

Santiago, 8 de junio de 2021  
N° GG/196/2021

Señor  
Daniel Garcés Paredes  
Fiscal Instructor  
Departamento de Sanción y Cumplimiento  
Superintendencia del Medio Ambiente  
Teatinos 280, piso 8  
Santiago

Ref.: Informa respecto a lo requerido en el Resuelvo Segundo de la Resolución Exenta N°3/Rol D-076-2021, de 19 de mayo de 2021, que ordena la realización de diligencia probatoria que indica. Proyecto Línea 3 – Etapa 2: Túneles, Estaciones, Talleres y Cocheras.

De mi consideración:

Me dirijo a usted en relación a la Resolución Exenta de la referencia (en adelante “Res. Ex. N°3”), la que ordenó diligencias probatorias en el marco del procedimiento sancionatorio seguido por la Superintendencia del Medio Ambiente bajo el Rol D-076-2021, en relación al proyecto “Línea 3 – Etapa 2: Túneles, Estaciones, Talleres y Cocheras” respecto del cual mi representada, Empresa de Transportes de Pasajeros Metro S.A. (en adelante “Metro S.A.”) es titular.

De conformidad a lo requerido en la Res. Ex. N°3 vengo en acompañar los siguientes antecedentes solicitados en el Resuelvo Segundo de dicha resolución:

1. En respuesta a lo requerido en el punto a) del Resuelvo Segundo de la Res. Ex. N°3, se acompaña en el Anexo A de esta presentación, la totalidad de los correos intercambiados entre Metro S.A. e IEME Brasil, así como las cotizaciones de servicios vinculadas a estas comunicaciones, lo que permite acreditar la fecha de estas:
  - a. La cadena de correos intercambiados entre Felipe Rivas, Jefe de Proyectos de Metro S.A. y Liana Becocci de IEME Brasil, entre el 14 de octubre de 2019 y el 28 de octubre del mismo año, en los cuales se cotiza el ensayo en base a la norma ISO 7626-2, para verificar el aislamiento generado por los sistemas de mitigación de vibraciones de Metro. En el intercambio de correos se solicita considerar los costos asociados al traslado del equipo necesario para efectuar dicha medición, denominado “Vibrodina”, el cual conllevaba dificultades principalmente por sus dimensiones y peso. En efecto, se indica la alternativa de traer un equipo desde Italia que peso 800 kg en un plazo de 5 meses o un equipo desde Brasil con un peso de 3000 kg.

Hacemos presente que la cotización presentada es aplicable tanto para la Línea 6 como para la Línea 3. En efecto, ambos proyectos se construyeron en paralelo y ambos contemplan el uso del método ISO 7626-2 y por lo tanto, el uso de los mismos

servicios y equipos. De esta manera, la cotización y la imposibilidad de trasladar el equipo antes mencionado son aplicables a ambas Líneas.

- b. Las cotizaciones enviadas por IEME Brasil a Metro S.A. con fecha 22 de octubre y 6 de noviembre de 2019, respectivamente, en las cuales se establece que el costo para la ejecución de servicios de consultoría en ingeniería, consistentes en la realización de ensayos dinámicos, ascenderían a sesenta mil reales (equivalentes a once millones de pesos chilenos a esa fecha, aproximadamente). Cabe destacar que en ambas cotizaciones, se aclara que no es posible la utilización del equipo “Vibrochina”, necesario para el ensayo bajo la modalidad 7626-2. En efecto, en el punto 3.1 referido a “Conocimiento del caso” de ambos documentos se señala que: **“La logística de transporte de este equipo, así como la fijación e instalación, instrumentación, pruebas y ensayos son demorados y, por el tiempo disponible en campo ser de apenas 4 horas, entre las 0h30m y 4h30m, no es posible su utilización.”** Por lo anterior, IEME Brasil propone en el punto 3.2 de ambas cotizaciones la realización de un ensayo dinámico con martillo instrumentado, considerando la norma ISO 7626-5, la cual fue finalmente utilizada por Metro S.A., atendido que el propio proveedor del servicio estableció la imposibilidad de utilizar el método ISO 7626-2.
- c. El correo enviado por Liana Becocci de IEME Brasil **con fecha 1 de noviembre de 2019**, en el cual señala que no es posible definir fechas para el traslado del equipo “Vibrochina” y señala que el traslado del equipo implica un riesgo muy alto para los costos y seguridad del sistema, teniendo en cuenta burocracia legal y los problemas logísticos. En dicho correo, señala que “de acuerdo con las normas ISO 7626, es posible obtener los datos para evaluar el aislamiento generado por los sistemas de mitigación de vibraciones utilizando el Martillo Instrumentado”, es decir, el procedimiento ISSO 7626-5<sup>1</sup>, utilizado por Metro S.A.
- d. La cadena de correos intercambiados entre Felipe Rivas, Jefe de Proyectos de Metro S.A. y Liana Becocci de IEME Brasil, **entre el 1 y el 7 de noviembre de 2019**, en la cual la empresa brasileña concluye que **no es factible realizar las mediciones con el equipo Vibrochina** (y por tanto, mediante el método ISO 7626-2), dadas las complejidades de traslado de este instrumental, según consta en los correos enviados con fecha 1 y 7 de noviembre de 2019.<sup>2</sup>
2. En respuesta a lo requerido en el punto b) del Resuelvo Segundo de la Res. Ex. N°3, podemos señalar que la similitud que se busca indicar y resaltar con el artículo académico presentado, titulado *"On the dynamic stiffness of materials used under floating floors: analysis of the resonant frequency dependence by excitation force amplitude using different measurement techniques"*, se asocia a los resultados similares obtenidos ante una excitación realizada mediante dos sistemas distintos pertenecientes a una misma familia de

<sup>1</sup> Se acompañó dicho correo de Liana Becocci separadamente en este punto, a fin de que puedan verse los gráficos e imágenes acompañados por ella.

<sup>2</sup> En este archivo se incluye también el correo de Liana Becocci acompañado en el punto 1.c. anterior, sin las imágenes, a fin de dar continuidad a la cadena de correos que le siguen.

normas ISO en que solo varía la forma de excitación (ISO 7626-2 actualizada el año 2015 con excitador adosado e ISO 7626-5 actualizada el año 2019 con excitador no adosado).

El artículo mencionado, considera como muestra a ser evaluada con los dos métodos de excitación (adosado y no adosado) un elemento resiliente utilizado bajo pisos flotantes de viviendas, que actúa como elemento desacoplador. En el caso del sistema de control de vibraciones tipo -20dB ubicado en vías de Línea 3, la manta bajo la losa de hormigón de vías es también un elemento resiliente que actúa como elemento desacoplador, cuyo objetivo específico en este caso es disminuir la transmisión de vibraciones. Por lo anterior, también es posible evaluarlo y arrojar resultados similares en el parámetro físico que se requiere, con métodos de excitación diferentes (adosado y no adosado).

3. En respuesta a lo requerido en el punto c) del Resuelvo Segundo de la Res. Ex. N°3, se acompaña en el Anexo B, los siguientes documentos que acreditan los costos del excitador no adosado utilizado para las mediciones realizadas:
  - a. Especificaciones técnicas del Martillo Modal O86D50 utilizado, incluyendo las características del Martillo y el detalle de los accesorios comprados.
  - b. Cotización emitida por la empresa Varitec con fecha 10 de septiembre de 2019, a Metro S.A. respecto del excitador no adosado, ascendiente a un monto de 1276 dólares más IVA.
4. En respuesta a lo requerido en el punto d) del Resuelvo Segundo de la Res. Ex. N°3, se acompaña en el Anexo C de esta presentación los siguientes documentos que dan cuenta de los costos asociados a la realización de las pruebas de efectividad de la medida de mitigación efectuada en octubre de 2020:
  - a. Orden de Compra N°3600019822 emitida con fecha 20 de septiembre de 2020 por Metro S.A. a la empresa Contador y Campos Ingeniería Limitada ascendente a 90 Unidades de Fomento exentos de IVA.
  - b. Factura N°608 de 6 de noviembre de 2020, emitida por la empresa Contador y Campos Ingeniería Limitada a Metro S.A., por un Informe con Medición de Transmisibilidad en Vías de Línea 3, tramo Plaza Egaña a Fernando Castillo Velasco por un valor ascendente a \$2.596.979 pesos chilenos, equivalentes a 90 Unidades de Fomento exentos de IVA de dicha fecha.
5. En respuesta a lo requerido en el punto e) del Resuelvo Segundo de la Res. Ex. N°3, podemos informar que, con fecha 02 de junio de 2021, se ha realizado un ensayo de transmisibilidad de vibraciones, a medida de control de vibraciones tipo -20 dB, en el tramo de vías ubicado entre las estaciones Plaza de Armas y Universidad de Chile de Línea 3. En el Anexo D de esta presentación se adjunta el informe que analiza los resultados de dicho ensayo, el cual concluye que el sistema de control de vibraciones del tipo -20 dB implementado en esta zona, cumple con el requerimiento de Pérdida por Inserción (IL) de 20 dB en la frecuencia de 63 Hz, la cual determina el tipo de sistema implementado.

6. En respuesta a lo requerido en el punto f) del Resuelvo Segundo de la Res. Ex. N°3, podemos señalar que, al ser Metro S.A. una empresa pública, debe presentar todas sus iniciativas de inversión al Ministerio de Desarrollo Social y Familia para obtener la Recomendación Satisfactoria (RS) de su ejecución, utilizando una Tasa Social de Descuento del 6%, de conformidad a lo indicado en el documento que establece los Precios Sociales del año 2021, emitido por la Subsecretaría de Evaluación Social. Este documento se adjunta en el Anexo E de esta presentación, pudiendo observarse el porcentaje vigente de dicha tasa en su página número 2.

Por último, solicito a usted que las resoluciones que se emitan durante el presente procedimiento sancionatorio sean notificadas mediante correo electrónico a las siguientes direcciones:

Dejo constancia que los antecedentes en que consta mi personería para representar a Metro S.A. ya están en poder de esta autoridad, toda vez que se han acompañado en los procedimientos administrativos seguidos por esta autoridad respecto de mi representada.

Saluda atentamente a usted.

Ruben  
Rodrigo  
Alvarado  
Vigar

Firmado digitalmente por Ruben  
Rodrigo Alvarado Vigar  
Nombre de reconocimiento (DN):  
c=CL, o=E-Sign S.A., ou=Terms of  
use at www.esign-la.com/  
acuerdoterceros, cn=Ruben  
Rodrigo Alvarado Vigar,  
email=rralvaradov@gmail.com  
Fecha: 2021.06.09 08:46:48 -04'00'

Rubén Alvarado Vigar  
Gerente General  
Metro S.A.

RTM / GRB / MPF

<p>Rodrigo Javier Terrazas Michell</p> <p>Firmado digitalmente por Rodrigo Javier Terrazas Michell Nombre de reconocimiento (DN): c=CL, o=RTM, ou=RTM, cn=Rodrigo Javier Terrazas Michell Fecha: 2021.06.09 08:46:48 -04'00'</p>	<p>Gonzalo Patricio Rodríguez Belmar</p> <p>Firmado digitalmente por Gonzalo Patricio Rodríguez Belmar Nombre de reconocimiento (DN): c=CL, o=GRB, ou=GRB, cn=Gonzalo Patricio Rodríguez Belmar Fecha: 2021.06.09 08:46:48 -04'00'</p>	<p>Maria Paz Fuchslocher E</p> <p>Firmado digitalmente por Maria Paz Fuchslocher E Nombre de reconocimiento (DN): c=CL, o=MPF, ou=MPF, cn=Maria Paz Fuchslocher E Fecha: 2021.06.09 08:46:48 -04'00'</p>
--	--	--

- Adj.: - Anexo A: Cadenas de correos entre Metro S.A. e IEME Brasil y cotizaciones enviadas en octubre y noviembre de 2019.
- Anexo B: Documentos que acreditan los costos del excitador no adosado utilizado.
  - Anexo C: Documentos que dan cuenta de los costos asociados a la realización de las pruebas de efectividad de la medida de mitigación efectuada en octubre de 2020
  - Anexo D: Informe que analiza los resultados del ensayo de transferencia de movilidad realizado con fecha 2 de junio de 2021 en la Línea 3 de Metro S.A.
  - Anexo E: Precios Sociales 2021, Departamento de Metodologías, División de Evaluación Social de Inversiones, Subsecretaría de Evaluación Social, Ministerio de Desarrollo Social y Familia.

## Consuelo Toresano

---

**De:** Liana Becocci <[REDACTED]>  
**Enviado el:** lunes, 28 de octubre de 2019 16:17  
**Para:** Felipe Rivas; [REDACTED]  
**CC:** Marco Juliani; Juan Camilo Gomez Alvarado  
**Asunto:** RES: RES: Metro de Santiago

Este correo contiene uno o más archivos adjuntos de origen desconocido!. Antes de proceder a descargarlo o abrirlo, debe comprobar el remitente y la veracidad de la información adjunta. Si tiene dudas respecto a lo indicado, ¡no abra el correo ni ejecute sus adjuntos!, y contacte a la mesa de Soporte a Usuarios en el anexo 8000.

---

Ok Felipe.  
Muchas gracias,



**Liana Becocci**  
*Diretoria Financeiro - Administrativo*  
tel . : 11 5643-1414  
fax : 11 3816-1099  
[www.iemebrasil.com.br](http://www.iemebrasil.com.br)  
[www.laede.com.br](http://www.laede.com.br)

---

**De:** Felipe Rivas [REDACTED]  
**Enviada em:** segunda-feira, 28 de outubro de 2019 16:07  
**Para:** Liana Becocci [REDACTED]  
**Cc:** Marco Juliani [REDACTED]; Juan Camilo Gomez Alvarado [REDACTED]  
**Assunto:** Re: RES: Metro de Santiago

Estimada Liana, junto con saludar, de acuerdo a lo indicado en primera instancia, despues de desaduanar, los traslado del equipo y gestion asociada de este, asi como su traslado al aeropuerto para el regreso correria por parte de Metro.

Atento a vuestros comentarios

Saludos

Felipe Rivas

Enviado desde mi smartphone Samsung Galaxy.

----- Mensaje original -----

**De:** Liana Becocci <[REDACTED]>  
**Fecha:** 28/10/19 15:53 (GMT-04:00)  
**A:** Felipe Rivas [REDACTED]

CC: Marco Juliani [REDACTED], Juan Camilo Gomez Alvarado

[REDACTED] >  
Asunto: RES: Metro de Santiago

Este correo contiene uno o más archivos adjuntos de origen desconocido!. Antes de proceder a descargarlo o abrirlo, debe comprobar el remitente y la veracidad de la información adjunta. Si tiene dudas respecto a lo indicado, ¡no abra el correo ni ejecute sus adjuntos!, y contacte a la mesa de Soporte a Usuarios en el anexo 8000.

Buenas tardes Felipe,

Con relación al estado de su solicitud, estamos considerando traer de Italia una Vibrodina que tenemos. Esto facilitaría para ambas partes enormemente el tema logístico por la cuestión del peso (de 3.000 Kg a 800kg aprox.) y dimensiones, entre otros aspectos.

El envío lo haríamos desde Italia directamente para Santiago-Chile pero me gustaría confirmar con usted, como fue indicado en un primer momento, que toda la logística a partir de la llegada al aeropuerto de Santiago hasta el lugar de los ensayos y viceversa, la facilitaría el Metro.

Saludos,



**Liana Becocci**  
Diretoria Financeiro - Administrativo  
tel .: 11 5643-1414  
fax : 11 3816-1099  
[www.iemebrasil.com.br](http://www.iemebrasil.com.br)  
[www.laede.com.br](http://www.laede.com.br)

*verifique a real necessidade de imprimir documentos*

---

**De:** Felipe Rivas [REDACTED]  
**Enviada em:** quinta-feira, 24 de outubro de 2019 12:17  
**Para:** Liana Becocci [REDACTED]  
**Cc:** Marco Juliani [REDACTED] Juan Camilo Gomez Alvarado [REDACTED] >  
**Assunto:** RE: Metro de Santiago

Estimada Liana, gracias por tu respuesta, estaremos atentos a vuestras novedades.

Saludos Cordiales

---

**Felipe Rivas Villarroel**

Jefe de Proyecto Ruidos y Vibraciones  
Gerencia Corporativa de Ingeniería

Tel: [REDACTED]  
e-mail: [REDACTED]  
Avenida Libertador Bernardo O'Higgins 1414 / Santiago – Chile  
CP: 8330181



---

**De:** Liana Becocci [REDACTED]  
**Enviado el:** jueves, 24 de octubre de 2019 12:15  
**Para:** Felipe Rivas; [REDACTED]  
**CC:** Marco Juliani; Juan Camilo Gomez Alvarado  
**Asunto:** RES: Metro de Santiago

Este correo contiene uno o más archivos adjuntos de origen desconocido!. Antes de proceder a descargarlo o abrirlo, debe comprobar el remitente y la veracidad de la información adjunta. Si tiene dudas respecto a lo indicado, ¡no abra el correo ni ejecute sus adjuntos!, y contacte a la mesa de Soporte a Usuarios en el anexo 8000.

---

Buenos días Felipe,

Perdón por el retraso, pero tendremos que cruzar 2 aduanas (Brasil / Argentina - Argentina / Chile) con todo el equipo. Estamos calculando los costos de esta operación, incluido el seguro para el transporte de todo.

Necesitaremos unos días más para enviar el costo total.

Saludos,



**Liana Becocci**

Diretoria Financeiro - Administrativo

tel . : 11 5643-1414

fax : 11 3816-1099

[www.iemebrasil.com.br](http://www.iemebrasil.com.br)

[www.laede.com.br](http://www.laede.com.br)

*verifique a real necessidade de imprimir documentos*

---

**De:** Felipe Rivas [REDACTED]  
**Enviada em:** quinta-feira, 24 de outubro de 2019 11:07  
**Para:** Liana Becocci <[REDACTED]>  
**Assunto:** Metro de Santiago

Estimada Liana

Junto con saludar, quería consultar si es factible incorporar lo solicitado en mail adjunto en vuestra propuesta.

Agradeciendo tu ayuda y atento a tus comentarios.

Saludos Cordiales

---

**Felipe Rivas Villarroel**

Jefe de Proyecto Ruidos y Vibraciones  
Gerencia Corporativa de Ingeniería

Tel: (56 - 2) [REDACTED]

e-mail: [REDACTED]

Avenida Libertador Bernardo O'Higgins 1414 / Santiago - Chile  
CP: 8330181



---

**De:** Felipe Rivas [mailto:[REDACTED]]  
**Enviado el:** martes, 22 de octubre de 2019 14:32  
**Para:** Juan Camilo Gomez Alvarado  
**CC:** Felipe Rivas; Liana Becocci; Marco Juliani  
**Asunto:** Re: Metro de Santiago

Este correo contiene uno o más archivos adjuntos de origen desconocido!. Antes de proceder a descargarlo o abrirlo, debe comprobar el remitente y la veracidad de la información adjunta. Si tiene dudas respecto a lo indicado, ¡no abra el correo ni ejecute sus adjuntos!, y contacte a la mesa de Soporte a Usuarios en el anexo 8000.

---

Estimados, junto con saludar y agradecer vuestra cotización, y entendiendo lo planteado en la propuesta técnica, quería solicitar si es posible complementar la propuesta con las condiciones que se requieren en los tramos a evaluar, los tiempos de trabajo, cantidad de personas y días necesarios para realizar la medición con equipo Vibrodina, y el costo de este servicio por sección a evaluar.

Dado que es un requerimiento de la autoridad ambiental, necesitamos conocer estos antecedentes, los cuales también me permitirán proyectar este servicio para futuras líneas y extensiones proyectadas.

Agradeciendo vuestra ayuda, y atento a sus comentarios.

Saludos

Felipe Rivas

El mar., 22 oct. 2019 a las 13:41, Juan Camilo Gomez Alvarado ([REDACTED]) escribió:

[Apreciado Felipe](#)

Buenas tardes

Anexo la propuesta n°7250 *Ensayos Dinámicos en Vía Férrea de la Línea 6 del Metro de Santiago*.

Cualquier duda o comentarios estamos atentos.

Cordial Saludo,



**Juan Camilo Gómez Alvarado**  
Departamento Comercial  
tel . : 11 5643-1414  
fax : 11 3816-1099

[www.iemebrasil.com.br](http://www.iemebrasil.com.br)  
[www.laede.com.br](http://www.laede.com.br)

*verifique a real necessidade de imprimir documentos*

---

**De:** Felipe Rivas [mailto:[REDACTED]]  
**Enviada em:** terça-feira, 22 de outubro de 2019 12:12  
**Para:** Liana Becocci [REDACTED]  
**Cc:** Marco Juliani [REDACTED] >; Juan Camilo Gomez Alvarado [REDACTED] >  
**Assunto:** Re: Metro de Santiago

Muchas gracias Liana.

Saludos

Felipe Rivas

Enviado desde mi smartphone Samsung Galaxy.

----- Mensaje original -----

De: Liana Becocci [REDACTED]

Fecha: 22/10/19 11:56 (GMT-04:00)

A: Felipe Rivas [REDACTED]

CC: Marco Juliani [REDACTED] >, Juan Camilo Gomez Alvarado

[REDACTED] >

Asunto: Re: Metro de Santiago

Buenos dias Felipe,  
Enviaremos la propuesta en una hora.  
Saludos,

Liana Becocci  
Enviado do meu iPhone

Em 22 de out de 2019, à(s) 10:48, Felipe Rivas [REDACTED] escreveu:

Estimada Liana

junto con saludar, te quería consultar por vuestra propuesta. Dado los incidentes que han ocurrido en Metro de Santiago, te pediría si pudieras copiarme al correo [REDACTED]

Agradeciendo tu ayuda y atento a tus comentarios.

Saludos Cordiales

---

**Felipe Rivas Villarroel**  
Jefe de Proyecto Ruidos y Vibraciones  
Gerencia Corporativa de Ingeniería

<image001.png>

[REDACTED]  
Avenida Libertador Bernardo O'Higgins 1414 / Santiago – Chile  
CP: 8330181

---

**De:** Felipe Rivas  
**Enviado el:** jueves, 17 de octubre de 2019 16:03  
**Para:** 'Liana Becocci'  
**CC:** Marco Juliani; Juan Camilo Gomez Alvarado  
**Asunto:** RE: Nova mensagem de LAEDE

Muchas Gracias Liana, te pido por favor tener vuestra propuesta el lunes a mediodía si es factible.

Saludos Cordiales

---

**Felipe Rivas Villarroel**

Jefe de Proyecto Ruidos y Vibraciones  
Gerencia Corporativa de Ingeniería

Tel: (56 - 2) [REDACTED]

e-mail: [REDACTED]

Avenida Libertador Bernardo O'Higgins 1414 / Santiago - Chile  
CP: 8330181

<image002.png>

---

**De:** Liana Becocci [REDACTED]

**Enviado el:** jueves, 17 de octubre de 2019 16:02

**Para:** Felipe Rivas

**CC:** Marco Juliani; Juan Camilo Gomez Alvarado

**Asunto:** RES: Nova mensagem de LAEDE

Este correo contiene uno o más archivos adjuntos de origen desconocido!. Antes de proceder a descargarlo o abrirlo, debe comprobar el remitente y la veracidad de la información adjunta. Si tiene dudas respecto a lo indicado, ¡no abra el correo ni ejecute sus adjuntos!, y contacte a la mesa de Soporte a Usuarios en el anexo 8000.

---

Buenas tardes Felipe,  
Gracias por el envío de los planos de corte de sección túnel.

Le mandaremos un alcance de trabajo hasta el inicio de la próxima semana.  
Cordiales saludos,

<image003.png>

**Liana Becocci**

*Diretoria Financeiro - Administrativo*

tel . : 11 5643-1414

fax : 11 3816-1099

[www.iemebrasil.com.br](http://www.iemebrasil.com.br)

[www.laede.com.br](http://www.laede.com.br)

*verifique a real necessidade de imprimir documentos*

---

**De:** Felipe Rivas [REDACTED]

**Enviada em:** quinta-feira, 17 de outubro de 2019 13:50

**Para:** Liana Becocci [REDACTED]

**Cc:** Marco Juliani [REDACTED]; Juan Camilo Gomez Alvarado [REDACTED]

**Assunto:** Nova mensagem de LAEDE

Estimada Liana

Junto con saludar, adjunto planos de corte de sección túnel en zonas con manta en recta y curva.

Saludos Cordiales

---

**Felipe Rivas Villarroel**

Jefe de Proyecto Ruidos y Vibraciones  
Gerencia Corporativa de Ingeniería

<image002.png>

---

**De:** Liana Becocci [REDACTED]  
**Enviado el:** miércoles, 16 de octubre de 2019 17:53  
**Para:** Felipe Rivas  
**CC:** Marco Juliani; Juan Camilo Gomez Alvarado  
**Asunto:** RES: Nova mensagem de LAEDE

Este correo contiene uno o más archivos adjuntos de origen desconocido!. Antes de proceder a descargarlo o abrirlo, debe comprobar el remitente y la veracidad de la información adjunta. Si tiene dudas respecto a lo indicado, ¡no abra el correo ni ejecute sus adjuntos!, y contacte a la mesa de Soporte a Usuarios en el anexo 8000.

---

Buenas tardes Felipe,  
Le agradecemos por la información recibida.

Esperamos los planos de corte de la sección de túnel con manta y las dimensiones de losa para poder enviarles el alcance del servicio lo antes posible.  
Cordiales saludos,

<image003.png>

**Liana Becocci**  
*Diretoria Financeiro - Administrativo*  
tel . : 11 5643-1414  
fax : 11 3816-1099  
[www.iemebrasil.com.br](http://www.iemebrasil.com.br)  
[www.laede.com.br](http://www.laede.com.br)

*verifique a real necessidade de imprimir documentos*

---

**De:** Felipe Rivas [REDACTED]  
**Enviada em:** quarta-feira, 16 de outubro de 2019 12:17  
**Para:** Liana Becocci [REDACTED] >  
**Cc:** Marco Juliani [REDACTED]  
**Assunto:** RE: Nova mensagem de LAEDE

Estimada Liana

Junto con saludar, me estoy consiguiendo planos de corte de la sección de túnel que contiene manta. La carga por eje es 15 ton. Respecto de la manta corresponde a un sistema de doble capa de 30 mm de espesor cada una (CDM FSM L13)

<image004.png>

Saludos Cordiales

---

**Felipe Rivas Villarroel**  
Jefe de Proyecto Ruidos y Vibraciones  
Gerencia Corporativa de Ingeniería  
Tel: (56 – 2) [REDACTED]

<image005.png>

---

**De:** Liana Becocci [REDACTED]  
**Enviado el:** martes, 15 de octubre de 2019 17:11  
**Para:** Felipe Rivas  
**CC:** Marco Juliani; [REDACTED]  
**Asunto:** Re: Nova mensagem de LAEDE

Buenas tardes Felipe,

Podría enviarnos las siguientes informaciones:

1. La carga por eje
2. La sección transversal de la vía con las dimensiones de losa y manta.

Le enviaremos el alcance del servicio el próximo viernes 18/10.

Gracias

Saludo cordial

Enviado do meu iPhone

Em 14 de out de 2019, à(s) 15:46, Felipe Rivas [REDACTED]:

Muchas Gracias Liana, si es factible que la propuesta económica considere el costo por punto de evaluación.

Estaré atento a su propuesta.

Saludos Cordiales

---

**Felipe Rivas Villarroel**  
Jefe de Proyecto Ruidos y Vibraciones  
Gerencia Corporativa de Ingeniería

<image003.png>

[REDACTED]  
Avenida Libertador Bernardo O'Higgins 1414 / Santiago – Chile  
CP: 8330181

---

**De:** Liana Becocci [REDACTED]  
**Enviado el:** lunes, 14 de octubre de 2019 15:41  
**Para:** Felipe Rivas  
**CC:** Marco Juliani; Lucas Juliani; Juan Camilo Gomez Alvarado  
**Asunto:** RES: Nova mensagem de LAEDE

Este correo contiene uno o más archivos adjuntos de ¡origen desconocido!. Antes de proceder a descargarlo o abrirlo, debe comprobar el remitente y la veracidad de la información adjunta. Si tiene dudas respecto a lo indicado, ¡no abra el correo ni ejecute sus adjuntos!, y contacte a la mesa de Soporte a Usuarios en el anexo 8000.

