

An aerial photograph of a multi-lane viaduct with traffic, set against a backdrop of green hills and a cloudy sky. The viaduct is supported by concrete pillars and has a central median. The text is overlaid on the image.

VIBRACIONES EN LAS LOSAS DEL VIADUCTO LA CABRERA.

ELABORADOR.

ING. HERIBERTO ECHEZURÍA

ING. EDINSON GUANCHEZ

ING. FREDDY SÁNCHEZ LEAL

VIADUCTO LA CABRERA. (ALGUNOS DATOS DE INTERES)

1- SE ENCUENTRA EN LA AUTOPISTA REGIONAL DEL CENTRO. (TRONCAL 001, PROGRESIVA 121+700).

2- CONSTA DE:

DOS PISTAS PARALELAS DE 2.054 M C/U;
157 TABLEROS ISOSTÁTICOS :

154 DE 13,00 M,
UNO DE 12 M
UNO DE 14 M.
UNO DE 26 M

3-EL ANCHO DE CADA PISTA ES DE 13,25 M Y EL ANCHO LIBRE DE CALZADA ES DE 11,35 M.



TIPOLOGIAS DE TABLEROS EXISTENTES.

- Tableros con losa de concreto armado sobre vigas metálicas originales o reforzadas
- Losa estructural de 14 cm y carpeta de rodamiento de 15 cm (Pista Maracay-Valencia).
- Losa estructural de 14 cm y carpeta de rodamiento de 7 cm (Pista Valencia-Maracay).
- Tableros de concreto pretensado sobre pórticos de concreto en tramos ascendentes y descendentes de ambas pistas y en los extremos de las mismas.

TIPOLOGIAS DE TABLEROS EXISTENTES.

Estos son los tipos de losas y apoyos existentes:

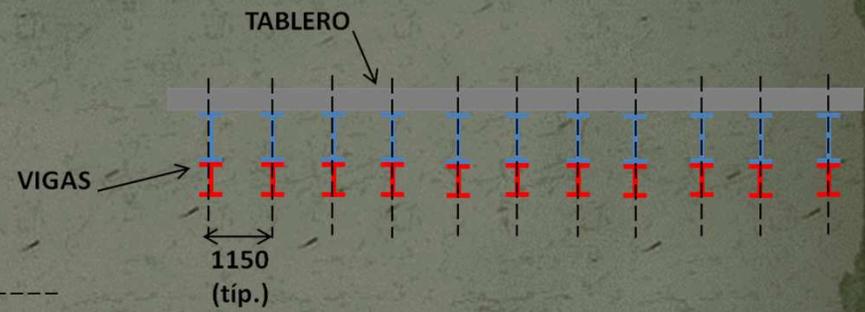
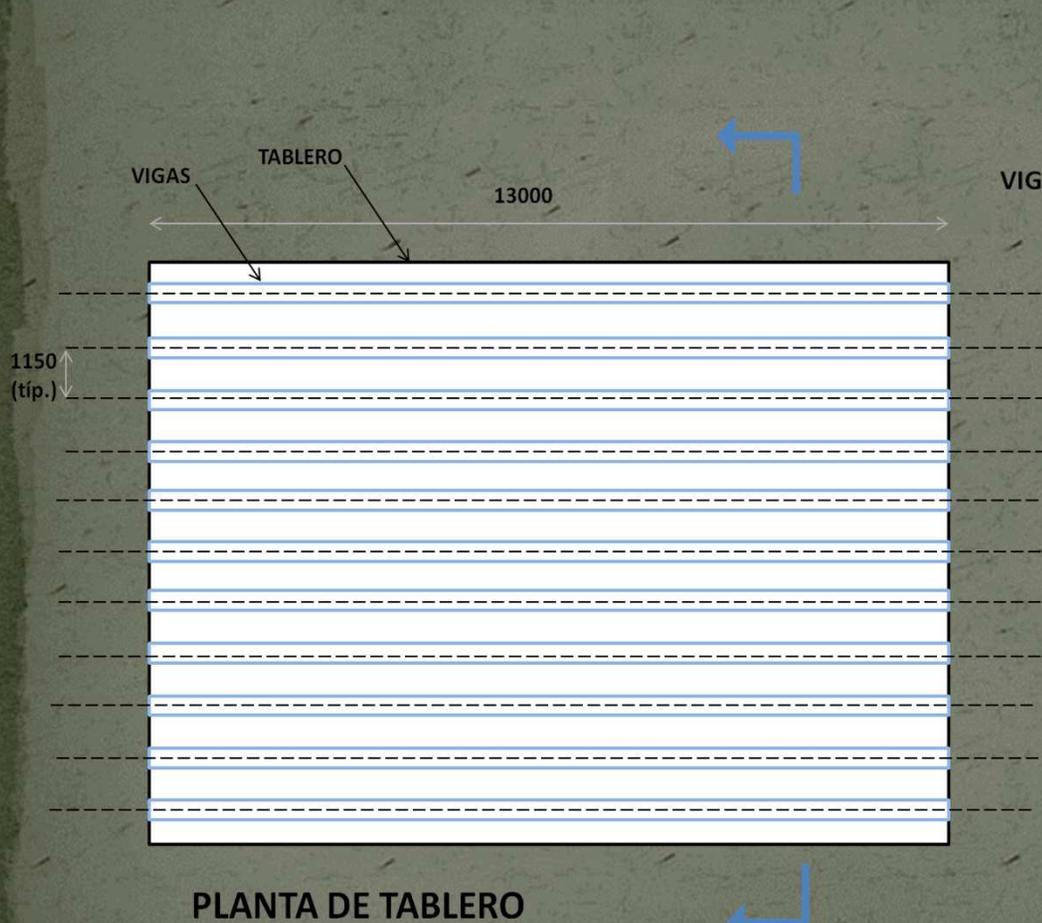
Tipo 1: Tablero de **29 cm** de espesor con losa estructural de 14 cm y carpeta de rodamiento de 15 cm. Apoyada sobre vigas metálicas reforzadas. (Pista **Maracay-Valencia**).

