



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

SECRETARÍA
DE OBRAS Y SERVICIOS



“ESTUDIO DE MEDICIÓN DE RUIDO SÍSMICO (VIBRACIONES) INDUCIDO EN EL SUBSUELO POR LA AMPLIACION DE LA LINEA 5 DEL METROBÚS, A UBICARSE SOBRE LA AV. EJE 3 ORIENTE (CARLOTA ARMERO) TOMANDO COMO PUNTO DE PARTIDA LA ESTACIÓN “MANUELA SÁENZ” Y FINAL LA “TEPETLAPA”, ALCALDÍA DE COYOACÁN, EN LA CIUDAD DE MÉXICO”

IGE

Ingenieros Geotécnicos
y Estructuristas, S.A. de C.V.

AGOSTO 2019

CONTENIDO

	página
1 Antecedentes	4
2 Objetivo	4
3 Visita al sitio de los trabajos	4
3.1 Ubicación del sitio	5
3.2 Puntos de interés para el estudio	6
3.3 Reporte fotográfico de la visita	7
4 Recopilación y análisis de información	12
4.1 Zonificación geotécnica	13
4.2 Levantamiento geológico	14
4.3 Hundimiento regional	15
4.4 Riesgo geológico	15
4.5 Zonificación sísmica	16
4.6 Espectro de diseño sísmico	17
4.7 Cargas Vivas de diseño (camiones)	19
4.8 Información técnica del Metrobús	22
5 Trabajos de campo	23
5.1 Metodología de mediciones	23
5.2 Equipo de medición empleado	25
5.3 Reporte fotográfico de trabajos de campo	26
6 Procesamiento de la información de campo	40
6.1 Normatividad	40
6.2 Resultado de mediciones	41
6.3 Discusión de resultados	46

7 Análisis de cargas móviles tipo SCT y Metrobús	48
7.1 Comparativa de pesos brutos vehiculares	48
7.2 Cálculo de línea de influencia para cargas móviles	48
7.3 Resumen de resultados y comentarios	57
8 Conclusiones	58
8.1 Conclusiones del estudio de ruido sísmico (vibración)	58
8.2 Conclusiones del cálculo de línea de influencia	59

1 Antecedentes

Con el fin de comprobar si el ruido sísmico en el subsuelo inducido por el paso del Metrobús en la línea que actualmente está en construcción en la zona sur del Eje 3 Oriente (Carlota Armero), no excede los niveles de vibración máxima de los rangos permisibles para evitar daños a las viviendas aledañas a la ruta y además que el nivel de las vibraciones generadas por el tránsito de los camiones de Metrobús se mantienen dentro de los estándares internacionales, se hicieron mediciones en varios puntos a lo largo de la traza de la Línea del Metrobús.

2 Objetivo

El objetivo del estudio fue medir la emisión de ruido sísmico inducido en el subsuelo, por el paso del Metrobús. Al no existir normas nacionales vigentes para este tipo de mediciones, se utilizaron, para comparar las mediciones de ruido sísmico inducido, los valores aceptados por los estándares internacionales de ruido sísmico inducido más estrictos. En este caso, se seleccionó la norma alemana DIN-4150, que indica los valores de velocidad de partícula del subsuelo (vibración), para diferentes tipos de construcciones y uso de estas.

3 Visita al sitio de los trabajos

Se realizó una visita inicial en el tramo de estudio de la Línea 5, con el objetivo de reconocer la zona de trazo, y con ello establecer los puntos críticos en donde la vibración por el paso del Metrobús pudiera ser más perceptible; como pueden ser construcciones de más de dos niveles, hospitales, inmuebles pegados a la vialidad, instalaciones en donde se localicen equipos sensibles a la vibración, gasolineras, etc.

En el recorrido se tuvo el apoyo por parte de personal técnico de la Dirección de Obras Públicas "B", del Metrobús y la empresa constructora que actualmente realiza los trabajos en la Línea 5.

3.1 Ubicación del sitio

El sitio en estudio se ubica sobre el Eje 3 Oriente, Carlota Armero, entre la Av. Manuela Sáenz y la calle Tepetlapa, abarcando las colonias U.H. Culhuacán, Sector Marina y U.H. Emiliano Zapata, Alcaldía de Coyoacán; y tomando como referencia el trazo de la Línea 5 del Metrobús, entre las Estaciones Manuela Sáenz y Tepetlapa.

En la figura 1, se muestra el croquis de ubicación del sitio.

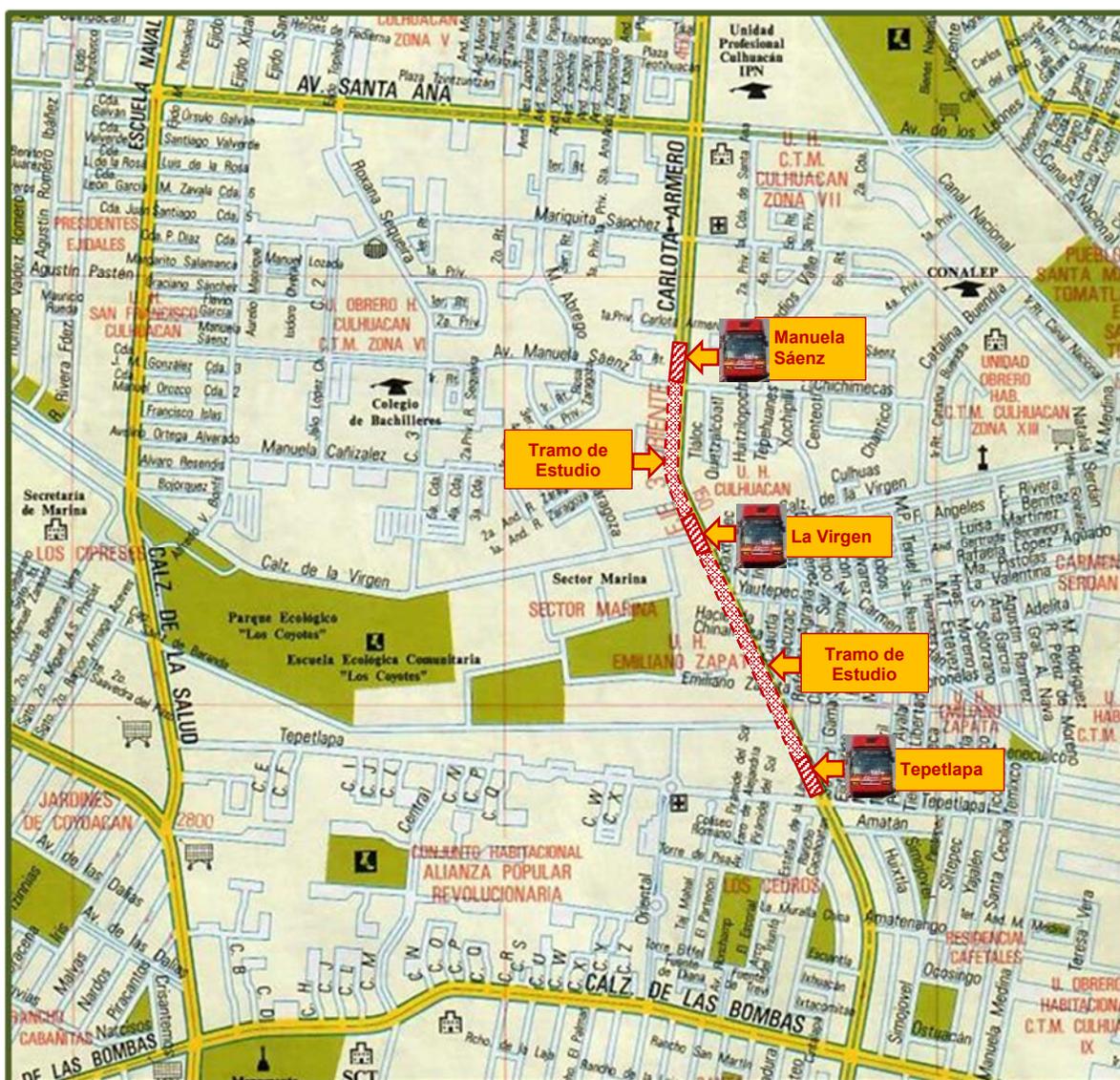


Figura No. 1.- Croquis de localización del tramo de estudio.

3.2 Puntos de interés para el estudio

Con base al recorrido del tramo se lograron localizar algunas estructuras de relevancia en donde la vibración por tránsito vehicular normal y paso del Metrobús, sería más perceptible el efecto, por su altura o cercanía al tránsito.

Los sitios son los siguientes: Puente peatonal entre la calle Manuela Sáenz y Calzada de la Virgen {1}; inmuebles de planta baja y dos niveles ubicados en la acera poniente y al sur de la Calle Manuela Sáenz, aproximadamente 60 m {2}; Gasolinera localizada en la esquina sur-poniente que forman Calzada de la Virgen y Carlota Armero (Eje 3 Oriente) {3}; vivienda de planta y un nivel ubicada en la acera oriente y al sur de Calzada de la Virgen, aproximadamente 50 m {4}; edificio de planta baja y 8 niveles perteneciente a la Marina, ubicado en la acera poniente y al norte de la Calle Virgilio Uribe, aproximadamente 100 m {5}; edificio de vivienda planta baja y 5 niveles, ubicado en la acera poniente y al norte de la Calle Tepetlapa, aproximadamente 50 m {6}; Restaurante el Atorón, localizado en la esquina que forman las calles Cuautla y Carlota Armero (Eje 3 Oriente) {7}; y Salón de Fiestas Kellys, ubicado en la acera oriente y al norte de la Calle Anenecuilco, aproximadamente 50 m {8}.

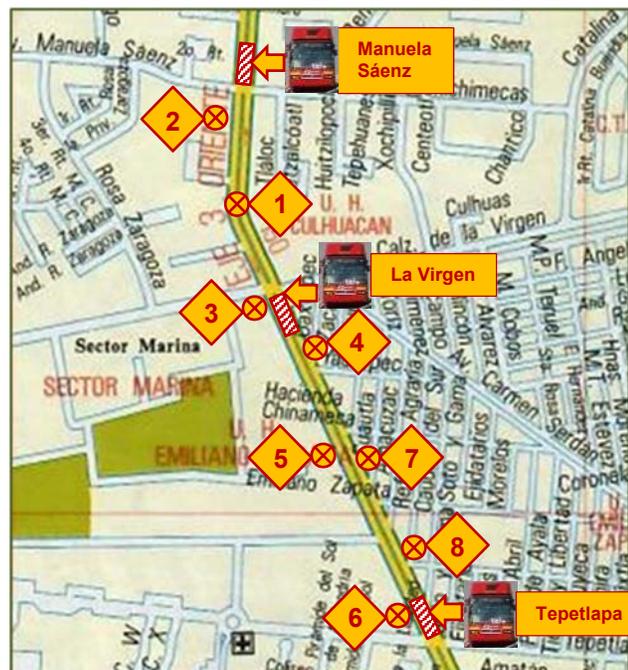


Figura No. 2.- Localización de puntos de interés.

3.3 Reporte fotográfico de la visita



Fotografía No. 1.- Imagen de la Estación Manuela Sáenz, con vista hacia el norte, desde la calle Manuela Sáenz.



Fotografía No. 2.- Imagen de la Estación La Virgen, con vista hacia el sur, desde Calzada de la Virgen.



Fotografía No. 3.- Imagen de la Estación Tepetlapa, con vista hacia el sur, al fondo se distingue la calle Tepetlapa.



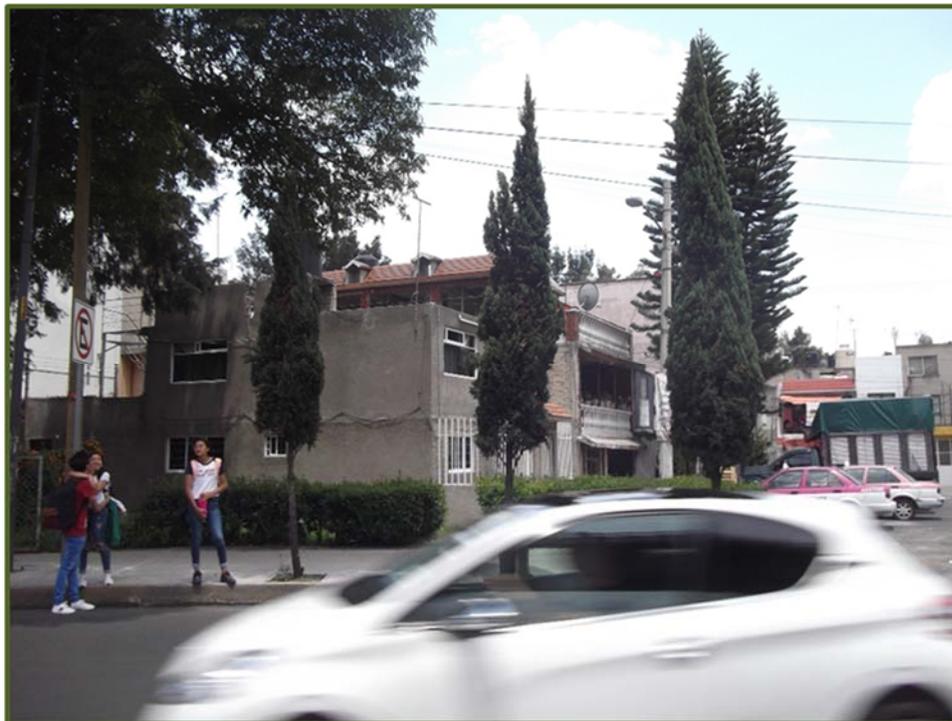
Fotografía No. 4.- Punto de interés 1 para estudio, puente peatonal, con vista hacia el norte, desde la vialidad oriente de la Av. Carlota Armero (Eje 3 Oriente).



Fotografía No. 5.- Punto de interés 2 para estudio, inmuebles de planta baja y dos niveles ubicados en la acera poniente y al sur de la Calle Manuela Sáenz, vista desde la vialidad poniente de la Av. Carlota Armero (Eje 3 Oriente).



Fotografía No. 6.- Punto de interés 3 para estudio, gasolinera, con vista hacia el poniente, desde la vialidad oriente de la Av. Carlota Armero (Eje 3 Oriente).



