

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



DEPARTAMENTO
DE
ESTRUCTURAS

PROYECTO ESTRUCTURAL EN LA
CONSTRUCCIÓN DE PUENTES
ATIRANTADOS

TESIS
PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTA:
SAÚL ISAC AMBROCIO ASCENCIÓN

ASESOR:
DR. MANUEL JARA DIAZ

MORELIA, MICHOACÁN, DICIEMBRE DEL 2015

AGRADECIMIENTOS

Primero y más importante a mi asesor de Tesis, Dr. Manuel Jara Díaz, por su apoyo durante el desarrollo de mi Tesis, por su esfuerzo, dedicación, por su conocimiento que me brindo, su orientación y paciencia, muchas gracias.

A dios por permitirme culminar un proyecto más en mi vida, por darme salud para poder lograr una meta más de las muchas que vendrán.

A mi madre querida María Umbelina Ascención, que siempre me ha apoyado incondicionalmente durante toda mi vida, gracias por ser una mamá única e incomparable, gracias por existir y que dios te bendiga siempre.

A mi padre Saúl Ambrocio, por el apoyo durante mi vida, gracias dios por permitirme estar con él desde mí existir y que dios te bendiga siempre.

A mis hermanos, Verónica Imelda Ambrocio, Marcelino Ambrocio, Cecilia Ambrocio y Petra Ambrocio, que siempre me han apoyado en las buenas y en las malas siempre están ellos para decirme lo que está bien y lo que está mal, gracias dios por la salud que les brindas, que siempre disfrutaran de mis logros, dios cuidalos siempre estén donde estén.

A mis abuelos, Filadelfo Ascención Abad, Ernestina Ruiz Chávez, que siempre están al pendiente de mí, a quienes les dedico este logro que está por venir, gracias dios por darles salud y bienestar, cuidalos mucho.

A mi abuela María Elena Borjas Cano, que ya no está físicamente pero sé que desde el cielo está muy feliz por este logro de mi parte, pues era lo que ella quería que terminara de estudiar.

A mis familiares que de alguna u otra forma me apoyaron durante mi estancia en Morelia y que aún me apoyan.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por permitirme ingresar a la Facultad de Ingeniería Civil, y ser nicolaita.

A mis compañeros y amigos de la Facultad pues fueron muy importante en mi desarrollo en mi estancia en la facultad.

DE: SAÚL ISAC AMBROCIO ASCENCIÓN

ÍNDICE GENERAL

Contenido

INTRODUCCIÓN

1.- PUENTES ATIRANTADOS	7
1.1.- DESCRIPCIÓN DE UN PUENTE ATIRANTADO	7
1.2.- CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE SUS ELEMENTOS . ¡Error! Marcador no definido.	
1. 1.2.1.- Pilas	¡Error! Marcador no definido.
2. 1.2.2 Pilones	¡Error! Marcador no definido.
3. 1.2.3 Tirantes.....	¡Error! Marcador no definido.
4. 1.2.4 Tablero	¡Error! Marcador no definido.
1.3.- FLUJO DE CARGA DE UN PUENTE ATIRANTADO.....	12
2.- DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA	14
2.1.- DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE	14
2.2.-PREDISEÑO DE LOS TIRANTES	15
2.3.- PROPIEDADES FINALES DE LOS TIRANTES	21
3.- ANÁLISIS MODAL DE LA ESTRUCTURA	¡Error! Marcador no definido.
3.1.- MODELO ESTRUCTURAL	¡Error! Marcador no definido.
3.2.- OBTENCIÓN DE LAS PROPIEDADES DINÁMICAS.....	¡Error! Marcador no definido.
4.- CONTROL ESTRUCTURAL DURANTE LA CONSTRUCCIÓN . ¡Error! Marcador no definido.	
4.1.- DEFINICIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO	¡Error! Marcador no definido.
4.1.1.- Análisis de desmontaje.....	¡Error! Marcador no definido.
4.1.1.1.- Etapa 0.....	28
4.1.1.2.- Etapa 1.....	29
4.1.1.3.- Etapa 2.....	29
4.1.1.4.- Etapa 3.....	30
4.1.1.5.- Etapa 4.....	33
4.1.1.6.- Etapa 5.....	34
4.1.1.7.- Etapa 6.....	35
4.1.1.8.- Etapa 7.....	36
4.1.1.9.- Etapa 8.....	37

4.2.- ANÁLISIS EVOLUTIVO DEL PUENTE	37
4.3.- ANÁLISIS DEL EFECTO DEL SISMO EN LA CONSTRUCCIÓN	48
4.3.1.- Análisis del sismo de Iguala Guerrero (Periodo corto)	62
4.3.2.- Análisis del sismo de Tláhuac, México D.F (Periodo largo)	75
5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	85
6.- CONCLUSIONES.....	87
7. - REFERENCIAS.....	88
7.1 - REFERENCIAS ELECTRONICAS	88

RESUMEN

La ingeniería estructural es una rama de la ingeniería, esta nos permite realizar estudios para diseñar construcciones con la seguridad adecuada. En este trabajo se realizó un análisis del proceso constructivo de un puente atirantado. Un puente atirantado es una estructura altamente hiperestática salvando claros hasta de un kilómetro, por su funcionalidad y su costo que es menor a otro tipo de puentes como lo son los puentes colgantes. En este tipo de estructuras es indispensable el análisis durante su construcción para ello se realizó un análisis sísmico durante el proceso constructivo.

Ya que existe la probabilidad de que ocurra un evento sísmico durante su construcción y con este análisis, nos podemos dar cuenta de la importancia que pueden tener estos eventos durante el proceso constructivo y diseñarlo contra este tipo de acciones.

Existen diferentes procesos constructivos para un puente atirantado, para nuestro análisis se realizó una simulación de desmontaje comenzando por el puente terminado hasta llegar al inicio de la cimentación del mismo, que es uno de los procedimientos de análisis durante la construcción más utilizados.

Palabras claves: Tirantes, Puentes, Análisis, Construcción y Sismos.

ABSRTRAC

The structural engineering is a branch of engineering which allows us to study the structural safety of several constructions. In this project we carried out a constructive process of a cable-stayed bridge. A cable-stayed bridge is a highly hyperstatic structure, saving spans up to one kilometer, by its functions and cost which are lower than other type of bridges like suspension bridges. In this type of structures the analysis during the construction is essential for which a seismic analysis was made during the construction process.

Since there is probable that a seismic event may occur during its construction, with this analysis we can see and foresee where the bridge might fail during its constructive process and we can design it against these types of events.

There are many types of construction process for a cable-stayed bridge, in our analysis we made a backward construction process analysis, that is a very common analysis technique for simulate the construction process.

INTRODUCCIÓN:

1.- PUENTES ATIRANTADOS

1.1.- DESCRIPCIÓN DE UN PUENTE ATIRANTADO

Un puente atirantado es una estructura que permite salvar grandes claros, alcanzando incluso claros principales de más de un kilómetro, como en el puente de la isla Russki que tiene un claro principal de 1100 m (figura 1.1). Está compuesto por pilas, tableros, tirantes y anclajes, donde los claros están suspendidos en una o varias pilas centrales (figura 1.2), ya que uno de los principales elementos de este tipo de puentes son los tirantes, que son los que soportan al tablero suspendido. Este tipo de puente tiene como característica que no solo trabaja en tensión sino también en algunas partes trabaja a compresión. Existen tres tipos de puentes atirantados los cuales son: puente atirantado de pilón lateral, este no se encuentra en el mismo plano de la carretera sino a un costado, lo que permite adaptarse a carreteras con curvas; puente atirantado asimétrico, este tipo de puentes tiene un pilón lateral donde le llegan los tirantes y la fuerza de los cables puede ser compensada con unos contrapesos que van hasta el suelo; puente atirantado de pilón contrapeso, es similar al anterior lo que lo diferencia es que este no tienen un contrapeso hasta el suelo si no que los cables son anclados en el pilón que es el que soporta la mayor fuerza de los cables debido a su peso y su anclaje en el terreno.



Figura 1.1 Puente atirantado de la isla Russki con un claro principal de 1.1 km

Fuente: Internet

Un puente atirantado es una estructura con un alto grado de hiperactividad cuyo proceso constructivo se debe de realizar cuidadosamente para no tener complicaciones durante su construcción. Además debe estar completamente estable desde las pilas, pilones, tirantes y tablero.



Figura 1.2 Puente atirantado con tres pilas centrales

Fuente: Internet

1.2.- CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE SUS ELEMENTOS

1.2.1.- Pilas

La cimentación forma parte de las pilas ya que es la que recibe toda la carga y esfuerzos provocados por la estructura, y debido a ello debe ser completamente rígida para que no sufra algún daño durante la construcción del puente ni en su vida útil. Las pilas se desplantan en el terreno natural con su cimentación hasta llegar al nivel donde serán colocados los tableros y donde comienza el pilón (Figura 1.3).



Figura 1.3 Se muestra como están conectadas las pilas en la cimentación, que es la que resiste las cargas de toda la estructura

Fuente: Internet

1.2.2 Pilonos

Los pilones están compuestos por pilares que siguen la continuidad de las pilas, en los que están anclados los tirantes para soportar a los tableros. Los pilones pueden ser de tipo A cerrada, A sin cerrar en la parte superior, A invertida (Figura 1.4).

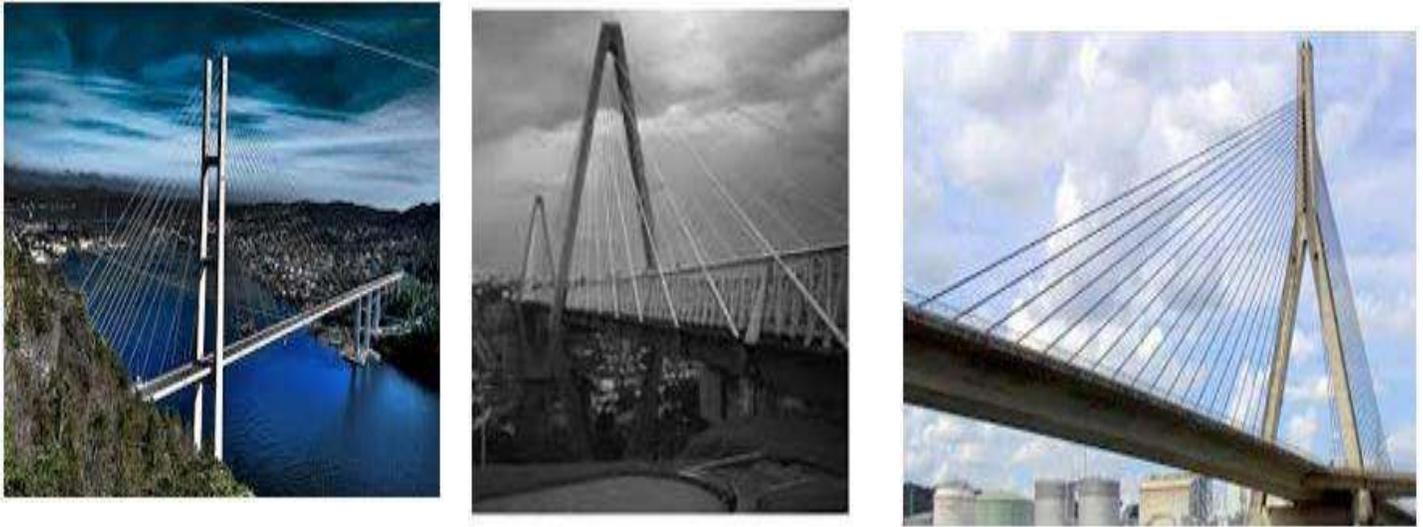


Figura 1.4 Tipos de pilones que se usan comúnmente en los puentes atirantados

Fuente: Internet

1.2.3 Tirantes

Estos elementos de los puentes atirantados son los responsables de soportar el tablero para que logre cubrir el claro del puente. Su funcionamiento es el de crear una serie de apoyos flexibles en los tableros. La disposición de los tirantes puede ser paralelos entre sí, que son los que se le conocen como tipo arpa, y los tirantes radiales en abanico. Los tirantes radiales en abanico funcionan mejor que los que están en paralelo ya que se genera un atirantamiento eficaz y las flexiones en las torres son menores. Los paralelos se han utilizado cuando la compensación del tablero se divide en claros más pequeños y los tirantes se anclan a los pilones o muy cerca de ellos. Estos cables son de acero debido a la alta resistencia, y facilitan el levantamiento del puente, construyéndose con volados sucesivos (Figura 1.5).



Figura 1.5 Atirantamiento de los puentes con cables de acero y su disposición en arpa y en abanico

Fuente: Internet

1.2.4 Tablero

Forma parte de la estructura del puente atirantado y es sobre la que circulan los vehículos (Figura 1.6). Su función en el esquema de flujo de carga consiste en transmitir las componentes horizontales de los tirantes mediante compresión, hasta los extremos del puente o en las pilas, dependiendo del sistema de conexión tablero-pila.

Los tableros también transmiten las cargas del tránsito vehicular hacia los tirantes. Los tableros trabajan a compresión y cuando ésta es muy elevada, pueden experimentar problemas de inestabilidad. Su proceso constructivo debe ser muy cuidadoso debido a que una mala estimación de la posición del tablero puede causar muchos problemas en la continuación de la construcción.

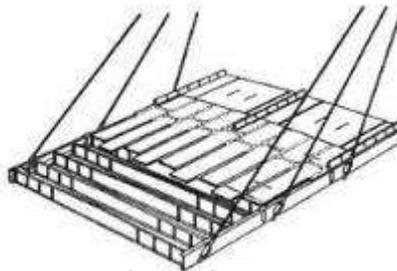


Figura 1.6 El tablero se suspende por los tirantes y su colocación es sucesiva

Fuente: Internet

1.3.- FLUJO DE CARGA DE UN PUENTE ATIRANTADO

El flujo de carga en un puente atirantado comienza por la carga viva generado por un estudio preliminar del aforamiento del tráfico vehicular, viento y sismo, para obtener la distribución de cargas en el tablero, de este se transmiten las cargas a los tirantes, pilones y pilas, y por último a la cimentación que tendrá las pilas.

Se calculan los esfuerzos máximos a los que estará sometido el puente atirantado así como los elementos mecánicos en toda su estructura. Ya que por lo regular la forma estructural básica es una serie de triángulos interpuestos que comprimen a los pilones y al tablero, se espera que el tipo de cargas más importante que actúa sobre ellas son axiales.

Los cables trabajan a tensión, el pilón y el tablero a compresión [Ochoa et.al, 2006]. Así los sistemas de cables en abanico, que están anclados en la parte más alta de los pilones, implica problemas en el detalle de los anclajes y para los cables en sistema de arpa los pilones deben de ser más altos y disponer de una mayor inclinación por lo que incrementa la rigidez del sistema estructural y los hace menos eficientes (Figura 1.7).

De esta manera es como se logra la estabilidad del puente atirantado recibiendo el flujo de cargas a las que estará sometido el puente. Y así tomando las consideraciones correspondientes a cada uno de los detalles que se puedan presentar deben de ser resueltos adecuadamente para que el puente atirantado esté en equilibrio sin que se dañen ninguno de sus componentes estructurales [Ochoa et.al, 2006].

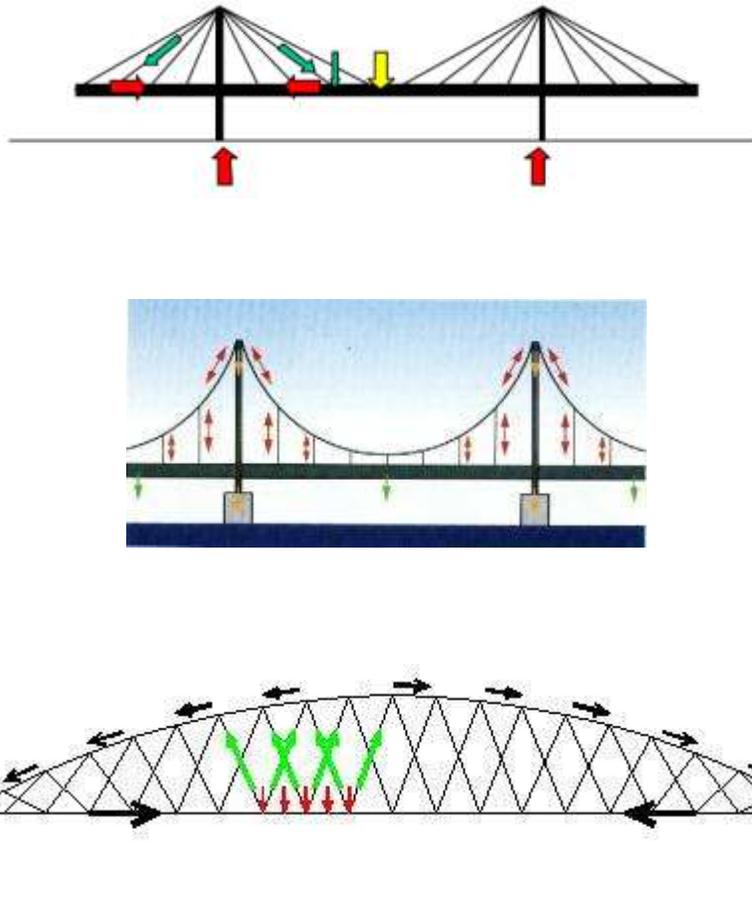


Figura 1.7 Se muestra el flujo de carga en un puente atirantado. El pilón y el tablero trabajan a compresión y los tirantes a tensión. El puente colgante trabaja a tensión y permite claros mayores al atirantado y el puente en arco trabaja a compresión

Fuente: Internet

2.- DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA

2.1.- DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE

A continuación se presenta el modelo de un puente atirantado que fue estudiado por [Grabow, 2004], y que será utilizado como prototipo para el desarrollo de este trabajo. El puente está compuesto por un pilón y 10 tirantes con una separación de 12m entre los cables 8 y 9; 10 y 11; y 11 y 12. Los cables 2 y 3 están separados a una distancia de 24 m (figura 2.1.), la estructura es simétrica es por ello que solo se menciona una parte de ella. La pila tiene 10 m de altura y el pilón 20 m. En primer lugar se desarrollará un diseño preliminar de los cables bajo las condiciones de servicio. Con base en las características geométricas del puente se obtuvieron las tensiones iniciales en cada uno de los tirantes, así como los esfuerzos generados y se revisó la resistencia de cada tirante y el área necesaria para evitar problemas de fatiga.

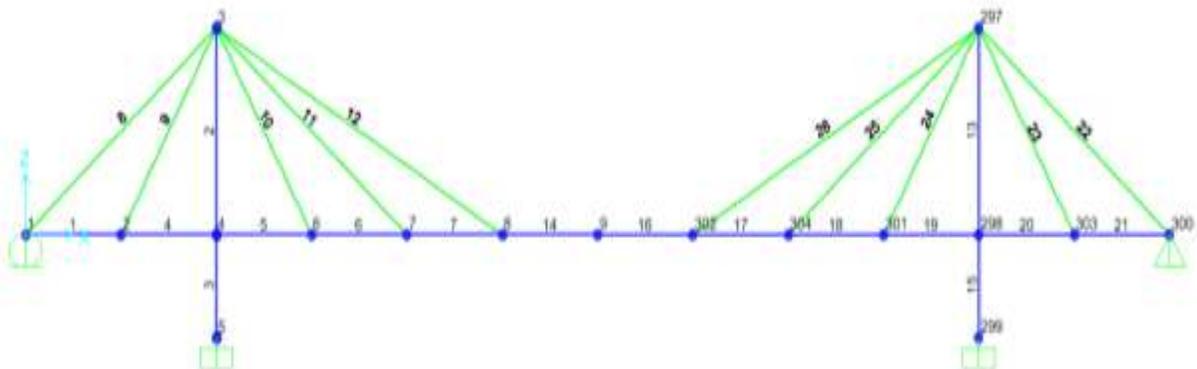


Figura 2.1 Sistema estructural

2.2.-PRELIMINAR DE LOS TIRANTES

El preliminar de los tirantes se obtuvo mediante un análisis durante la construcción del puente (análisis evolutivo), donde se tomó en cuenta el peso que sostendría cada uno de los tirantes, además de una carga adicional por el peso del pavimento flexible, camellones y guarniciones, y las cargas variables generadas por las distintas combinaciones del tránsito vehicular, según se indica a continuación:

- a) Una sobrecarga uniforme de 0.41 toneladas por metro cuadrado (0.41ton/m²) extendida en toda la plataforma del tablero o en parte de ella.
- b) Uno o dos vehículos de 61.18 toneladas, cuyo eje se considera paralelo al eje de la calzada, y formado cada uno por seis cargas de 10.2 toneladas.

El puente se representó, para fines de pre diseño, mediante una viga continua y donde se unen los tirantes con el tablero se le colocaron apoyos articulados móviles y en donde se encuentra la pila un apoyo fijo (Figura 2.2).

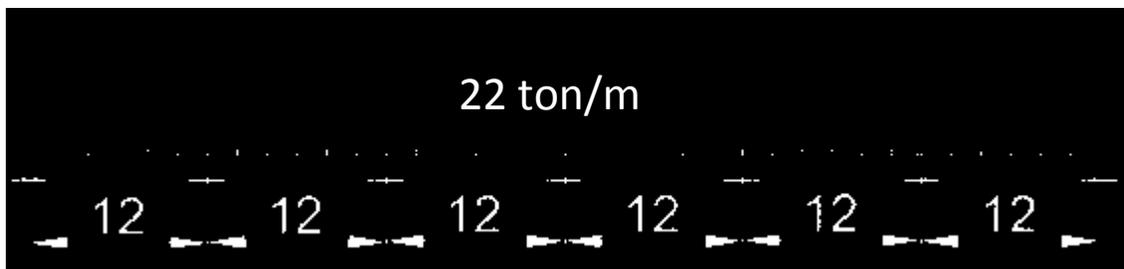


Figura 2.2 La viga continua que su carga muerta es del peso propio de la viga es de 11 ton/m y una carga adicional de 11 ton/m

Las reacciones se obtuvieron mediante el software sap2000. Las reacciones en cada uno de los apoyos son:

Tabla 2.1 Reacciones en cada uno de los apoyos

Apoyo	Reacción
1	61.7 ton
2	177.3 ton
3	150.7 ton
4	159.2 ton
5	150.7 ton
6	177.3 ton
7	61.7 ton

De acuerdo con las reacciones calculadas anteriormente se presenta el diagrama de cuerpo libre de cómo se obtuvieron las tensiones iniciales utilizando el equilibrio en cada nudo (Figura 2.3):

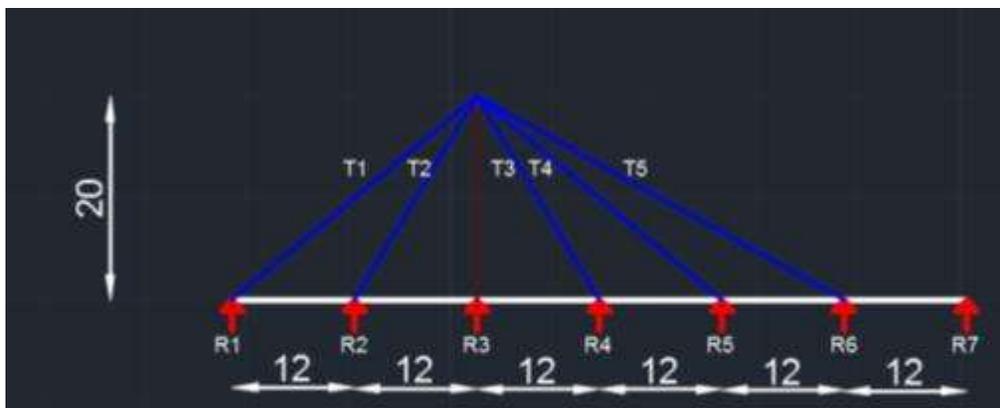


Figura 2.3 Geometría del puente con la cual se obtuvieron las tensiones iniciales

Tabla 2.2 Tensiones obtenidas en los tirantes actuando sobre ellos la carga muerta y la sobrecarga

	Tensiones obtenidas
TIRANTE 1	98 TON
TIRANTE 2	221 TON
TIRANTE 3	198 TON
TIRANTE 4	239 TON
TIRANTE 5	336 TON

Se obtuvieron las áreas de cada uno de los tirantes con base en el esfuerzo admisible de tensión de los tirantes, utilizando la siguiente expresión:

$$A = \frac{T}{fu} \quad (1)$$

Dónde:

A = Es el área de cada uno de los tirantes

T = Tensión inicial

f_u = Esfuerzo admisible por resistencia (se consideró un esfuerzo admisible igual al 45 % del esfuerzo último)

Resultando las siguientes áreas:

Tabla 2.3 Áreas de los tirantes por resistencia

Tirante	Área por resistencia(m2)
1	0.0019
2	0.0033
3	0.0030
4	0.0037
5	0.0055

Dentro de las posibles fallas que se pueden tener un puente atirantado en servicio son, además de la resistencia, el problema de fatiga dada la repetición de cargas que se presenta durante la vida útil de un puente. Es por ello que es necesario hacer una revisión preliminar por fatiga, además de por resistencia.

$$f_{cable} = \frac{T}{A} \leq f_u(F.S) \quad (2)$$

Dónde:

f_{cable} = es el esfuerzo por fatiga generado en los tirantes por las cargas aplicadas

T = tensión en cada tirante

A = área de los tirantes

$F.S = 45\%$

Quando el puente ya se encuentra funcionando puede fallar por fatiga con el tránsito vehicular durante las 24 hrs del día, es por ello que se hace una revisión preliminar para obtener el esfuerzo que será necesario resistir el puente para que durante su vida útil no falle por fatiga.

Con la siguiente expresión se calculara el esfuerzo por fatiga:

$$F_{fatiga} = \frac{(F_{max} - F_{min})0.5}{A} \leq f_u \quad (3)$$

Dónde:

F_{fatiga} = Esfuerzo por fatiga en cada tirante en kg/cm²

F_{max} = Esfuerzo máximo considerando la carga muerta+ sobre carga+ carga viva máxima

F_{min} = Esfuerzo mínimo considerando la carga muerta y sobrecarga en kg/cm²
(carga viva = 0)

A = Área de cada tirante

f_u =Esfuerzo admisible por fatiga (2000 kg/cm²)

Como el puente tiene cinco tirantes más el pilón que es donde están anclados los tirantes se calculó el total de reacciones generados por el paso vehicular que se consideró un tráiler de 60 toneladas que es el más desfavorable al que estará sometido el puente atirantado por fatiga, el análisis se realizó en el software sap2000, obteniendo los siguientes resultados por carga máxima (Tabla 2.4):

Tabla 2.4 Reacciones obtenidas en sap2000 por carga máxima

	Reacciones
Tirante 1	104.7 ton
Tirante 2	227.7 ton
Tirante 3	209.6 ton
Tirante 4	200.9 ton
Tirante 5	227.7 ton

Al obtener las reacciones se calculó la tensión (columna 2) en cada uno de los tirantes, así obteniendo el área de cada uno de los tirantes para que no falle por fatiga (tabla 2.5).

