

CAPITULO II

AISLADORES DE BASE

2.1. Tipos de Sistemas de Aislamiento.

Los sistemas de aislación basal son clasificados primeramente dentro de dos tipos básicos, uno representados por los apoyos elastoméricos y el otro representado por los apoyos deslizantes.

2.1.1. Apoyos Elastoméricos.

El apoyo de goma laminada está compuesto por capas horizontales alternas de caucho sintético o natural y placas de acero unidas entre sí por un proceso de vulcanización. De este modo, la rigidez del apoyo es controlada por el espesor de las capas de goma, permitiéndole a este soportar mayores cargas verticales aplicando pequeñas deformaciones.

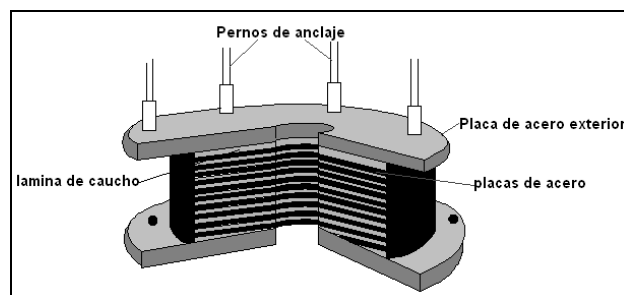


Figura 2.1: Aislador Elastoméricos



Por otra parte, el hecho de que este tipo de aisladores tengan como material de amortiguamiento la goma, dan ciertas ventajas al aislador que son las siguientes:

- a) Alta resistencia a la compresión, con un módulo de Poisson de aproximadamente de 0.20, que la hace prácticamente incompresible.
- b) Buena absorción de energía.
- c) Resistencia a grandes deformaciones.
- d) Resistencia a la fatiga, erosión y corrosión.

2.1.1.1 Apoyos Elastoméricos sin Núcleo de Plomo.

Los apoyos elastoméricos sin núcleo de plomo pueden ser de dos tipos:

- apoyo de goma laminada con alto amortiguamiento y alta elasticidad (HHD).
- apoyo de goma laminada con alto amortiguamiento y baja elasticidad (LHD).

Apoyo de goma laminada de alto amortiguamiento (HHD).

Este apoyo está compuesto por un número de capas de goma vulcanizadas a placas de acero. La rigidez horizontal del aislador es controlada por el espesor de las capas de goma, de esta forma mientras más gruesas son estas capas más flexibles es el aislador en la dirección horizontal. En cambio, la rigidez vertical del apoyo es controlada por la alta rigidez en planta de las placas de acero que impide la expansión lateral de la goma que resulta de la presión vertical.



Este aislador tiene dos funciones importantes que son: flexibilidad y amortiguamiento. Dichas funciones evitan el tener que utilizar sistemas de apoyo y amortiguamiento por separado.

Apoyo de goma laminada de bajo amortiguamiento (LHD).

Este apoyo tiene similares características al apoyo de alto amortiguamiento en cuanto a los materiales con los cuales están fabricados, pero se diferencian en su altura y en los diámetros de sus placas de acero. Mediante la implementación de este apoyo se llega a obtener una rigidez vertical mucho mayor a la rigidez del apoyo HHD. siempre y cuando estos apoyos tengan la misma rigidez horizontal y el mismo rango de aplicación de carga. Debido a que los apoyos de goma de bajo amortiguamiento tienen diámetros más grandes que los apoyos de alto amortiguamiento, llegan a tener la misma rigidez horizontal.

Tanto los apoyos HHD como los apoyos LHD tienen un amortiguamiento de un 15%.

En la figura 2.2, se muestran las dimensiones de los apoyos de goma de bajo y alto amortiguamiento.

Donde: D_r = diámetro de la goma.

D_f = diámetro exterior.

h_r = espesor total de la goma.

H = altura total del apoyo de goma.