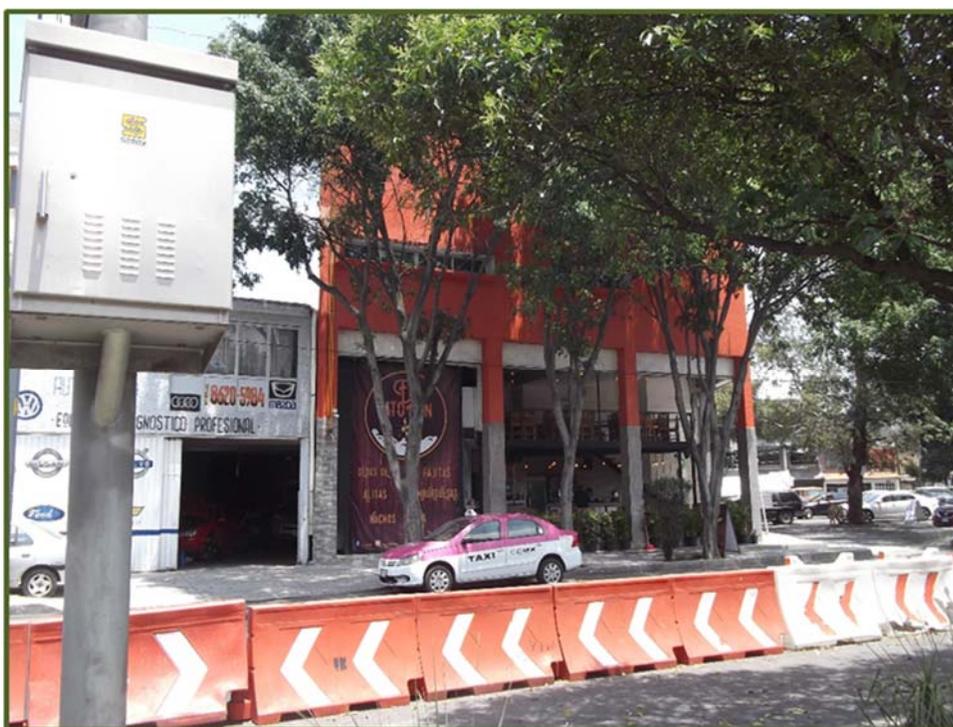
Fotografía No. 7.- Punto de interés 4 para estudio, casa habitación, con vista hacia el oriente, desde la vialidad oriente de la Av. Carlota Armero (Eje 3 Oriente).



Fotografía No. 8.- Punto de interés 5 para estudio, edificio perteneciente a la Marina, con vista hacia el poniente, desde la vialidad poniente de la Av. Carlota Armero (Eje 3 Oriente).



Fotografía No. 9.- Punto de interés 6 para estudio, edificio destinado a vivienda, con vista hacia el poniente, desde la vialidad poniente de la Av. Carlota Armero (Eje 3 Oriente).



Fotografía No. 10.- Punto de interés 7 para estudio, restaurante El Atorón, con vista hacia el oriente, desde la vialidad oriente de la Av. Carlota Armero (Eje 3 Oriente).



Fotografía No. 11.- Punto de interés 8 para estudio, salón de fiestas Kellys, con vista hacia el oriente, desde la vialidad oriente de la Av. Carlota Armero (Eje 3 Oriente).

4 Recopilación y análisis de información

Se hizo una recopilación de información geológica, geotécnica, de hundimiento regional y sísmica para a la zona de estudio; además se obtuvo información respecto a las cargas vivas de diseño (camiones) empleadas actualmente por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) para diseño de su infraestructura, así como la ficha técnica del camión de Metrobús; Tabla No. 1.

No.	Información consultada	Referencia de la fuente
1.-	Zonificación geotécnica	NTC-Diseño Cimentaciones CDMX, año 2017.
2.-	Zonificación geotécnica	J.J. Schmitter, año 1968.
3.-	Levantamiento geológico	Federico Mooser, año 1956.
4.-	Hundimiento regional	DGCOH, años 1983-1998 y 1996-1998.
5.-	Riesgo geológico	Fideicomiso de Estudios Estratégicos, GDF, año 2000.
6.-	Zonificación sísmica	NTC-Diseño Sismo GDF, año 2004.
7.-	Espectro diseño sísmico	NTC-Diseño Sismo CDMX, año 2017.
8.-	Cargas vivas de diseño	Camiones tipo de diseño, Dir. Gral. Carreteras Federales, SCT.
9.-	Información técnica Metrobús	Fabricante Volvo Buses.

Tabla No. 1.- Relación de información recopilada y analizada.

4.1 Zonificación geotécnica

De acuerdo con la Zonificación Geotécnica para la Ciudad de México, contenida en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones editadas el 15 de diciembre de 2017, el sitio se localiza en la **Zona II o de transición**, tal como se indica en la figura 3. En La Zona II o de transición, se caracteriza porque los depósitos profundos se encuentran aproximadamente a 20 m de profundidad, o menos, y que constituida predominantemente por estratos arenosos y limo arenosos, intercalados con **capas de arcilla lacustre**; el espesor de estas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros.

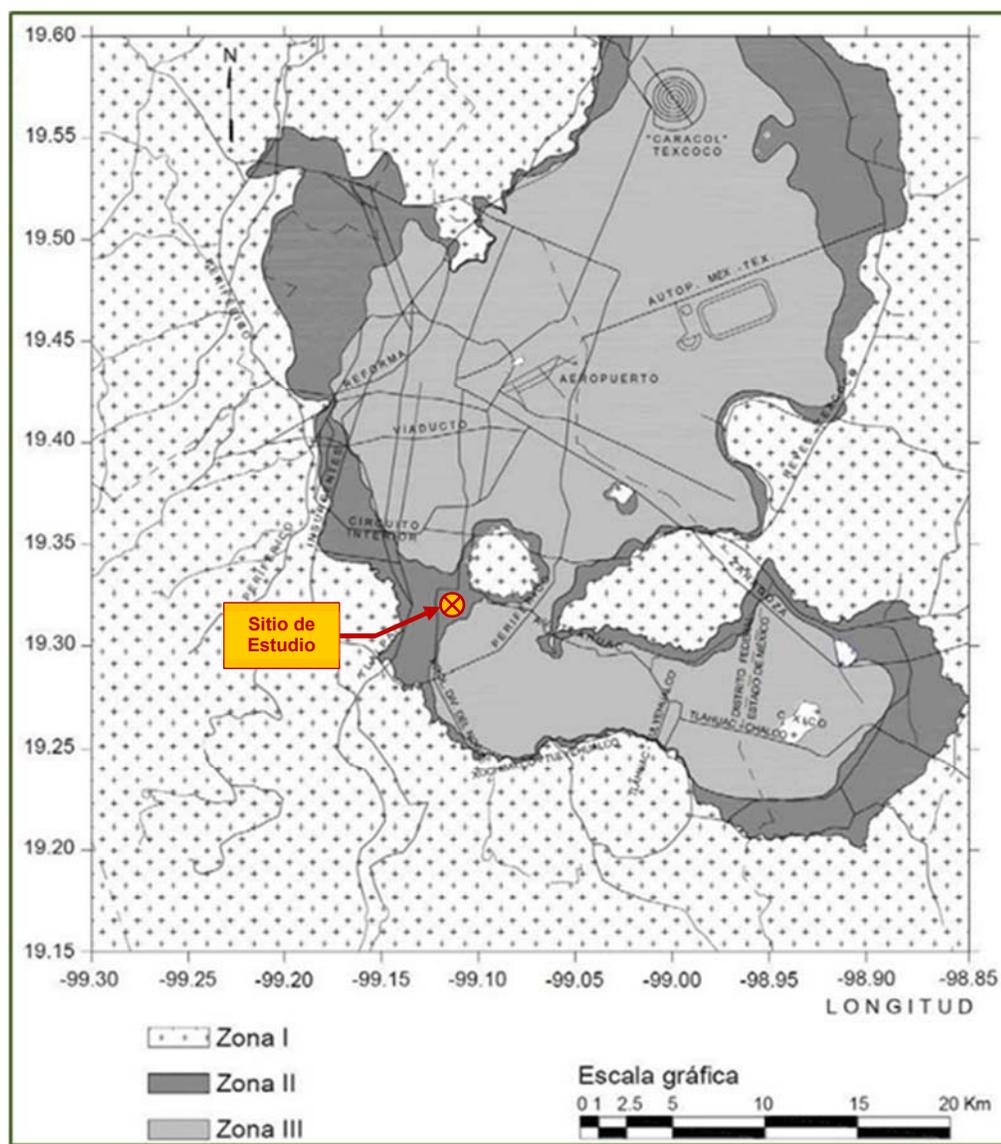


Figura No. 3.- Zonificación geotécnica, NTC-Diseño Cimentaciones CDMX, año 2017.

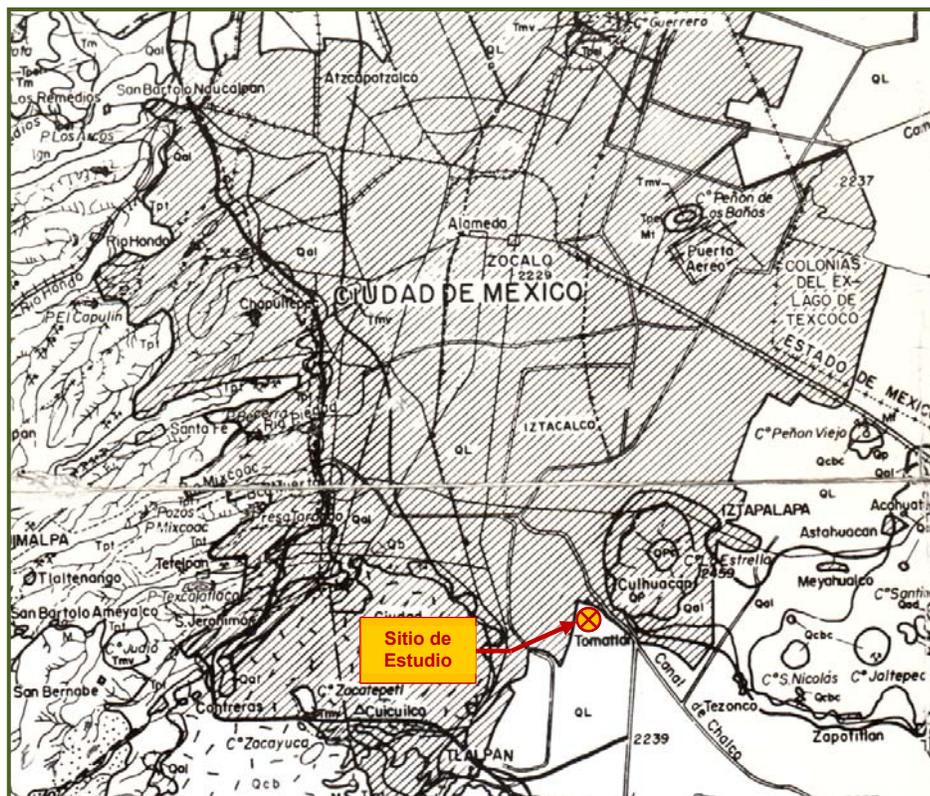


Figura No. 5.- Levantamiento geológico, Federico Mooser año 1956.

4.3 Hundimiento regional

En lo que se refiere al hundimiento regional éste fue del orden de 1.50 cm por año en el período de 1983 a 1998 y para el de 1996 a 1998 fue de 5.00 cm por año de acuerdo con información de la extinta Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, DGCOH, actualmente el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, el cual puede verse incrementado por la explotación de los mantos acuíferos.

4.4 Riesgo geológico

En base al mapa de Riesgos Geológicos editado por el Fideicomiso de Estudios Estratégicos sobre la Ciudad de México, perteneciente al Gobierno de la Ciudad de México, la zona de estudio se localiza **al sur del límite de la zona ex-lacustre y de**

una falla geológica inferida, como se documentó en el estudio de suelos, ver figura 6.

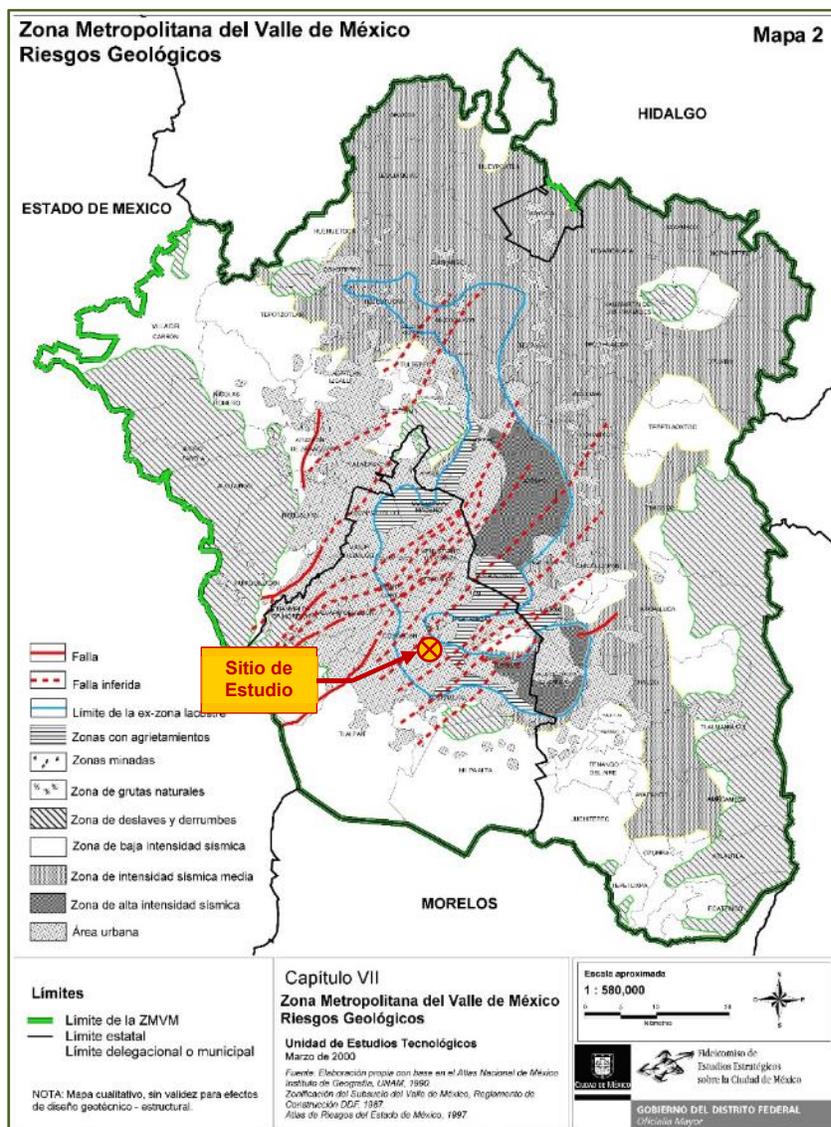


Figura No. 6.- Riesgo geológico, Fideicomiso de Estudios Estratégicos, GDF, año 2000.