Tabla 2.5 Áreas obtenidas por Esfuerzo de fatiga

	Tensiones	Área por fatiga
Tirante 1	166.1 ton	0.0017 m2
Tirante 2	283.8 ton	0.0015 m2
Tirante 3	261.2 ton	0.0015 m2
Tirante 4	318.6 ton	0.0019 m2
Tirante 5	471 ton	0.0026 m2

2.3.- PROPIEDADES FINALES DE LOS TIRANTES

En la siguiente tabla se hace un resumen de las áreas calculadas para que no falle por resistencia y fatiga, en la columna dos se muestran las áreas por resistencia y en la columna tres las áreas por fatiga, haciendo una comparación con Grabow (2004), de las dos áreas calculadas se toman las mayores (tabla 2.6).

Tabla 2.6 Resumen de las áreas calculadas en el pre diseño haciendo comparación con Grabow (2004)

	Área por resistencia	Área por fatiga	Grabow (2004)
Tirante 1	0.0019	0.0017	0.0208
Tirante 2	0.0033	0.0015	0.0062
Tirante 3	0.0030	0.0015	0.0062
Tirante 4	0.0037	0.0019	0.0124
Tirante 5	0.0055	0.0026	0.0124

El diseño preliminar de las pilas y el tablero se obtuvo de (Grabow, 2004): del cual se tienen las siguientes áreas:

Área del tablero = 4.38 m²

Área del pilón = 1.00 m²

Como es un diseño preliminar se obtuvieron diferencias entre las áreas calculadas a las de (Grabow, 2004). Con esto podemos darnos cuenta de que el diseño preliminar es una aproximación de lo que será en la realidad y nos sirve como punto de partida para el análisis del puente, pero los valores de tensión inicial de los tirantes, y el área de cada cable, deberán ser definidos mediante el análisis evolutivo de la estructura.

3.- ANÁLISIS MODAL DE LA ESTRUCTURA

3.1.- MODELO ESTRUCTURAL

Es un procedimiento para determinar las características dinámicas del sistema en forma de frecuencias naturales, factores de amortiguamiento y la forma de los modos de vibrar. [He y Fu, 2001]. Además visualizar su comportamiento mediante este análisis que se realiza para estos casos con el software SAP 2000, como está relacionado con la masa y el amortiguamiento de la estructura.

En el software SAP 2000 se puede visualizar los modos de vibrar mediante la opción star animation y nos muestra en tablas el porcentaje de participación de masa de la estructura.

A continuación se llevara a cabo el análisis modal para la estructura variando los apoyos al final del puente para que no falle por temperatura. Este análisis se realizó en el programa SAP 200. Se le colocaron dos apoyos fijos en los extremos como se muestra en la Figura 3.1 y se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 3.1.

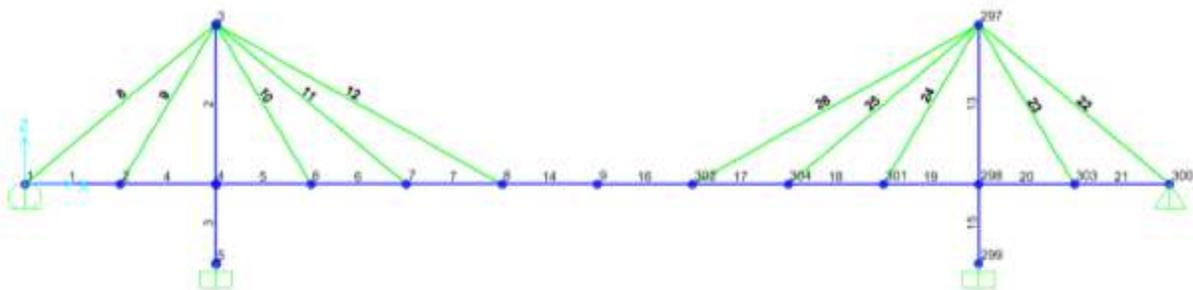


Figura 3.1 Se colocaron dos apoyos fijos en los extremos del puente

3.2.- OBTENCIÓN DE LAS PROPIEDADES DINÁMICAS

Tabla 3.1 Se muestran 12 periodos modales, en la última columna se tiene la forma modal para cada periodo

TABLE: Modal Participating Mass Ratios														
StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ	
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	FORMA MODAL
1	1.805699	0	0.843113	0	0	0.843113	0	0.049713	0	0.000097	0.049713	0	0.000097	UY ACOPLADO RX
2	0.861319	0	0.016674	0	0	0.859787	0	0.61229	0	0.008418	0.662003	0	0.008514	UY ACOPLADO RX
3	0.681469	0	0.006685	0	0	0.866472	0	0.32484	0	0.06934	0.986843	0	0.077854	UY ACOPLADO RX
4	0.492962	3.86E-09	0	0.595447	3.855E-09	0.866472	0.595447	0	3.57E-08	0	0.986843	3.574E-08	0.077854	UZ ACOPLADO RY
5	0.466362	0	0.000305	0	3.855E-09	0.866778	0.595447	0.007963	0	0.682561	0.994806	3.574E-08	0.760415	UY ACOPLADO RZ
6	0.22993	1.01E-19	0.096498	0	3.855E-09	0.963275	0.595447	0.004842	5.58E-20	0.000087	0.999648	3.574E-08	0.760502	UY ACOPLADO RX
7	0.193258	0.0001	3.2E-18	7.894E-08	0.0001	0.963275	0.595448	1.64E-20	0.37621	9.31E-20	0.999648	0.37621	0.760502	UX ACOPLADO RY
8	0.133082	1.63E-18	9.62E-06	1.314E-19	0.0001	0.963285	0.595448	0.000019	3.45E-18	0.165706	0.999667	0.37621	0.926208	UY ACOPLADO RZ
9	0.11208	2.22E-08	0	0.285984	0.0001	0.963285	0.881431	0	9.66E-08	0	0.999667	0.37621	0.926208	UZ ACOPLADO RY
10	0.087514	0.000453	5.83E-20	1.695E-07	0.000553	0.963285	0.881431	0	0.567136	3.15E-18	0.999667	0.943346	0.926208	UX ACOPLADO RY
11	0.087222	8.75E-18	0.02498	6.647E-20	0.000553	0.988265	0.881431	0.000265	1.51E-18	1.57E-06	0.999932	0.943346	0.92621	UY ACOPLADO RX
12	0.078572	0.001441	2.47E-20	0.022323	0.001995	0.988265	0.903755	0	0.000018	8.65E-19	0.999932	0.943365	0.92621	UZ ACOPLADO RY

En la tabla anterior se muestra que el Porcentaje de Participación de Masa en el desplazamiento en dirección X, en la columna SumUx, para que llegue a la completa participación se requiere liberar el apoyo fijo por un apoyo móvil para que tenga más libertad de desplazamiento y pueda llegar más rápidamente a su completa participación en la estructura.

De no ser así se requerirían más periodos modales como se realizara para el siguiente caso cambiando en un extremo el apoyo fijo por un apoyo móvil. Se cambió el apoyo fijo por apoyo móvil en el extremo izquierdo como se muestra en la Figura 3.2, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 3.2.

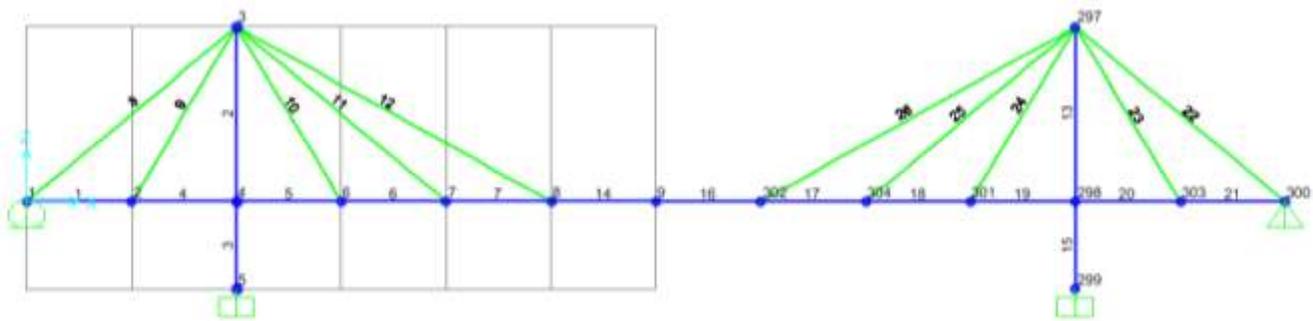


Figura 3.2 Se muestra el cambio de apoyo fijo a móvil en el extremo izquierdo

Tabla 3.2 Se muestran 40 periodos modales, en la última columna se muestran la forma modal en cada periodo

TABLE: Modal Participating Mass Ratios														
StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ	FORMA MODAL
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	
1	2.315661	0	0.870614	0	0	0.870614	0	0.048048	0	0.113493	0.048048	0	0.113493	UY ACOPLADO RZ
2	1.069079	0	0.020128	0	0	0.890743	0	0.001511	0	0.577631	0.049559	0	0.691124	UY ACOPLADO RZ
3	0.850581	0	0.019729	0	0	0.910471	0	0.640872	0	0.020041	0.690432	0	0.711165	UY ACOPLADO RX
4	0.676655	0	0.00301	0	0	0.913481	0	0.296063	0	0.009257	0.986494	0	0.720422	UY ACOPLADO RX
5	0.49301	7.66E-06	0	0.59541	7.664E-06	0.913481	0.59541	0	3.28E-08	0	0.986494	3.277E-08	0.720422	UZ ACOPLADO RY
6	0.395335	0	0.043189	0	7.664E-06	0.95667	0.59541	0.011532	1.45E-20	0.14842	0.998027	3.277E-08	0.868842	UY ACOPLADO RZ
7	0.201633	1.17E-20	0.021413	0	7.664E-06	0.978083	0.59541	0.001725	3.3E-20	0.058791	0.999752	3.277E-08	0.927633	UY ACOPLADO RZ
8	0.193266	0.000242	0	3.038E-08	0.00025	0.978083	0.59541	0	0.376118	0	0.999752	0.376118	0.927633	UX ACOPLADO RY
9	0.121739	3.47E-20	0.009341	0	0.00025	0.987424	0.59541	0.000126	0	0.032863	0.999878	0.376118	0.960496	UY ACOPLADO RZ
10	0.115693	0.833843	0	0.000836	0.834093	0.987424	0.596246	0	0.000509	0	0.999878	0.376627	0.960496	UX ACOPLADO RY
11	0.112076	0.000941	0	0.285262	0.835034	0.987424	0.881507	0	2.41E-07	0	0.999878	0.376628	0.960496	UZ ACOPLADO RY
12	0.087497	0.000133	0	0.00000134	0.835167	0.987424	0.881509	0	0.56689	0	0.999878	0.943518	0.960496	UX ACOPLADO RY
13	0.082185	1.39E-17	0.005466	0	0.835167	0.99289	0.881509	0.000081	6.45E-20	0.016619	0.999959	0.943518	0.977115	UY ACOPLADO RZ
14	0.078561	0.005123	0	0.021159	0.84029	0.99289	0.902668	0	0.00004	0	0.999959	0.943558	0.977115	UZ ACOPLADO RY
15	0.076946	0.004212	0	0.002598	0.844502	0.99289	0.905266	0	0.000032	0	0.999959	0.94359	0.977115	UX ACOPLADO RY
16	0.071801	0.000335	0	0.092531	0.844838	0.99289	0.997797	0	2.98E-07	0	0.999959	0.943591	0.977115	UZ ACOPLADO RY
17	0.060003	3.1E-17	0.003201	0	0.844838	0.99609	0.997797	0.000021	0	0.010383	0.99998	0.943591	0.987497	UY ACOPLADO RZ
18	0.05477	2.81E-06	0	2.613E-08	0.84484	0.99609	0.997797	0	0.051062	0	0.99998	0.994652	0.987497	UX ACOPLADO RY
19	0.046804	1.17E-20	0.001969	0	0.84484	0.998059	0.997797	0.00001	0	0.006344	0.99999	0.994652	0.993841	UY ACOPLADO RZ
20	0.041688	3.17E-09	0	0.002046	0.84484	0.998059	0.999844	0	2.53E-08	0	0.99999	0.994652	0.993841	UZ ACOPLADO RY
21	0.038621	2.65E-19	0.001134	2.455E-19	0.84484	0.999193	0.999844	6.66E-06	3.75E-20	0.003543	0.999997	0.994652	0.997384	UY ACOPLADO RZ
22	0.038541	0.091543	0	9.137E-07	0.936383	0.999193	0.999844	0	2.51E-06	4.44E-20	0.999997	0.994655	0.997384	UX ACOPLADO RY
23	0.034029	0.000041	3.01E-20	2.11E-10	0.936425	0.999193	0.999844	0	0.004671	0	0.999997	0.999326	0.997384	UX ACOPLADO RY
24	0.033257	3.98E-17	0.000544	3.388E-17	0.936425	0.999738	0.999844	1.68E-06	4.79E-19	0.001797	0.999999	0.999326	0.999181	UY ACOPLADO RZ
25	0.029794	3.98E-08	1.97E-20	0.000147	0.936425	0.999738	0.999991	0	9.18E-13	2.664E-20	0.999999	0.999326	0.999181	UZ ACOPLADO RY
26	0.02972	3.36E-17	0.000216	1.248E-17	0.936425	0.999954	0.999991	1.27E-06	1.09E-18	0.000666	1	0.999326	0.999846	UY ACOPLADO RZ
27	0.027648	1.39E-16	0.000046	1.127E-16	0.936425	1	0.999991	1.3E-07	1.69E-20	0.000154	1	0.999326	1	UY ACOPLADO RZ
28	0.02737	0.000043	1.2E-19	6.413E-11	0.936468	1	0.999991	0	0.000167	3.255E-19	1	0.999493	1	UX ACOPLADO RY
29	0.02563	7.64E-06	1.65E-18	8.077E-07	0.936476	1	0.999992	3.37E-20	8.96E-11	5.088E-18	1	0.999493	1	UX ACOPLADO RY
30	0.024338	0.000077	3.77E-18	5.006E-11	0.936553	1	0.999992	5.33E-20	0.000502	1.224E-17	1	0.999995	1	UX ACOPLADO RY
31	0.023633	0.00038	3.32E-20	0.00007466	0.936932	1	1	0	7.19E-08	9.327E-20	1	0.999995	1	UX ACOPLADO RY
32	0.023419	0.031191	1.39E-18	3.002E-07	0.968123	1	1	0	4.12E-06	4.506E-18	1	0.999999	1	UX ACOPLADO RY
33	0.017027	0.014027	1.05E-17	2.062E-08	0.982151	1	1	1.18E-19	1.33E-07	3.279E-17	1	0.999999	1	UX ACOPLADO RY
34	0.013559	0.007068	1.08E-17	8.677E-09	0.989219	1	1	1.43E-19	3.75E-07	3.356E-17	1	1	1	UX ACOPLADO RY
35	0.011427	0.004319	2.96E-17	4.06E-09	0.993538	1	1	3.13E-19	5.59E-08	9.339E-17	1	1	1	UX ACOPLADO RY
36	0.010016	0.002994	1.09E-18	2.032E-09	0.996532	1	1	1.14E-20	1.32E-07	3.48E-18	1	1	1	UX ACOPLADO RY
37	0.009059	0.002063	4.81E-20	1.107E-09	0.998595	1	1	0	3.07E-08	1.661E-19	1	1	1	UX ACOPLADO RY
38	0.008401	0.000988	9.56E-18	1.003E-09	0.999583	1	1	8.24E-20	4.74E-08	3.05E-17	1	1	1	UX ACOPLADO RY
39	0.007949	0.000322	5.65E-19	1.1E-09	0.999904	1	1	0	7.28E-10	1.761E-18	1	1	1	UX ACOPLADO RY
40	0.007679	0.000077	1.33E-18	1.355E-09	0.999982	1	1	0	1.39E-08	4.368E-18	1	1	1	UX ACOPLADO RY

En la tabla anterior se muestran los resultados del análisis con un apoyo móvil donde tiene más libertad de desplazamiento y el porcentaje de participación de masa va aumentando cuando los periodos modales aumentan. En la última columna se hace una comparación de los desplazamientos y giros que se producen en cada uno de los periodos modales.

Este tipo de análisis modal ha tenido gran importancia dentro de la Ingeniería Civil en los últimos años, esto es porque las estructuras están expuestas a terremotos, vientos, vibraciones ambientales o las cargas relacionadas con los vehículos en el caso de puentes. Es por ello que este análisis ha tenido gran efectividad en esta área ya que nos describe el comportamiento dinámico de la estructura.

Es por ello que se realizó este análisis modal en esta investigación del puente atirantado para visualizar numéricamente su comportamiento bajo las cargas a las que estará sometido el puente.

4.- CONTROL ESTRUCTURAL DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

4.1.- DEFINICIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

Los ciclos de construcción en un puente atirantado están sujetos a cambios durante el procedimiento constructivo debido a que se puede presentar un evento sísmico, un viento extremo, o alguna otra acción accidental, ya que está expuesto a acciones naturales que pueden cambiar los ciclos ya especificados durante el proyecto del puente.

El proceso constructivo de un puente atirantado es necesario el cálculo del mismo, debido a los grandes pesos a los que estará sometido al ir avanzando es su construcción (Figura 4.1), comenzando por la cimentación que es la que tendrá que resistir el peso de la estructura y acciones ambientales que se puedan presentar durante la construcción y en su vida útil, dependiendo de las condiciones en las que se construirá el puente atirantado se opta por alguno de los procesos de construcción apropiados a dichas condiciones.

Dentro de los procesos de construcción de los puentes atirantados se hará un análisis de desmontaje, que sería el mismo proceso constructivo pero ejecutado de manera inversa. Esto se hace con el fin de no estar haciendo muchas iteraciones al no quedar la dovela central bien colocada.



Figura 4.1 Muestra el avance de la construcción de un puente atirantado

Fuente: internet

4.1.1.- Análisis de desmontaje

Este tipo de análisis es para realizar el procedimiento de construcción. Esto con el fin de desarrollar un proceso eficaz permitiendo calcular las flechas en cada tablero, las deformaciones que va teniendo cada elemento del puente durante el proceso constructivo. El análisis comienza en la construcción en etapas, a continuación se muestran las etapas de desmontaje:

0. La estructura se considera como terminada.
1. En esta etapa se quita la sobrecarga, que es por pavimento, camellones, guarniciones, etc. Dejando la estructura únicamente con el peso propio de la estructura.
2. Se retira la dovela central del puente atirantado.

3. Desmontar la dovela anterior y recorrer el carro de avance hacia atrás.
4. Retirar la penúltima dovela y el par de cables en los dos tramos.
5. Retirar la dovela que está apoyada en cada extremo.
6. Retirar la dovela en voladizo y cables correspondientes en el claro de compensación.
7. Retirar el carro de avance.
8. Retirar los apoyos auxiliares y tramos de acceso.

Este análisis está compuesto por los pasos antes mencionados donde se desarrollaran ampliamente a continuación con la ayuda del SAP 200:

4.1.1.1.- Etapa 0

La estructura se considera como terminada. Esto es que se analiza con todas las cargas que actuaran en el puente y el peso propio Figura 4.2.

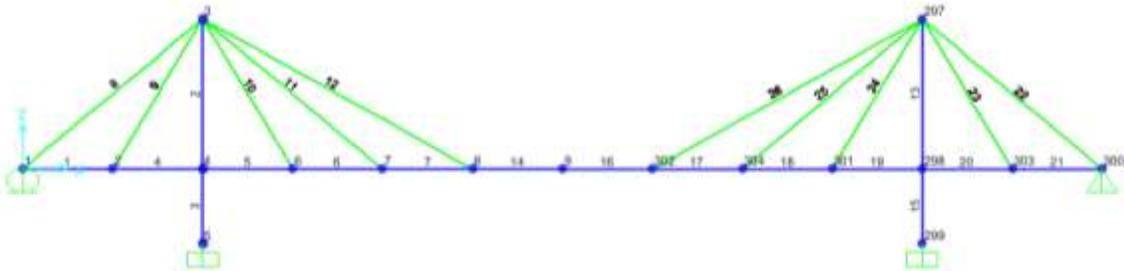


Figura 4.2 Puente atirantados en la etapa cero, comenzando el desmontaje

4.1.1.2.- Etapa 1

En esta etapa se quita la sobrecarga, que es por pavimento, camellones, guarniciones, etc. Dejando la estructura únicamente con el peso propio de la estructura Figura 4.3.

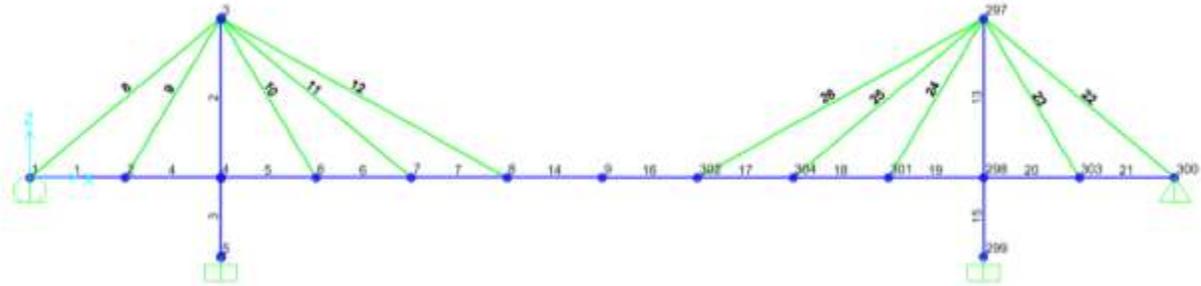


Figura 4.3 Se analizó sin la sobrecarga que es etapa antes descrita

4.1.1.3.- Etapa 2

Se retira la dovela central o dovela de cierre del puente atirantado.

Para la ejecución total del puente atirantado se coloca la dovela central, en nuestro caso como es de desmontaje se retira, permitiendo la ejecución de desmontaje y obteniendo las flechas máximas que ira teniendo la dovela anterior a la desmontada, y el comportamiento que ira teniendo la estructura. Se le coloca el peso de carro de avance que es considerado como 50 toneladas, se consideran dos carros de avance para cada lado como se muestra en la Figura 4.4. Y en la Figura 4.5 muestra es comportamiento del puente al quitarle la dovela central

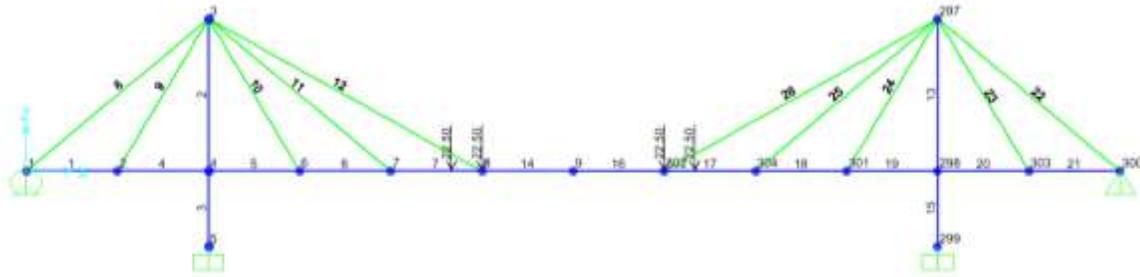


Figura 4.4 Puentes con la carga del carro de avance antes de quitarle la dovela de cierre

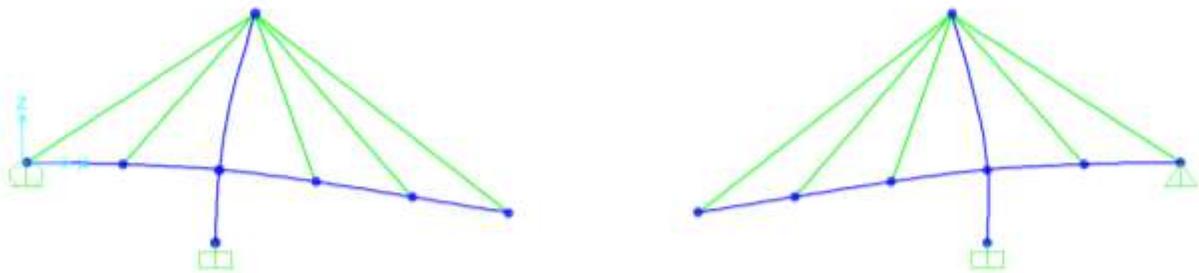


Figura 4.5 comportamiento del puente al quitarle la dovela central o de cierre

4.1.1.4.- Etapa 3

Desmontar la dovela anterior y recorrer el carro de avance hacia atrás como se observa en la Figura 4.7.

El carro de avance es el más común para construir voladizos sucesivos Figura 4.6, su principal función es para el avance del puente, que en este análisis de ira recorriendo

Al comenzar las operaciones del carro de avance este sufre esfuerzos y deformaciones por el movimiento. Para este análisis de desmontaje se realizara lo antes mencionado inversamente que permite conocer antes su comportamiento.

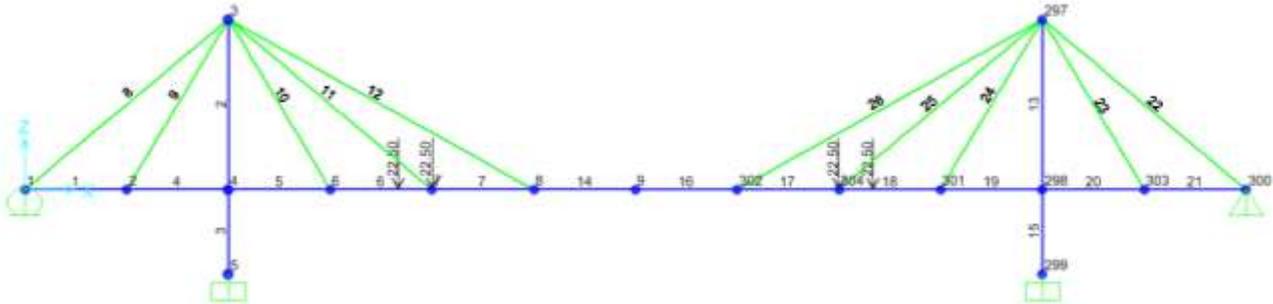


Figura 4.7 Las cargas del carro de avance se recorren a la dovela anterior

En la Figura 4.7 se muestra el comportamiento al quitar la dovela anterior en cada tramo y la carga actuando sobre la última dovela.



Figura 4.8 muestra el comportamiento de la etapa 3

4.1.1.5.- Etapa 4

Retirar la penúltima dovela y el par de cables en los dos tramos. Donde el carro de avance se realiza el mismo procedimiento que en la etapa anterior recorriéndolo a la dovela inicial del puente Figura 4.8.

