



CAPITULO V

ANÁLISIS SÍSMICO DEL PUENTE NORTE 1 EN SENTIDO LONGITUDINAL

5.1. Modelo de Análisis de los Estribos

El modelo a desarrollar se basó en un análisis conjunto tanto de los pilotes como del estribo. En la figura 5.9 se puede apreciar que los estribos se encuentran sobre una zapata de cimentación con 4 pilotes de 6.40m de altura y 1.22m de diámetro por eje, en total son 6 ejes en sentido longitudinal, por lo que el número total de pilotes son 24.

La separación entre ejes de pilotes es 3.60m.

En el Capítulo 3 se presentó tanto el cálculo para obtener las secciones rectangulares equivalentes del estribo como los esquemas en los cuales se muestran los 3 Cortes Vistos en Planta con sus respectivas secciones equivalentes.

En la figura 5.1 se presenta las dimensiones de la sección rectangular equivalente de la zapata de cimentación cuya dimensión real es de 12.80m de base (b) por 18.90m de altura (h) de la sección rectangular, con una altura de 1m (H).

Las dimensiones de la sección equivalente son de 10.80m de base (b) por 3.60m de altura (h) de la sección rectangular, con una altura de 1,50m (H).

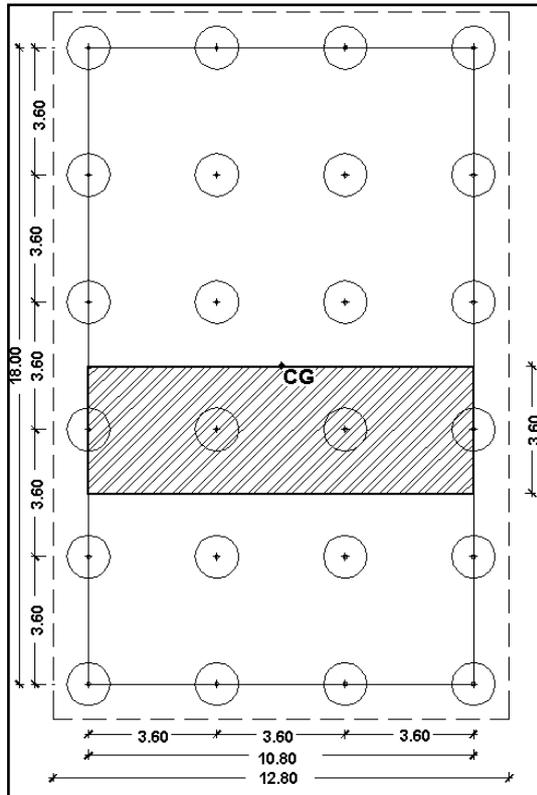


Figura 5.1: Sección equivalente de la viga cabezal del estribo

En la figura 5.2 se presenta las dimensiones de la sección rectangular equivalente del Corte 1 del Estribo (es la sección sombreada), acoplado a una vista en planta de la zapata de cimentación con los 24 pilotes que la conforman. Cabe resaltar que dicho análisis está en sentido longitudinal al puente (sentido Y). Las dimensiones de la sección equivalente son de 9.00m de base (b) por 3.86m de altura (h) de la sección rectangular, con una altura de 3m (H).

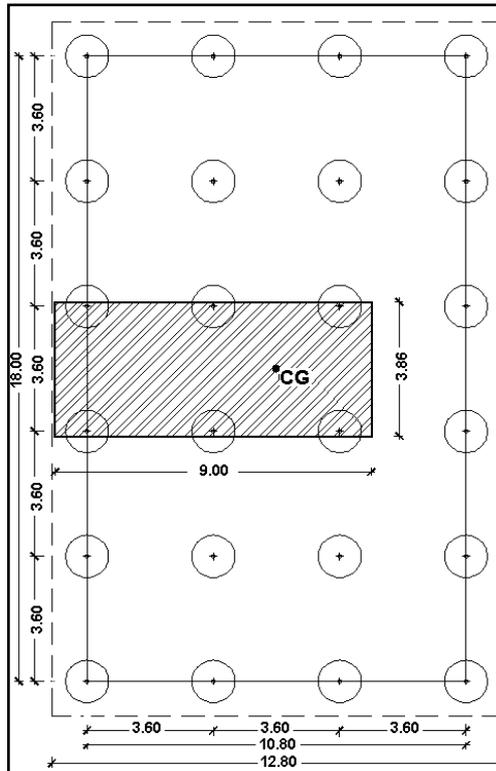


Figura 5.2: Sección equivalente de Corte 1 – Estribo

En la figura 5.3 se presenta las dimensiones de la sección rectangular equivalente del Corte 2 del Estribo (es la sección sombreada), acoplado a una vista en planta de la zapata de cimentación con los 24 pilotes que la conforman. Cabe resaltar que dicho análisis está en sentido longitudinal al puente (sentido Y). Las dimensiones de la sección equivalente son de: 9.00m de base (b) por 6.48m de altura (h) de la sección rectangular, con una altura de 1.20m (H).

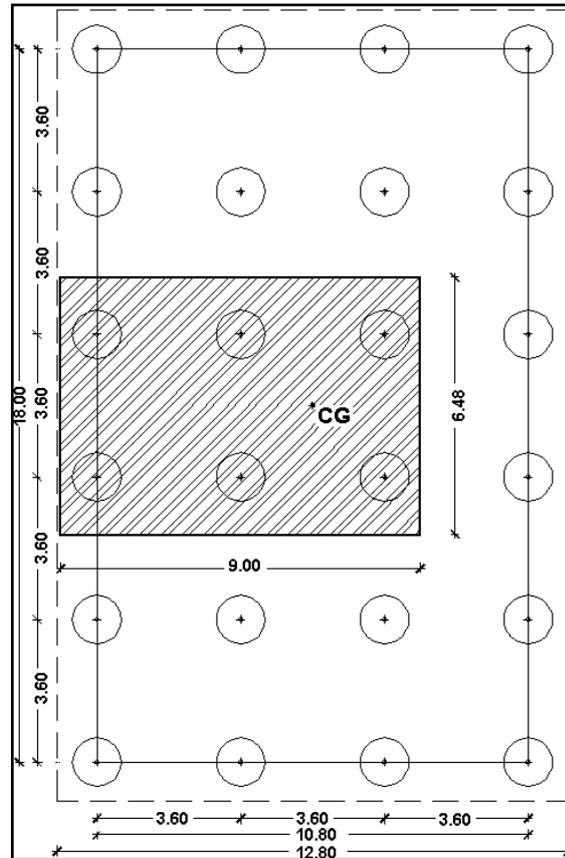


Figura 5.3: Sección equivalente de Corte 2 – Estribo.

