios, uno por la derecha y el otro por la izquierda.

En el año 2018, según el Ministro de Obras Públicas, Juan Andrés Fontaine, estimó que la reparación de este puente sería de alrededor de \$4.500 millones y que estará listo para el año 2020. (Cooperativa, 2018)

El puente cuenta con un largo total de 90 m, sus brazos son de 35 m cada uno, en cada lado tiene un contrapeso de 10 m y 9,4 m. la vía destinada para el tránsito vehicular es de 8 m y para el tránsito de peatones de 1,4 m.



Figura 8: Puente Cau-Cau.

Fuente: (Marítimo Portuario, 2016), Obtenido de <http://www.maritimoportuario.cl/mp/la-cronologia-del-puente-cau-cau-en-1991-se-inicio-el-primer-proyecto/>

3.3.3. Viaducto del Malleco.

Puente ferroviario construido en acero, este puente cruza el río del mismo nombre (río Malleco), ubicado en la región de la Araucanía. Es considerado el segundo puente más alto después del viaducto de conchi, con una altura de 102 m.

Tiene una longitud 347,5 m, en donde es apoyado en los extremos y en su longitud presenta 4 cepas, en donde las que se ubican cercana a los extremos tiene una distancia de 43,7 m de altura y las dos centrales presentan una altura de 67,7 y 75,7 respectivamente. Con el tiempo a este puente se le fueron agregando refuerzos debido a que este debía resistir el peso de las locomotoras.



Figura 9: Viaducto Malleco.

Fuente: (Angolinos, 2016), Obtenido de <https://www.angolinos.cl/2016/10/hoy-se-cumplen-126-anos-de-la-inauguracion-del-viaducto-de-malleco/>

3.3.4. Puente Yelcho.

Puente del tipo atirantado, primero en su clase en ser construido en Chile, ubicado en la región de los lagos, puente cuya construcción finalizó en 1990, este puente cruza la desembocadura del río Yelcho. El puente es parte de la tan conocida carretera austral, a unos 280 Km de Puerto Montt. El puente está construido de hormigón armado y sujetado por cables de acero, tiene una longitud de 150 m y 50 m de altura.



Figura 10: Puente Yelcho.

Fuente: (Cerreteras Peligrosas, s.f.), Obtenido de <https://carreteraspeligrosas.com/puente-yelcho/>

3.4. Normativas.

3.4.1. Manual de Carreteras.

En la construcción de puentes, como en otros ámbitos, también se debe basar en normativas, en las cuales se establezcan ciertos criterios para la construcción de puentes o de otra índole relacionada a esto. Es por esto que, en Chile dentro de uno de los documentos más importantes para construir puentes, es el manual de carretera, el cual da ciertos criterios o recomendaciones para construir. El manual cuenta con 9 volúmenes, siendo el volumen 3, (Capítulo 3.100 Puentes y estructuras afines), el dedicado al diseño de los puentes. A continuación, se presentan los 9 volúmenes ya mencionados. (Ministerio de Obras Públicas., 2017)

Este manual pertenece a la dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas MOP.

Volumen 1: Planificación, Evaluación de Desarrollo Vial.

Volumen 2: Procedimientos de Estudios Viales.

Volumen 3: Instrucciones y Criterios de Diseño.

Volumen 4: Planos de Obras Tipo.

Volumen 5: Especificaciones Técnicas Generales de Construcción.

Volumen 6: Seguridad Vial.

Volumen 7: Mantenimiento Vial.

Volumen 8: Especificaciones y métodos de Muestreo, Ensaye y Control.

Volumen 9: Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales.

3.4.2. AASHTO.

Ahora también es utilizada la norma internacional AASHTO, pero estas se basan en algunos aspectos, debido a que en esta norma no trata de una manera profunda a los criterios de mecánica de suelos y sismos, debido a que es una norma estadounidense, país el cual no sufre de sismos de grandes magnitudes como es el caso de Chile; en cambio el manual de carreteras sí trata este tema de forma primordial.

“En nuestro país se construyen puentes distintos a Estados Unidos. Mientras acá son simplemente apoyados debido a que los ríos son torrentosos, en países donde los cursos son más caudalosos se construyen puentes sin cebras, continuos. Esta filosofía se incorporó al Manual de carreteras, que en la norma AASHTO es secundaria” (Saragoni., 2010)

Pero esta norma estadounidense es utilizada para todos los demás criterios.

3.5. Consecuencias del Terremoto del 27 de febrero del 2010.

Debido al gran terremoto que se vivió en el país el 27 de febrero del 2010, hubo muchos cambios en las construcciones de las estructuras, en donde uno de los más relevante fueron los criterios de diseño para la construcción de puentes.

En los meses posteriores al terremoto se propuso agregar ciertas disposiciones sísmicas en el mediano y largo plazo, todo esto con lo que se pudo concluir en las observaciones realizadas de las estructuras, estas disposiciones son:

Modificación de las normativas en el manual de carreteras. (Ministerio de Obras Publicas., 2010)

1- Incorporación de alcances al manual de carreteras.

La actualización de las normativas en el manual sería precisamente para el capítulo 3.1000 “puentes y estructuras afines”. Esta actualización se haría con respeto a los observado en el terremoto 27 de febrero del 2010.

2- Espectros sísmicos y microzonificación.

Para esto se debería realizar una microzonificación de los suelos para así tenerlos de manera más detallada, debido a los datos complejos que se requieren se debe contar con personal especializado del área sísmica.

3- Política de instrumentación de puentes.

Para lograr este objetivo se debe estudiar y analizar el comportamiento sísmico de diversas estructuras emplazadas en diferentes zonas del país, y a si finalmente implementar un plan de instrumentación.

4- Utilización de dispositivos antisísmicos.

Dependiendo de la tipología, tamaño, altura, longitud y geometría, se deberán considerar la utilización de dispositivos antisísmicos como los conectores mecánicos, hidráulicos, amortiguadores, aparatos de apoyo, etc. Estos deberán siempre contar con la certificación del proveedor.

5- Mejoramiento de las barras de anclaje.

Para los mejoramientos se deberá realizar un estudio para así mejorar los sistemas de anclaje actuales, proponiendo una calidad mejorada. Además, realizar el estudio de uso de barras postensadas.

3.6. Plan de inversión 2018-2023.

Este plan nace a consecuencia del colapso del puente cancura en la región de los lagos el 23 de junio del 2018. El plan consiste en una inversión de viaductos lo que implicaría un costo de casi \$1 Billón. Esto solo fue el principio, debido a que esa inversión solo abarca a 229 puentes, existiendo muchas más estructuras de este tipo en el país.

En ese mismo año debería finalizar el diagnostico de viaductos, cuya diagnostico comenzó en el año 2016, la finalidad de este diagnóstico era para conocer el estado actual de algunos viaductos, los cuales se realizaron 1.034 y así generar una base de datos.

Para los años 2019-2020 se realizaría la misma labor, pero con los puentes restantes del país que son alrededor de 5.900 y que supone un valor de \$6 mil millones. (Herrera & Cisternas, 2018)

	Periodos						cantidad de puentes
	2018 MM	2019 MM	2020 MM	2021 MM	2022 MM	2023 MM	
Reposición	\$ 25.025.136	\$ 47.415.323	\$ 52.001.138	\$ 43.888.000	\$ 48.018.000	\$ 19.046.250	127
construcción	\$ 19.327.362	\$ 94.905.477	\$ 103.907.828	\$ 142.813.278	\$ 221.228.500	\$ 20.048.163	68
conservación y mejoramiento	\$ 3.533.433	\$ 14.041.387	\$ 31.832.536	\$ 29.115.000	\$ 31.756.771	\$ 24.533.853	34
Total	\$ 47.885.931	\$ 156.362.187	\$ 187.741.502	\$ 215.816.278	\$ 301.003.271	\$ 63.628.266	229

Tabla 2: Plan de Inversión para el Año 2018-2023.

Fuente: Datos Obtenidos de misma tabla del Ministerio de Obras Públicas.

De la tabla anterior se puede observar que en el año 2022 se realizará la mayor inversión con \$301.003.271, de los cuales la mayor cantidad se destinará a construcción. Por otro lado, se observa que la suma de los años correspondientes a “construcción” es el valor más elevado con un total de \$602.230.608, en relación a reposición que tiene un total de \$235.393.847 y conservación y mejoramiento con un total de \$134.812.980.



Figura 11: Inversión Total por Año, Extraído de la tabla 2.
Fuente: Creación propia con Datos del M.O.P

Según la **Figura 11**, se puede apreciar que para el año 2022 es donde habrá mayor inversión para este plan.

CAPITULO IV. TÉCNICAS PARA LA REMODELACION DE PUENTES.

Hoy en día con el avance a nivel global en lo que tecnología respeta, existen diferentes maneras para remodelar, la que consiste en la reparación, rehabilitación y refuerzo de los puentes, ya sea a través de materiales como aditivos, fibras, sistemas sísmicos, etc. Pero nuestro país aún sigue atrasado en algunas prácticas de estas, las cuales ayudarían significativamente en la remodelación de estas estructuras y evitando así posibles colapsos futuros de puentes.

En nuestro país estos tipos de estructuras están constantemente expuestos a agentes que producen fallas y posteriormente colapsos, lo que hace que siempre se esté alerta sobre el estado de estos, ya que una posible falla impediría la conectividad entre zonas, dejándolas totalmente aisladas en caso que estos se desplomen, debido a este motivo las nuevas tecnologías serían una herramienta significativamente buena, para obtener resultados en menos tiempos como lo son actualmente, si bien algunas pueden ser de costos elevados a corto plazo, puede que a largo plazo no lo sean, ya que muchas veces algunos puentes quedan de lado para darle prioridad a otros, pero mientras se le da prioridad a las otras estructuras estos se irán debilitando con el tiempo, lo cual lo hará prioritario, lo que forma un círculo vicioso. Tal vez con la aplicación de nuevas técnicas esto quede en el pasado y así se pueda manejar de mejor manera las remodelaciones.

A continuación, se presentarán algunas técnicas para la remodelación de puentes.

Definición de Remodelación:

Reparación, rehabilitación, refuerzo o arreglo de los desperfectos de una estructura.

4.1. Materiales para la remodelación de la estructura.

4.1.1. Polímeros Reforzados con Fibras (FRP).

Hoy en día cada vez es más recurrente encontrar nuevos materiales que ayuden a la mejora de estructuras e infraestructuras, las cuales por sus propiedades pueden disminuir costos, tiempos de ejecución y aumentar considerablemente la vida útil de las estructuras, por esto mismo que dentro de estos nuevos materiales se pueden encontrar las fibras, las cuales pueden ir variando según su material y derivados de estos. Dentro de las fibras más recurrentes empleados en las estructuras podemos encontrar las fibras de vidrio y las de carbono, siendo este último el más recurrente a ser empleado. A continuación, se detallarán estos tipos de fibras y donde se hace uso de estos.

4.1.1.1. Sistemas TYFO.

Es un material que este compuesto por distintos tipos de fibras como lo son de carbono, vidrio, aramida, estos elementos se combinan con resinas de alta calidad, las cuales una vez combinadas se inician el proceso de colocación en los elementos dañados de forma laminada y que se adhiere al elemento en la zona externa. Este material puede ser aplicado en materiales como el concreto, acero, madera, albañilería, etc. Además, es un sistema que se puede emplear bajo el agua, por lo cual podría ayudar en la vida útil de pilas y cepas de un puente. Además, este sistema permite que se pueda utilizar una fibra o las mezclas de fibras.