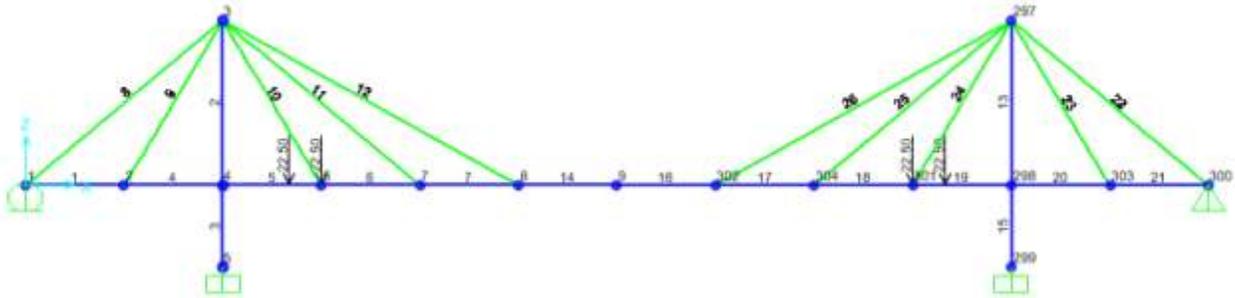


Figura 4.9 Penúltima etapa del proceso de desmontaje de las dovelas

En la figura 4.9 se muestra el comportamiento del puente al llegar a la penúltima etapa del análisis de desmontaje de las dovelas.

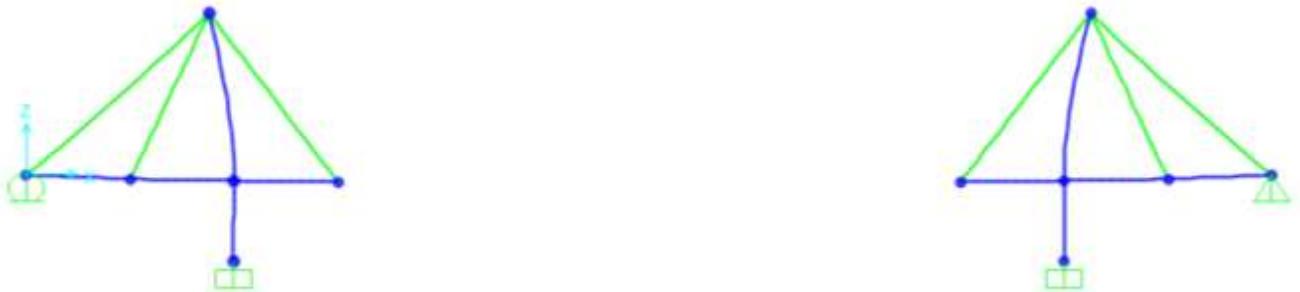


Figura 4.10 Comportamiento del puente en la etapa 4

4.1.1.6.- Etapa 5

Retirar la dovela que está apoyada en cada extremo.

El carro de avance se queda en la misma posición del puente Figura 4.11, para la dovela que se retirara no se requiere carro de avance, esto porque las condiciones donde se realiza la construcción se puede colocar con otra técnica de colocación de dovelas.

Esta dovela puede estar apoyada en estribos que previamente se proyectaron generando las condiciones de apoyo con el cual se analizó el desmontaje.

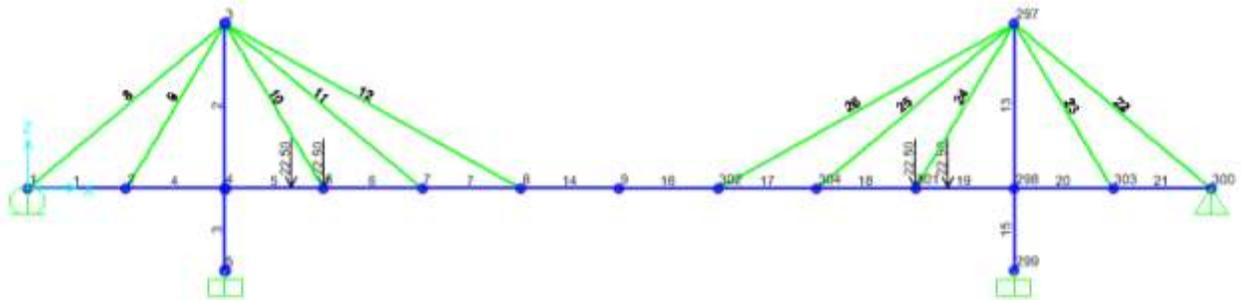


Figura 4.11 Se retiran las dovelas que están apoyadas en los extremos del puente

En la figura 4.12 se muestra el comportamiento del puente al quitar las dovelas que están apoyadas en estribos.

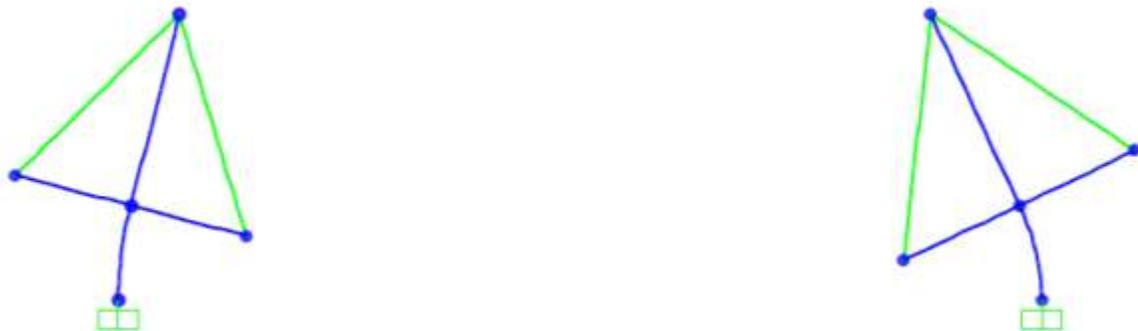


Figura 4.12 Comportamiento de la etapa 5

4.1.1.7.- Etapa 6

Retirar la dovela en voladizo y cables correspondientes en el claro de compensación. En esta etapa el carro de avance se coloca sobre el Pilón como se muestra en la Figura 4.13, que es donde se construye para iniciar el ciclo de construcción del puente atirantado de dovelas.

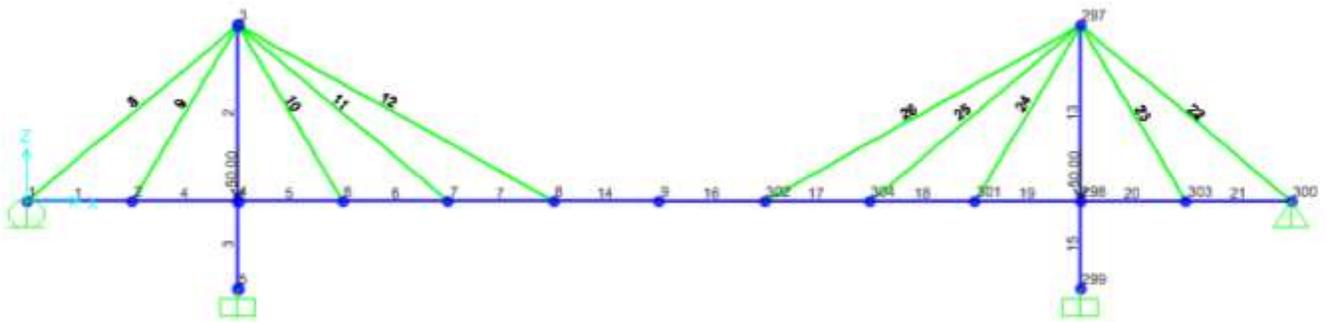


Figura 4.13 La carga del carro de avance se coloca en el Pilón

En la Figura 4.14 se observa la etapa 6 donde el carro de avance se encuentra en el Pilón en este análisis de desmontaje.



Figura 4.14 Los pilones al tener el carro de avance en la superficie donde se iniciara el proceso de colocación de dovelas sufren deformación por el peso del mismo

4.1.1.8.- Etapa 7

Retirar el carro de avance como se observa en la Figura 4.15 que ya no se encuentra ninguna carga aplicada en el puente.

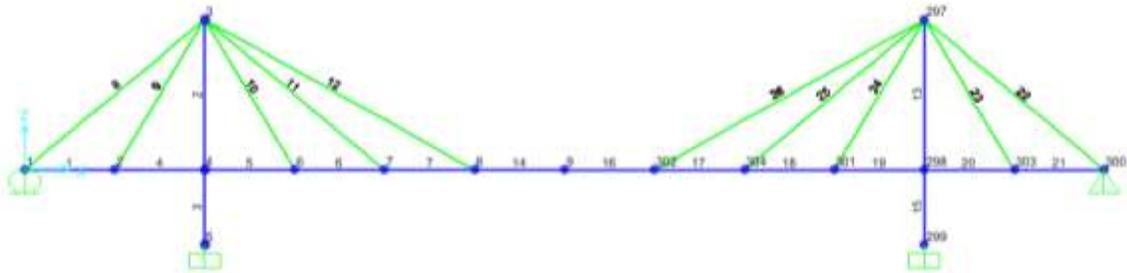


Figura 4.15 El carro de avance es retirado del puente

En la Figura 4.16 se muestra que el Pilón en la etapa 7 del análisis de desmontaje



Figura 4.16 Se muestra los pilones en la última etapa del desmontaje

4.1.1.9.- Etapa 8

Retirar los apoyos auxiliares y tramos de acceso.

En esta etapa se deja el Pilón sin ninguna carga adicional, que en nuestro caso como es un análisis de desmontaje fue la última etapa, pero en el proceso constructivo sería la primera una vez teniendo el Pilón terminado.

4.2.- ANÁLISIS EVOLUTIVO DEL PUENTE

Dentro del proceso constructivo de un puente atirantado se debe tomar en cuenta lo que puede ocurrir durante el tiempo que tarde en construirse, y para eso el comportamiento mientras que va avanzado en su construcción. El proceso constructivo debe ser calculado y proyectado por el ingeniero estructural, esto es, debido a que se van generando diferentes esfuerzos, desplazamientos, cargas axiales a las que deben de soportar los tirantes una vez avanzando en el proceso constructivo, en las pilas se van generando desplazamientos.

Para que el puente no sufra algún problema por desplazamientos en el tablero, en este se consideran como nulos. Para nuestro caso y de acuerdo a las etapas propuestas de construcción se calcularan las cargas axiales a las que estarán sometidos los tirantes al ir incrementando el avance, esto se obtuvo con el software SAP2000, y así obtener una primera aproximación de los desplazamientos para después calcular el puente para que los desplazamientos sean nulos en el tablero. En la figura 4.2 se tiene las cargas axiales en la etapa inicial de desmontaje que en la realidad sería como el puente terminado.

FUERZAS EN LOS TIRANTES								
FUERZAS AXIALES POR ETAPA								
TIRANTES	ETAPA 0	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5	ETAPA 6	ETAPA 7
8	669.0637	476.9727	650.672	274.4177	78.3704	0	0	0
9	371.0779	342.2194	373.0211	293.013	209.0047	261.8244	0	0
10	214.4258	181.8723	192.0793	239.4121	308.671	263.9115	0	0
11	293.6548	189.0257	265.11	312.1662	0	0	0	0
12	435.199	357.5765	459.3257	0	0	0	0	0
26	434.1857	358.4611	459.6334	0	0	0	0	0
25	292.7417	189.739	265.0192	313.4726	0	0	0	0
24	214.1465	181.2872	190.9748	238.8733	310.5214	269.5342	0	0
23	371.4512	343.4724	374.0969	293.3351	206.7419	262.7442	0	0
22	670.9731	482.0135	654.8152	269.699	77.2499	0	0	0

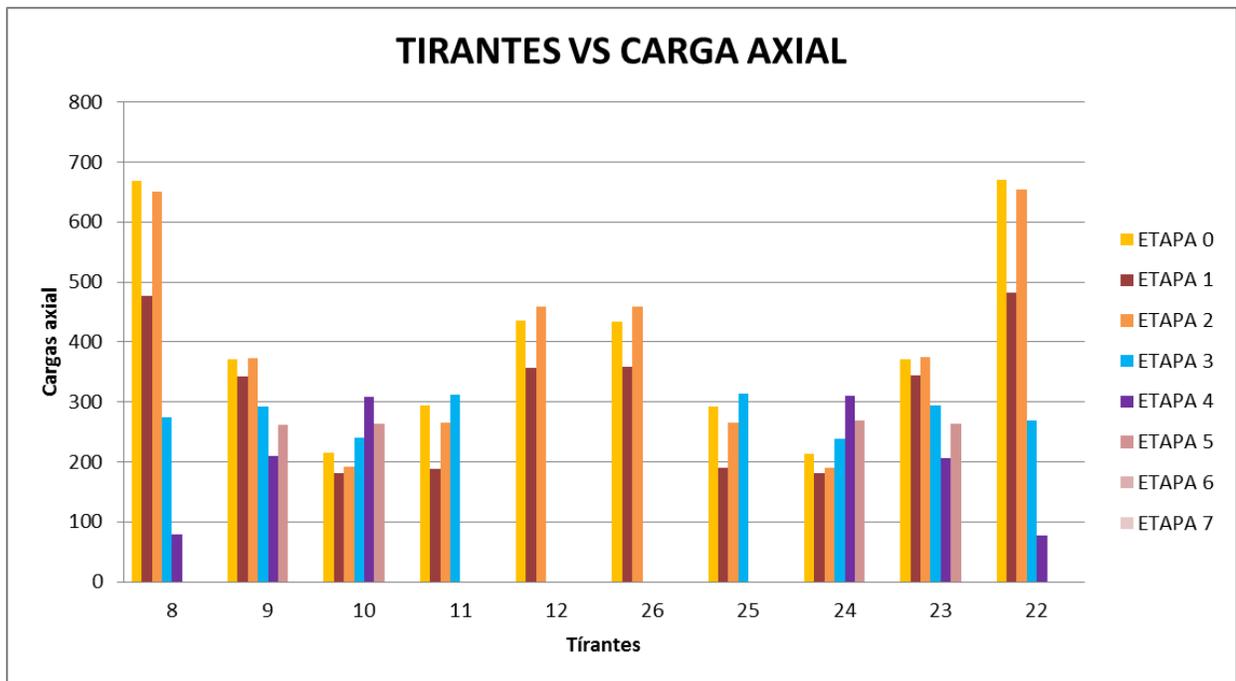


Figura 4.2 Se muestra la variación de la carga axial en los tirantes cuando va aumentando el desmontaje

En la figura 4.21 se muestran los desplazamientos verticales en el tablero en cada uno de los puntos donde llegan los tirantes están en metros.

DESPLAZAMIENTO VERTICAL EN EL TABLERO

NODOS	DESPLAZAMIENTOS POR ETAPA							
	ETAPA 0	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5	ETAPA 6	ETAPA 7
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-0.007674	-0.002707	-0.003815	-0.004415	-0.004391	0.056389	0	0
4	-0.034316	-0.010297	-0.017588	-0.011353	-0.006609	-0.005867	-0.000387	-0.000387
6	-0.100964	-0.02724	-0.052459	-0.026441	-0.009268	-0.068989	0	0
7	-0.176872	-0.046261	-0.097793	-0.043862	0	0	0	0
8	-0.233674	-0.060541	-0.145279	0	0	0	0	0
9	-0.254139	-0.065884	0	0	0	0	0	0
302	-0.232386	-0.060554	-0.144922	0	0	0	0	0
304	-0.175048	-0.046286	-0.097551	-0.043736	0	0	0	0
301	-0.099477	-0.027268	-0.05233	-0.026378	-0.00927	-0.119591	0	0
298	-0.033526	-0.010312	-0.017571	-0.011346	-0.006607	-0.005867	-0.000387	-0.000387
303	-0.007228	-0.002708	-0.003844	-0.004428	-0.004388	0.107012	0	0
300	0	0	0	0	0	0	0	0

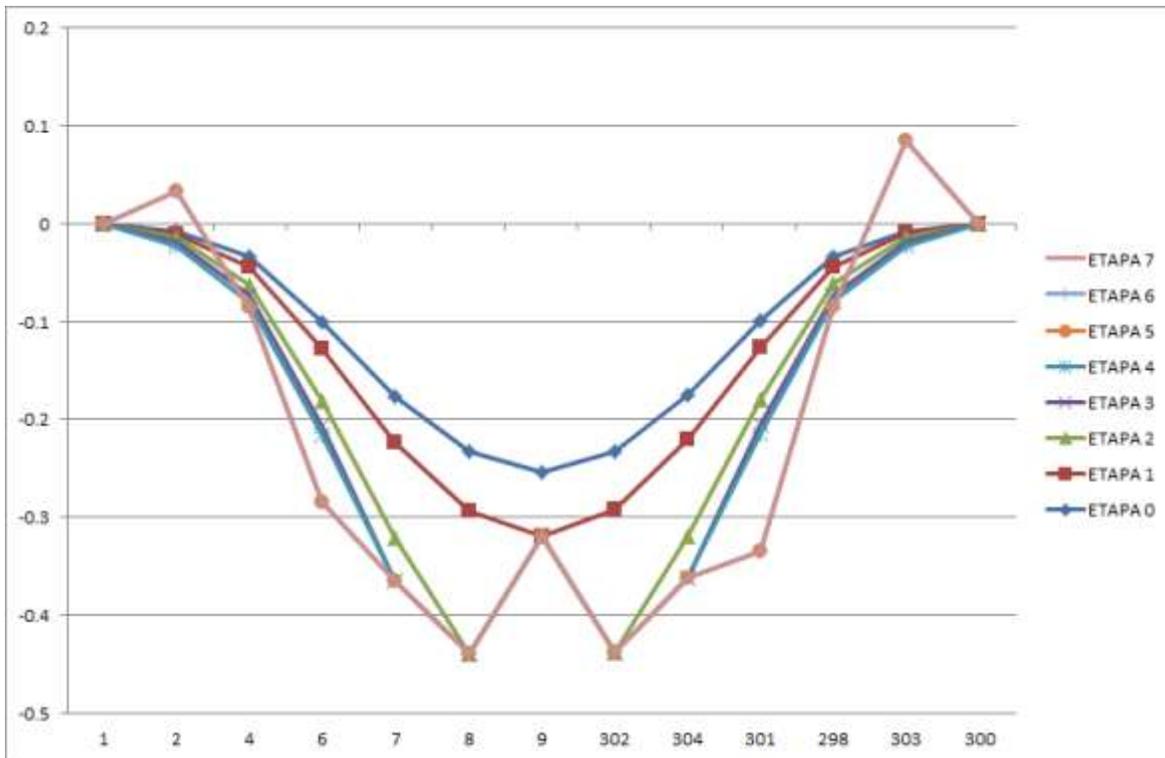


Figura 4.21 Desplazamientos verticales en el tablero

En la Figura 4.22 se muestran las fuerzas axiales en el tablero durante las etapas de desmontaje simulando el proceso constructivo.

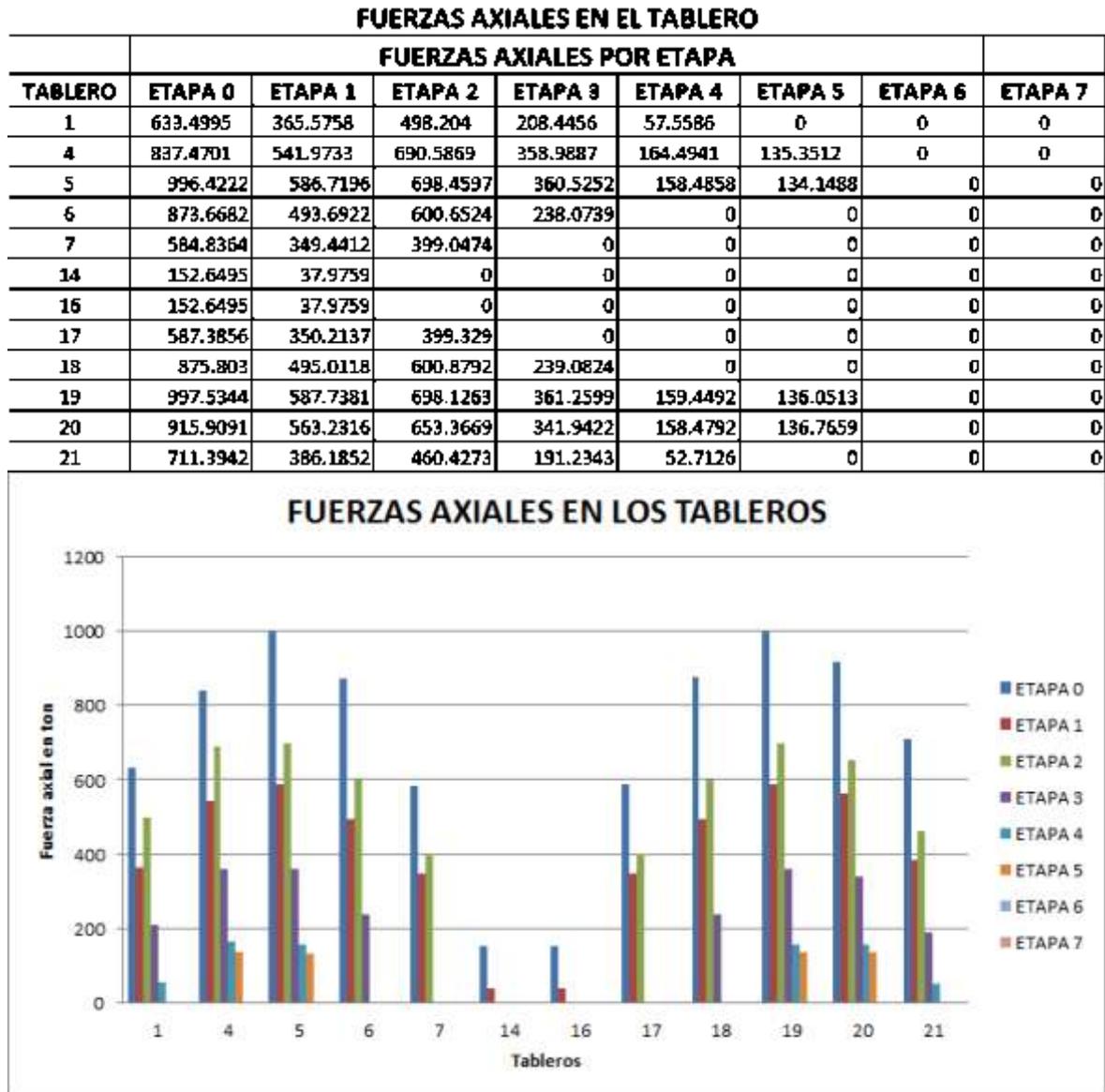
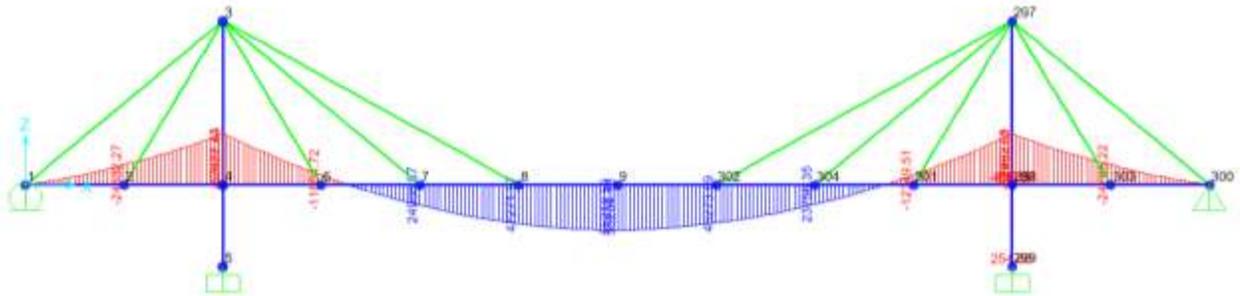


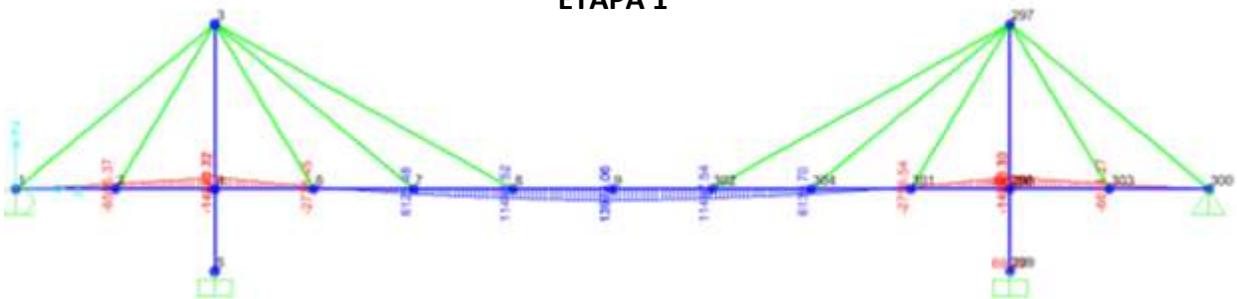
Figura 4.22 Fuerzas axiales en los tableros

A continuación se presentan los diagramas de momento en el tablero de acuerdo a las etapas de desmontaje Figura 4.23.

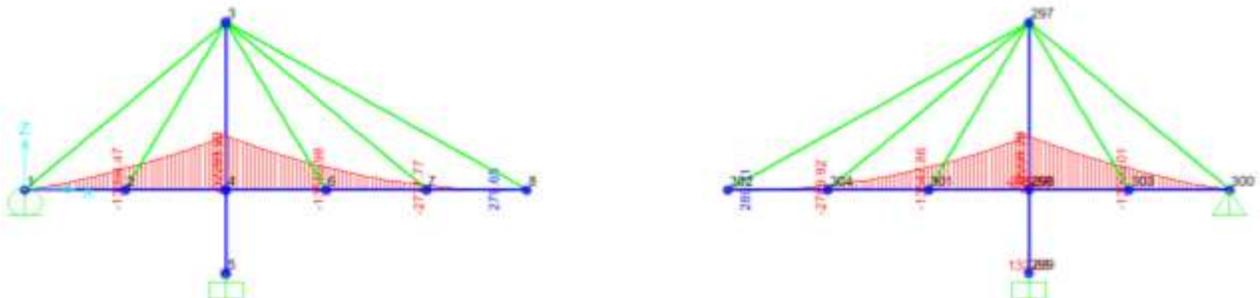
ETAPA 0



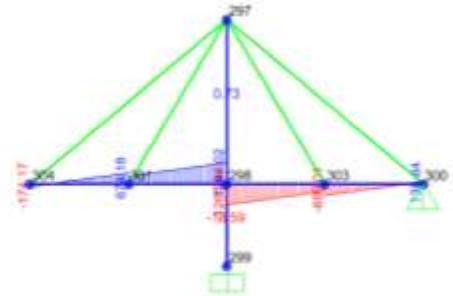
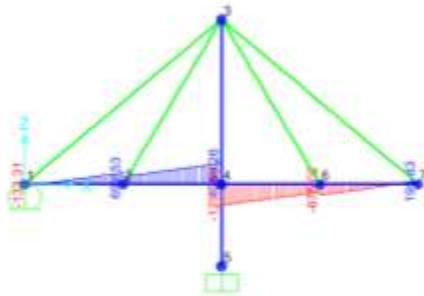
ETAPA 1



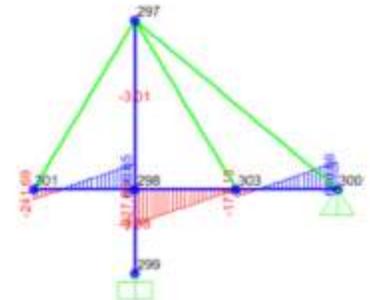
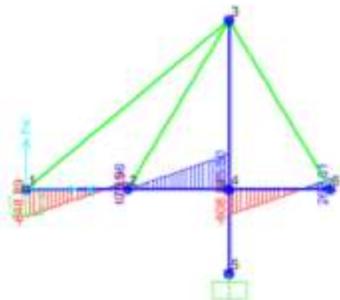
ETAPA 2



ETAPA 3



ETAPA 4



ETAPA 5

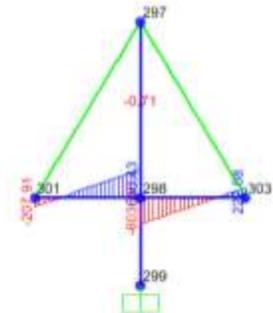
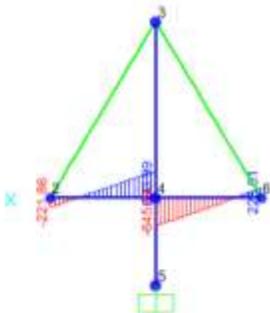


Figura 4.24 Diagramas de fuerza cortante en el tablero por cada etapa en donde interviene el tablero

Dentro del proceso constructivo del puente atirantado es importante predecir el comportamiento de la pila que es la que sostendrá en puente para que este pueda ser adecuado y estable durante la construcción y su vida útil. Para ello se obtuvieron los momentos flexionantes en la superficie de la pila que es la parte crítica y lograr un buen diseño de la cimentación que soporte todas las cargas a las que estará sometido el puente. En las etapas propuestas de desmontaje se obtuvieron los diferentes momentos en la superficie de la pila que se mostraran en la Figura 4.25, las fuerzas de cortante se muestran en la Figura 4.26, la fuerza axial en la Figura 4.27 y el desplazamiento en la parte superior de la pila Figura 4.28, esto se llevó acabo en el software SAP 2000.