Tipo 2: Tablero de **29 cm** de espesor con losa estructural de 14 cm y carpeta de rodamiento de 15 cm apoyado sobre las vigas metálicas originales únicamente (Pista **Maracay-Valencia**).

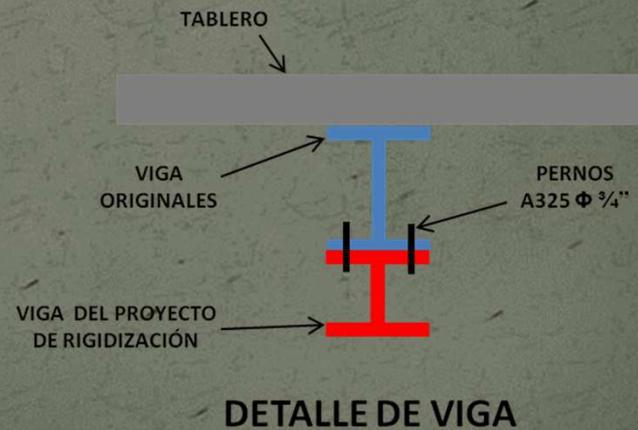
Tipo 3: Tablero de Concreto Armado de **21 cm** de espesor con losa estructural de 14 cm y carpeta de rodamiento de 7 cm. Apoyada sobre vigas metálicas reforzadas. (Pista **Valencia-Maracay**).

Tipo 4: Tablero de Concreto Armado de **21 cm** de espesor con losa estructural de 14 cm y carpeta de rodamiento de 7 cm apoyado sobre las vigas metálicas originales. (Pista **Valencia-Maracay**).

TABLERO PREDOMINANTE EN EL VIADUCTO

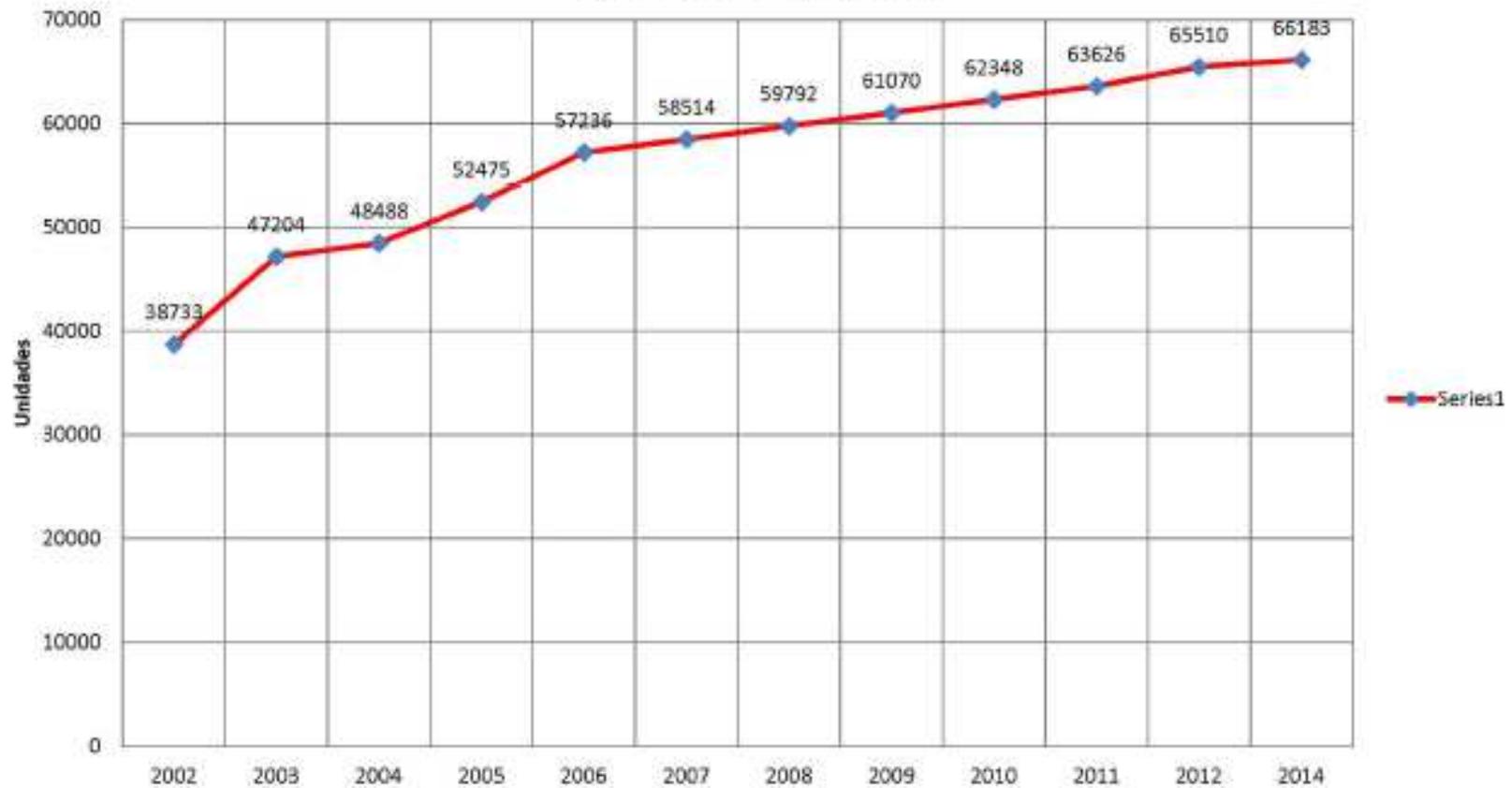


SECCIÓN DE TABLERO



EVOLUCIÓN DEL TRAFICO EN EL VIADUCTO.