Este sistema posee la característica de entregar a los elementos mayor resistencia y ductilidad. Además, es idóneo para reforzar elementos que se encuentren bajo el agua, para la cual sería muy útil en partes expuestas a erosión como en las cepas o pilotes. Por otro lado, este sistema ayuda ante la corrosión, una de las fallas más comunes en los puentes al presentarse grietas, el sistema repara y protege al hormigón ante este efecto. Y finalmente ayuda en las filtraciones de aguas, las cuales con el tiempo producen corrosión u otra falla, con estas se evitaría que se produjera esta falla. (Corporacion de Desarrollo Tecnológico, CDT., s.f.)

Este sistema consiste en la utilización de láminas de fibras externas que instalan en el exterior de la estructura, adaptándose a distintas formas geométricas.

Una vez instaladas las láminas de fibras se realiza u ensayo de adherencia ASTM 4541.

Este sistema posee diferentes ventajas, como las siguientes.

-No es corrosivo.

-Versátil.

-Laminado de mínimo 1 mm de espesor.

-Fácil de cortar, según lo requerido.

-Aumentar la carga del elemento.

-Reforzamiento Sísmico.

-Aumento de Vida Útil.

-Protección ante la Corrosión.

-Reforzamiento de distintos elementos de la estructura (Columnas, Vigas, mampostería, unión viga -columna, cepas).

-Protección contra el fuego.



Figura 10A



Figura 10B



Figura 10C

Figura 10A: Picado de zona dañada. **Figura 10B:** Colocación de Mortero de alta resistencia. **Figura 10C:** Colocación de capas de Fibras de Carbono.

Fuente: Obtenido de Biblioteca de la Cámara chilena de la Construcción.

Las figuras anteriores representan la reparación de 2 cepas del puente Lautaro ubicado en lora, Licantén, VII región, Chile. Esta reparación fue realizada con el sistema TYFO con fibras de carbono, en donde se aprecia en la **Figura 11A** como se encontraba la cepa debido a una concentración de cargas a compresión, se debió picar, demoler y colocación de armaduras. Posterior a estos se debió aplicar mortero de alta resistencia para rellenar lo picado, como muestra la **Figura 11B**. Finalmente para la realización de la reparación se debió aplicar la técnica de laminación húmeda, que implica en tejidos de fibras en la superficie de la zona dañada, la cual fue previamente trabajada con resina poliméricas como muestra la **Figura 11C**.

Sistema TYFO®	Resistencia última a tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (GPa)	Alargamiento Último (%)	Espesor Lámina (mm)
Tyfo® SCH-41	986	95,8	1,0	1,0
Tyfo® SCH-41S	876	72,4	1,2	1,0
Tyfo® SCH-11UP	1062	102	1,05	0,17
Tyfo® SCH-7UP	1062	102	1,05	0,18
Tyfo® BCC	717	74,5	0,96	0,86
Tyfo® Tiras UC	2.790	155	1,8	Varios

Figura 12: Característica Cuantitativas y/o Cualitativas, para Fibras de carbono.

Fuente: Obtenido de www.especificar.cl



Figura 13: Instalación de Sistema TYFO con fibras de Vidrio.
Fuente: Registro CDT.

Sistema TYFO®	Resistencia última a tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (GPa)	Alargamiento Último (%)	Espesor Lámina (mm)
Tyfo® SEH- 51A	575	26,1	2,2	1,3
Tyfo® SEH- 51	575	26,1	2,2	1,3
Tyfo® SEH- 25A	521	26,1	2,0	0,50
Tyfo® WEB	309	19,3	1,6	0,25
Tyfo® BC	223	14,9	1,2	0,86

Figura 14: Características Cuantitativas y/o Cualitativas, Para fibras de Vidrio.
Fuente: Obtenido de www.especificar.cl.

4.1.2. Impermeabilizantes.

Los puentes están constantemente siendo azotados por fenómenos de agresión química-física, debido a las lluvias, ciclos de hielos deshielos o por las sales. Es por esto mismo que se deben proteger de estos fenómenos para que no sean afectados tan duramente a través de su vida, y para esto es que existen productos como lo son los impermeabilizantes que son de gran ayuda a la hora de disminuir o evitar posibles fallas futuras.

4.1.2.1. Impermeabilización con Membranas Asfáltica Prefabricadas.

Son membranas de asfalto modificado a través de polímeros y que cuentan con poliéster como especie de armadura, la terminación de esta impermeabilización puede ser variada, en donde pueden ser como polietileno, poliéster, arena, mica o metal.

Para este tipo de impermeabilización se puede instalar de manera soldada a losas, semi soldada, flotante o adherida, todo esto solo dependerá del tipo de sustrato al cual será aplicado.

Además, existen diferentes tipos de impermeabilización las cuales se describirán a continuación.

4.1.2.2. Impermeabilización con Membrana de PVC.

Son membranas fabricadas como su nombre lo indica en base a capas de policloruro de vinilo, la cual esta reforzado con una armadura.

4.1.2.3. Impermeabilización en base a poliuretano.

Impermeabilizante de tipo líquido que es instalada en frío e in situ, dado que así se comienza a polimerizar una membrana de poliuretano continuo sin juntas ni uniones.

4.1.2.4. Impermeabilización Polimérica Acrílica.

Sistema el cual está compuesto por un polímero sintético elástico, donde se presenta como una pasta fluida y se aplica sobre la losa de manera tal que forma una especie de membrana continua sin juntas ni uniones, esta membrana queda de forma elástica y con una adherencia de alrededor del 100% en sustrato.

4.1.2.5. Impermeabilización con Pastas Bituminosas.

Este tipo de impermeabilización consiste en una especie de emulsionante asfáltico que es diluido en agua o asfalto acuoso. La manera correcta de la instalación de este impermeabilizante consiste en aplicar la emulsión en varias capas, en donde se le interpone una malla elástica entrecruzada la cual trabaja como refuerzo.

4.1.2.6. Impermeabilización en Base a Revestimiento de Poliurea.

Es un tipo de impermeabilización que es de forma de membranas, con un rápido secado. La forma de la instalación de esta membrana es en caliente proyectada en el lugar requerido donde tiene un secado de 4 segundos, la velocidad de secado ayuda a que se tenga un uso transitable de forma prácticamente inmediata. Los sustratos a los cuales se puede aplicar son a hormigones, morteros, fibrocemento, espuma de poliuretano, cerámica, etc.

MATRIZ RESUMEN SEGÚN MATERIALIDAD UTILIZADA					
	BASE	PRESENTACIÓN	PROTECCIÓN UV	INSTALACIÓN	RESTRICCIÓN CONDICIONES DE LLUVIA
MEMBRANA ASFÁLTICA PREFABRICADA	Asfalto modificado	Rollos	Utilizar membrana autoprotégida o adicionar protección UV	Soldada con soplete, termofusionada o adhesiva	Sin lluvia durante la instalación
MEMBRANA DE PVC PREFABRICADA	Policloruro de vinilo	Rollos	Utilizar membrana autoprotégida o adicionar protección UV	Soldadas con aire caliente, fijadas o adheridas	Sin lluvia durante la instalación
MEMBRANA POLIURETANO	Poliuretano	Líquida	Se debe proteger a UV cuando no sean asfálticas	Membrana impermeabilizante de aplicación en frío líquida con rodillo, con lana, escudador de goma o equipo Airless	Sin lluvia durante y 3 horas posterior a la aplicación
POLIMÉRICA ACRÍLICA	Polímero sintético	Líquida	Utilizar membrana autoprotégida o adicionar protección UV	Aplicación con rodillo o brocha en capas delgadas	Proteger de lluvia
PASTA BITUMINOSA	Emulsión bituminosa	Líquida	Utilizar producto autoprotégido o adicionar protección UV	Aplicación con lana, brocha o rastrillo de goma	Sin lluvia durante y 12 horas posterior a la aplicación
IMPERMEABILIZACIÓN EN BASE A REVESTIMIENTO ELASTOMÉRICO DE POLICLOROPRENO	Elastomérico	Líquida	Se debe proteger a UV, en casos que se encuentre expuesta	Membrana impermeabilizante de aplicación en frío líquida con brocha o rodillo	Proteger de lluvia por 3 días posterior a la aplicación
IMPERMEABILIZACIÓN EN BASE A REVESTIMIENTO DE POLIUREA	Elastomérico	Líquida	Se debe proteger a UV cuando se requiera	La aplicación se debe realizar con equipo de proyección o de forma manual, según lo requiera el sistema	Sin lluvia durante la aplicación

Figura 15: Matriz Resumen de Materialidad.

Fuente: Recomendaciones prácticas para una correcta impermeabilización de losas, wacoatings.

A continuación, se detallarán los pasos para la aplicación de un sistema de impermeabilización.

4.1.2.7. Instalación de la impermeabilización con membrana asfáltica Prefabricada.

Preparación de Superficie.

Lo primero que se debe realizar es la limpieza completa de la zona donde se instalara el impermeabilizante, esto significa limpiar la parte superior de la plataforma, dejando libre de residuos, y además seco para que así se tenga una correcta aplicación.

Aplicación del Adhesivo.

En la zona previamente limpiada se deberá colocar el adhesivo bituminoso que se aplica con un rodillo, en el cual irán las láminas de impermeabilización de manera intercaladas, para que estas laminas queden correctamente adheridas en la zona que desea.

Instalación de las Membranas.

La instalación de las membranas bituminosas debe ser en caliente, esto significa que hay que posicionar las láminas de forma intercaladas y una vez ubicadas correctamente se deben calentar con gas propano (soplete). La superposición de estas laminas deben ser por todos sus lados, 10 mm en su lateral y 15 mm en su extremo.

Prueba de Pull-Out.

Esta prueba sirve para comprobar el nivel adherente de la lámina impermeabilizadora de forma in situ, esta prueba se realiza con un dinamómetro portátil.

Aplicación de Asfalto.

Posteriormente se debe realizar la colocación del asfalto en caliente sobre la capa de la impermeabilización de manera tal que estas capas no sean dañadas con la compactación final del asfalto.

Según la corporación de desarrollo tecnológico CDT en su edición técnica N°4 “Recomendaciones prácticas para una correcta impermeabilización de losas” (CDT, 2018), se deben considerar 5 etapas para un resultado óptimo.

- 1) Proyecto.*
- 2) Preparación del sustrato*
- 3) Instalación.*
- 4) Inspección.*
- 5) Protección posterior a la instalación.*

4.1.3. Recubrimiento anti carbonatación.

Los puentes están constantemente expuestos a Dióxido de carbono CO₂ la cual es la causante de que se produzca la carbonatación en el hormigón, debido a esto, es que estas estructuras comienzan a degradarse y finalmente el Colapso, en el caso que no sea tratado de forma inmediata. Dentro de las exigencias que deben tener los revestimientos protectores contra la carbonatación son:

- Resistencia a la exposición del medio ambiente.*
- Adherencia para mantenerse en el tiempo.*
- Resistente a los gases como lo son el Dióxido de carbono, oxígeno, etc.*
- Permeabilidad a los vapores del agua para que el hormigón transpire.*
- Ser resistente a los cambios producidos por la temperatura.*
- Ser capaz de resistir la abrasión.*
- Resistencia a los agentes químicos.*

Kubik’o: Producto para la protección anti carbonatación.