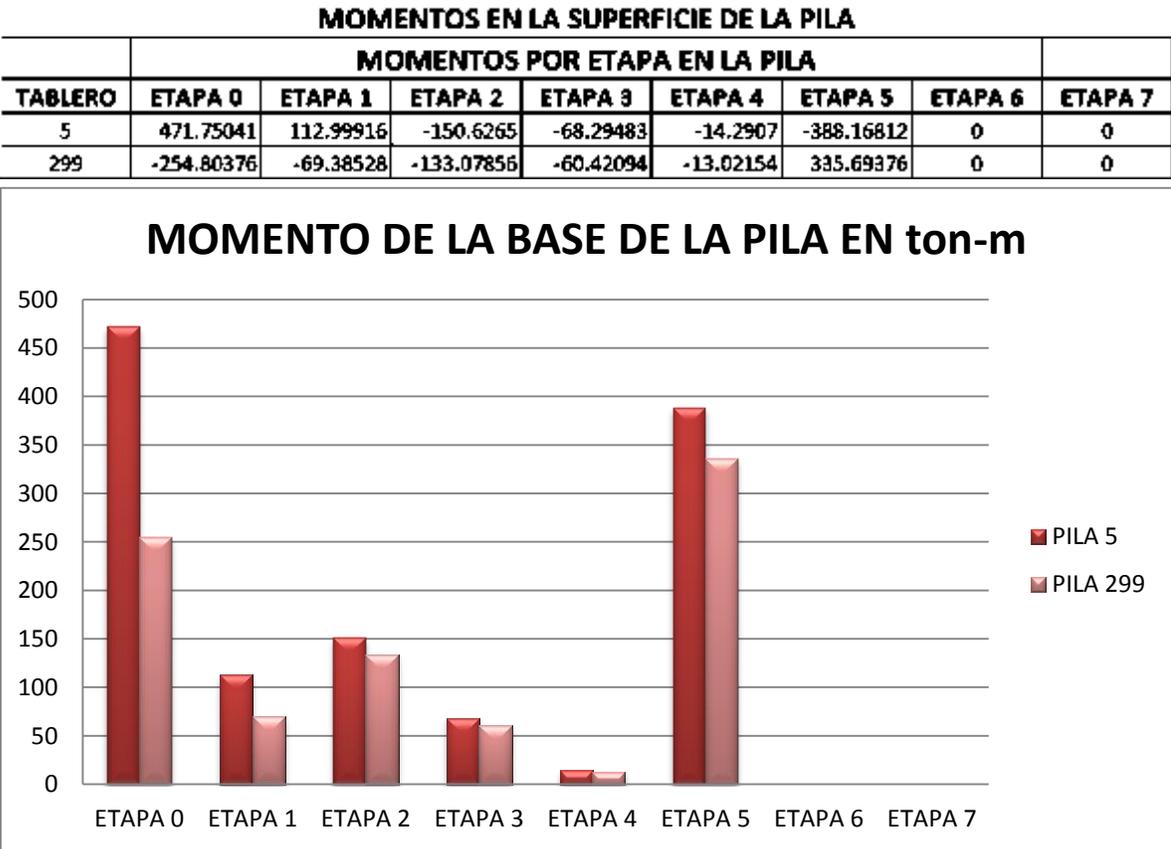


Figura 4.25 Se muestran los momentos en cada etapa de construcción

FUERZAS CORTANTES EN LA SUPERFICIE DE LA PILA

FUERZA CORTANTE POR ETAPA EN LA PILA								
TABLERO	ETAPA 0	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5	ETAPA 6	ETAPA 7
5	152.6495	37.9759	-8.22E-14	-4.044E-15	-1.115E-14	-2.536E-14	0	0
299	-78.5678	-21.2448	-40.956	-18.5869	-3.9772	0	0	0

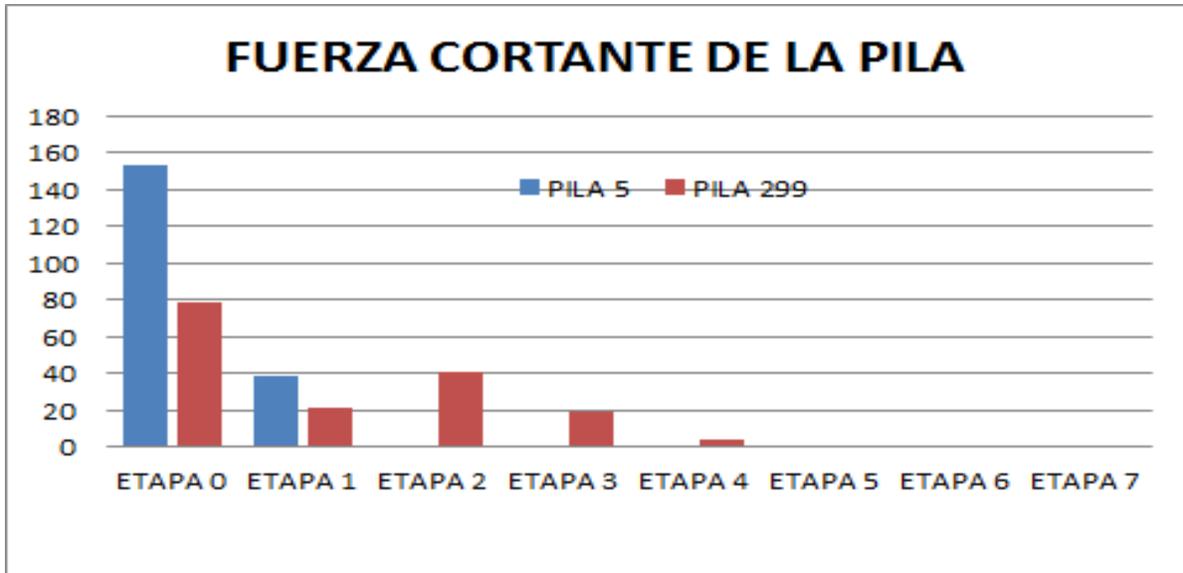


Figura 4.26 Se muestran las fuerzas cortantes en cada etapa de construcción de desmontaje

FUERZAS AXIAL EN LA BASE DE LA PILA

FUERZA AXIAL POR ETAPA EN LA PILA								
TABLERO	ETAPA 0	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5	ETAPA 6	ETAPA 7
5	10688.3084	3208.5298	5483.7965	3548.3404	2075.496	1845.3873	144.1662	144.1662
299	10443.0998	3213.1559	5478.5462	3545.9608	2074.9972	1845.3873	144.1662	144.1662

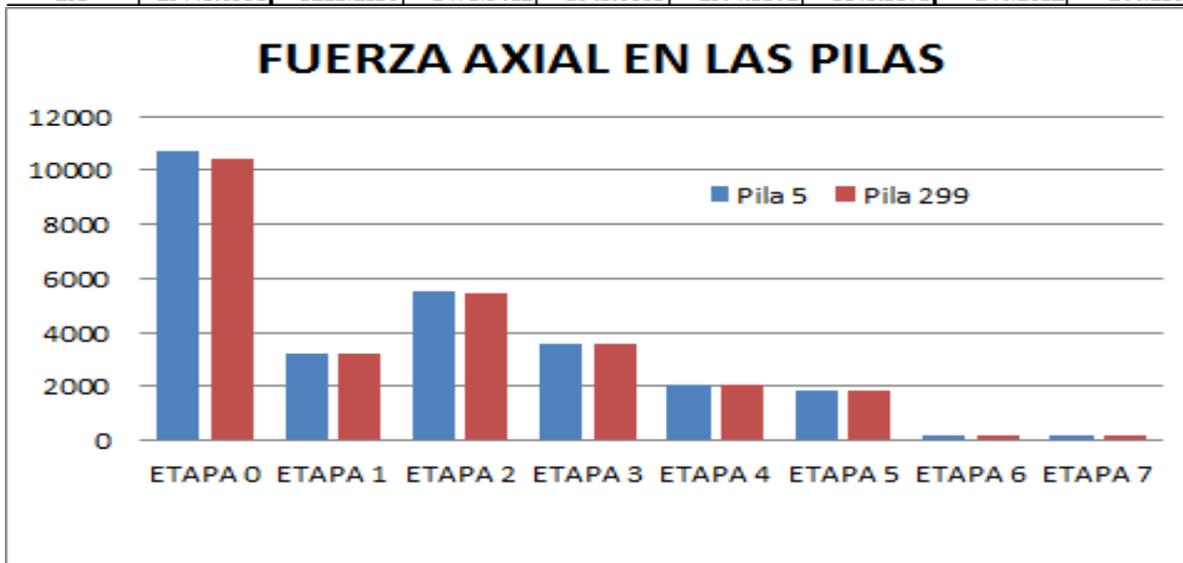


Figura 4.27 Se muestran las fuerzas axiales en cada etapa de construcción de desmontaje

DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES EN LA PILA

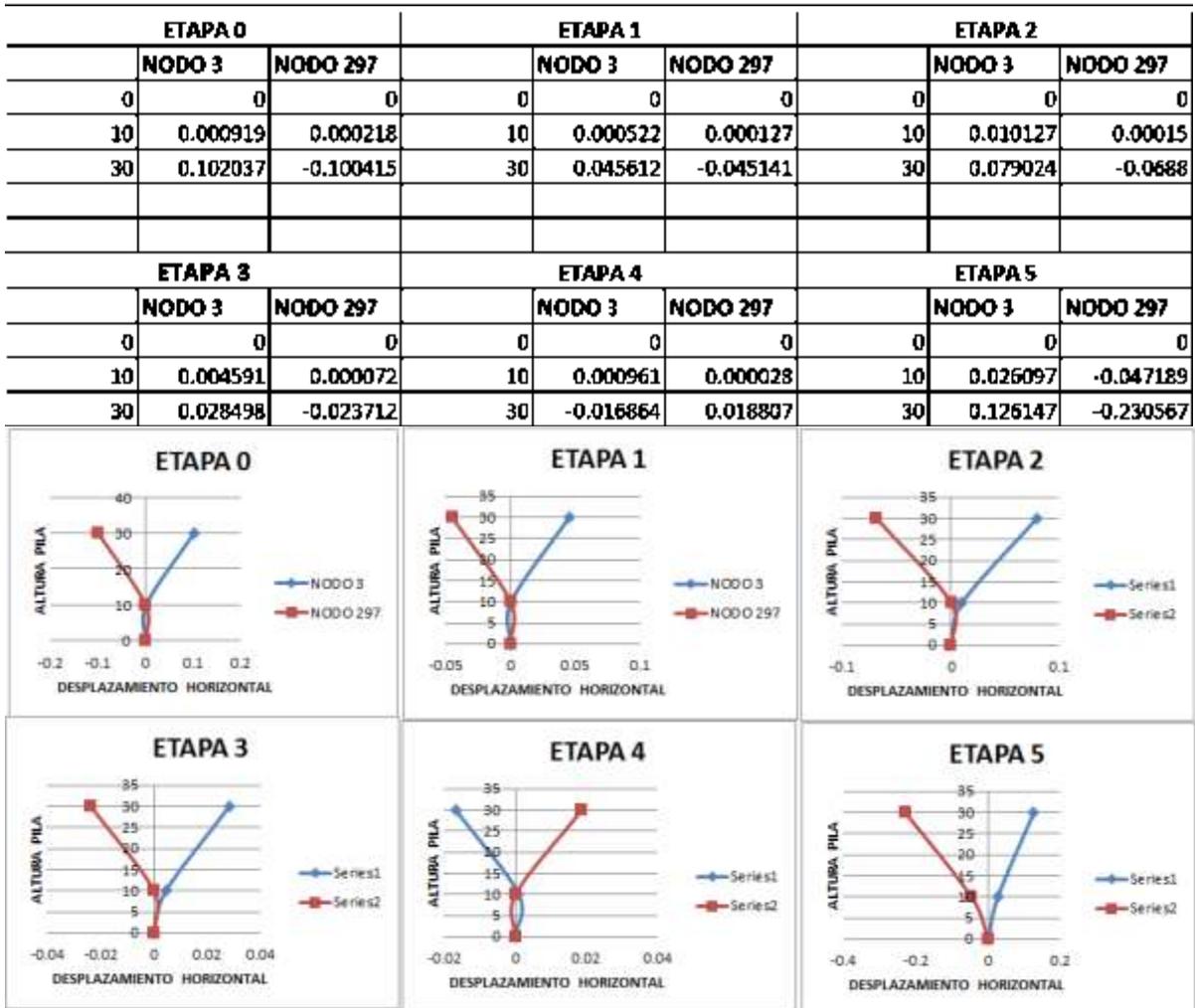


Figura 4.28 Desplazamientos horizontales en la pila en cada etapa de desmontaje

4.3.- ANÁLISIS DEL EFECTO DEL SISMO EN LA CONSTRUCCIÓN

Un puente atirantado es muy importante para la sociedad ya que puede alcanzar claros grandes, es por ello que este tipo de estructuras se selecciona para permitir la comunicación de dos puntos acortando el tiempo de traslado un lugar a otro, generando mayor demanda económica entre las ciudades beneficiadas (como es el caso del puente Baluarte que une el Estado de Sinaloa y Durango). Debido a esta gran importancia que tiene este tipo de estructuras se tiene un cuidado especial para que este no sufra daños cuando se presente un sismo de cierta magnitud.

En la actualidad el diseño sísmico en estructuras es de gran importancia, esto es con el fin de obtener un modelo de la estructura que se va a construir y su comportamiento sísmico al que posiblemente podrá estar expuesto durante su vida útil y durante la construcción. Se realiza un diseño sísmico por desempeño, esto es dependiendo de la magnitud del sismo y los daños que puede sufrir el puente sin que este llegue al colapso, esto para mantener segura la estructura.

Para el modelo del puente atirantado se realizó un estudio de la demanda sísmica de los años 1980-2015 donde el radio de la estación es menor o igual a 60 km, la magnitud mayor o igual a 7. Los registros sísmicos que cumplieron con dichas características fueron para once sismos, donde cada sismo tiene sus respectivos registros sísmicos en cada una de las estaciones, como se muestra en la tabla 5.1.

El modelo del puente atirantado se analizara en el programa SAP 2000, donde se seleccionaron dos registros sísmicos con sus respectivos componentes como se observa en la figura 5.1, los registros sísmicos que se muestran en la tabla 5.2.

Tabla 5.1 Se muestran los 11 sismos con sus respectivas estaciones y a su vez sus registros

DEMANDA SISMICA DE 1980 AL 2015		
NUM.SISMO	NUM.ESTACIONES	NUM.REGISTROS
1	6	18
2	3	9
3	1	3
4	4	12
5	1	3
6	1	3
7	2	6
8	1	3
9	2	6
10	1	3
11	2	6

Tabla 5.2 Se muestran los sismos con sus fechas y en la zona donde ocurrieron en el país

DEMANDA SISMICA		
Sismo	Fecha UTC	Zona
1	18/04/2014	40 km al SUR de PETATLAN, GRO
2	20/03/2012	29 km al SUR de OMETEPEC, GRO
3	09/08/2000	Costa de Michoacán
4	30/09/1999	Oaxaca
5	15/06/1999	Puebla
6	11/01/1997	Costa de Michoacán
7	14/09/1995	Costa de Guerrero
8	30/04/1986	Costa de Michoacán
9	21/09/1985	Guerrero
10	19/09/1985	Costa de Michoacán
11	25/10/1981	Costa de Michoacán

Un acelerógrafo registra los movimientos horizontales del terreno en dos direcciones horizontales ortogonales y la aceleración en vertical como se muestra en la figura 5.1.

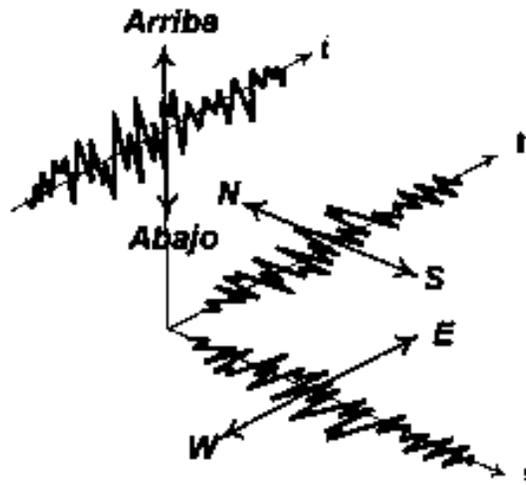


Figura 5.1 Se muestra como registra un acelerógrafo

Reyes (1998)

Los sismos mostrados en la tabla 5.2 se obtuvieron de la Base de Datos de Registros Acelerográficos de la Red Sísmica Mexicana, con estos registros sísmicos obtenidos se optó por analizar el puente atirantado con los registros sísmicos de mayor aceleración para cada etapa de construcción que en nuestro caso sería de desmontaje en el programa SAP2000, y analizar el comportamiento de cada una de las etapas de construcción del puente.

Se seleccionaron dos tipos de sismos que es de periodo corto y periodo largo como se muestra en la figura 5.2, el primer sismo es el de Igualapa, Guerrero y el segundo de

Tláhuac, México D.F.

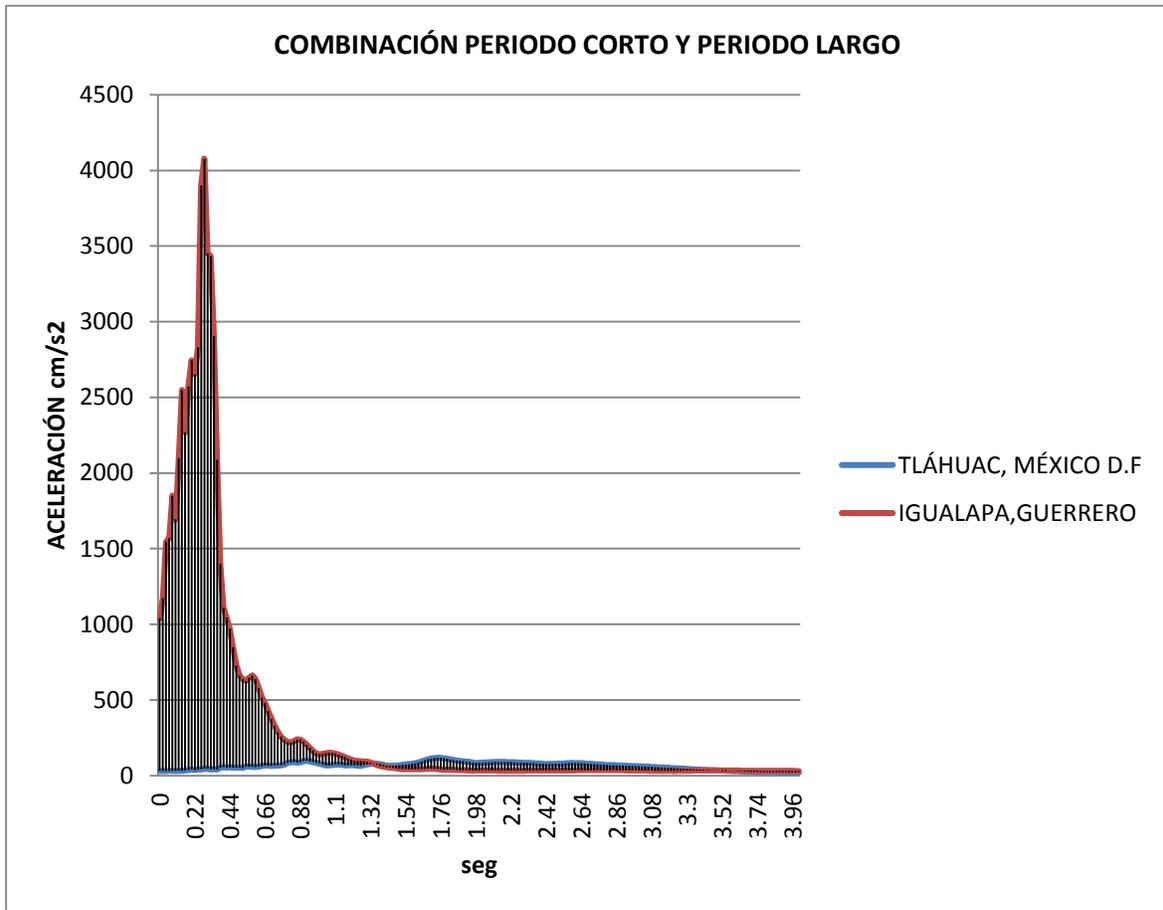


Figura 5.2 Se muestra la combinación de espectros de aceleración de un sismo de periodo corto y de periodo largo

Se comenzó por analizar el puente con el sismo de Igualapa Guerrero el 20 de Marzo del 2012 que es el sismo de periodo corto, con una magnitud de 7.4 registrado en la estación de San Juan de los Llanos ubicada en la Calle Miguel Hidalgo S/N, San Juan de los Llanos, Municipio de Igualapa, Guerrero Figura 5.3.

En la gráfica del acelerograma muestra cada uno de los componentes en el cual registra el acelerógrafo así como todas sus características de lo que es el sismo, la estación y el registro. Y con cada uno de los registros sísmicos se analizó el puente en cada una de sus etapas de construcción.