4.5 Zonificación sísmica

Con respecto al comportamiento ante cargas accidentales el sitio se encuentra en los límites de las Zona Sísmicas II y IIIa, tal como se muestra en la figura 7 que pertenece a la Normatividad editada en el año 2004. Los coeficientes sísmicos en base a esa norma son de $c=0.32$ y $c=0.40$, respectivamente.

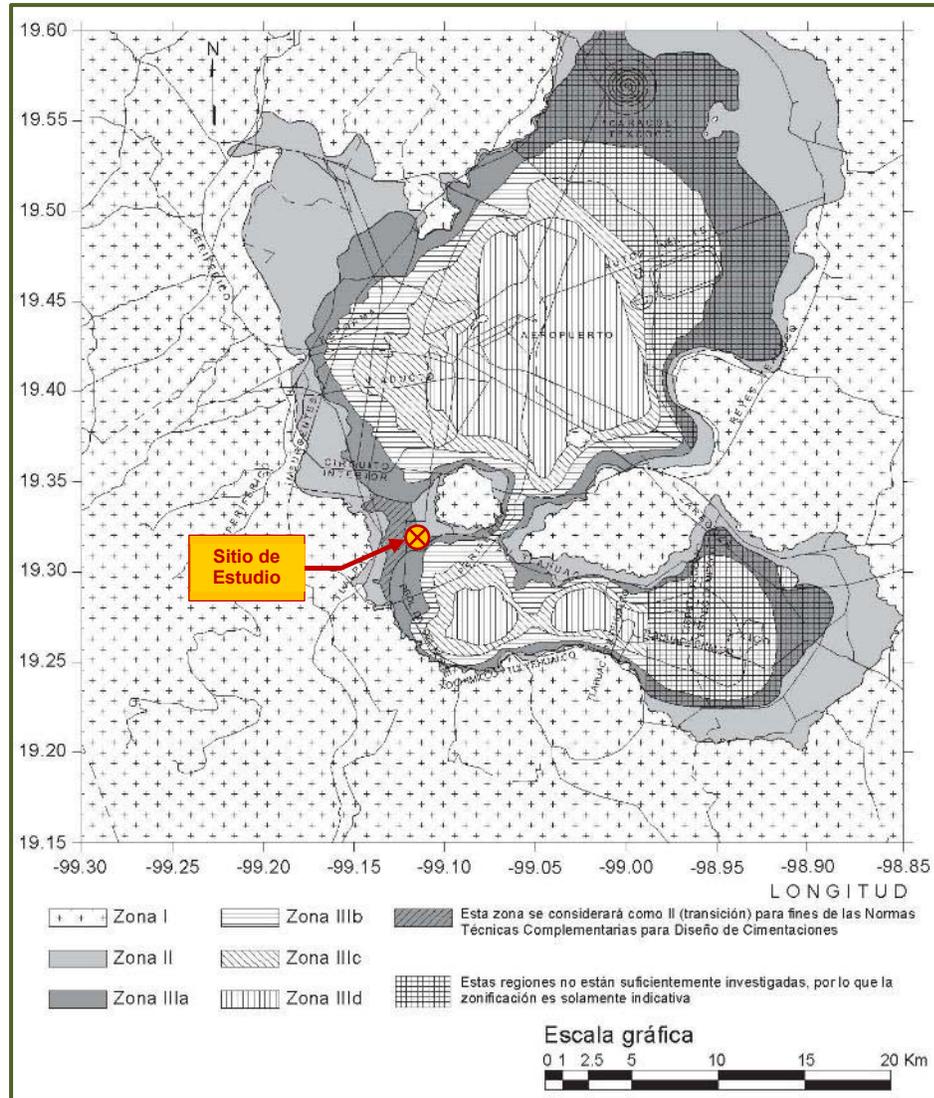


Figura No. 7.- Zonificación sísmica, NTC-Diseño Cimentaciones GDF, año 2004.

4.6 Espectro de diseño sísmico

A partir de lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo editadas para la Ciudad de México el día 15 de diciembre del año 2017 y a la información arrojada por el software SASID, se obtuvieron los espectros de diseño para las tres estaciones de Metrobús involucradas en el estudio.

Para la estación Manuela Sáenz, el coeficiente sísmico de diseño es de $c=0.438$, considerando una estructura del Grupo A1, factor de irregularidad de 1.0, factor de comportamiento sísmico de $Q=2$ y factor de hiperestaticidad $k1=1.0$; ver figura 8.

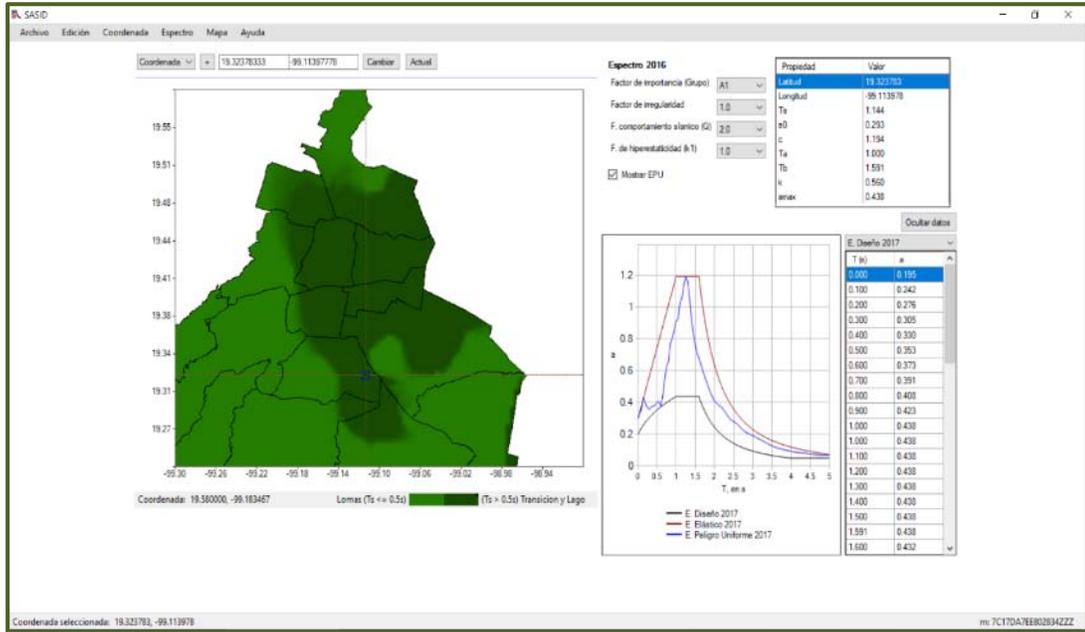


Figura No. 8.- Espectro para diseño sísmico para la estación Manuela Sáenz, NTC-Sismo CDMX, año 2017.

En tanto para la estación La Virgen, el coeficiente sísmico de diseño es de $c=0.448$, considerando una estructura del Grupo A1, factor de irregularidad de 1.0, factor de comportamiento sísmico de $Q=2$ y factor de hiperestaticidad $k_1=1.0$; ver figura 9.

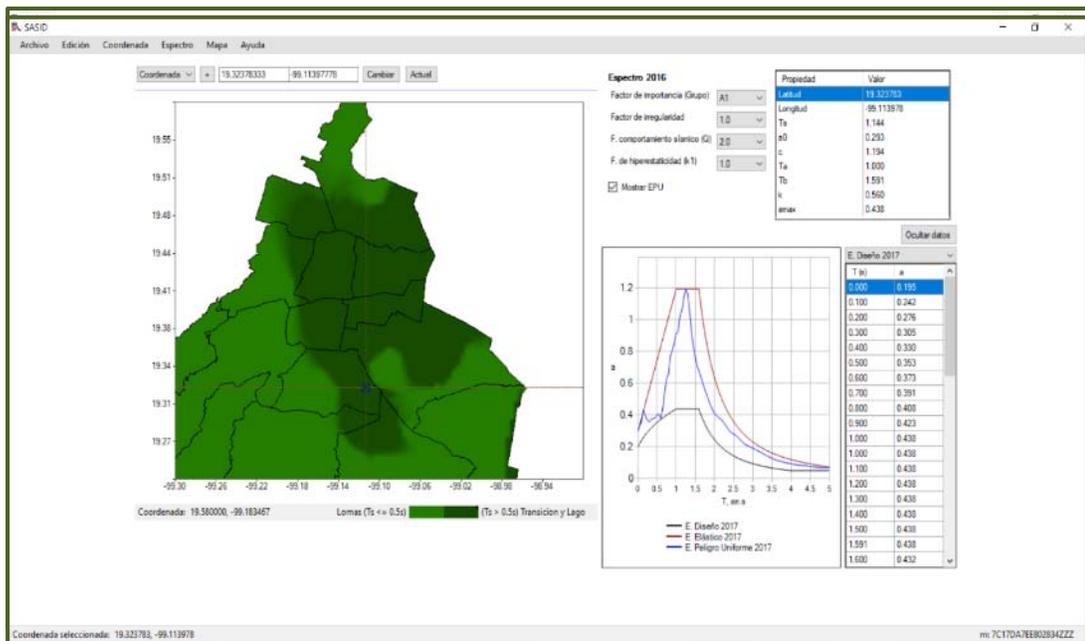


Figura No. 9.- Espectro para diseño sísmico para la estación La Virgen, NTC-Sismo CDMX, año 2017.

Finalmente, para la estación Tepetlapa, el coeficiente sísmico de diseño es de **$c=0.450$** , considerando una estructura del Grupo A1, factor de irregularidad de 1.0, factor de comportamiento sísmico de $Q=2$ y factor de hiperestaticidad $k1=1.0$; ver figura 10.

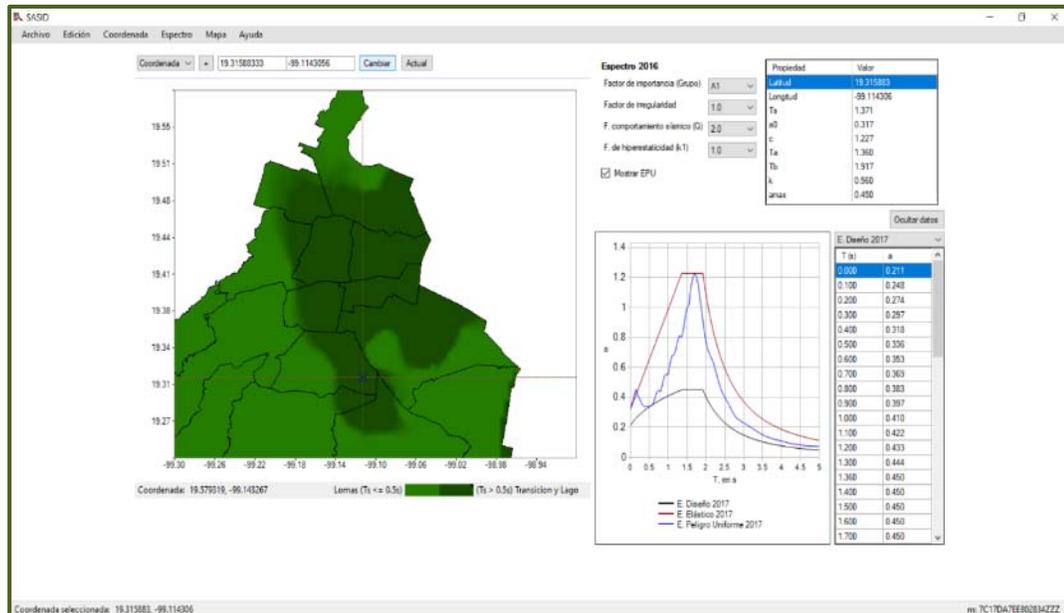


Figura No. 10.- Espectro para diseño sísmico para la estación Tepetlapa, NTC-Sismo CDMX, año 2017.

4.7 Cargas vivas de diseño (camiones)

Con base a lo establecido por la Dirección General de Carreteras Federales, perteneciente a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, se obtuvieron las cargas vivas de diseño (camiones tipo), que se emplean en el proyecto y/o revisión de su infraestructura, específicamente para puentes, alcantarillas, viaductos, pasos superiores e inferiores vehiculares, entronques, etc; esto con la finalidad de efectuar mas adelante la comparativa de descargas e influencia contra las impuestas por el Metrobús articulado.

En la tabla No. 2, se hace un resumen de los camiones tipo, así como de su peso bruto vehicular total. A modo de explicar la descripción del camión, la letra “T” se refiere al Tractor y el número que le procede son los ejes; la letra “S” define al Semiremolque y la “R” al Remolque.

No.	Descripción de la carga Viva	Peso bruto vehicular en toneladas
1.-	T3-S2-R4 (TIPO I)	72.50
2.-	T3-S3 (TIPO I)	48.50
3.-	T3-S2-R4 (TIPO II)	58.00
4.-	T3-S3 (TIPO II)	43.00
5.-	HS-20	32.67
6.-	HS-15	24.50
7.-	H-15	13.61

Tabla No. 2.- Relación de cargas vivas, SCT, empleadas para proyectos y/o revisiones.

En seguida se muestran esquemáticamente los camiones tipo, para una mejor comprensión.