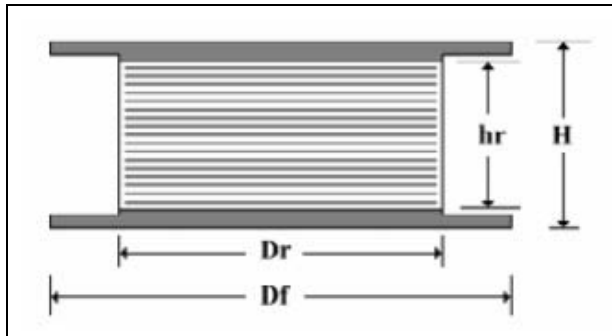


Figura 2.2: Dimensiones del Aislador Elastomérico.

2.1.1.2 Apoyos Elastomérico con Núcleo de Plomo.

Este apoyo es de goma natural laminada con un núcleo de plomo inserto en su centro.

Este sistema trata de combinar en una unidad física el elemento flexible y el disipador de energía, haciendo que el núcleo de plomo se deforme plásticamente en corte por las placas de acero. Por lo tanto, el núcleo trabaja como un amortiguador de histéresis interno. El núcleo de plomo cumple con la función de dar mayor rigidez para deformaciones pequeñas. En todos los dispositivos basados en el plomo, el proceso de recuperación de las propiedades mecánicas después y durante la deformación plástica es rápido, debido a sus procesos de recuperación, re cristalización y crecimiento granular.

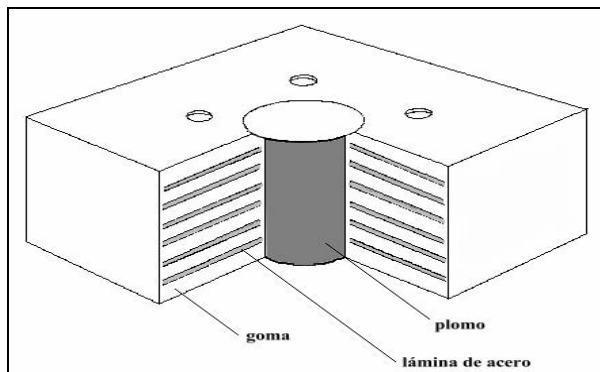


Figura 2.3: Partes del Aislador Elastomérico con núcleo de plomo

2.1.2. Apoyos FPS (Sistema de Péndulo Friccional).

Dentro de los sistemas de aislación basal existen los sistemas deslizantes (friccional). Uno de los representantes más conocidos de esta clase es el sistema de péndulo friccional (FPS). El apoyo FPS consiste de un cursor articulado sobre una superficie de acero inoxidable esférica como se muestra esquemáticamente en la figura 2.4, una de las características de estos apoyos son la superficie deslizante esférica de acero inoxidable pulido y el cursor articulado, que está revestido con un material compuesto de alta capacidad de soporte basado en politetrafluoroetileno (teflón) que tiene un bajo coeficiente de fricción (aproximadamente 5 a 7%).

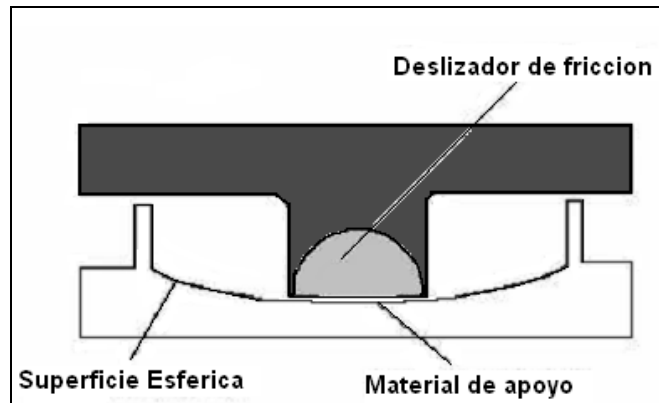


Figura 2.4: Esquema de aislador FPS

El apoyo FPS es activado sólo cuando la fuerza de corte, debida a las fuerzas sísmicas, supera la fuerza de fricción estática. Una vez en movimiento, el cursor articulado se mueve a lo largo de la superficie esférica cóncava, causando la elevación de la masa soportada, con movimientos equivalentes a la de un péndulo simple. Los resultados de aislación basal deseados se alcanzan por la geometría del apoyo y la gravedad.