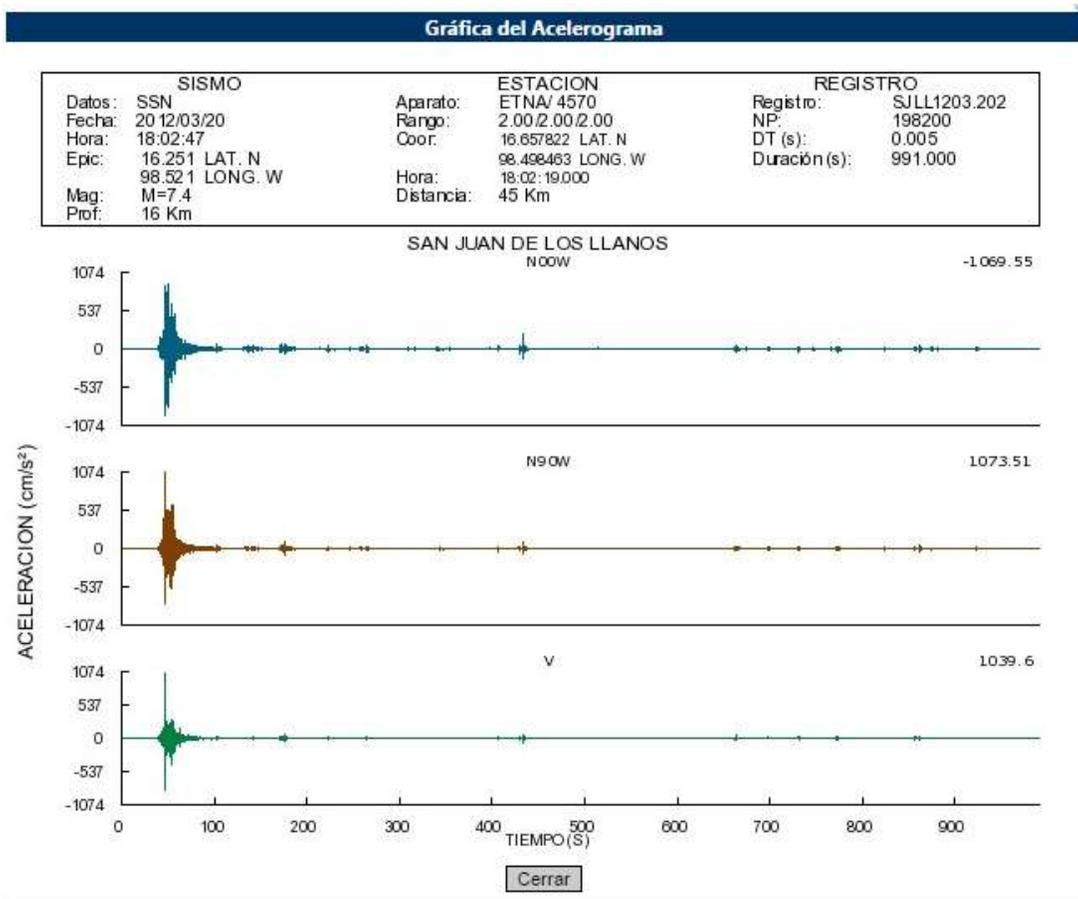


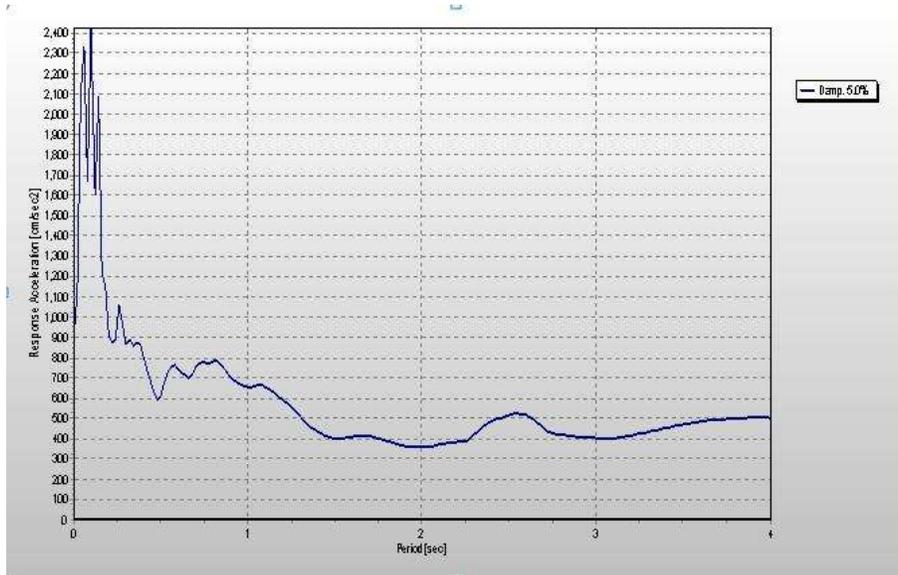
Figura 5.3 Gráfica del Acelerograma que se realizó un primer análisis durante las etapas de construcción siendo el de periodo corto

Con la ayuda del programa SEISMOSIGNAL se obtuvieron los espectros de periodo contra velocidad, desplazamiento y aceleración, que se presentan a continuación para cada uno de los periodos corto y largo, donde en el SAP200 se tomaron como transversal el de mayor aceleración y longitudinal en de menor aceleración, pero aquí se muestran de acuerdo como se obtuvieron de la Red Sísmica Mexicana:

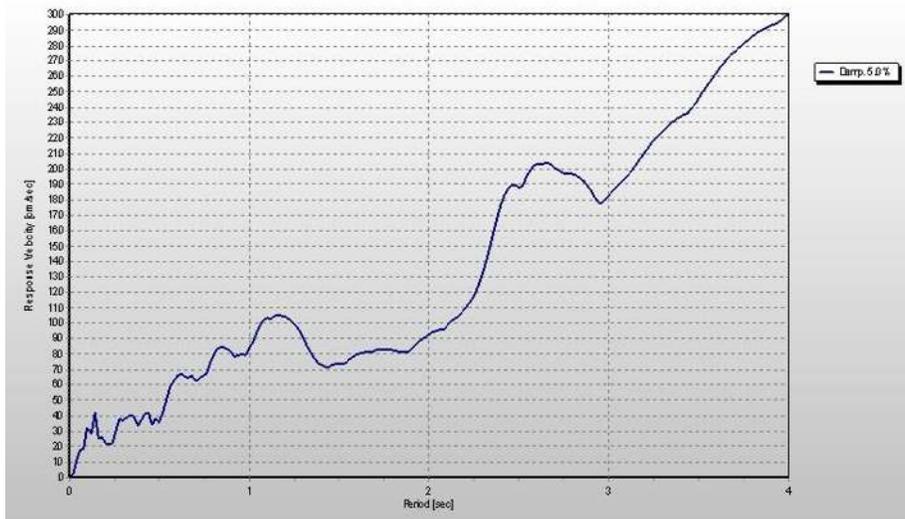
Espectros del sismo de Igualapa Guerrero, 20/03/2012, Estación San Juan de los Llanos

Periodo corto (Transversal N90W)

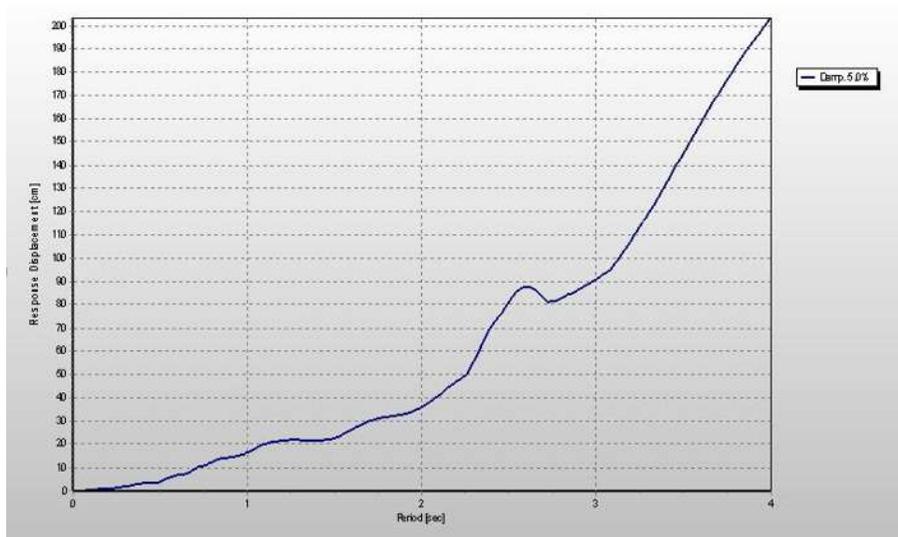
Aceleración



Velocidad

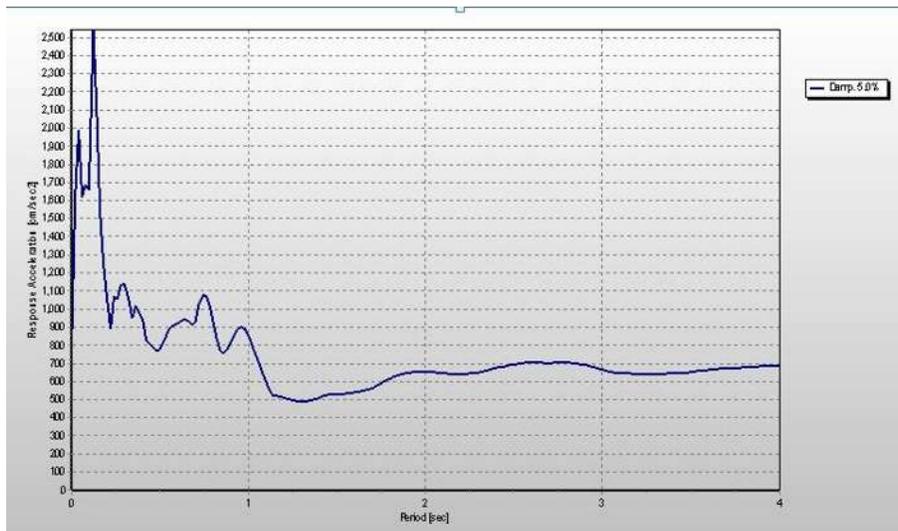


Desplazamiento

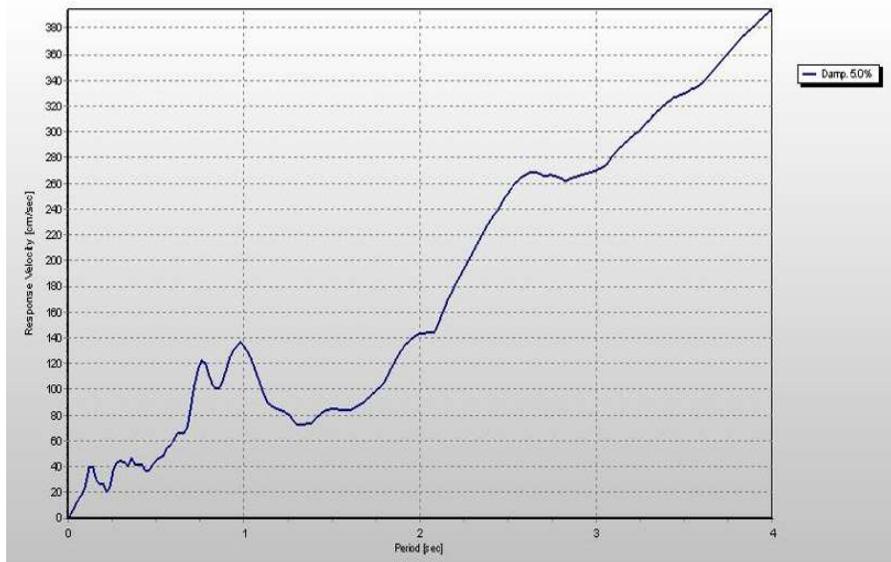


Periodo corto (Longitudinal N00W)

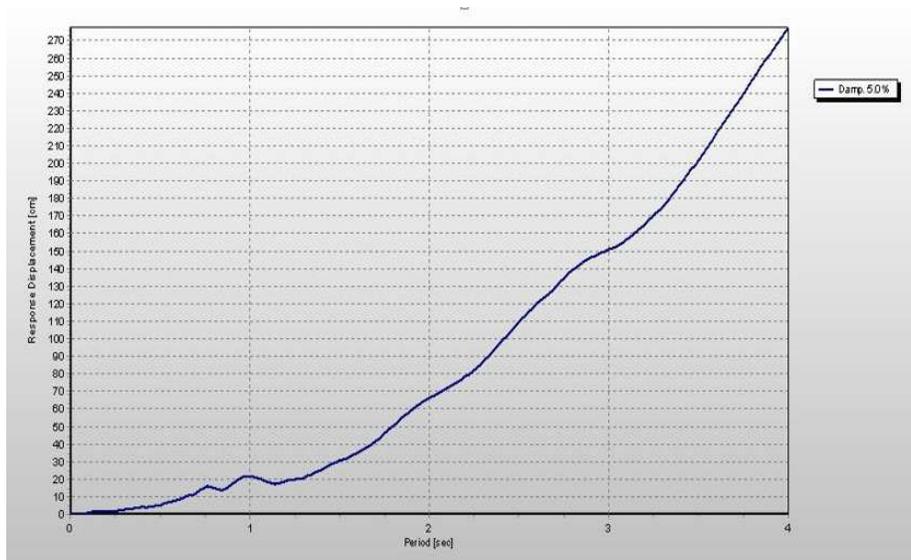
Aceleración



Velocidad

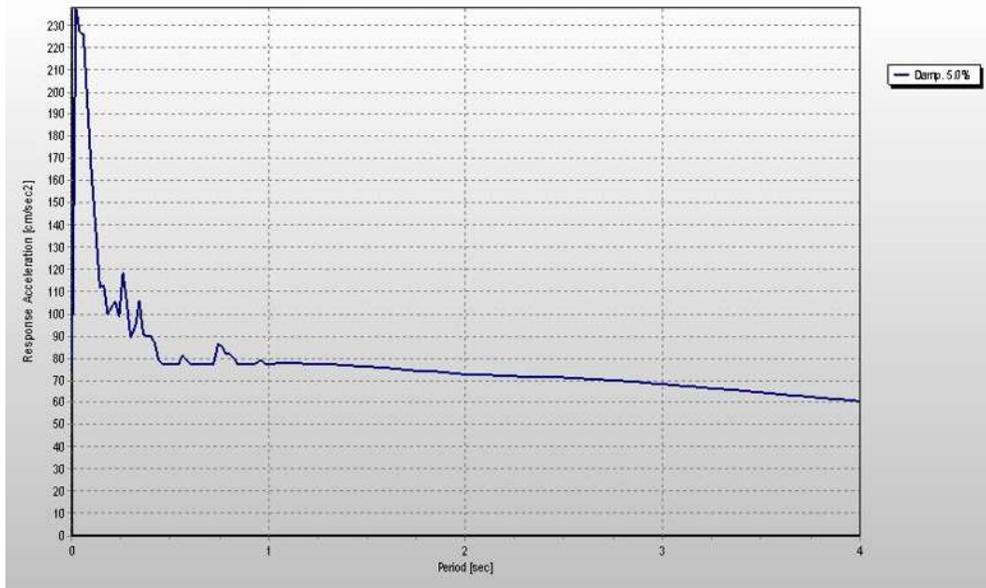


Desplazamiento

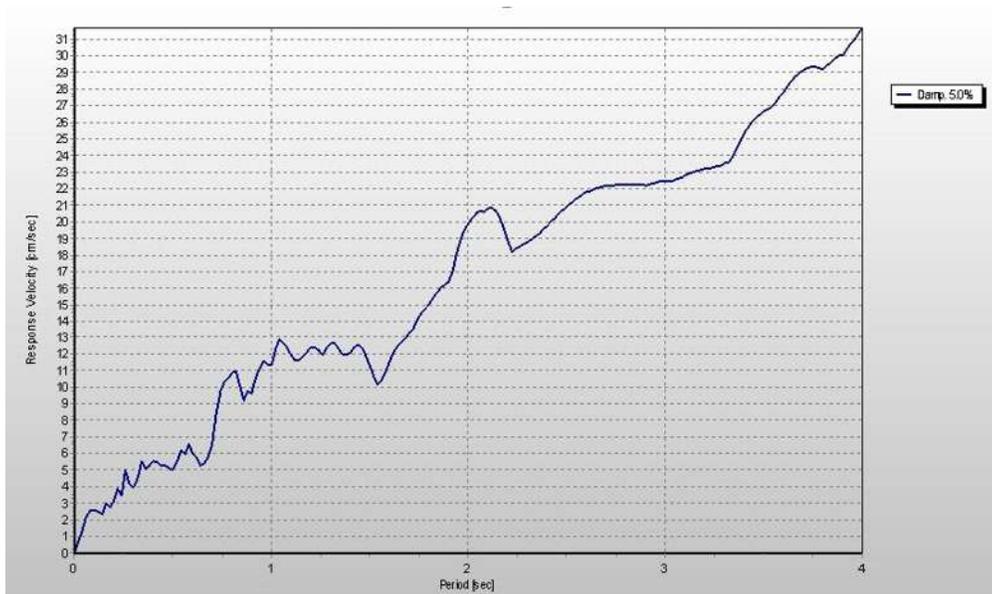


Periodo corto (Vertical)

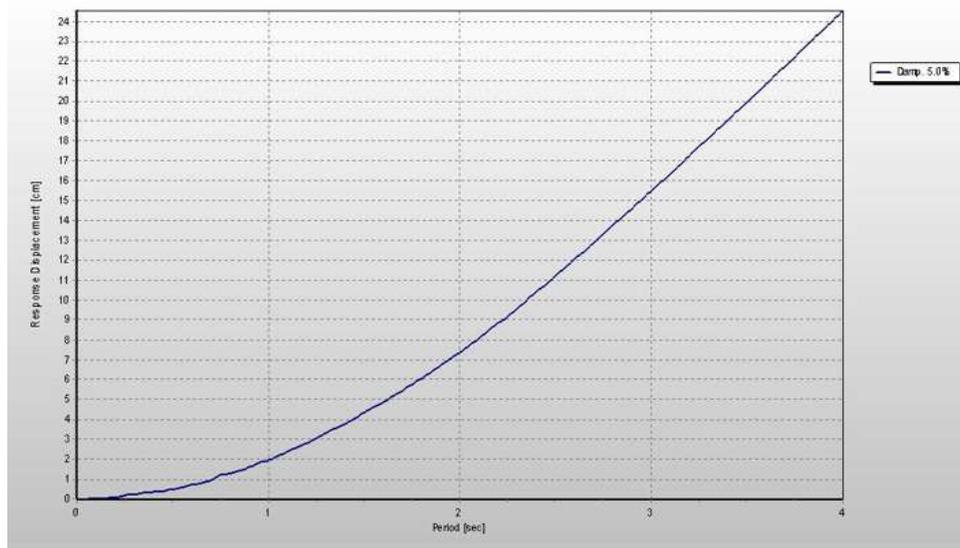
Aceleración



Velocidad



Desplazamiento



Después se analizó con un sismo de periodo largo el evento sísmico fue el 19 de septiembre de 1985, la localización de la estación es Tláhuac, México D.F, el nombre de la estación es Tláhuac, Bombas, registrando una magnitud de 8.1 figura 5.4.

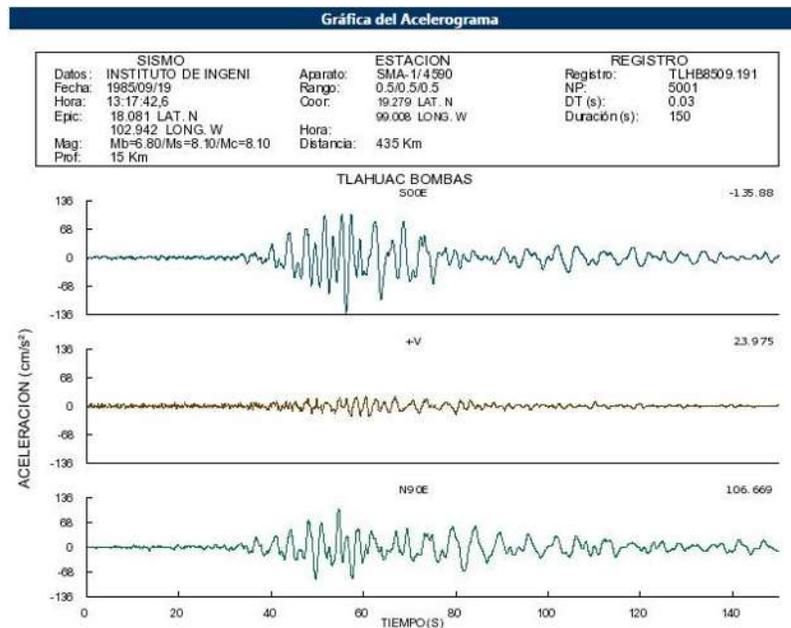


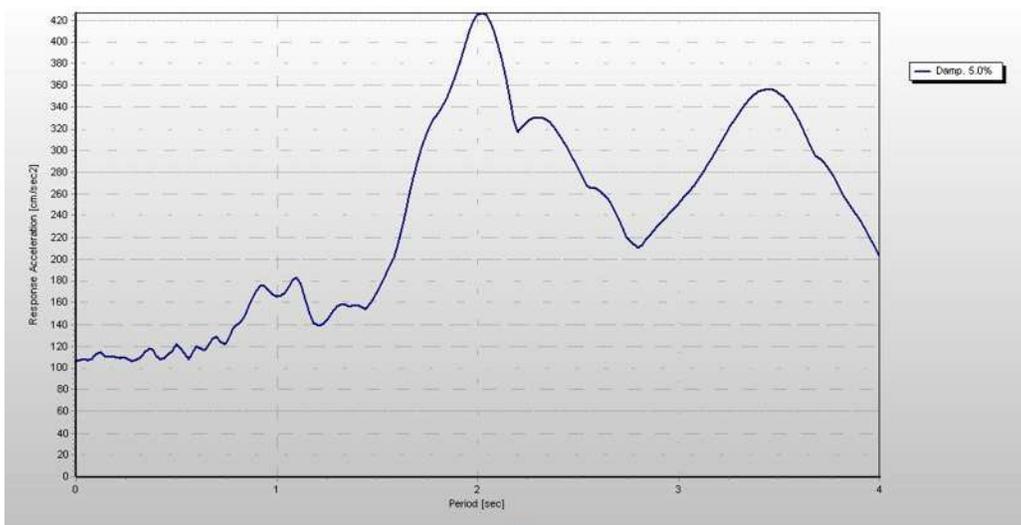
Figura 5.3 Gráfica del Acelerograma que se realizó un segundo análisis durante las etapas de construcción siendo el de periodo largo

Del programa SEISMOSIGNAL se obtuvieron los espectros de periodo vs aceleración, velocidad y desplazamiento.

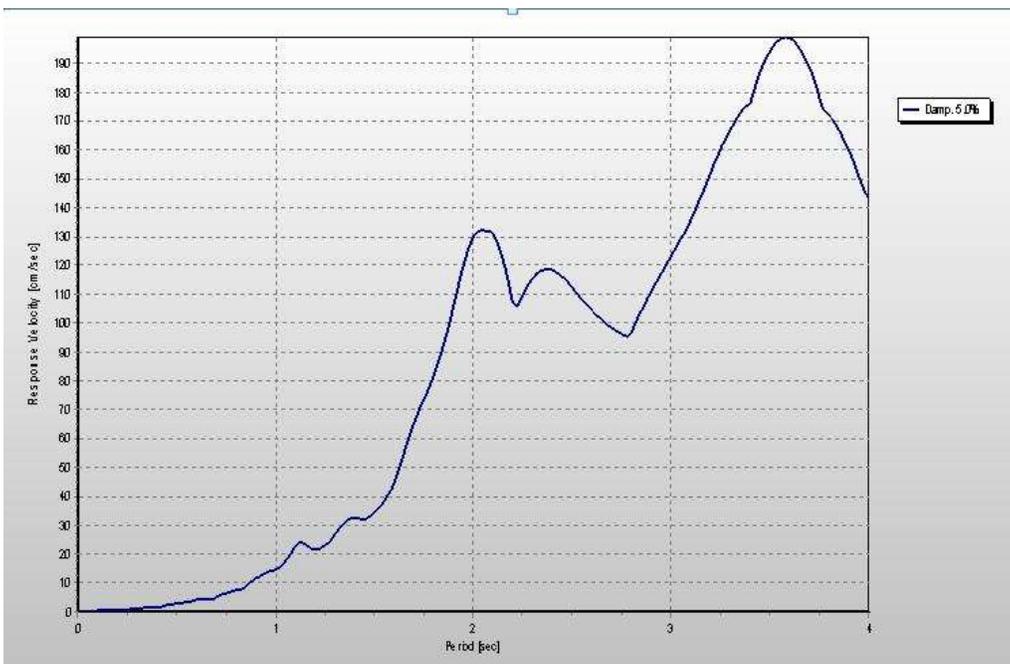
Espectros del sismo de Tláhuac, México D. F, 19/09/1985, Estación Tláhuac Bombas

Periodo largo (Transversal N90E)

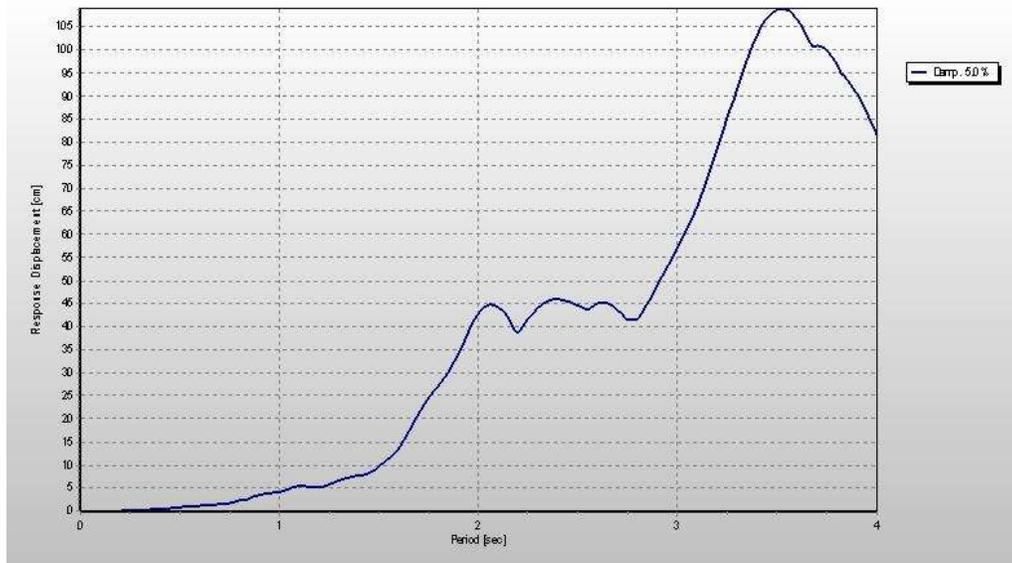
Aceleración



Velocidad

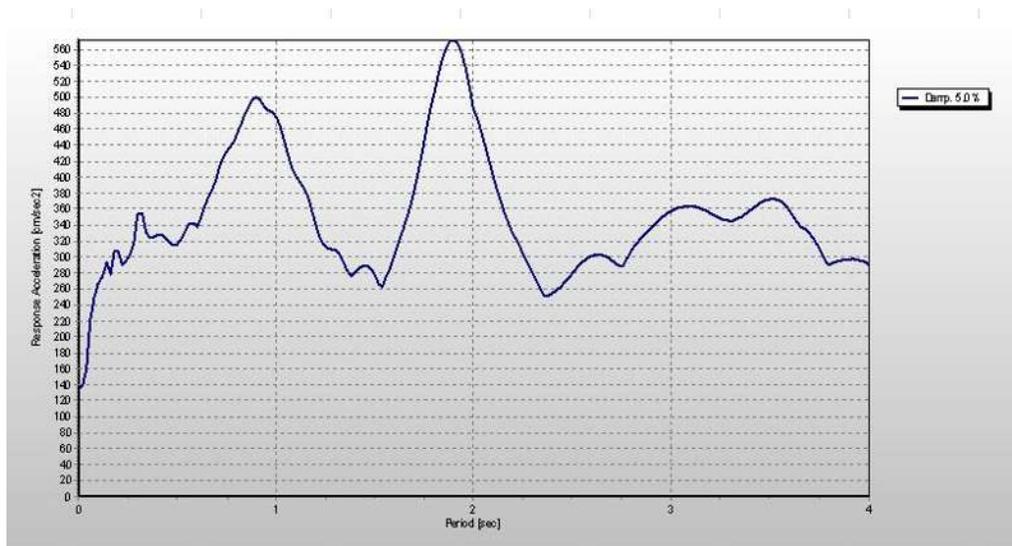


Desplazamiento

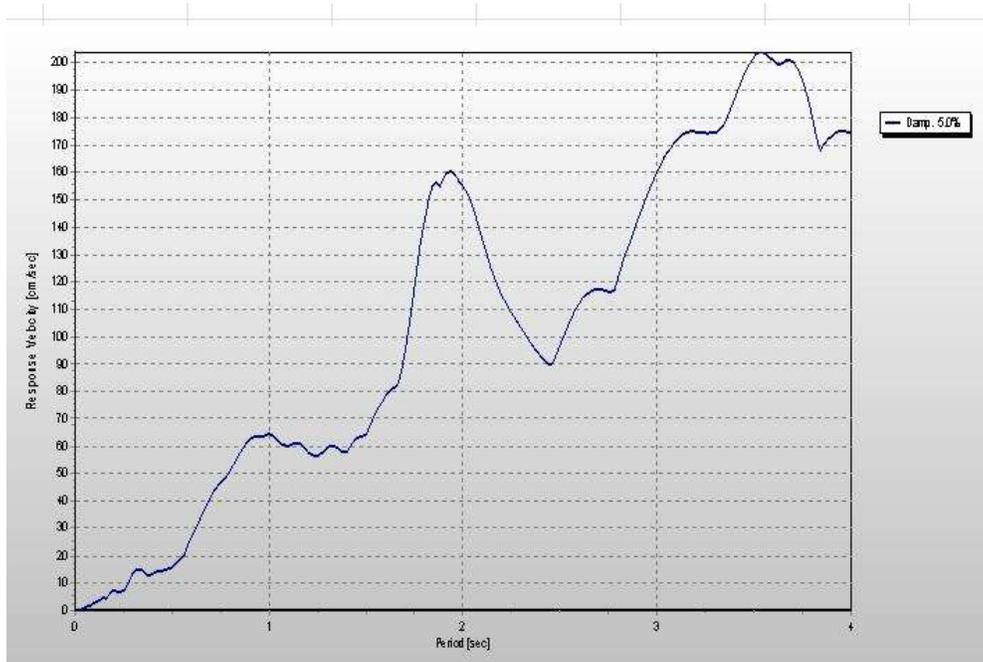


Periodo largo (Longitudinal S00E)