---

Ok Felipe,  
Le enviaremos una respuesta pronto.  
Gracias,

<image004.png>

**Liana Becocci**  
Diretoria Financeiro - Administrativo  
tel . : 11 5643-1414  
fax : 11 3816-1099  
[www.iemebrasil.com.br](http://www.iemebrasil.com.br)  
[www.laede.com.br](http://www.laede.com.br)

*verifique a real necessidade de imprimir documentos*

---

**De:** Felipe Rivas [REDACTED]  
**Enviada em:** segunda-feira, 14 de outubro de 2019 15:33  
**Para:** Liana Becocci [REDACTED]  
**Cc:** Marco Juliani [REDACTED]; Lucas Juliani [REDACTED]; Juan Camilo Gomez Alvarado [REDACTED]  
**Assunto:** RE: Nova mensagem de LAEDE

Estimada Liana, muchas gracias por tu pronta respuesta. Es una línea que ya está en operación, por ende los tiempos de trabajo son acotados de 00:30 a 04:30 hrs.

Saludos Cordiales

---

**Felipe Rivas Villarroel**  
Jefe de Proyecto Ruidos y Vibraciones  
Gerencia Corporativa de Ingeniería

<image005.png>

[REDACTED]  
Avenida Libertador Bernardo O'Higgins 1414 / Santiago – Chile  
CP: 8330181

---

**De:** Liana Becocci [REDACTED]  
**Enviado el:** lunes, 14 de octubre de 2019 15:32  
**Para:** Felipe Rivas  
**CC:** Marco Juliani; Lucas Juliani; Juan Camilo Gomez Alvarado  
**Asunto:** ENC: Nova mensagem de LAEDE

Este correo contiene uno o más archivos adjuntos de ¡origen desconocido!. Antes de proceder a descargarlo o abrirlo, debe comprobar el remitente y la veracidad de la información adjunta. Si tiene dudas respecto a lo indicado, ¡no abra el correo ni ejecute sus adjuntos!, y contacte a la mesa de Soporte a Usuarios en el anexo 8000.

---

Buenas tardes Felipe,

Estamos revisando su solicitud.  
Nos gustaría saber si la línea ya está en funcionamiento.  
Gracias e saludos,

<image004.png>

**Liana Becocci**  
Diretoria Financeiro - Administrativo  
tel . : 11 5643-1414  
fax : 11 3816-1099  
[www.iemebrasil.com.br](http://www.iemebrasil.com.br)  
[www.laede.com.br](http://www.laede.com.br)

*verifique a real necessidade de imprimir documentos*

----- Mensagem original -----

De : [REDACTED]  
Data: 14/10/2019 13:23 (GMT-03:00)  
Para: Contato <[REDACTED]>  
Assunto: Nova mensagem de LAEDE

Uma nova mensagem acaba de ser enviada. Segue abaixo os dados da mensagem:

Nome: Felipe Rivas  
Empresa: Metro de Santiago  
Telefone: +56229378228  
[REDACTED] [rivasv@metro.cl](mailto:rivasv@metro.cl)

Mensagem: Estimados, soy Felipe Rivas quien asistió a vuestro laboratorio con un comitiva del Metro de Santiago hace un par de meses, quería contactarlos ya que necesitamos cotizar con ustedes dado un requerimiento de la autoridad ambiental de Chile, un ensayo para verificar el aislamiento generado por los sistema de mitigación de vibraciones (Insertión Loss a través de la medición de Transmisión Loss) en 5 tramos de Línea 6 (rodado acero en UTO), que presentan una manta de caucho CDM-Pandrol y sillas Railtech.

La prueba que se requiere realizar es considerando la transmisibilidad en base a norma ISO 7626-2 que considera el uso de un excitador adosado a la estructura de vías, que correspondería al dispositivo que excitaba el tramo de prueba presente en el laboratorio en nuestra visita.

Entendemos que este dispositivo es una estructura de grandes dimensiones y peso, y no sabemos si alguna vez lo han sacado fuera de Brasil. Los traslados en Chile los facilitaría Metro desde la llegada al aeropuerto del equipo como para su regreso.

La autoridad ambiental nos exige realizar un ensayo de este tipo, y el equipo que ustedes cuentan entendemos es el único que conocemos en latinoamérica, por ende el tenor de la cotización.

No duden en contactarme si tienen alguna duda para generar la propuesta.

Saludos cordiales

Felipe Rivas

EN LO PRINCIPAL: TÉNGASE PRESENTE; PRIMER OTROSÍ: ACOMPAÑA DOCUMENTO.

SUPERINTENDENCIA DE MEDIO AMBIENTE



FELIPE ARÉVALO CORDERO, en representación de la Empresa de Transporte de Pasajeros Metro S.A. (en adelante e indistintamente “Metro”), en el marco del procedimiento Rol D-054-2019, a la Sra. Fiscal Instructor de la División de Sanción y Cumplimiento doña Catalina Uribarri Jaramillo, de la Superintendencia del Medio Ambiente (“SMA”), respetuosamente digo:

Como será de su conocimiento, con fecha 5 de septiembre de 2019, mediante Res. Ex. N°3/Rol D-054-2019, la SMA decretó como diligencia probatoria la entrega por parte de Metro de cierta información detallada en la referida resolución. El mencionado requerimiento fue cumplido dentro de plazo por mi representada con fecha 7 de octubre de 2019.

Dentro de dicha petición de antecedentes, se solicitó en el punto N° 1.a. de la Res. Ex. N°3/Rol D-054-2019 información asociada al “*costo del excitador no adosado incluyendo costos de importación, por medio de medios de verificación idóneos tales como cotizaciones emitidas por empresa proveedora*” (énfasis agregado).

Respecto de dicha petición específica, Metro presentó tres documentos asociados a la provisión de un martillo modal (excitador no adosado) y sus características técnicas (forma, dimensiones, requerimientos eléctricos y de *performance* de dicho instrumento). Los mencionados documentos fueron acompañados bajo los números 1.1, 1.2 y 1.3 del otrosí de la respuesta de fecha 7 de octubre.

Sin perjuicio de haber dado cabal cumplimiento al requerimiento de información realizado por esta Superintendencia, con miras a entregar la mayor cantidad de antecedentes posibles para el correcto análisis y pronunciamiento de esta autoridad, a continuación se entrega información adicional asociada a la implementación y potenciales costos asociados a la utilización de un excitador adosado.

Como ya fuera expuesto en nuestro escrito de descargos (punto 29 y siguientes), al momento de la construcción de la Línea 6 de Metro, no existía en Chile ningún proveedor que contara con los equipos necesarios para llevar a cabo las mediciones conforme a los estándares establecidos en la norma ISO 7626-2:1990 (circunstancia que se mantiene hasta el día de hoy), la que requiere la utilización de un equipo excitador adosado a la estructura a ser medida.

Por su parte, respecto de los países de América del Sur, solo Brasil contaba con empresas que disponían de equipos excitadores adosados. Sin embargo, existía una imposibilidad técnica de ser trasladado a Chile, tanto por las dimensiones del equipo como por su peso.

Dada la relevancia que dicho punto (imposibilidad técnica de utilizar un excitador adosado y sus respectivos costos de importación e implementación) puede tener en el análisis a ser efectuado por esta Superintendencia, Metro realizó gestiones complementarias para poder obtener información adicional.

En este sentido, se volvió a solicitar una cotización a la empresa brasileña IEME la que cuenta con excitadores adosados para realizar mediciones de vibraciones. En su respuesta (acompañada en un otrosí de esta presentación), confirmaron que, hasta la fecha, sigue siendo imposible prestar el servicio de medición por medio de un excitador adosado en Chile, principalmente por aspectos técnicos asociados a la seguridad e incertidumbres del traslado del equipo, considerando su volumen y peso (2.5 toneladas).

De manera complementaria, la referida empresa brasilera recomienda en su respuesta a Metro realizar las mediciones por medio de un martillo modal (excitador no adosado), que corresponde precisamente a la metodología utilizada en su oportunidad y reportada a la SMA en nuestros descargos.

Si bien estos antecedentes son entregados de manera voluntaria, dada la imposibilidad técnica de prestar el servicio, pese a los esfuerzos desplegados por mi representada los últimos meses, no contamos con un presupuesto que le permita a la SMA conocer el costo que habría tenido el servicio. Es decir, la medición a través del uso del referido equipo no se ejecutó exclusivamente por una imposibilidad técnica, no por un problema presupuestario.

Considerando todo lo previamente expuesto, pese a los intentos de cotización realizada por Metro, la imposibilidad técnica de proveer el servicio en Chile de la medición por medio de un equipo adosado, ha trasuntado en una imposibilidad de obtener un presupuesto asociado a dicho servicio.

**POR TANTO;** en virtud de lo expuesto y de lo que se señalará en el otrosí de esta presentación, solicito a usted tener por presente la información descrita para todos los efectos legales.

**OTROSÍ:** Sírvase tener por acompañado una cadena de correos electrónicos realizadas entre Metro y la empresa brasilera IEME en la que se explicita la imposibilidad técnica de trasladar el

excitador adosado a Chile, y la sugerencia de reemplazar la medición de vibraciones por medio un excitador no adosado dada la similitud de los resultados que dicho equipo otorga.

# Metro Santiago

## PROPOSTA TÉCNICA Y COMERCIAL

Ensayos Dinámicos en Vía Férrea de la Línea 6 del Metro de Santiago

**IEME – P – 7250.1/19**

## ÍNDICE

<b>1. OBJETIVO.....</b>	<b>3</b>
<b>2. PRESENTACIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>3. PROPUESTA TÉCNICA.....</b>	<b>5</b>
3.1 Conocimiento del caso .....	5
3.2 Alcance de los servicios .....	6
<b>4. PROPUESTA COMERCIAL .....</b>	<b>7</b>
4.1 Plazo y condiciones.....	7
4.2 Precio y condiciones .....	7
4.3 Condiciones de pago.....	7
4.4 Validad .....	7

## 1. OBJETIVO

El presente documento presenta la propuesta técnico-comercial para la ejecución de los servicios de consultoría en ingeniería, “Ensayos Dinámicos en la Vía Férrea de la Línea 6 del Metro de Santiago”, a ser realizados por la empresa IEME BRASIL Engenharia Consultiva Ltda., con sede en la calle MMDC, 450 – 2° piso, São Paulo – SP/Brasil.

A continuación será presentada la experiencia de la empresa bien como los detalles de la propuesta técnica y comercial.

## 2. PRESENTACIÓN

Fundada en 1987, IEME Brasil Engenharia Consultiva Ltda. viene desarrollando trabajos técnicos de alta complejidad en análisis de estructuras, gestión de proyectos, recopilación de datos, evaluación técnica, ensayos y pruebas, elaboración de proyectos (diseño de ingenierías), entre otros.

IEME Brasil é una empresa conformada por IEME Engenharia Consultiva, IEME Desenvolvimento Urbano y por el laboratorio de Acústica y Ensayos Dinámicos y Estáticos, LAEDE. Entre las diversas actividades, se destacan:

- Pioneros, tecnología, experiencia y liderazgo en inspección, diagnóstico, instrumentación y evaluación dinámica de grandes estructuras;
- Gerencia, apoyo a la gestión ambiental e interventoría/seguimiento de obras;
- Gestión y ejecución del trabajo social, apoyo técnico a la regularización territorial, urbanización de asentamientos precarios e implementación de políticas de vivienda;
- Análisis experimental de componentes y sistemas para vías férreas;
- Diversos proyectos relacionados con la atenuación de vibraciones y ruidos de la Línea 1 - Azul, Línea 2-Verde, Línea 4-Amarilla, Línea 5-Lilas y Línea 6-Naranja de la Compañía del Metropolitano de São Paulo, CPTM, Metro de Salvador y VLTS (Trenes Ligeros) de Santos, Rio de Janeiro y Goiânia;
- Proyectos del Monorriel, Líneas 15-Plata, Línea 17-Oro, y Línea 1 del Metro de Bahía, por medio de estudios de previsión y control ambiental de vibración y ruido;
- Inspecciones de diversas estructuras.

### **3. PROPUESTA TÉCNICA**

#### **3.1 Conocimiento del caso**

Actualmente el Metro de Santiago cuenta con 6 líneas, más de 110 estaciones, tiene una extensión superior a 103 km y transporta, por día, más de 2 millones de personas.

Los trenes que circulan en la Línea 6, línea más reciente del Metro de Santiago, poseen rueda de acero, diferente a los trenes de las demás líneas, que son de caucho.

Se sabe que el movimiento de las ruedas de acero del tren sobre los rieles genera determinada energía de vibración a la estructura de la vía férrea, cimientos, suelo y a las estructuras de las edificaciones aledañas. Esta energía depende de diversos factores como la rugosidad de las ruedas y de los rieles, la resonancia del sistema de suspensión del vehículo y de la vía férrea, y de las fuerzas dinámicas transmitidas por los trenes, que dependen fundamentalmente de la carga por eje de cada vehículo. La vibración de la estructura de la vía, excita a su área adyacente con la creación de ondas de vibración que se propagan a través de las diversas capas del suelo y roca hasta las edificaciones donde ocurre la transmisión de los cimientos hasta la cima de la estructura.

Las vibraciones provenientes de los trenes han causado reclamos de los habitantes/usuarios de las edificaciones aledañas a la Línea 6 del Metro de Santiago.

Conscientes de esta situación el Metro de Santiago necesita de un estudio para verificar la eficiencia del sistema de atenuación de las vibraciones de la Línea 6, que está conformado por una losa de concreto apoyada sobre una manta.

Para verificar la eficiencia del sistema de atenuación, el Metro de Santiago solicitó la realización de ensayos dinámicos en 5 secciones de la vía férrea, con la utilización de una equipo/máquina excitador, con base en la norma ISO 7626-2.

Este equipo, denominado Vibrodina, posee 2,5 toneladas y sus dimensiones aproximadas son 1,3m x 1,3m de base y 1,7 de altura. La logística de transporte de este equipo, así como la fijación e instalación, instrumentación, pruebas y ensayos son demorados y, por el tiempo disponible en campo ser de apenas 4 horas, entre las 0h30m y 4h30m, no es posible su utilización. Con base en esto, la empresa IEME BRASIL propone las actividades descritas en el ítem 3.2 para evaluar la eficiencia del sistema de atenuación de vibraciones de la Línea 6.

### 3.2 Alcance de los servicios

La evaluación de la eficiencia del sistema de atenuación de vibraciones de la Línea 6 será realizada por medio de:

- a) Análisis de los documentos técnicos da vía férrea para planeación de los ensayos;
- b) Ensayo dinámico con martillo instrumentado, considerando la norma ISO 7626-5.  
Por medio de este ensayo es posible obtener las propiedades dinámicas de la vía y de sus componentes sin el paso de los trenes;
- c) Ensayo dinámico con el paso de los trenes en operación normal. En este caso, las propiedades dinámicas serán obtenidas a través de la técnica *Operational Modal Analysis (OMA)*;
- d) Instrumentación de los rieles para la obtención de las cargas laterales y verticales inducidas por los trenes. Con esto, se puede detectar eventuales impactos y verificar si la variación de cargas causan diferencias en las propiedades dinámicas obtenidas;
- e) Informe técnico final con la descripción de todas las actividades, los resultados y conclusiones.

## **4. PROPUESTA COMERCIAL**

### **4.1 Plazo y condiciones**

El plazo para la ejecución de los ensayos en campo es de 3 noches por sección.

Las actividades serán realizadas en el periodo entre las 0h:30 y las 4h:30, con apoyo del Metro de Santiago.

### **4.2 Precio y condiciones**

El precio para la ejecución de los servicios propuestos, por sección instrumentada, es de R\$60.000,00 (Sesenta mil reales). Este precio es válido para apenas para una sección. Caso la contratación sea realizada para más secciones, será concedido un descuento que será acordado entre las partes.

El valor de la movilización y gastos de transporte de los equipos, estadía, alimentación, tiquetes aéreos y costos aduaneros no están incluidos en este precio.

### **4.3 Condiciones de pago**

El pago deberá ser realizado con la entrega del informe técnico final de cada sección.

### **4.4 Validad**

La presente propuesta de prestación de servicios es válida por 30 días, contados a partir de la fecha de la presentación.

São Paulo, 22 de octubre de 2019.

Marco Juliani  
Director - IEME BRASIL Engenharia Consultiva

# Metro Santiago

## PROPOSTA TÉCNICA Y COMERCIAL

Ensayos Dinámicos en Vía Férrea de la Línea 6 del Metro de Santiago

**IEME – P – 7250.1A/19**

## ÍNDICE

<b>1. OBJETIVO.....</b>	<b>3</b>
<b>2. PRESENTACIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>3. PROPUESTA TÉCNICA.....</b>	<b>5</b>
3.1 Conocimiento del caso .....	5
3.2 Alcance de los servicios .....	6
<b>4. PROPUESTA COMERCIAL .....</b>	<b>7</b>
4.1 Plazo y condiciones.....	7
4.2 Precio y condiciones .....	7
4.3 Condiciones de pago.....	7
4.4 Validad .....	7

## 1. OBJETIVO

El presente documento presenta la propuesta técnico-comercial para la ejecución de los servicios de consultoría en ingeniería, “Ensayos Dinámicos en la Vía Férrea de la Línea 6 del Metro de Santiago”, a ser realizados por la empresa IEME BRASIL Engenharia Consultiva Ltda., con sede en la calle MMDC, 450 – 2º piso, São Paulo – SP/Brasil.

A continuación será presentada la experiencia de la empresa bien como los detalles de la propuesta técnica y comercial.

## 2. PRESENTACIÓN

Fundada en 1987, IEME Brasil Engenharia Consultiva Ltda. viene desarrollando trabajos técnicos de alta complejidad en análisis de estructuras, gestión de proyectos, recopilación de datos, evaluación técnica, ensayos y pruebas, elaboración de proyectos (diseño de ingenierías), entre otros.

IEME Brasil é una empresa conformada por IEME Engenharia Consultiva, IEME Desenvolvimento Urbano y por el laboratorio de Acústica y Ensayos Dinámicos y Estáticos, LAEDE. Entre las diversas actividades, se destacan:

- Pioneros, tecnología, experiencia y liderazgo en inspección, diagnóstico, instrumentación y evaluación dinámica de grandes estructuras;
- Gerencia, apoyo a la gestión ambiental e interventoría/seguimiento de obras;
- Gestión y ejecución del trabajo social, apoyo técnico a la regularización territorial, urbanización de asentamientos precarios e implementación de políticas de vivienda;
- Análisis experimental de componentes y sistemas para vías férreas;
- Diversos proyectos relacionados con la atenuación de vibraciones y ruidos de la Línea 1 - Azul, Línea 2-Verde, Línea 4-Amarilla, Línea 5-Lilas y Línea 6-Naranja de la Compañía del Metropolitano de São Paulo, CPTM, Metro de Salvador y VLTS (Trenes Ligeros) de Santos, Rio de Janeiro y Goiânia;
- Proyectos del Monorriel, Líneas 15-Plata, Línea 17-Oro, y Línea 1 del Metro de Bahía, por medio de estudios de previsión y control ambiental de vibración y ruido;
- Inspecciones de diversas estructuras.

### **3. PROPUESTA TÉCNICA**

#### **3.1 Conocimiento del caso**

Actualmente el Metro de Santiago cuenta con 6 líneas, más de 110 estaciones, tiene una extensión superior a 103 km y transporta, por día, más de 2 millones de personas.

Los trenes que circulan en la Línea 6, línea más reciente del Metro de Santiago, poseen rueda de acero, diferente a los trenes de las demás líneas, que son de caucho.

Se sabe que el movimiento de las ruedas de acero del tren sobre los rieles genera determinada energía de vibración a la estructura de la vía férrea, cimientos, suelo y a las estructuras de las edificaciones aledañas. Esta energía depende de diversos factores como la rugosidad de las ruedas y de los rieles, la resonancia del sistema de suspensión del vehículo y de la vía férrea, y de las fuerzas dinámicas transmitidas por los trenes, que dependen fundamentalmente de la carga por eje de cada vehículo. La vibración de la estructura de la vía, excita a su área adyacente con la creación de ondas de vibración que se propagan a través de las diversas capas del suelo y roca hasta las edificaciones donde ocurre la transmisión de los cimientos hasta la cima de la estructura.

Las vibraciones provenientes de los trenes han causado reclamos de los habitantes/usuarios de las edificaciones aledañas a la Línea 6 del Metro de Santiago.

Conscientes de esta situación el Metro de Santiago necesita de un estudio para verificar la eficiencia del sistema de atenuación de las vibraciones de la Línea 6, que está conformado por una losa de concreto apoyada sobre una manta.

Para verificar la eficiencia del sistema de atenuación, el Metro de Santiago solicitó la realización de ensayos dinámicos en 5 secciones de la vía férrea, con la utilización de una equipo/máquina excitador, con base en la norma ISO 7626-2.

Este equipo, denominado Vibrodina, posee 2,5 toneladas y sus dimensiones aproximadas son 1,3m x 1,3m de base y 1,7 de altura. La logística de transporte de este equipo, así como la fijación e instalación, instrumentación, pruebas y ensayos son demorados y, por el tiempo disponible en campo ser de apenas 4 horas, entre las 0h30m y 4h30m, no es posible su utilización. Con base en esto, la empresa IEME BRASIL propone las actividades descritas en el ítem 3.2 para evaluar la eficiencia del sistema de atenuación de vibraciones de la Línea 6.

### 3.2 Alcance de los servicios

La evaluación de la eficiencia del sistema de atenuación de vibraciones de la Línea 6 será realizada por medio de:

- a) Análisis de los documentos técnicos da vía férrea para planeación de los ensayos;
- b) Ensayo dinámico con martillo instrumentado (\*), considerando la norma ISO 7626-5.

Por medio de este ensayo es posible obtener las propiedades dinámicas de la vía y de sus componentes sin el paso de los trenes;

- c) Ensayo dinámico con el paso de los trenes en operación normal. En este caso, las propiedades dinámicas serán obtenidas a través de la técnica *Operational Modal Analysis (OMA)*;
- d) Instrumentación de los rieles para la obtención de las cargas laterales y verticales inducidas por los trenes. Con esto, se puede detectar eventuales impactos y verificar si la variación de cargas causan diferencias en las propiedades dinámicas obtenidas;
- e) Informe técnico final con la descripción de todas las actividades, los resultados y conclusiones.

(\* ) La prueba también puede ser realizada con un generador de vibración mecánico fijo que ahora está haciendo algunos trabajos en Italia e debe regresar a Brasil dentro de 5 meses (abril 2020).

## **4. PROPUESTA COMERCIAL**

### **4.1 Plazo y condiciones**

El plazo para la ejecución de los ensayos en campo es de 3 noches por sección.

Las actividades serán realizadas en el periodo entre las 0h:30 y las 4h:30, con apoyo del Metro de Santiago.

### **4.2 Precio y condiciones**

El precio para la ejecución de los servicios propuestos, por sección instrumentada, es de R\$60.000,00 (Sesenta mil reales). Este precio es válido para apenas para una sección. Caso la contratación sea realizada para más secciones, será concedido un descuento que será acordado entre las partes.

El valor de la movilización y gastos de transporte de los equipos, estadía, alimentación, tiquetes aéreos y costos aduaneros no están incluidos en este precio.

### **4.3 Condiciones de pago**

El pago deberá ser realizado con la entrega del informe técnico final de cada sección.

### **4.4 Validad**

La presente propuesta de prestación de servicios es válida por 30 días, contados a partir de la fecha de la presentación.

São Paulo, 06 de noviembre de 2019.

Marco Juliani  
Director - IEME BRASIL Engenharia Consultiva

## Consuelo Toresano

---

**De:** Liana Becocci [REDACTED] >  
**Enviado el:** viernes, 1 de noviembre de 2019 19:53  
**Para:** Felipe Rivas  
**CC:** Marco Juliani; Juan Camilo Gomez Alvarado  
**Asunto:** METRO Santiago

**Marca de seguimiento:** FollowUp  
**Estado de marca:** Completado

**Categorías:** Categoría roja

Este correo contiene uno o más archivos adjuntos de ¡origen desconocido!. Antes de proceder a descargarlo o abrirlo, debe comprobar el remitente y la veracidad de la información adjunta. Si tiene dudas respecto a lo indicado, ¡no abra el correo ni ejecute sus adjuntos!, y contacte a la mesa de Soporte a Usuarios en el anexo 8000.

---

Buenas tardes Felipe,

Desafortunadamente, aún no es posible definir la fecha en que la Vibrodina minor habrá terminado su trabajo en Italia y podrá ir a Chile.

Incluso el equipo más grande que tenemos aquí en Brasil, tendría que cruzar três países por tierra.

En este caso, todas las burocracias legales y problemas logísticos implican un riesgo muy alto para los costos y seguridad del sistema.

De acuerdo con las normas ISO 7626, es posible obtener los datos para evaluar el aislamiento generado por los sistemas de mitigación de vibraciones utilizando el Martillo Instrumentado.

**ISO 7626-2:2015(E)**

### **Introduction to this part of ISO 7626**

For many applications of mechanical mobility data, it is sufficient to determine the driving-point mobility and a few transfer mobilities by exciting the structure at a single location in a single direction and measuring the translational response motions at key points on the structure. The translational excitation force can be applied either by vibration exciters attached to the structure under test or by devices that are not attached.

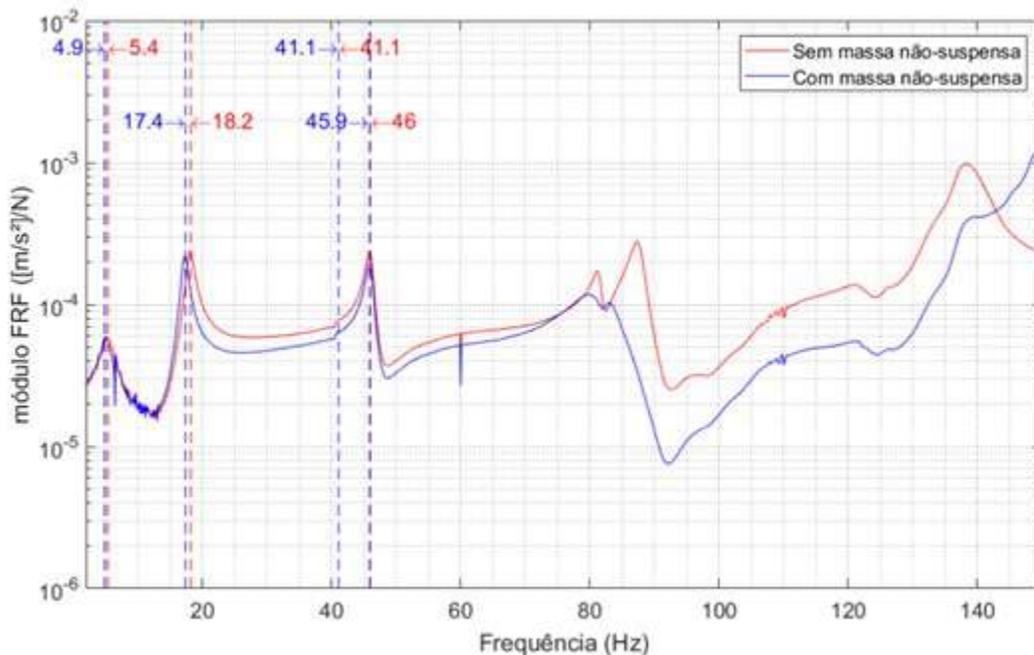
Categorization of excitation devices as "attached" or "unattached" has significance in terms of the ease of moving the excitation point to a new position. It is much easier, for example, to change the location of an impulse applied by an instrumented hammer than it is to relocate an attached vibration exciter to a new point on the structure. Both methods of excitation have applications to which they are best suited. This part of ISO 7626 deals with measurements using a single attached exciter; measurements made by impact excitation without the use of attached exciters are covered by ISO 7626-5.