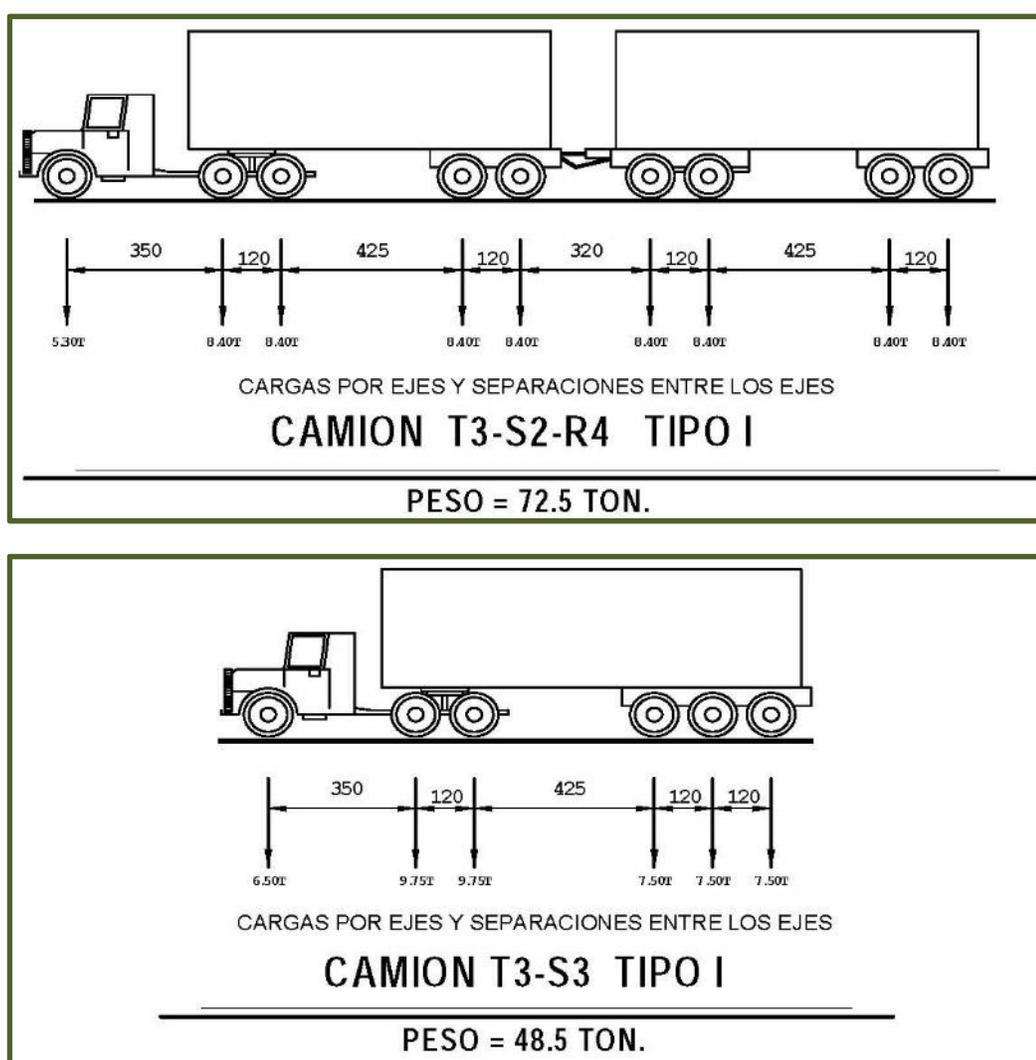


Figura No. 11.- Características de dimensiones y cargas para camiones tipo T3-S2-R4 y T3-S3, Tipo I.

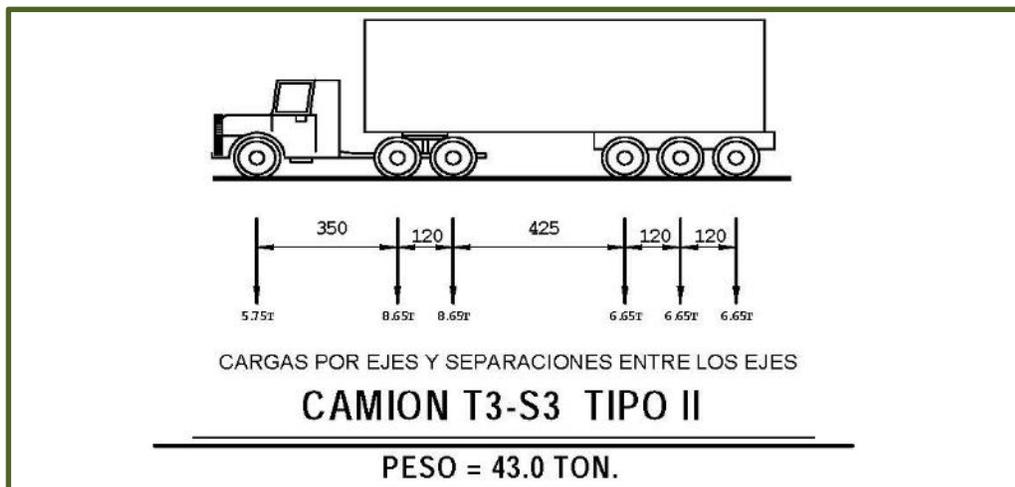
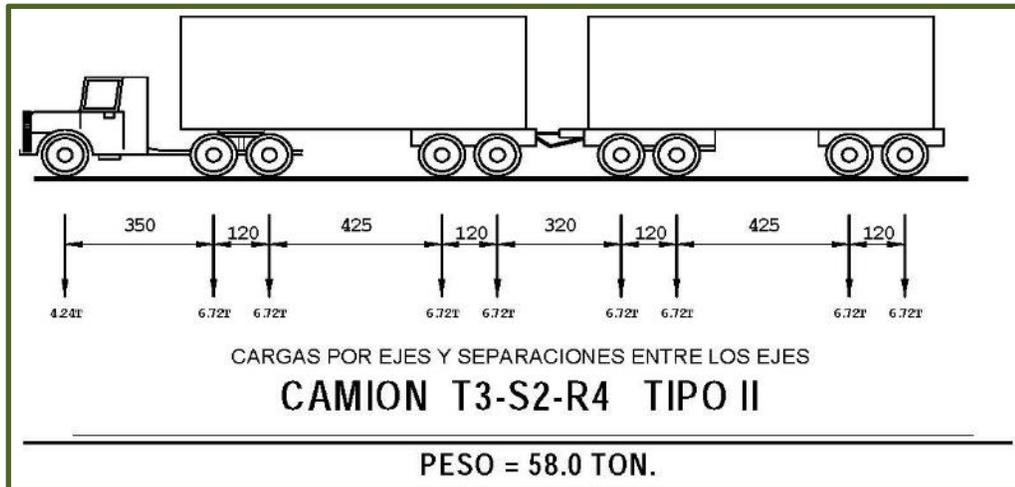


Figura No. 12.- Características de dimensiones y cargas para camiones tipo T3-S2-R4 y T3-S3, Tipo II.



Figura No. 13.- Características de dimensiones y cargas para camión tipo HS-20.



Figura No. 14.- Características de dimensiones y cargas para camión tipo HS-15.

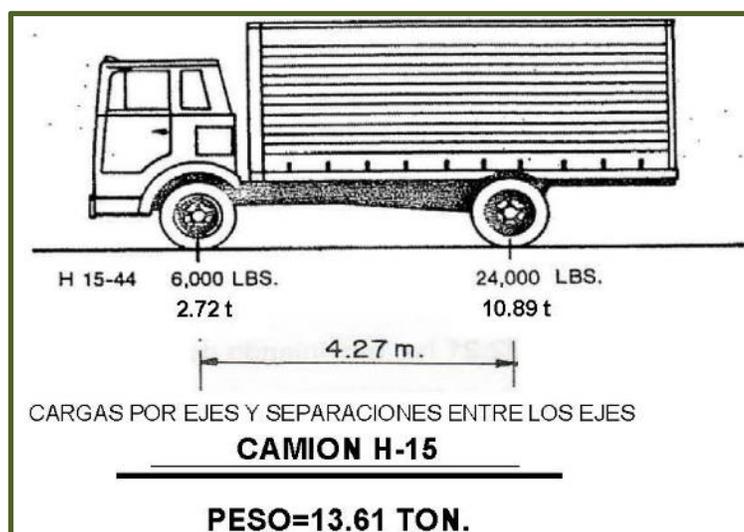


Figura No. 15.- Características de dimensiones y cargas para camión tipo H-15.

4.8 Información técnica del Metrobús

Se consultó la página electrónica del fabricante de los autobuses de Metrobús, se eligió el camión tipo “articulado”, el cual circulará en el tramo de estudio.

La marca del camión es Volvo Buses modelo 7300 BRT del tipo articulado, encontrándose que su peso bruto vehicular es de 30.50 toneladas a su máxima capacidad de 140 pasajeros, distribuido en tres ejes. En la figura No. 16 se muestran sus características mas relevantes para el presente estudio.



Figura No. 16.- Características de dimensiones y cargas para Metrobús articulado, marca VOLVO, modelo 7300 BRT.

5 Trabajos de campo

5.1 Metodología para mediciones

De acuerdo con los estándares internacionales, la metodología utilizada para el estudio de medición de ruido sísmico en el tramo de estudio fue el siguiente:

- 1) Se hizo un recorrido preliminar, con personal técnico de la Dirección General de Construcción de Obras Públicas y del Metrobús, para determinar los puntos más críticos que pudieran ser más sensibles por la vibración inducida por el paso del camión del Metrobús; tales como construcciones de más de dos niveles que se localizasen en la margen de la vialidad, dando prioridad a edificios de vivienda, hospitales y escuelas.
- 2) El tipo de cargas vivas o móviles que serán la fuente para el estudio será el Metrobús y el tránsito vehicular manifestado durante el día en la zona. Para ello se contempló cargar el autobús con galones de agua debidamente distribuidos en toda su área, para simular la carga máxima de operación, 140 pasajeros; así como la velocidad máxima de tránsito permitida. De la fuente de tráfico normal en la vialidad, de preferencia se tomaron lecturas en los equipos, cuando circularon camiones como los definidos en el capítulo 4.7 del presente documento.

- 3) Se emplearon dos equipos receptores para medir la vibración de la marca *Instantel* de alta resolución en cada sitio elegido a partir de lo definido en el capítulo 3.2 del presente documento, uno en cada extremo de la vialidad (uno en la acera oriente y otro en el poniente) adjuntos a las inmuebles o sitios críticos, con el objeto de tomar dos lecturas, y conocer la influencia de las fuentes móviles, simultáneamente en los dos extremos, salvo la estación 5 que es el puente peatonal.

Las mediciones se realizaron en cada punto durante media hora para tener claro que los valores obtenidos fuesen confiables.

En la figura 17, se muestran los puntos o estaciones de toma de lectura en específico y están numerados de sur a norte.



Figura No. 17.- Estaciones en donde se realizó la medición de vibración por paso del Metrobús y tránsito normal de la vialidad.

- 4) Se contempló los dos escenarios de cargas descritas anteriormente, y de ellas se tomaron las lecturas correspondientes en los puntos específicos, y son:

- 4.1) Lecturas con el **tránsito normal** de la zona **SIN METROBÚS**.
- 4.2) Lecturas con el **tránsito normal** de la zona **CON METROBÚS**, ya sea con su velocidad cruceo ó frenado, este último aspecto se hizo en las estaciones o semáforos.
- 5) Una vez realizado los trabajos de campo se hizo el procesamiento de la información en gabinete, que tuvo como objetivo realizar una comparativa entre los dos escenarios de cargas usadas como fuentes, así como su verificación contra los estándares internacionales permitidos.

5.2 Equipo de medición empleado

Se instalaron en cada uno de los puntos de estudio, en ambas aceras, un medidor de velocidad de partícula marca *Instantel* que tiene un geófono capaz de medir velocidades de partícula del subsuelo en un rango de 2 a 250 Hz de hasta 254 mm/s. En la figura No. 18 se muestra el equipo de medición empleado.



Figura No. 18.- Instrumento de marca *Instantel* utilizado para medir las vibraciones causadas por las fuentes móviles.

5.3 Reporte fotográfico de trabajos de campo



Fotografía No. 12.- Vista al interior del camión de Metrobús usado en los trabajos de campo, se cargó con galones de agua, para simular la carga máxima de operación, 140 pasajeros.



Fotografía No. 13.- Imagen del Metrobús, en tránsito, en el tramo de estudio.



Fotografía No. 14.- Imagen del Metrobús frenando súbitamente en la estación.



Fotografía No. 15.- Imagen de colocación del equipo de medición, en zona de puente peatonal. En esta estación solo se colocó un equipo de medición.



Fotografía No. 16.- Imagen de personal de apoyo en los trabajos de campo.



Fotografía No. 17.- Imagen de camiones que transitan por la vialidad del Eje 3, Carlota Armero.



Fotografía No. 18.- Imagen del Metrobús durante los trabajos de campo.



Fotografía No. 19.- Imagen del Metrobús durante los trabajos de campo.



Fotografía No. 20.- Imagen de camiones que transitan por la vialidad del Eje 3, Carlota Armero.



Fotografía No. 21.- Imagen del Metrobús durante los trabajos de campo.



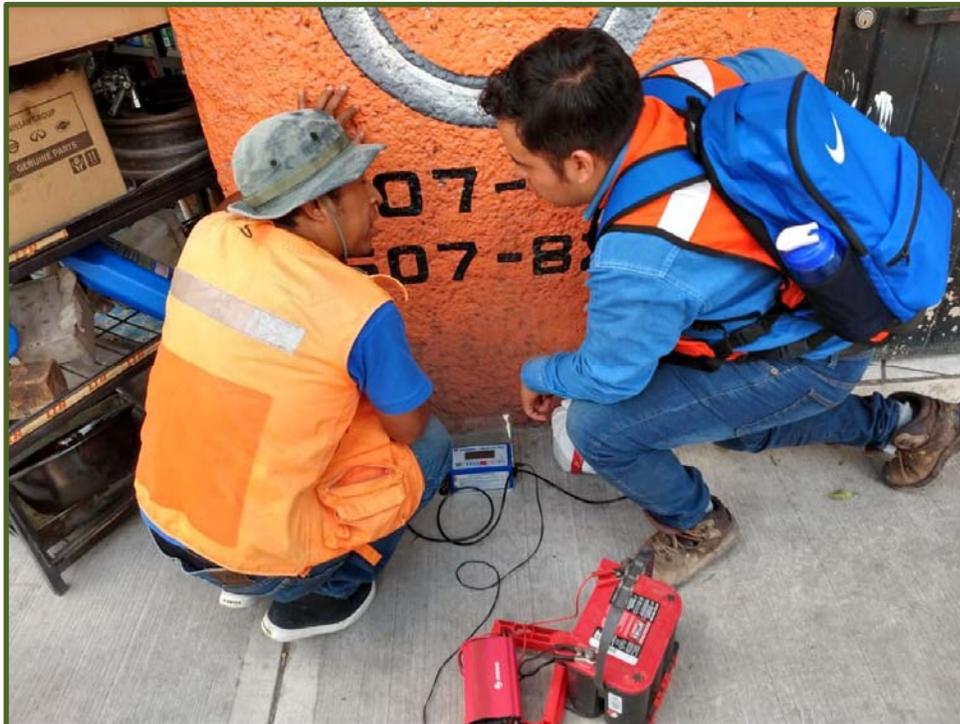
Fotografía No. 22.- Imagen del Metrobús durante los trabajos de campo.



Fotografía No. 23.- Imagen de colocación del equipo de medición.



Fotografía No. 24.- Imagen de colocación del equipo de medición.



Fotografía No. 25.- Imagen del equipo de medición en campo registrando datos.



Fotografía No. 26.- Imagen del equipo de medición en campo registrando datos.



Fotografía No. 27.- Imagen al interior del Metrobús durante los trabajos de campo, véase parte del personal de apoyo.



Fotografía No. 28.- Imagen desde el camión de Metrobús en tránsito, durante los trabajos de campo.



Fotografía No. 29.- Imagen del equipo de medición en campo registrando datos.



Fotografía No. 30.- Imagen del equipo de medición en campo registrando datos.