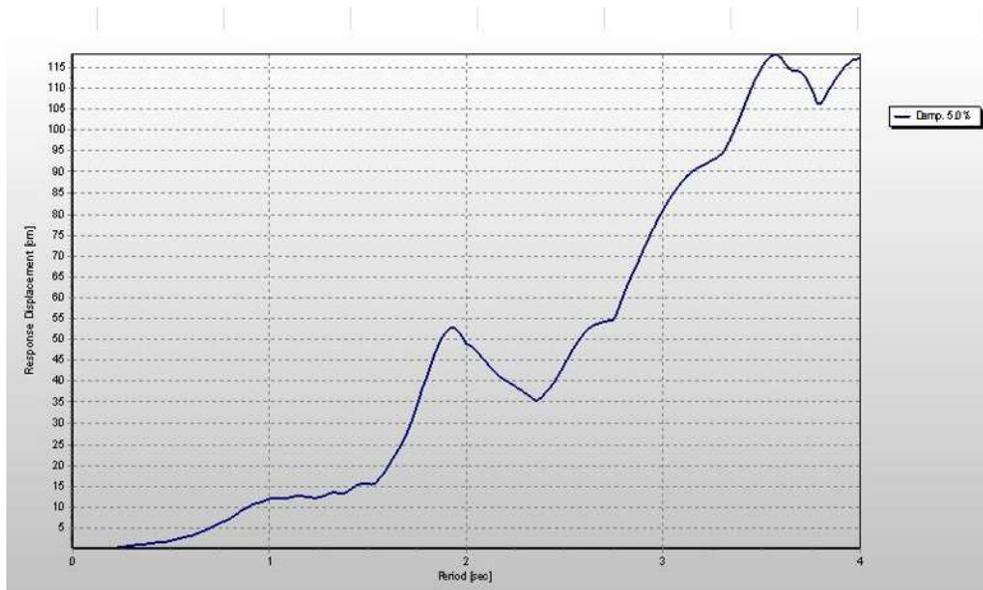
Aceleración



Velocidad

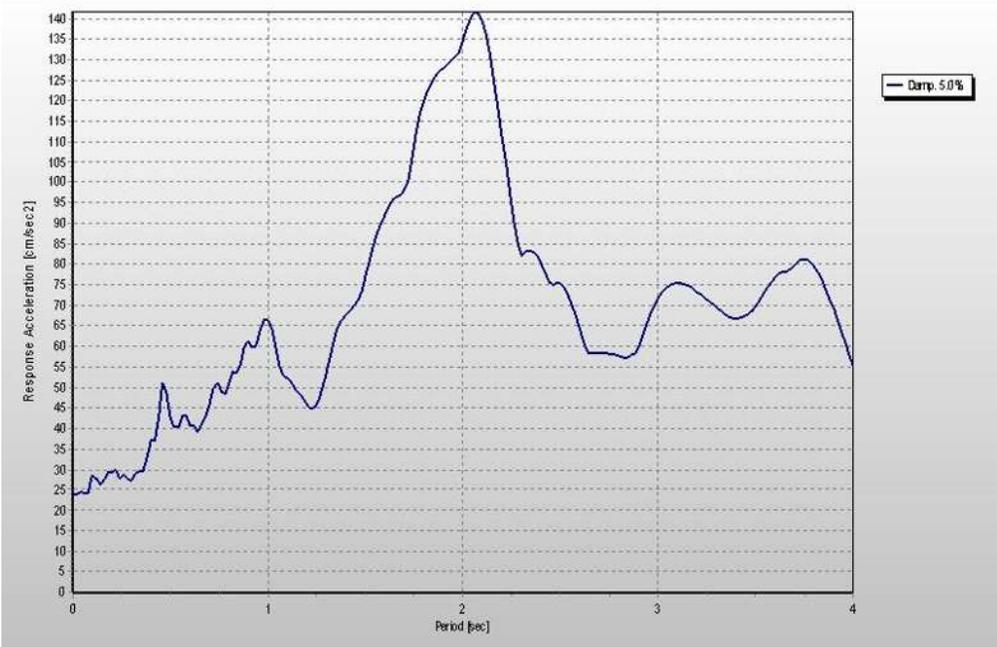


Desplazamiento

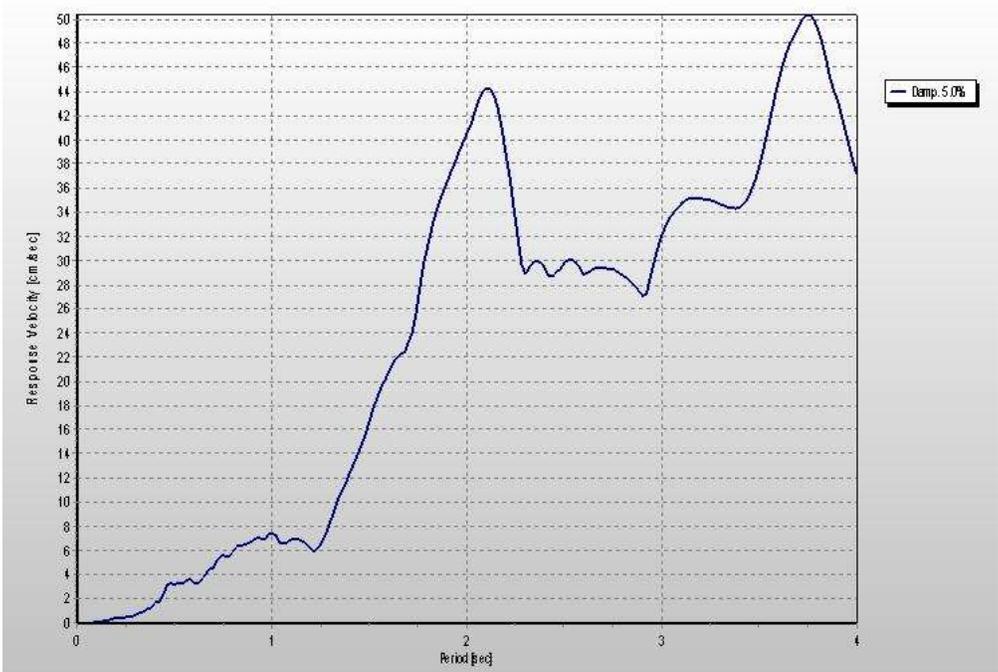


Periodo largo (Vertical)

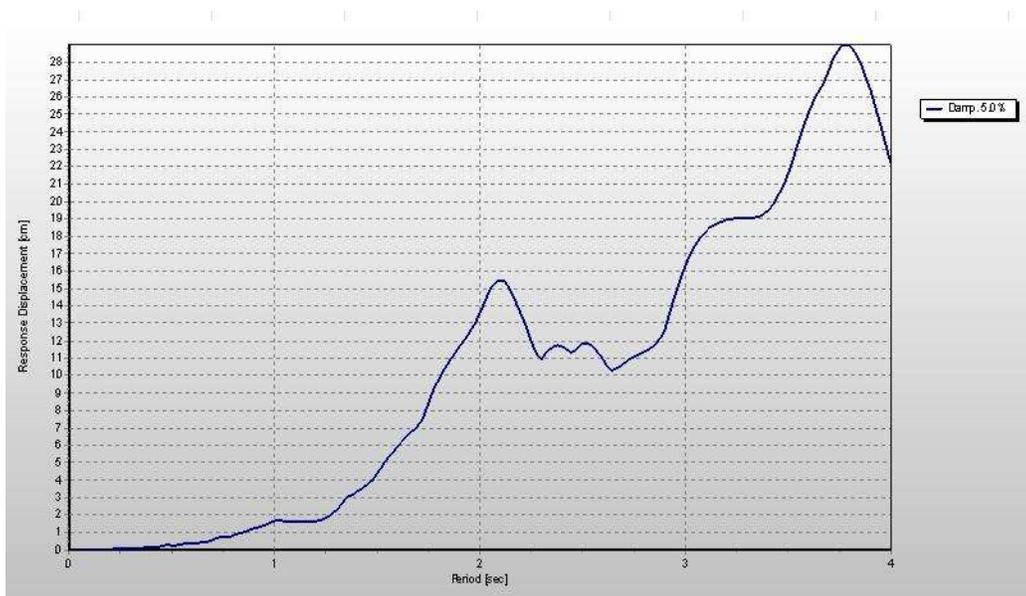
Aceleración



Velocidad



Desplazamiento



4.3.1.- Análisis del sismo de Igualapa Guerrero (Periodo corto)

Durante la construcción de un puente atirantado existe la posibilidad de que ocurra un evento sísmico, es por ello que para cada etapa de construcción (desmontaje) se llevaron a cabo análisis en cada etapa de construcción y para las tres componentes que son transversales, longitudinales y verticales. Cada uno de los registros sísmicos se ingresaron al programa SAP2000.

Se realizó el análisis en los tirantes, pilas, pilones y el tablero del puente para obtener el comportamiento sin sismo y con sismo. Esto debido de que es una estructura de mucha importancia y de poco margen de error, para tener en cuenta este posible evento durante la construcción.

En la figura 5.4 se analizó los esfuerzos en los tirantes el comportamiento de cada uno de ellos con sismo y sin sismo. Se observa que cuando es mayor a 1 significa que el sismo tiene gran impacto restándole esfuerzo a los tirantes, de caso contrario el esfuerzo se suma cuando no tiene sismo incrementando el esfuerzo a cada tirante. Debido a las etapas de construcción se van retirando los cables es por ello que en las etapas 2, 3,4 y 5 se va retirando los tirantes y en las etapas 6 y 7, se retiran por completo todos los tirantes.

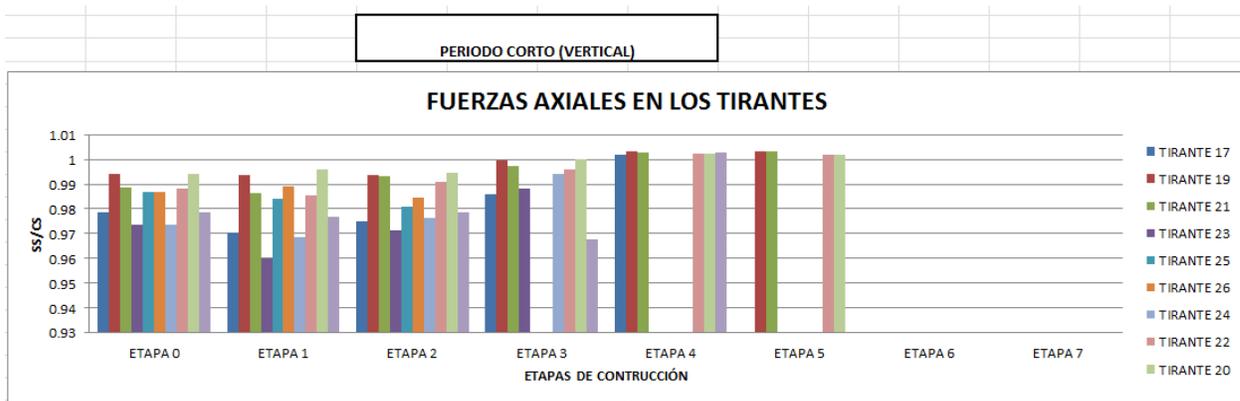


Figura 5.4 Fuerzas axiales en los tirante con el sismo de periodo corto en su componente vertical

En la figura 5.5 se muestran la comparación de las fuerzas axiales en los tirantes con el sismo de periodo corto con su componente transversal, observando que el sismo en esta componente crece las fuerzas axiales en cada uno de los tirantes, donde se puede observar que el tirante 17 en la etapa 4 es donde se incrementa mucho más debido al sismo.

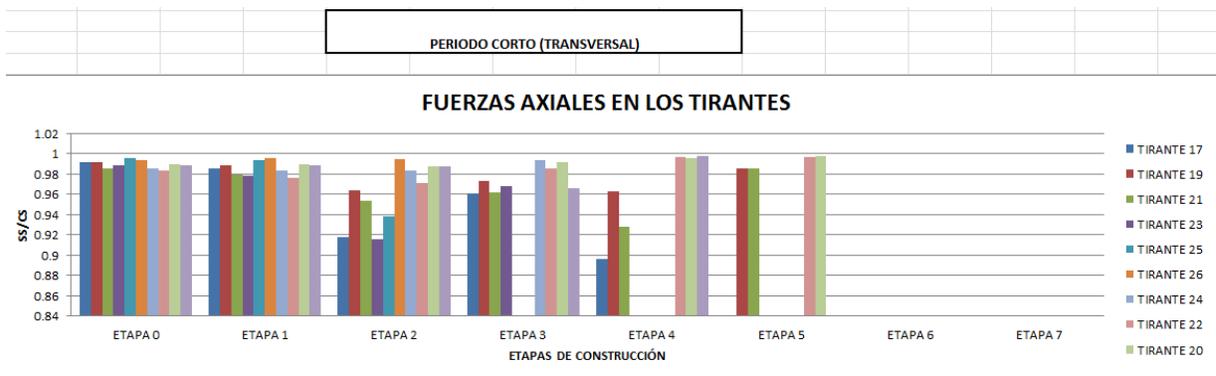


Figura 5.5 Fuerzas axiales en los tirante con el sismo de periodo corto en su componente transversal

En la figura 5.6 se muestra la comparación de las fuerzas axiales con el sismo de periodo corto en su componente longitudinal, observando que en las etapas 2, 3 y 4 el sismo afecta restando los esfuerzos producidos a cuando no tiene sismo la etapa 0 y 1 el sismo simplemente no le produce nada en los tirantes.

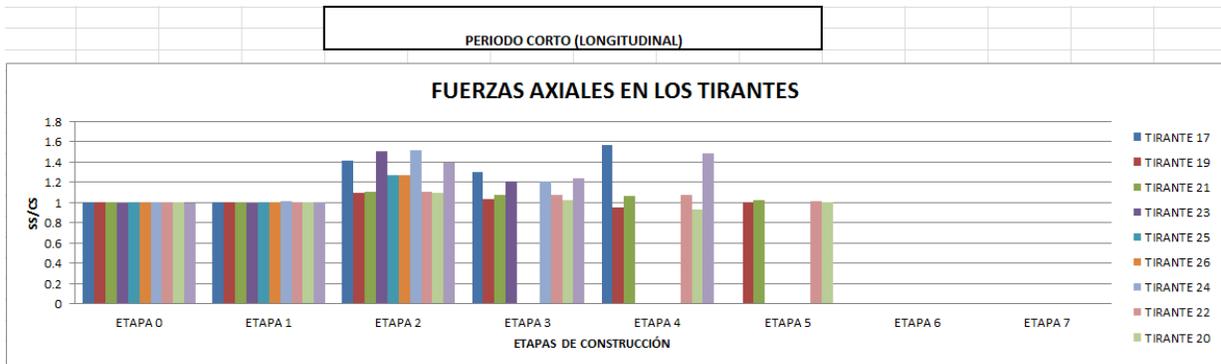


Figura 5.6 Fuerzas axiales en los tirante con el sismo de periodo corto en su componente longitudinal

En la figura 5.7 se muestra lo que afecta el sismo con sus tres componentes en las diferentes etapas de construcción, observando que al analizar el puente con los tres registros sísmicos incrementa las fuerzas axiales en los tirantes debido a que en todas las etapas la relación sin sismo y con sismo están por debajo de 1 indicando que el sismo afecta considerablemente.

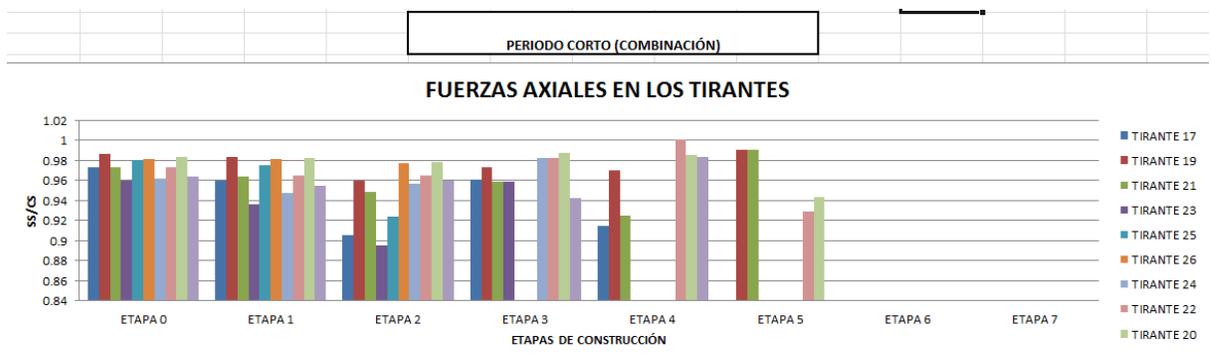


Figura 5.7 Fuerzas axiales en los tirante con el sismo de periodo corto en su componente combinación de registros de sus componentes

En la figura 5.8 se muestran los desplazamientos en la parte superior del pilón, observando que al analizarlo con el sismo vertical los desplazamientos horizontales aumentan, y en la etapa 4 el sismo contrarresta los desplazamientos.

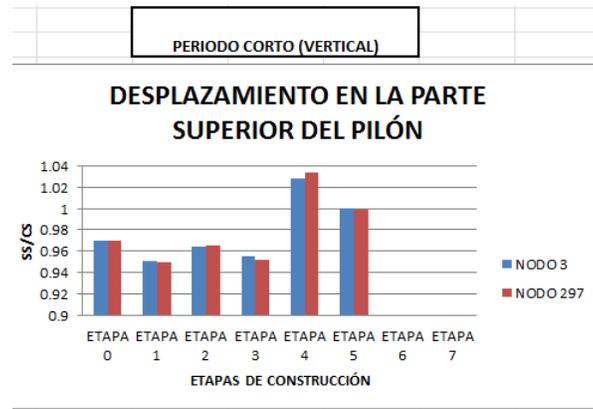


Figura 5.8 Desplazamientos en la parte superior del pilón con el sismo de periodo corto en su componente vertical

En la figura 5.9 se muestran los desplazamientos en la parte superior del pilón con el sismo transversal, donde se muestran que el sismo con esta componente no afecta mucho, en la etapa 4 el sismo contrarresta el desplazamiento siendo mayor el desplazamiento cuando no se le ingresa sismo.

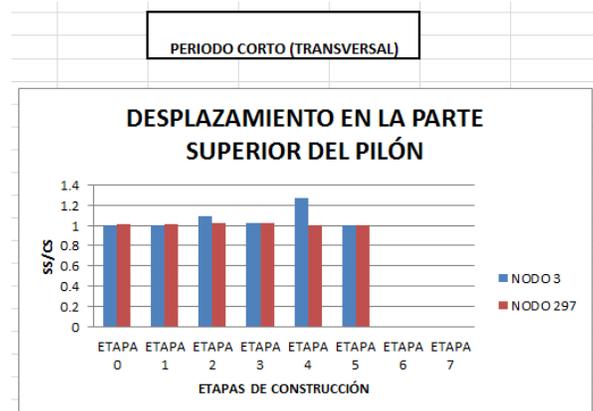


Figura 5.9 Desplazamientos en la parte superior del pilón con el sismo de periodo corto en su componente transversal

En la figura 5.10 se muestran la comparación de la relación del análisis sin sismo y con sismo, se observa que donde tuvo mayor efecto el sismo fueron en las etapas 2 y 3 contrarrestando los desplazamientos del análisis sin sismo.

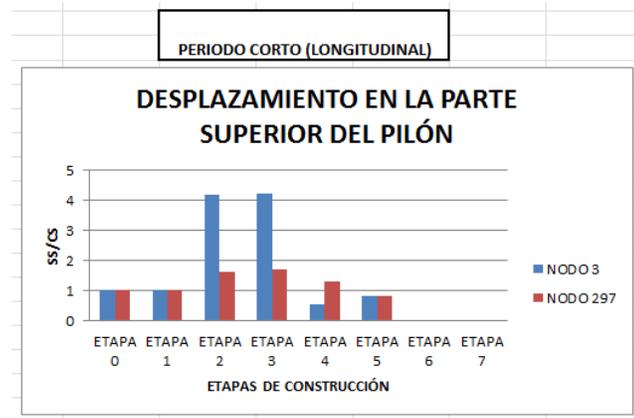


Figura 5.10 Desplazamientos en la parte superior del pilón con el sismo de periodo corto en su componente longitudinal

En la figura 5.11 se muestran la relación del análisis sin sismo y con sismo, donde tuvo mayor influencia fueron en las etapas 3 y 5 contrarrestando los desplazamientos, y en las etapas restantes prácticamente no se obtuvo mayor influencia del sismo

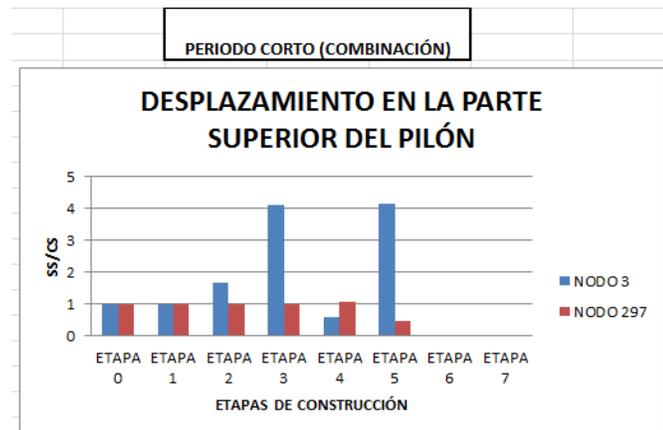


Figura 5.11 Desplazamientos en la parte superior del pilón con el sismo de periodo corto con sus tres componentes

En la figura 5.12 se muestra la relación del análisis sin sismo y con sismo de los desplazamientos en el tablero, observando que el sismo incrementa el desplazamiento vertical esto es porque en todas las etapas la relación es menor a 1, ya que en el nodo 4 y 298 prácticamente el sismo no afecta.

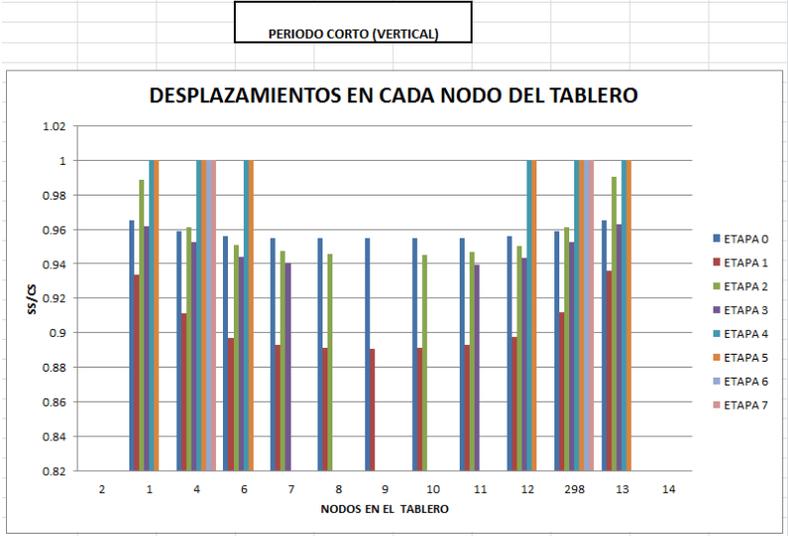


Figura 5.12 Desplazamientos en el tablero con el sismo de periodo corto en su componente vertical

En la figura 5.13 se muestra los desplazamientos de la relación del análisis sin sismo y con sismo en el tablero, observando que en la etapa 2 es donde tuvo mayor impacto en los desplazamientos debido a que los contrarresto.

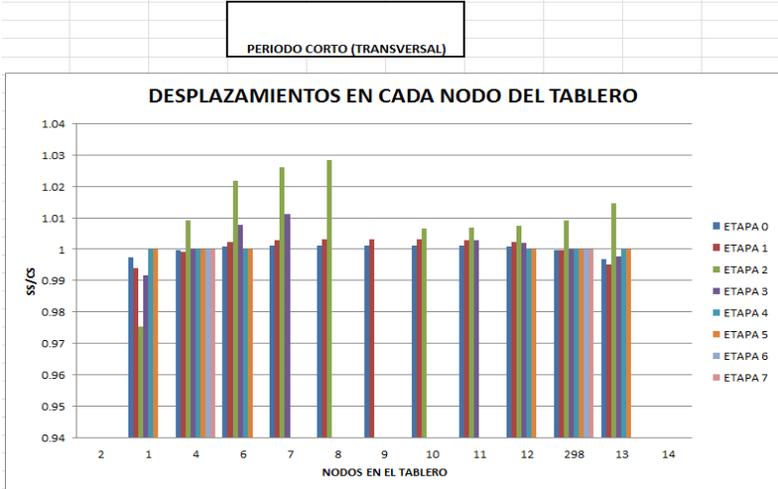


Figura 5.13 Desplazamientos en el tablero con el sismo de periodo corto en su componente transversal

En la figura 5.14 se muestra la relación sin sismo y con sismo en los desplazamientos en el tablero, se observa que en la etapa 2 y 3 fue donde el sismo le contrarresto al desplazamiento vertical en el tablero.

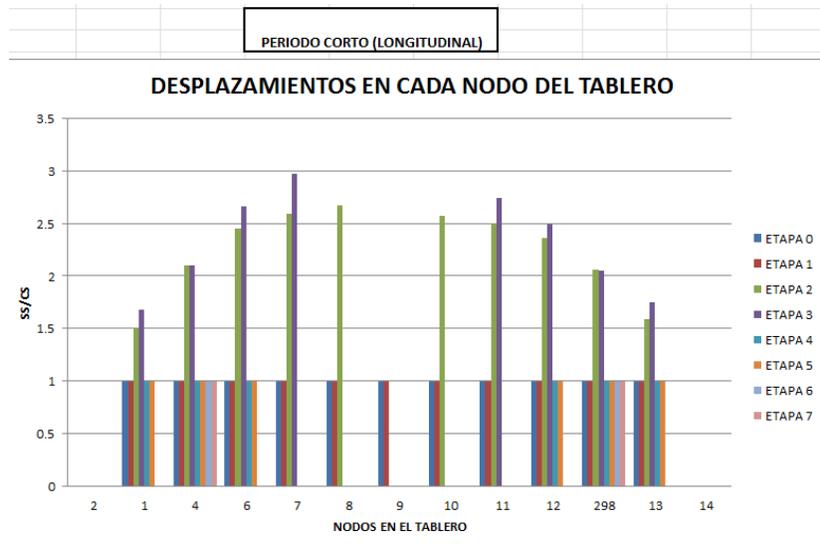


Figura 5.14 Desplazamientos en el tablero con el sismo de periodo corto en su componente longitudinal

En la figura 5.15 se muestran la relación sin sismo y con sismo en los desplazamientos en el tablero del puente, donde se observa que la combinación del sismo en sus tres componentes causa mayor desplazamiento vertical.