Debido a la complejidad y costo de la prueba con la Vibrodina, hemos hecho muchos trabajos incluso en Brasil con el Martillo Instrumentado y obtenido toda la información que nos proporcionaría el generador mecánico fijo. Entre estos trabajos podemos destacar:

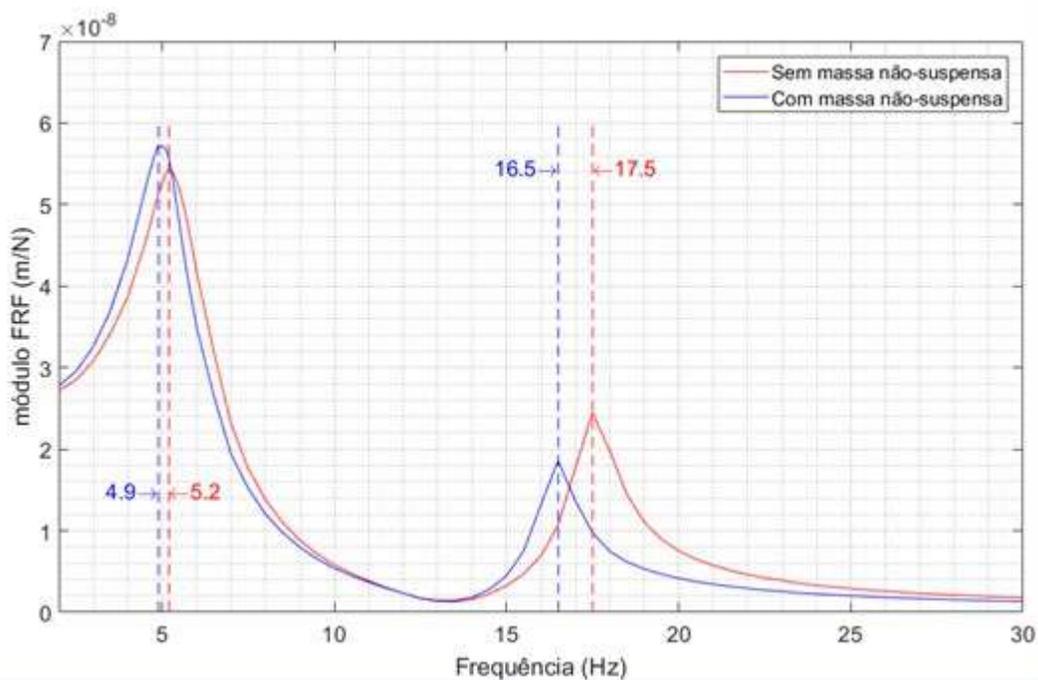
- La determinación de frecuencias naturales y transmissibilidad para las Estaciones Coral, Corinthians-Itaquera y Guaianazes de la Cia. Paulista de Trens Metropolitanos – CPTM y la determinación de causas de rotura de clips, de vibración excesiva y propagación de ruido en los alrededores de los lotes 3 y 7 de la Línea 5 del METRO de São Paulo, entre otros.

A continuación es posible ver la precisión del trabajo realizado.

- Resultado con el Martillo Instrumentado (4,9 / 5.4 Hz)



- Resultado con la Vibrodina (4,9 / 5.4 Hz)





Seguimos esperando tus comentarios.  
Cordiales saludos,



**Liana Becocci**  
*Diretoria Financeiro - Administrativo*  
tel . : 11 5643-1414  
fax : 11 3816-1099  
[www.iemebrasil.com.br](http://www.iemebrasil.com.br)  
[www.laede.com.br](http://www.laede.com.br)

## Consuelo Toresano

---

**De:** Felipe Rivas  
**Enviado el:** jueves, 7 de noviembre de 2019 16:58  
**Para:** 'Liana Becocci'  
**CC:** Marco Juliani; Juan Camilo Gomez Alvarado  
**Asunto:** RE: METRO Santiago

Muchas gracias Liana por la información.

Saludos Cordiales

---

### Felipe Rivas Villarroel

Jefe de Proyecto Ruidos y Vibraciones  
Gerencia Corporativa de Ingeniería



[Redacted]  
Avenida Libertador Bernardo O'Higgins 1414 / Santiago – Chile  
CP: 8330181

---

**De:** Liana Becocci [Redacted]  
**Enviado el:** jueves, 07 de noviembre de 2019 12:09  
**Para:** Felipe Rivas  
**CC:** Marco Juliani; Juan Camilo Gomez Alvarado  
**Asunto:** RES: METRO Santiago

Este correo contiene uno o más archivos adjuntos de origen desconocido!. Antes de proceder a descargarlo o abrirlo, debe comprobar el remitente y la veracidad de la información adjunta. Si tiene dudas respecto a lo indicado, ¡no abra el correo ni ejecute sus adjuntos!, y contacte a la mesa de Soporte a Usuarios en el anexo 8000.

---

Buenos días Felipe,

Realmente no es factible realizar las pruebas con equipo vibrodina que está ahora en Brasil dadas las complejidades de traslado de este instrumental.

El generador mecánico fijo de vibración más adecuado para el Metro de Santiago es el que se encuentra en Italia en este momento realizando pruebas que finalizan en 5 meses (incluido el tiempo de regreso a Brasil).

Como informamos en el correo electrónico del 03/11, el martillo instrumentado puede nos proporcionar resultados muy buenos, más rápidos y de menor costo.

Cordiales saludos,



**Liana Becocci**  
Diretoria Financeiro - Administrativo  
tel . : 11 5643-1414  
fax : 11 3816-1099  
[www.iemebrasil.com.br](http://www.iemebrasil.com.br)  
[www.laede.com.br](http://www.laede.com.br)

---

**De:** Felipe Rivas [mailto:[Redacted]]  
**Enviada em:** quarta-feira, 6 de novembro de 2019 11:10

**Para:** Liana Becocci [REDACTED] >

**Assunto:** RE: METRO Santiago

Estimada Liana

junto con saludar me llego correo que adjunto más abajo el día domingo, al parecer es un reenvió desde tu celular. Te consulto si será posible agregar en vuestra cotización enviada para prueba con martillo modal, indicar un párrafo si no es factible realizar las pruebas con equipo vibrodina dadas las complejidades de traslado de este instrumental.

Agradeciendo tu ayuda y atento a tus comentarios

Saludos Cordiales

---

**Felipe Rivas Villarroel**

Jefe de Proyecto Ruidos y Vibraciones  
Gerencia Corporativa de Ingeniería

[REDACTED]  
[REDACTED]  
Avenida Libertador Bernardo O'Higgins 1414 / Santiago – Chile  
CP: 8330181



---

**De:** Liana Becocci [REDACTED]

**Enviado el:** domingo, 03 de noviembre de 2019 23:03

**Para:** Felipe Rivas

**Asunto:** Re: METRO Santiago

Enviado do meu iPhone

Em 3 de nov de 2019, à(s) 13:49, Felipe Rivas [REDACTED] <[\[REDACTED\].cl](mailto:[REDACTED].cl)> escreveu:

Estimada Liana junto con saludar y agradecer la informacion enviada, entendemos que con ambos sistemas excitadores es posible conocer el aislamiento de vibraciones.

Tenemos vuestra cotizacion con el uso de martillo modal, y como comente en correos precedentes, nos gustaria saber el costo que tendria poder realizar este servicio y las consideraciones que se requieren de tiempo y personal para poder realizar ensayos con el equipo vibrodina.

Entendemos que dado su tamaño es complejo trasladar este y que tiene costos elevados, pero es la unica forma para nosotros para programar si es factible realizar pruebas con este equipo en especial para nuestras extensiones y futuras lineas.

**Si creen que no es factible poder desarrollar este servicio con equipo vibrodina, les pido por favor indicar en ultima cotizacion enviada un parrafo con esta informacion y los motivos.**

Agradeciendo vuestra ayuda en este tema.

Saludos cordiales

Felipe Rivas

Enviado desde mi smartphone Samsung Galaxy.

----- Mensaje original -----

De: Liana Becocci [REDACTED]

Fecha: 1/11/19 19:52 (GMT-04:00)

A: Felipe Rivas [REDACTED]

CC: Marco Juliani [REDACTED] Juan Camilo Gomez Alvarado

Asunto: METRO Santiago

Este correo contiene uno o más archivos adjuntos de origen desconocido!. Antes de proceder a descargarlo o abrirlo, debe comprobar el remitente y la veracidad de la información adjunta. Si tiene dudas respecto a lo indicado, ¡no abra el correo ni ejecute sus adjuntos!, y contacte a la mesa de Soporte a Usuarios en el anexo 8000.

---

Buenas tardes Felipe,

Desafortunadamente, aún no es posible definir la fecha en que la Vibrodina minor habrá terminado su trabajo en Italia y podrá ir a Chile.

Incluso el equipo más grande que tenemos aquí en Brasil, tendría que cruzar três países por tierra. En este caso, todas las burocracias legales y problemas logísticos implican un riesgo muy alto para los costos y seguridad del sistema.

De acuerdo con las normas ISO 7626, es posible obtener los datos para evaluar el aislamiento generado por los sistemas de mitigación de vibraciones utilizando el Martillo Instrumentado.

<image001.png>

Debido a la complejidad y costo de la prueba con la Vibrodina, hemos hecho muchos trabajos incluso en Brasil con el Martillo Instrumentado y obtenido toda la información que nos proporcionaría el generador mecánico fijo.

Entre estos trabajos podemos destacar:

- La determinación de frecuencias naturales y transmissibilidad para las Estaciones Coral, Corinthians-Itaquera y Guaianazes de la Cia. Paulista de Trens Metropolitanos – CPTM y la determinación de causas de rotura de clips, de vibración excessiva y propagación de ruido en los alrededores de los lotes 3 y 7 de la Línea 5 del METRO de São Paulo, entre otros.

A continuación es posible ver la precisión del trabajo realizado.

- Resultado con el Martillo Instrumentado (4,9 / 5.4 Hz)

<image008.png>

- Resultado con la Vibrodina (4,9 / 5.4 Hz)

<image004.png>

<image009.png>

Seguimos esperando tus comentarios.  
Cordiales saludos,

<image007.png>

**Liana Becocci**  
*Diretoria Financeiro - Administrativo*  
tel . : 11 5643-1414  
fax : 11 3816-1099  
[www.iemebrasil.com.br](http://www.iemebrasil.com.br)  
[www.laede.com.br](http://www.laede.com.br)

*verifique a real necessidade de imprimir documentos*

	<u>ENGLISH</u>	<u>SI</u>	
<b>Performance</b>			
Sensitivity(± 15 %)	1 mV/lbf	0.23 mV/N	
Measurement Range	± 5000 lbf pk	± 22,240 N pk	
Resonant Frequency	≥ 5 kHz	≥ 5 kHz	
Non-Linearity	≤ 1 %	≤ 1 %	
<b>Electrical</b>			
Excitation Voltage	20 to 30 VDC	20 to 30 VDC	
Constant Current Excitation	2 to 20 mA	2 to 20 mA	
Output Impedance	<100 Ohm	<100 Ohm	[1]
Output Bias Voltage	8 to 14 VDC	8 to 14 VDC	
Discharge Time Constant	≥ 2000 sec	≥ 2000 sec	[1]
<b>Physical</b>			
Sensing Element	Quartz	Quartz	
Sealing	Hermetic	Hermetic	
Hammer Mass	12.1 lb	5.5 kg	
Head Diameter	3.0 in	7.6 cm	
Tip Diameter	3.0 in	7.6 cm	
Hammer Length	35 in	89 cm	
Electrical Connection Position	Bottom of Handle	Bottom of Handle	
Electrical Connector	BNC Jack	BNC Jack	

**OPTIONAL VERSIONS**

Optional versions have identical specifications and accessories as listed for the standard model except where noted below. More than one option may be used.

**TLD** - TEDS Capable of Digital Memory and Communication Compliant with IEEE 1451.4

Output Bias Voltage	8.5 to 15 VDC	8.5 to 15 VDC
---------------------	---------------	---------------

**NOTES:**

[1] Typical.  
[2] See PCB Declaration of Conformance PS136 for details.

**SUPPLIED ACCESSORIES:**

Model 084A31 Tip - soft plastic, brown (1)  
Model 084A32 Tip - hard plastic, red (1)  
Model HCS-2 Calibration of Series 086 instrumented impact hammers (1)

Entered: LK      Engineer: BAM      Sales: WDC      Approved: BAM      Spec Number:  
Date: 10/11/2016      Date: 10/11/2016      Date: 10/11/2016      Date: 10/11/2016      **12993**



*All specifications are at room temperature unless otherwise specified.  
In the interest of constant product improvement, we reserve the right to change specifications without notice.*

ICP® is a registered trademark of PCB Group, Inc.



**Phone: 716-684-0001**  
**Fax: 716-684-0987**  
**E-Mail: info@pcb.com**



<b>CLIENTE:</b>	Metro de Santiago Santiago	<b>FECHA:</b>	10 de Septiembre de 2019
<b>ATENCION:</b>	Sr. Felipe Rivas	<b>FABRICANTE:</b>	VAR-259-19-B
		<b>PAGINA:</b>	PCB Piezotronics
		<b>REFERENCIA CLIENTE:</b>	1 de 1
		<b>PREPARO :</b>	Solicitud vía email
			JHG

## SUMINISTROS PCB

ITEM	NUMERO DE PARTE	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO US \$	TOTAL US \$
1	086D50	Large-sledge Impulse Hammer w/force sensor & tips, 0 to 5k lbf, 1 mV/lbf (0.23 mV/N), 12-lb head.	1	2.130	2.130
2	002T10	General purpose coaxial cable, white FEP jacket, 10-ft, BNC plug to BNC plug	1	46	46
<b>TOTAL DE LA OFERTA</b>					<b>2.176 +IVA</b>

**NOTAS:**

- No incluye ningún otro ítem que no esté específicamente indicado en la presente oferta económica
- La oferta es por la totalidad de los ítems indicados.

<b>VALIDEZ OFERTA</b>	15 días
<b>PLAZOS DE ENTREGA</b>	De 6 - 7 semanas, como plazo estándar, calendario, de procesada su O/C
<b>LUGAR DE ENTREGA</b>	Metro de Santiago, Santiago
<b>PRECIOS</b>	Valor en pesos chilenos, no incluyen IVA. Sujetos a variación por cambios en las cantidades ordenadas
<b>CONDICIONES DE PAGO</b>	30 días contra factura
<b>FACTURACION</b>	Contra entrega, en pesos chilenos, según cambio dólar observado indicado por el Banco Central de Chile, a la fecha de despacho

METRO S.A.  
RUT: 61219000-3  
ALAMEDA 1414  
Santiago de Chile  
Giro: Transporte de Pasajeros



Orden de Compra  
N°: 3600019822  
Fecha doc.: 29/09/2020  
(Pág: 1 de 2)

**ANTECEDENTES DEL PROVEEDOR O CONTRATISTA:**

Nombre:	CONTADOR Y CAMPOS INGEN. LTDA.	R.U.T.:	76102572-4
Dirección:	ITALIA 01133 LA CISTERNA	Fono:	██████████
Ciudad/País:	Chile	Fax:	██████████
Contacto:	OSCAR CONTADOR OSCAR CONTADOR	E-mail:	██
Incoterm / Moneda:	Unidad de Fomento		
Condición Pago:	30 días Recep Factura o Boleta		

Pos.	Cód.SAP	Descripción	Fe. Entrega	Cant.	UM	Precio Neto	Neto Total
00010		Medición de Transmisibilidad	05.10.2020				
		<b>Servicios</b>					
	80000000938	ESTUDIO MEDICION CALIDAD DEL AIRE		1	GLOBAL	90,0000	90,0000
		Medición de Transmisibilidad en Vías de Línea 3- tramo Plaza Egaña a Fernando Castillo Velasco					
		<b>Dir. Entrega:</b> LORD COCHRANE ALONSO DE OVALLE 1435 Santiago Chile					

TOTAL NETO	90,0000
IVA 19 %	0,0000
TOTAL ( / UF )	90,0000

**NOTAS:**

Medición de Transmisibilidad en Vías de Línea 3- tramo Plaza Egaña a Fernando Castillo Velasco

**Comprador:** Catherine Valeska Astengo León  
**Fono:** 22 937 3251  
**Dirección:** ALAMEDA 1414  
**E-mail:** ██████████

1. La devolución/rechazo de esta Orden de Compra (OC), deberá efectuarse dentro del plazo de 2 días hábiles contados desde la fecha de recepción de la OC por el Proveedor o Contratista, devolución que deberá notificarse al Comprador a través de correo electrónico o por mano. De lo contrario, se entenderá aceptada en todos sus términos y condiciones.
2. El Proveedor o Contratista deberá utilizar la casilla 61219000-3@c-e.cl para realizar el envío de sus documentos electrónicos emitidos a Metro S.A. sólo en formato XML, haciendo referencia a la OC, Hoja de Entrada de Servicio (HES), para servicios y número de Guía de Despacho más entrada de mercancía (MIGO), para materiales. Además toda factura debe ser emitida indicando en la "Forma de Pago" la palabra "Crédito". Adicionalmente, al consultar la factura en el sitio web de Servicios de Impuestos Internos (SII), debe presentar estado de validez "Documento Recibido por el SII". La factura se considerará recibida en conformidad, una vez que el Proveedor obtenga el documento "Acuse de Recibo" emitido por Metro. A diferencia de los principales documentos tributarios electrónicos (facturas, notas de crédito y notas de débito), sólo las boletas de honorarios electrónicas que emita el Proveedor o Contratista deben ser enviadas al correo rfacturas@metro.cl en formato PDF haciendo referencia también a la OC u Hoja de Entrada de Servicios (HES).
3. Para adquisiciones a través de convenios marco de mercado público, el Proveedor deberá incorporar en la respectiva factura, el Número de la OC interna de Metro. La OC generada a través de mercado público se utiliza únicamente para formalizar dicho proceso de adjudicación.
4. El plazo para reclamar sobre el estado de la(s) factura(s) asociada(s) a la OC que emita el Proveedor, a que se refiere la Ley N° 20.956, artículo 4°, será de 8 días corridos desde su recepción en la página del SII.
5. El Proveedor no podrá ceder, traspasar o delegar a ningún título todo o parte de la Orden de Compra, sin la expresa y previa autorización, otorgada en forma escrita por Metro. Tampoco podrá delegar ni ceder ninguna de las obligaciones y derechos que adquiera en virtud de la Orden de Compra o cualquiera de sus partes, o gravar con prendas o establecer otros gravámenes sobre la OC, sin autorización previa de Metro.
6. El pago de la(s) factura(s), objeto de esta OC se efectuará en pesos, moneda nacional chilena. Lo anterior también se aplicará a las OC expresadas en moneda extranjera, para cuyo efecto la suma correspondiente expresada en moneda extranjera se convertirá a su equivalente en pesos del día de la facturación o de la recepción conforme por parte del Comprador, según el tipo de cambio denominado "Dólar Observado", publicado en el Diario Oficial el día de facturación o de la recepción conforme, según corresponda, de conformidad a lo dispuesto en el N° 6 del Capítulo I del Título I del Compendio de Normas de Cambios Internacionales del Banco Central de Chile.
7. La forma de pago será a 30 días de la fecha de presentación de la factura aceptada como correcta por parte de Metro, y previa recepción conforme del suministro o servicio. El pago se realizará mediante transferencia bancaria o vale vista nominativo. Este último podrá ser retirado en cualquier sucursal del Banco Santander Chile, previa presentación de cédula de identidad y RUT del Proveedor, de lunes a viernes entre las 09:00 y 14:00 horas.
8. Se entenderán como documentos complementarios a esta OC para todos los efectos y serán exigibles y obligatorios, en lo que sean aplicables (sin estar en orden prelación), los siguientes: Carta de Adjudicación, Bases de Licitación o Cotización, Especificaciones Técnicas y la documentación del Contrato, si la hubiere. No deberán anotarse en esta OC indicaciones adicionales por parte del Proveedor o del Contratista. Sí, no obstante lo anterior, se hiciera anotaciones; éstas no serán consideradas, salvo las que digan relación con el numeral siguiente.
9. El precio de esta OC es fijo, sin variaciones, salvo que en forma excepcional Metro indique en la propia OC, en la carta de adjudicación o en el Contrato, condiciones de reajustes de precios.
10. Esta OC no podrá ser sometida a cambio alguno, salvo que estos cuenten con el consentimiento escrito, previo y expreso de Metro.
11. Toda la información relacionada con esta OC es confidencial y, a menos que la ley vigente exija actuar de otro modo, el Proveedor o Contratista no podrá exhibir ni divulgar de cualquier forma ni por cualquier medio su contenido a terceros, sin contar en forma previa con el consentimiento escrito de Metro. Estas obligaciones no rigen respecto a informaciones que sean de dominio público.
12. El despacho de productos debe ser a la dirección indicada en la OC y coordinado previamente con 24 horas de anticipación. El horario de atención de las Bodegas de Metro es de lunes a viernes de 09:00 a las 12:00 horas y desde las 14:00 a las 16:00 horas. Las reservas para recepción serán de responsabilidad del Proveedor y se realizan en este mismo horario directamente en la bodega a donde van destinados los insumos. Los teléfonos para coordinar despacho son los siguientes: Bodega Lord Cochrane Fono: 229378225, Bodega Neptuno Fono: 229372456, Bodega Puente Alto, Fono 229377483 y 229377416.
13. Durante la vigencia del contrato y una vez finalizado, Metro podrá evaluar el desempeño del Proveedor o Contratista. Los resultados de dicha evaluación serán comunicados a éste y considerados en futuras licitaciones y/o contrataciones.



**CONTADOR Y CAMPOS  
INGENIERIA LIMITADA**

Giro: ASESOR.Y ANALIS.EN ING,OBRAS DE  
ING,COMER.Y ARR. EQUIP.PARA LA INDUST.  
ITALIA 01133 BIAUT- LA CISTERNA  
eMail : CONTACTO@CONTADORYCAMPOS.CL  
Telefono : 2

TIPO DE VENTA: DEL GIRO

**R.U.T.:76.102.572- 4**

**FACTURA NO AFECTA O  
EXENTA ELECTRONICA**

**N°608**

**S.I.I. - SANTIAGO SUR**

SEÑOR(ES): EMPRESA DE TRANSPORTE DE PASAJEROS METRO S A  
R.U.T.: 61.219.000- 3  
GIRO: TRANSPORTE URBANO Y SUBURBANO DE PASAJER  
DIRECCION: LIB B O'HIGGINS 1414  
COMUNA SANTIAGO CIUDAD: STGO  
CONTACTO: FELIPE RIVAS  
TIPO DE COMPRA: DEL GIRO

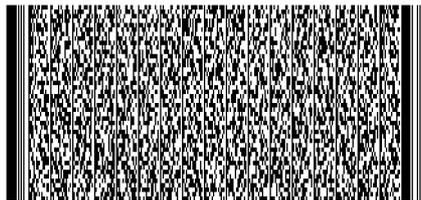
Fecha Emision: 06 de Noviembre del 2020

Codigo	Descripcion	Cantidad	Precio	%Impto Adic.*	%Desc.	Valor
-	ASESORÍA EN INGENIERÍA Informe con Medición de Transmisibilidad en Vías de Línea 3- tramo Plaza Egaña a Fernando Castillo Velasco de Metro S.A. Total 90 UF	1	2.596.979			2.596.979

Referencias:

- Orden Compra N° 3600019822 del 2020-09-29
- TipoDoc.HES N° 1000061532 del 2020-11-06

Forma de Pago:Crédito



Timbre Electrónico SII

Res.86 de 2005 Verifique documento: [www.sii.cl](http://www.sii.cl)

IMPUESTO ADICIONAL	\$	0
EXENTO	\$	2.596.979
TOTAL	\$	2.596.979



**CONTADOR Y CAMPOS  
INGENIERIA LIMITADA**

Giro: ASESOR.Y ANALIS.EN ING,OBRAS DE  
ING.COMER.Y ARR. EQUIP.PARA LA INDUST.  
ITALIA 01133 BIAUT- LA CISTERNA  
eMail : CONTACTO@CONTADORYCAMPOS.CL  
Telefono : 2  
TIPO DE VENTA: DEL GIRO

**R.U.T.:76.102.572- 4**

**FACTURA NO AFECTA O  
EXENTA ELECTRONICA**

**N°608**

**S.I.I. - SANTIAGO SUR**

SEÑOR(ES): EMPRESA DE TRANSPORTE DE PASAJEROS METRO S A  
R.U.T.: 61.219.000- 3  
GIRO: TRANSPORTE URBANO Y SUBURBANO DE PASAJER  
DIRECCION: LIB B O'HIGGINS 1414  
COMUNA SANTIAGO CIUDAD: STGO  
CONTACTO: FELIPE RIVAS  
TIPO DE COMPRA: DEL GIRO

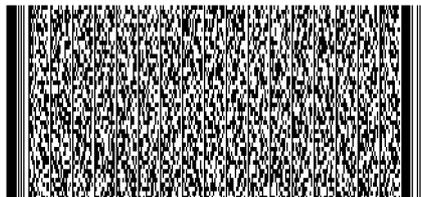
Fecha Emision: 06 de Noviembre del 2020

Codigo	Descripcion	Cantidad	Precio	%Impto Adic.*	%Desc.	Valor
-	ASESORÍA EN INGENIERÍA Informe con Medición de Transmisibilidad en Vías de Línea 3- tramo Plaza Egaña a Fernando Castillo Velasco de Metro S.A. Total 90 UF	1	2.596.979			2.596.979

Referencias:

- Orden Compra N° 3600019822 del 2020-09-29
- TipoDoc. HES N° 1000061532 del 2020-11-06

Forma de Pago:Crédito



Timbre Electrónico SII

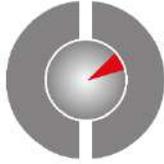
Res.86 de 2005 Verifique documento: [www.sii.cl](http://www.sii.cl)

IMPUESTO ADICIONAL	\$	0
EXENTO	\$	2.596.979
TOTAL	\$	2.596.979

Nombre: \_\_\_\_\_ RUT: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Recinto: \_\_\_\_\_ Firma \_\_\_\_\_

" El acuse de recibo que se declara en este acto, de acuerdo a lo dispuesto en la letra b) del Art. 4°, y la letra c) del Art. 5° de la Ley 19.983, acredita que la entrega de mercaderías o servicio(s) prestado(s) ha(n) sido recibido(s) "

**CEDIBLE**



CONTADOR Y CAMPOS INGENIERIA LTDA.  
Asesorías y análisis en ingeniería

**INFORME DE INSPECCIÓN - ENSAYO DE  
TRANSMISIBILIDAD DE VIBRACIONES EN VÍAS  
pk 10+960 LÍNEA 3 – METRO DE SANTIAGO**  
Santiago, Región Metropolitana, Chile

---

Preparado para:  
**METRO S.A.**

<b>1. Nombre del Proyecto</b>	Mediciones de Transmisibilidad de Vibraciones Línea 3 Metro S.A. Km 10.960	
<b>2. Código del Documento</b>	210602-1-Ensayo Transferencia L3	
<b>3. Título del Documento</b>	Ensayo de transmisibilidad de vibraciones en vías pk 10+960 Línea 3 Santiago, Región Metropolitana, Chile	
<b>4. Empresa Mandante</b>	Metro de Santiago	
<b>5. Responsable Mandante</b>	Felipe Rivas	
<b>6. Empresa Desarrolladora Informe</b>	Contador y Campos Ingeniería Ltda. Italia 01133, La Cisterna, Santiago, CHILE. Fonos: +56 22 792 6371 / +56 22 985 1088 contacto@contadorycampos.cl www.contadorycampos.cl	
<b>7. Fecha Actual Informe</b>	07 de junio de 2021	
<b>8. Revisión Actual Informe</b>	A	
<b>9. Responsable Elaboración</b>	Aldo Campos P.	
<b>Jefe de Proyecto</b>	Aldo Campos P. – Ing. Acústico UACH– Máster Ing. Estructural UC	
<b>Coordinador de Mediciones</b>	Francisco Gutiérrez – Ing. En Sonido – Post Título Acústica y Vibraciones UDLA	
<b>Mediciones de Terreno</b>	Adolfo Salgado – Ing. en Sonido - UST	
<b>Control de Revisiones</b>		
<b>Revisión</b>	<b>Fecha</b>	<b>Comentarios</b>
<b>0</b>	<b>07/06/2021</b>	Versión para distribución



Si necesita imprimir este Estudio, recicla el papel  
Es un recurso renovable y reciclable

## **RESUMEN EJECUTIVO**

Se realizó un ensayo de transmisibilidad de vibraciones en vías de Línea 3, en el tramo Plaza de Armas – Universidad de Chile, específicamente en el pk 10+960 que cuenta con un sistema de control de vibraciones tipo -20 dB. El ensayo se realizó entre el riel a losa flotante sobre manta (FSM-Floating Slab Manta) de acuerdo con el método de medición de movilidad usando excitación por impacto no adosado a la estructura ensayada. La determinación de transmisibilidad se realiza según la norma ISO 7626-5 (año 2019), con un martillo de impacto modal instrumentado con celda de carga. Se determinó las funciones de transferencia entre riel a losa flotante, y entre riel y muro lateral del túnel. Se instrumentó la losa, riel, y muro con acelerómetros de calidad sísmica de altas sensibilidades.