En la figura 5.4 se presenta las dimensiones de la sección rectangular equivalente del Corte 3 del Estribo(es la sección sombreada), acoplado a una vista en planta de la zapata de cimentación con los 24 pilotes que la conforman. Cabe resaltar que dicho análisis está en sentido longitudinal al puente (sentido Y). Las dimensiones de la sección equivalente son de 7.30m de base (b) por 3.03m de altura (h) de la sección rectangular, con una altura de 3.00m (H).

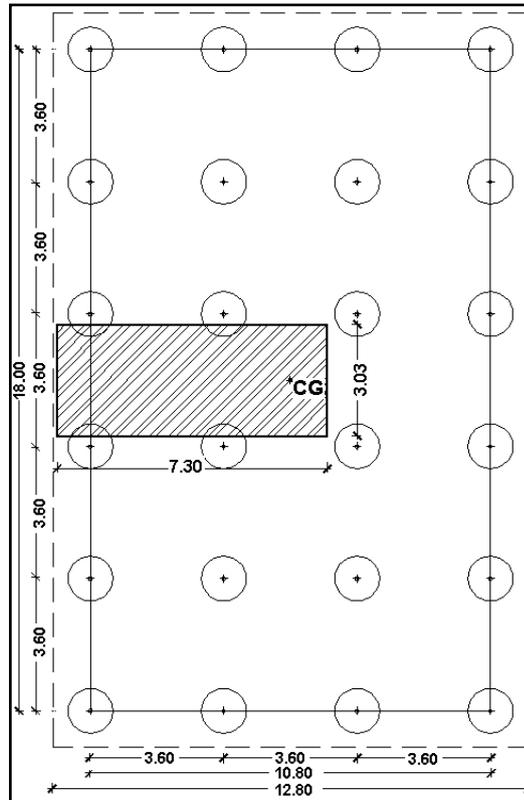


Figura 5.4: Sección equivalente de Corte 3 – Estribo

5.1.1. Análisis Numérico de los Pilotes:

Para la numeración tanto de los nudos como de los elementos finitos tipo barra del pilote, se tuvo que numerar por cada pilote, de abajo hacia arriba.

El pilote se dividió en 3 elementos finitos tipo barra (4 nudos), cada uno con 2.13m de altura aproximadamente.

Los grados de libertad (gdl) de los pilotes son 12, debido a que solo se tomó en cuenta la componente axial.



5.1.2. Análisis Numérico de Viga Cabezal y Estribo:

Para el análisis numérico tanto de la viga cabezal como del estribo, primero se debe identificar donde se van a concentrar las masas. Para nuestro caso las masas se concentraron en los nudos extremos del estribo ó donde se apoya el aislador de base (FPS). El modelo del estribo se lo dividió en 28 elementos finitos rectangulares distribuidos de la siguiente manera:

Viga Cabezal: 9 elementos finitos rectangulares.

Corte 1 del estribo: 7 elementos finitos rectangulares.

Corte 2 del estribo: 7 elementos finitos rectangulares.

Corte 3 del estribo: 5 elementos finitos rectangulares.

Luego de tener el número de elementos finitos rectangulares y ubicadas las masas, debemos numerar las coordenadas principales que se encuentran sobre cada masa y solo en sentido axial. Después se numeran las coordenadas secundarias que son la componente horizontal y vertical, las mismas que se numeran en cada nudo interno en orden de izquierda a derecha, de abajo hacia arriba. Cabe resaltar que en los nodos extremos donde se concentran las masas, se numera solo la componente vertical seguida de la misma numeración antes mencionada, excepto en el nudo donde se apoya el aislador, puesto que aquí solo se tiene la coordenada principal horizontal. Todo lo antes expuesto se presenta en la figura 5.5 y 5.6.