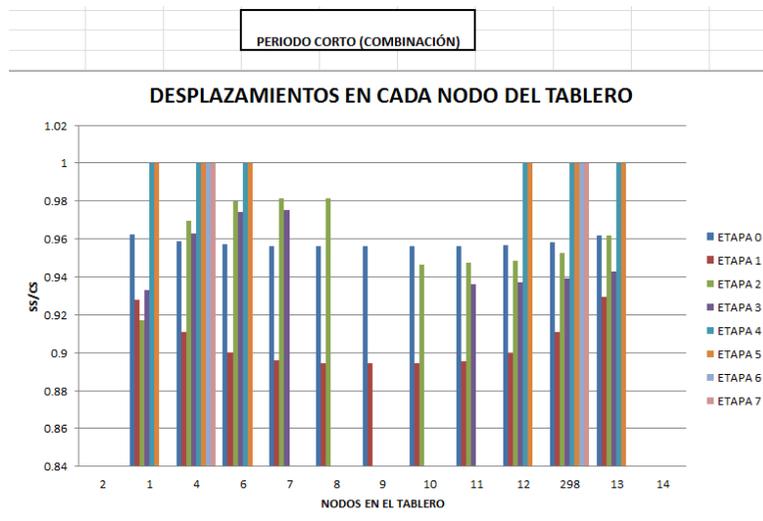


Figura 5.15 Desplazamientos en el tablero con el sismo de periodo corto con sus tres componentes

En la figura 5.16 se muestran la relación sin sismo y con sismo de las fuerzas en el tablero iniciando un análisis con el sismo en su componente vertical, donde se observa que el sismo en todas las etapas tiene gran efecto al aumentar las fuerzas.

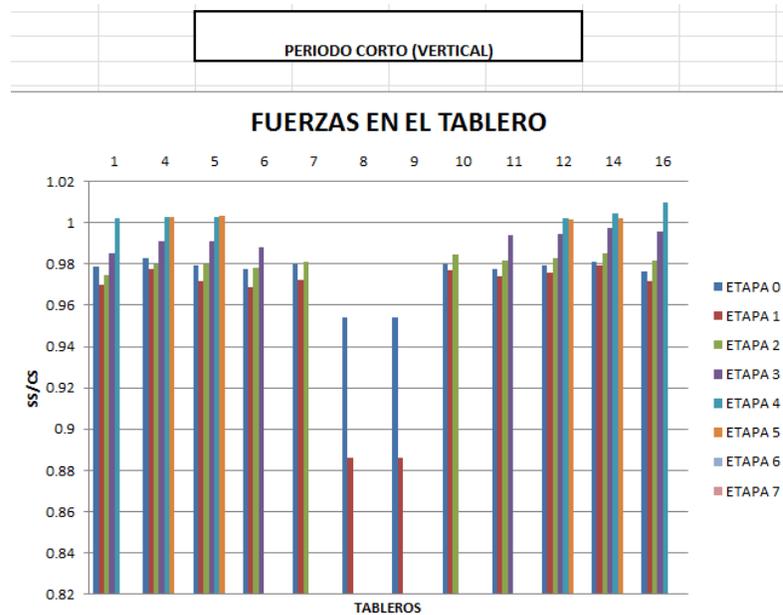


Figura 5.16 Fuerzas en el tablero con el sismo de periodo corto en su componente vertical

En la figura 5.17 se muestran la relación sin sismo y con sismo de las fuerzas en el tablero con el sismo en su componente transversal, donde se observa que prácticamente el sismo no tiene gran efecto donde se puede ver que en el nodo 1 es donde mayor efecto tiene al incrementar las fuerza en la barra.

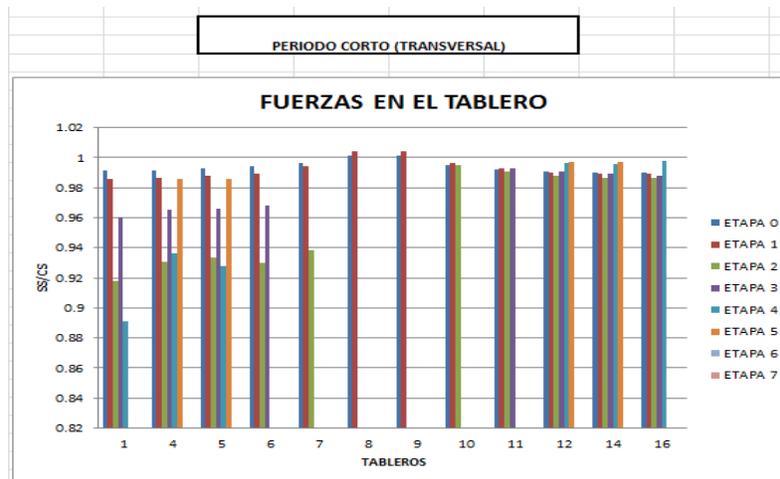


Figura 5.17 Fuerzas en el tablero con el sismo de periodo corto en su componente transversal

En la figura 5.18 se muestra la relación sin sismo y con sismo de las fuerzas en el tablero con el sismo longitudinal, donde el efecto del sismo es contrarrestar esa fuerza, dándonos una idea del comportamiento del tablero. En la combinación de sismos es similar al sismo en la componente longitudinal es por ello que no se ingresa.

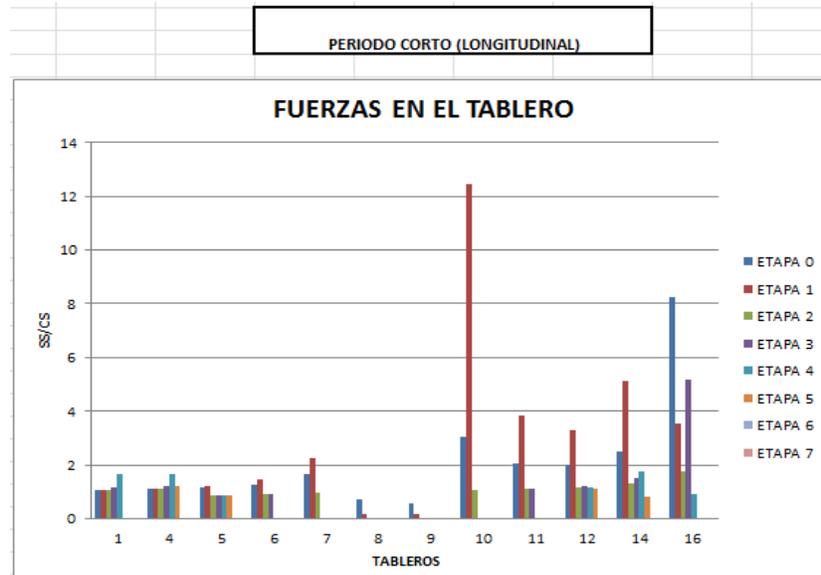


Figura 5.18 Fuerzas en el tablero con el sismo de periodo corto en su componente longitudinal

En la figura 5.19 se muestra la relación sin sismo y con sismo de las fuerzas axiales en las pilas, observando que el sismo está afectando en la etapa 6 y 7 incrementando las fuerzas axiales en la pila. En el análisis con el sismo longitudinal los resultados son los mismos es por ello que no se ingresara el análisis.

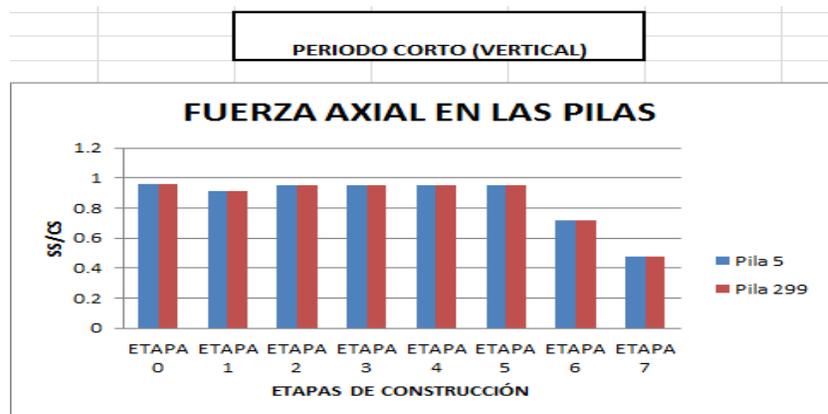


Figura 5.19 Fuerzas axiales en las pilas con el sismo de periodo corto en su componente vertical

En la figura 5.20 se muestran la relación sin sismo y con sismo con el sismo de periodo corto transversal, se observa que donde causa más efecto el sismo es en la etapa 6, contrarrestando la fuerza axial es por ello que el análisis sin sismo tiene mayor fuerza en las pilas.

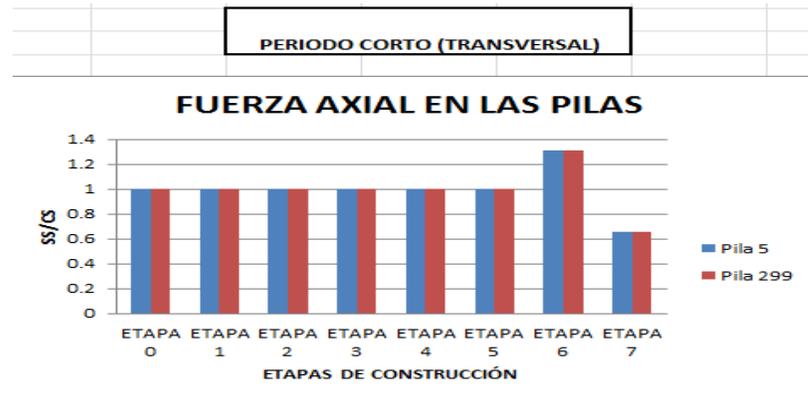


Figura 5.20 Fuerzas axiales en las pilas con el sismo de periodo corto en su componente transversal

En la figura 5.21 se muestran la relación sin sismo y con sismo de las fuerzas en las pilas con la combinación de las tres componentes del sismo, se observa que en la etapa 6 es donde tiene mayor efecto el sismo que en las demás etapas.

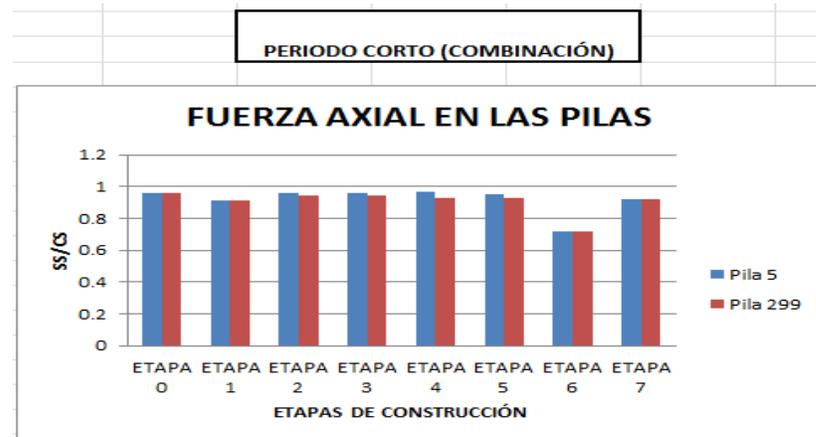


Figura 5.21 Fuerzas axiales en las pilas con el sismo de periodo corto en sus tres componentes

En la figura 5.22 se muestran la relación sin sismo y con sismo en las fuerzas cortantes de las pilas con el sismo vertical, se observa que el sismo afecta en la etapa 0 y 1 a las dos pilas y en el las etapas 2,3 y 4 el sismo afecta a la pila del nodo 299, el efecto no es considerable.

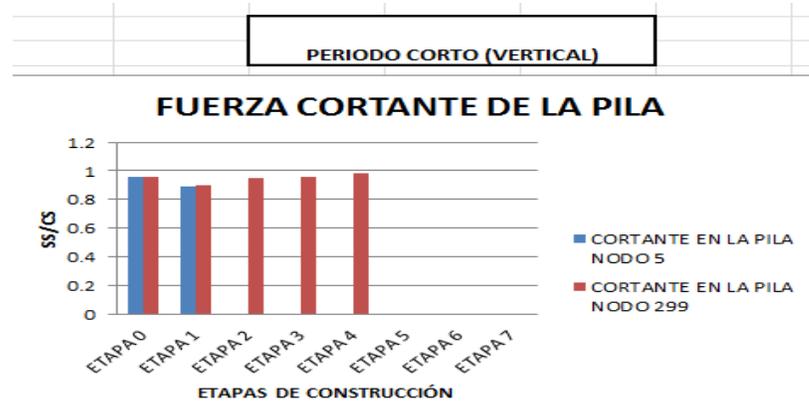


Figura 5.22 Fuerzas cortantes en las pilas con el sismo de periodo corto en su componente vertical

En la figura 5.23 se muestra la relación sin sismo y con sismo de las fuerzas cortantes en la base de la pila con el sismo transversal, se observa que el sismo afecto en la etapa 4 donde se contrarresto la fuerza cortante en esa etapa. En el análisis con sismo longitudinal se obtuvieron resultados similares es por ello que no se ingresara el análisis.

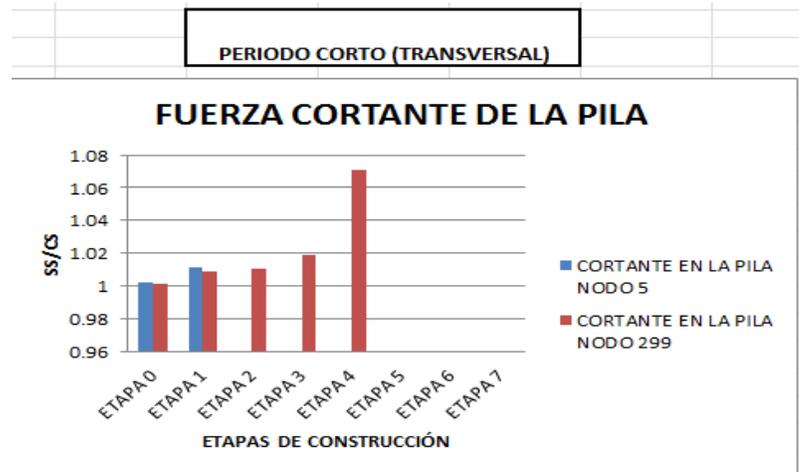


Figura 5.23 Fuerzas cortantes en las pilas con el sismo de periodo corto en su componente transversal

En la figura 5.24 se muestra la relación sin sismo y con sismo en las fuerzas cortantes en las pilas con la combinación del sismo en sus tres componentes, donde se observa que el sismo tiene mayor efecto en la etapa 4 donde se contrarresta el cortante por efecto del sismo y en las demás etapas el sismo aumentará las fuerzas cortantes en la base de la pila.

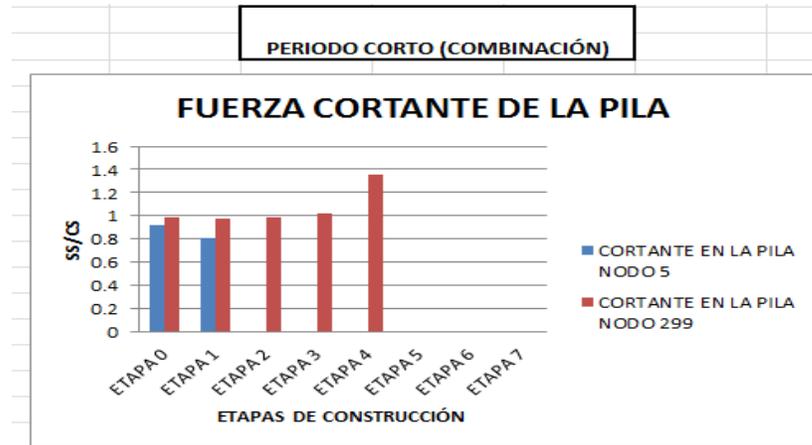


Figura 5.24 Fuerzas cortantes en las pilas con el sismo de periodo corto en sus tres componentes

En la figura 5.25 se muestran la relación sin sismo y con sismo de los momentos en la base de la pila con sismo vertical, se observa que en las etapas 0, 1, 2 y 3 el sismo incremento los momentos más que en la etapa 4 y 5.

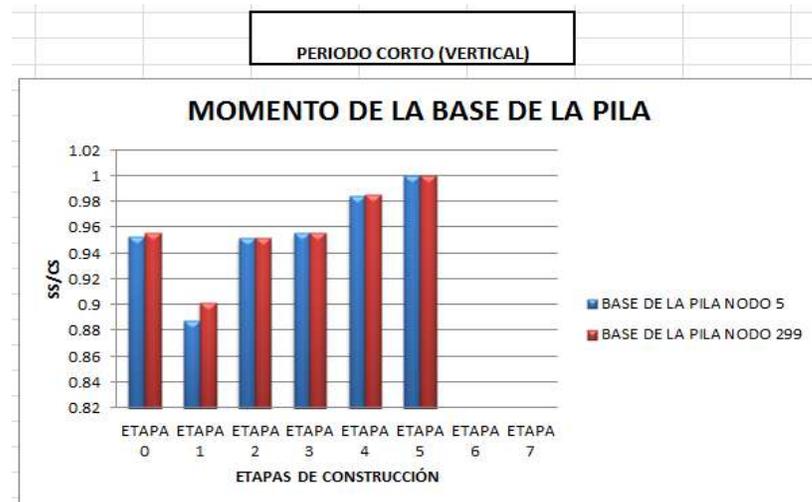


Figura 5.25 Momentos en las pilas con el sismo de periodo corto en su componente vertical

En la figura 5.27 se muestran la relación sin sismo y con sismo de los momentos en la base de la pila con el sismo transversal, con este sismo con respecto al anterior donde mayor se ve afectado es en la etapa 4 que es donde se incrementa el momento en la base de la pila.

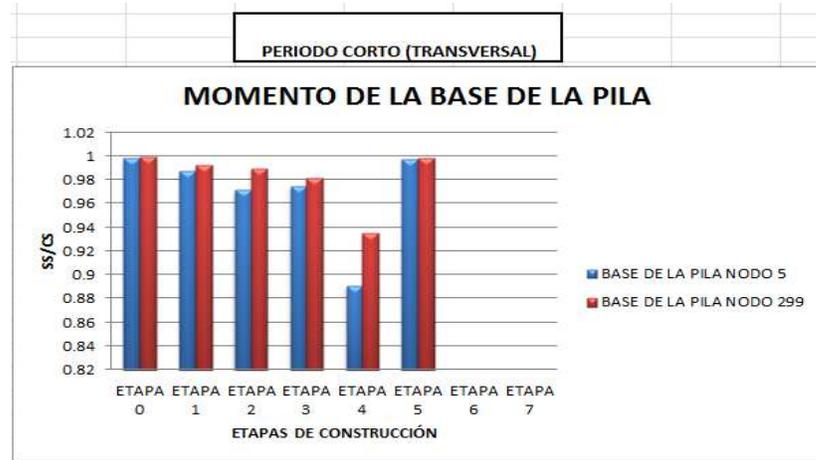


Figura 5.26 Momentos en las pilas con el sismo de periodo corto en su componente transversal

En la figura 5.27 se muestra la relación sin sismo y con sismo de los momentos en la base de la pila con el sismo longitudinal de periodo corto, donde se muestra que el sismo en todas las etapas no afecta considerablemente, se observa que en la etapa 4 el sismo cambia de dirección contrarrestando el momento sin sismo.

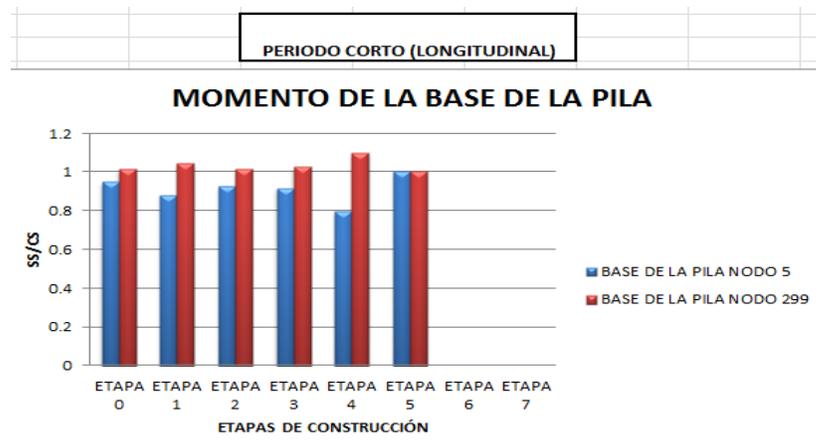


Figura 5.27 Momentos en las pilas con el sismo de periodo corto en su componente longitudinal

En la figura 5.28 se muestra la relación sin sismo y con sismo en las diferentes etapas de construcción del momento generado con el sismo con sus tres componentes, donde se muestra que el sismo afecta considerablemente en las etapas 2, 3 y 4. En los momentos en la base de la pila es donde se ve afectada mayormente por el sismo.

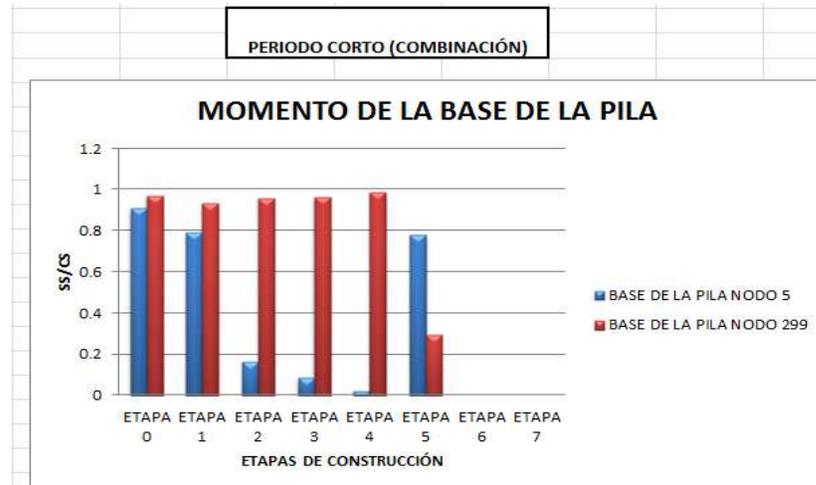


Figura 5.28 Momentos en las pilas con el sismo de periodo corto en sus tres componentes

4.3.2.- Análisis del sismo de Tláhuac, México D.F (Periodo largo)

En la figura 5.29 se muestra la relación sin sismo y con sismo en las diferentes etapas de construcción con el sismo de periodo largo vertical, donde se observa que el efecto se ve reflejado en el incremento en las fuerzas axiales en los tirantes, en la etapa 4 y 5 prácticamente los tirantes no se ven afectados por el sismo.

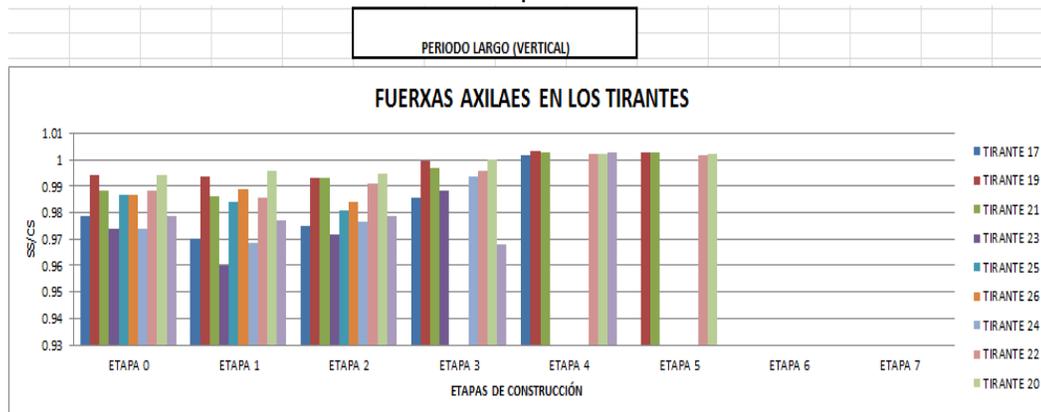


Figura 5.29 Fuerzas axiales en los tirantes con el sismo de periodo largo en su componente vertical

En la figura 5.30 se muestra la relación sin sismo y con sismo en las diferentes etapas de construcción de las fuerzas axiales en los tirantes con el sismo transversal, donde se observa que el efecto del sismo en la etapa 4 incrementando los esfuerzos de los tirantes.

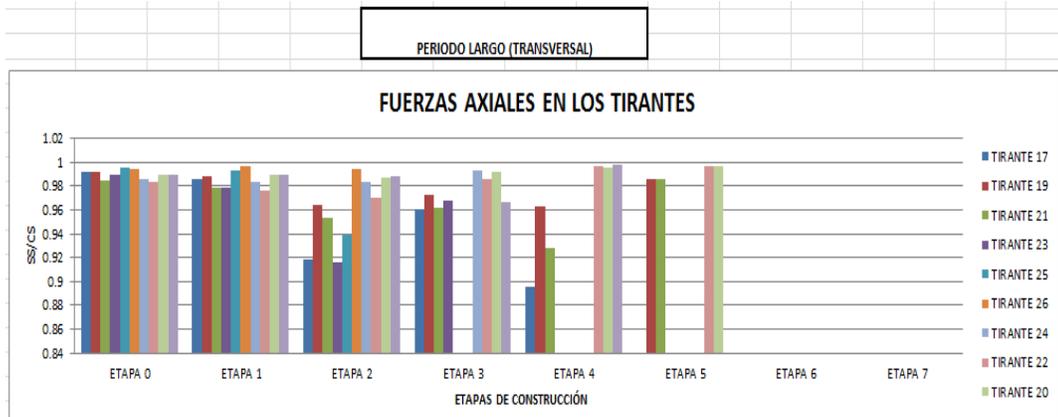


Figura 5.30 Fuerzas axiales en los tirantes con el sismo de periodo largo en su componente transversal

En la figura 5.31 se muestra la relación sin sismo y con sismo en las diferentes etapas de construcción en los tirantes, donde se observa que en la etapa que se ve afectada es el la 5 incrementando las fuerzas en los tirantes.

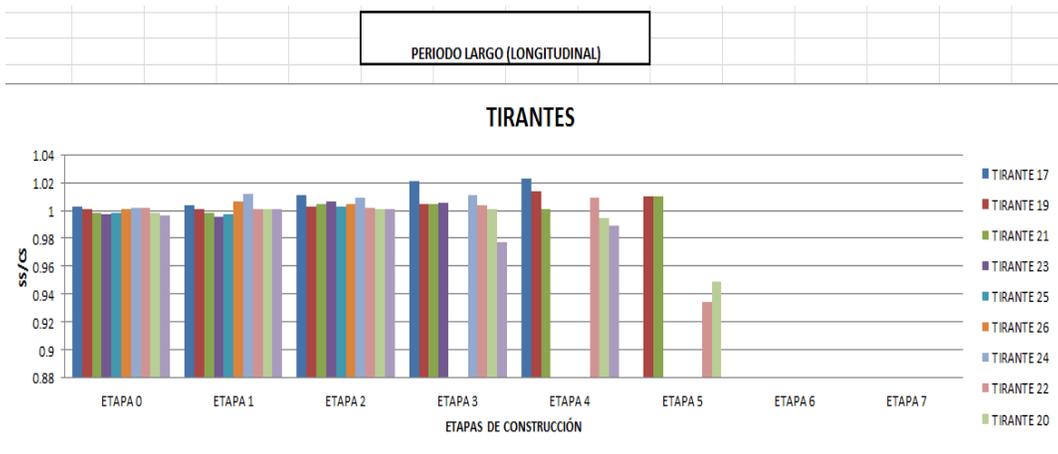


Figura 5.31 Fuerzas axiales en los tirantes con el sismo de periodo largo en su componente longitudinal

En la figura 5.32 se muestra la relación sin sismo y con sismo en las diferentes etapas de construcción en las fuerzas axiales en los tirantes con los tres registros sísmicos del sismo, donde se observa las fuerzas crecen al analizarlo con los tres registros sísmicos.