Se realizaron ensayos de impacto repetidos, en las vías 1 y 2, para medir la función de transferencia y la respuesta vibratoria del propio riel impactado. Se determina la compliancia de los elementos y las acelerancias o transferencias de movilidad.

Con los datos obtenidos se determina las diferencias de respuesta, y a partir de este resultado, se calcula la pérdida por transmisión TL (transmission loss) en curvas de tercio de octava y el valor global. El TL, indica una pérdida de energía vibratoria al pasar de un sistema al otro y el valor en las vías ensayadas oscila entre 49.2 a 58.5 dB.

Finalmente se hace una estimación de la pérdida por inserción IL (insertion loss) a partir de un modelo simple de masa (losa flotante riel y sistemas), más la consideración de una masa no suspendida, calibrada a partir de las curvas de admitancia del sistema. Se determina un valor de IL, el cual es calculado por un modelo estimador en base a modelos. El valor en la banda ferroviaria de 63 Hz alcanza 26.9 dB de atenuación IL.

## TABLA DE CONTENIDOS

---

<b>1</b>	<b>CONSIDERACIONES GENERALES</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	<b>7</b>
5.1	Ubicación de ensayo	7
5.2	Fecha de ensayo	9
5.3	Elementos ensayados	9
<b>6</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>11</b>
6.1	Sensores	12
6.2	Anclaje de sensores	14
6.3	Ensayo	16
6.4	Procesos de señales	16
<b>7</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>18</b>
7.1	Curvas de linealidad	18
7.2	Respuestas de frecuencia banda estrecha Vía 1	20
7.3	Respuestas de frecuencia banda estrecha Vía 2	23
7.4	Resultados de Pérdida por Transmisión TL	26
7.4.1	Resultados de TL vía 1	27
7.4.2	Resultados de TL vía 2	28
7.4.3	Resumen TL	28
7.5	Estimador de Pérdida por Inserción IL	29
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>38</b>
<b>9</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>39</b>
<b>10</b>	<b>ANEXO FOTOGRAFÍAS DE ENSAYO</b>	<b>43</b>

## 1 CONSIDERACIONES GENERALES

- El presente informe presenta los resultados finales del ensayo de transmisibilidad de vibraciones en vías, y pérdida por transmisión entre riel a losa y riel a muro en el pk 10+960 de Línea 3 entre interestaciones Plaza de Armas – Universidad de Chile de Metro de Santiago. El ensayo se realizó la madrugada del día 03 de junio de 2021.
- El alcance considera realizar ensayos de transferencia de movilidad con el método de excitación por impacto, calcular las respuestas de frecuencia, coherencia y funciones de transferencia, y a partir de estas, calcular la pérdida de transmisión TL, e inferir la pérdida por inserción IL del sistema de control de vibraciones existente.
- La información utilizada para realizar el ensayo se define en el capítulo 5 del presente informe de inspección.
- El informe muestra el resultado del ensayo de acuerdo con el diseño metodológico desarrollado por Contador y Campos Ingeniería Limitada, con base en la norma ISO 7626-5 "*Mechanical vibration and shock - Experimental determination of mechanical mobility - Part 5: Measurements using impact excitation with an exciter which is not attached to the structure*" del año 2019 y de acuerdo con los antecedentes disponibles y a los requerimientos encomendados por la empresa mandante.

## 2 INTRODUCCIÓN

El presente informe muestra los resultados obtenidos en el ensayo de transmisibilidad de vibraciones en vías, realizado in situ el día 03 de junio de 2021. El ensayo cuantificó la transmisibilidad entre el riel interno de la vía 1 y el riel externo de la vía 2 hacia losa y muro del túnel por el costado norte, de un tramo de vía recta que cuenta con losa flotante con manta. El ensayo se realizó en el pk 10+960 entre las estaciones Plaza de Armas y Universidad de Chile de la Línea 3 de Metro S.A. en la Comuna de Santiago.

Se aplica a cada riel un impacto de excitación con martillo de tipo modal instrumentado con un sensor de fuerza dinámica. Se miden valores de aceleración en tres puntos, sobre el riel, en la losa flotante sobre manta (FSM) y el muro del túnel.

A partir de los datos se estima la acelerancia en los tres puntos instrumentados con acelerómetros, y se estima también la admitancia para determinar las frecuencias de los modos de vibración. La diferencia de acelerancia permite estimar la atenuación entre estos puntos a la misma excitación en el riel, calculando la pérdida por transmisión o TL. Este cálculo se realiza en banda estrecha, en tercios de octava y como valores globales.

Finalmente se determinan mediante un ajuste de modelo calibrado según los resultados de admitancia un valor de pérdida por inserción o IL.

Se considera como antecedente técnico la norma ISO 7626-5 del año 2019.

### **3 OBJETIVO**

Medir la transmisibilidad de vibraciones en vías, cuantificando la pérdida de transmisión TL e inferir la pérdida por inserción IL entre rieles de vía 1 y vía 2 hacia losa flotante y muro de túnel entre las estaciones Plaza de Armas – Universidad de Chile en el pk 10+960 de la Línea 3 de Metro S.A.

### **4 ALCANCE**

El documento entrega los resultados de transmisibilidad, coherencia, admitancia, TL e IL de los elementos de vía ensayados en el pk 10+960, según método de excitación por impacto ISO 7626-5 (2019), la metodología diseñada para el ensayo descrito y la interpretación de los resultados.

### **5 ANTECEDENTES**

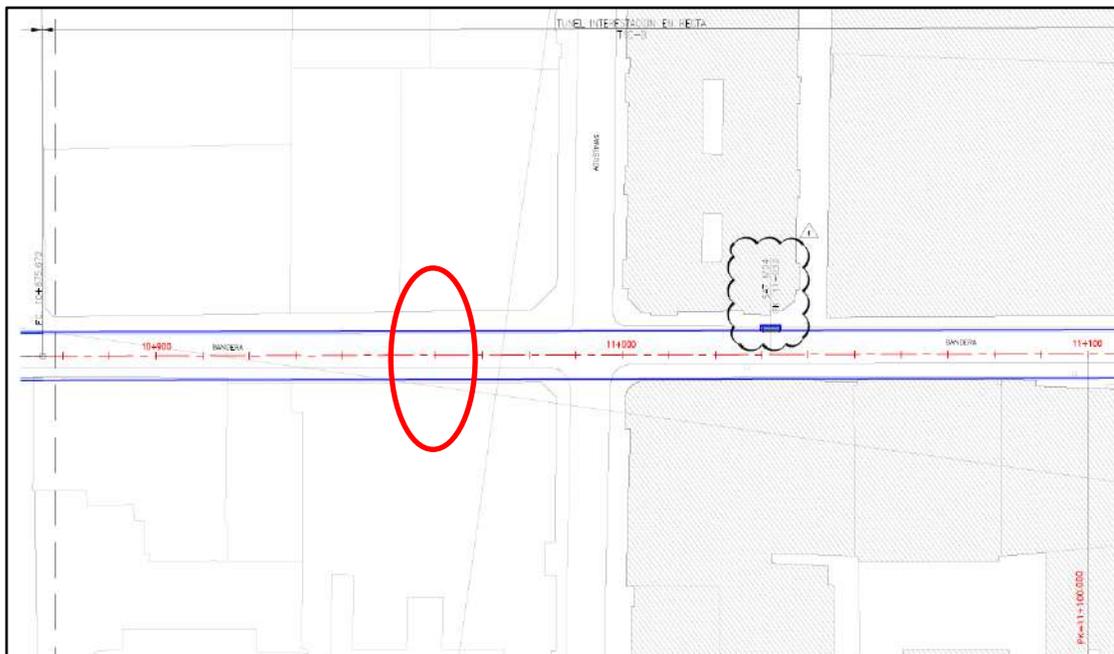
#### **5.1 Ubicación de ensayo**

Se ensayó una sección subterránea de vía recta entre las estaciones Plaza de Armas – Universidad de Chile, en el pk 10+960 de Línea 3 del Metro de Santiago.

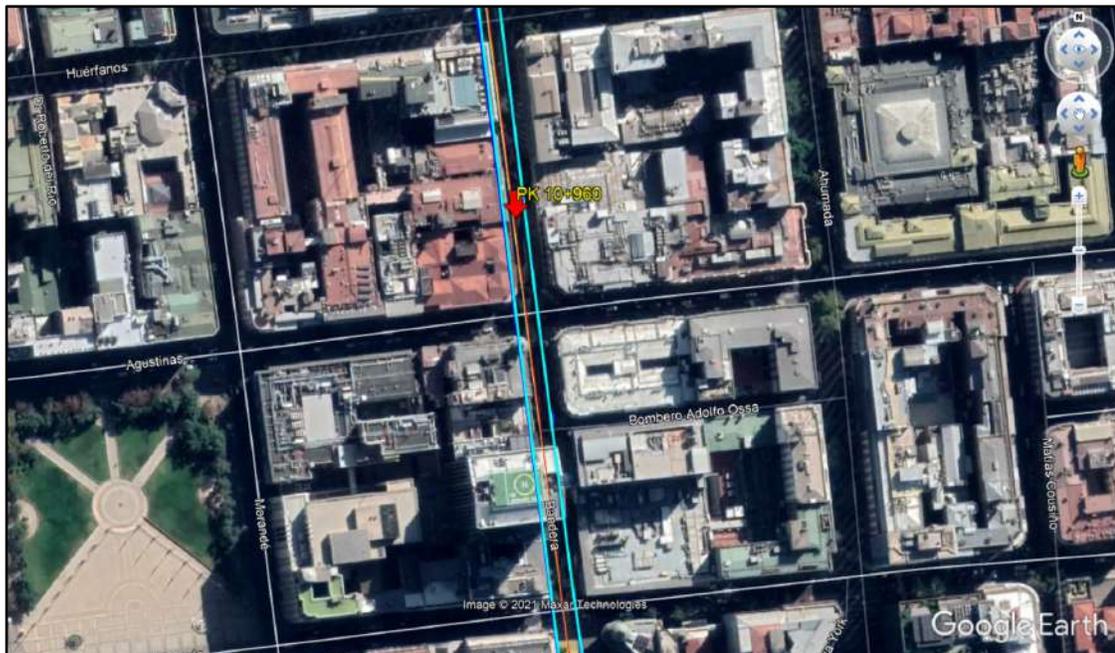
La zona ensayada presenta un sistema de control de vibraciones conformado por una losa flotante sobre manta (FSM) denominado tipo -20 dB de reducción de vibraciones.



**Ilustración 1: Disposición y ubicación de ensayo pk 10+960 de Línea 3**



**Ilustración 2: Emplazamiento pk 10+960 Línea 3, zona de ensayos respecto de superficie, sector Bandera con Agustinas.**



**Ilustración 3: Emplazamiento pk 10+960 Línea 3, zona de ensayos respecto de superficie, sector Bandera con Agustinas.**

## 5.2 Fecha de ensayo

El ensayo se realizó la madrugada del día 03 de junio de 2021, entre las 00:00 a las 02:30 hrs.

## 5.3 Elementos ensayados

Los elementos ensayados corresponden al riel externo tanto para vía 1 y vía 2 en tramo sobre el sistema de fijación (silla), utilizado como punto de excitación para la transmisibilidad hacia un punto en la losa flotante y un punto en la parte lateral del muro del túnel por el costado norte, sector en el cual en superficie se presentan edificaciones residenciales y/u oficinas.

Para registrar la respuesta de frecuencia del riel, se mide también la aceleración frente a un impacto mediante martillo modal en el mismo riel impactado (método driving point), considerándose el impacto a 20 cm del sistema de fijación de riel donde se ubicaba el sensor.

La zona ensayada corresponde a una vía recta (pk 10+960) conformada por losa flotante sobre manta que abarca a ambas vías existentes sin discontinuidades,

retornando por la canaleta de cables, con un sistema de fijación de silla tipo Railtech SEE-SD con anclaje directo a losa de hormigón y rieles tipo UIC60.

La manta del tipo FSM-L13 de la línea CDM de la marca Pandrol consiste en dos capas de caucho con un espesor total de 30mm.



**Ilustración 4: Sistema FSM losa flotante en manta de 30mm Marca Pandrol**



**Ilustración 5: silla de fijación SSE-SD Railtech.**

Ítem	Punto medido	Vía	Tipo	Pendiente
1	pk 10+960	1 (hacia Estación UCH)	Recta con FSM	Ascendente
2	pk 10+960	2 (hacia Estación PZA)	Recta con FSM	Ascendente

**Cuadro 1: Ubicación de ensayos**

## 6 METODOLOGÍA

La transmisibilidad del sistema de rieles al exterior del túnel, se debe caracterizar utilizando para ello el uso de las funciones de respuesta de frecuencia o funciones de transferencia empíricas. Para ello el ensayo utiliza el método de impacto en un punto para generar una señal de fuerza y la respuesta de aceleración en diversos puntos. Se usa como referencia técnica la norma ISO 7626 parte 5 "*Mechanical vibration and shock - Experimental determination of mechanical mobility - Part 5: Measurements using impact excitation with an exciter which is not attached to the structure*" de 2019 [1]

El ensayo de transmisibilidad de vibraciones abarca los siguientes parámetros que se explican a continuación de forma simplificada:

- Respuesta de frecuencia FRF a impacto en riel. Corresponde a la respuesta de aceleración espectral, contra la respuesta a la fuerza de un impacto en función de frecuencia. También se puede expresar en términos de movilidad, acelerancia o compliancia (receptancia).

Respuesta Dinámica Medida	Respuesta/ Fuerza	Fuerza/Respuesta
Desplazamiento	Receptancia, Admitancia Compliancia Dinámica, Flexibilidad Dinámica	Rigidez Dinámica
Velocidad	Movilidad	Impedancia Mecánica
Aceleración	Inertancia, Acelerancia	Masa Aparente

**Cuadro 2: Funciones de respuesta según el parámetro medido**

- Función de respuesta de frecuencia FRF. En este ensayo se calcula con el estimador H1, que es la forma recomendada en condiciones de probable señal de respuesta contaminada con ruido. Consiste en el cociente complejo entre el semiespectro cruzado de la señal de fuerza de impacto A y la señal de aceleración medida B ( $G_{AB}$ ), esto se divide por el autosemiespectro de la señal de impacto de fuerza A ( $G_{AA}$ ).<sup>1</sup>

$$H_1(f) = \frac{G_{AB}(f)}{G_{AA}(f)} = H(f)$$

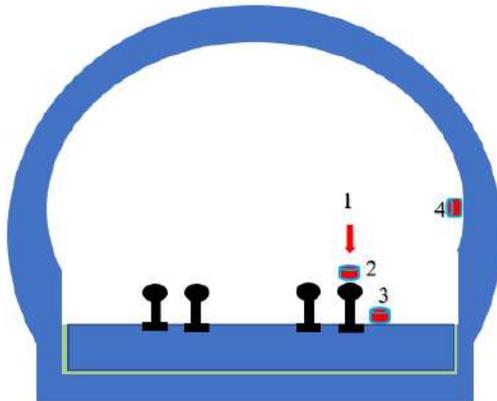
**Ecuación 1**

<sup>1</sup> Semiespectro se dice al considerar solo la mitad del espectro, en las frecuencias no negativas.

- Función de transferencia FT. corresponde a la función de respuesta de frecuencia FRF entre un punto de impacto y puntos de respuesta diferentes. Para este caso corresponden a impacto en cabeza del riel, y respuestas en punto vertical de losa FSM, y un punto horizontal en el costado de muro del túnel. Corresponde a la respuesta de aceleración espectral, contra la respuesta a la fuerza de un impacto en función de frecuencia, donde el punto de impacto es diferente al punto medido en aceleración.
- Pérdida por transmisión (TL) corresponde a la razón entre la energía de respuesta en el riel, a la energía en el punto de control. Se expresa en dB. Se puede obtener a partir de la diferencia de entre los espectros de respuesta de frecuencia obtenidos en el riel y la función de transferencia obtenida en un punto de control.
- Diferencias de función de transferencias. Con el uso de los diferenciales entre funciones de transferencia a puntos distintos, es posible determinar el TL o pérdida por transmisión entre dos puntos, ya sea diferencia de espectro entre riel y losa, así como riel y muro.
- Espectros de vibración en tercios de octava. Corresponde a la curva de potencia de aceleración medida en distintos puntos. El TL puede ser estimado simplemente haciendo la diferencia en dB entre ambos puntos que se quiere comparar, ya sea diferencia de espectro entre riel y losa, así como riel y muro.
- Pérdida por inserción (IL). Corresponde a la diferencia de nivel de vibraciones, con sus curvas espectrales, para un mismo punto en dos condiciones diferentes, una de las cuales se tiene inserto un sistema de mitigación en el camino que une los puntos de impacto y el punto evaluado. En este estudio se está evaluando la presencia de un sistema de losa flotante de una eficiencia nominal de 20 dB de atenuación. Este parámetro es inferido a partir del TL y las curvas de admitancia a través de un modelo con parámetros modales identificados.

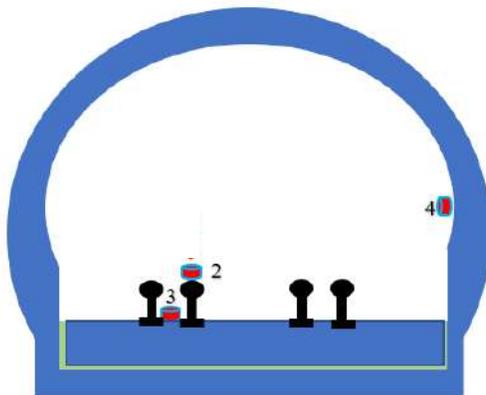
## 6.1 Sensores

La disposición de los sensores utilizada para los ensayos por vía 1 y vía 2 se resumen en imágenes siguientes.



1	Impactos de Martillo Modal en riel 300 a 1000 kgf
2	Acelerómetro Riel Sensibilidad 500 mv/g
3	Acelerómetro Losa FSM Sensibilidad 10000 mv/g
4	Acelerómetro en Muro Sensibilidad 10000 mv/g

**Ilustración 6: Sección de sistema ensayado Ítem 1 - Vía 1**



1	Impactos de Martillo Modal en riel 300 a 1000 kgf
2	Acelerómetro Riel Sensibilidad 500 mv/g
3	Acelerómetro Losa FSM Sensibilidad 10000 mv/g
4	Acelerómetro en Muro Sensibilidad 10000 mv/g

**Ilustración 7: Sección de sistema ensayado Ítem 2 - Vía 2**

Se destaca que el eje utilizado en el acelerómetro en muro, se ubica en posición perpendicular al muro.

- Sensor de fuerza: se usa un martillo modal marca PCB modelo TLD86D20 de 2.4 lb de peso propio, con celda de carga ICP de 5000 lb.
- Sensor de riel, Acelerómetro Marca PCB modelo 333B40 de 500mv/g SN 67043.
- Sensor de losa flotante: Acelerómetro sísmico de alta sensibilidad, tipo cerámica de corte Marca PCB modelo 393B12 de 10000mv/g SN 53173.

- Sensor de muro: Acelerómetro sísmico de alta sensibilidad, tipo cerámica de corte Marca PCB modelo 393B12 de 10000mv/g SN 53614.
- Adquisidor Análogo Digital DAQ, Marca National Instruments modelo cDaq9171 USB.
- Módulo Interfaz de 4 canales IEPE A/D Marca National Instruments Modelo NI9234 51200 muestras por segundo por canal.

## 6.2 Anclaje de sensores

La fijación de los acelerómetros se realiza de acuerdo con el elemento donde se mide la respuesta. El acelerómetro sobre el riel se adosa por un imán de alta intensidad magnética, lo que posibilita que no vibre ni se desacople al momento del impacto en el mismo riel.

En el caso del anclaje a la losa, esta se realiza sobre una placa de acero adherida con anticipación en la losa de hormigón del túnel, con cemento epóxico. El acelerómetro es adosado a esta placa al momento del ensayo por un imán de alta intensidad magnética, lo que posibilita que no vibre ni se desacople al momento del impacto.

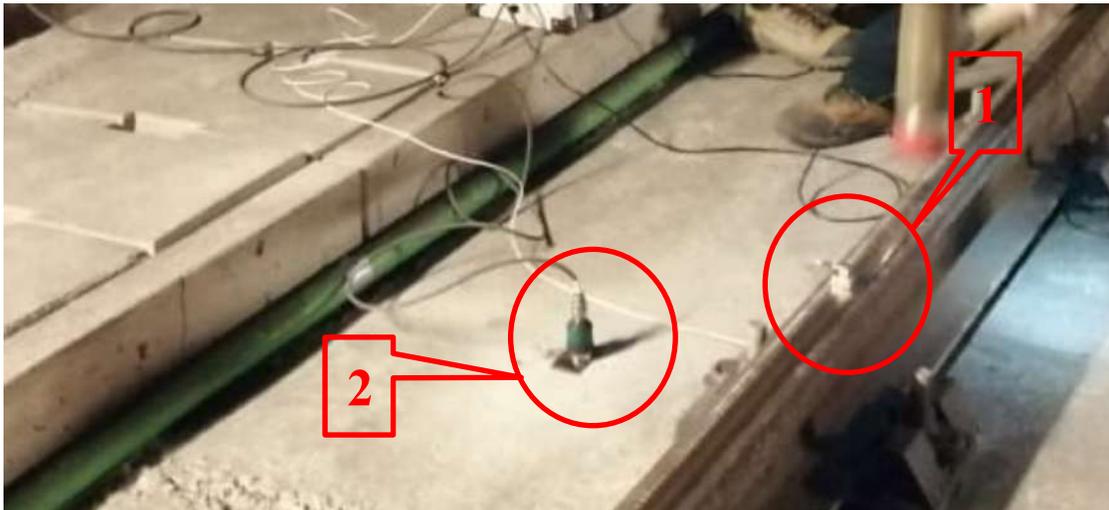


Ilustración 8: anclaje de acelerómetros a riel (1) y a losa (2)

En el muro, el sensor es instalado con el vector principal del acelerómetro perpendicular a la superficie (vector normal), debido a que en muros de túnel hay una superficie libre, y las ondas superficiales son las de mayor amplitud en el sentido normal a la superficie. Se instala con anterioridad un cubo de acero de 50 mm x 50 mm x 50 mm, con perno de anclaje al muro, utilizando adhesivo epóxico para anclaje. El acelerómetro es adosado a esta placa al momento del ensayo por un imán de alta intensidad magnética, lo que posibilita que no vibre ni se desacople al momento del impacto.



**Ilustración 9: Anclaje de acelerómetro con cubo de acero, anclado al muro y unión magnética**

### 6.3 Ensayo

En cada riel analizado, (vía 1 y vía 2) se realizó un ensayo del tipo “driving point”, golpeando a 20 cm del sensor de riel, ubicado sobre el sistema de silla de fijación. Al mismo tiempo se mide con el sensor de losa FSM u el sensor del muro.

Se realizan 12 golpes y se verifica en terreno la función de coherencia aceptable por sobre 0.8 (entre 0 y 1 el índice de calidad) para determinar la linealidad de la medición. Luego se intercambia el tope del martillo (punta blanda se cambia por una punta dura) de manera de introducir un cambio del filtro mecánico de impacto. El intercambio de puntas de diferente dureza puede permitir a posterior en post proceso, utilizar zonas del espectro de respuesta según dureza de martillo. Para esto es común utilizar las frecuencias bajas en análisis de impacto de martillo blando y frecuencias más altas en martillo duro. El sistema de adquisición de señales permite ver en tiempo real el espectro del impacto, para ver el rango de cobertura del impacto.

La frecuencia de muestreo es de 2048 Hz, lo que en teoría permite un análisis hasta 1024 Hz. El ensayo se considera hasta 350 Hz, que supera al rango de interés de análisis de vibraciones ambientales (ISO 2631-2:89<sup>2</sup>) [2] y también supera al rango de frecuencia para otro tipo de análisis típicos de 250 Hz según (ISO 14837-1<sup>3</sup>) [3].

### 6.4 Procesos de señales

Los datos medidos de señal calibrada de fuerza Ch1 (canal 1) y aceleraciones Ch2 (canal 2) Respuesta aceleración de riel, Ch3 (canal 3) Respuesta aceleración de losa FSM y Ch4 (canal 4) Respuesta aceleración de muro, son procesados para obtener el espectro de potencia en base a una base temporalidad común, lo que permite analizar la fase de la función de respuesta.

Se calculan las funciones de respuesta de frecuencia según el estimador H1 en banda estrecha de resolución de 0.5 Hz, ya que el tiempo de muestreo registrado es de 2 segundo ( $T_0$ ). La resolución de líneas del semiespectro considera solo frecuencias no negativas con un ancho de banda de  $1/T_0 = 0.5$

---

<sup>2</sup> ISO 2631-2 Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero. Parte 2: Vibración en edificios (1 Hz a 80 Hz).

<sup>3</sup> ISO 14837-1 -Mechanical Vibration - Ground-borne noise and vibration arising from rail systems-Part1: General Guidance

Hz. Las funciones son del tipo acelerancia o inertancia es decir respuestas de aceleración por unidad de fuerza espectral ( $\text{cm/s}^2/\text{kgf}$ ) y son expresadas en dB ref.:  $\text{cm/s}^2/\text{kgf}$ .

En paralelo se calculan los espectros en tercios de octava con filtros para cada señal, obteniendo el espectro de bandas de tercio de octava de impacto (fuerza), y los canales de respuesta de los canales Ch2, Ch3 y Ch4.

El TL corresponde a la diferencia de funciones de transferencia del punto analizado, y la función de respuesta medido en el riel.

Las funciones de fuerza y respuestas expresadas en tercios de octava son relacionadas a través de la función de respuesta y función de transferencia en tercios de octava. Estas curvas son comparadas con la curva de banda estrecha que contiene más información.

Para determinar las frecuencias de desacople del sistema riel al túnel, se integran doblemente las señales de respuesta de aceleración para obtener una función de respuesta del tipo compliancia mecánica (receptancia) en  $\text{m/N}$ .

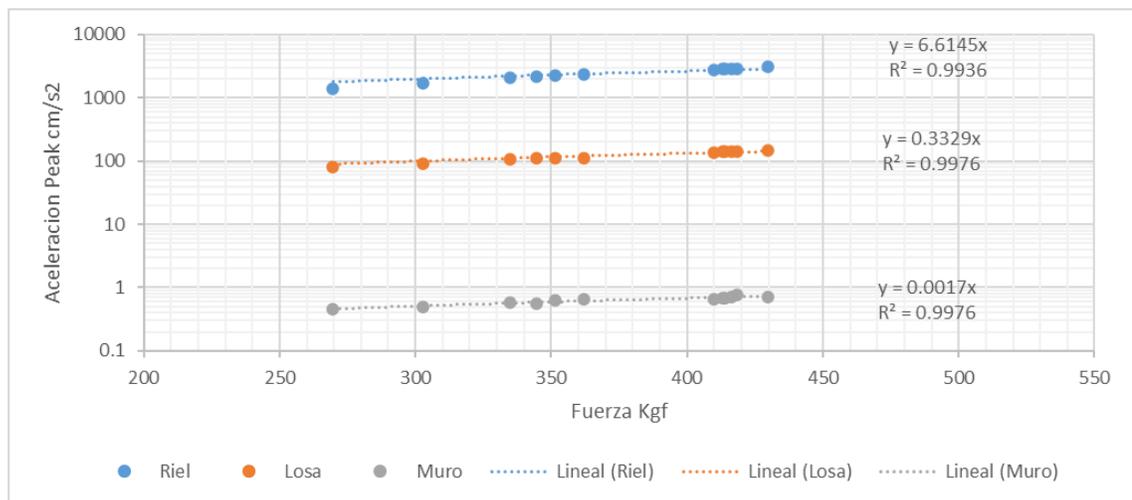
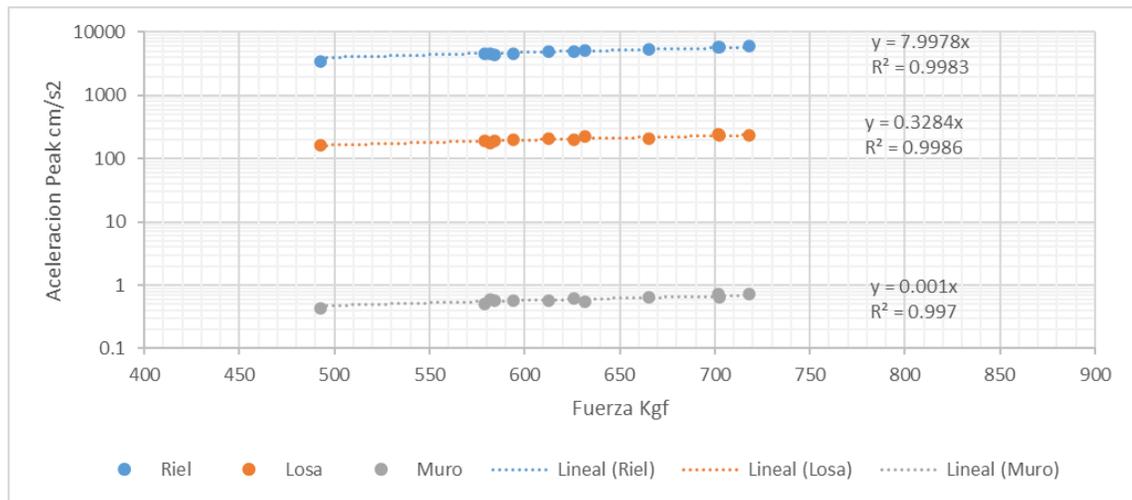
Se hace un análisis de linealidad simple respecto de los valores peak del impacto de fuerza y el valor peak de cada sensor de aceleración, de manera de establecer de manera simple que no se ingresa en el rango no lineal del ensayo, considerando que se ensayan sistemas de sillas de riel con base y conformación en plástico, además de la losa flotante sobre caucho y el material del túnel (hormigón armado).