Autopista Regional del Centro
Estudio de Trafico y Carga
Zona de Estudio: Viaducto La Cabrera
Origen de los Datos: del 2002 al 2006 =Peaje de Guacara
2012 = Estudio de Trafico Palo Negro
2014 = Estudio de trafico La Cabrera
del 2006 al 2012 = interpolados



TIPOS DE VEHÍCULOS EN EL TRAFICO SOBRE EL VIADUCTO

Esquema de clasificación de vehículos en función de las configuraciones estándar de los vehículos suministrados por las empresas fabricantes:



1 Vehículos



2 Transp. Público



3 Carga Liviana



4 Carga Pesada



5 Carga 3 Ejes



6 Carga 4 Ejes



7 Carga 5 Ejes



8 Carga 6 Ejes

CARACTERÍSTICAS DEL TRAFICO SOBRE EL VIADUCTO.

- Los vehículos más **sobrecargados** se ubican en el sentido Caracas-Valencia, particularmente los vehículos Clase 6 y Clase 8, de cuatro (4) y seis (6) ejes respectivamente,
- **La mayor carga por eje** detectada se corresponde con los vehículos clase 5 (carga pesada de tres ejes), y esto ocurre para ambos sentidos, estando dicha carga máxima por encima de las 16 toneladas.
- Los vehículos Clase 7 (Carga pesada de 5 ejes), son los que poseen **mayor frecuencia de paso** en ambos sentidos (27.10% Caracas-Valencia y 51.42% Valencia-Caracas).

TIPOS DE VEHÍCULOS EN EL TRAFICO SOBRE EL VIADUCTO

Esquema de clasificación de vehículos en función de las configuraciones estándar de los vehículos suministrados por las empresas fabricantes:



1 Vehículos



2 Transp. Público



3 Carga Liviana



4 Carga Pesada



5 Carga 3 Ejes



6 Carga 4 Ejes



7 Carga 5 Ejes



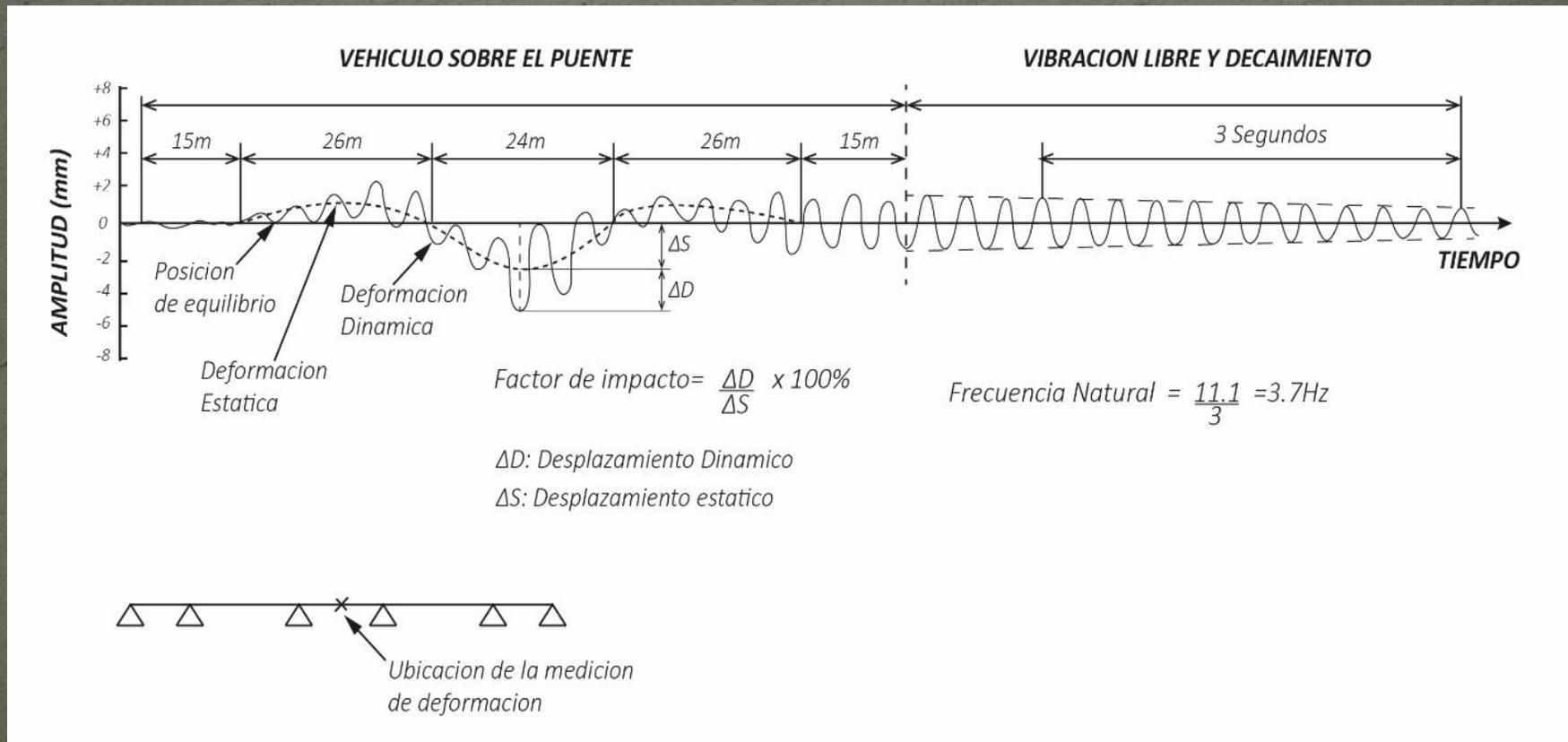
8 Carga 6 Ejes

RESULTADOS DE LOS ANALISIS DEL EQUIPO REVISOR

1. Se constató que para el viaducto no se habían considerado las vibraciones por tráfico automotor como factor contribuyente a los daños de las losas ni se menciona en las medidas propuestas antes de esta estudio ninguna acción para disminuirlas o prevenir sus efectos en las losas.
2. No obstante, la literatura internacional sobre vibraciones en calzadas de puentes las reconoce como causantes de daños con mayores amplitudes cuando la frecuencia natural de los vehículos y las de las losas coinciden o están muy próximas entre sí. ([siguiente](#))
3. Las vibraciones por tráfico causan la fatiga del concreto, lo cual se evidencia en los bajos resultados de la compresión del concreto de las losas.

RESULTADOS DE LOS ANALISIS DEL EQUIPO REVISOR

Efecto combinado de las cargas móvil y dinámica sobre un puente



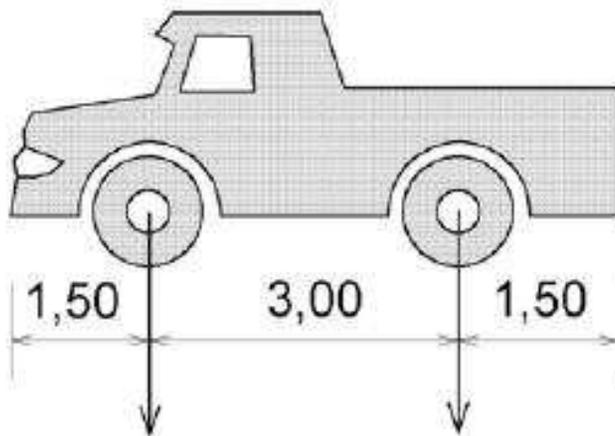
RESULTADOS DE LOS ANALISIS DEL EQUIPO REVISOR

- 4 La calidad de la superficie de rodamiento disminuye la severidad del efecto del tráfico en las vibraciones.
- 5 La velocidad aumenta el efecto dinámico cuando el tiempo que le toma pasar a dos ejes por un mismo punto de un tablero es igual al período fundamental de dicho tablero (losa). Esto resulta importante para tableros de menos de 15 m con vehículos con ejes separados 4 m de distancia o menos, circulando a velocidades entre los 15 kph y los 80 kph.
- 6 Se realizó un análisis preliminar de vibraciones por tráfico en tableros de distintas longitudes los cuales confirman que sus frecuencias de vibración están cercanas a las de los vehículos lo cual incrementa las cargas por efecto dinámico y acelera la fatiga del concreto.

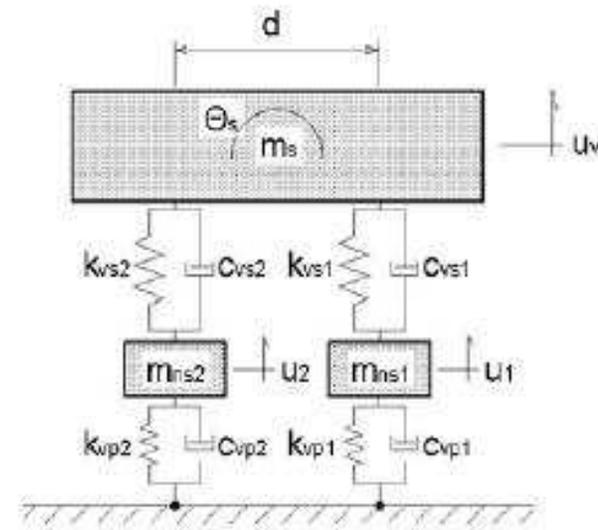
RESULTADOS DE LOS ANALISIS DEL EQUIPO REVISOR

Los vehículos tienen doble sistema dinámico que induce vibraciones en los tableros de los puentes:

- A) El motor y sus pistones
- B) El peso del vehículo y sus amortiguadores



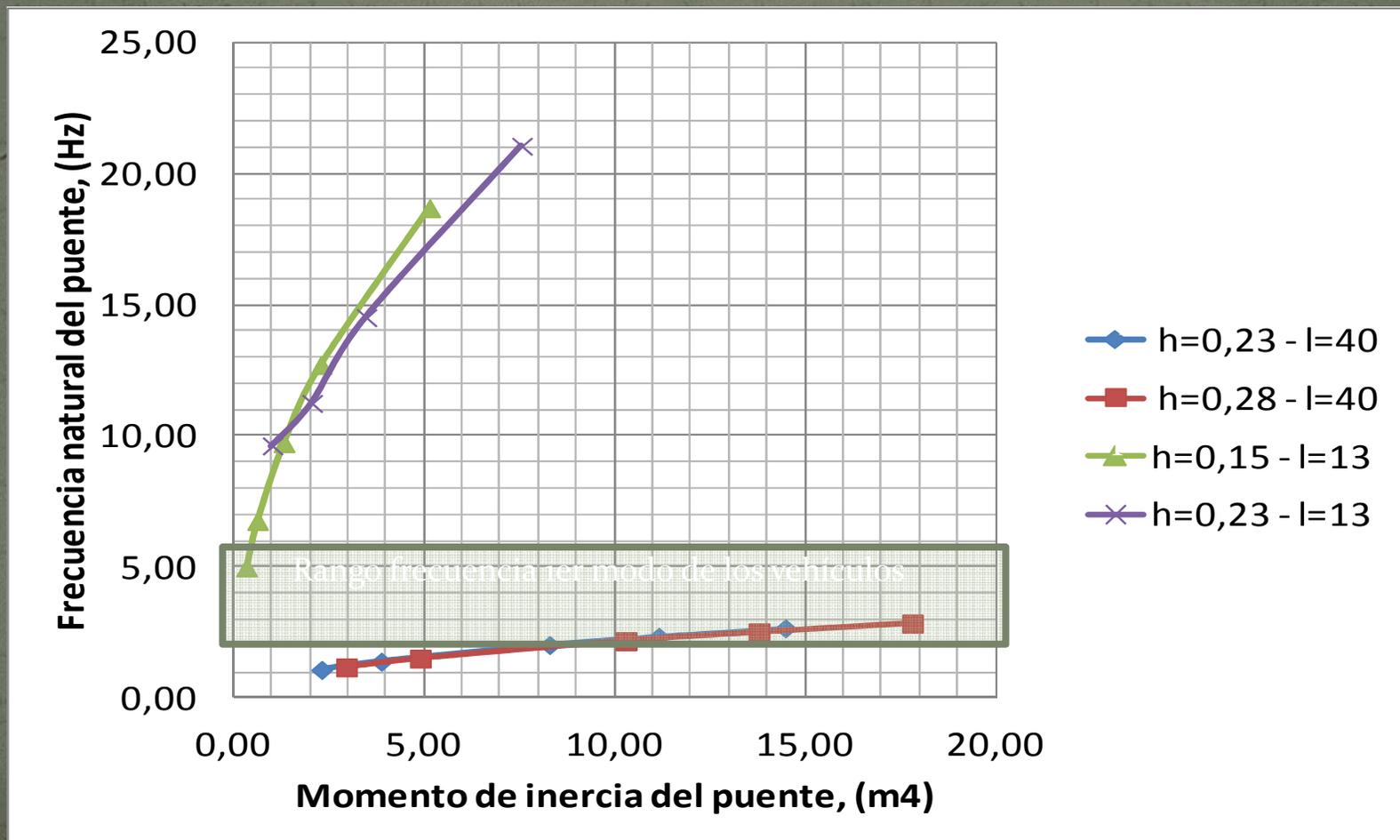
a) Vehicle "TB-12"



b) Mathematical model

RESULTADOS DE LOS ANALISIS DEL EQUIPO REVISOR

FRECUENCIA NATURAL DE PUENTES
VS
MOMENTO DE INERCIA DE LAS LOSAS



RESULTADOS DE LOS ANALISIS DEL EQUIPO REVISOR

- 7 Las variables importantes para evaluar el comportamiento dinámico de tableros por cargas rodantes lo constituye la velocidad de los vehículos y la separación de los ejes.
- 8 Circular sobre obstáculos incrementa de 3 a 3,5 veces la respuesta dinámica del puente. Las irregularidades de vía tienen un efecto despreciable para los puentes largos, mientras que producen un incremento importante de la respuesta en los cortos.
- 9 Cuando los tableros no se encuentran apoyados adecuadamente se generan fenómenos de torsión que propician problemas de inestabilidad adicionales.

RESULTADOS DE LOS ANALISIS DEL EQUIPO REVISOR

- 10 A medida que aumenta el peso de los vehículos, disminuye la amplitud de las vibraciones en el puente. No obstante, aumentan las deformaciones estáticas.
- 11 Para mejorar el comportamiento de un puente ya construido, es recomendable aumentar la rigidez o agregar amortiguadores o elementos disipadores.
- 12 El amortiguamiento es determinante para atenuar la respuesta de los puentes en situaciones de resonancia, y de él depende en gran medida el valor de pico alcanzado por los desplazamientos y las aceleraciones.

RESULTADOS DE ANALISIS CUALITATIVOS.

13 Conforme a estudios probabilísticos se ha evidenciado que los daños sobre los tableros poseen influencia directa de los siguientes factores:

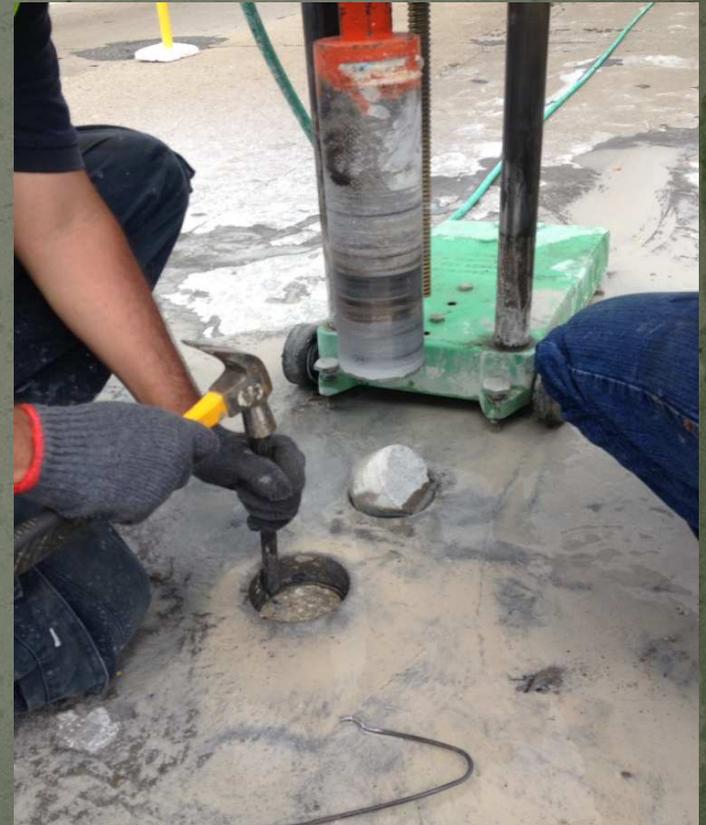
- Nivel de Vibración.
- Volumen de Tráfico.
- Longitud de vigas/losas.
- Tipos de apoyo en la entrada y salida de las losas/vigas.