Producto perteneciente a la empresa “SEIGNEURIE”, la cual consiste en decoración y protección de estructuras de hormigón ante la carbonatación, cuyo material es amigable con el medio ambiente, donde no está dentro de los materiales peligrosos. Este producto está compuesto con resina acrílica en base acuosa.

La aplicación de este producto se puede realizar con brochas, rodillos o pistola, la cual debe ser diluida en agua la primera capa y para la capa de acabado se realiza en seco.

4.1.4. Inhibidor de corrosión.

Debido a las grandes cargas que debe soportar una estructura como lo son los puentes, muchas veces sus materiales quedan expuestos a los agentes químicos, donde puede provocar degradación de los materiales y una futura falla en la estructura. El acero al estar unido junto con el hormigón presenta una buena resistencia mecánica, pero si uno de esta falla implicara que el otro material también tenga consecuencia, como por ejemplo la corrosión del acero, la cual genera problemas en la estructura desde el interior hacia el exterior dejando muy en riesgo la estructura. Debido a esto es que existen materiales los cuales ayudan a proteger de este fenómeno, como lo son los inhibidores de corrosión, el cual es un material cuya finalidad, es la protección de la enfierradura, en donde cubre la superficie metálica, proporcionando que quede una película que evita que se produzca la corrosión.

Algunos tipos de inhibidores

4.1.4.1. Inhibidor CX 2020 (MCI).

Este un tipo de inhibidor de corrosión migratorio de superficie, que permite la penetración a través de materiales cementosos, como el hormigón, morteros y calizas. Este tipo emigra de su estado líquido y vapor por los poros que presenta la estructura, para que así se forme una capa mono molecular en la superficie de la enfierradura. Este inhibidor si no encuentra un metal en el cual hacer contacto, este migrara por el hormigón. También protege de otros agentes como lo son la carbonatación, cloruros y otros.

Puede ser aplicado con brocha, spray, rodillo y su aplicación puede ser variado en las estructuras en la cual se desee como lo son, puentes, autopistas, calles.

El empleo de este inhibidor es aplicando por 2 capas, en donde entre capas se debe esperar aproximadamente 7 hrs. y media. Si la zona donde está el inhibidor se requiere la colocación de mortero, hormigón, pintura o cualquier otro material, se deberá sacar previamente el inhibidor.

4.1.5. Sistema Delpatch.

Este es un sistema Delpatch de reparación para pavimentos de alto tránsito, la cual es un concreto elastómero que tiene integrado fibra de vidrio y delcrete (material de poliuretano). Este material ayuda a resolver de manera tal el sellado de las aberturas presentadas en el hormigón y le brinda la elasticidad necesaria para evitar que aparezcan más aberturas. Tiene una resistencia para cargas pesadas con una buena adherencia al concreto, resistente al impacto y químicos. (TECNOAV, s.f.)

DELPATCH. Propiedades Físicas y rendimiento del Concreto Elastomerico		
Propiedades	Requerimientos	Metodo ASTM
Tension de estiramiento, min, psi (MPa)	600 psi	D 412 (mod)
TElongacion al quiebre, psi (MPa)	25	D 412 (mod)
Dureza, Durometro, Puntos	50 min	D 2240
Propiedades de Compresion y Defleccion		
Estres psi, 5% defleccion	800 min/1400 max	D695
Resilencia, 5% defleccion	95 min	D 695 (mod)
Impacto, caida de bola,@-20 sin roturas	>10 ft	D 3029 (mod)
Adhesion al Concreto (psi)		
Enlace Seco	400 min	
Enlace Humedo	250 min	

Figura 16: Propiedades Físicas y Rendimiento del Concreto Elastómero.

Fuentes: Obtenido de Tecnoav.

4.1.6. Ultra- Alta resistencia (UHPC).

Este tipo de hormigón pertenece a los más modernos, el cual permite diseñar y producir formas más complejas que las actuales con una resistencia mayor, y que de igual manera es más ligero. Es un material cuya resistencia a la compresión, flexión y desgaste es elevada, poseyendo una gran durabilidad. Una de las características es que posee una baja consistencia fluido/liquido permitiendo una baja absorción de agua.

Su fabricación se basa en base de micro fibras poliméricas, inorgánicas, metálicas de tamaño de 4 a 15 mm, y con agregados de silicios con tamaño no más de 1 mm. Entregando así mejores beneficios que el hormigón tradicional, debido a las propiedades que posee. Debido a sus características, su uso es idóneo para zonas con condiciones ambientales severas, urbanización, pavimentos, pavimentos viales, etc.

A diferencia de lo que ocurre con los refuerzos tradicionales, las fibras trabajan de manera tridimensional ante una carga, repartíendola así de forma aleatoria, permitiendo que la carga se reparta en diferentes direcciones en la estructura, en cambio los refuerzos tradicionales que distribuyen en un solo plano la dirección de la carga. La cantidad aproximada de fibras por m^3 es de 160 Kg/m^3 . (Sika)

Propiedades.

- Asentamiento de 20 cm.
- Nivel de confianza 80%.
- Nomenclatura del hormigón "P", $P050 = 50 \text{ Kg/cm}^2$
- Hormigón impermeable
- Porosidad del orden 1 al 2%

Beneficios.

- Tiene mayores resistencias mecánicas.
- Mayor durabilidad.
Resistente al desgaste
- Resistente a ambientes agresivos.



Figura 17: Hormigón Con Fibras.

Fuente: Hormigón Reforzado con Fibras, Sika.

Resistencias mecánicas.

- Compresión: $150 \text{ MPa} - 200 \text{ MPa} \Rightarrow 1.530 \text{ Kg/cm}^2 - 2.040 \text{ Kg/cm}^2$.
- Flexo Tracción: $20 \text{ MPa} - 40 \text{ MPa} \Rightarrow 204 \text{ Kg/cm}^2 - 408 \text{ Kg/cm}^2$.
- Modulo Elástico: 500.000 Kg/cm^2 .
- Energía Elástica: $20-30 \text{ J/m}^2$

4.2. Protección Sísmica.

Disipadores y Aisladores Sísmicos

Dentro de las nuevas tecnologías para disminuir las energías recibidas de los sismos en las estructuras, se encuentran los disipadores y aisladores sísmicos, los cuales no son lo mismo, para lo cual se explicará la diferencia de los dos.

Chile es uno de los pioneros en esta tecnología por el hecho de ser considerado uno de los países más sísmicos del planeta para lo cual se necesitaba una tecnología para disminuir esto.

La creciente utilización de estos sistemas se debe en mayor parte por el terremoto sufrido en Chile el 27 de febrero del 2010. Terremoto de 8.8 grados que afectó a distintas estructuras.

4.2.1. Aislación sísmica.

La aislación sísmica tiene la finalidad de proteger estructuras ante fenómenos sísmicos de manera tal de separar la superestructura de los movimientos producidos a nivel del suelo o también de la sub estructura.

La aislación sísmica consiste en desacoplar elementos de la estructura y así colocar los aisladores en partes estratégicas, esto es para darle una mayor flexibilidad a la estructura ante un evento sísmico. Los aisladores ayudan a evitar la resonancia en la estructura, la cual puede provocar daños severos en la estructura.

Con los aisladores sísmicos una estructura puede llegar a ser hasta 5 veces más segura en comparación a una estructura sin estos sistemas, debido a que la energía que recibe la estructura es del orden de 10 veces más pequeño, que una estructura que está anclada directamente al terreno

Dentro de los objetivos de la aislación sísmica es:

- 1) Dar mayor seguridad a la estructura ante un eventual sismo, disminuyendo o eliminando los daños en estas.
- 2) Salvaguardar los componentes de la estructura para que la estructura siga en funcionamiento posterior a un sismo.

Desventajas que se tiene al utilizar estos métodos es que se requiere de equipos especiales para cumplir con ciertas tolerancias.

Dentro de algunos aisladores que se pueden encontrar están los siguientes:

4.2.1.1. Aisladores Elastómeros.

Los aisladores elastómeros, están compuestos por una serie de láminas intercaladas de elastómeros con capas de acero. Estas láminas deben ser vulcanizadas para quedar junto al acero, gracias a este proceso que se puede lograr la flexibilidad que se requiere para los desplazamientos entre el terreno y la estructura, que se producen ante un eventual sismo. Dentro de este sistema se pueden encontrar distintos tipos de apoyos como los son:

Aislador Elastómero de bajo Amortiguamiento LDRB: Low-Damping Rubber Bearing.

El tipo de Aislador LDRB es el más simple dentro de la gama de disipadores elastómeros, ya que presenta un nivel reducido de amortiguamiento en donde es del alrededor del 2% a 5% como máximo, implicando que este aislador deba ser generalmente complementado con disipadores de energía, para mayor amortiguamiento ante liberación de energía que pueda recibir la estructura.



Figura 18: Aislador de Energía LDRB.
Fuente: Obtenido de www.sismica.cl.

Aislador Elastómero de Alto Amortiguamiento HDRB: High-Damping Rubber Bearing.

El tipo de aislador HDRB es un aislador que está compuesto por laminas elastómeras, las cuales son fabricadas con adiciones de elementos de carbón, aceites y resinas, esto con la finalidad de darle al aislador una mayor amortiguación las cuales rondan entre el 10% a 15%. Dentro de las dificultades que presenta el HDRB es que es que tiene una mayor sensibilidad antes fenómenos como lo es el cambio de temperatura en comparación con los otros tipos de aisladores elastómeros, pero como ventaja es que tiene una mayor rigidez, las cuales se van estabilizando a medida que transcurra el tiempo.

Aislador Elastómero Con Núcleo de Plomo: LRB: Lead-Plug Rubber Bearing.

El Tipo de aislador LRB es un tipo de aislador que presenta características similares al tipo LDRB, pero diferencia con él con núcleo de plomo, como indica su nombre, este presenta en el centro del aislador un núcleo cilíndrico de plomo, el cual permite al aislador LRB tener un amortiguamiento que ronda entre 25% a 30%.

La función de este núcleo consiste en que, al deformarse el aislador durante algún movimiento, el núcleo de plomo fluye, generando así una deformación plástica lo que provoca una disipación de energía de forma de calor, y una vez que vuelve a la posición inicial, este vuelve al inicio se provocando se sea recristalizado.

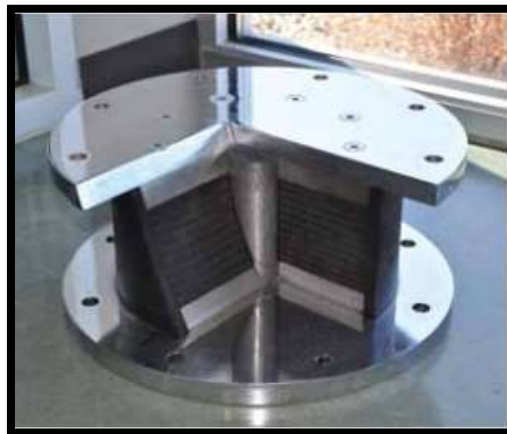


Figura 19: Aislador con Núcleo de Plomo.
Fuente: Protección Sísmica de estructuras, CDT.