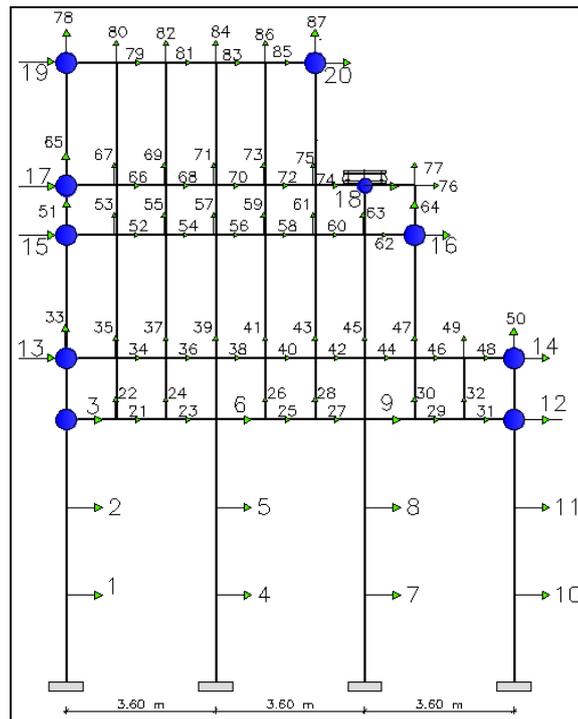


Figura 5.5: Vista en Elevación – Modelo de Estribo – Isla Prado

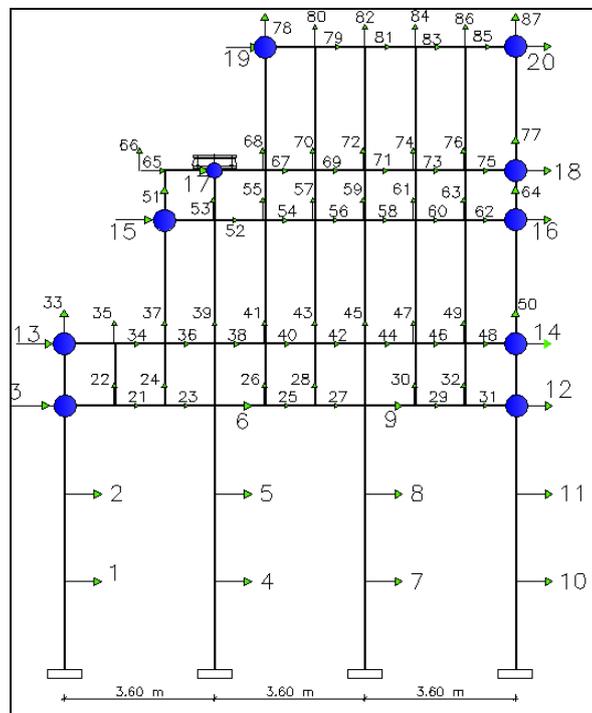


Figura 5.6: Vista en Elevación – Modelo de Estribo – Esmeraldas

5.2. Modelo de Análisis de la Pila

El modelo a desarrollar se basó en un análisis conjunto tanto de los pilotes como de la pila. En el Capítulo 4 se presentó tanto el cálculo para obtener las secciones rectangulares equivalentes de la pila como los esquemas en los cuales se muestran los cortes reales de la pila, vistos en planta. También se pueden apreciar las secciones equivalentes acopladas a la viga cabezal equivalente.

En la figura 5.10 se puede apreciar que la pila se encuentra sobre la viga cabezal con 4 pilotes de 9.00m de altura y 1.22m de diámetro, en total son 16 pilotes que soportan a la pila. La separación entre ejes de pilotes es 4.67m (cabe resaltar que la pila real es de sección circular y se encuentra sobre 12 pilotes ϕ 1.22m).

En la figura 5.7 se presenta las dimensiones de la sección rectangular equivalente perteneciente a la viga cabezal cuya dimensión real es de: $\phi = 16.00\text{m}$ (zapata circular); $H=1.50\text{m}$. Las dimensiones de la sección equivalente son de 16.00m de base (b) por 14.01m de altura (h) de la sección rectangular, con una altura de 1.50m (H).

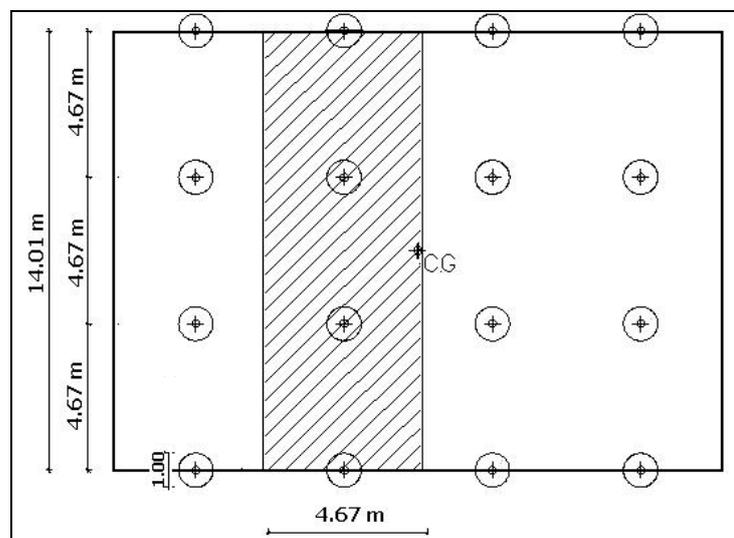


Figura 5.7: Dimensiones de la sección equivalente- Viga cabezal

En la figura 5.8 se presenta las dimensiones de la sección rectangular equivalente perteneciente a la pila circular maciza cuya dimensión real es de: $\phi = 6.00\text{m}$ a una altura de 1.00m.

Las dimensiones de la sección equivalente son de 2.23m de base (b) por 7.00m de altura (h) de la sección rectangular, con una altura de 1.00m (H).

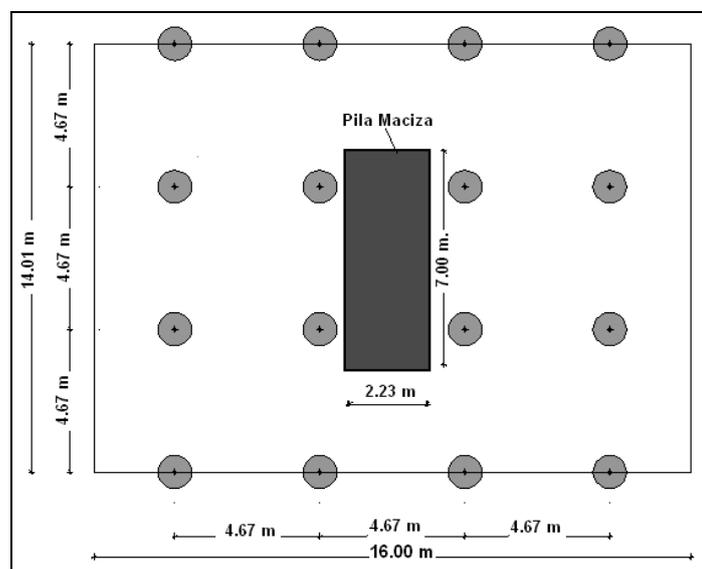


Figura 5.8: Dimensiones de la sección equivalente- Pila Maciza.

En la figura 5.9 se presenta las dimensiones de la sección rectangular equivalente perteneciente a la pila circular hueca cuya dimensión real es de: $\phi_{exterior} = 6.00\text{m}$; $\phi_{interior} = 4.80\text{m}$, a una altura de 2.83m. Las dimensiones de la sección equivalente son de 1.31m de base (b) por 7.00m de altura (h) de la sección rectangular, con una altura de 2.83m (H).