TOMA DE NUCLEOS DE CONCRETO EN LOS TABLEROS DEL VIADUCTO.

La Extracción de Núcleos de Concreto se hizo tanto en la Pista Sur (Valencia-Caracas) como en la Pista Norte (Caracas-Valencia).



RESULTADOS DE LOS NUCLEOS DE CONCRETO EXTRAIDOS DE LOS TABLEROS DEL VIADUCTO.



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LOS TABLEROS DEL VIADUCTO LA CABRERA.

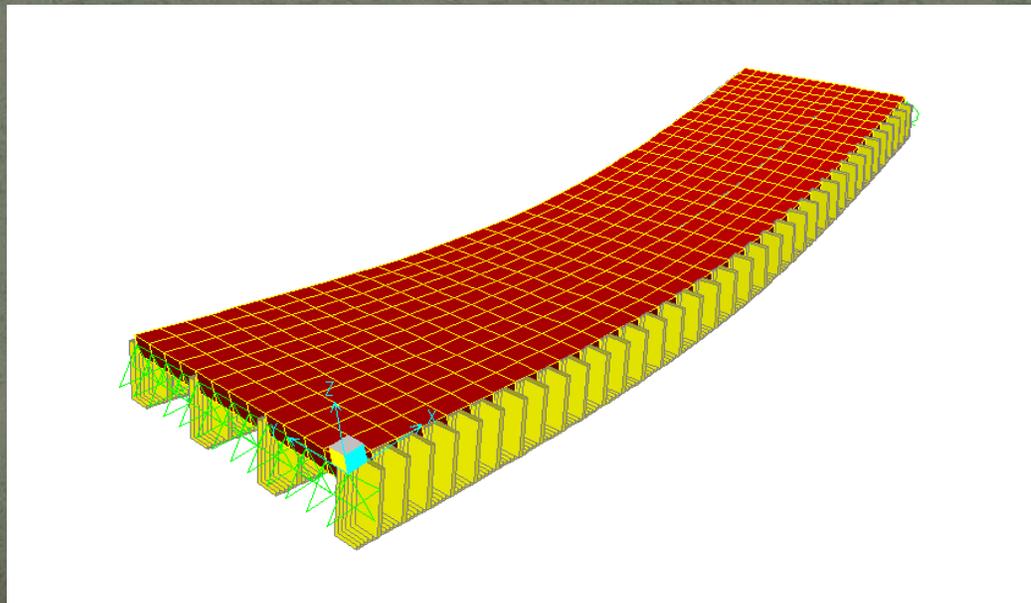
1. El concreto de las losas Viaducto presenta una pérdida de rigidez progresiva de la losa estructural, pasando de un estado de fisuración leve a un estado de fisuración total debido a la fatiga.
2. El Laboratorio de Materiales y Ensayos de la Universidad de Carabobo reporta valores de resistencia a compresión (f'_c) entre 130 k/cm² y 200 k/cm².
3. De dieciséis (16) muestras ensayadas apenas una (1) alcanzó los 200 k/cm². La resistencia a compresión mínima ($f'_c\text{-min}$) especificada por la norma FONDONORMA 1753-06, es de 210 k/cm².

ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LOS TABLEROS DEL VIADUCTO LA CABRERA.

3. En consecuencia los desplazamientos se incrementan debido a la pérdida de rigidez de la losa,
4. La flexibilización de la estructura hace que modos de vibración cuyos picos de aceleraciones en resonancia que quedaban antes fuera del rango de velocidades críticas ahora se sitúen dentro de éste, empeorando el comportamiento de la losa.
5. Las acciones generadas en las losas debido al paso de las cargas móviles de los vehículos generan la rotura por fatiga.

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LOS TABLEROS DEL VIADUCTO LA CABRERA.

1. Se efectuó un análisis modal del tablero mixto (concreto-acero) de 13 metros de longitud, con las diferentes configuraciones existentes, con la finalidad de determinar la frecuencia natural (f_0) y periodo de vibración fundamental (T_0) del mismo.
2. Con las propiedades dinámicas de cada tablero se estableció el rango de velocidades de vehículos que eran capaces de producir fenómenos de resonancia incipiente.



ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS TABLEROS DEL VIADUCTO LA CABRERA.

Análisis de Fisuración sobre los tableros.

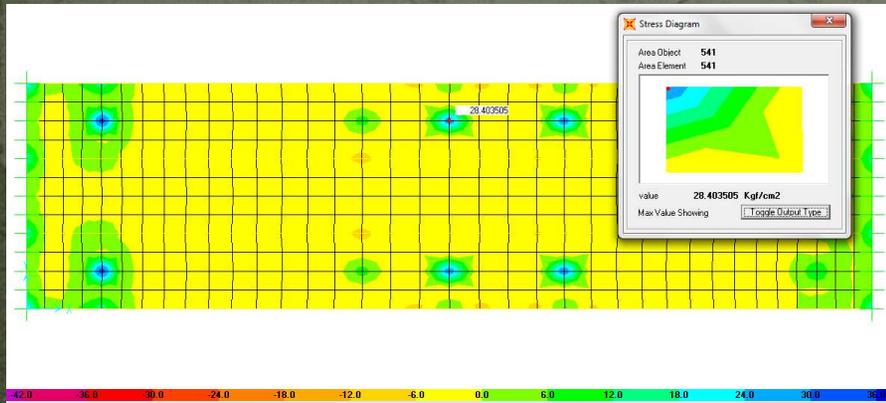
Para diagnosticar el patrón de agrietamiento existente en la losa, se determino el momento de fisuración máximo para cada sección de concreto de los tableros.