4.2.1.2. Aisladores Deslizantes.

Los aisladores deslizantes o friccionales, son típicamente de acero inoxidable, en el cual se desliza una placa de acero revestida de politetra fluoro etileno. La superficie deslizante es la que permite los movimientos horizontales de las estructuras, y a diferencia de otros tipos de aisladores, los deslizantes trabajan de manera tal que disipan las energías sísmicas a través del rozamiento. Estos coeficientes de fricción dependerán de algunas variables las cuales pueden ser: temperaturas en el cual trabajan, la presión a la que se someten por contacto, las velocidades de los movimientos efectuados por la energía recibida, estado de las superficies de contacto.

A continuación, se muestran 2 tipos de aisladores deslizantes.

Apoyo deslizante plano.

Este tipo de apoyo es de los simples dentro de los tipos deslizantes. Debido a que básicamente se adhieren a la estructura una cara y la otra cara al otro elemento estructural, el apoyo posee un coeficiente de roce, lo que permite que puedan tener movimientos horizontales (deslizamiento). Para facilitar este deslizamiento, cuenta con una capa de material elastómero.

Péndulo Friccionales.

Los péndulos friccionales FPS por sus siglas en inglés (Friction Pendulum System), es un tipo de aislador el cual cuenta con deslizador articulado sobre una superficie cóncava, que hace diferenciarse del deslizante plano, ya que la forma cóncava tiene la característica que le permite auto centrarse posterior a un evento sísmico.



Figura 20: Péndulo Friccional.
Fuente: Protección Sísmica de estructuras, CDT.

Dentro de las empresas que se dedican a esta área de los aisladores sísmicos en nuestro país, se puede encontrar Vulco S.A.

Y las especificaciones de la utilización y procedimientos de colocación salen indicado en el manual de carreteras volumen N°5. “ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES DE CONSTRUCCION”.

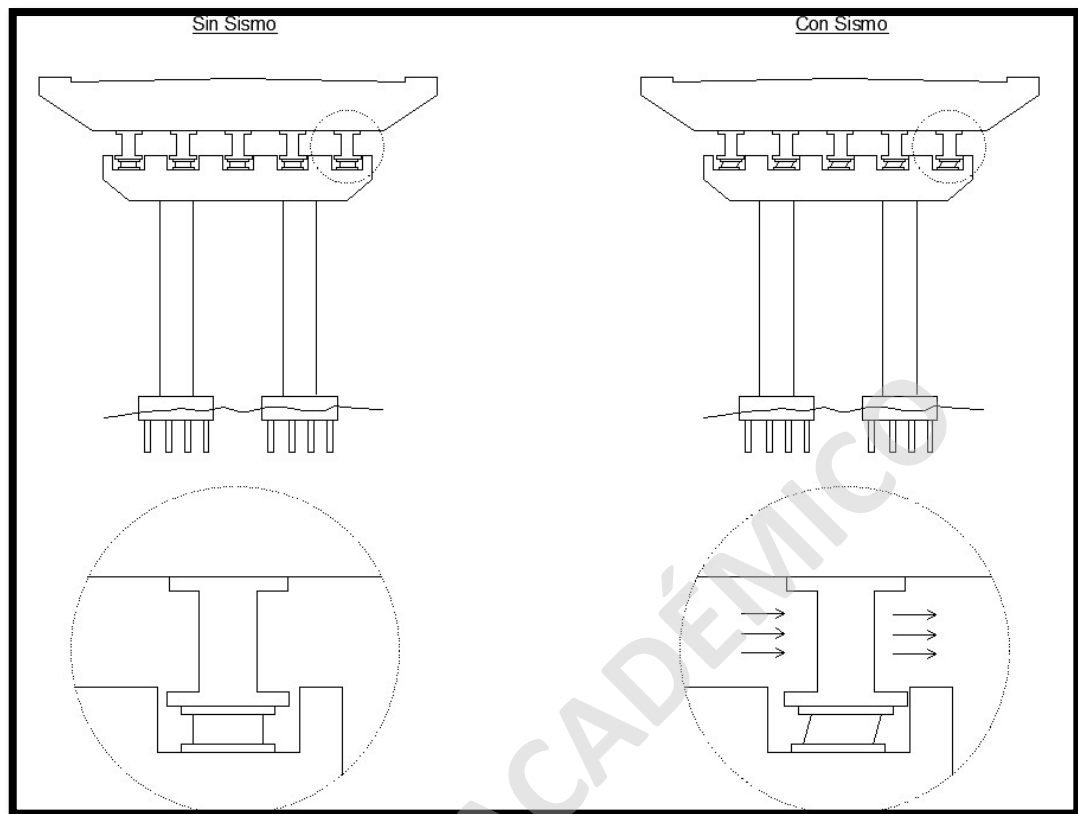


Figura 21: Puente con Aisladores, Visualización con Sismo y sin Sismo.
Fuente: Creación Propia.

4.2.1.3. Apoyos Elastómeros.

Apoyos de Neopreno.

Los apoyos de neopreno están compuestos por capas de elastómero, los cuales son vulcanizados de manera tal que conformen una sola pieza monolítica. Su forma geométrica puede ser de formar circular como rectangular, permitiendo así controlar movimientos los movimientos de las estructuras en el cual se instalan sin que sea afectada estéticamente.

Este sistema de apoyo permite ser una solución a los movimientos de una estructura ante eventos sísmicos o como también por variaciones de temperatura debido al entorno. Dentro de las propiedades que benefician a un apoyo de neopreno, son que tiene cualidades elásticas natural, con una alta resistencia a corrosión, permitiendo que perdure en el tiempo estando en la intemperie.

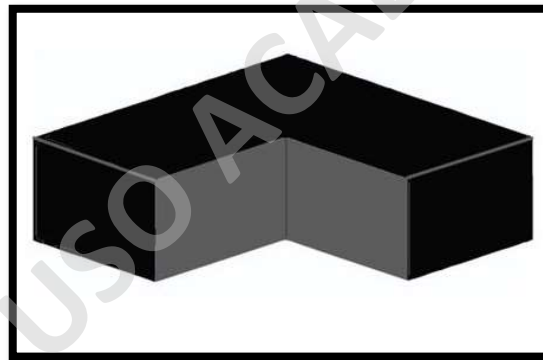


Figura 22: Apoyo de Neopreno.
Fuente: Obtenido de EYM productos.

Apoyos simples en neopreno reforzado.

A diferencia del apoyo de neopreno simple, este apoyo este compuesto por capas intercaladas de elastómero y acero, los cuales tienen la capacidad de resistir cargas mayores, permitiendo movimientos longitudinales y transversales, y rotaciones en diferentes direcciones, pero con restricciones de forma vertical para que así se pueda evitar el deslizamiento de la estructura.

Para lograr que el neopreno se adhiera al acero, estos deben tener un proceso de vulcanización, para que así se obtenga un producto más resistente ante las cargas de compresión, cargas de la estructura y cargas exteriores, además de las dinámicas, producida por el tránsito vehicular.

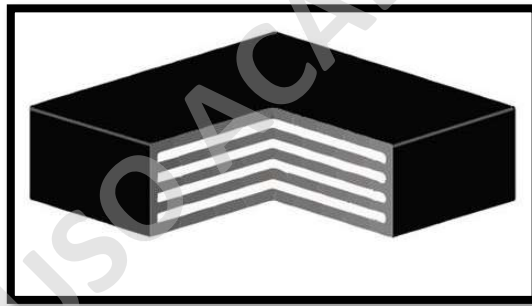


Figura 23: Apoyo Simple en Neopreno Reforzado.
Fuente: Obtenido de EYM productos.

Apoyos POT.

Este tipo de apoyo se utiliza para soportar cargas tanto verticales como horizontales. Destacan por su alta capacidad de resistencia, la cual es superior al apoyo reforzado, donde dentro de su diferencia es que permite movimientos giratorios con respecto a su eje. Este tipo de apoyo es mayormente utilizado para construcciones como obras civiles destacando su mayor uso en puentes, ya que ofrece una mejor estabilidad. Otra característica que entrega este tipo de apoyo es que puede variar en su materialidad, de acuerdo a las condiciones del entorno donde será empleado, haciéndolo tener una mayor vida útil, sobre todo en ambientes donde la corrosión es un gran peligro.



Figura 24: Apoyo POT.
Fuente: Obtenido de EYM productos.

4.2.1.4. Extranjero.

Sistemas especiales Maurer.

Apoyos esféricos Anti-Levantamiento.

Estos tipos de apoyos permiten transferir y soportar cargas como la tracción y compresión, con cualquier tipo de rotación y desplazamiento. Estos tipos de apoyos pueden llegar a ser adecuados para estructuras que son complejas, las cuales pueden presentar variación fuerte de cargas y a su vez de deformación, como lo que ocurre en los puentes destinados a los trenes. (Maurer., s.f.)

Apoyos puntuales y lineales basculantes.

Estos tipos de apoyos es singular debido a que solo es utilizado para la construcción de puentes de manera excepcional. Ya que están destinados para darle uso en mantenciones, como edificios de arquitectura sofisticada.

4.2.1.5. Evaluación Económica.

Debido a la funcionalidad que conlleva estos dispositivos es que su evaluación económica debe ser evaluada, ya que el costo dependerá del tipo de proyecto.

Se deben considerar algunos aspectos como los siguientes:

Costo de los dispositivos.

- *Costo del proyecto de aislación.*
- *Costo de fabricación.*
- *Costo de instalación*
- *Costo de protección contra el fuego*
- *Costo de sistema de conectores flexibles.*

Costo de mantención

Costo de proveer un espacio físico adicional.

4.2.1.6. Normativa.

Manual de carretas Capítulo 3.1000 “Puentes y Obras Afines” (2002)

3.1003.10 del manual de carreteras, establece que deberán ser respetado las disposiciones de la “**Sección 14 de la norma AASHTO, la entrega las disposiciones y criterios de diseño para los apoyos elastómeros en puentes y obras afines**”, las cuales deberán ser respetado en los diseños chilenos, considerando las modificaciones o complementos que se incluyen, los cuales son:

3.1003.1001 Ensayes de los Materiales.

3.1003.1002 Modulo de corte G de las Placas.

3.1003.1003 Recubrimiento Lateral de los Refuerzos.

3.1003.1004 Deformación Lateral Máxima Admisible.

4.2.2. Disipación Sísmica.

Los disipadores de energía, cumplen la función de disipar la energía recibidas por sismos, vientos fuertes, o todos aquellos fenómenos que sean de características dinámicas, de manera tal de aumentar el amortiguamiento recibido y así reducir posibles daños en las estructuras.

Dentro de los disipadores sísmicos podemos encontrar lo siguiente:

4.2.2.1. Disipador Metálico.

Este tipo de disipador consiste en la disipación de energía a través de metales sometidos a esfuerzos de corte, flexión, torsión o combinación entre ellos. Este tipo de disipador es confiable a largo plazo debido a que presentan buena resistencia a factores como ambientales y a la temperatura.