Fotografía No. 31.- Imagen del equipo de medición en campo registrando datos.



Fotografía No. 32.- Imagen del equipo de medición en campo registrando datos.

6 Procesamiento de la información de campo

6.1 Normatividad

La Figura 19 muestra un compendio que se realizó con base en una investigación de las normas internacionales más reconocidas. Los diferentes símbolos a un lado de cada línea muestra la norma correspondiente. Es importante hacer notar que las normas más exigentes, como la sueca y la alemana, consideran como permisibles los valores de aproximadamente 2.7 a 3 mm/s, a frecuencias de 1 a 100 Hertz.

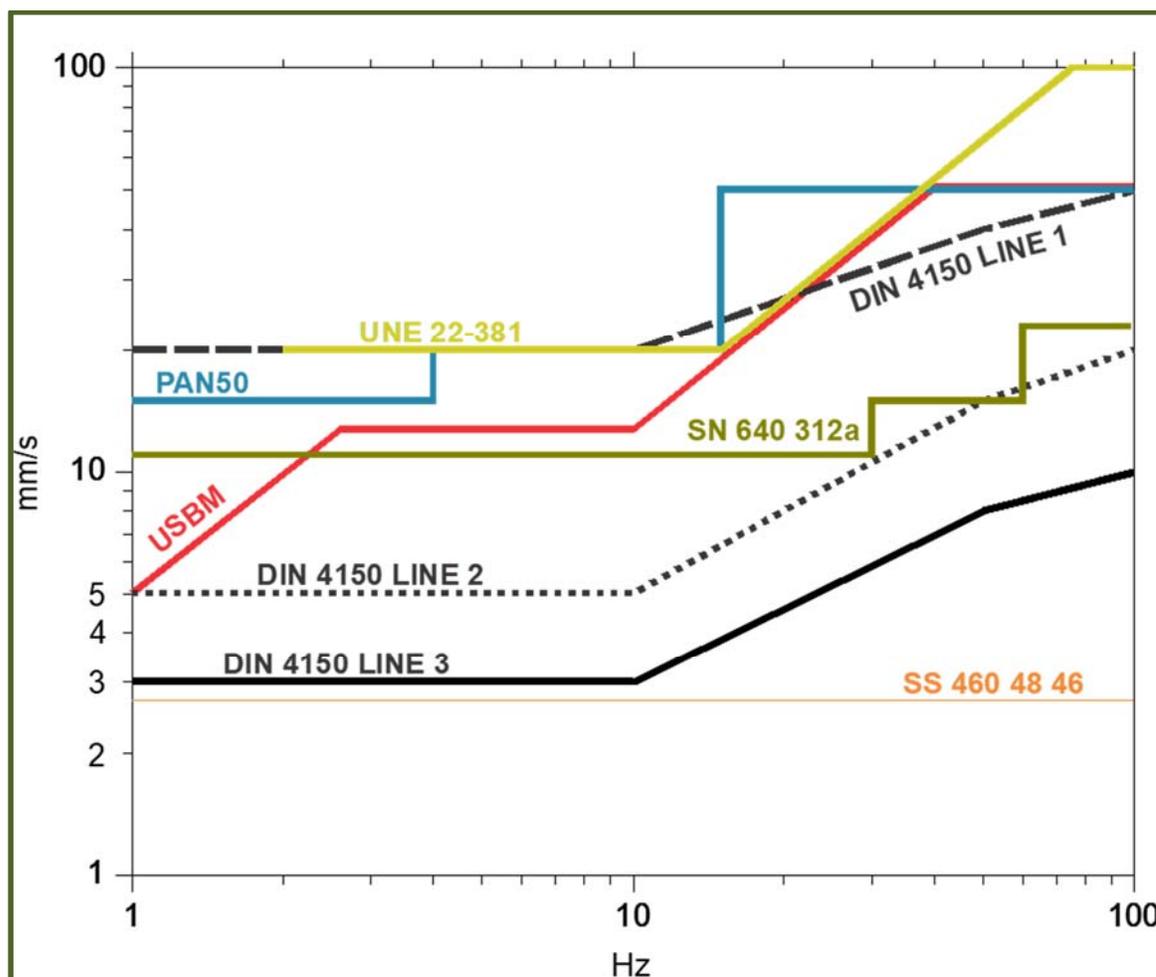


Figura No. 19.- Resumen gráfico de las normas internacionales.

En la figura citada, se presenta un resumen gráfico de las normas internacionales más reconocidas que indican los niveles aceptables de velocidad de partícula del suelo. Por debajo de los niveles prescritos, las normas señalan que no debe existir

afectación a las personas o edificaciones. Los símbolos corresponden a la siguiente nomenclatura: DIN 4150 es la norma alemana (línea negra), USBM es la norma de los Estados Unidos (línea roja), SN 640 312 es la norma suiza (línea verde oscura), PAN 50 es la norma escocesa (línea azul), y UNE 22-381 (verde claro) es la norma española. La norma sueca SS 460 48 46 se representa con una línea continua independiente de la frecuencia con un valor de velocidad igual a 2.7 mm/s. La norma del Reino Unido BS 7385 no se grafica pues es idéntica a la de los Estados Unidos de Norte America.

En este estudio se decidió comparar los resultados de las mediciones del paso del Metrobús a la norma alemana DIN-4150. Como se anotó arriba, se seleccionó esta norma ya que tiene varios ramales dependiendo del tipo de construcción que pudiese ser afectada. La línea que corresponde a la norma DIN-4150-3 corresponde a los valores aceptados de velocidad de partícula del subsuelo (PGV, peak ground velocity en inglés) para construcciones críticas como hospitales, laboratorios o edificios con instrumentos de medición de alta precisión. La línea DIN-4150-2 corresponde a casas habitación y edificios convencionales, como los que se encuentran en la zona de interés a este estudio. Los de la línea 1, de la misma norma, son valores de PGV superiores son para naves industriales.

Igualmente, los resultados se comparan con los valores de la Oficina de Minas de los Estados Unidos (USBM RI 8507). Esto se hizo debido a que esta norma, a pesar de haber sido calculada para explosiones en minas, es frecuentemente utilizada en México para medir vibraciones causadas por tráfico vehicular u obras civiles a construcciones urbanas.

6.2 Resultados de mediciones

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en el tramo de estudio de la ruta del Metrobús. La numeración indicada en el pie de imagen de las figuras siguientes es de sur a norte, como se indica en el mapa mostrado en la figura No. 17.

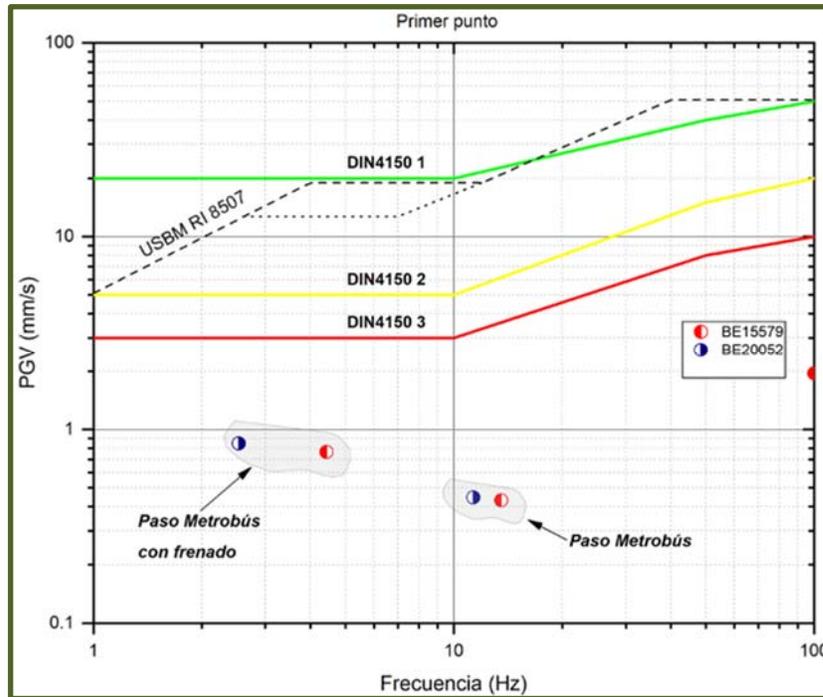


Figura No. 20.- Resultados de mediciones realizadas en la *Estación 1*.

Los colores de los símbolos representan el número de serie del equipo utilizado. Se colocó un equipo a ambos lados de la acera de la avenida y se comparan lado a lado con la sombra color gris.

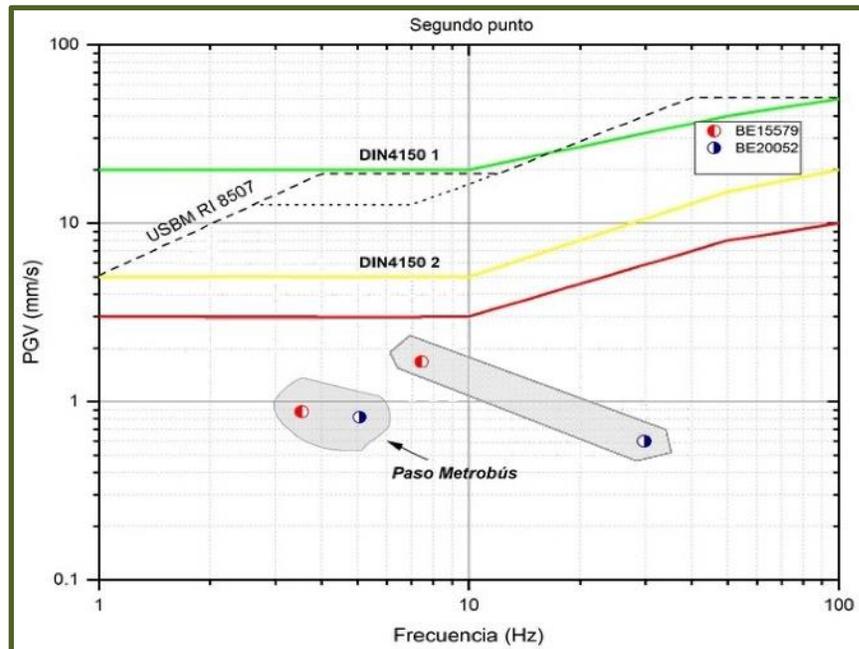


Figura No. 21.- Resultados de mediciones realizadas en la *Estación 2*.

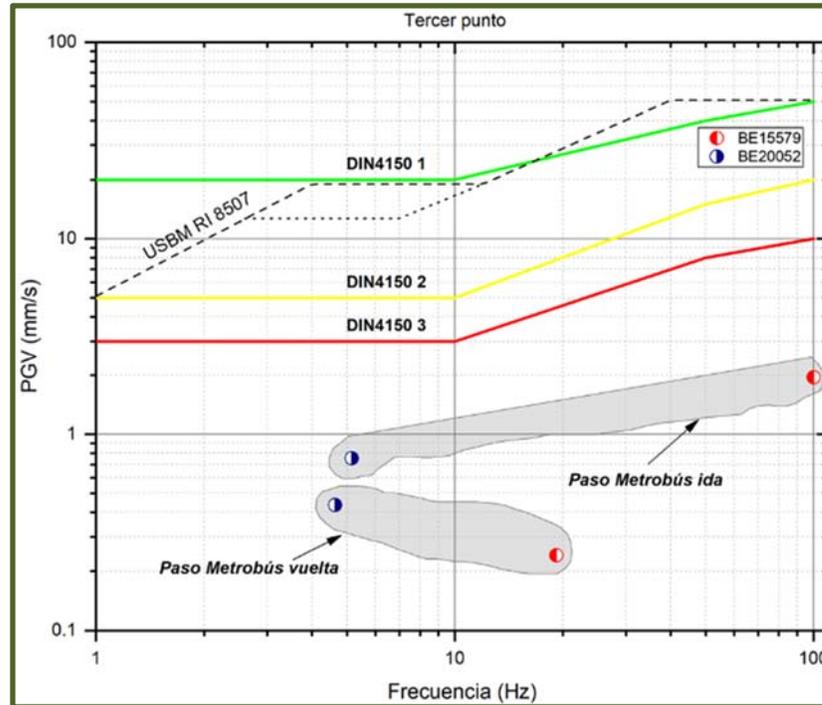


Figura No. 22.- Resultados de mediciones realizadas en la *Estación 3*.

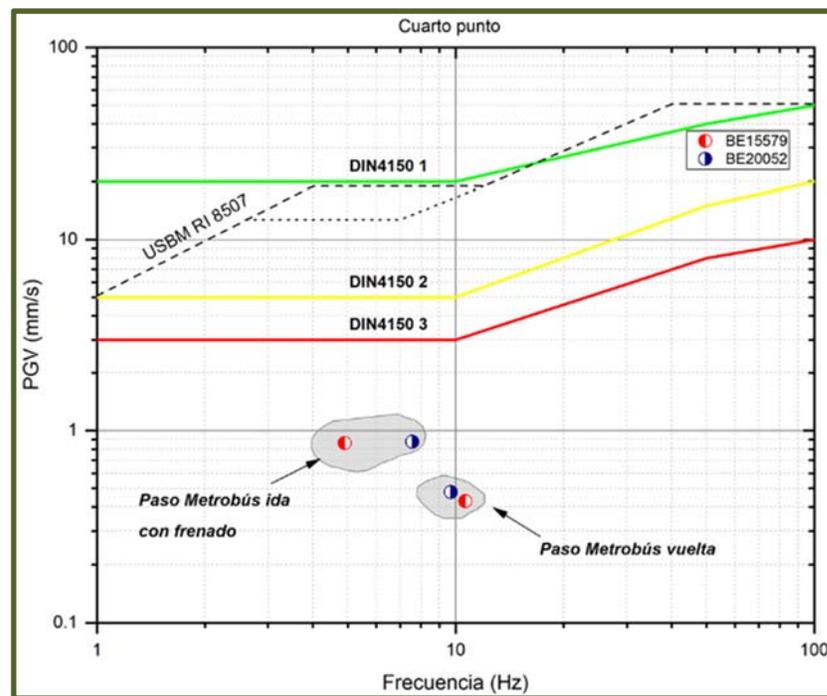


Figura No. 23.- Resultados de mediciones realizadas en la *Estación 4*.