Para el análisis se utilizó la carga máxima por eje del vehículo de diseño seleccionado según resultados del estudio de tráfico de Network Traffic (Vehículo Clase 5. Tres ejes de carga pesada).

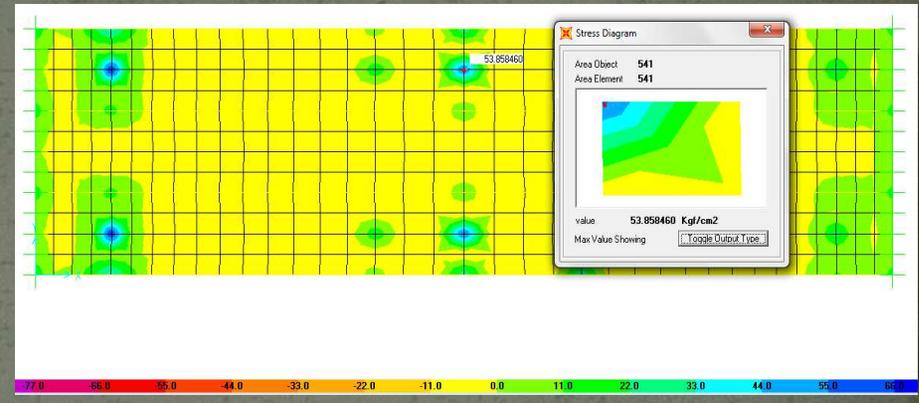
Con la carga máxima transmitida por eje se determinaron los valores de esfuerzos críticos actuantes y fueron comparados con los esfuerzos de fisuración máximo de cada sección analizada utilizando los resultados obtenidos del análisis de esfuerzos actuantes sobre ambos tableros (29 cm y 21 cm).

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS TABLEROS DEL VIADUCTO LA CABRERA.

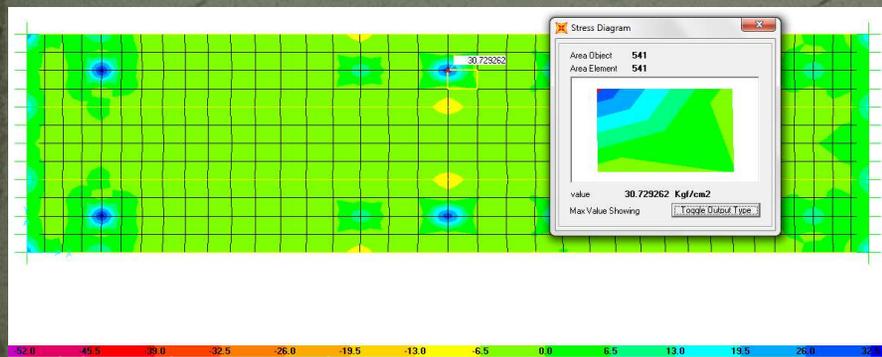
Análisis de Fisuración sobre los tableros por momentos.



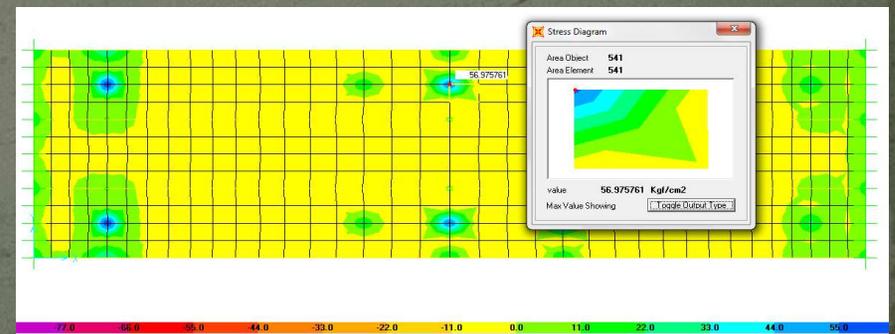
Tablero de 29 cm de espesor.
(Vigas adecuadamente conectadas)



Tablero de 21 cm de espesor.
(Vigas adecuadamente conectadas)



Tablero de 29 cm de espesor.
(Vigas mal conectadas, deficiencia en comportamiento como sección mixta)