Durante la elevación a lo largo de la superficie esférica, el apoyo desarrolla una fuerza resistente lateral igual a la combinación de la fuerza friccional movilizada y una fuerza de restauración inducida por la gravedad. Verdaderamente, esta última fuerza es la fuerza de restauración del sistema. La fuerza lateral es igual a:

$$F = \left(\frac{W}{R} \right) * u + \mu * W * \sin \left(\dot{u} \right) \quad (2.1)$$

Donde: u = desplazamiento del apoyo

\dot{u} = velocidad de deslizamiento del apoyo

W = peso soportado

R = radio de curvatura de la superficie esférica

μ = coeficiente de fricción de deslizamiento.

La fuerza lateral es directamente proporcional al peso soportado por el apoyo.

Esto causa que el centro de rigidez y la resistencia lateral del grupo de apoyo coincide directamente con el centro de masa de la estructura soportada, de este modo se compensan las excentricidades de masa. Esta propiedad minimiza el movimiento torsional de la estructura soportada, el cual a menudo causa severos daños a las estructuras.

2.1.3. Apoyos Deslizadores.

2.1.1.3 Apoyos Deslizadores EDF.

Este tipo de apoyos se llaman EDF, puesto que son las siglas de la compañía Electricité de France, la cual diseñó este tipo de apoyos, los cuales constan de dos placas en contacto, la placa superior es de acero inoxidable y se encuentra anclada a la estructura mientras que la placa inferior es de teflón, vulcanizada a un apoyo de goma (neopreno zunchado).

Las superficies de fricción están diseñadas para tener un coeficiente de fricción de 0.2 durante la vida útil del sistema de aislación basal. Cuando el sistema se ve sometido a movimientos del terreno de baja intensidad, el aparato de apoyo se comporta como un apoyo de goma laminado. Si el sismo es de gran magnitud, las placas se deslizan entre sí actuando como mecanismo de seguridad. En la figura 2.5, se muestran las partes que constituyen a dicho apoyo.

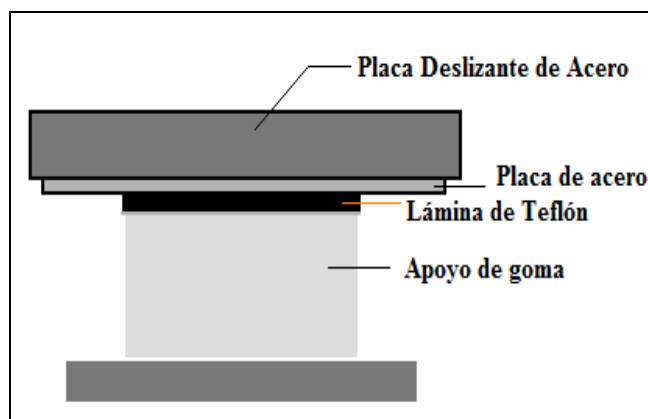


Figura 2.5: Partes del Apoyo Deslizador tipo EDF



2.1.1.4 Apoyos Deslizadores Elasto – Friccionante (R-FBI).

Este tipo de apoyos fue uno de los propuestos aproximadamente en 1989. Este tipo de apoyos elástico - friccionante son llamados como sistema R-FBI, desarrollado por Mostaghel¹.

Dicho apoyo consta de varias placas de teflón en contacto entre sí, con la posibilidad de deslizarse, y un núcleo de goma ó elastómero. La velocidad puede ser reducida a un nivel deseado utilizando un apropiado número de placas deslizantes. La goma proporciona la elasticidad necesaria al sistema para recobrar la posición inicial después del sismo mientras que la energía se disipa por rozamiento entre las placas.