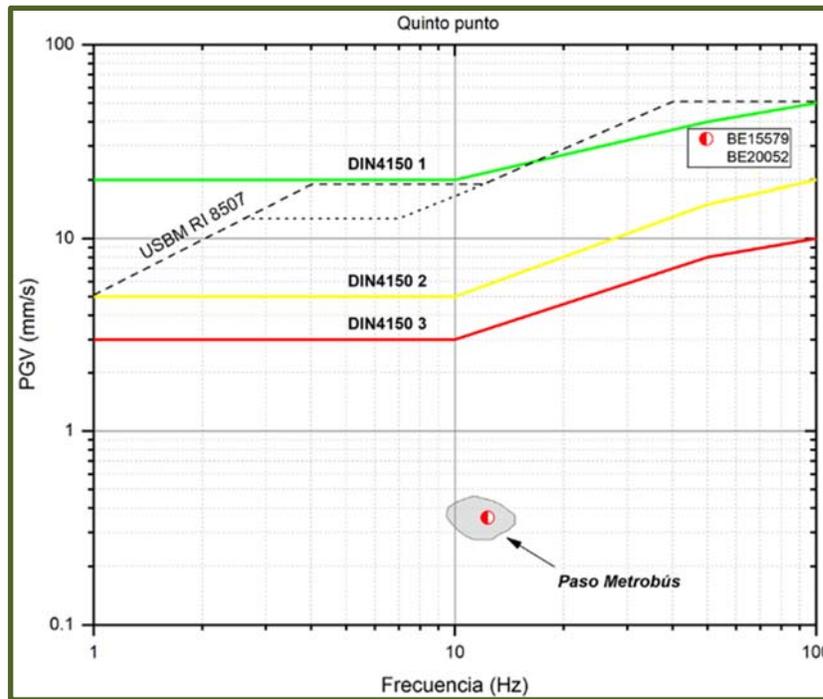


Figura No. 24.- Resultados de mediciones realizadas en la *Estación 5*.

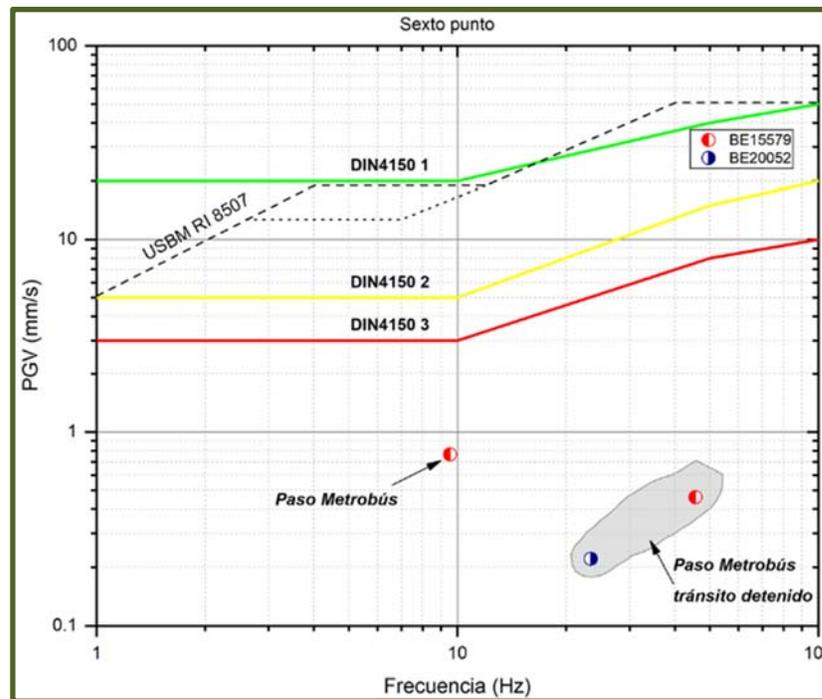


Figura No. 25.- Resultados de mediciones realizadas en la *Estación 6*.

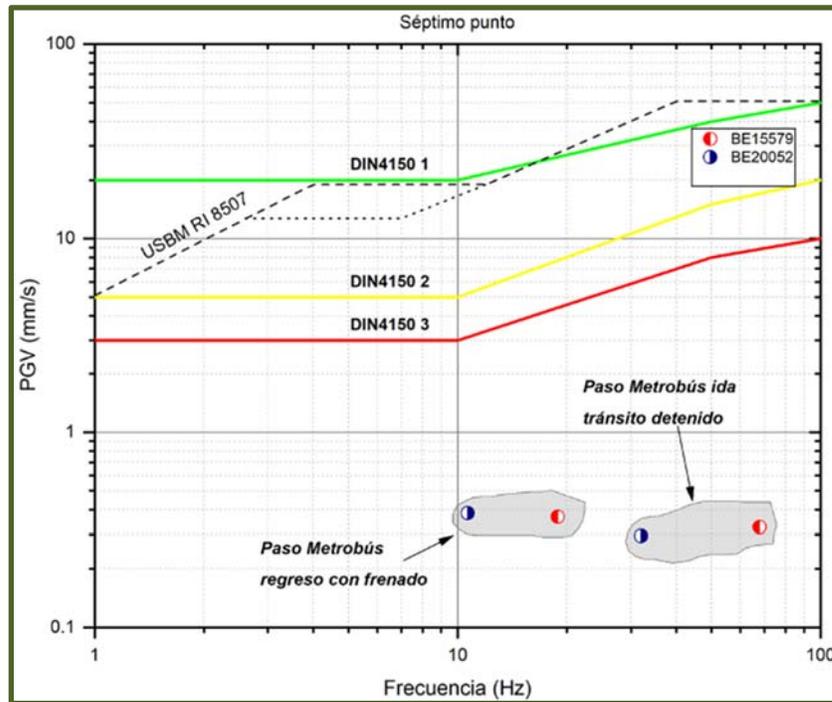


Figura No. 26.- Resultados de mediciones realizadas en la *Estación 7*.

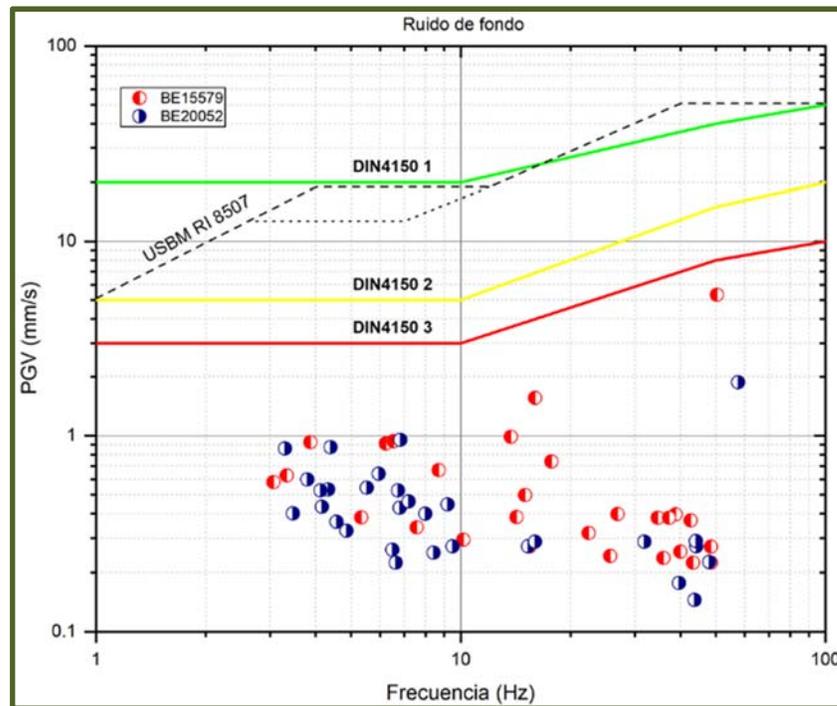


Figura No. 27.- Resultados de mediciones realizadas en las 7 Estaciones, con el tráfico vehicular normal en Av. Carlota Armero ó Eje 3 Oriente, SIN METROBUS.

6.3 Discusión de resultados

Los resultados mostrados en las figuras No. 20 a 27, que corresponden a las estaciones de medición 1 a 7, y cuentan con las siguientes características:

a).- Las curvas roja, amarilla y verde corresponden a la norma alemana DIN4150. La más baja, y más conservadora, se usa para evaluar vibraciones sísmicas inducidas en hospitales o edificios con instrumentación sensible. La segunda (en color amarillo) es para casas habitación y edificios, mientras que la tercera, dibujada en color verde es para naves industriales. La curva punteada corresponde a la norma del Bureau of Mines que se usa en México frecuentemente (USBM RI 8507). Se utiliza la norma alemana pues no existe una norma mexicana. Además, de las muchas normas internacionales existentes, la norma alemana es una de las más conservadoras y por ello una buena referencia para evaluar el efecto de las vibraciones sísmicas inducidas y su potencial efecto en edificaciones. En México se usa comúnmente la del U.S Bureau of Mines (USBM RI 8507). Sin embargo, esta fue calibrada especialmente para explosiones en minas y no para tráfico vehicular.

b).- Es claro en todas las figuras que los valores de las mediciones están por debajo de la norma alemana más conservadora y muy por debajo de la del Bureau of Mines.

c).- En la tercera estación de medición, existen valores muy distintos a ambos lados de la acera para el paso del Metrobús; sin embargo los valores máximos permisibles en las normas internacionales no fueron rebasados.

d).- Lo que también importante de resaltar es que, en el caso del Metrobús, ninguno de las mediciones de su paso, frenando o no, están por arriba de la norma alemana más conservadora y están por debajo de la norma alemana que debe usarse en estos casos para casas habitación (línea amarilla). El resumen de las mediciones de vibración sísmica inducida en el terreno debido al paso del Metrobús se muestra en la figura No. 28. Igualmente, se muestra cómo se mencionó anteriormente, es que el Metrobús, aún en el proceso de frenado no causa una vibración del suelo que rebase las normas internacionales más estrictas.

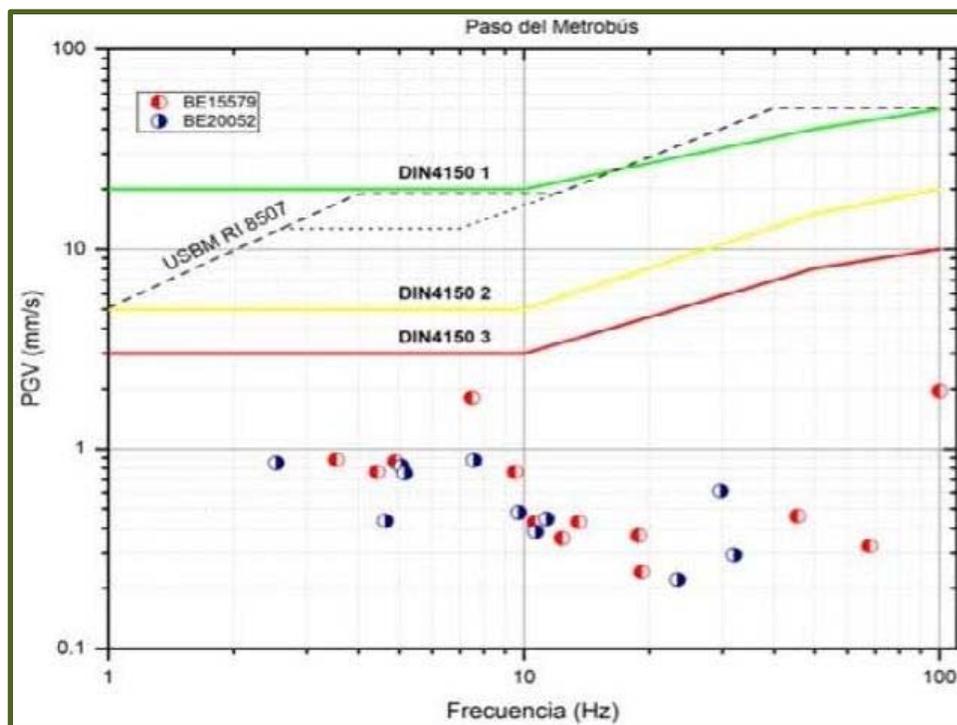


Figura No. 28.- Resumen de las observaciones de medición de ruido sísmico inducido por el paso del Metrobús.

e).- Además de realizarse lecturas de tránsito vehicular de Metrobús, se realizaron lecturas de vibración generadas por el tránsito normal de vehículos en la zona, en los mismos sitios donde se realizaron las lecturas de vibración, cuyo resultados se muestran en la figura No. 27. Se observa que el tráfico vehicular normal del Eje 3 Oriente induce vibraciones más intensas en promedio de la que genera el Metrobús solo, y si se compagina el tránsito normal con vehículos cargueros y el Metrobús si acaso llegara al nivel de perceptible por personas en reposo a nivel de suelo, situación que probablemente sea inducida principalmente por el paso de vehículos de carga de pocos ejes o bien camiones de volteo y/o cargueros a máxima capacidad, más que el flujo de operación del Metrobús como se puede ver en los pasos controlados del vehículo fuente solo sin la adición del tráfico normal del Eje 3 Oriente.

7 Análisis de cargas móviles tipo SCT y Metrobús

7.1 Comparativa de pesos brutos vehiculares

En la tabla No. 3 se presenta el resumen de cargas tipo SCT y del Metrobús Articulado, encontrándose que a partir del camión HS-20, el peso bruto vehicular supera por mucho el peso del Metrobús.

No.	Descripción de la carga Viva	Peso bruto vehicular en toneladas
1.-	T3-S2-R4 (TIPO I)	72.50
2.-	T3-S3 (TIPO I)	48.50
3.-	T3-S2-R4 (TIPO II)	58.00
4.-	T3-S3 (TIPO II)	43.00
5.-	HS-20	32.67
6.-	HS-15	24.50
7.-	H-15	13.61
8.-	Metrobús articulado	30.50

Tabla No. 3.- Relación de cargas vivas, SCT, empleadas para proyectos y/o revisiones; y peso del Metrobús tipo Articulado.

Para tener una mejor comparativa, a continuación, se anotan en la Tabla No. 4, los porcentajes que se exceden los camiones tipo SCT, que circulan en las vialidades, respecto al Metrobús Articulado, tomando como base su peso bruto vehicular.

No.	Descripción de la carga Viva	Porcentaje que excede al Metrobús
1.-	T3-S2-R4 (TIPO I)	138
2.-	T3-S3 (TIPO I)	59
3.-	T3-S2-R4 (TIPO II)	90
4.-	T3-S3 (TIPO II)	41
5.-	HS-20	7

Tabla No. 4.- Porcentaje que excede el peso contra el del Metrobús Articulado.

7.2 Cálculo de línea de influencia para cargas móviles

Para tener una idea más clara de la influencia de los diferentes camiones tipo establecidos por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, respecto a la longitud total de ejes del Metrobús Articulado, que es de 12.40 m; se hizo el cálculo de la Línea de Influencia por medio del programa SAP-2000 versión 14, y así efectuar la comparativa respectiva.