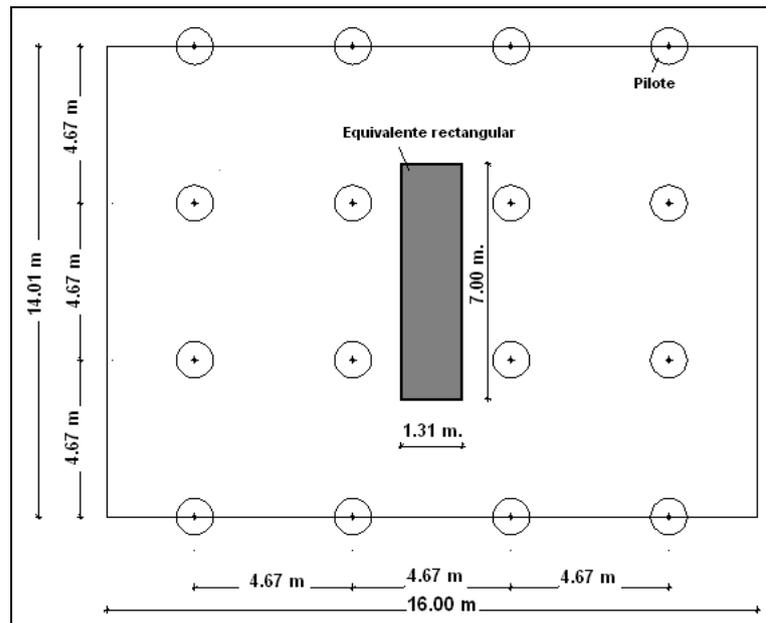


Figura 5.9: Dimensiones de la sección equivalente- Pila Hueca

5.2.1. Análisis Numérico de los Pilotes

Para la numeración tanto de los nudos como de los elementos finitos tipo barra del pilote, se tuvo que numerar por cada pilote, de abajo hacia arriba.

El pilote se dividió en 5 elementos finitos tipo barra, cada uno con 1.90m de altura aproximadamente. Los grados de libertad (gdl) de los pilotes son 20, debido a que solo se tomó en cuenta la componente axial.

5.2.2. Análisis Numérico de la Viga cabezal y Pila

Para el análisis numérico tanto de la viga cabezal como de la pila, primero se debe identificar donde se van a concentrar las masas. Para nuestro caso las masas se concentraron en los nodos extremos de la pila ó donde se apoya el aislador de base (FPS).



A este modelo se dividió en 38 elementos finitos rectangulares distribuidos de la siguiente manera:

Viga Cabezal: 12 elementos finitos rectangulares.

Pila Maciza: 6 elementos finitos rectangulares.

Pila Hueca: 6 elementos finitos rectangulares.

Cabezal: 14 elementos finitos rectangulares.

Luego de tener el número de elementos finitos rectangulares y ubicadas las masas, debemos numerar las coordenadas principales que se encuentran sobre cada masa y solo en sentido axial. Después se numeran las coordenadas secundarias que son la componente horizontal y vertical, las mismas que se numeran en cada nudo interno en orden de izquierda a derecha, de abajo hacia arriba. Cabe resaltar que en los nodos extremos donde se concentran las masas, se numera solo la componente vertical seguida de la misma numeración antes mencionada, excepto del nodo donde se apoya el aislador, puesto que aquí solo se tiene la coordenada principal axial. Todo lo antes expuesto se presenta en la figura 5.10.

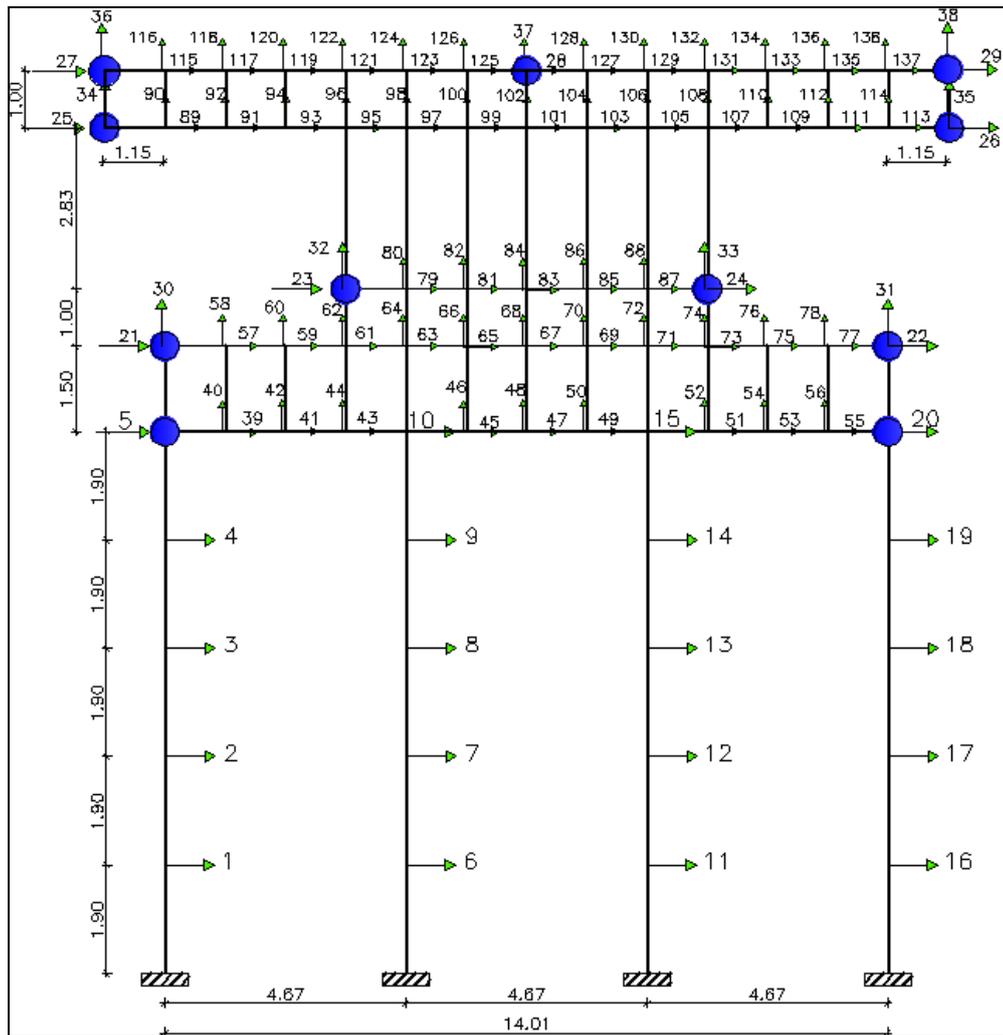


Figura 5.10: Modelo de análisis de Pila – Corte Transversal (Vista en elevación)

5.3. Modelo de Análisis de Estribo y Pila

Para el Análisis Sísmico Longitudinal se consideraron los Estribos, Pila, aisladores de base “FPS” y las vigas metálicas tipo I, correspondientes al Puente Norte 1. En la figura 5.11 se puede observar lo antes mencionado.