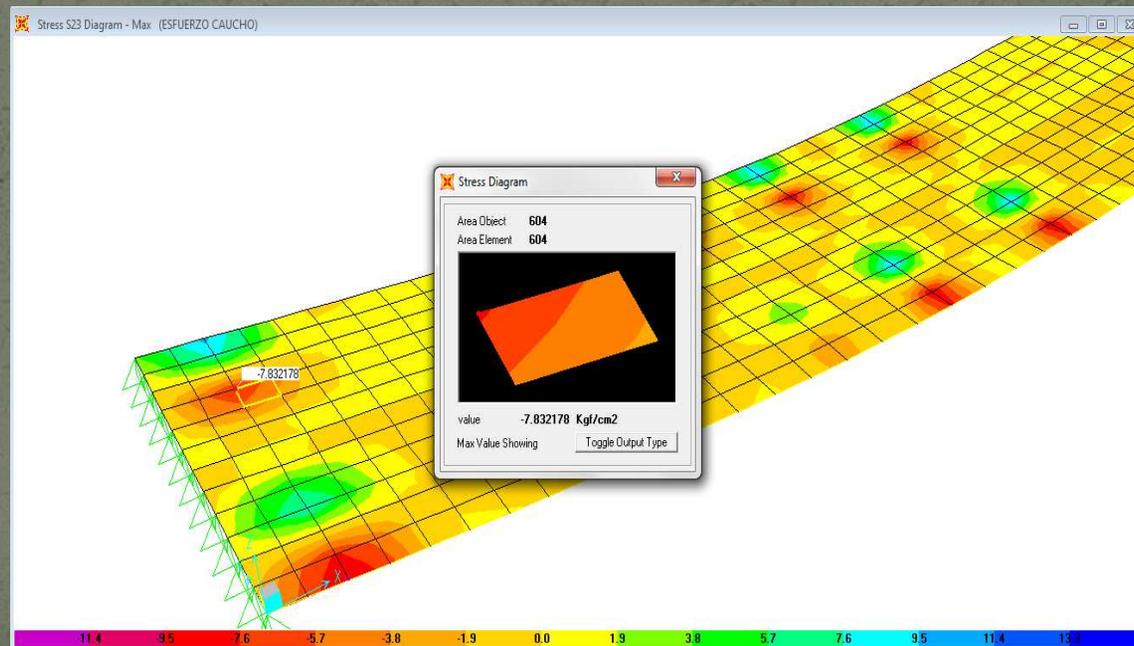


Tablero de 21 cm de espesor.
(Vigas mal conectadas, deficiencia en comportamiento como sección mixta)

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO EN JUNTAS DE LOS TABLEROS DEL VIADUCTO LA CABRERA.

Análisis de Fisuración sobre los tableros por corte.

Con la carga crítica por la rueda del camión de 16 tons por eje, se obtienen esfuerzos importantes en la zona de contacto del tablero con el pórtico de concreto.



COMPARACIÓN DE LOS ANÁLISIS CON LAS EVIDENCIAS

El patrón de agrietamiento y de daños más severos observados en los tableros se encuentra localizado en los apoyos y a las distancias estimadas en los modelos .



**Patrón de Agrietamiento en Tableros Mixtos
(13 metros).**

COMPARACIÓN DE LOS ANÁLISIS CON LAS EVIDENCIAS

El patrón de agrietamiento y de daños más severos observados en los tableros se encuentra localizado en los apoyos y a las distancias estimadas en los modelos .



**Patrón de Agrietamiento en Tableros Mixtos
(13 metros).**

DETERIORO DE LOS TABLEROS DEL VIADUCTO



Fallas reportadas en tablero de Pista con dirección Valencia-Maracay (Pista Sur).

(Espesor: 21 cm). Falla reportada con fecha 28 de septiembre del 2014.

DETERIORO DE LOS TABLEROS DEL VIADUCTO

Se identificaron daños importantes por la fatiga en la parte inferior de las losas estructurales que son difíciles de reparar.



PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO EN EL VIADUCTO

Se evidenció la falta de apriete o pérdida de los pernos que conectan las vigas metálicas originales con las vigas metálicas de refuerzo colocadas en el año 2005.



Vigas metálicas originales mal conectadas con vigas de refuerzo.

PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO EN EL VIADUCTO

No se evidencia la presencia de aparatos de apoyo de neopreno entre los tableros y la viga superior de los pórticos.



CONCLUSIONES.

- La investigación sobre el efecto de las vibraciones en el deterioro de losas de puentes confirma que las mismas son un elemento fundamental en los daños observados a nivel internacional.
- Los daños son más significativos en puentes cortos ya que sus períodos fundamentales están muy cerca o coinciden con los períodos de los vehículos.
- El patrón de daños observado en las losas del viaducto coincide con el obtenido en las simulaciones de su comportamiento dinámico. Esto confirma que las vibraciones constituyen un elemento fundamental en el desempeño de dichos tableros.
- La velocidad de los vehículos con tres y cuatro ejes aumenta el efecto nocivo de las cargas dinámicas ya que para velocidades por encima de los 80 kph, coinciden con los períodos de vibración de las losas.

CONCLUSIONES.

- El exceso de carga en los vehículos aunque disminuye los efectos de las vibraciones, aumenta las flechas debidas a las cargas móviles.
- Las imperfecciones en la capa de rodamiento generan fuerzas importantes por impacto que aumentan el deterioro de las losas.
- La combinación de los efectos dinámicos, de las imperfecciones en la capa de rodamiento, de las cargas móviles a altas velocidades y de la sobre carga en los vehículos genera procesos de fatiga que hacen que el concreto pierda su integridad estructural.
- Los niveles de fatiga y debilidad estructural actual de las losas de ambas pistas (Norte y Sur), son críticas y empeoran cada día por las combinaciones de todos los efectos anteriores.

RECOMENDACIONES.

- Intervenir lo antes posible el Viaducto La Cabrera para impedir que los tableros lleguen a un nivel de deterioro tal, que imposibilite el tránsito de vehículos a través del mismo, afectando de forma muy notable la vía de comunicación terrestre más importante del país.
- Sustituir los tableros de ambas pistas del Viaducto por otros con la inercia y resistencia adecuadas para soportar las cargas debidas a las vibraciones, iniciando por los más críticos o afectados.
- Controlar el peso de los vehículos de carga que circulen por el Viaducto.
- Mantener la superficie de la capa de rodamiento lo más lisa posible, reforzar las juntas y colocar neopreno en los apoyos.

**¡MUCHAS GRACIAS
POR SU ATENCIÓN!**