4.2.2.2. Disipador viscoso.

Es un tipo de disipador que disipa la energía a través de un fluido de alta viscosidad la cual pasa por orificios, longitud e inclinación previamente determinados para así tener un control de donde circulara el fluido. Tiene la capacidad de resistir los esfuerzos provocados por los sismos.

Dentro de los puentes chilenos que han ocupado este disipador se encuentra el puente de Amolanas.

4.2.2.3. Evaluación Económica.

Debido a la funcionalidad que conlleva estos dispositivos es que su evaluación económica debe ser evaluada, en donde se deben considera algunos aspectos como los siguiente:

Costo del Dispositivo:

- *Costo del proyecto.*
- *Costo de instalación*
- *Costo de ensayos y certificación.*
- *Costo de refuerzos locales de la estructura.*

Costo de mantención y/o reparación.

Costo de zonas que dejan de utilizar para ubicar los dispositivos.

4.3. Juntas de Dilatación.

Las juntas de dilatación son elementos fabricados en base a caucho y que ayudan a sellar herméticamente a estructuras sometidas a fuertes movimientos, los cuales pueden ir en diferentes direcciones como longitudinal, transversal y de rotación.

La finalidad de las juntas es controlar los movimientos entre dos elementos de una estructura en particular, ya que estas estructuras están generalmente expuestas a movimientos y a variaciones de temperaturas.

En nuestro país, una de las empresas dedicadas a la fabricación de estas juntas es Tecnoing, Tecnoav y Orion.

A continuación, se presentarán algunos tipos de juntas de dilatación, ya que existen de diferentes tipos, ya sea por materialidad o como funcionalidad de estos.

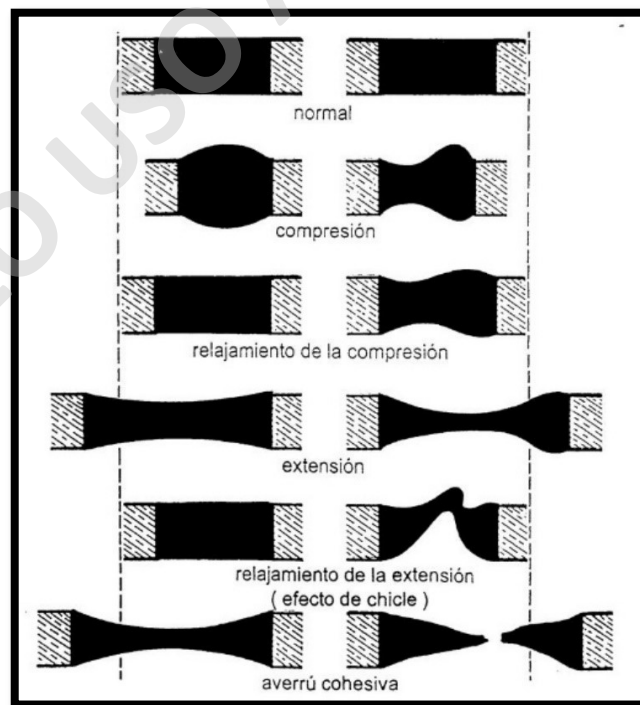


Figura 25: Demostración de deformación de Junta.

Fuente: Obtenido de Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT.

4.3.1. Juntas elásticas tipo chicle.

También llamada junta plasto elastómera, es un tipo de junta utilizada en zonas de harto tráfico donde sus movimientos son de menos de 50 mm. Esta junta tiene una mezcla de bituminoso en caliente con áridos especiales. En Chile Orión es una empresa que se dedica a este tipo de junta.



Figura 26: Junta Elástica Tipo Chicle.
Fuente: Obtenido de Empresa Orión.

4.3.2. Juntas apernadas de neopreno armado.

Este tipo de junta son perfiles de caucho elastómeros que en su interior tiene armaduras de acero que ayudan como refuerzo. Su nombre se debe a que los perfiles van anclados a la junta gracia a pernos con resina. Este tipo de junta es utilizado en zonas de transito moderado, ya que los movimientos que resiste van de medios a grandes.



Figura 27: Junta Apernadas de Neopreno Armado.
Fuente: Obtenido de Empresa Orión.

4.3.3. Juntas Modulares.

Este tipo se puede utilizar en todo tipo de puentes, independiente al movimiento que efectué la estructura (puente). Si bien se puede utilizar en cualquier puente esto no implica que sea fácil de instalar, ya que, la instalación con lleva una complejidad técnica, lo cual amerita una correcta planificación la para la ejecución. Pero algo positivo a este sistema que tiene una durabilidad elevada para usos de gran intensidad.



Figura 28: Juntas Modulares.
Fuente: Obtenido de Empresa Orión.

4.3.4. Juntas de Dilatación Maurer.

En el extranjero se puede encontrar más variedad en tecnología, ya que muchas tecnologías se realizan allá, y las juntas no son la excepción es por eso que a continuación se presentaran juntas de dilatación fabricadas en Alemania.

4.3.4.1. Junta de dilatación de acero.

Esta junta consiste en una sola ranura para movimientos que son de alrededor de 80 mm, es una junta de acero la cual se ancla a la estructura con hormigón polimérico de endurecimiento rápido. Este tipo de junta son idóneas para puentes donde la superficie es asfalto o de hormigón, debido a la profundidad a la cual se puede instalar, es muy utilizada para la sustitución de juntas ya existentes en la estructura.

Este tipo de junta es muy económica y rápida de instalar, ya que al momento de instalar no requiere que se rompa la estructura que se encuentra debajo.

4.3.4.2. Junta de Dilatación Deslizante.

Estas juntas permiten un movimiento de alrededor de 1.000 mm, es un tipo de junta idóneo para zonas de alto tránsito, dada sus características (modular) permite que sean fácil de sustituir.

CAPITULO V: TÉCNICAS PARA LA MANTENCION DE PUENTES.

Definición de Mantención.

Acción y efecto de mantener en el tiempo instalaciones, edificios o maquinarias.

5.1. Situación Chile.

En el país las maneras de realizar mantenciones siguen siendo igual que hace años, incluso existiendo herramientas más modernas para realizarlas. Esto ha implicado que la falta de mantención en las estructuras nacionales sean débiles, ya que para poder realizar una correcta mantención a las estructuras se requiere una previa información del estado en que se encuentran estos, y este último punto es el relevante debido a que el país, la técnica que se aplica para monitorear el estado de los puentes, consiste en visitas de profesionales con una ardua experiencia en el área, en donde son ellos los que deben decidir, por este motivo se hace dificultoso saber realmente cual es el estado actual de nuestros puentes.

La problemática sobre obtener una información constata sobre el estado de los puentes a llevado que se requieran la utilización de nuevas tecnologías para la mantención de estos, es por ello que en el año 2019 el Ministerio de Obras públicas (MOP) realizo una licitación para que empresas presentaran sus propuestas. La cual tenía la finalidad de monitorear el estado de los puentes Toltel y Seminario, para que así disminuir el costo por puente monitoreado y así incorporar estrategias de optimización de conservación y mantención de los puentes.

Dentro de la información entregada por la dirección de vialidad MOP, departamento que pertenece al Ministerio de Obras Públicas y que se encarga de administrar la red vial, la cual es de alrededor de 85 mil Kilómetros, presento que existían 14 puentes en estado crítico, los cuales debían ser atendidos de forma inmediata, de los cuales, 2 fueron reparados, 3 se encontraban en reparación y uno colapso, también se informó que 145 puentes requerían reparación dentro de uno a dos años y 860 puentes en estado de conservación regular a bueno.

5.2. Inspección de Puentes (Manual de Carreteras).

El país dentro de una de las formas en que se rige para definir ciertos aspectos para la construcción, mantención, reparación, etc. se basa en el manual de carreteras, manual cuya finalidad es establecer ciertos aspectos de cómo se deber realizar ciertas tareas en el área de las obras civiles del país.

Dentro de uno de los puntos que se señalan en este manual es el punto “7.204.307 Inspección de Puentes y Estructuras”. Cuyo punto indica la información que se debe recabar al momento de la inspección, para verificar la servicialidad y estabilidad en base al nivel de deterior que presentan las estructuras. En las inspecciones se deberá indicar la siguiente información.

- Identificar los daños que han sido producidos por el medio ambiente. Accidentes vehiculares, vandalismo u otros.
- Actualizar información básica de la estructura, cuya información la mantiene la Dirección de Vialidad.
- Determinar el nivel de deterioro que puedan las estructuras y establecer los trabajos a realizar.
- Establecer la prioridad de las acciones destinadas a resguardar la seguridad de la obra y de los usuarios.
- Programar los recursos necesarios para los trabajos de mantenimiento y reparaciones.

Dentro de las inspecciones se pueden encontrar las de dos tipos.

-Rutinarias: *Inspección que se realiza de forma habitual y periódica.*

-Extraordinarias: *Inspección que se realiza cuando ocurre una crecida, terremotos accidentes u otros.*

En cada inspección que realice se deberán registrar en un informe cierta información relevante de la estructura, como los son los siguiente.

- Ficha de Registro.
- Plano de Registro.
- Informe de Diagnostico.
- Cubicaciones y presupuestos.

A continuación, se presenta las láminas para realizar los registros con la información necesario, estas laminas pertenecen al Departamento de Vialidad.

Figura 29: Lamina 7.204.3 A.

Fuente: Obtenido de Manual de Carreteras Volumen N° 7 “Mantenimiento Vial”.

En esta lamina “7.204.3 A” se registran los siguientes antecedentes.

- Nombre del Puente. - Tipo de Puente. - Km de Localización. - Nombre de la ruta.
- Rol de la ruta y Código de la Dirección de Vialidad. - Nombre de Cauce. - Región.
- Provincia. - Comuna. - Longitud Total. - Anchos de Pasillos. - Ancho de Pasillos.
- Luz Mayor. - Numero de Vigas. - Ancho de Calzada. - Números de Tramos.
- Numero de Cepas. - Galibo. - Espesor de la losa. - Tipo de Carpeta. - Indicar Esviaje.
- Obra Fluvial. - Transito. - Grado de Daño. - Capacidad de Puente.

MANUAL DE CARRETERAS VOL. N° 7		FICHA DE REGISTRO		7.204.3 B Diciembre 2000							
FECHA DE CONSTRUCCIÓN: CONSTRUCTOR:		CORTE TRANSVERSAL									
PROYECTISTAS:		☐									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">AUTOS</td> <td style="width: 20%;">CAMIONETAS</td> <td style="width: 20%;">CAMIONES SIMPLES</td> <td style="width: 20%;">CAMIONES TRAILER</td> <td style="width: 20%;">BUSES</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>					AUTOS	CAMIONETAS	CAMIONES SIMPLES	CAMIONES TRAILER	BUSES		
AUTOS	CAMIONETAS	CAMIONES SIMPLES	CAMIONES TRAILER	BUSES							
T.M.D.A. (Pasadía): DEL AÑO: HUBO CORTE EN LOS AÑOS:		☐									
MATERIALES: A = Acero, M = Madera, HA = Hormigón Armado, PC = Precastriado, LC = Ladillo y/o Cantería											
PISO: VIGAS: ESTRIBOS: CEPAS: FUNDACIONES:		MAPA DE UBICACIÓN									
DESCRIPCIÓN FUNDACIONES:		☐									
ALTERNATIVA EXISTENTE:											
PLANOS EXISTENTES:		☐									
BREVE DIAGNÓSTICO DE SU ESTADO:											
NOMBRE: CARGO: FECHA:		NOMBRE: CARGO: FECHA:									

Figura 30: Lamina 7.204.B.
Fuente: Obtenido de Manual de Carreteras Volumen N° 7 “Mantenimiento Vial”.