Cuando las solicitaciones aumentan, se produce el deslizamiento de las placas superiores, desacoplándose la estructura del movimiento del suelo. La presencia de las placas deslizantes es un sistema de desconexión frente a sismos de gran magnitud.

Todos estos sistemas son costosos pues necesitan aceros de buena calidad en comparación con los apoyos de goma, la cual es bastante más barata. De estos sistemas el único que ha sido implementado es el sistema de apoyos deslizadores EDF.

En la figura 2.6, se muestran las partes de este tipo de aislador.

¹ *Professor of Civil Engineering Department of Civil Engineering*

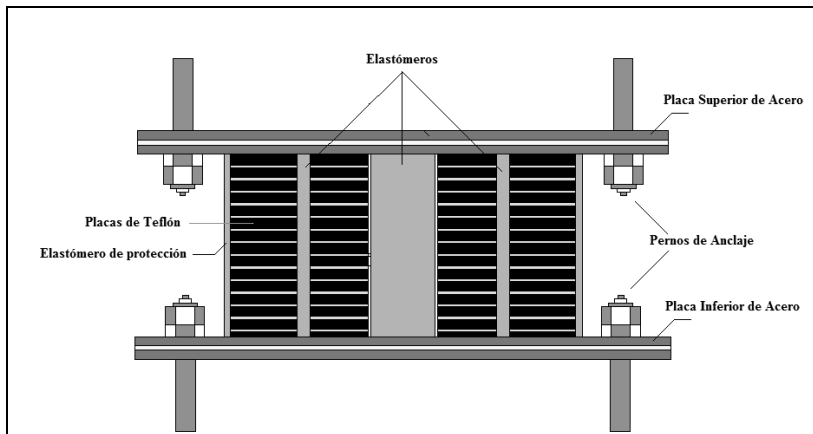


Figura 2.6: Partes del Apoyo Deslizador tipo R-FBI

2.2. Puentes Construidos Con Aisladores de Base Elastomérico.

Puente Marga – Marga

En la actualidad existen muchas de construcciones civiles con aislación sísmica, En el Ecuador se está comenzando a implementar esta tecnología razón por la cual hay que comenzar observando y analizando las estructuras realizadas por otros países.

El primer puente observado, que es destacable por su envergadura y porque fue el primer puente diseñado con aisladores sísmicos en el país de Chile, es el puente Marga Marga, ubicado en la carretera Rodelilla - El Salto, en Viña del Mar.

A continuación se presentan los datos técnicos del Puente.

- Ubicación: Autopista Troncal Sur, Viña del Mar, Chile.
- Año de construcción: 2001-2003
- Longitud: 515 m (10 vanos de 50 m aprox.)
- Altura: 62 m
- Material: Hormigón armado
- Sistema de aislación: 108 aisladores Elastomérico de sección rectangular



Figura 2.7: Puente Marga - Marga Troncal Sur, Chile

Puente Lázaro- López Mateos

Otro de los puentes que contienen aisladores elastomericos está ubicado en la ciudad de México, el distribuidor vial Lázaro Cárdenas-López Mateos. Por el bulevar Lázaro Cárdenas que corre de Oriente a Occidente y el bulevar López Mateos que va de Norte a Sur.

El paso puente de 660 m de longitud se construyó con un sistema de tabla estaca metálica, donde las más altas van de 20 a 25 m, y las más cortas de 10 m.

A continuación se presentan los datos técnicos del Puente.

- Ubicación: Distribuidor vial Lázaro Cárdenas-López Mateos, México.
- Año de construcción: 2004-2006
- Longitud: 660 m

- Altura: varía entre 20 a 25 m
- Material: Estructura metálica en las pilas y Hormigón Armado en vigas y tablero
- Sistema de aislación: 70 aisladores Elastomérico de sección circular aproximadamente.