## 7 RESULTADOS

### 7.1 Curvas de linealidad

El siguiente análisis da cuenta de la linealidad simple de respuestas globales peak. Las nubes de puntos de gráficos siguientes deben tener una correlación lineal con  $R^2$  mayor a 0.95.

Se muestra la respuesta de los 12 impactos de cada ensayo en un gráfico fuerza-aceleración peak.

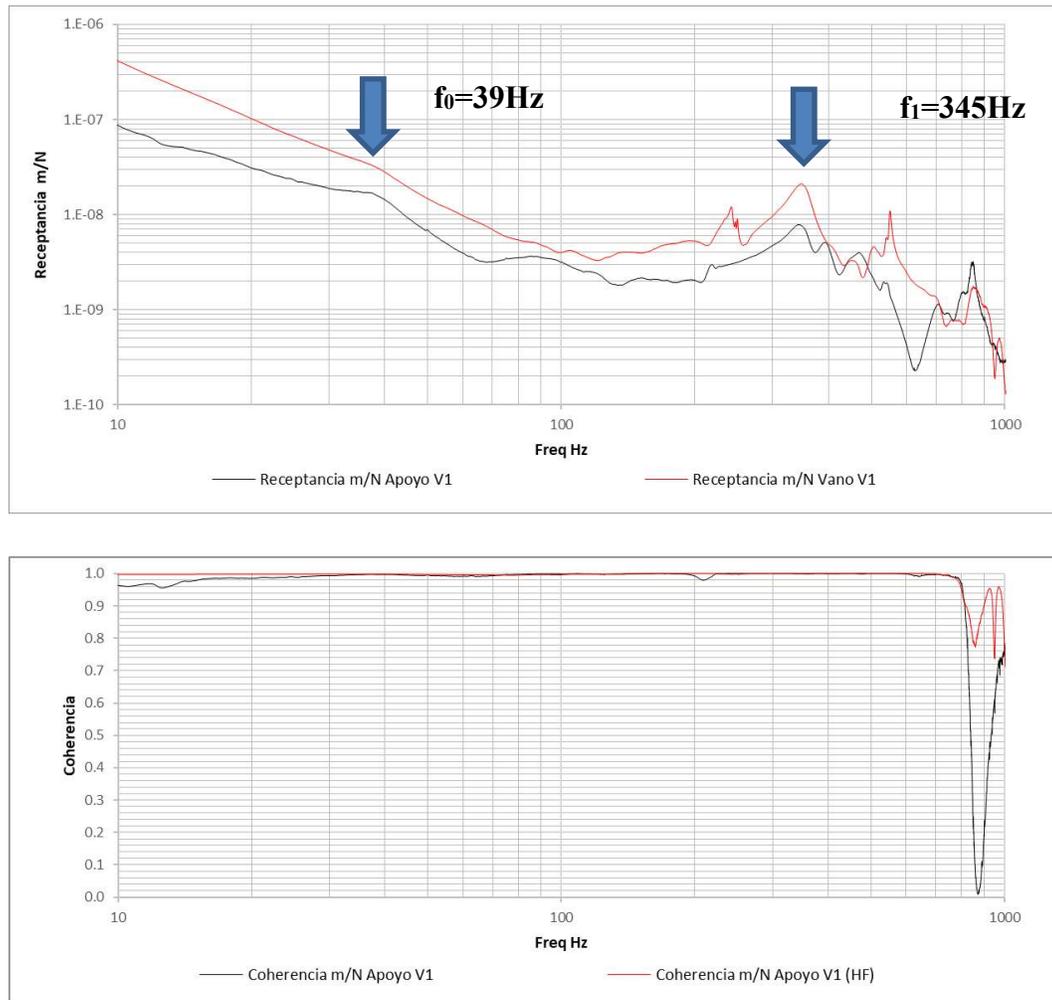


**Cuadro 3: Gráficos de fuerza-respuesta peak de ensayos a) Ensayo de vía 1 b) ensayo de vía 2**

Se observa una linealidad en los ensayos. Se debe considerar que el impacto se realiza con un martillo de mano y el ángulo de impacto debe ser lo más repetible posible y depende del operador de martillo. Los valores son suficientemente lineales y permiten una buena coherencia de las FRF.

## 7.2 Respuestas de frecuencia banda estrecha Vía 1

A continuación, se presenta el resultado de FRF en riel con impacto del tipo driving point en la zona de apoyo del riel sobre silla y en el centro del vano del riel.

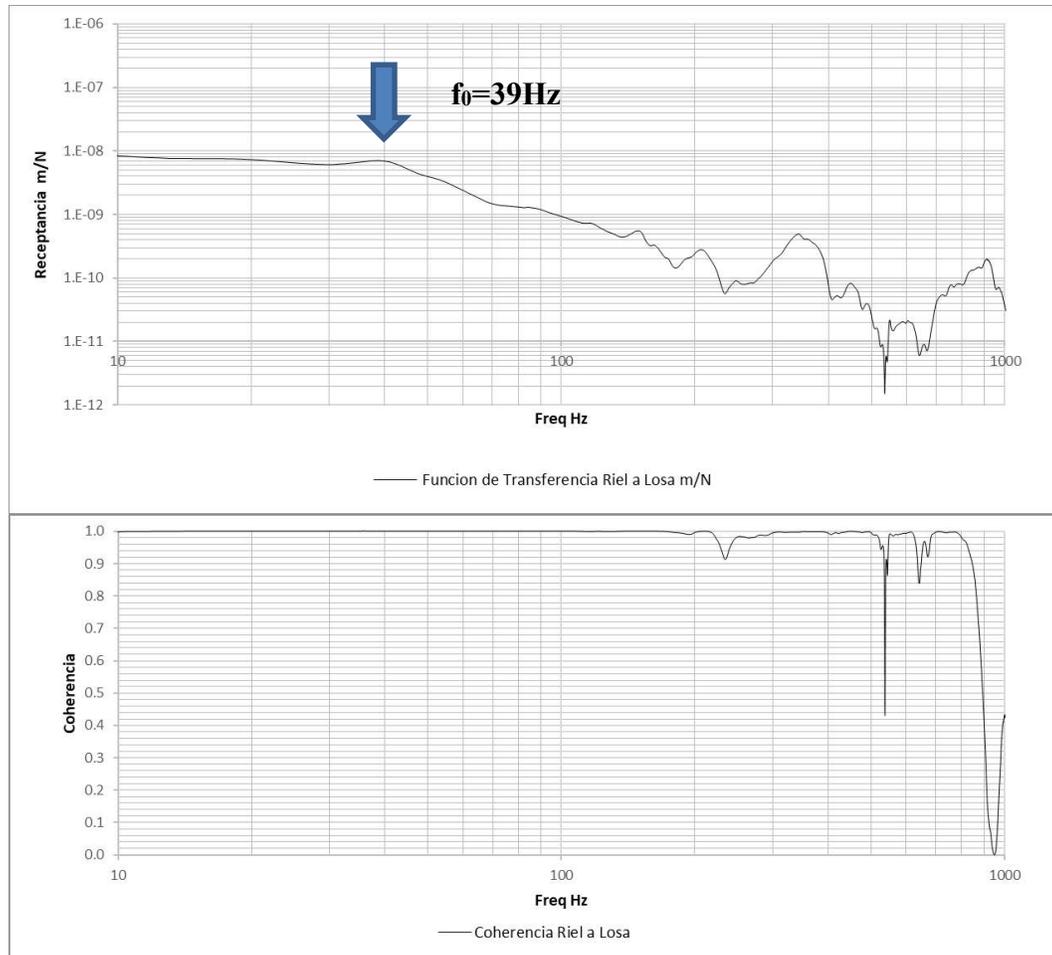


**Cuadro 4: cuadros con curvas de respuesta de frecuencia en Riel a) receptancia b) coherencia de mediciones. Casos de impacto en apoyo y en vano de vía 1.**

Se observa frecuencia desacoplamiento  $f_0$  de 39 Hz como fundamental del sistema, y  $f_1$  en 345 Hz (riel silla).

La coherencia lograda para 12 impactos esta por sobre 0.8, logrando un valor casi unitario.

Los siguientes gráficos muestran el resultado de FT en losa FSM con impacto en apoyo de riel.

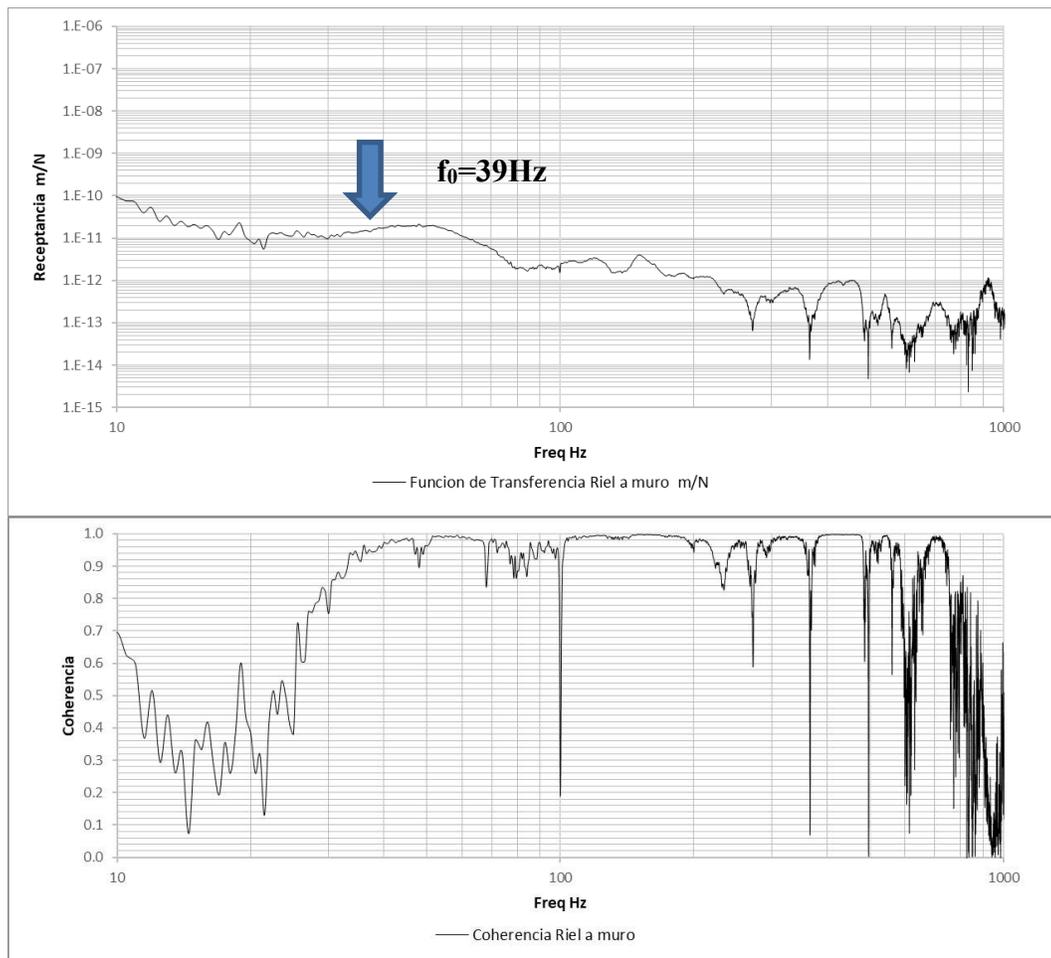


**Cuadro 5: cuadros con curvas de función de transferencia en losa FSM a) receptancia b) coherencia de mediciones. Casos de impacto en apoyo de riel y resuesta de losa vía 1.**

La función de transferencia FT de losa muestra una frecuencia desacoplamiento  $f_0$  de 39 Hz. Se corresponde con la vibración fundamental del bloque de losa sobre manta FSM.

La coherencia lograda para 12 impactos esta por sobre 0.8, logrando un valor casi unitario.

Los siguientes gráficos muestran el resultado de FRF en muro de túnel con impacto en apoyo de riel.



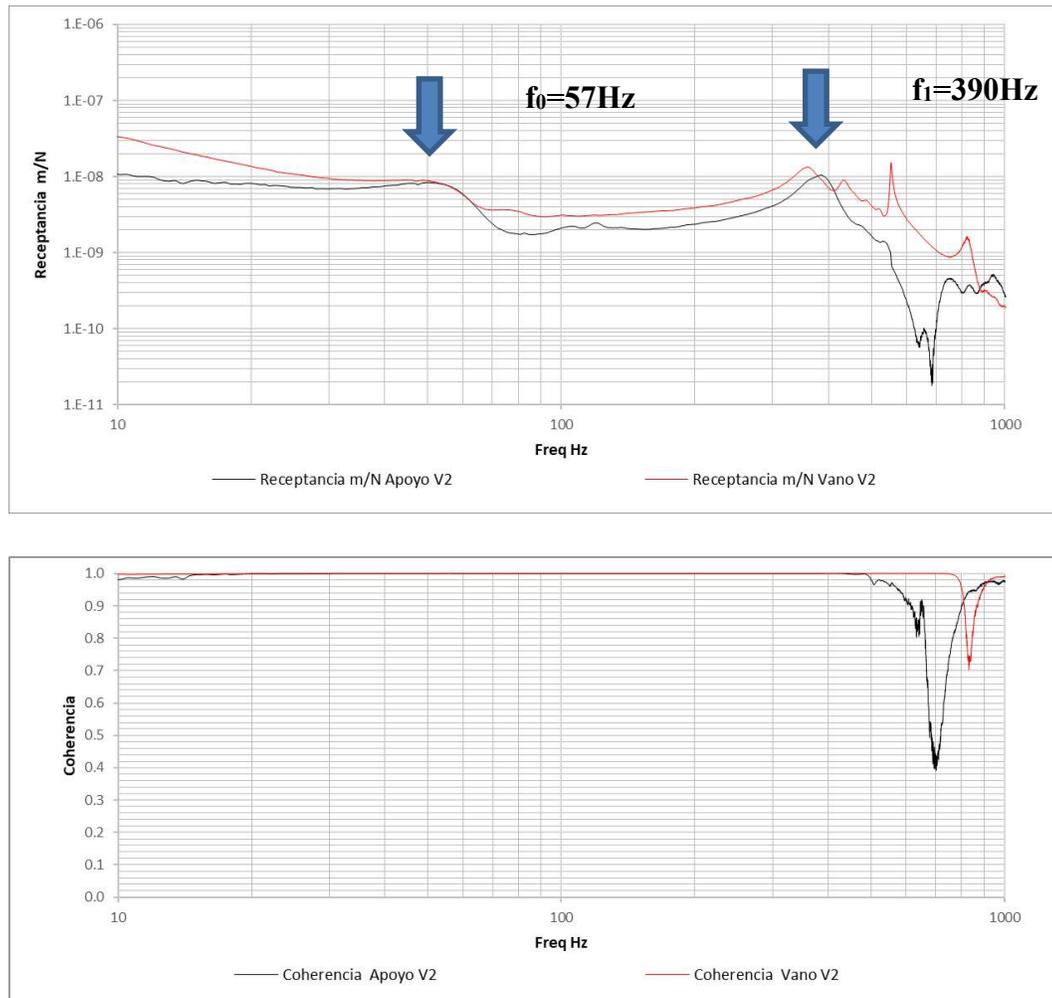
**Cuadro 6: cuadros con curvas de función de transferencia en muro de túnel a) receptancia b) coherencia de mediciones. Casos de impacto en apoyo de riel vía 1 y respuesta en muro en vía 1.**

En este caso se ve una reducción de coherencia. Esto se relaciona por la pérdida de transmisión entre riel y muro que pasa por el sistema de control de vibraciones de losa flotante.

Se muestra en la curva de receptancia la frecuencia desacoplamiento  $f_0$  en 39 Hz.

### 7.3 Respuestas de frecuencia banda estrecha Vía 2

A continuación, se presenta el resultado de FRF en riel con impacto del tipo driving point en la zona de apoyo del riel sobre silla y en el centro del vano del riel.

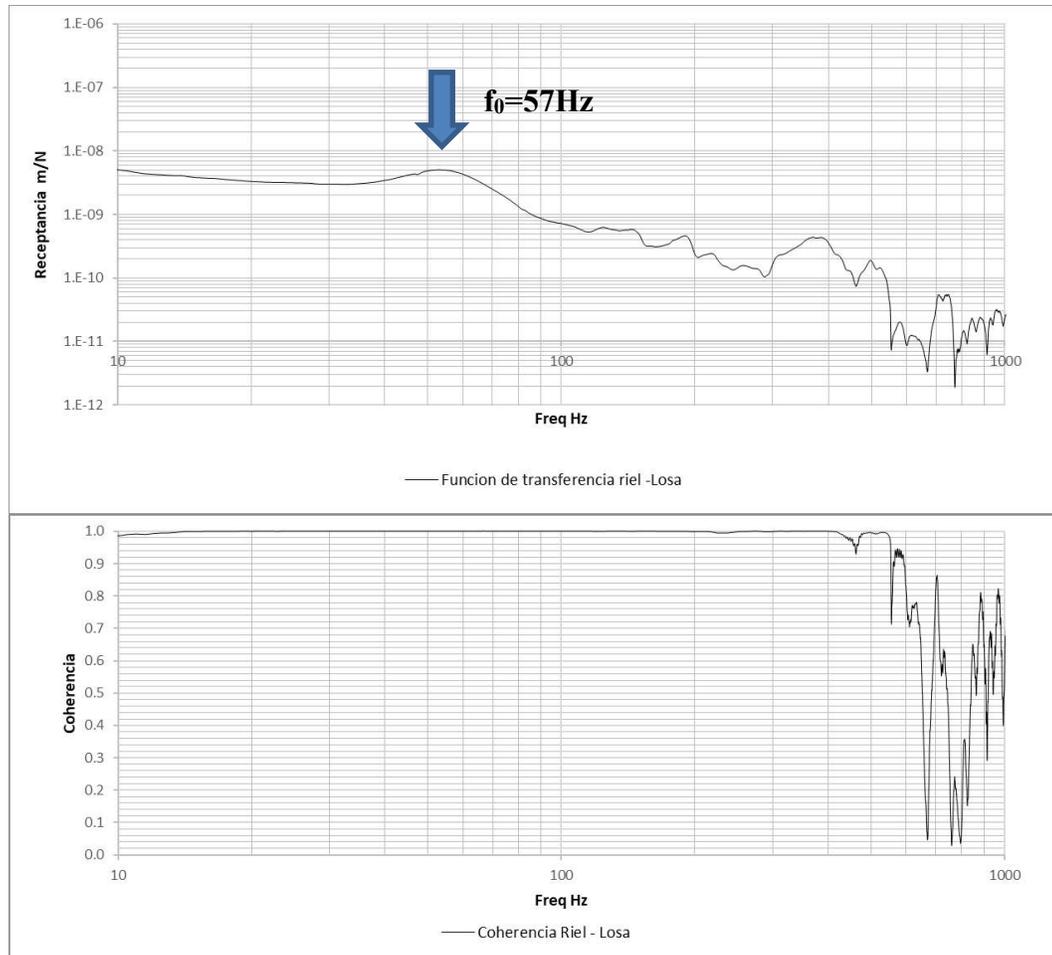


**Cuadro 7: cuadros con curvas de respuesta de frecuencia en Riel a) receptancia b) coherencia de mediciones. Casos de impacto en apoyo y en vano de vía 2.**

Se observa frecuencia desacoplamiento  $f_0$  de 57 Hz como fundamental del sistema, y  $f_1$  en 390 Hz (riel silla).

La coherencia lograda para 12 impactos esta por sobre 0,8, logrando un valor casi unitario.

Los siguientes gráficos muestran el resultado de FT en losa FSM con impacto en apoyo de riel.

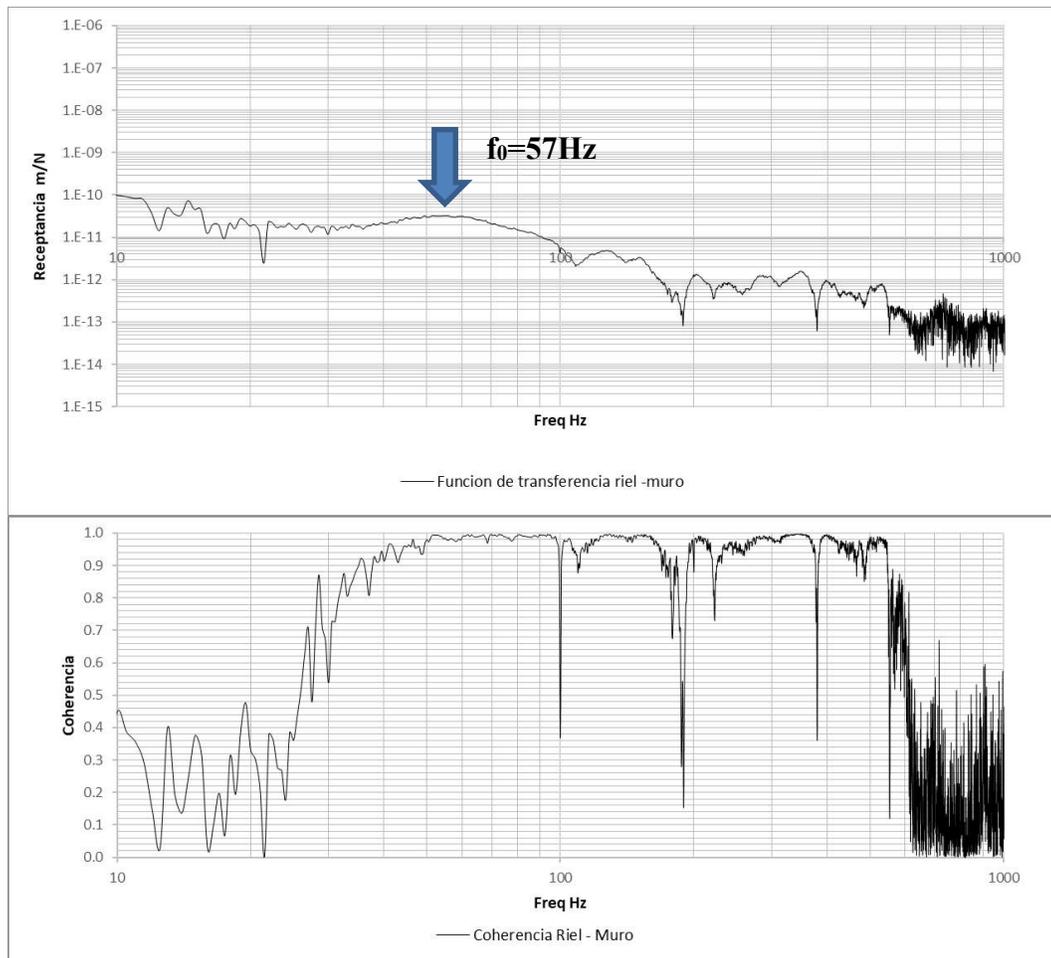


**Cuadro 8: cuadros con curvas de función de transferencia en Losa FSM a) receptancia b) coherencia de mediciones. Casos de impacto en apoyo de riel y respuesta de losa vía 2.**

La función de transferencia FT de losa muestra una frecuencia desacoplamiento  $f_0$  de 57 Hz. Se corresponde con la vibración fundamental del bloque de losa sobre manta FSM.

La coherencia lograda para 12 impactos esta por sobre 0,8, logrando un valor casi unitario.

Los siguientes gráficos muestran el resultado de FRF en muro de túnel con impacto en apoyo de riel.



**Cuadro 9: cuadros con curvas de función de transferencia en muro de túnel a) receptancia b) coherencia de mediciones. Casos de impacto en apoyo de riel vía 1 y respuesta en muro en vía 2.**

En este caso se ve una reducción de coherencia. Esto se relaciona por la pérdida de transmisión entre riel y muro que pasa por el sistema de control de vibraciones de losa flotante.

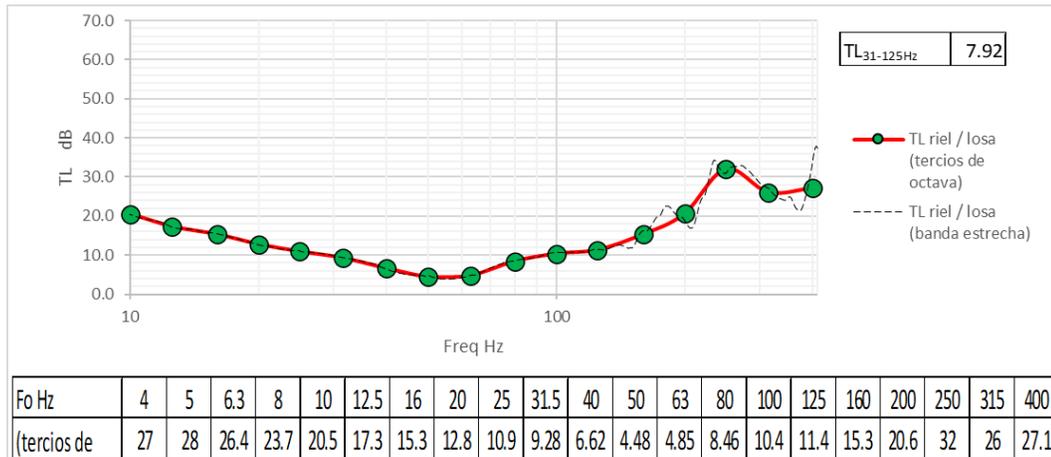
Se muestra en la curva de receptancia la frecuencia desacoplamiento modal  $f_0$  en 57 Hz.

## **7.4 Resultados de Pérdida por Transmisión TL**

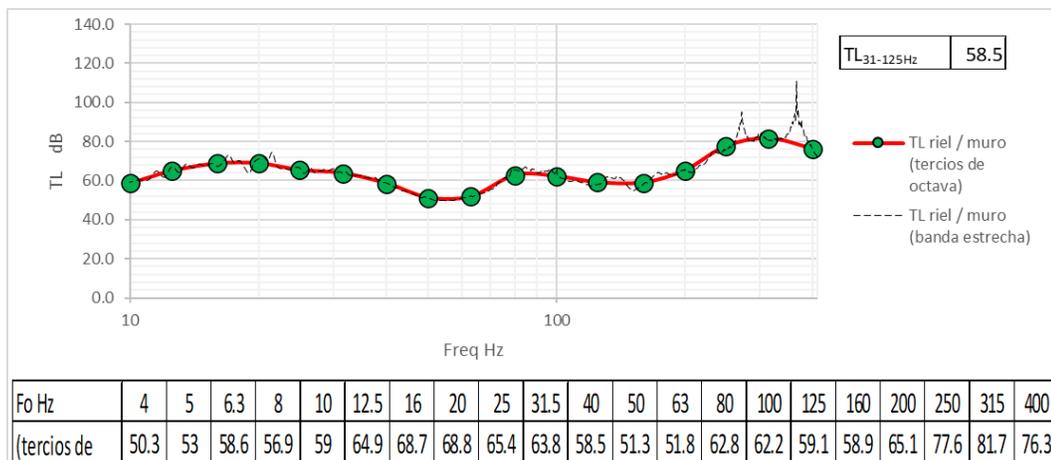
En este capítulo se muestran las curvas de diferencia de energía entre las respuestas de riel/losa y riel muro. Lo anterior está calculado en bandas de tercio de octava. En el gráfico se superpone la diferencia de FRF en banda estrecha sobre el cálculo por bandas de tercio de octava. Los valores positivos indican atenuación de vibraciones.