5.3. Inspecciones visuales.

Las inspecciones visuales son generalmente el primer método que se aplica para evaluar el estado en que se encuentra una estructura, las inspecciones visuales tienen como objetivo detectar daños visibles o los que son posibles y así poder llegar a una evaluación de lo que se puede realizar, como lo puede ser una mantención y/o una posterior reparación, en el caso que lo amerite, y también darle un grado de prioridad, ya que muchas estructuras necesitan reparación pero no son necesarios a corto plazo, debido que pueden haber estructuras que si lo ameriten de forma inmediata.

Con estas inspecciones se pueden tomar decisiones, como la elección del tipo de mantención, los cuales pueden ser preventivo, predictivo y correctivo.

En nuestro país aún se realizan las inspecciones visuales, lo cual la forma en que se lleva a cabo no es de las mejores, debido a que la toma decisiones en las inspecciones las hacen profesionales con experiencias en el área, por lo que hace que las decisiones no sean las mismas siempre, ya que no se tiene un manual en específico donde muestren ciertos criterios para la evaluación final.

5.4. Sistema LAO Freyssinet.

El sistema de levantamiento automático por ordenador, es una técnica la cual ayuda a monitorear el estado de las estructuras en tiempo real a través de un control de los cilindros hidráulicos, esto gracias al empleo de sensores de recorrido y presión con un control electrónico, el equipo ayuda a que cilindros trabajan a través de la elevación o descenso, independiente de las cargas que estos soporten. Ahora por otro lado cuando se realiza el levantamiento de tableros, el sistema permite que se produzcan movimientos rígidos, de tal manera que a estos no se le produzcan deformaciones como es la flexión.

Este sistema ayuda para cuando se requiere del levantamiento del puente para fines de reparación y rehabilitación, como por ejemplo la sustitución de apoyos como que le caso del puente Manuel Rodríguez.

Puente Aconcagua antiguo y David García

5.5. Monitoreo a través de RPAS (Drones).

Las mantenciones siempre tienen un análisis previo, el cual consiste en un chequeo visual a las estructuras para saber el estado de estos, lo que hace tenga dificultad en algunas zonas de la estructura, ya que hay ciertos sitios que es difícil el acceso, por lo cual se debe recurrir a grúas, andamios u otras maneras para realizar el análisis. Es por esto mismo que hoy en día está comenzando a utilizar ciertas tecnologías para facilitar esta tarea y dentro de esta tecnología se puede encontrar el SISTEMA DE AERONAVE PILOTADA POR CONTROL REMOTO (RPAS, por sus siglas en inglés Remotly Piloted Aircraft System) lo que es más conocido como DRONES.

Los drones están siendo utilizados por el fácil control y bajo costo, estos pueden llegar a zonas de la estructura el cual no amerita la utilización de grúas, obteniendo imágenes de alta calidad y disminuyendo los tiempos de la inspección.

Con este sistema se elimina el riesgo de algún accidente, debido a que generalmente se utilizan escaleras, grúas plumas, camiones articulados para la realización de los análisis.

Dentro de las empresas dedicadas a esta labor de obtener imágenes de las estructuras se puede encontrar a la empresa DronesXservice que se encuentra en España.

5.6. Monitoreo de Salud Estructural.

El Monitoreo de salud estructural (MSE) es un método el cual ayuda a controlar el estado de una infraestructura. Este método consiste en la colocación de sensores en puntos estratégicos de la estructura para así detectar el lugar y presencia de daños producidos por sismos u otro evento.

Al ser las estructuras todas distintas, los sensores son personalizados, en donde estos reportan la situación de la estructura a una base de datos y así se administra toda la información recopilada.

Este método ayuda bastante debido que muchas veces se debe realizar las inspecciones visualmente lo que dificulta llegar a ciertos puntos de la estructura, y no se puede realizar la inspección a todas las estructuras (puentes), con este método eso dejaría de ser una problema y tener un mayor control del estado en que se encuentran, solo se deberá tener ingreso a la base de datos y saber el puente que se requiere saber su estado estructural, en caso que lo amerite se procede a la mantención o reparación dependiendo de la evaluación que se realice posteriormente. Además, este método entrega una mayor confiabilidad que solo realizar la inspección visual.

Dentro de las ventajas que se pueden encontrar con este método, podemos encontrar los siguiente.

- Mantener un control del estado de la estructura de forma continua.
- Permite alertar de daños o fallas en tiempo temprano y así dar una respuesta inmediata.
- Ahorro de costos y tiempo.
- Entregar diagnósticos a una mayor precisión a través de vibraciones, tensiones, temperaturas y desplazamiento.
- Además, este tipo de método es complementario con un levantamiento en 3D para determinar exactamente la zona a estudiar.

A continuación, se presentarán los tipos de sensores que se utilizan para saber el estado de la estructura.

-Datalogger: para la transmisión e interpretación de datos.

-Acelerómetro: Para medir las vibraciones producidas.

- Inclinómetro: para medir las posibles inclinaciones de las estructuras.

-Fisuramiento lineal: para determinar los movimientos de juntas o la apertura de las grietas existentes.

-Medidor de temperatura y humedad: ya que se trata de datos importantes para la toma de decisiones, pudiendo influir en los resultados de los parámetros anteriores

- cámara termográfica: para determinar las temperaturas de las zonas de estudio y detectar posibles fugas, desprendimientos, etc.

- Control de corrosión en aceros.

- Control de agentes xilógrafos en la madera.

- Inundabilidad.

5.6.1. Pasos de un programa de monitoreo.

1.- Inspección de posibles zonas a monitorear.

2.- Selección de las zonas vulnerables detectadas por una inspección visual previa.

3.- Instrucciones sobre qué elementos son críticos en la estructura.

4.- Selección de la instrumentación necesaria a utilizar.

5.- Entrenamiento de personal capacitado.

6.- Instalación de la instrumentación.

7.- Programar las fechas para realizar visita en terreno.

8.- Preparación de planillas para resumir información obtenida.

9.- Recolección de datos básicos, como el terreno, la hidrología, etc.

10.- Interpretación de los datos recolectados.

11.- Decisión de las condiciones que ameriten el cierre del puente.

CAPITULO IV: TÉCNICAS APLICADAS V/S POSIBLES EN PUENTE SOCOS.

Para realizar una comparación y conocer cómo afectaría en el presupuesto la aplicación de estas técnicas, se utilizará un presupuesto oficial perteneciente al Ministerio de Obras Públicas, que es del “Puente Socos”.

El puente “socos” se encuentra en el camino que une la ruta 5 norte con Ovalle, en comuna de Ovalle, región de coquimbo.

Este puente fue construido allá por el año 1940, la longitud de esta estructura es de 195 m, en donde se compone de 11 tramos de 17,5 cada uno, estructurado con apoyos tipo Gerber, el ancho de la calzada es de 7 m y 1 m en el pasillo por lado.

Debido al estado que se encontraba, el ministerio de obras publica informo a la dirección de vialidad que se ejecutara una serie de revisiones y análisis a este puente, para posteriormente realizar el proyecto de reparación de la estructura.

Dentro de las reparaciones que se debió hacer se encuentran, apoyos Gerber, reposición de pavimento, cambio de juntas de dilatación, mantención del tránsito, ensanches de pasillos, colocación de nuevos desagües, reparaciones de hormigones y reemplazo de barandas. Para realizar estas labores se debió cerrar el cruce y habilitar una alternativa por quebrada seca. (MOP, 2019)

El presupuestó oficial para estas labores fue de \$633.164.490 con una duración de 180 días. Que se presenta a continuación.

ITEM	DESIGNACION	UN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL (\$)
1	INFRAESTRUCTURA				
207	Gaviones de Protección	m³	500	28.000	14.000.000
617	Reparación de Hormigones, Grietas y Fisuras en Cepas y Estribos	Unid	12	1.200.000	14.400.000
2	SUPERESTRUCTURA				
541	Postes Señalizadores	N°	4	80.000	320.000
551	Señalización	Gl	1	800.000	800.000
600	Demolición y Retiro de Carpeta de Rodado	m²	1.365	12.000	16.380.000
602	Reposición de Pavimento por Concreto Reforzado	m²	1.989	45.000	89.505.000
607	Reemplazo de Desagües o Barbacanas	Tr.	11	100.000	1.100.000
615	Reparación de Apoyos Gerber	N°	32	1.800.000	57.600.000
616	Reparación e Inyección de Grietas y Fisuras (Losa)	Gl	1	6.000.000	6.000.000
623	Limpieza y Reparación de Apoyos Simples	N°	48	80.000	3.840.000
634	Reposición Juntas de Dilatación	ml	84	150.000	12.600.000
650	Reposición de Pasillos y Barandas	ml	414	280.000	115.920.000
705-1	Tachas Reflectantes	N°	300	3.800	1.140.000
3	VARIOS				
515	Losa de Acceso (6x10x0,3) x2	m³	36	350.000	12.600.000
618	Limpieza y Pintado General del Puente	ml	200	55.000	11.000.000
622	Ejecución de Planos de Recepción	Gl	1	4.500.000	4.500.000
208	Mejoramiento de Cauce en Puente	m²	20.000	3.500	70.000.000
5.704-1	Demarcación del Pavimento, Línea Central Continua	m	300	4.500	1.350.000
5.704-5	Demarcación del Pavimento, Línea Lateral Continua	m	600	4.500	2.700.000
7.308-8	Colocación de Barreras de Seguridad Nuevas	ml	128	22.000	2.816.000
4	PLAN DE MANEJO INTEGRAL				
980	Señalización, Control y Mantenimiento de Tránsito	Gl	1	50.000.000	50.000.000
5.106-1	Instalación de Faenas y Campamentos	Gl	1	30.000.000	30.000.000
5.106-2	Sistema de Evacuación de Aguas Servidas	Gl	1	3.000.000	3.000.000
5.210-1	Apertura, Explotación y Abandono de Empréstitos	Gl	1	4.000.000	4.000.000
5.307-1	Plantas de Producción de Materiales	Gl	1	3.000.000	3.000.000
5.804-1	Apertura, Uso y Abandono de Botaderos	Gl	1	3.500.000	3.500.000

TOTAL NETO	532.071.000
19 % I.V.A.	101.093.490
TOTAL	633.164.490

Tabla 3: Presupuesto Oficial para Reparación y Conservación del Puente Socos.

Fuente: Obtenido de Mercado Publico.

6.1. Reposición de los apoyos.

Para la reparación de los apoyos se debió proceder previamente con la limpieza de la zona, además de la reparación de los hormigones, armaduras y pernos de anclajes.