Figura 2.8: Puente Lazaro- López Mateos, México

2.3. Puentes Construidos Con Aisladores de Péndulo de Fricción (F.P.S).

Los aisladores F.P.S tienen las características de un péndulo invertido, mediante el cual este apoyo permite alargar el período natural de la estructura aislada para evitar que las fuerzas más fuertes de un terremoto, dañen la estructura del puente. Durante un terremoto, la estructura de apoyo se desplaza con movimientos de péndulo pequeños.



Dado que los desplazamientos provocados por terremotos se producen principalmente en los apoyos, cargas laterales, dichos aisladores permiten que los movimientos de la estructura de transmisión, debido al sismo se reduzcan considerablemente.

A continuación se presentan las aplicaciones de los aisladores FPS en algunos puentes importantes.

Puente Benicia-Martinez, California.

Este puente es uno de los tres puentes localizados en la Bahía de San Francisco y uno de los más grandes en ser realizado mediante aislación sísmica. En su superestructura tenemos una calzada con 6 carriles en su ancho de calzada y un tráfico promedio de 100.000 vehículos diarios. La longitud de dicho puente es de 1876.35 m, posee una armadura de acero sostenida por pilares de hormigón.

En dicho puente se encuentra localizados 22 aisladores FPS, 2 por pila, instalados en las copas de los pilares de hormigón, bajo la armadura de la viga. Las dimensiones de estos apoyos son de 13 pies de diámetro, y un peso de 40.000 libras. Estos apoyos tienen una capacidad de desplazamiento lateral de 53 pulgadas, con una resistencia de carga viva más muerta de 5 millones de libras y un periodo de 5 segundos. En la Universidad de California, San Diego, se realizaron algunas pruebas dinámicas con los aisladores FPS.



Figura 2.9: Puente Benicia-Martinez, California, instalado con aisladores F.P.S

Viaductos de Bolu, Turquía.

En 1999, un terremoto de magnitud 7,2 sacudió la ciudad de Düzce, una región occidental de Turquía.

En dicha ciudad se encuentra la construcción de una autopista de 2,3 km, que corresponde a la Autopista Europea (TEM), aquí también se encuentra un viaducto, cerca de un sector llamado Bolu, dicho viaducto así como parte de la autopista sufrieron daños significativos, debidos a un terremoto. Sobre la base de estudios realizados sobre los aisladores de péndulos de fricción (FPS), se evaluaron dichos aisladores para lo cual tenían que ser capaces de satisfacer todos los requisitos de sistemas de aislación, incluidos sistemas de tierra firme de campo, temblores, gran falla permanente con compensaciones de ruptura.

Actualmente se instalaron 536 aisladores FPS en los cuatro viaductos importantes de la autopista en Turquía. Estos apoyos tienen un diseño de carga de 2.000 KIPS y una capacidad de desplazamiento de +/- 700 mm o +/- 900 mm.



Figura 2.10: Viaducto de Bolu, Turquía, instalado con aisladores F.P.S

Puente I-40 sobre el río Mississippi, Tennessee.

Este puente es una de las construcciones muy importante en dicha región, puesto que es vital el transporte, el comercio. Está situado en el borde sureste de la Zona Sísmica de Nuevo Madrid, donde 3 de los más grandes terremotos ocurrieron en la parte Central de Estados Unidos en el año de 1800.

A dicho puente se acoplaron aisladores de péndulo de fricción (FPS) diseñados para resistir un terremoto de magnitud 7, que fue la falla que se dio en Nuevo Madrid. Mediante la incorporación de estos apoyos se permitirá al puente seguir funcionando después de un evento de terremoto extremo. Mediante el método de aislación sísmica y la aplicación de aisladores FPS, se logró reducir costos, debido a que dicho puente requería un fortalecimiento de la superestructura, apoyos y fundaciones.