Se utiliza la energía del ensayo de impacto para calcular las funciones de TL en bandas de tercio de octavas y el valor global. Se debe tener en cuenta que las funciones de transferencia y TL no son cifras aditivas ya que no representan energía.

### 7.4.1 Resultados de TL vía 1

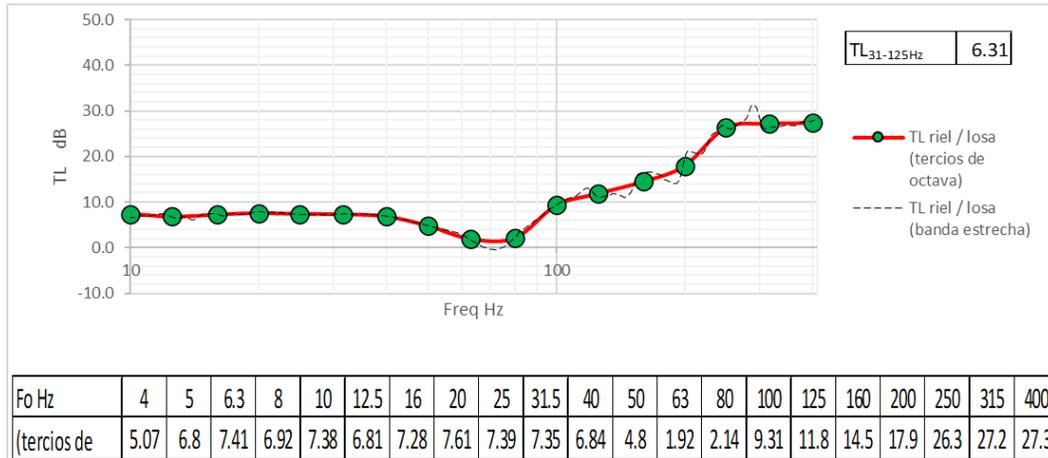


**Cuadro 10: Curvas de TL entre riel y losa flotante para ensayo de vía 1 (banda angosta y tercios de octava)**

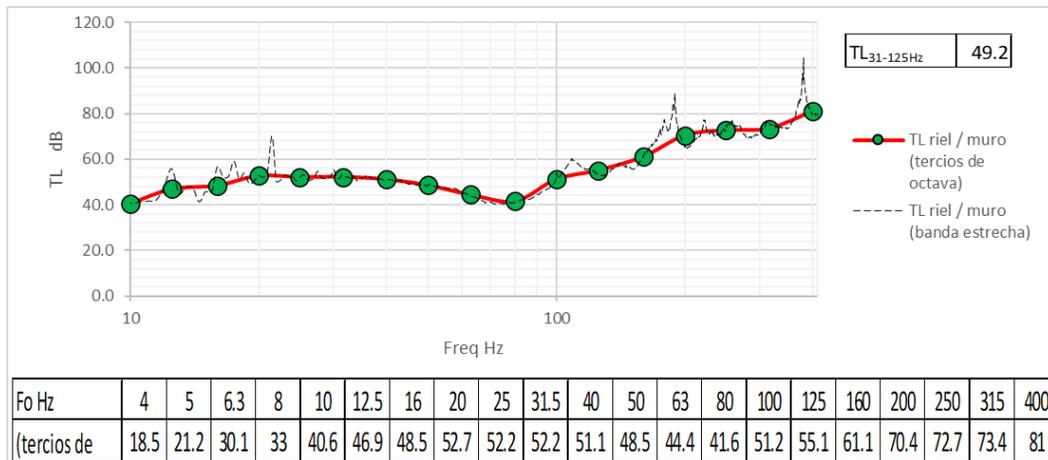


**Cuadro 11: Curvas de TL entre riel y muro del túnel para ensayo de vía 1 (banda angosta y tercios de octava)**

### 7.4.2 Resultados de TL vía 2



**Cuadro 12: Curvas de TL entre riel y losa flotante para ensayo de vía 2 (banda angosta y tercios de octava)**



**Cuadro 13: Curvas de TL entre riel y muro del túnel para ensayo de vía 2 (banda angosta y tercios de octava)**

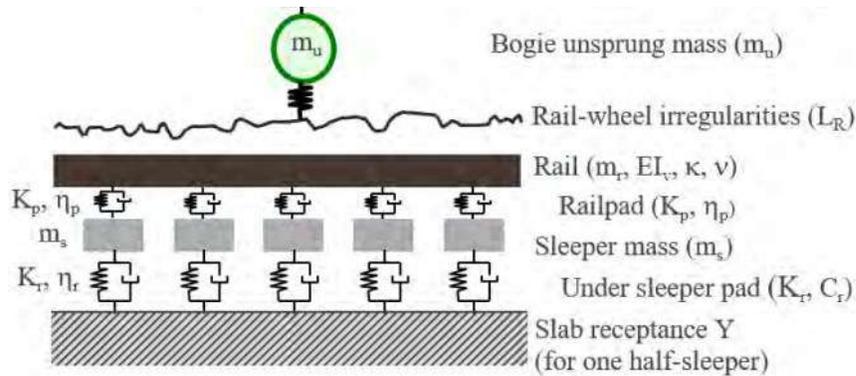
### 7.4.3 Resumen TL

Se observa que el TL entre riel y muro, pasando por el sistema de control de vibraciones es de 58.5 dB para vía 1 y de 49.2 dB para vía 2.

Las curvas de TL entre riel y losa indican TL de 7.9 dB para vía 1 y de 6.3 dB para vía 2.

## 7.5 Estimador de Pérdida por Inserción IL

Para la estimación de la pérdida por inserción IL se utilizará un modelo simplificado de sistema según la siguiente configuración:



Los datos de referencia iniciales, utilizados para el modelamiento modal inicial corresponden a datos de acelerancia de rieles de línea 6.

CALCULATION OF THE INSERTION LOSS					
The insertion loss of as-built -20dB track on the different test sites, is calculated with the calibrated track model, using the following parameters.					
The unsprung mass value considered for the calculation is that communicated by CAF in [4] and corresponding to the motor bogie (1886kg/axle).					
Parameter	-20dB track system				Reference track
	f <sub>1</sub> =33Hz, f <sub>2</sub> =226Hz (unloaded) PK8+500	f <sub>1</sub> =46Hz, f <sub>2</sub> =226Hz (loaded) PK8+100	f <sub>1</sub> =33Hz, f <sub>2</sub> =350Hz (unloaded) PK7+360	f <sub>1</sub> =30Hz, f <sub>2</sub> =220Hz (unloaded) PK8+200	
Rail	60 E1	60 E1	60 E1	60 E1	60 E1
Rail pad dynamic stiffness [MN/m] – loaded*	100	100	150	88	150
Rail pad loss factor [-]	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Spacing distance [m]	0.9	0.9	0.6	0.6	0.9
Floating slab, mass (half-track, per unit track length) [kg]	1195	1195	1195	1195	-
Floating slab, Half-track width [m]	1.45	1.45	1.45	1.45	-
Floating slab, Thickness [m]	0.33	0.33	0.33	0.33	-
Mat dynamic stiffness (per unit area) [MN/m <sup>3</sup> ] - unloaded	28	n/a	32	29	-
Mat dynamic stiffness (per unit area) [MN/m <sup>3</sup> ] – loaded*	31	65	35	32	-
Mat loss factor [-]	0.6	0.6	0.6	0.6	-
Rolling stock unsprung mass (from [4] annex 3)	1886 (motor bogie)				-

\* dynamic stiffness when unloaded track increased by 10% (loading stiffening ratio)

Cuadro 14: datos sobre dinámica de rieles L6 Metro.

El factor de pérdida de una silla rígida (referencia base) se obtiene de una sugerencia de la empresa Systra, utilizada para la modelación de mitigación de Línea 7 de Metro, descargado desde la página web del Sistema de Evaluación Ambiental<sup>4</sup>.

**METRO**  
DE SANTIAGO

**INFORME MEDIDAS DE CONTROL DE VIBRACIONES**

**Rev.1**  
Fecha: 23-03-2020

Los datos de entrada de la modelización son los siguientes:

- **Material rodante**
  - Masa no suspendida: 1880 kg/eje.
  - Carga al eje: 15 toneladas
  - Distancia entre 2 ejes de un bogie: aproximadamente 2.3 m
  - Distancia entre 2 bogies de un coche : 13,5 m
  
- **Definición de la vía de referencia**

La elección de las características de la vía de referencia es importante puesto que determina los valores calculados de las pérdidas por inserción de las vías antivibración estudiadas y, por lo tanto, los resultados finales (niveles de vibraciones y ruido inducido en las edificaciones calculados).

Es común considerar una vía sin atenuación de vibraciones, es decir, un vía instalada directamente con sujeciones estándares y PADs rígidos bajo riel.

A continuación se presentan las características correspondientes a esta vía de referencia (utilizada posteriormente en los cálculos):

  - Riel : 60E1
  - Distancia entre sujeción : 750 mm (sin distinción de las condiciones de alineamiento derecho en curva).
  - Rigidez vertical dinámica de altas frecuencias de las sillas bajo (bajo carga estática):  $K_{V,dyn} = 150 \text{ kN/mm}$
  - Factor de perdida por amortiguación de las sillas bajo riel:  
 $\eta = 2 \times C / C_{crit} = 20\%$ .

**Cuadro 15: extracto de estudio de vibraciones etapa de operación L7, presentado al Servicio de Evaluación Ambiental.**

<sup>4</sup> Informe consolidado para el SEIA de la evaluación de vibraciones y ruido inducido de línea 7 de metro-rev 1

Los parámetros ofertados por el proveedor de los sistemas de fijación incluyen los valores de rigidez nominal de cada elemento, incluida la silla rígida de referencia, lo cual se aprecia en documento P63-IT-0069-ETP-000-VI-00503 [4].




**III/ Requirements and solutions**

- For Santiago Du Chili project, L3 & L6, 2 levels of attenuation are requested.
  - -10 dB
  - -20 dB
- The proposed -10 dB system is the SEE-SD baseplate with a soft rail pad.
- The proposed -20 dB system is the SEE-SD baseplate with hard rail pad + CDM-FSM-L13 mat under the concrete slab.
- The attenuation levels of these 2 solutions have been calculated following both methods (Insertion and Transmission). Results are given next page.

**IV/ Calculation input data**

- Unsprung mass per wheelset: 2 294 Kg.
- Spacing : 0.9 m
- Nominal values are given in the table below

		<i>Static stiffness</i> <i>(kN/mm)</i>	<i>Dynamic stiffness</i> <i>(5 Hz)</i> <i>(kN/mm)</i>	<i>Dynamic stiffness</i> <i>(10 Hz)</i> <i>(kN/mm)</i>
<b>Reference rail pad (Hard)</b>	9 mm grooved rubber pad	120	150	150
<b>Tested rail pad (Soft)</b>	12 mm studded rubber rail pad	30	36	38
<b>CDM - MAT</b>		9	20	31

**Cuadro 16: extracto de oferta técnica de materiales por parte de proveedor.**

General Project information	
Project Number	301590 Country Chile Project Name Santiago Metro- Line 3&6 Customer ETF - COLAS RAIL
Author	JVE Date 10/04/14 Calculation Case FSM Program Version 1,3
Basic inputs	
Rolling stock parameters	
Rolling stock	Underground
Axle load	150 kN 160 kN Speed 80 km/h 80 km/h
Unsprung mass coef.	15% 15% Bogie-bogie dist. 6,5 m 9 m
Unsprung mass	2294 kg 2294 kg Axle-axle dist. 2,5 m 2 m
Track parameters	
Name	DF SEE SD raide DF SEE SD souple DF SEE SD raide + FSM
Type	Directly Fastened Rail Directly Fastened Rail Directly Fastened Rail
ISO-14837-1:2005	
Rail type	60 E1 60 E1 60 E1
Dist. between fastening	0,9 m 0,9 m 0,9 m
Isolation parameters	
EN 13486	type $k_{base}$ $k_{susp}$ $k_{guide}$ type $k_{base}$ $k_{susp}$ $k_{guide}$ type $k_{base}$ $k_{susp}$ $k_{guide}$
Rail pad/strip	0 120 150 15 0 30 36 38 0 170 150 150
DIN 45673-1	type $c_{base}$ $c_{susp}$ $c_{guide}$ type $c_{base}$ $c_{susp}$ $c_{guide}$ type $c_{base}$ $c_{susp}$ $c_{guide}$
USP / UBP / BS	Nothing Nothing Nothing
UBM	
FSM/FSP	Nothing Nothing CDM-FSM-L13 9 20 31
DIN 45673-1	type $g_{base}$ $g_{susp}$ $g_{guide}$ type $g_{base}$ $g_{susp}$ $g_{guide}$ type $g_{base}$ $g_{susp}$ $g_{guide}$
FSM (vertical)	Nothing - - - Nothing - - - Nothing - - -

Cuadro 17: resumen de cálculo dinámico elástico por parte de Pandrol (proveedor)

Posteriormente algunos parámetros son ajustados para la calibración con los resultados de curvas de compliancia medidos y a los requerimientos paramétricos del software. El ajuste de identificación modal toma parámetros invariantes como la masa del bloque de hormigón flotante y la masa del riel. También se agrega en una segunda etapa la masa no suspendida que se mantiene invariante. Se ajustan los valores de la matriz de amortiguamiento viscoso y la matriz de rigidez de los elementos silla y manta.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Masa no suspendida Bogie unsprung mass	2400 kg por eje (1200 kg por riel)
Riel 60 E1	Datos en data sheet
Rigidez silla	252 a 265 kN/mm
Amortiguamiento silla descargado	10% de amortiguamiento crítico
Amortiguamiento silla cargado	10% de amortiguamiento crítico
Espaciamiento de durmientes	90cm
Espesor de losa	30 cm
Rigidez manta FSM ajustada a ensayo	52 a 65 MN/m <sup>3</sup>
Ancho losa	5.8m
Elemento de faja Modelado (elemento finito)	1.3 m (0.6 m <sup>2</sup> )
Amortiguamiento manta	40% de amortiguamiento crítico

**Cuadro 18: parámetros dinámicos utilizados en modelo**

El modelamiento simple se realiza con elementos matriciales para el riel y la losa, y los soportes de silla y manta se modelan como resortes lineales (con su respectiva matriz de rigidez y constante de amortiguamiento viscoso equivalente). El software de modelamiento dinámico corresponde a SAP2000 V-20.<sup>5</sup>

Los datos del riel se presentan a continuación.

<sup>5</sup> <https://www.csiamerica.com/products/sap2000>

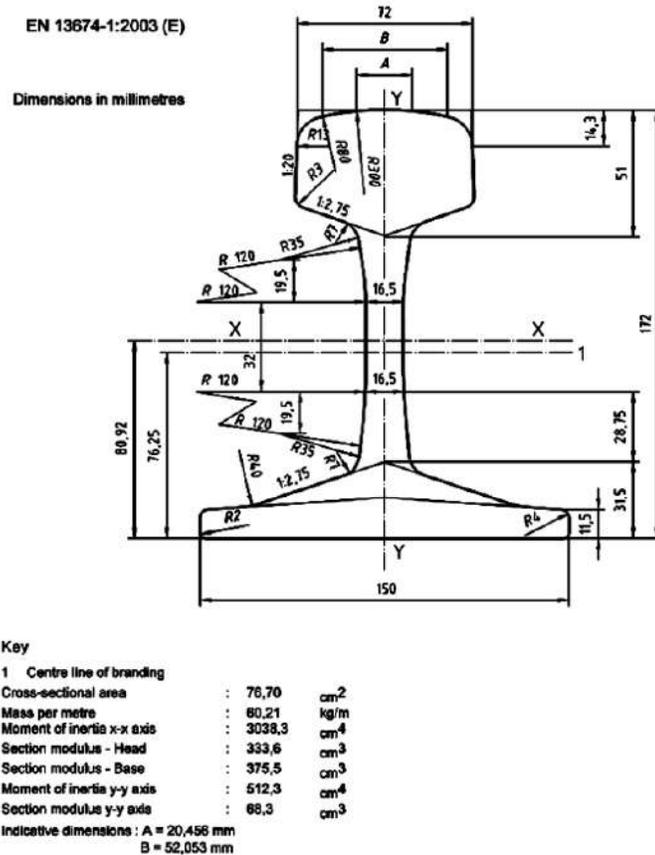
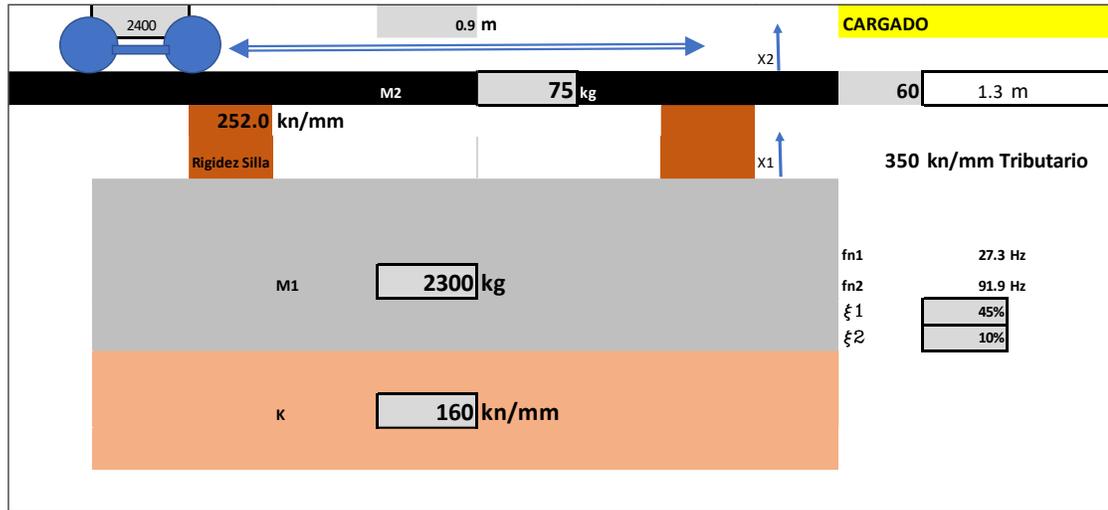


Figure A.21 — Rail profile 60 E 1

Section Name		riel	
Properties			
Cross-section (axial) area	76.7	Section modulus about 3 axis	279.
Torsional constant	164.	Section modulus about 2 axis	65.
Moment of Inertia about 3 axis	3038.	Plastic modulus about 3 axis	398.
Moment of Inertia about 2 axis	512.	Plastic modulus about 2 axis	127.
Shear area in 2 direction	29.	Radius of Gyration about 3 axis	6.32
Shear area in 3 direction	46.	Radius of Gyration about 2 axis	2.68

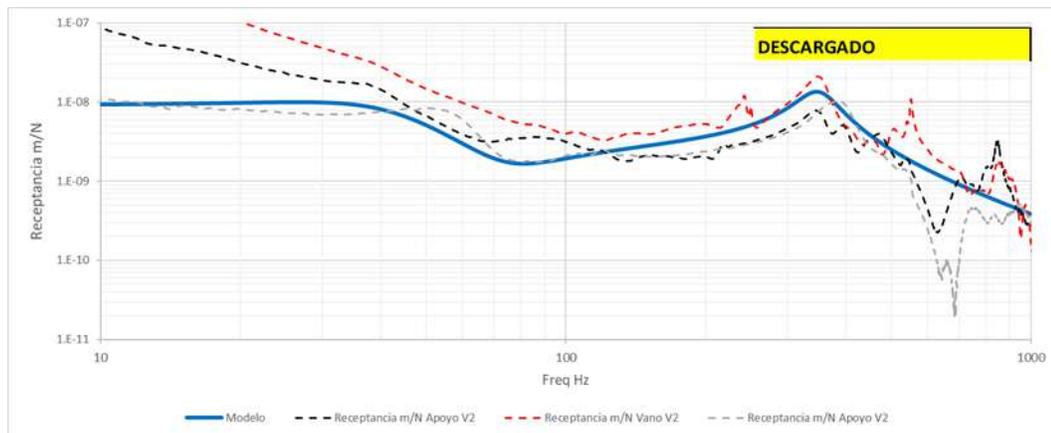
Ilustración 10: propiedades del riel - se utiliza modelo general (parámetros de software) para este elemento

El modelo matemático consiste en una losa a todo el ancho de las vías (1.3 m). Se usa este ancho debido a que, al ejecutar el ensayo de un riel, se interactuó con la movilidad de toda la losa flotante, la cual abarca una tributación de 1.3m. El modelamiento es traslacional vertical, y no hay efectos rotacionales, por tanto, es indistinto el lugar donde se apoya el riel en la losa.



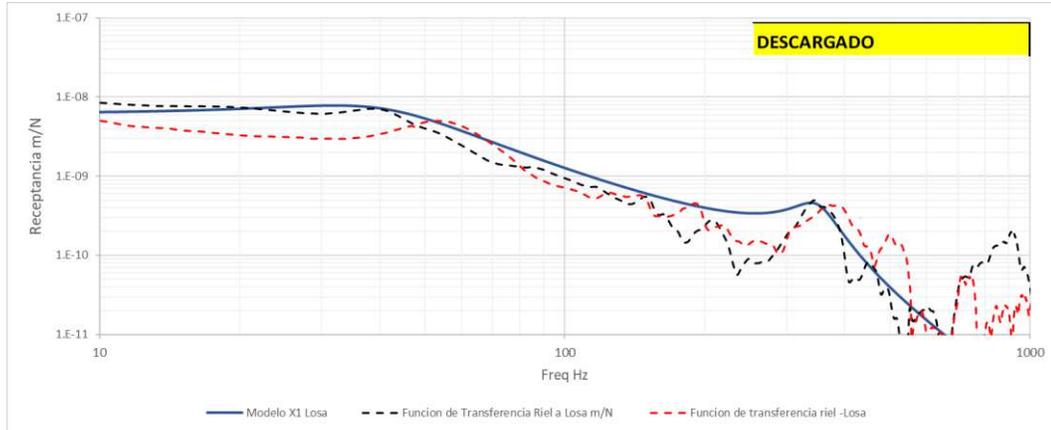
**Ilustración 11: modelo de sección riel y losa de 1.3 m de ancho y 30 cm de espesor.**

El resultado del modelo de compliancia de riel se muestra en el cuadro siguiente, comparado con las compliancia sin carga de tren obtenidas de ensayo. Se observa una adecuada representación del modelo (línea coloreada en azul) a los elementos del sistema de vías medidos.



**Cuadro 19: cuadro comparado de modelo de compliancia de riel descargado y los valores em medidos**

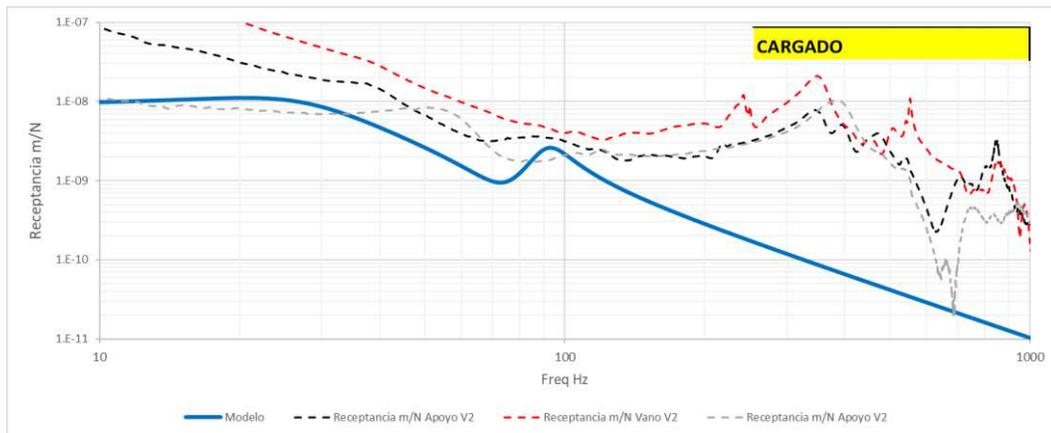
De la misma manera se consulta el modelo de losa flotante y su compliancia comparado con las mediciones de ambas vías.



**Cuadro 20: cuadro comparado de modelo de compliancia de losa flotante, con vía descargada y los valores en medidos**

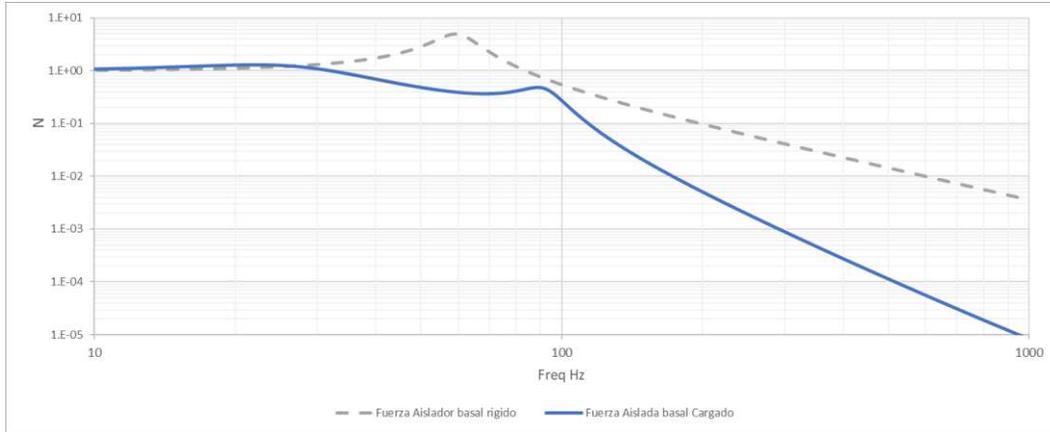
Con los valores ajustados se pone una carga de masa no suspendida de bogie (unsprung mass) y un modelo con los rieles y silla rígida acoplados a la base de hormigón, sin el sistema de losa FSM.

Se calcula un modelo con carga para la compliancia de la losa flotante.



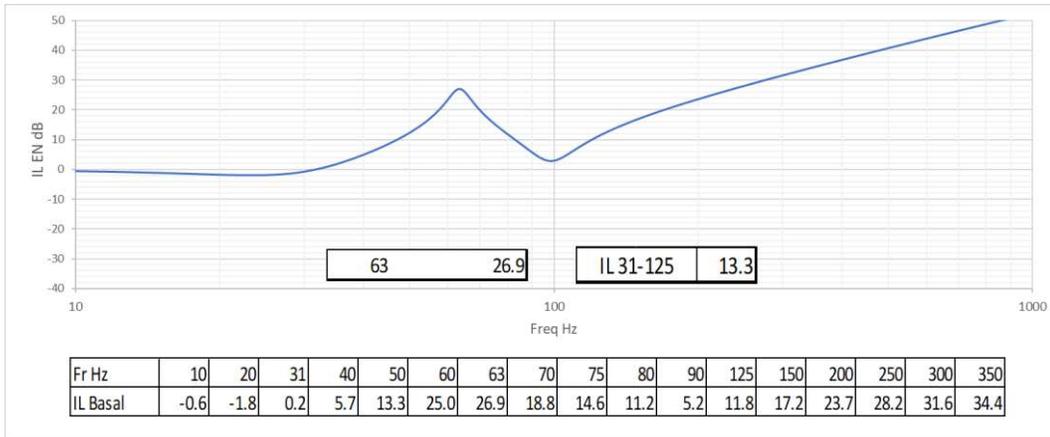
**Cuadro 21: Modelos de compliancia para losa flotante con carga y sin carga.**

Con base a la movilidad de losa se realiza un modelo de transmisibilidad de fuerzas del sistema. Con este modelo se puede calcular el IL considerando que la vibración aguas abajo del sistema de mitigación está influido por la transmisión de fuerza. Se muestra a continuación la transmisión de fuerza para el caso con y sin FSM para el caso cargado con tren circulando.