Los apoyos móviles son de forma de rodillos, la cual se encontraban muy deterioradas, completamente oxidada. Como estos van anclados al hormigón se debe picar para sacarlos, pero previo a esta tarea se debió obtener un testigo para saber la resistencia. También se encontraban apoyos fijos con placas metálicas, donde estos debían ser reparados con placas de acero o de plomo y si se decidía sustituirlos por otro tipo de material primero se debía determinar las dimensiones y materialidad, los cuales podían ser reemplazados por apoyos de neopreno de dureza 60. Para realizar las tareas de levantamiento para introducir los nuevos apoyos, el contratista debe realizar un diseño de levantamiento y apuntalamiento.

Solución utilizada	Solución posible a utilizarse
- Apoyos de Neopreno.	- Aislador elastómero (LDRB-LRB-HDRB)
	- Aislador Deslizantes
	- Disipadores.

Tabla 4: Soluciones Utilizada / Soluciones Posibles en "Reposición de los Apoyos"
Fuente: Creación Propia.

Costo de los apoyos de neopreno utilizados: \$80.000

Costo de los Aisladores Elastómeros (LDRB-LRB-HDRB) y Deslizantes: \$614.400 a \$768.000 dependiendo las características del puente y el diseño del aislador.

Costo realizado en la reparación: \$80.000 x 32= \$2.560.000.

Costo con los Aisladores Posibles: $\$614.400 \times 48 = \$29.491.200$

$\$768.000 \times 48 = \$36.864.000.$

Los costos totales de los otros aisladores rondaran entre **\$29.491.200 - \$36.864.000.** aproximadamente, dependiendo de las características del puente. Y para este caso, tomando el valor más alto de **\$768.000** por aislador y reemplazándolo en el A.P.U Oficial, el costo del presupuesto sería de **\$672.463.050**, significando un aumento de **↑6,2%** del presupuesto Oficial

Costo de Disipadores Posibles: aproximadamente entre el 1% - 3% del presupuesto:

Aumento del ↑1% con respecto al presupuesto: \$6.331.645.

Aumento del ↑3% con respecto al presupuesto: \$18.994.935.

Al tomar el valor mal alto (3%) y agregarlo al A.P.U oficial (ya que no están considerados) el Presupuesto Final queda de **\$655.768.463.**

Protección Sísmica	%	Ranking según Costo
Aisladores	6,2%	1°
Disipadores	3%	2°

Tabla 5: Porcentaje de Aumento del Presupuesto con Protección Sísmica.

Fuente: Creación Propia.

6.2. Reparación del Hormigón en Cepas y Estribos.

Las reparaciones que se efectuaron en lo que grietas y fisuras respecta, consistía en que todas las superficies que presentaran nidos de piedras, carbonatación, armadura a la vista, corrosión, exudación, hongos, etc., debían ser reparados con morteros de resistencia mínima 300 KG/cm² y adheridos con puente adherente.

Solución utilizada	Solución Posible a utilizarse
- Mortero de alta resistencia	- Inhibidor de corrosión
	- Epóxidos
	- Recubrimiento anti carbonatación
	- Fibras de carbono y vidrio (sistema TYFO)
	- Concreto Delpatch.

Tabla 6: Soluciones Utilizado / soluciones Posibles para Reparación de Hormigón en Cepas y Estribos.

Fuente: Creación Propia.

Las soluciones posibles, cumplen el mismo y mejor propósito que con el mortero solo.

-Inhibidor de corrosión: Proteger las armaduras.

-Recubrimiento anti carbonatación: para la corrosión.

-Fibras de carbono y vidrio: Nidos de piedras, armaduras a la vista.

-Epóxidos: Fisuras.

-Concreto Delpatch: Fisuras, grietas y trizadura.

Si bien puede que los costos aumenten en comparación con el mortero, estos pueden asegurar una mayor vida útil de los componentes de la estructura.

Costo del Inhibidor de corrosión: \$100.000 x 3 Lt, el rendimiento el variable dependerá de la superficie a cubrir, para efectos prácticos se utilizan 9 Lt, dando un total de **\$300.000.**

Costo Recubrimiento anti carbonatación: \$160.900 x Tineta de 25Kg, rendimiento Tineta 62,5 m² con dos capas, para efectos prácticos se utilizarán 5 Tinetas, totalizando 313 m². dando un costo total de **\$804.500.**

Costo Epóxidos: \$19.790 x Kg, rendimiento variable, para efectos prácticos se utilizarán 20 Kg, totalizando **\$395.800**.

Costo de Mortero utilizado: \$1.200.000 x (10 cepas + 2 estribos) = \$14.400.000.

Costo de los materiales en conjunto: \$300.000+\$804.500+\$395.800= \$1.500.300.

Al agregar el costo de **\$1.500.300** de los materiales (ya que sirve como complemento al mortero) en el A.P.U del Presupuesto Oficial se obtiene un Presupuesto Final de **\$634.664.790**, aumentando en **0,23%**.

Materiales	%	Ranking según Costo
Conjunto de materiales	0,23 %	1°

Tabla 7: Porcentaje de Aumento del Presupuesto con Materiales en Conjunto.

Fuente: Creación Propia.

6.3. Reposición de Juntas de dilatación.

Esta labor consistió en remoción de cantoneras actuales, para ser reemplazadas por juntas elastómeras expansibles que sean totalmente impermeables en el mismo lugar de que se encontraban las anteriores. Para realizar el reemplazo de las juntas debieron basarse en el volumen N°7 del Manual de Carreteras.

Una vez removidas se debió reparar con morteros y se reconstruyo los bordes para dejar una dilatación de 25 mm. La colocación del perfil consiste en la adherencia en las paredes de la junta con un adhesivo. Una vez hecho estos, se procedió a la presurización del perfil, la cual hace que el perfil se expanda y logre una adherencia en el borde y posteriormente pasada las 24 hrs se realiza la despresurización.

Solución utilizada	Solución Posible a utilizarse
- Junta Elastómeras Expansibles.	- Junta de Dilatación Tipo chicle
	- Junta apernada de neopreno armado.
	- Junta Modulares
	- Junta de Dilatación de Acero.
	- Junta de Dilatación Deslizante

Tabla 8: Soluciones Utilizado / Soluciones Posibles para Reposición de Juntas de Dilatación.

Fuente: creación Propia.

Las soluciones posibles podrían cumplir fácilmente la función de la solución utilizada, tal vez el tema de costo entro como variable para elegir la junta elastómera expansible y no otra. O también por las características que tiene el puente no ameritaba otro tipo.

Costo de Juntas elastómeras expansibles utilizadas: \$150.000 /ml.

Costo de las juntas de Dilatación Posibles: \$38.700 ml a \$1.500.00 ml, la gran diferencia existente es debido al tipo de junta, ya que algunas son más sofisticadas y también dependerá al requiriendo del tipo de puente.

Costo realizado en reparación: \$150.000 x 84 ml=\$12.600.000.
Costo con las juntas de dilatación Posibles: \$38.700 x 84 ml=3.250.800.
\$1.500.000 x 84 ml= 126.000.000.

Si el valor más alto de **\$1.500.000 x 84 ml** (cuyo valor difícil de utilizar para una reparación de juntas) lo reemplazo en A.P.U del Presupuesto Oficial, daría este un total de **\$768.110.490**, significando un aumento del **21%** del presupuesto Oficial.

SOLO USO ACADÉMICO

6.4. Reposición pavimento con concreto reforzado.

La ejecución de esta labor consiste en la construcción de un nuevo pavimento que será de concreto reforzado de 12 cm, y que abarcará todo el tablero (calzada más pasillo). El tipo de hormigón empleado es G-30, que será reforzado con una doble malla de acero A63-42H de Ø12 mm de forma transversal y de Ø10 mm de forma longitudinal con recubrimiento de 3 cm.

Para esta labor solo se procedió a efectuar la labor ya mencionada sin agregar alguna técnica nueva para mitigar posibles causas de fallas futuras.

Solución utilizada	Solución Posible a utilizarse
- Hormigón G-30	- Imp. Con membrana asfáltica pre fabricada.
	- Imp. Con membrana de PVC.
	- Imp. En base a poliuretano.
	- Imp. Polimérica Acrílica.
	- Imp. Con pastas bituminosas
	- Imp. En base a revestimientos de Poliurea.
	- Hormigón de Ultra-Alta Resistencia

Tabla 9: Soluciones Utilizada / Soluciones Posibles para Reposición Pavimento con Concreto reforzado.

Fuente: Creación Propia.

Costo del hormigón G-30: \$45.000/m², cantidad: 1.989 m², Costo total: \$89.505.000.

Costo Imp. Con Membrana Asfáltica:

\$ 42.990 Rollo - Rendimiento: 10 m² x Rollo.

Cantidad de rollos con respecto al total a cubrir: $1.989 \text{ m}^2 / 10 \text{ m}^2 = 199$ Rollos.

Costo total \$8.555.010.

Aumento de ↑1,35% del Presupuesto Oficial.

Costo Imp. Con Membrana de PVC:

\$ 94.800 Rollo – Rendimiento: 40 m² x Rollo.

Cantidad de rollos con respecto al total a cubrir: $1.989 \text{ m}^2 / 40 \text{ m}^2 = 50 \text{ Rollos}$.

Costo total \$4.740.000	Aumento de $\uparrow 0,74\%$ del Presupuesto Oficial.
--------------------------------	---

Costo Imp. En base a poliuretano:

\$ 171.360 Tineta 25 Kg, - Rendimiento: 50 m² x Tineta.

Cantidad con respecto al total a cubrir: $1.989 \text{ m}^2 / 50 \text{ m}^2 = 39,78 \approx 40 \text{ Tinetas}$.

Costo total \$ 6.854.400	Aumento de $\uparrow 1,08\%$ del Presupuesto Oficial.
---------------------------------	---

Costo Imp. Polimérica acrílica:

\$ 78.375 Tineta 20 Kg, - Rendimiento: 100 m² x Tineta.

Cantidad con respecto al total a cubrir: $1.989 \text{ m}^2 / 100 \text{ m}^2 = 19,89 \approx 20 \text{ Tinetas}$.

Costo total \$ 1.567.500	Aumento de $\uparrow 0,24\%$ del Presupuesto Oficial.
---------------------------------	---

Costo Imp. Con pasta bituminosa:

\$ 45.000 Tineta 25 Kg, - Rendimiento: 50 m² x Tineta.

Cantidad con respecto al total a cubrir: $1.989 \text{ m}^2 / 50 \text{ m}^2 = 39,78 \approx 40 \text{ Tinetas}$.

Costo total \$ 1.800.000	Aumento de $\uparrow 0,28\%$ del Presupuesto Oficial.
---------------------------------	---

Costo Imp. En base a revestimiento de poliurea:

\$ 122.700 Tineta 25 Kg, Rendimiento: 12,5m² x Tineta

Cantidad con respecto al total a cubrir: $1.989 \text{ m}^2 / 12,5 \text{ m}^2 = 159,16 \approx 160$ Tinetas.

Costo total \$ 19.632.000	Aumento de ↑3,1% del Presupuesto Oficial.
----------------------------------	--

Impermeabilizantes	%	Ranking según Costo
Polimérica Acrílica.	0,24%	1° Menos Costoso
Con pastas Bituminosas.	0,28%	2°
Con Membrana de PVC.	0,74%	3°
En base a Poliuretano.	1,08%	4°
Con Membranas Asfálticas Prefabricadas.	1,35%	5°
En base a revestimientos de Poliurea.	3,10%	6° Más Costoso

Tabla 10: Porcentaje de Aumento del Presupuesto con Impermeabilizantes.