A continuación, se muestran las figuras de captura de los trenes de carga para los diferentes camiones y el resultado de la corrida, la fuerza cortante, cuya información es idónea para el cometido investigado.

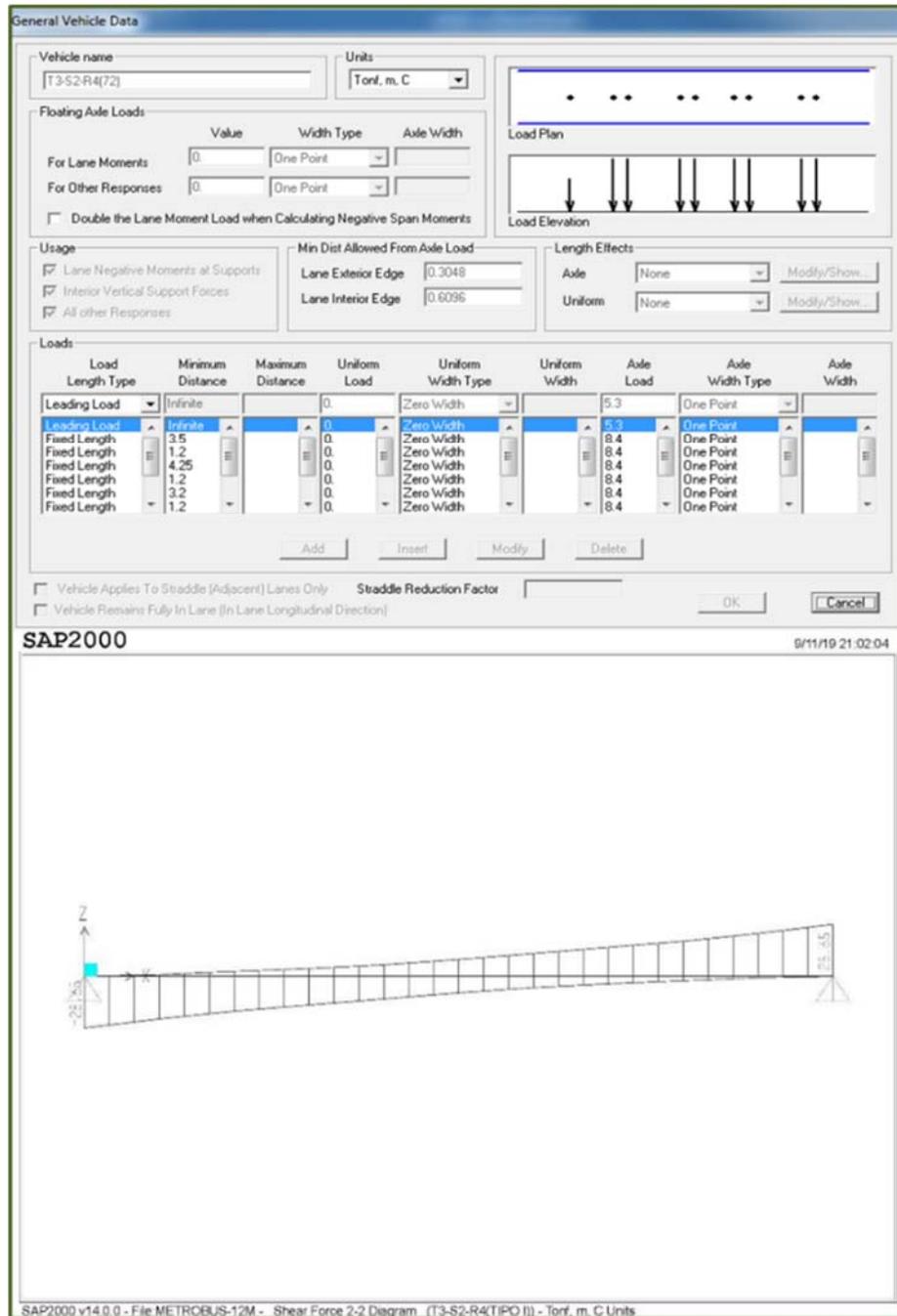


Figura No. 29.- Captura de información en programa SAP-2000 del camión T3-S2-R4 (TIPO I) y resultado de la fuerza cortante por efecto de Línea de Influencia en 12.40 m.

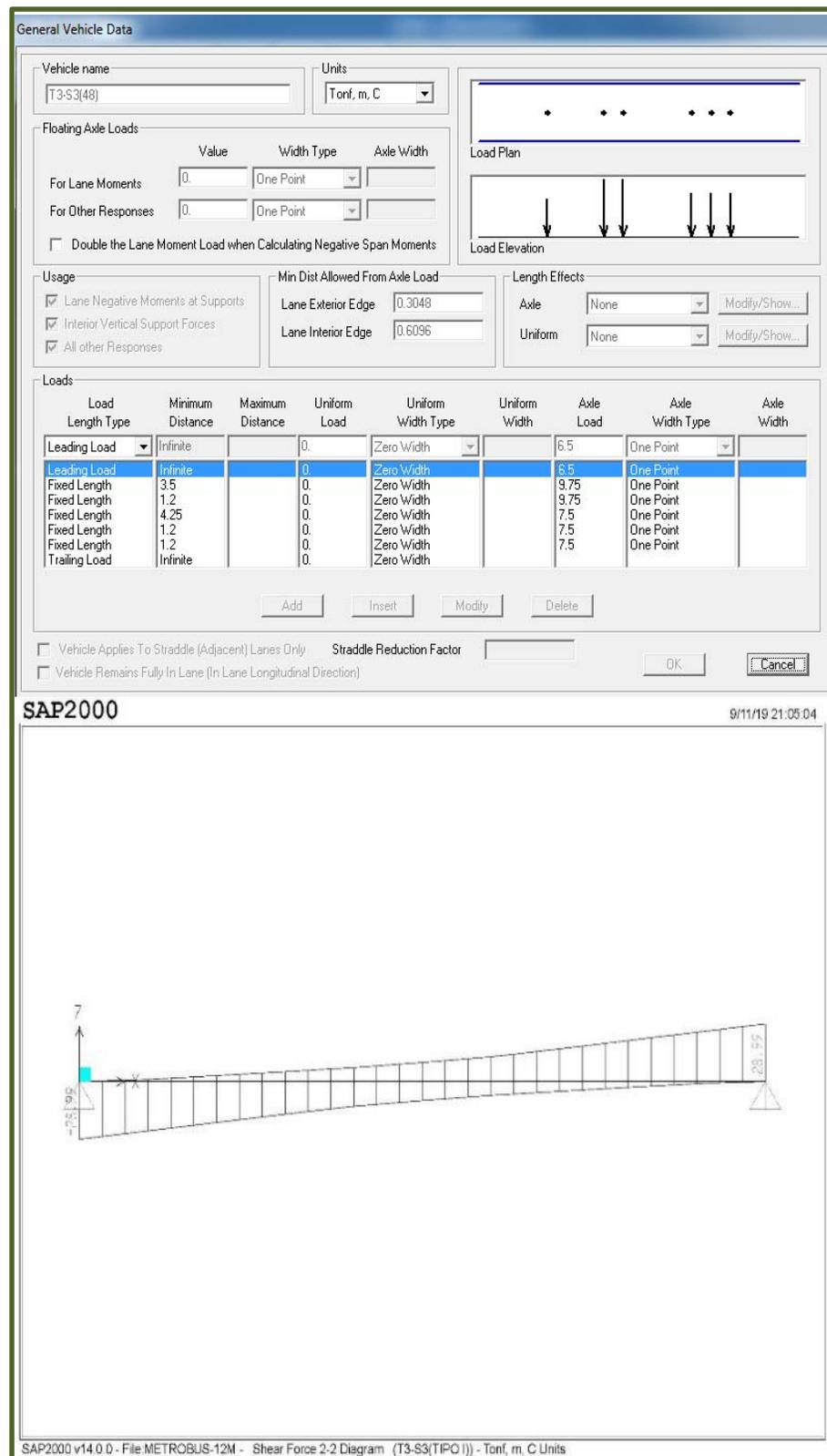


Figura No. 30.- Captura de información en programa SAP-2000 del camión T3-S3 (TIPO I) y resultado de la fuerza cortante por efecto de Línea de Influencia en 12.40 m.

General Vehicle Data

Vehicle name: T3-S2-R4(58) Units: Tonf, m, C

Floating Axle Loads:

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0.	One Point	
For Other Responses	0.	One Point	

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage:

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load:

Lane Exterior Edge: 0.3048
 Lane Interior Edge: 0.6096

Length Effects:

Axle: None Modify/Show...
 Uniform: None Modify/Show...

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		0.	Zero Width		4.24	One Point	
Leading Load	3.5		0.	Zero Width		4.24	One Point	
Fixed Length	1.2		0.	Zero Width		6.72	One Point	
Fixed Length	4.25		0.	Zero Width		6.72	One Point	
Fixed Length	1.2		0.	Zero Width		6.72	One Point	
Fixed Length	3.2		0.	Zero Width		6.72	One Point	
Fixed Length	1.2		0.	Zero Width		6.72	One Point	

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor:

Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete, OK, Cancel

SAP2000 9/11/19 21:10:08

SAP2000 v14.0.0 - File: METROBUS-12M - Shear Force 2-2 Diagram (T3-S2-R4(TIPO II)) - Tonf, m, C Units

Figura No. 31.- Captura de información en programa SAP-2000 del camión T3-S2-R4 (TIPO II) y resultado de la fuerza cortante por efecto de Línea de Influencia en 12.40 m.

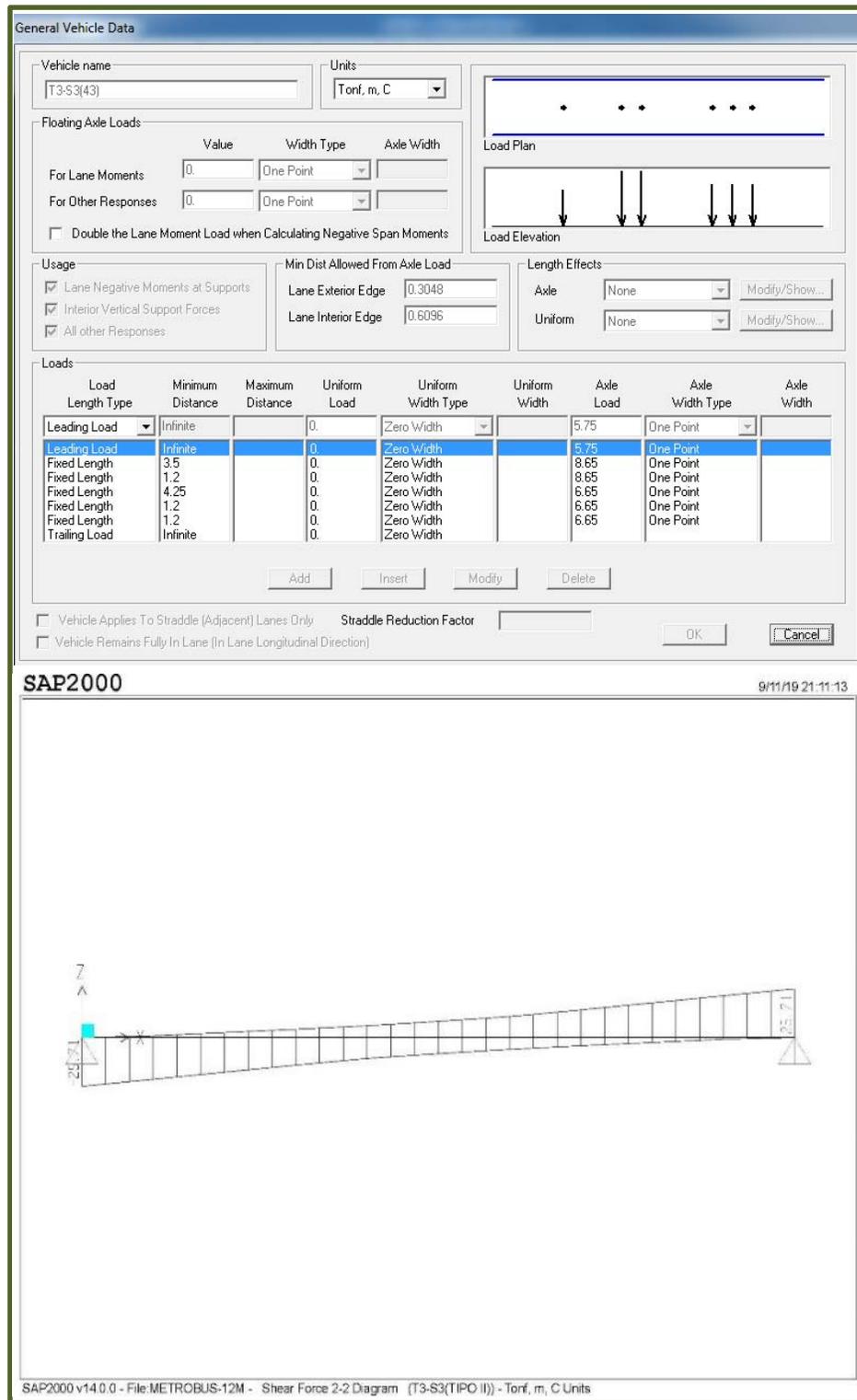


Figura No. 32.- Captura de información en programa SAP-2000 del camión T3-S3 (TIPO II) y resultado de la fuerza cortante por efecto de Línea de Influencia en 12.40 m.

General Vehicle Data

Vehicle name: HS-20(32) Units: Tonf, m, C

Floating Axle Loads

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0.	One Point	
For Other Responses	0.	One Point	

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge: 0.3048
Lane Interior Edge: 0.6096

Length Effects

Axle: None
Uniform: None

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		0.	Zero Width		3.63	One Point	
Leading Load	Infinite		0.	Zero Width		3.63	One Point	
Fixed Length	4.27		0.	Zero Width		14.52	One Point	
Fixed Length	9.14		0.	Zero Width		14.52	One Point	

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only
 Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

SAP2000 9/11/19 21:12:46

SAP2000 v14.0.0 - File:METROBUS-12M - Shear Force 2-2 Diagram (HS-20) - Tonf, m, C Units

Figura No. 33.- Captura de información en programa SAP-2000 del camión HS-20 y resultado de la fuerza cortante por efecto de Línea de Influencia en 12.40 m.