Estos aisladores son capaces de soportar una carga de más de 20 millones de libras, la cual es una de las cargas más grandes del mundo en el análisis sísmico. Además estos aisladores fueron ensayados mediante pruebas dinámicas, sometidos a una simulación de terremoto, con velocidades de 54pulg/seg, en la Universidad de California, San Diego.



Figura 2.11: Puente I-40 ubicado sobre el río Mississippi, instalado con aisladores F.P.S

Puentes expuestos al frío extremo

En las regiones de Alaska y Canadá, se encuentran algunos puentes que se encuentran expuestos a temperaturas extremas debido al frío. Para ello dichos puentes están diseñados con aisladores FPS, los cuales son los preferidos para estas regiones debido a que mantienen su rigidez y amortiguamiento de diseño en rangos de temperatura de -54°F a 102°F .



Figura 2.12: Puente en el río Teslin, Yukon-Canada (izq.), Puente en Isla Kodiak-Near, Alaska(Der.)



Figura 2.13: Puente sobre el río Robertson, Alaska

2.4. Estructuras Construidas con Aisladores Deslizantes.

Edificio San Agustín

Los deslizadores son dispositivo en el cual la disipación de energía se logra mediante la fricción seca entre superficies de materiales distintos, como por ejemplo fluoropolímero y acero. Un claro ejemplo es el Edificio San Agustín de la Universidad Católica de Chile.

Consta de 14 aisladores friccionales, una planta de 6000 m² aproximadamente, está estructurada en base a un sistema dual de muros de hormigón armado y marcos gravitacionales



Figura 2.14: Edificio San Agustín, Apoyo deslizante

Viaducto Vernegues

El viaducto Vernegues es un puente ferroviario de 1.210 m de largo y 15 m de ancho. Su multicaisson es tipo plataforma, de hormigón pretensado. Tiene una forma original cónica, el espesor del depósito cilíndrico y va disminuyendo gradualmente a medida que la distancia desde el centro del puente se va acortando. Esta variación va desde 5.25 m a 1.5 m

La cubierta se basa en 25 pilares, donde los más altos alcanzan los 35 m. Los tramos se reducen gradualmente a partir de 80 m en el centro, donde las alturas son mayores de 15 m en cada extremo del viaducto. El diseño técnico de la obra refleja la clasificación de la zona sísmica. A continuación se presentan los datos técnicos del Puente.

- Ubicación: Bouches Provincia de los Alpes- Cote, Francia
- Año de Construcción: 1996 – 1998
- Longitud: 669 Km
- Altura: varía entre 35 a 80 m
- Material: Hormigón Armado con un volumen 40 000 m³
- Sistema de aislación: 25 aisladores deslizantes aprox.

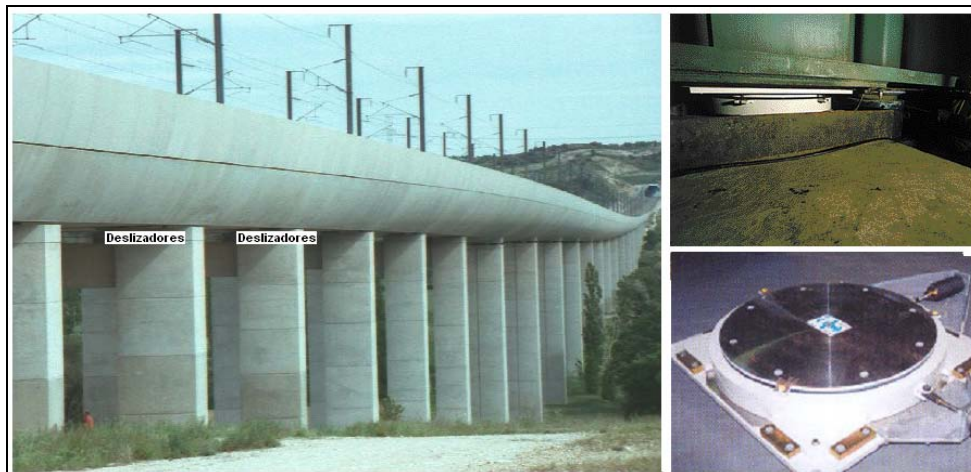


Figura 2.15: Viaducto Vernegues y aisladores Deslizantes

2.5. Puente Norte 1.

El Puente Norte 1 es parte de la nueva vía de cuatro carriles que bordea el estuario del río Esmeraldas, el cual conecta el Aeropuerto con la ciudad de Esmeraldas.