El puente presenta una luz libre de 54 metros entre pila y estribo, además puede observarse que los pilotes de la pila son más profundos que los pilotes de los estribos.

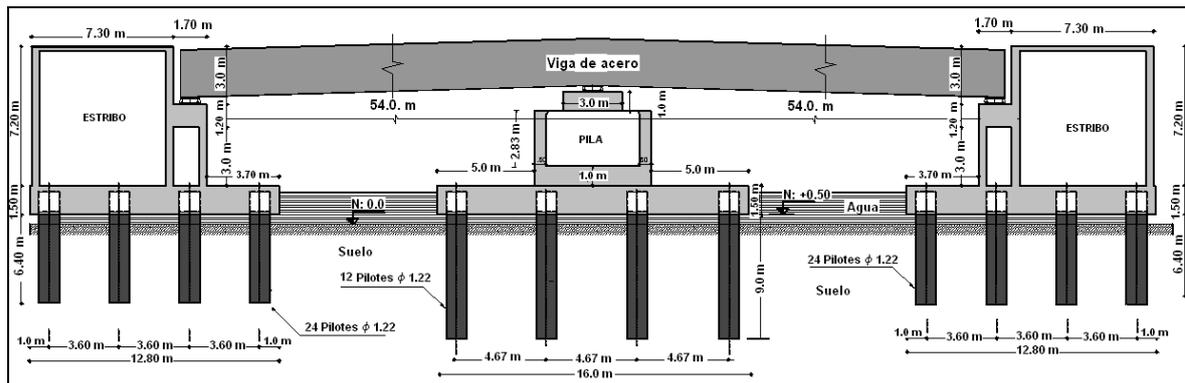


Figura 5.11: Vista Longitudinal Puente Norte 1

El Modelo de Análisis utilizado en sentido longitudinal se muestra en la figura 5.13, en el cual se define los grados de libertad para los pilotes, los estribos, la pila y la viga.

Comenzando por los pilotes del estribo cuya profundidad es de 6.40 metros, cada pilote se procedió a dividir en 3 elementos finitos de 2.13 metros de longitud; como se pudo ver en el capítulo 4, la masa se distribuye en todo el pilote. Este modelo se consideró para los dos estribos ya que son de igual geometría, en cambio para los pilotes de la pila cuya profundidad es de 9.50 metros, se dividieron en cinco elementos finitos de 1.90 metros de longitud.

En los modelos del Estribo y de la Pila, se presentaron los elementos finitos que forman parte de la viga cabezal de los estribos y pila.

En la figura 5.12 se muestra una visualización en 3D del estribo tipo cajón del puente norte 1. También se puede apreciar los cortes 1, 2, 3 y la zapata de cimentación del estribo, tal como se vio en el capítulo 3.

El peso de la superestructura no solo consta de las vigas y del tablero (losa, veredas, parterre, protecciones, capa asfáltica), también hay que tomar en cuenta las cargas vivas (carga vehicular y peatonal del puente). Este peso es necesario previo al cálculo de la matriz de rigidez de la estructura.

En la figura 5.14 se presentan los elementos que se van a considerar para el cálculo del peso de la superestructura (tablero, vigas, capa asfáltica, vereda, parterre, protecciones).

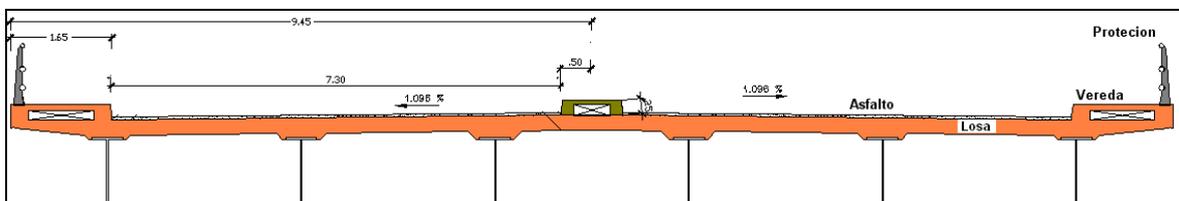


Figura 5.14: Elementos a considerar para el peso.

A continuación se presenta el cálculo del peso de la superestructura, distribuido hacia cada aislador:

TABLERO

Longitud del puente	=	108 m
espesor losa	=	0.25 m
Área tablero	=	5.02 m ²

ASFALTO

Espesor asfalto	=	0.05 m
Área asfalto	=	0.73 m ²

ACERA

ancho acera	=	1.65 m
altura acera	=	0.25 m
Área vereda	=	0.26 m ²



PROTECCION

Peso protección = 9.85 T

Área de influencia de cada elemento.

Estribo		
Ancho cooperante =		27 m
Pila		
Ancho cooperante =		54 m
Ancho del puente =		18.9 m

PESO ESTRIBO**Carga muerta**

$$\text{PP Tablero } 27.00 \text{ m} * 2.4 \text{ T/m}^3 * 5.02 \text{ m}^2 = 325.469 \text{ T}$$

$$\text{PP Asfalto } 27,000 \text{ m} * 1,3 \text{ T/m}^3 * 0,7 \text{ m}^2 = 25.623 \text{ T}$$

$$\text{PP vereda } 27,00 \text{ m} * 2,4 \text{ T/m}^3 * 0,25 \text{ m}^2 = 16.200 \text{ T}$$

$$\text{PP Protección} = 2.463 \text{ T}$$

$$\text{PP Parterre } 27,00 \text{ m} * 2,4 \text{ T/m}^3 * 0,16 \text{ m}^2 = 20.7 \text{ T}$$

Carga Muerta = 780.98 T

PESO PILA**Carga muerta**

$$\text{PP Tablero } 54,00 \text{ m} * 2,4 \text{ T/m}^3 * 5.02 \text{ m}^2 = 650.94 \text{ T}$$

$$\text{PP Asfalto } 54,000 \text{ m} * 1,3 \text{ T/m}^3 * 0,7 \text{ m}^2 = 51.246 \text{ T}$$

$$\text{PP vereda } 54,00 \text{ m} * 2,4 \text{ T/m}^3 * 0,25 \text{ m}^2 = 65.4 \text{ T}$$

$$\text{PP Protección} = 4.927 \text{ T}$$

$$\text{PP Parterre } 54,00 \text{ m} * 2,4 \text{ T/m}^3 * 0,12 \text{ m}^2 = 20.7 \text{ T}$$



Carga Muerta = 796.93 T

Carga Viva

Peso camión HL- 93 = 32.61 T

Carga vehículo liviano 4 autos 2 T c/u = 8 T

Carga Peatonal 50 personas en el puente = 3 T

Carga viva = 43.310 T

Carga total 1621.224 T

Numero de aisladores 9 unidades

Peso para cada aislador **180.14** T

El peso que le corresponde a cada aislador es de 180.14 toneladas.