**Cuadro 22: Curvas de transmisibilidad de fuerza desde riel a Invert de túnel, caso losa flotante con y sin carga.**

La diferencia de las curvas espectrales de fuerza transmitida (transmisibilidad) anteriores proporciona la pérdida por inserción IL. Se compara con una silla rígida de 265 kN/mm ajustada según ensayos realizados para vía 1 y vía 2.



**Cuadro 23: curva espectral de Pérdida por Inserción del sistema**

La atenuación alcanzada para la frecuencia de 63 Hz es de 26.9 dB, lo cual determina la definición del sistema de control del tipo -20dB de acuerdo a lo indicado en documento P63-IT-0069-ETP-000-VI-00503 [4].

## 8 CONCLUSIONES

Se realizó un ensayo de transferencia de movilidad de vibraciones en vías, en un tramo de vía recta subterránea entre estaciones Plaza de Armas – Universidad de Chile de Línea 3, específicamente en el pk 10+960 que cuenta con un sistema de control de vibraciones conformado por una losa flotante con manta (FSM).

Se usó una instrumentación que permite medir la acelerancia (función de respuesta y función de transferencia) entre una fuerza aplicada con un martillo de impacto modal y las aceleraciones registradas en el riel, en la superficie de la losa flotante FSM y en perpendicular al muro del túnel.

Se midieron las FRF y FT para la vía uno y vía 2 en zonas de impacto sobre la silla de apoyo del riel y en el vano del riel entre dos sillas de soporte. Se cuenta con 4 ensayos de 12 impactos cada una para caracterizar el sistema de rieles, silla de fijación de riel, Pad de silla (goma) y losa flotante FSM.

Los resultados muestran buena coherencia, lo que indica buena linealidad del comportamiento de los sistemas ensayados, así como una clara aparición de los parámetros modales del sistema.

Los valores de pérdida por transmisión TL que es la relación de energía entre el riel y los puntos de control, muestran que entre el riel y el muro hay entre 49,2 dB a 58,5 dB de pérdida de transmisión.

Se construyó un modelo matemático en base a elementos matriciales para hacer un estimador de pérdida por inserción IL, que representa el efecto de atenuación entre el sistema de losa y la ausencia de este sistema. Los resultados muestran un buen ajuste en las frecuencias modales del sistema de múltiples grados de libertad. El modelo de transmisión de fuerza utilizado muestra que, al compararse al caso basal rígido, **la atenuación IL en la banda de 63 Hz es de 26.9 dB**, valor que determina el tipo de sistema de mitigación utilizado.



**Aldo Campos Pérez**

*Magíster ingeniería estructural y geotécnica  
(Pontificia Universidad Católica de Chile)  
Contador y Campos Ingeniería Ltda.*

## 9 REFERENCIAS

- [1] ISO 7626-5/2019, «Mechanical vibration and shock-Experimental determination of mechanical mobility-Measurement using impact excitation with an exciter which is not attached to the structure,» International Organization for Standardization (ISO), Switzerland, 2019.
- [2] ISO 2631-2, «Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero. Parte 2: Vibración en edificios (1 Hz a 80 Hz).,» International Organization for Standardization (ISO), 1989.
- [3] ISO 14837-1, «Mechanical Vibration - Ground-borne noise and vibration arising from rail systems-Part1: General Guidance,» International Organization for Standardization (ISO), 2005.
- [4] ETF-Colas Rail, «Documentos técnicos Sistema de Mitigación -20dB,» Santiago, 2015.

## ANEXO 01 CERTIFICADOS

*~ Calibration Certificate ~*

Per ISO 16063-21

Model Number: 333B40  
 Serial Number: 67043  
 Description: ICP® Accelerometer  
 Manufacturer: PCB Method: Back-to-Back Comparison AT401-3

**Calibration Data**

Sensitivity @ 100 Hz	<b>524 mV/g</b> (53.4 mV/m/s <sup>2</sup> )	Output Bias	10.9 VDC
Discharge Time Constant	1.2 seconds	Transverse Sensitivity	1.0 %
		Resonant Frequency	29.4 kHz

**Sensitivity Plot**

Temperature: 74 °F (24 °C)      Relative Humidity: 52 %

**Data Points**

Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)
10	1.5	300	-0.9
15	1.2	500	-1.4
30	0.7	1000	-1.8
50	0.3	3000	-1.5
REF. FREQ.	0.0		

Measuring Method: Reciprocal or Source Cross    Function: A=1/Normal    Filter: Chebyshev    Vertical Acceleration Level (g): 1.0g (9.81 m/s<sup>2</sup>)  
 The acceleration level may be limited by shaker displacement at low frequencies. If the level level cannot be achieved, the calibration system uses the following formula to set the vibration amplitude: Acceleration Level (g) = 1.0g x (f/100)    The frequency constant used for calculations by the calibration system is: 1g = 9.80665 m/s<sup>2</sup>

**Condition of Unit**

As Found: n/a  
 As Left: New Unit, In Tolerance

**Notes**

1. Calibration is NIST Traceable thru Project 683/287323 and PTB Traceable thru Project 17014.
2. This certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval from PCB Piezotronics, Inc.
3. Calibration is performed in compliance with ISO 10012-1, ANSI Z540.3 and ISO 17025.
4. See Manufacturer's Specification Sheet for a detailed listing of performance specifications.
5. Measurement uncertainty (95% confidence level with coverage factor of 2) for frequency ranges tested during calibration are as follows: 5-9 Hz: +/- 2.0%, 10-99 Hz: +/- 1.5%, 100-1999 Hz: +/- 1.0%, 2-10 kHz: +/- 2.5%, 10-15 kHz: +/- 5%.

Technician: Dakota Echerd      Date: 2/7/2019

ACCREDITED  
SUBSCRIBER CERT. 18212

HEADQUARTERS: 3425 WALDEN AVENUE - DEPEW, NY 14041  
 CALIBRATION PERFORMED AT: 10869 HIGHWAY 903, HALIFAX, NC 27839  
 TEL: 888-684-0033 - FAX: 716-685-3386 - www.pcb.com

CA16-163249901-0474

403-1

## ~ Calibration Certificate ~

Per ISO 10063-21

**Model Number:** 393B12  
**Serial Number:** 53173  
**Description:** ICP® Accelerometer  
**Manufacturer:** PCB      **Method:** Back-to-Back Comparison AT401-3

### Calibration Data

<b>Sensitivity @ 100 Hz</b>	<b>10.62 V/g</b>	<b>Output Bias</b>	11.0 VDC
	<b>(1.082 V/m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>Transverse Sensitivity</b>	1.3%
<b>Discharge Time Constant</b>	14.1 seconds	<b>Resonant Frequency</b>	14.6 kHz

### Sensitivity Plot

Temperature: 73.7°F (23.2°C)      Relative Humidity: 46%

Data Points			
Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)
10	1.0	300	-0.8
15	0.2	500	-1.2
30	0.5	1000	-2.0
50	0.0		
REF. FREQ:	0.0		

Mounting Surface: Stainless Steel • Solenoid Mount      Part No.: 1-4-20      Factory Orientation: Vertical  
 Acceleration Level: 0.05g (0.500 m/s<sup>2</sup>)  
 (The acceleration level may be limited by shaker displacement at low frequencies. If the desired level cannot be obtained, the calibration certificate will be amended to reflect the actual level. Acceleration Level (g) = 0.001 x Hz<sup>0.75</sup>. The gravitational constant used for calibration by the calibration service is: g<sub>0</sub> = 9.80665 m/s<sup>2</sup>.)

### Condition of Unit

As Found: n/a  
 As Left: New Unit, In Tolerance

### Notes

1. Calibration is NIST Traceable thru Project 683/287323 and PTB Traceable thru Project 17014.
2. This certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval from PCB Piezotronics, Inc.
3. Calibration is performed in compliance with ISO 10012-1, ANSI Z540.3 and ISO 17025.
4. See Manufacturer's Specification Sheet for a detailed listing of performance specifications.
5. Measurement uncertainty (95% confidence level with coverage factor of 2) for frequency ranges tested during calibration are as follows: 5-9 Hz; +/- 2.0%, 10-99 Hz; +/- 1.5%, 100-1999 Hz; +/- 1.0%, 2-10 kHz; +/- 2.5%.

**Technician:** Robert Zschebazy R.Z.      **Date:** 12/14/2018

ACCREDITED  
CALIBRATION CERT #1902 J02

**PCB PIEZOTRONICS**  
VIBRATION DIVISION  
Headquarters: 3425 Walden Avenue, Depew, NY 14043  
Calibration Performed at: 10869 Highway 905, Halifax, NC 27839  
TEL: 888-684-0013      FAX: 716-693-3886      www.pcb.com

#413736270168180344

ACS7

## ~ Calibration Certificate ~

Per ISO 16063-21

Model Number: 393B12  
 Serial Number: 53614  
 Description: ICP® Accelerometer  
 Manufacturer: PCB Method: Back-to-Back Comparison AT401-3

### Calibration Data

Sensitivity @ 100 Hz	10.60 V/g (1.081 V/m/s <sup>2</sup> )	Output Bias	11.2 VDC
Discharge Time Constant	10.8 seconds	Transverse Sensitivity	1.3 %
		Resonant Frequency	14.5 kHz

### Sensitivity Plot

Temperature: 72 °F (22 °C) Relative Humidity: 48 %

Frequency (Hz)	Dev. (%)	Frequency (Hz)	Dev. (%)
10	1.0	300	-0.7
15	1.2	500	-1.3
30	0.8	1000	-1.9
50	0.5		
REF. FREQ.	0.0		

Mounting Surface: Scanlon Spec# 546 Core Grade - Fastener: 1/4-20 Female - Fastener Orientation: Vertical  
 Acceleration Level: 0.25 g (0.981 m/s<sup>2</sup>)  
 \*The acceleration level may be varied by: Mounting displacement at low frequencies. If the fixed level cannot be obtained, the calibration system uses the following formulae for the vibration amplitude: Acceleration Level (g) = 0.005 \* (Hz)<sup>1.5</sup> \* The gravitational constant used for calculations in the calibration system is: 1 g = 9.80665 m/s<sup>2</sup>

### Condition of Unit

As Found: n/a  
 As Left: New Unit, In Tolerance

### Notes

1. Calibration is NIST Traceable thru Project 683/287323 and PTB Traceable thru Project 17014.
2. This certificate shall not be reproduced, except in full, without written approval from PCB Piezotronics, Inc.
3. Calibration is performed in compliance with ISO 10012-1, ANSI Z540.3 and ISO 17025.
4. See Manufacturer's Specification Sheet for a detailed listing of performance specifications.
5. Measurement uncertainty (95% confidence level with coverage factor of 2) for frequency ranges tested during calibration are as follows: 5-9 Hz: +/- 2.0%, 10-99 Hz: +/- 1.5%, 100-1999 Hz: +/- 1.0%, 2-10 kHz: +/- 2.5%.

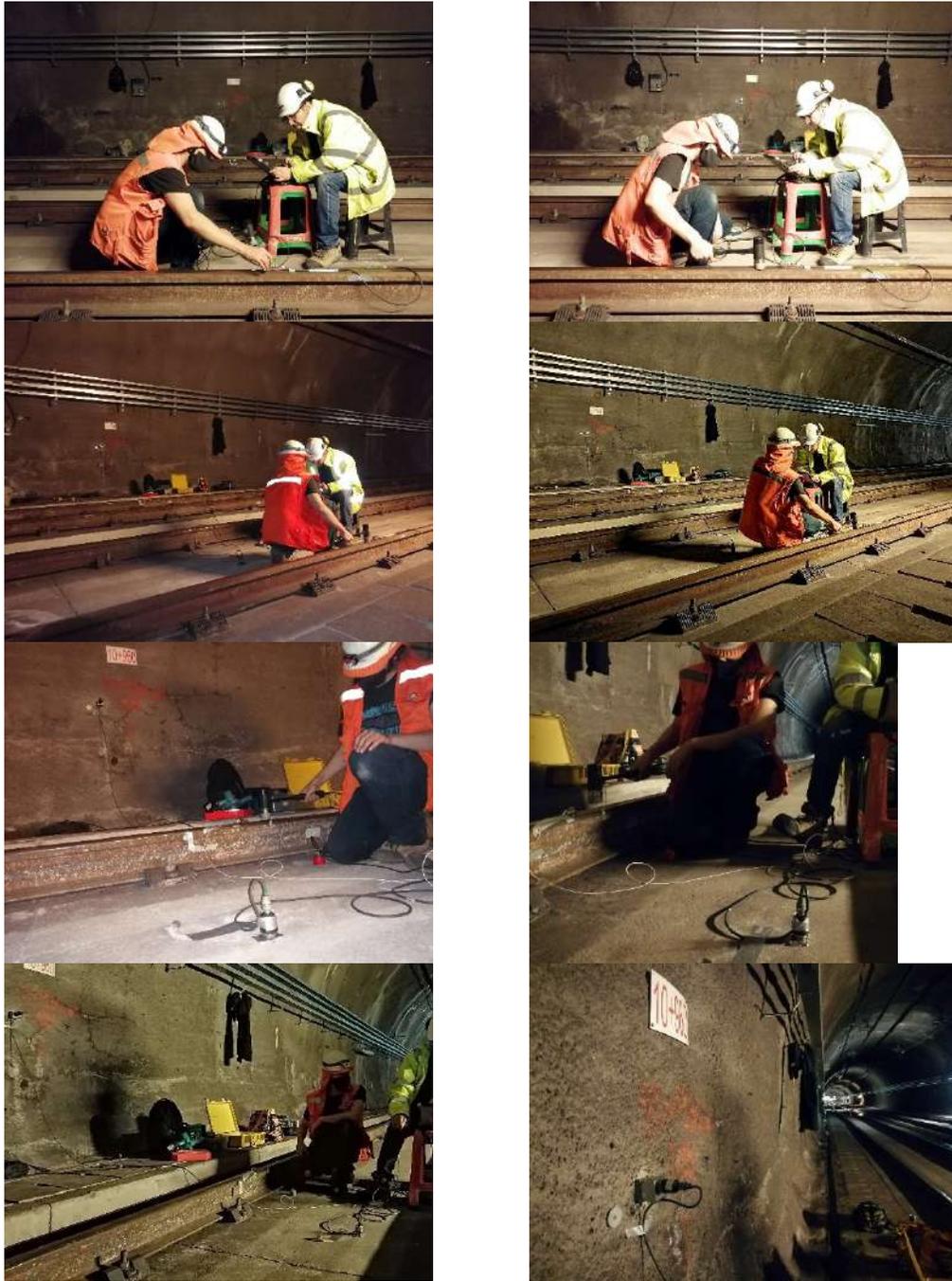
Technician: Christopher Kinyon Date: 11/15/2018

CALIBRATION CERT #1542-02  
PAGE 1 of 3

Headquarters: 3425 Walden Avenue, Depew, NY 14043  
 Calibration Performed at: 10809 Highway 903, Halifax, NC 27839  
 TEL: 888-684-0013 FAX: 716-651-3886 www.pcb.com

CAZ-48-025 (12/06) (E1)-10

## 10 ANEXO FOTOGRAFÍAS DE ENSAYO





The background features a grayscale image of several stacks of coins on the left and a globe on the right, both slightly out of focus.

# Precios Sociales 2021

Santiago, marzo 2021

Departamento de Metodologías - División de Evaluación Social de Inversiones

Subsecretaría de Evaluación Social

Sistema Nacional de Inversiones

## Contenido

PRECIOS SOCIALES VIGENTES EN EL SISTEMA NACIONAL DE INVERSIONES .....	2
1. INTRODUCCIÓN .....	5
2. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS NACIONALES .....	6
2.1 Tasa Social de Descuento .....	6
2.2 Precio Social de la Divisa .....	6
2.3 Precio Social de la Mano de Obra .....	7
3. ESTIMACIÓN DE PRECIOS SOCIALES DE RECURSOS .....	8
3.1 Valor Social del Tiempo de Viaje .....	8
3.1.1 Valor Social del Tiempo en Viajes Urbanos .....	8
3.1.2 Valor Social del Tiempo en Viajes Interurbanos.....	10
3.1.3 Valor Social del Tiempo para la Carga .....	12
3.1.4 Valor Social del Tiempo en Viajes para Deportes y Recreación .....	13
3.2 Precio Social del Combustible .....	14
3.3 Otros Costos de Operación Vehicular .....	16
3.3.1 Precio Social de Neumáticos .....	16
3.3.2 Precio Social Lubricantes.....	17
3.3.3 Precio Social Vehículo Nuevo .....	18
3.3.4 Precio Social Mano de Obra Mantenimiento Vehículos .....	20
3.4 Precio Social del Carbono.....	21

## PRECIOS SOCIALES VIGENTES EN EL SISTEMA NACIONAL DE INVERSIONES

Todos los valores monetarios están expresados en moneda 30 diciembre 2020

### 1. Parámetros Nacionales

Parámetro	Valor
Tasa Social de Descuento	6%
Factor de Corrección Mano de Obra	
Mano de Obra Calificada	0,98
Mano de Obra Semi-Calificada	0,68
Mano de Obra No Calificada	0,62
Factor de Corrección de la Divisa	1,00

### 2. Valor Social del Tiempo Urbano

	VST (\$/hora-pasajero)
Viaje	2.434
Espera	4.867
Caminata	4.867

### 3. Valor Social del Tiempo Interurbano

Tipo Vehículo	VST (\$/hora)	Unidad
Terrestre	7.995	Por Pasajero
Aéreo	16.850	Por Pasajero
Camión	9.479	Por Vehículo

#### 4. Precio Social de Combustibles

---

Tipo Vehículo	Precio Social (\$/l)
Automóvil	424
Camioneta	424
Camión 2 Ejes	414
Camión +2 Ejes	409
Buses	409

#### 5. Precio Social de Neumáticos

---

Tipo Vehículo	Precio Social (\$/unidad)
Automóvil	38.233
Camioneta	75.540
Camión 2 Ejes	116.990
Camión +2 Ejes y Buses	231.776

#### 6. Precio Social de Lubricantes

---

Tipo Vehículo	Precio Social (\$/l)
Automóviles y Camionetas	4.990
Buses y Camiones	2.354

#### 7. Precio Social de Vehículos Nuevos

---

Tipo Vehículo	Precio Social (\$/vehículo)
Automóvil	10.555.650
Camioneta	12.287.387
Camión 2 Ejes	24.685.307
Camión +2 Ejes	55.879.110
Bus Interurbano	90.245.431

## 8. Precio Social de Mantenimiento

---

Base	Precio Social (\$/hora-persona)
Mano de Obra Mantenimiento	5.169

## 9. Precio Social del CO<sub>2</sub>

---

Base	(\$/TON CO <sub>2</sub> )
Precio Social del CO <sub>2</sub>	23.926

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las tareas de la División de Evaluación Social de Inversiones del Ministerio de Desarrollo Social y Familia es mejorar permanentemente el proceso de pre-inversión pública y, con ello, contribuir a una óptima asignación de los recursos disponibles para ejecutar proyectos de inversión en el país.

En las decisiones de inversión pública, la evaluación social de proyectos es una herramienta ampliamente utilizada, cuyo fin es determinar la conveniencia para la sociedad de ejecutar determinados proyectos. Para realizar una correcta evaluación social de los proyectos se requiere valorizar tanto beneficios y costos, utilizando precios sociales. El objetivo de la estimación de los precios sociales es disponer de valores que reflejen el verdadero beneficio o costo para la sociedad de utilizar unidades adicionales de recursos durante la ejecución y operación de un proyecto de inversión.

El presente documento entrega información sobre la elaboración y actualización de los precios sociales relevantes en la evaluación de proyectos.

Los precios sociales estimados son:

1. Tasa Social de Descuento
2. Precio Social de la Mano de Obra
3. Precio Social de la Divisa
4. Valor Social del Tiempo de Viaje
  - 4.1 Viajes Urbanos
  - 4.2 Viajes Interurbanos
  - 4.3 Viajes de Carga
  - 4.4 Viajes para Deportes y Recreación
5. Precio Social del Combustible
6. Precio Social Otros Costos de Operación
  - 6.1 Precio Social Neumáticos
  - 6.2 Precio Social Lubricantes
  - 6.3 Precio Social Vehículo Nuevo
  - 6.4 Precio Social Mano Obra Mantenimiento Vehículos
7. Precio Social del Carbono

En lo que sigue se detalla la forma de cálculo de cada uno de los precios sociales mencionados y se especificará la forma de actualización de éstos, con las fuentes de información necesarias para este proceso<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Los antecedentes que se presentan a continuación corresponden a diferentes estudios elaborados en el contexto del Sistema Nacional de Inversiones de Chile.

## 2. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS NACIONALES

### 2.1 Tasa Social de Descuento

La tasa social de descuento representa el costo de oportunidad en que incurre el país cuando utiliza recursos para financiar proyectos.

Estos recursos provienen de las siguientes fuentes: de menor consumo (mayor ahorro), de menor inversión privada y del sector externo (préstamos internacionales). Por lo tanto, depende de la tasa de preferencia inter temporal del consumo, de la rentabilidad marginal de la inversión del sector privado y de la tasa de interés de los créditos externos. La Tasa Social de Descuento vigente corresponde a 6% real anual.

*Tabla N°1 Tasa Social de Descuento*

Parámetro	Valor
Tasa Social de Descuento	6%

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2 Precio Social de la Divisa

La discrepancia entre el costo social de la divisa y el costo privado se origina si la economía valora una divisa adicional en más o menos de lo que efectivamente le cuesta en términos de recursos productivos sacrificados. La causa de esta discrepancia es la existencia de distorsiones en la economía, especialmente en los sectores de bienes y servicios transables internacionalmente (aranceles y/o subsidios).

Siguiendo el documento "El Costo Social de la Divisa" (García, 1988)<sup>2</sup>, el tipo de cambio social (TCs), o precio social de la divisa, deberá calcularse sobre la base del tipo de cambio del dólar observado (TC obs). La fórmula para el cálculo del precio social de la divisa es:

$$\text{TCs} = [\text{FCSD}] * [\text{TC obs}]$$

Donde:

FCSD: Factor de Corrección Social de la Divisa.

El factor de ajuste de la divisa a emplear se presenta en la Tabla N°2.

*Tabla N°2 Factores Corrección Precio Social Divisa*

Parámetro	Factor
Factor de Corrección Social de la Divisa	1,00 <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>2</sup> García, Ricardo (1988). El costo social de la divisa. Cuadernos de Economía PUC, Año 25. N°74.

<sup>3</sup> El valor actualizado al 2021 corresponde a 1,00383. Para estimar otros precios sociales, que requieren del FCSD, se aplicó el valor con cinco decimales.

## 2.3 Precio Social de la Mano de Obra

El precio social del trabajo corresponde al costo marginal en que incurre la sociedad por emplear un trabajador adicional de cierta calificación. Para uniformar criterios respecto de la calificación de la mano de obra, se define:

- a) Mano de Obra Calificada: trabajadores que desempeñan actividades cuya ejecución requiere estudios previos o vasta experiencia, por ejemplo: profesionales, técnicos, obreros especializados. Entre estos últimos se debe considerar maestros de primera en general, ya sean mecánicos, electricistas, albañiles, pintores, carpinteros u otros.
- b) Mano de Obra Semi Calificada: trabajadores que desempeñan actividades para las cuales no se requiere estudios previos y que, teniendo experiencia, esta no es suficientes para ser clasificados como maestros de primera.
- c) Mano de Obra no Calificada: trabajadores que desempeñan actividades cuya ejecución no requiere de estudios ni experiencia previa, por ejemplo: jornaleros, cargadores, personas sin oficio definido.

El costo social de la mano de obra se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$PS = FCMO * SB$$

Donde:

PS: Precio Social de la Mano de Obra

FCMO: Factor de corrección (ver Tabla N°3)

SB: Salario bruto o costo para el empleador de la mano de obra (costo privado)

De acuerdo al estudio "Cálculo del Precio Social de la Mano de Obra en Chile" (2002), se obtuvieron los siguientes valores para los Factores de Corrección, los que se presentan en la Tabla N°3.

*Tabla N°3 Factores Corrección Precio Social Mano de Obra*

Categoría de mano de obra	Factor de Corrección
Mano de Obra Calificada	0,98
Mano de Obra Semi Calificada	0,68
Mano de Obra No Calificada	0,62

Fuente: Elaboración propia

Una vez que se determina el Salario Bruto relevante, se aplica el factor de corrección de acuerdo con el nivel de calificación de la mano de obra y se obtiene el respectivo Precio Social de la Mano de Obra.

## 3. ESTIMACIÓN DE PRECIOS SOCIALES DE RECURSOS

### 3.1 Valor Social del Tiempo de Viaje

El Valor Social del Tiempo de Viaje (VST) se utiliza para valorar los beneficios por ahorro de tiempo, asociados a proyectos de transporte. Actualmente, para el cálculo de este valor se utiliza un enfoque de "productividad", que valora el tiempo utilizado para realizar los viajes a partir de su costo alternativo (costo de oportunidad del valor del tiempo de trabajo) y un enfoque de "disposición a pagar", que valora el tiempo para viajes con otros propósitos. Además, distingue por ámbito urbano e interurbano y el tipo de vehículo (diferenciando entre modos terrestre y aéreo).

#### 3.1.1 Valor Social del Tiempo en Viajes Urbanos

El cálculo se realiza a través de la siguiente fórmula:

$$VST_{\text{URBANO}} = \alpha \cdot VTT + \beta \cdot VTC + \gamma \cdot VTO$$

Donde:

$VST_{\text{URBANO}}$ : valor social del tiempo para viajes urbanos, por pasajero.

VTT: valor del tiempo de trabajo.

VTC: valor del tiempo para viajes con propósito "commute"<sup>4</sup>.

VTO: valor del tiempo para viajes con otros propósitos.

$\alpha$ : porcentaje de viajes realizados durante la jornada de trabajo.

$\beta$ : porcentaje de viajes realizados del hogar al trabajo y desde el trabajo al hogar.

$\gamma$ : porcentaje de viajes realizados con otros propósitos (como ir de compras, hacer trámites, etc.).

Para todos los modos, excepto camión, los ponderadores  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  corresponden a 3,4%, 27,2% y 69,4% respectivamente, estimados como un promedio ponderado entre la población<sup>5</sup> y los viajes según propósito, obtenidos a partir de las últimas trece Encuestas Origen Destino elaboradas por la Secretaria de Planificación de Transporte (SECTRA-MTT), todas posteriores a 2010.

En cuanto a la valoración, para el VTT se utiliza el Costo de la Mano de Obra por Hora total<sup>6</sup> obtenido a partir de la publicación del INE "Remuneraciones y Costos Laborales Medios por Horas Pagadas Nominal General"<sup>7</sup>.

<sup>4</sup> Son viajes "commute", todos aquellos que se realizan diariamente (como ir al trabajo y volver del trabajo al hogar).

<sup>5</sup> Información disponible en CENSO 2017.

<sup>6</sup> El Costo de la Mano de Obra por Hora Total está compuesto por las remuneraciones más costos del empleador por concepto de gastos del trabajador. Por ejemplo: colación, movilización, capacitación y servicios de bienestar, entre otros. Corresponde a 6.012 \$/h en pesos diciembre 2020.

<sup>7</sup> Dirección web: <https://www.ine.cl/estadisticas/sociales/mercado-laboral/sueldos-y-salarios>

Para el VTC, el MDSF estimó a partir de un meta-análisis<sup>8</sup> que este valor es el 50% del Costo de la Mano de Obra por Hora total:

$$\text{VTC} = (\text{Costo Mano de Obra}) * 50\%$$

El VTO se obtiene a partir de los resultados del estudio "Estimación del Valor del Tiempo de Viaje Urbano mediante preferencias declaradas, SECTRA 2015", donde se estimó que la relación entre el salario bruto y el valor del tiempo para viajes con otros propósitos es:

$$\text{VTO} = (\text{Salario Bruto por Hora}) * 39,08\%$$

Esta relación se obtuvo mediante la calibración de modelos Logit, a partir de una base de datos agregada de encuestas de Preferencias Declaradas (relativas a las EOD de 6 ciudades representativas como el Gran Santiago, Arica, Iquique, Antofagasta, Calama, y Valdivia).