La longitud del puente es de 108 metros y ancho de 18.90 metros, El material utilizado en su mayoría es el Hormigón armado con una resistencia a la compresión $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ y la varilla corrugada con un límite de fluencia $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$.



Figura 2.16: Puente Norte 1 vista aérea

Superestructura

Está formada por seis vigas de acero ASTM A 588, de sección tipo **I** de alma llena, de dos tramos continuos de 54 m de longitud. Las alas de las vigas Tipo **I** son de 496 y 620 mm de ancho con un espesor constante de placa de 25 mm, el alma es de 2420 mm con un espesor de 20 mm, estas vigas están divididas en dovelas en total hay 5 tipos de dovelas como se puede apreciar en la figura 2.17. Todo el puente tiene una pendiente longitudinal, desde el centro hacia los costados del 3%.

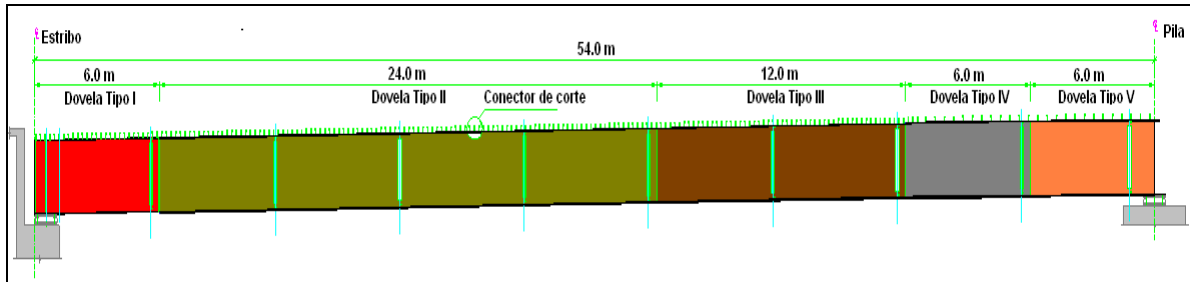


Figura 2.17: Viga con diferentes dovelas

La losa de tablero, unida a las vigas longitudinales en toda su longitud mediante conectores de cortante, es de hormigón armado de 0,25 m de espesor, y tiene un ancho de 18,90 metros, en la cual se ha realizado cuatro carriles de 3.65 m de ancho cada uno, dos en cada sentido de circulación, dos aceras laterales de 1,65 m cada una, y a un parterre central de 1,00 m. de ancho. Sobre la losa se colocó una capa de asfalto de 0.05 metros de espesor.



Figura 2.18: Vista aérea de vigas de acero²

Las vigas longitudinales transfieren las cargas, a la pila o a los estribos, por medio de vigas transversales de gran rigidez, a tres aparatos de apoyo llamados aisladores sísmicos (tipo péndulo de fricción), el total de aisladores es de 9 unidades, 3 por cada estribo y tres en la

² Fuente Cuerpo de Ingenieros del Ejército.

pila central, los mismos que van anclados con pernos de alta resistencia con arandela de un ϕ 1 ½ pulg.