5.4.Coordenadas Principales y Secundarias

El modelo numérico en sentido longitudinal de los estribos y pila, se lo realizó en sentido longitudinal, en el cual se tienen 684 grados de libertad (gdl), donde están incorporadas las coordenadas principales y secundarias. Los grados de libertad del pilote en total son 220 y de los estribos, pila y vigas longitudinales son 464 en total.

En la figura 5.15 se muestran las coordenadas principales horizontales en sentido longitudinal del Puente Norte 1.



En el estribo izquierdo tenemos los primeros 20 gdl (va del 1 al 20 en sentido horizontal); los grados de libertad del aislador son el 18 (colocado entre la base del aislador y el asiento del estribo) y el 70 (colocado entre la parte superior del aislador e inferior de la viga). En la parte superior de la viga se tiene un gdl más, el mismo que para este estribo es el gdl 73.

Para la Pila tenemos los siguientes 29 gdl, los mismos que continúan con la numeración seguida de la del estribo (va del 21 al 49 en sentido horizontal); los grados de libertad del aislador son el 48 (colocado entre la base del aislador y la parte superior de la pila) y el 71 (colocado entre la parte superior del aislador e inferior de la viga). En la parte superior de la viga se tiene un gdl más, el mismo que para la pila es el gdl 74.

Por último para el caso del estribo derecho, tenemos los últimos 20 gdl (va del 50 al 69 en sentido horizontal); los grados de libertad del aislador son el 66 (colocado entre la base del aislador y el asiento del estribo) y el 72 (colocado entre la parte superior del aislador e inferior de la viga). En la parte superior de la viga se tiene un gdl más, el mismo que para este estribo es el gdl 75.

Es importante tener en cuenta la numeración de los gdl., de los FPS ya que la respuesta de desplazamientos y fuerzas se hace referencia a dichos gdl.

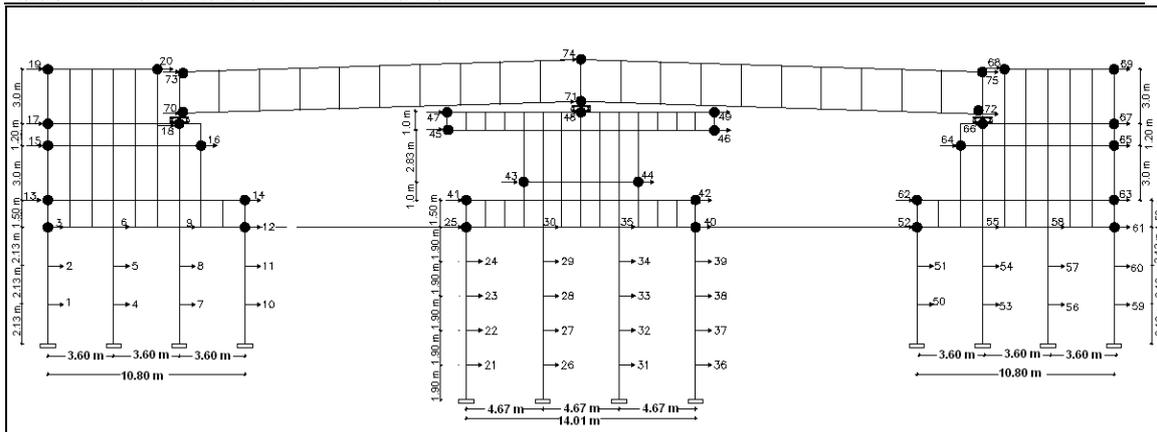


Figura 5.15: Coordenadas principales consideradas en el análisis sísmico del PN1

5.5. Resultados

Realizando el análisis longitudinal del puente se llegó a determinar los desplazamientos y las fuerzas del Puente Norte 1. Para lo cual se procedió hacer el análisis en el programa CEINCI-LAB, en las figuras 5.16 se muestra los datos del desplazamiento en los grados de libertad del estribo izquierdo, estos grados de libertad están donde se colocó las masas. Los desplazamientos del estribo derecho fueron similares a los desplazamientos encontrados en el estribo izquierdo. Dichos desplazamientos son alrededor de 0.025 metros en la infraestructura, estos están bajo el aislador “FPS” los grados de libertad analizados son el 3 y 18 respectivamente. Los desplazamientos sobre el “FPS” son alrededor de 0.16 metros estos desplazamientos son demasiados altos en comparación con la infraestructura Si el puente no tendría FPS, los desplazamientos laterales en la infraestructura, pilotes, estribos y pila, serían altos ya que el puente trabajaría como un péndulo invertido con una gran masa. Es la presencia del FPS que frena los movimientos de la subestructura lo cual la hace segura.