Fuente: Creación Propia.

Es común que en las reposición o construcción de un puente solo se coloque hormigón, debido a temas como costo o por facilidad de hacerlo, pero si se aplicaran nuevas técnicas como los impermeabilizantes tal vez el pavimento dure más, ya que está emplazado en un cauce, cuya zona está expuesta constantemente a aguas. Lo que hace que se acelere alguna causa de falla a corto plazo.

Utilización de Hormigón Ultra-Alta resistencia.

Costo del hormigón G-30: \$45.000/m², cantidad: 1.989 m², Costo total: \$89.505.000.

Volumen utilizado de Hormigón G-30: 195 m x 10,2 m x 0,12 m = 239 m³.

Costo de las fibras para el volumen total del pavimento.

Precio de fibra para el hormigón: \$5.000 x 0,6 Kg.

Cantidad de Fibras por m³: 160 Kg/m³.

Costo de fibras por m³: (160 Kg/m³ / 0,6 Kg) x \$5.000= \$1.333.333 x m³.

Costo Total de fibras para el Pavimento: 239 m³ x \$1.333.333 x m³= \$318.666.587.

Hormigón + Fibras= **\$89.505.000 + \$318.666.587.**

Total: \$408.171.587.

Al reemplazar este valor en A.P.U del Presupuesto Oficial se tiene un Presupuesto final de **\$1.012.377.729**, aumentando un **60 %** con respecto al oficial, implicando un aumento bastante considerable, lo que refleja el poco uso de esta técnica en la realidad.

6.5. Mantenciones Posibles.

6.5.1. Monitoreo de salud Estructural.

El precio que se maneja en Chile de la empresa COTECNO es de \$5.412.000 + I.V.A = **\$6.440.280.**

Debido a la falta de mantención que hay en el país por el motivo de darle prioridad a otras estructuras imposibilita la visita a otros provocando así que se desconozca el estado de estos. Por este motivo la utilización del monitoreo de salud estructural permitiría saber a tiempo la situación de estos, además que estos sistemas informan cómo se encuentra el puente posterior a un terremoto.

6.5.2. Monitoreo RPAS.

Precio de dron es de **\$129.000.**

Permitiendo tener la posibilidad de realizar visitas al lugar e inspeccionar la estructura de mejor manera que la visual, ya que permite llegar a zonas de la estructura difíciles de manera más fácil.

Conclusion.

Si bien estas técnicas o sistemas contemporáneos tienen un aumento significativo en los costos en el inicio, son soluciones que permitirán evitar o mitigar posibles fallas que se puedan generar en el tiempo, y por consecuencia disminuir la probabilidad de que estos colapsen y de perder la conectividad en el territorio, que es tan relevante. Además, que con el tiempo estas mejoras en las estructuras, permitiría que se produzca una disminución significativa en las inversiones que destina el Gobierno para la Construcción, Rehabilitación y Mantenimiento de puentes, ya que no habría la cantidad de puentes con fallas estructurales, como en la actualidad.

Estas técnicas entregarían soluciones que, al momento de emplearlas, no se tenga la necesidad de alterar la forma estructural del puente, ya que, en el caso de los aisladores y disipadores de energía, son sistema que se adaptan a la estructura y no al revés, que la estructura se adapte a los sistemas de aislación de energía, además entregan una rápida ejecución en sus instalaciones, la cual permite que se disminuya la cantidad de mano de obra.

Por otro lado, en nuestro país dentro de las falencias que se pudo apreciar, fue el poco control que se tenía del estado de los puentes, esto debido a que cuando colapsaron 2 puentes en el sur del país, se necesitó saber el estado de todas las estructuras del país, momento en el cual no se encontraba registro de la totalidad exacta. Entonces con las soluciones de sensores de monitoreo y los drones, que son sistemas que permiten llevar un monitoreo constantemente de los puentes, con más detalles y a distancia; se podría dejar en el pasado los sistemas convencionales y además así tener un control de los puentes, teniendo un diagnóstico más fiable, el cual permita reaccionar de manera adecuada y en el momento oportuno, y no tener que esperar a que el puente sufra daños o más grave aún, que colapse, para recién hacer una evaluación de estos.

El haber podido investigar sobre estas técnicas, da una visión más cercana sobre cómo se encuentra actualmente los avances en la Ciencia e ingeniería de los materiales y de las nuevas tecnologías en el área de la construcción y así adquirir nuevos conocimientos y habilidades como constructor civil, aportando de mejor manera en la construcción o reparación de puentes. Además de permitir que el constructor civil pueda desempeñarse en el control de estas estructuras, ya sea de forma ocular en inspecciones del estado de estos, como también entregar nuevas soluciones.

Glosario

Galibo:

Altura que se encuentra entre la zona inferior de la estructura de puente y el nivel del terreno natural.

Mantención:

Acción y efecto de mantener en el tiempo instalaciones, edificios o maquinarias.

Mantención preventiva:

Es el que se realiza de manera anticipada con la finalidad prevenir futuras averías en las estructuras, como lo son, limpieza, análisis, reparación, cambios de partes, etc.

Mantención predictiva:

Es aquel que predice alguna falla futura en la estructura, de forma tal que pueda ser atendida previo a que se produzca una falla.

Mantención correctiva:

Este tipo de mantenimiento es el que se encarga de corregir o reparar los defectos ya producidos en una estructura, a diferencia de los otros dos mantenimientos, este se efectúa posteriormente a una falla.

Crecidas máx.:

Las crecidas máximas son las crecidas que se presentan en ríos, la cual es el registro más alto en el periodo de un año.

Crecidas min.:

Las crecidas mínimas son las crecidas que se presentan en ríos, la cual es el registro más bajo en el periodo de un año.

Erosión:

La erosión es el desgaste producido en la superficie de un cuerpo, las cuales son por roce o frotamiento de otro cuerpo. Para el caso de puentes las erosiones que más se produce, es en las cepas por el roce del agua o por residuos que este trae desde aguas arriba como piedras.

Aguas abajo:

Es el flujo del agua normal del agua, desde un punto más alto al más bajo, donde generalmente se encuentra un represa o puente.

Eflorescencia:

La eflorescencia es sales cristalinas de color blanco que se presentan en la superficie de algunos materiales, como ladrillos, tejas, hormigón, etc. Esto debido a que algunos materiales presentan sales en su composición y estos afloran por la humedad, y recorren el hormigón por capilaridad.

Reparación:

Consiste en el arreglo de algún objeto que se encuentre roto o en mal estado.

Remodelación:

Reparación o arreglo de los desperfectos de una estructura, en el caso del puente, sus elementos, como barandas, infraestructura, superestructura, etc.

Riesgo sísmico:

El riesgo sísmico consiste en una combinación de conceptos las cuales son el peligro sísmico, vulnerabilidad y las posibilidades de que pueda ocurrir en el tiempo daños en la estructura por movimientos originados por los sismos.

Rehabilitación:

La rehabilitación son las técnicas que ayudan a recuperar una función o actividad ya establecida en un cuerpo que ha dejado o disminuidos sus funciones originales.

Bibliografía

- Angolinos. (26 de Octubre de 2016). Hoy se cumplen 126 años de la inauguración del Viaducto de Malleco. *Angolinos*.
- Brüning Maldonado, W. (2016). INFRAESTRUCTURA VIAL EN CHILE., (pág. 42). Valparaíso.
- Campusano, J. (1 de Agosto de 2012). *Evolución Histórica de los Puentes en Chile*. Obtenido de Ministerio de Obras Públicas:
https://www.mop.cl/PuenteChacao/Documents/P_Departamento_Puentes_de_Vialidad.pdf
- Carrión Viramontes, F. J., Hernández Jiménez, J. R., & Terán Guillén, J. (2005). Estudio Experimental de un Puente Atirantado. Queretano, Mexico.
- Cerreteras Peligrosas. (s.f.). *Puente Yelcho, Chile*. Obtenido de Carreteras Peligrosas:
<https://carreteraspeligrosas.com/puente-yelcho/>
- Cooperativa. (19 de Octubre de 2018). *Reparación del Puente Cau Cau costará 4.500 millones y estará lista en 2020*. Obtenido de Cooperativa: [www.cooperativa](http://www.cooperativa.cl).
- Corporacion de Desarrollo Tecnológico, CDT. (s.f.). *Registro CDT*. Obtenido de Registro CDT.
- Dirección de Vialidad. (2004). *Puentes*. Obtenido de Vialidad.
- Herrera, J., & Cisternas, H. (11 de Julio de 2018). MOP anuncia inversión en puentes de \$972 mil millones para 2018-2020. *Economía y Negocios*.
- La Tercera. (12 de Junio de 2017). Puente Chacao: MOP recurre a la corte para zanjar situación de consorcio. *Diario La Tercera*.
- Liebherr. (s.f.). *LTM 11200-9.1*. Obtenido de Liebherr: <https://www.liebherr.com>
- Marítimo Portuario. (29 de Abril de 2016). La cronología del puente Cau Cau: en 1991 se inició el primer proyecto. *Marítimo Portuario*.
- Maurer. (s.f.). *Apoyo Especiales*. Obtenido de www.maurer.ue
- Ministerio de Obras Públicas. (2010). *Nuevos Criterios Sísmicos para el Diseño de Puentes en Chile*.
- Ministerio de Obras Públicas. (2017). *Dirección de Vialidad*. Obtenido de Dirección de Vialidad.
- Ministerio de Obras Públicas. (s.f.). *Vialidad*. Obtenido de Vialidad: <http://www.vialidad.cl>

MOP. (2019). *Licitacion de Obras*. Obtenido de Conservacion Periodica Puente Socos.: www.mercadopublico.cl

Plasencia, P. (23 de Octubre de 2011). *Puente Mania*. Obtenido de Puente Mania: <http://www.puentemania.com/171>

Reveal Maquinaria. (12 de Abril de 2018). *Maquinaria para Construir Puentes*. Obtenido de Reveal Maquinaria.: <https://revealmaquinaria.es/es/blog/ver/construccion/maquinaria-para-construir-puentes>

Revista Construye. (s.f.). *¿Qué es un puente colgante y cuáles son sus tipos?* Obtenido de Revista Constuye: <http://www.revistaconstruye.com.mx/ingenierias/3111-%C2%BFqu%C3%A9-es-un- puente-colgante-y-cu%C3%A1les-son-sus-tipos.html>

Rodio Kronsa. (s.f.). *Pilote Rodiostar*. Obtenido de Rodio Kronsa: <https://www.rodiokronsa.es/exclusivas/pilote-rodio star/>

Saragoni., R. (Septiembre de 2010). Puentes, Conectividad a Prueba. 19. (P. Chapple., Entrevistador)

Sika. (s.f.). *Concrete, Hormigón Reforzado con Fibras*. Obtenido de www.sika.cl

Structuralia. (13 de Enero de 2015). *Los puentes en arco más largos del mundo*. Obtenido de Structuralia: <https://blog.structuralia.com/los- puentes-en-arco-mas-largos-del-mundo>

TECNOAV. (s.f.). *Reparación Pavimenot de Alto Tráfico*. Obtenido de www.tecnoav.cl