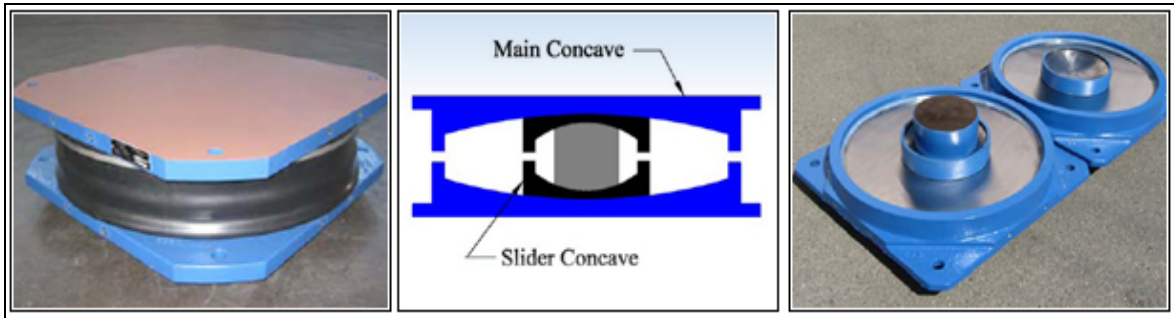


Figura 2.19: Aisladores de péndulo friccionante.

Infraestructura

Los estribos son estructuras tipo cajón, de hormigón armado conformados por celdas que deben ser rellenas con material granular seleccionado compactado. Para alojar los aisladores sísmicos de las vigas principales de la superestructura, en la pared frontal se ha diseñado una viga de 1,7 m de ancho libre. Los cimientos transmiten sus acciones al estrato de fundación, cuya capacidad de soporte para el pilote es de 1950, por medio de 24 pilotes de aproximadamente 6 m de longitud, de 1,22 m de diámetro, conformados por una camisa de acero A588 de 10 mm de espesor y un núcleo de hormigón armado diseñado como columna.



Figura 2.20: Estribo Tipo Cajón, Con aisladores FPS³

La pila está conformada por una columna circular de 6 m de diámetro, maciza hasta una altura de 1 metro, sobre la cual se realiza una sección circular hueca de 0.60 metros de espesor, de hormigón armado el cual llega hasta la base de la viga cabezal. Esta viga es de altura variable, entre 1 y 2.5 m, y de 3 m de ancho en toda su longitud como se aprecia en la figura 2.21; en su cara superior se colocan los tres apoyos aisladores sísmicos (F.P.S).



Figura 2.21: Pila central Puente Norte 1 con aisladores FPS.

³ Fuente Cuerpo de Ingenieros del Ejército

La pila transmite las fuerzas a un zapata circular de 16.00 metros de diámetro y 1,5 metros de espesor que se apoya, con condición de continuidad estructural, en 12 pilotes de aproximadamente 9 metros de largo y de 1.22 metros de diámetro, dispuestos en una circunferencia de 14 metros de diámetro en toda la pila. En el estribo se tiene 24 pilotes de 1.22 metros de diámetro y una longitud de 6.40 metros.



Figura 2.22: Pilotaje del estribo tipo cajón.⁴

⁴ Fuente Cuerpo de Ingenieros del Ejército.



2.1.	Tipos de Sistemas de Aislamiento.....	43
2.1.1.	Apoyos Elastoméricos.	43
2.1.1.1	Apoyos Elastoméricos sin Núcleo de Plomo.	44
2.1.1.2	Apoyos Elastomérico con Núcleo de Plomo.....	46
2.1.2.	Apoyos FPS (Sistema de Péndulo Friccional).....	47
2.1.3.	Apoyos Deslizadores.	49
2.1.1.3	Apoyos Deslizadores EDF.	49
2.1.1.4	Apoyos Deslizadores Elasto – Friccionante (R-FBI).	50
2.2.	Puentes Construidos Con Aisladores de Base Elastomérico.	51
2.3.	Puentes Construidos Con Aisladores de Péndulo de Fricción (F.P.S).....	53
2.4.	Estructuras Construidas con Aisladores Deslizantes.....	58
2.5.	Puente Norte 1.....	60