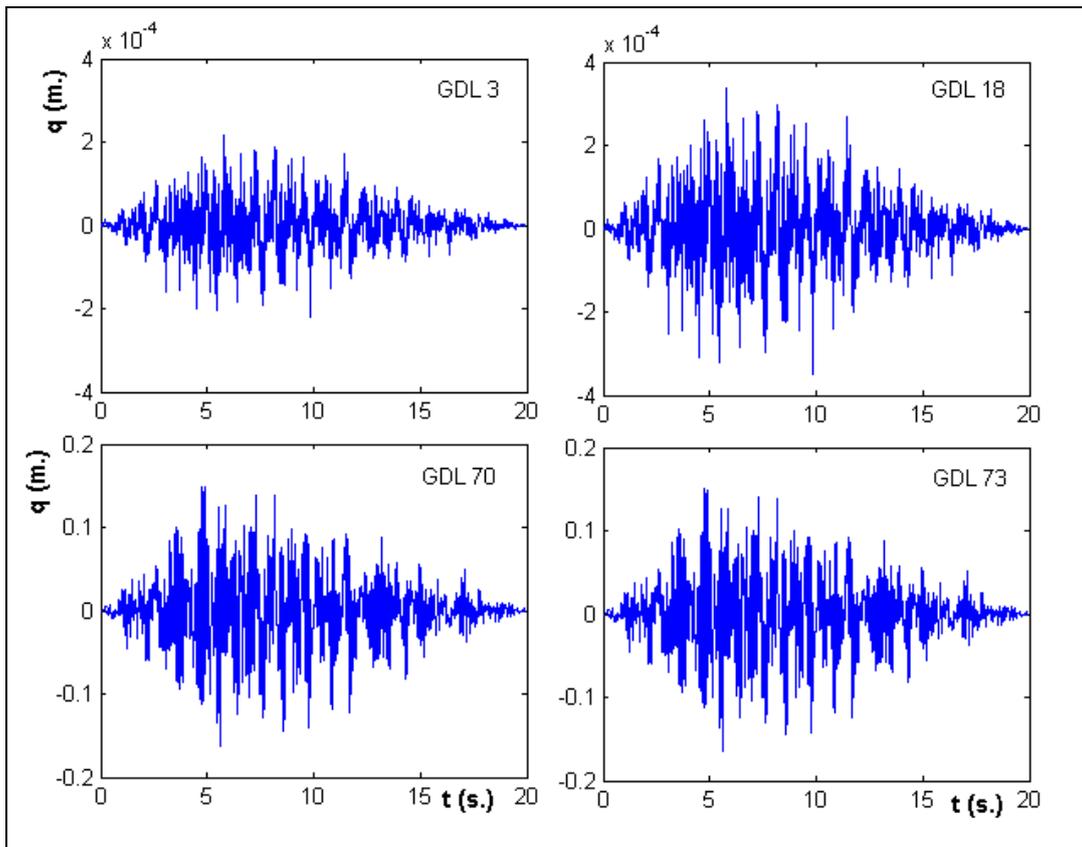


Figura 5.16: Desplazamientos en gdl., seleccionados de estribo izquierdo.

Los desplazamientos en la pila central están alrededor de los 0.25 metros, como se puede apreciar estos valores son similares al del estribo izquierdo los desplazamientos fueron encontrados en los grados de libertad 25, 48, 71 y 74. En la figura 5.17 se puede apreciar los desplazamientos. En la superestructura los desplazamientos bordean los 0.17 metros, los desplazamientos sobre el FPS son prácticamente iguales a los desplazamientos sobre el tablero del puente. Por lo tanto los desplazamientos relativos del puente con respecto a la parte superior de los FPS son extremadamente bajos.

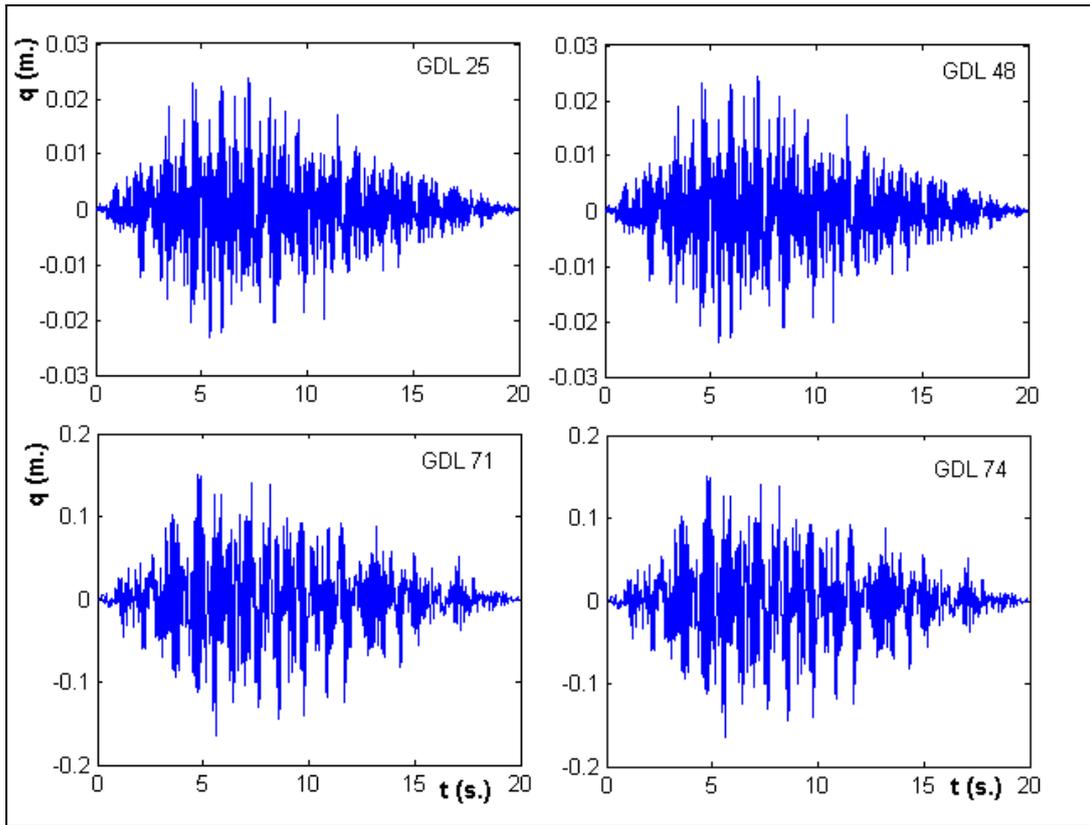


Figura 5.17: Desplazamientos en gdl., seleccionados de apoyo central..

En las figura 5.18 se muestran la respuesta en el tiempo de las fuerzas horizontales, en los grados de libertad 3, 18, 70 y 73. Esta figura corresponde al estribo izquierdo en donde se puede apreciar las fuerzas en el estribo izquierdo, las fuerza laterales sobre los pilotes están alrededor de las 42 T, las fuerzas laterales bajo el FPS son del alrededor de las 39 T como se puede apreciar en la figura en la parte superior izquierda, y sobre el FPS son alrededor de las 10 T como se aprecia en la parte inferior de la figura.