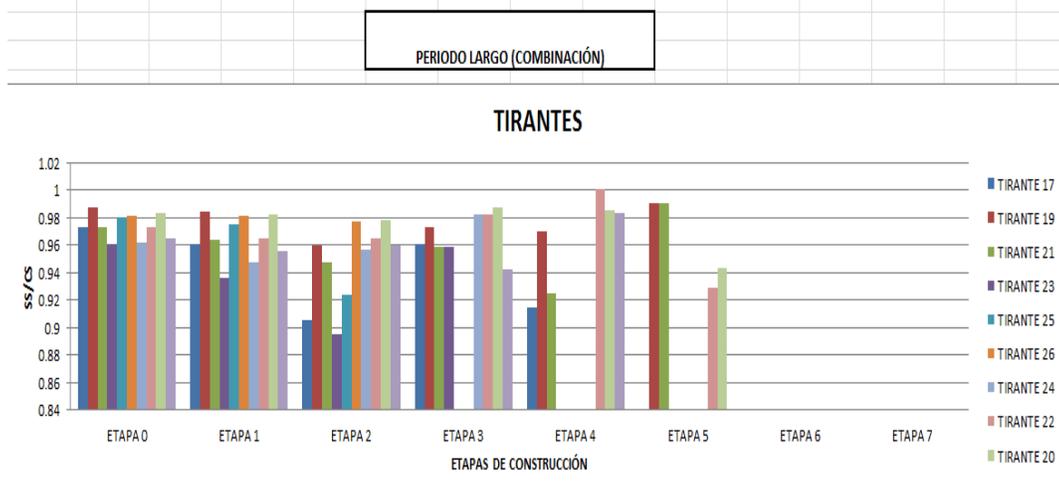


Figura 5.32 Fuerzas axiales en los tirantes con el sismo de periodo largo en sus tres componentes

En la figura 5.33 se muestra la relación sin sismo y con sismo en las diferentes etapas del desplazamiento obtenido con el sismo vertical, donde los desplazamientos obtenidos con respecto al sismo de periodo corto se obtuvieron muy similares como se muestra en la figura. Los desplazamientos con sismo transversal, longitudinal y con la combinación, los desplazamientos obtenidos salieron muy similares a los del sismo de periodo corto es por ello que no se ingresan.



Figura 5.33 Desplazamientos en la parte superior de la pila con el sismo de periodo largo en su componente vertical

En la figura 5.34 se muestra la relación sin sismo y con sismo en las etapas de construcción con los desplazamientos en cada nodo del tablero con el sismo de periodo largo vertical, donde se observa que en las etapas de construcción que más efecto tiene es en la etapa 2 incrementando los desplazamientos verticales en el tablero.

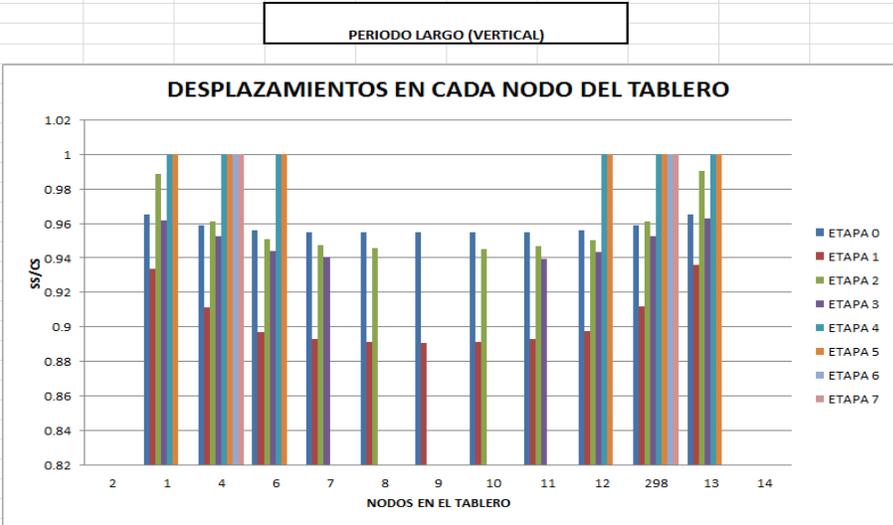


Figura 5.34 Desplazamientos en cada nodo del tablero con el sismo de periodo largo en su componente vertical

En la figura 5.35 se muestra la relación sin sismo y con sismo en cada nodo del tablero para obtener el incremento de los desplazamientos con el sismo, donde se observa que el desplazamiento sin sismo es mayor al de con sismo en el nodo 6, 7 y 8, esto es que el sismo hace que contrarresta el desplazamiento.



Figura 5.35 Desplazamientos en cada nodo del tablero con el sismo de periodo largo en su componente transversal

En la figura 5.36 se muestra la relación sin sismo y con sismo de los desplazamientos en el tablero durante las etapas de construcción con el sismo de periodo largo, donde se observa que en la etapa 3 se obtuvieron mayores desplazamientos en el tablero por el efecto del sismo.

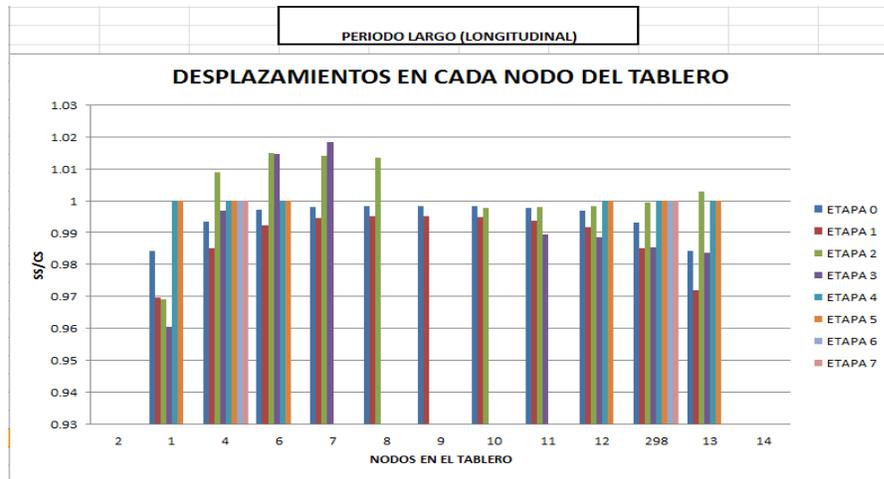


Figura 5.36 Desplazamientos en cada nodo del tablero con el sismo de periodo largo en su componente longitudinal

En la figura 5.37 se muestra la relación sin sismo y con sismo de los desplazamientos en el tablero con los tres registros sísmicos, donde se observa que en las etapas 5, 6, y 7 el sismo no afecta. Ya que en las demás etapas si incrementan los desplazamientos verticales.

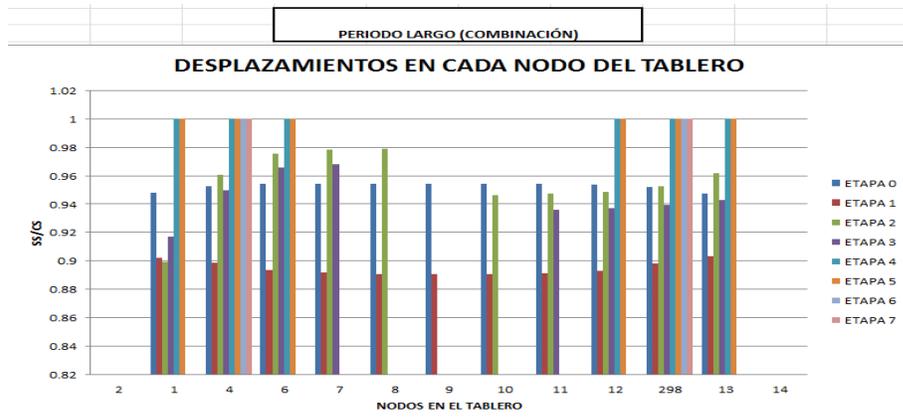


Figura 5.37 Desplazamientos en cada nodo del tablero con el sismo de periodo largo en sus tres componentes

En la figura 5.38 se muestra la relación sin sismo y con sismo de las fuerzas axiales en el tablero con el sismo vertical de periodo largo, donde se observa que los desplazamientos se incrementan con el sismo, estos desplazamientos son iguales a los que se obtuvieron a con el sismo de periodo corto al igual que los demás análisis es por ello que no se ingresaran de nuevo.

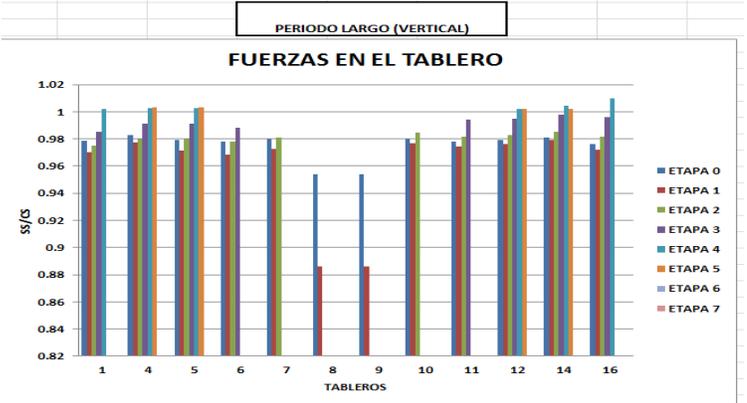


Figura 5.38 Fuerzas del tablero con el sismo de periodo largo en su componente vertical

En la figura 5.39 se muestra la relación sin sismo y con sismo las fuerzas axiales en la base de la pila con el sismo de periodo largo, donde se observa que con respecto al sismo de periodo corto se incrementa la fuerza en la etapa 7.

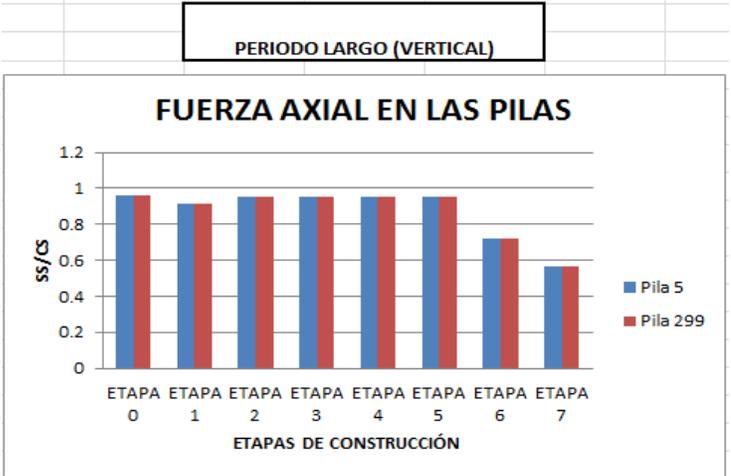


Figura 5.39 Fuerza en la pila con el sismo de periodo largo en su componente vertical

En la figura 5.40 se muestra la relación sin sismo y con sismo de las fuerzas en la base de la pila en las diferentes etapas de construcción con el sismo transversal de periodo largo, donde se observa que incrementaron las fuerzas axiales con respecto al sismo de periodo corto. En el análisis del sismo longitudinal de periodo largo los resultados obtenidos resultaron similares a los de esta figura, es por ellos que no se ingreso.

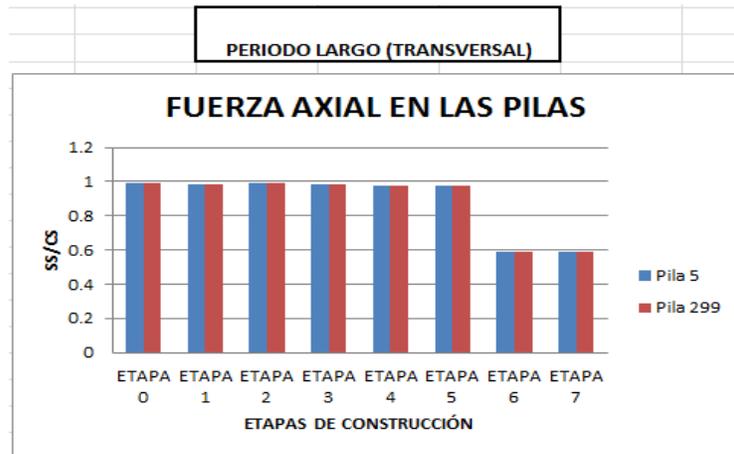


Figura 5.40 Fuerza en la pila con el sismo de periodo largo en su componente transversal

En la figura 5.41 se muestra la relación sin sismo y con sismo de las fuerzas axiales en el tablero con los tres registros sísmicos incrementando las fuerzas axiales con respecto al sismo de periodo corto el efecto mayor del sismo es en la etapa 7.

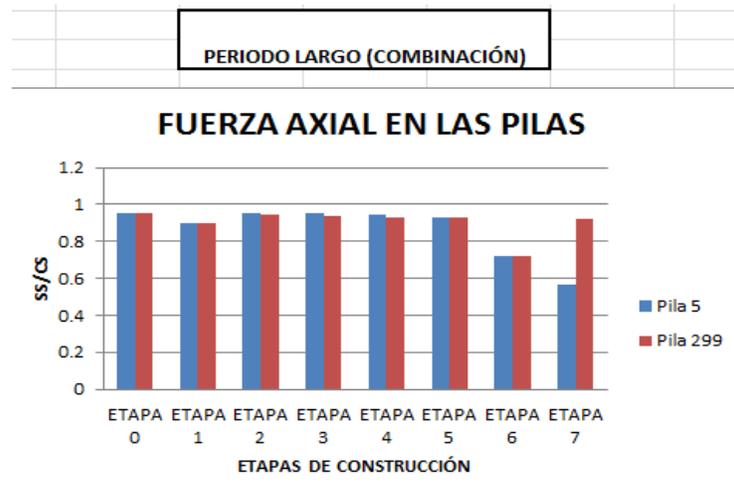


Figura 5.41 Fuerza en la pila con el sismo de periodo largo en sus tres componentes

En la figura 5.42 se muestra la relación sin sismo y con sismo de la fuerza cortante en la base de la pila con el sismo vertical, donde se observa que el etapa 2 el efecto del sismo contrarresta la fuerza cortante, en las demás etapas el efecto del sismo aumenta las fuerzas en la base de la pila.

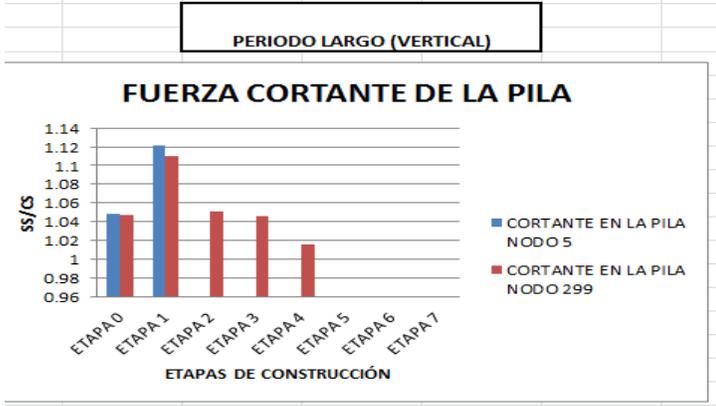


Figura 5.42 Fuerza cortante en la pila con el sismo de periodo largo en su componente vertical

En la figura 5.43 se muestra la relación sin sismo y con sismo de las fuerza cortante en la base de la pila con el sismo transversal de periodo largo, donde se observa que en la etapa 1, 2, 3 y 4 el efecto del evento sísmico contrarresta la fuerza cortante del tablero en la etapa 0 el efecto del sismo aumenta la fuerza cortante en la base de la pila.

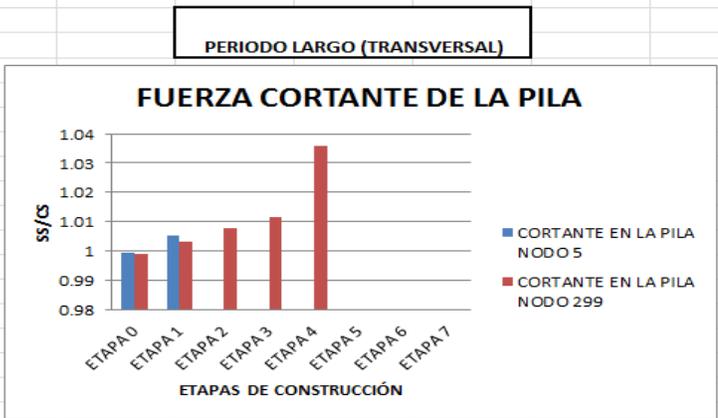


Figura 5.43 Fuerza cortante en la pila con el sismo de periodo largo en su componente transversal

En la figura 5.44 se muestra la relación sin sismo y con sismo de la fuerza cortante en la base de la pila con el sismo longitudinal de periodo largo, donde se observa que en las etapas el efecto del sismo contrarresta la fuerza cortante en la base de la pila que es el nodo 299 y para la base de la pila del nodo 5 el efecto del sismo incrementa la fuerza cortante. En el análisis con los tres registros sísmicos los resultados son similares al del sismo longitudinal es por ello que no se ingresaran los resultados de dicha figura.

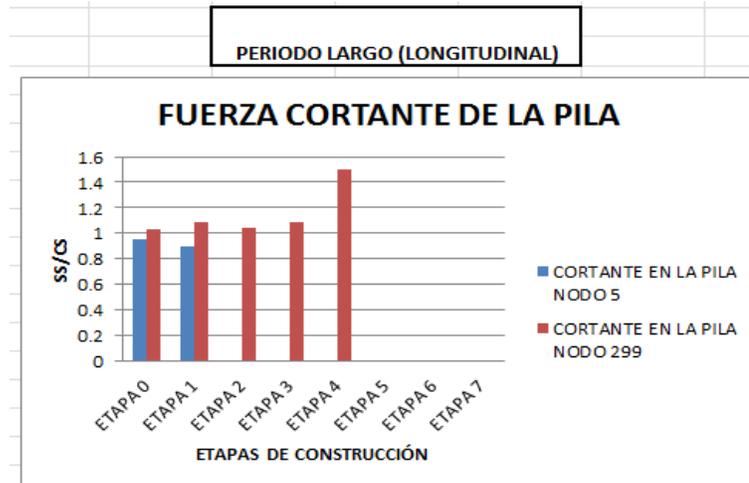


Figura 5.44 Fuerza cortante en la pila con el sismo de periodo largo en su componente longitudinal

Los momentos en la base de la pila del sismo de periodo largo es igual al de periodo corto es por ello que no se ingresan. Mas sin embargo los análisis de las componentes transversal, longitudinal y la combinación cambian como se muestran a continuación:

En la figura 5.45 se muestra la relación sin sismo y con sismo de los momentos en la base de la pila con el sismo transversal de periodo largo, donde se observa que en este análisis disminuyen los momentos con respecto al sismo de periodo corto como se muestra en la etapa 4 que es donde más efecto tiene el sismo.

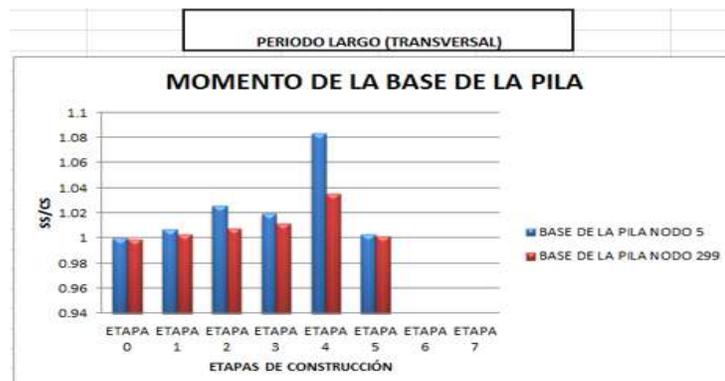


Figura 5.45 Fuerza cortante en la pila con el sismo de periodo largo en su componente transversal

En la figura 5.46 se muestra la relación sin sismo y con sismo de los momentos en la base de la pila con el sismo longitudinal de periodo largo, donde se observa que el efecto del sismo contrarresto el momento con respecto al sismo de periodo corto. Los resultados del análisis con la combinación del sismo es similar al longitudinal es por ello que ya no se ingresa.

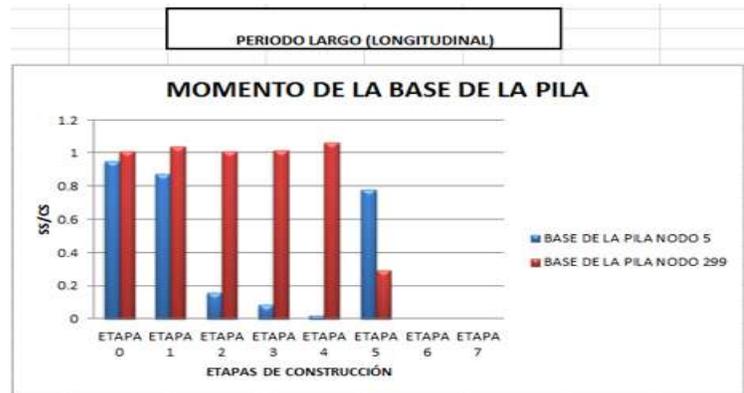


Figura 5.46 Fuerza cortante en la pila con el sismo de periodo largo en su componente longitudinal

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Un evento sísmico durante la construcción de una estructura es muy probable que ocurra es por ello que se realizó este trabajo para poder determinar el comportamiento del puente mediante un evento de este tipo en la construcción.

Los resultados obtenidos con el análisis del sismo de Igualapa, Guerrero y Tláhuac, México D.F en las etapas de construcción. Con el análisis del registro sísmico vertical de periodo corto y largo se obtuvo que las fuerzas en los tirantes, desplazamientos verticales, desplazamientos horizontales en la parte superior del pilón, fuerzas axiales en el tablero y en la base de la pila, fuerza cortante en la base de la pila y el momento en la base de la pila aumentan al ocurrir un evento sísmico de las características mencionadas anteriormente.

Con el análisis del registro sísmico transversal de periodo corto y largo que es el que mayor aceleración tiene y es el que mayor efecto les causa a las estructuras, se llevó a cabo que por el hecho de no ser estable el sismo les incrementa o les contrarresta a las fuerzas en los tirantes, desplazamientos verticales, desplazamientos horizontales en la parte superior del pilón, fuerzas axiales en el tablero y en la base de la pila, fuerza cortante en la base de la pila y el momento en la base de la pila.

Con el análisis del registro sísmico longitudinal del sismo de Igualapa, Guerrero y Tláhuac, México D.F se llegó al resultado de que es el que menor daño les causa a las estructuras y se puede observar en las figuras anteriores del periodo corto y largo que cuando influye es porque contrarresta las fuerzas en los tirantes, desplazamientos verticales, desplazamientos horizontales en la parte superior del pilón, fuerzas axiales en el tablero y en la base de la pila, fuerza cortante en la base de la pila y el momento en la base de la pila.

Cuando se analizó con los tres registros sísmicos, vertical, transversal y longitudinal de cada sismo (Igualepa, Guerrero y Tláhuac, México D.F), como la aceleración de cada registros es en diferente dirección les aumentaba las fuerzas en los tirantes, desplazamientos verticales, desplazamientos horizontales en la parte superior del pilón, fuerzas axiales en el tablero y en la base de la pila, fuerza cortante en la base de la pila y el momento en la base de la pila y en algunos elementos del puente les contrarrestaba.

6.- CONCLUSIONES

Un puente atirantado en cualquier parte del mundo que se construya, es muy importante cuidar cualquier pequeño detalle durante la construcción, es por ello que un constructor no podría construirlo y el ingeniero estructural debe de calcular el proceso constructivo y así poderle decir al constructor como se debe llevar a cabo el proceso constructivo, una vez comenzado la construcción de la estructura es probable de que ocurra un evento sísmico, y esto se debe de calcular por etapas ya que no podemos estar seguros en cual etapa de construcción ocurra un sismo y poder obtener el comportamiento bajo un evento de este tipo.

Es muy importante analizar el comportamiento de cada una de partes que conforman el puente en un evento sísmico para así poderlas diseñar de acuerdo a los que se puede presentar durante la construcción y durante su vida útil, para que se mantenga estable y presente seguridad al tránsito vehicular y a los peatones.

El efecto del sismo en la construcción de un puente atirantado es muy importante tener en cuenta de que existe la probabilidad de que ocurra un evento sísmico, es por ello que se analizó en las diferentes etapas de desmontaje simulando la construcción, al obtener todos los análisis, se llegó a la conclusión de que el puente debe absorber la energía del sismo en cada una de las partes que lo conforman. Y se ve afectado en gran parte en el tablero durante el proceso constructivo, es por ello que se requiere un diseño preciso para soportar este tipo de sismos y que no halla retraso en el proceso constructivo por fallas que no se tienen previamente analizadas.

Debido a la importancia de la construcción de una estructura como un puente atirantado, se requiere un análisis sísmico en las diferentes etapas de construcción, y poder obtener resultados que nos permitan un diseño óptimo y confiable para una adecuada funcionalidad en su vida útil a la que fue proyectada.

7. - REFERENCIAS

Grabow M. J. (2004), "Construction Stage Analysis of Cable-stayed bridges", Cable-stayed Bridge Including Temporary Supports pp. 91-93.

He J. y Fu Z. (2001), "Modal Analysis ", Library of Congress Cataloguing in Publication Data pp. 52.

Ochoa D. S, Balankin A, Viramontes F. C y López J. L. (2006), "Análisis de Confiabilidad y Riesgo en Puentes Atirantados", Publicación Técnica N. 301, Sanfandila Qro.

Perdomo M. G. (2011), "Estudio Corporativo de Puentes Construidos por Voladizos Sucesivos", Ejecución de Tablero pp. 15-18.

Reyes L. G. (1998), "Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico, Segunda impresión, Octubre de 1999, pp. 106.

7.1 - REFERENCIAS ELECTRONICAS

<http://www.iingen.unam.mx/ES-MX/INVESTIGACION/PROYECTOS>

<http://megaconstrucciones.net/?construccion=puede-isla-ruski>