General Vehicle Data

Vehicle name: Units:

Floating Axle Loads:

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="One Point"/>	<input type="text"/>
For Other Responses	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="One Point"/>	<input type="text"/>

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage:

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load:

Lane Exterior Edge:
 Lane Interior Edge:

Length Effects:

Axle:
 Uniform:

Loads:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		0.	Zero Width		2.72	One Point	
Leading Load	Infinite		0.	Zero Width		2.72	One Point	
Fixed Length	4.27		0.	Zero Width		10.89	One Point	
Fixed Length	4.27		0.	Zero Width		10.89	One Point	
Trailing Load	Infinite		0.	Zero Width			One Point	

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor:
 Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

SAP2000 9/11/19 21:14:02

SAP2000 v14.0.0 - File METROBUS-12M - Shear Force 2:2 Diagram (HS-15) - Tonf, m, C Units

Figura No. 34.- Captura de información en programa SAP-2000 del camión HS-15 y resultado de la fuerza cortante por efecto de Línea de Influencia en 12.40 m.

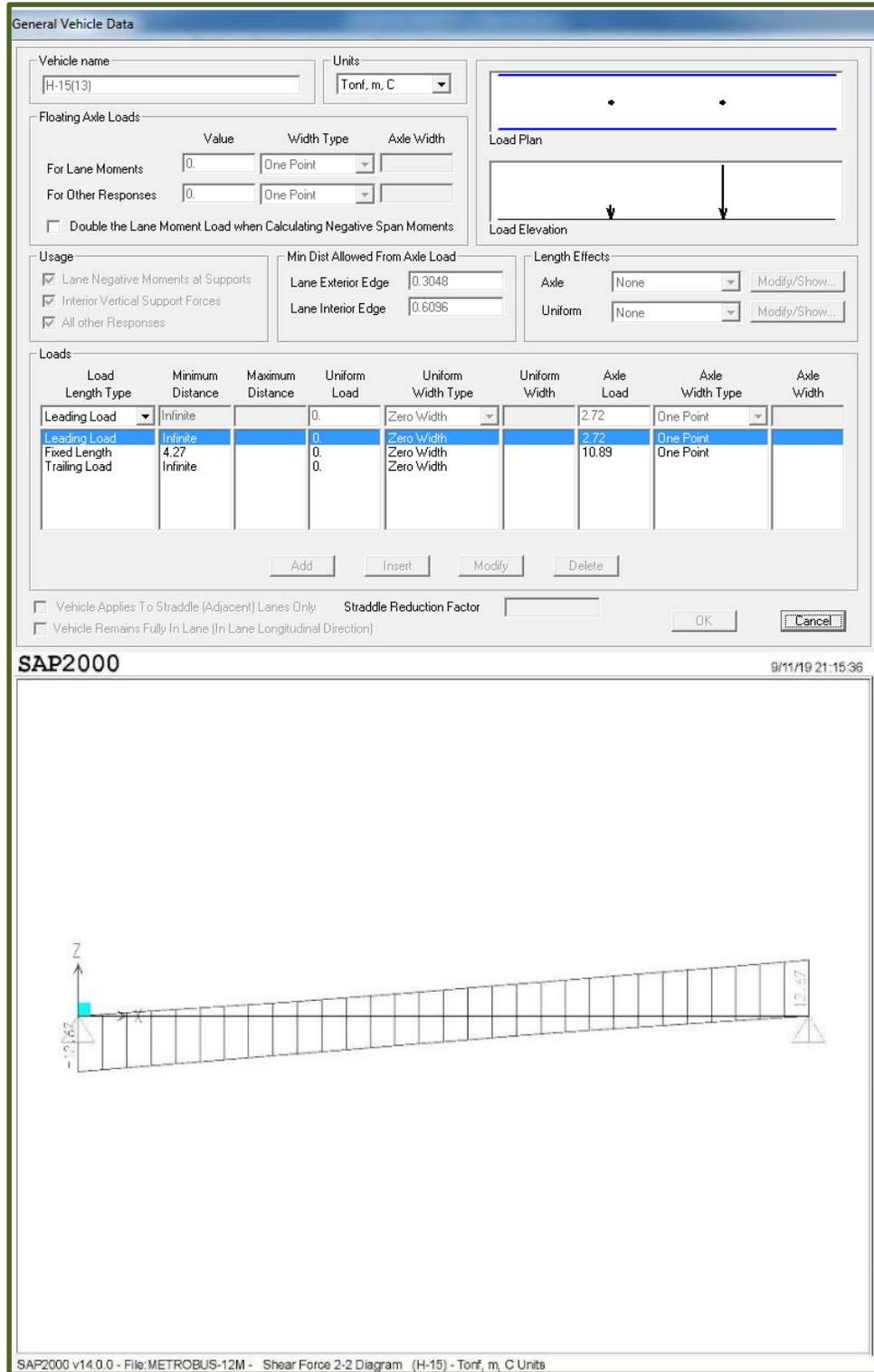


Figura No. 35.- Captura de información en programa SAP-2000 del camión H-15 y resultado de la fuerza cortante por efecto de Línea de Influencia en 12.40 m.

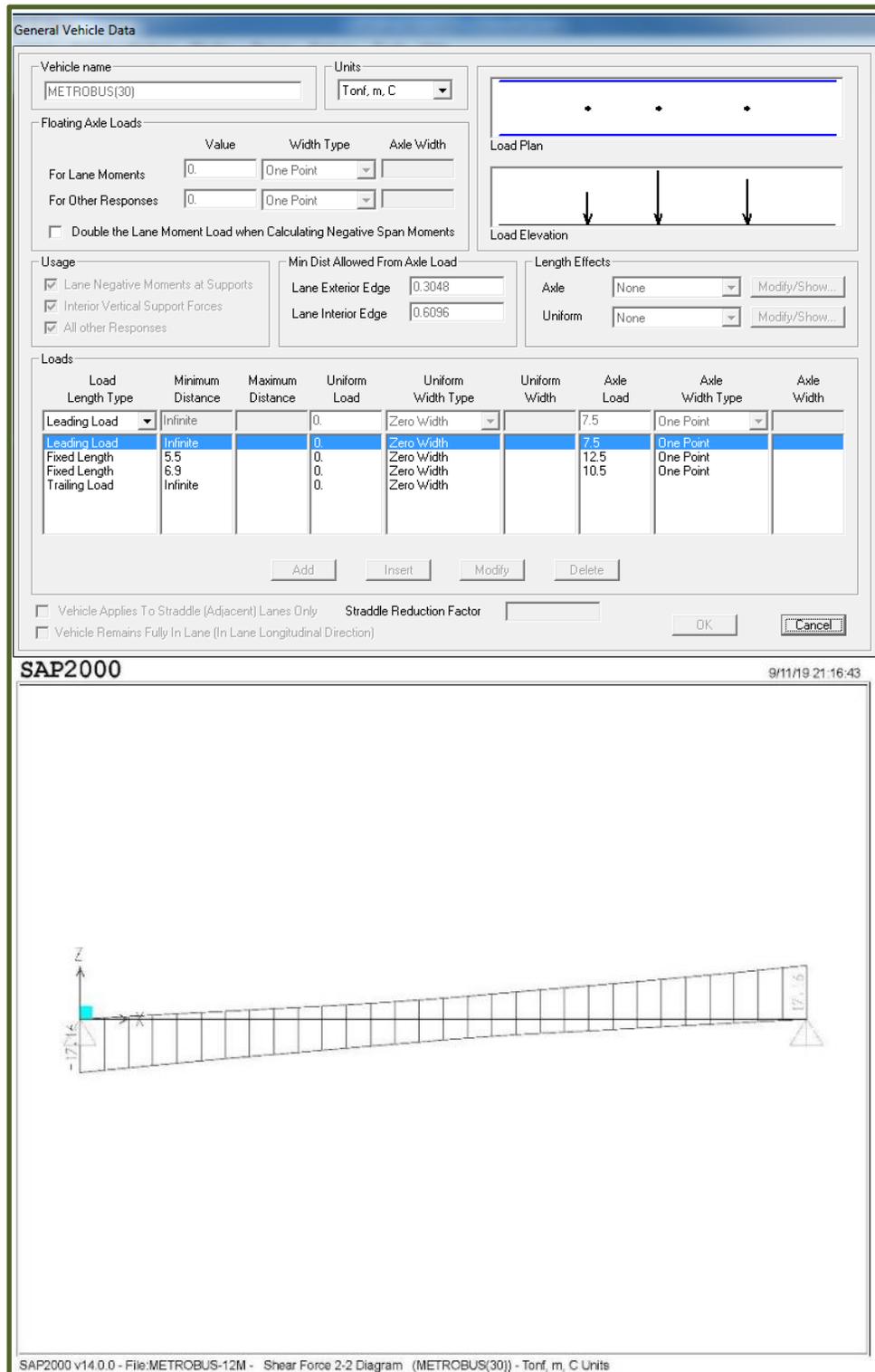


Figura No. 36.- Captura de información en programa SAP-2000 del Metrobús Articulado y resultado de la fuerza cortante por efecto de Línea de Influencia en 12.40 m.

7.3 Resumen de resultados y comentarios

En la tabla No. 5 se presenta el resumen de los resultados de las corridas efectuadas en el programa SAP-2000 versión 14, para Línea de Influencia de 12.40 m que corresponde al largo total de ejes del Metrobús Articulado. Se puede ver que a partir del camión HS-15, hacia arriba, los efectos de los camiones tipo son mayores a los del Metrobús, aun con menor peso, como el caso del HS-15.

No.	Descripción de la carga Viva	Fuerza cortante en toneladas
1.-	T3-S2-R4 (TIPO I)	28.65
2.-	T3-S3 (TIPO I)	28.99
3.-	T3-S2-R4 (TIPO II)	22.92
4.-	T3-S3 (TIPO II)	25.71
5.-	HS-20	18.34
6.-	HS-15	18.88
7.-	H-15	12.67
8.-	Metrobús articulado	17.16

Tabla No. 5.- Resultados del cálculo de Línea de Influencia de cargas vivas, SCT, empleadas para proyectos y/o revisiones; y del Metrobús tipo Articulado, en el tramo de 12.40 m.

Para tener una mejor comparativa, a continuación, se anotan en la Tabla No. 6, los porcentajes que se exceden los camiones tipo SCT, que circulan en las vialidades, respecto al Metrobús Articulado, tomando como base los resultados de la Línea de Influencia anotados en la tabla No. 5.

No.	Descripción de la carga Viva	Porcentaje que excede al Metrobús
1.-	T3-S2-R4 (TIPO I)	67
2.-	T3-S3 (TIPO I)	69
3.-	T3-S2-R4 (TIPO II)	34
4.-	T3-S3 (TIPO II)	50
5.-	HS-20	7
6.-	HS-15	10

Tabla No. 6.- Porcentaje que excede el efecto de la fuerza cortante contra la del Metrobús Articulado.

Tomando como base los anteriores resultados, se puede decir que los efectos por tránsito de los vehículos tipo de la SCT, como son: T3-S2-R4 (TIPO I), T3-S3 (TIPO I), T3-S2-R4 (TIPO II), T3-S3 (TIPO II), HS-20 y HS-15; son mayores a los del Metrobús Articulado.

8 Conclusiones

8.1 Conclusiones del estudio de ruido sísmico (vibración)

1.- En resumen, las mediciones muestran con toda claridad que el paso del Metrobús, aun en las situaciones de frenadas súbitas, no provoca vibraciones en el subsuelo que rebasen las normas internacionales más conservadoras. Lo mismo sucede con el tráfico normal. Por ello, se puede afirmar que el paso rutinario del Metrobús no afectará a las construcciones aledañas, inclusive a las que están sobre la avenida del trazo.

2.- También se puede afirmar que no se generan daños a construcciones, a largo plazo, derivados de los efectos de fatiga inducida por vibraciones.

3.- Los resultados muestran que, en todos los casos, los niveles de vibración sísmica observados en la superficie durante el paso del Metrobús no rebasan los niveles prescritos en de las normas internacionales más estrictas. De hecho, las vibraciones producidas por el paso del Metrobús son imperceptibles en la superficie cuando el punto de medición se aleja unos cuantos metros de la vía.

4.- Por otro lado, no se registraron diferencias entre los niveles de transmisión de ruido sísmico en el subsuelo entre los casos donde el Metrobús pasaba a velocidad constante y donde realizaba frenadas rápidas.

5.- Finalmente, es importante mencionar que los niveles de vibración producidos por el paso del Metrobús o de otros vehículos pesados que circulan normalmente, no rebasan los niveles de emisión del ruido sísmico para la norma alemana DIN-4150. Sin embargo, hay que subrayar que esa norma fue calculada para hospitales, instalaciones críticas y sitios donde hay instrumentos de precisión. En el caso de casas habitación y edificios, el segundo ramal de la norma DIN-4150 queda muy por arriba de los valores de velocidad medidos durante este estudio. Por tanto, se puede afirmar que las vibraciones del subsuelo producidas por el paso del Metrobús no rebasan los valores aceptados aún por las normas internacionales más rigurosas y en este sentido su operación es segura.

8.2 Conclusiones del cálculo de Línea de Influencia

1.- Con base en los camiones tipo para diseño y/o revisiones que emplea la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en el diseño de su infraestructura carretera, se hizo la comparativa de pesos brutos vehiculares contra la del Metrobús Articulado, encontrándose que superan su peso en los siguientes porcentajes: T3-S2-R4 (TIPO I)=**138%**, T3-S3 (TIPO I)=**59%**, T3-S2-R4 (TIPO II)=**90%**, T3-S3 (TIPO II)=**41%** y HS-20=**7%**, concluyéndose que los camiones que actualmente circulan por las vialidades de la Ciudad de México y en la Red Carretera Nacional cuentan con mayor peso que el Metrobús Articulado.

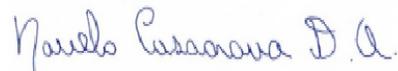
2.- Se hizo un ensayo de cálculo de los efectos esperados, para los diferentes camiones tipo de la SCT, en el largo total de los ejes del Metrobús Articulado, con la finalidad de ser más específicos y representativos. El cálculo efectuado fue por el método de Línea de Influencia, con el programa SAP-2000 versión 14, encontrándose que 6 de 7 camiones tipo SCT superan los efectos producidos por el Metrobús Articulado, en los siguientes porcentajes: T3-S2-R4 (TIPO I)=**67%**, T3-S3 (TIPO I)=**69%**, T3-S2-R4 (TIPO II)=**34%**, T3-S3 (TIPO II)=**50%**, HS-20=**7%** y HS-15=**10%**, concluyéndose que los camiones que actualmente circulan por las vialidades de la Ciudad de México y en la Red Carretera Nacional cuentan con mayores efectos por fuerza cortante que el Metrobús Articulado.

F o r m u l ó



Ing. Miguel Ángel Pérez Sánchez
Análisis de Línea de Influencia

F o r m u l ó



Dr. David Alberto Novelo Casanova
Estudio de Ruido Sísmico

R e v i s ó



Ing. Octavio Orozco Faranoni