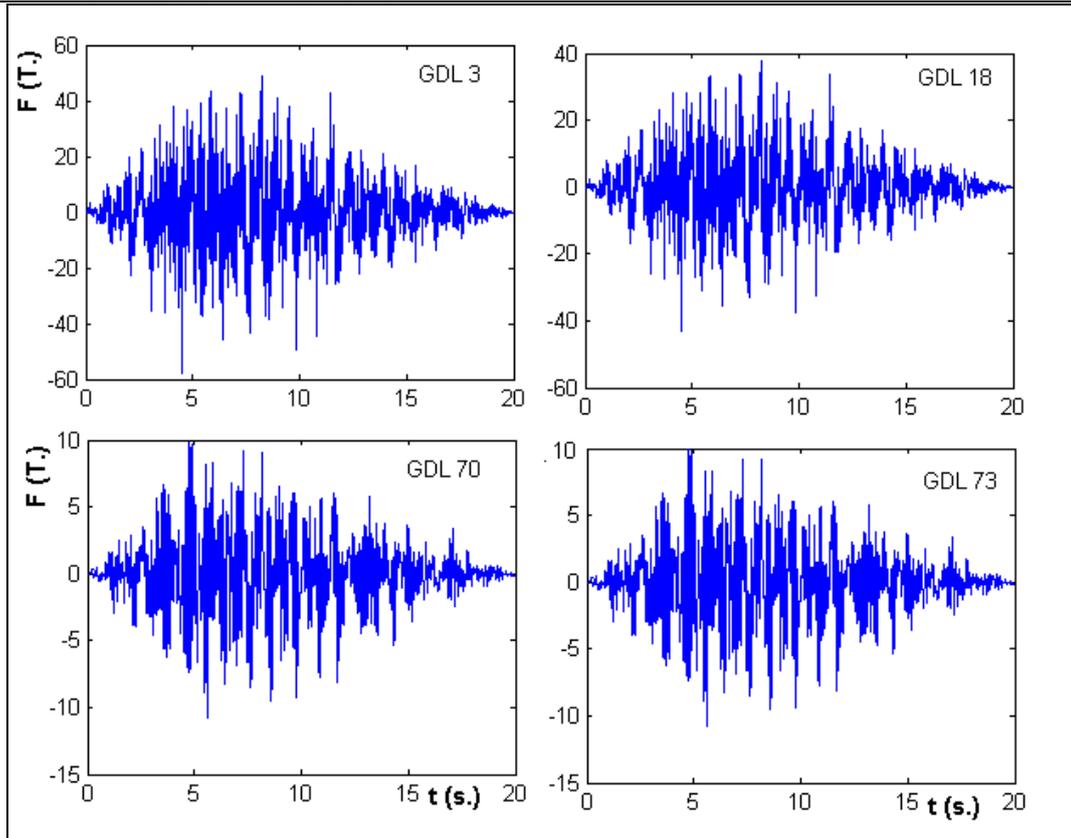


Figura 5.18: Fuerzas Horizontales en gdl., seleccionados de estribo izquierdo.

En la figura 5.19 se puede apreciar las fuerzas del apoyo central. Como ya se suponía las fuerzas laterales en la Pila central son mayores a las encontradas en el estribo izquierdo, donde las fuerzas sobre los pilotes están alrededor de las 78 T., las fuerzas bajo el FPS están alrededor de 45 T., y sobre el FPS la fuerza es de 21T, como se puede apreciar en la figura 5.8 en la parte inferior. Por lo tanto, las fuerzas sísmicas que ingresan a la superestructura son bastante bajas, lo que demuestra la ventaja de utilizar aisladores de base.

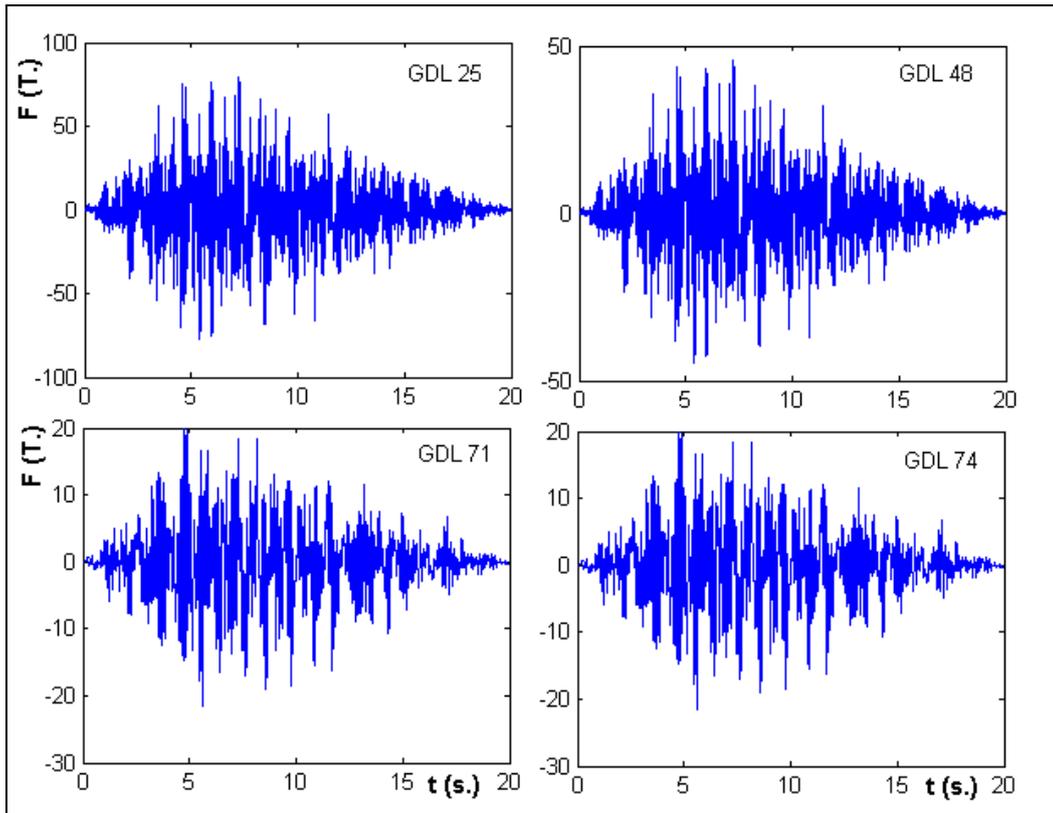


Figura 5.19: Fuerzas Horizontales en gdl., seleccionados en apoyo central.