El Salario Bruto que se utiliza para actualizar el VTO corresponde a la Remuneración Ordinaria por Hora Ordinaria<sup>9</sup> obtenido a partir de la publicación del INE "Remuneraciones y Costos Laborales Medios por Horas Pagadas Nominal General".

Los resultados se presentan en la Tabla N°4.

*Tabla N°4 Valor Social del Tiempo para Viajes Urbanos (todo vehículo, excepto camión)*

VST (\$/hora-pasajero)	
Viaje	2.434

Fuente: Elaboración propia.

Para los proyectos que involucren cambios en los tiempos de viaje, espera y caminata de usuarios de transporte público, y sea posible identificar las distintas etapas del viaje, se utilizarán los siguientes factores de ponderación del valor social del tiempo de viaje:

*Tabla N°5 Valor Social del Tiempo Diferenciado por Etapas*

	Factor de Ponderación	VST (\$/hora-pasajero)
Viaje	1,0	2.434
Espera	2,0	4.867
Caminata	2,0	4.867

Fuente: Elaboración propia.

<sup>8</sup> Documento "Revisión a la formulación, actualización y uso del Valor Social del Tiempo de Viaje". Disponible en la sección "Documentos de apoyo" de la web: <http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/evaluacion-iniciativas-de-inversion/evaluacion-ex-ante/metodologias-y-precios-sociales-nuevos-sectores/>

<sup>9</sup> La Remuneración Ordinaria por Hora Ordinaria corresponde a 5.206 \$/h, en pesos diciembre 2020.

Nótese que estos ponderadores podrán utilizarse para cuantificar los beneficios por ahorros (o costos por aumento) de tiempos de viaje sólo para los usuarios de transporte público. En el caso de que el viaje se realice de manera combinada (por ejemplo, Auto –Metro), sólo el tramo de transporte público está afecto a estos ponderadores.

### 3.1.2 Valor Social del Tiempo en Viajes Interurbanos

La estimación del VST en Viajes Interurbanos se realiza utilizando la misma metodología aplicada para la estimación el VST de viajes urbanos<sup>10</sup>, pero distinguiendo por tipo de vehículo (terrestre o aéreo). De esta forma, el cálculo se realiza usando la siguiente expresión:

$$VST_{\text{INTERURBANO}}^i = \alpha_i \cdot VTT_i + \beta_i \cdot VTO_i$$

Donde:

$VST_{\text{INTERURBANO}}^i$ : valor social del tiempo en viajes interurbanos, para el pasajero del vehículo  $i$ .

$VTT_i$ : valor tiempo de trabajo en viajes interurbanos, para el pasajero del vehículo  $i$ .

$VTO_i$ : valor del tiempo para viajes interurbanos con otros propósitos, para el pasajero del vehículo  $i$ .

$\alpha_i$ : porcentaje de viajes realizados durante la jornada de trabajo del pasajero en el vehículo  $i$ .

$\beta_i$ : porcentaje de viajes realizados con propósitos distintos a “por trabajo” del pasajero en el vehículo  $i$ .

$i$ : terrestre<sup>11</sup> o aéreo.

A partir del estudio “Estimación de Valores Sociales del Tiempo de Viaje de Pasajeros Interurbanos Utilizando Nuevas Formulaciones de Modelos de Demanda” (SECTRA, 2012), se estimaron los ponderadores de trabajo ( $\alpha$ ) y otros propósitos ( $\beta$ ) para cada tipo de vehículo, los que se presentan en la Tabla N°6

**Tabla N°6 Ponderadores VTT-VTO**

Tipo Vehículo	% Viajes Trabajo	% Viajes otros propósitos
Terrestre	39,72%	60,28%
Aéreo	57,00%	43,00%

Fuente: Estimación de Valores Sociales del Tiempo de Viaje de Pasajeros Interurbanos Utilizando Nuevas Formulaciones de Modelos de Demanda” (SECTRA, 2012)

<sup>10</sup> Sin embargo, en este caso solo se utiliza la distinción entre viajes de trabajo y otros propósitos

<sup>11</sup> El modo terrestre está compuesto por automóviles, camionetas, buses y trenes.

Al igual que en el caso de viajes urbanos, para el VTT de viajes interurbanos en modo terrestre se utiliza el Costo de la Mano de Obra por Hora total obtenido a partir de la publicación del INE "Remuneraciones y Costos Laborales Medios por Horas Pagadas Nominal General". Para el caso aéreo, el VTT se obtiene a partir del salario promedio de los usuarios del modo avión que se encuestó en el estudio SECTRA, 2012 (actualizado a moneda actual).<sup>12</sup>

Por otra parte, el VTO – del tipo de vehículo terrestre y aéreo – proviene del estudio de calibración SECTRA, 2012<sup>13</sup>, actualizado anualmente a partir del crecimiento porcentual anual del Costo Promedio de la Mano de Obra.

Con todos estos parámetros, se estima el VST en Viajes interurbanos para los tipos de vehículos terrestre y aéreo. La Tabla N°7 presenta el VST en Viajes Interurbanos estimado.

**Tabla N°7 Valor Social del Tiempo Viajes Interurbanos, por pasajero**

Tipo Vehículo	VST (\$/hr-pasajero)
Terrestre	7.995
Aéreo	16.850

Fuente: Elaboración propia

Los valores anteriores han sido presentados en unidad de pasajeros, ya que, en viajes interurbanos, la capacidad entre distintas tecnologías y/o las tasas de ocupación en algunas temporadas, modos o rutas, pueden diferir de manera importante respecto a valores referenciales, siendo conveniente que, para efectos de la evaluación social, esta información sea propia de cada iniciativa de inversión.

Sin embargo, puede ocurrir que los modelos de transporte utilizados en ciertos proyectos requieran de valores en unidad de vehículos o que el proyecto en etapas iniciales de su ciclo de vida no cuente aún con información detallada. En estos casos, el MDSF proporciona los siguientes valores referenciales.

La Tabla N°8 presenta la tasa de ocupación de los distintos tipos de vehículos considerados para el cálculo del VST en Viajes Interurbanos.

<sup>12</sup> Cuyo valor fue 7.476 \$/hora-pasajero en moneda diciembre 2009.

<sup>13</sup> Este fue de 5.030 \$/hora-pasajero para modos terrestres y 11.282 \$/hora-pasajero para el modo avión, en moneda diciembre 2009.

**Tabla N°8 Tasa de Ocupación Promedio Interurbano**

Tipo Vehículo	Pasajero	Chofer	Auxiliar	Tasa de ocupación
Automóvil	1,98			1,98
Camioneta	1,98			1,98
Bus Rural	23	1		24
Bus Interurbano	20	1	1	22

Fuente: Encuesta Origen Destino Macro Zona Centro – Norte, SECTRA 2001.

La ponderación entre el valor del tiempo por pasajero (Tabla N°7) y las tasas de ocupación promedio (Tabla N°8) otorgan valores del tiempo interurbano para los automóviles, camionetas, bus rural y bus interurbano.

La Tabla N°9 presenta el VST referencial en Viajes Interurbanos estimado por tipo de vehículo.

**Tabla N°9 Valor Social del Tiempo Viajes Interurbanos, por vehículo**

Tipo Vehículo	VST (\$/hr)	Unidad
Automóvil	15.830	Por Vehículo
Camioneta	15.830	Por Vehículo
Bus Rural	189.891	Por Vehículo
Bus Interurbano	171.919	Por Vehículo
Bus <sup>14</sup>	174.884	Por Vehículo

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3 Valor Social del Tiempo para la Carga

Para el modo camión, el VST se obtiene del estudio “Estimación de Valores del Tiempo para los Envíos Terrestres de Cargas” (SECTRA, 2013). Debe notarse que en este caso no debe diferenciarse por ámbito urbano o interurbano, siendo un valor único, que corresponde a la valoración de cada viaje realizado por un camión. Debe notarse que este valor considera tanto el uso del recurso tiempo del camión, como el costo de oportunidad de la carga, y se presenta en la Tabla N°10.

**Tabla N°10 Valor Social del Tiempo del Modo Camión**

Tipo Vehículo	VST (\$/hr)	Unidad
Camión	9.479	Por Vehículo

Fuente: Elaboración propia.

<sup>14</sup> Se podrá utilizar en caso que no se conozca la proporción de buses rurales e interurbanos. Este valor considera un promedio ponderado de 16,5% viajes Bus Rural y 83,5% viajes Bus Interurbano (Fuente: SECTRA, Encuesta Origen Destino Zona Sur 1997).

### 3.1.4 Valor Social del Tiempo en Viajes para Deportes y Recreación

Para el cálculo del valor del tiempo de viaje empleado para trasladarse hacia determinada ubicación para la realización de actividades deportivas o recreativas, se utiliza el mismo enfoque de cálculo del VST<sup>15</sup>. Por lo tanto, la fórmula para obtener el valor social es la siguiente:

$$VST_{\text{DEPORTE/RECREACIÓN}} = \alpha \cdot VTT + \beta \cdot VTC + \gamma \cdot VTO$$

Donde:

$VST_{\text{DEPORTE/RECREACIÓN}}$ : valor social del tiempo para viajes para realizar actividades deportivas y recreativas.

VTT: valor del tiempo de trabajo.

VTC: valor del tiempo para viajes con propósito "commute".

VTO: valor del tiempo para viajes con otros propósitos.

$\alpha$ : porcentaje de viajes realizados durante la jornada de trabajo.

$\beta$ : porcentaje de viajes realizados del hogar al trabajo y desde el trabajo al hogar.

$\gamma$ : porcentaje de viajes realizados con otros propósitos

Dada la naturaleza de las actividades analizadas, se supone que dicho tiempo corresponde sólo a viajes con otros propósitos; es decir:

$$\alpha = 0; \beta = 0; \gamma = 1.$$

Al igual que para el caso urbano, se supone que el VTO corresponde a un 39,08% del VTT. La Tabla N°11 muestra el valor social del tiempo para proyectos de deportes y recreación.

**Tabla N°11 Valor Social del Tiempo de Viajes para Actividades Deportivas y Recreativas**

VST (\$/hr)	
Viaje	\$ 2.034

Fuente: Elaboración propia.

<sup>15</sup> En este sentido, el valor que se estima **no corresponde al valor del tiempo de la actividad** recreativa o deportiva propiamente tal, sino al valor del tiempo por trasladarse hacia el lugar donde se realizará dicha actividad.

### 3.2 Precio Social del Combustible

Se calculan precios sociales para el diésel y las gasolinas diferenciando por octanaje (93, 95 y 97). La expresión del precio social del litro de diésel corresponde a:

$$PS_{\text{DIESEL}} = \left[ \frac{PM_{\text{DIESEL}} - (IE^F_{\text{DIESEL}} + IE^V_{\text{DIESEL}}) \cdot UTM}{(1 + IVA) \cdot (1 + ta)} \right] \cdot FCSD$$

Donde:

$PS_{\text{DIESEL}}$ : Precio social del diésel.

$PM_{\text{DIESEL}}$ : Precio de mercado del diésel.

$IE^F_{\text{DIESEL}}$ : impuesto específico (componente fija) al diésel.

$IE^V_{\text{DIESEL}}$ : impuesto específico (componente variable) al diésel.

UTM: unidad tributaria mensual.

IVA: tasa valor impuesto agregado.

ta: tasa arancelaria

FCSD: factor de corrección social de la divisa

La expresión del precio social del litro de gasolina según octanaje corresponde a:

$$PS^i_{\text{gasolina}} = \left[ \frac{PM^i_{\text{gasolina}} - (IE^F_{\text{gasolina},i} + IE^V_{\text{gasolina},i}) \cdot UTM}{(1 + IVA) \cdot (1 + ta)} \right] \cdot FCSD$$

Donde:

$PS^i_{\text{gasolina}}$ : Precio social de la gasolina de octanaje i.

$PM^i_{\text{gasolina}}$ : Precio de mercado de la gasolina de octanaje i.

$IE^F_{\text{gasolina},i}$ : impuesto específico (componente fija) de la gasolina de octanaje i.

$IE^V_{\text{gasolina},i}$ : impuesto específico (variable) de la gasolina de octanaje i.

UTM: unidad tributaria mensual.

IVA: tasa valor impuesto agregado.

ta: tasa arancelaria.

FCSD: factor de corrección social de la divisa.

i: gasolina de 93, 95 y 97 octanos.

El precio de mercado de cada uno de los combustibles se construye en base a un promedio nacional (promedio de precios medios mensuales de enero a diciembre del 2020), a partir del registro "Precio Mensual Regional de Combustibles Líquidos", publicado por la Comisión Nacional de Energía<sup>16</sup> (CNE). En cada actualización se debe calcular el nuevo promedio de mercado a partir de la información de la CNE. Con respecto a las tasas de impuestos, se deben

<sup>16</sup> Precios provistos por la Comisión de Nacional de Energía (CNE), periodo 2020.

considerar las tasas vigentes al momento de la actualización, información que es entregada por el Servicio de Impuestos Internos<sup>17</sup>.

El valor de la UTM se obtiene del valor promedio anual (promedio de enero a diciembre del 2020) publicado a la fecha de la actualización de los precios sociales, en la página del Banco Central<sup>18</sup>. La tasa arancelaria corresponde al promedio del año 2020 del arancel Ad-valorem efectivo informado por el Servicio Nacional de Aduanas<sup>19</sup>. Los factores utilizados se detallan en la siguiente Tabla.

*Tabla N°12 Factores para estimar PS combustible*

<b>IVA</b>	<b>19,0%</b>
<b>Tasa Arancelaria Prom. 2020</b>	<b>0,81%</b>
<b>FCSD</b>	<b>1,00</b>
<b>Impuesto Diésel Fijo (UTM/m3)</b>	<b>1,50</b>
<b>Impuesto Diésel Variable (UTM/m3)</b>	<b>-</b>
<b>Impuesto Gasolinas (UTM/m3)</b>	<b>6,00</b>
<b>UTM Prom. 2020</b>	<b>\$ 50.281</b>

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior, los precios sociales vigentes para los distintos combustibles por litro se presentan en la Tabla N°13.

*Tabla N°13 Precio Social Combustibles*

	<b>Gasolina 93</b>	<b>Gasolina 95</b>	<b>Gasolina 97</b>	<b>Diésel</b>
<b>Precio Social (\$/l)</b>	<b>406,24</b>	<b>434,38</b>	<b>463,15</b>	<b>408,70</b>

Fuente: Elaboración propia.

El estudio "Estimación de Precios Sociales" (MIDEPLAN, 2002) estimó los porcentajes de uso de gasolina y diésel para automóvil, camioneta, camión de 2 ejes y más y buses (Tabla N°14).

*Tabla N°14 Ponderadores por tipo de vehículo*

<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>Gasolina</b>	<b>Diesel</b>
	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
<b>Automóvil</b>	<b>88,0%</b>	<b>12,0%</b>
<b>Camioneta</b>	<b>88,0%</b>	<b>12,0%</b>
<b>Camión 2 Ejes</b>	<b>30,0%</b>	<b>70,0%</b>
<b>Camión +2 Ejes</b>	<b>0,0%</b>	<b>100,0%</b>
<b>Buses</b>	<b>0,0%</b>	<b>100,0%</b>

Fuente: Estudio Actualización Precios Sociales, MIDEPLAN 2002.

<sup>17</sup> Ver: [www.sii.cl/aprenda\\_sobre\\_impuestos/impuestos/descripcion.htm](http://www.sii.cl/aprenda_sobre_impuestos/impuestos/descripcion.htm)

<sup>18</sup> Ver: [www.bcentral.cl](http://www.bcentral.cl)

<sup>19</sup> Información de arancel de importaciones obtenido en <https://www.aduana.cl/>

En el mismo estudio se estimó la proporción utilizada de las gasolinas de distinto octanaje, según se muestra en la Tabla N°15.

**Tabla N°15 Porcentajes de uso según octanaje de gasolina**

	Gasolina 93	Gasolina 95	Gasolina 97
Uso de Gasolina	51%	27%	22%

Fuente: Estudio Actualización Precios Sociales, MIDEPLAN 2002

Al utilizar los porcentajes y los precios sociales de la Tabla N°13 y Tabla N°15 es posible determinar el precio social vigente para el combustible diferenciando por tipo de vehículo. La Tabla N°16 muestra los resultados obtenidos.

**Tabla N°16 Precio Social Combustible por tipo de Vehículo**

Tipo Vehículo	(\$/l) dic 2020
Automóvil	424
Camioneta	424
Camión 2 Ejes	414
Camión +2 Ejes	409
Buses	409

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 Otros Costos de Operación Vehicular

#### 3.3.1 Precio Social de Neumáticos

El precio social de los neumáticos se calcula mediante la siguiente expresión:

$$PS_{\text{NEUMÁTICO}}^i = \frac{PM_{\text{NEUMÁTICO}}^i}{(1 + IVA) \cdot (1 + ta)} \cdot FCSD$$

Donde:

$PS_{\text{NEUMÁTICO}}^i$ : Precio social del neumático del vehículo i.

$PM_{\text{NEUMÁTICO}}^i$ : Precio de mercado del neumático del vehículo i.

IVA: tasa valor impuesto agregado.

ta: tasa arancelaria.

FCSD: factor de corrección social de la divisa.

i: tipo de vehículo (automóvil, camioneta, camión dos ejes, camión más de dos ejes, buses interurbanos).

El precio de mercado se estimó en el estudio "Actualización de Precios Sociales de Transporte Vial" (MIDEPLAN, 2005), que calculó el precio de mercado de neumáticos para automóviles, camionetas, buses y camiones en base a

cotizaciones directas con los distribuidores de neumáticos de Santiago de los modelos más vendidos de las marcas con mayor presencia en el mercado. Estos precios se han ido actualizando año a año en base a las variaciones de los precios de los neumáticos publicados por el INE<sup>20</sup> para el cálculo del IPC. Para el periodo diciembre 2013 a diciembre 2020 la variación registrada fue de 17,11%.

Al actualizar los precios de mercado y realizar las correcciones por las tasas impositivas y el factor de corrección de la divisa, se obtienen los precios sociales de los neumáticos, los cuales se presentan en la Tabla N°17.

**Tabla N°17 Precio Social Neumáticos por tipo de Vehículo**

Tipo Vehículo	(\$/unidad) dic 2020
<b>Automóvil</b>	<b>38.233</b>
<b>Camioneta</b>	<b>75.540</b>
<b>Camión 2 Ejes</b>	<b>116.990</b>
<b>Camión +2 Ejes y Buses</b>	<b>231.776</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2 Precio Social Lubricantes

El precio social de los lubricantes se calcula mediante la siguiente expresión:

$$PS_{LUBRICANTES}^i = \frac{PM_{LUBRICANTES}^i}{(1 + IVA) \cdot (1 + ta)} \cdot FCSD$$

Donde:

$PS_{LUBRICANTES}^i$ : Precio social del lubricante para el vehículo i.

$PM_{LUBRICANTES}^i$ : Precio de mercado del lubricante para el vehículo i.

IVA: tasa valor impuesto agregado.

ta: tasa arancelaria.

FCSD: factor de corrección social de la divisa.

i: tipo de vehículo (automóvil, camioneta, camión dos ejes, camión más de dos ejes, buses interurbanos).

El precio de mercado se basa en el estudio "Actualización de Precios Sociales de Transporte Vial" (MIDEPLAN, 2005) que estima el precio de mercado a partir de un promedio ponderado entre los precios y porcentaje de producción de los lubricantes más vendidos.

Los precios privados para los lubricantes se actualizan año a año en base a las variaciones de precios publicadas por el INE<sup>21</sup> y las variaciones del IPC. El precio de mercado debe ajustarse por las tasas impositivas y el FCSD. Los precios sociales se presentan en la Tabla N°18.

<sup>20</sup> Ver: [www.ine.cl](http://www.ine.cl)

<sup>21</sup> Ver: [www.ine.cl](http://www.ine.cl)

*Tabla N°18 Precio Social de Lubricantes por tipo de Vehículo*

Tipo Vehículo	(\$/l) dic 2020
Automóviles y Camionetas	4.990
Buses y Camiones	2.354

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3 Precio Social Vehículo Nuevo

El valor de los vehículos nuevos se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$PS_{\text{VEHÍCULOS}}^i = \frac{PM^i_{\text{VEHÍCULOS}}}{(1 + IVA) \cdot (1 + ta)} \cdot FCSD$$

Donde:

$PS_{\text{VEHÍCULOS}}^i$ : Precio social del vehículo i.

$PM^i_{\text{VEHÍCULOS}}$ : Precio de mercado del vehículo i.

IVA: tasa valor impuesto agregado.

ta: tasa arancelaria

FCSD: factor de corrección social de la divisa.

i: tipo de vehículo (automóvil, camioneta, camión dos ejes, camión más de dos ejes, buses interurbanos).

#### Automóvil

El precio de mercado a considerar para el cálculo del precio social del automóvil se basa en la tasación fiscal de vehículos livianos del Servicio de Impuestos Internos (SII) del año 2006 y de información de la Asociación Nacional Automotriz de Chile (ANAC), acerca del porcentaje de ventas de automóviles de acuerdo a rango de precios para el año 2005. El precio (privado) promedio de mercado calculado para el año 2006 es de \$9.357.235. Este valor se actualiza año a año en base a la variación del tipo de cambio observado entre diciembre del año de actualización y el tipo de cambio observado del mes diciembre del año 2006, según información del Banco Central.

Una vez obtenidos los precios de mercado, se aplica la fórmula de corrección para obtener el precio social ajustando por el IVA, la tasa arancelaria y el factor de corrección social de la divisa.

#### Camionetas

El precio de mercado para las camionetas se construye a partir del estudio "Actualización de Precios Sociales de Transporte Vial" (MIDEPLAN, 2005), el cual considera el promedio de precios de mercado de los modelos de camionetas más vendidos. El precio (privado) promedio de mercado calculado para el año 2005

es de \$10.616.327. Este valor se actualiza año a año en base a la variación del tipo de cambio observado entre diciembre del año de actualización y el tipo de cambio observado del mes de diciembre del año 2005, según información del Banco Central. Una vez obtenido los precios de mercado, se deben realizar las correcciones para obtener el precio social de las camionetas.

### Camiones

Se realiza la distinción entre camiones de dos ejes y de más de dos ejes. El precio de mercado se estima a partir del estudio de precios sociales del año 2005, en el cual se consideran los modelos y las marcas más vendidas. Para el caso de los camiones de dos ejes se considera un precio de US\$34.575 y para los de más de dos ejes US\$78.266. Para obtener los precios en moneda nacional se multiplican por el tipo de cambio observado del mes de diciembre del año de actualización (información del Banco Central). Además, se incorpora el IVA y la tasa arancelaria. Para obtener el precio social de los camiones, se debe corregir por IVA, tasa arancelaria y FCSD.

### Bus Interurbano

Siguiendo la metodología de los estudios "Estimación de Precios Sociales" (Fernández y Cea – MIDEPLAN, 2002) y "Actualización de Precios Sociales de Transporte Vial" (MIDEPLAN, 2005) se estimó un precio de mercado de US\$151.635 por unidad para el año 2001. Para obtener los precios en moneda nacional se multiplican por el tipo de cambio observado del mes de diciembre del año de actualización (información del Banco Central). Además, se le incorpora el IVA y la tasa arancelaria. Para obtener el precio social de los buses interurbanos, se debe corregir por el IVA, tasa arancelaria y factor de corrección social de la divisa.

La Tabla N°19, resume los precios sociales para cada tipo de vehículo nuevo.

**Tabla N°19 Precio Social Vehículos Nuevos <sup>22</sup>**

<b>Tipo Vehículo</b>	<b>(\$/unidad)</b>
<b>Automóvil</b>	<b>\$ 10.555.650</b>
<b>Camioneta</b>	<b>\$ 12.287.387</b>
<b>Camión 2 Ejes</b>	<b>\$ 24.685.307</b>
<b>Camión +2 Ejes</b>	<b>\$ 55.879.110</b>
<b>Bus Interurbano</b>	<b>\$ 90.245.431</b>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>22</sup> Estos valores son válidos cuando en modelos de transporte se liberan o requieren recursos producto del proyecto en su operación. Si el proyecto requiere la adquisición de vehículos, debe considerarse el precio de mercado y aplicar las correcciones económicas (consideración de impuestos y subsidios) correspondientes.

### 3.3.4 Precio Social Mano de Obra Mantenimiento Vehículos

A partir del estudio "Actualización de Precios Sociales de Transporte Vial" (MIDEPLAN, 2005) se estima que el mercado laboral relacionado a transporte está compuesto principalmente por mano de obra calificada. La información se obtuvo a partir de datos facilitados para los talleres mecánicos de Citroen Chile, la bolsa de trabajo de INACAP para las vacantes relacionadas con la mecánica automotriz y otros talleres mecánicos. El valor obtenido en 2005 equivale a \$2.229. Este valor se actualiza año a año de acuerdo con la variación anual del Índice de Remuneración Nominal publicado por el Instituto Nacional de Estadísticas.

Para obtener el precio social de la Mano de Obra de Mantenimiento Vehicular, se debe corregir por el Factor de Corrección Social de la mano de obra calificada (FCSMO)<sup>23</sup>, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$PSMO_{MANT} = SB_{MANT} \cdot FCSMO_{CALIFICADA}$$

Donde:

$PSMO_{MANT}$ : Precio social de la mano de obra de mantenimiento vehicular, por hora.

$SB_{MANT}$ : Sueldo bruto de mercado de la mano de obra de mantenimiento vehicular, por hora.

$FCSMO_{CALIFICADA}$ : factor de corrección social mano de obra calificada (corresponde a 0,98).

La Tabla N°20 muestra el Precio Social de la Mano de Obra en Mantenimiento Vehicular.

*Tabla N°20 Precio Social Mano de Obra Mantenimiento Vehículos*

Base	(\$/h-persona) dic 2020
<b>Mano de Obra Mantenimiento</b>	<b>5.169</b>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>23</sup> Valor publicado por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia.

### 3.4 Precio Social del Carbono<sup>24</sup>

El precio social del carbono permite incorporar dentro de las evaluaciones los beneficios o costos sociales por disminuir o aumentar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), es decir, para valorar cambios en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Este precio se podrá utilizar para cualquier tipo de proyectos en que exista una medida de reducción de emisiones de GEI<sup>25</sup> y que puedan ser expresados en equivalentes de carbono. La elaboración de este precio resulta relevante para la contribución de Chile en los esfuerzos mundiales para la reducción de los GEI causantes del calentamiento global.

Conforme a la revisión de conceptos y metodologías de cuantificación de costos sociales y precios sombra, se propone seguir el modelo de Reino Unido y estimar un precio de sombra de carbono a partir de la disposición de Chile de reducir, y por ende de pagar, emisiones de gases de efecto invernadero conforme a su meta de mitigación bajo el Acuerdo de París, denominada “contribución nacional determinada”.

De este modo, se propone estimar el precio sombra a partir del análisis de los costos marginales de abatimiento de dióxido de carbono que permiten cumplir con las metas de mitigación de Chile, en los niveles denominados “incondicionales” y “condicionadas a financiamiento” bajo el Acuerdo de París.

El análisis de los costos marginales de abatimiento para Chile deriva de la mejor información disponible a la fecha, que consiste en los resultados del proyecto MAPS Chile. Los resultados del análisis arrojan un precio social de carbono que corresponde a 32,5 [USD/ton CO<sub>2</sub>] con un rango de sensibilidad entre 20,2 [USD/ton CO<sub>2</sub>] y 43,2 [USD/ton CO<sub>2</sub>].

Considerando estos valores, se selecciona el valor central de 32,5 [USD/ton CO<sub>2</sub>], que corresponde a 0,823 UF/ton CO<sub>2</sub> para el año de calibración (30 de diciembre de 2016). A un valor de la Unidad de Fomento al 30-dic-2020 de 29.071,27 CLP/UF, se obtiene un valor de 23.926 Pesos por Tonelada de CO<sub>2</sub>.

*Tabla N°21 - Precio Social del Carbono*

Base	(\$/TON CO <sub>2</sub> )
<b>Precios Social del CO<sub>2</sub></b>	<b>\$ 23.926</b>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>24</sup> Para mayor detalle, ver documento “Estimación Precio Social del Carbono”, publicado en: <http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/evaluacion-iniciativas-de-inversion/evaluacion-ex-ante/metodologias-y-precios-sociales-nuevos-sectores/>

<sup>25</sup> Tales como residuos sólidos, hidroeléctricas, transporte, entre otros.