

Situación actual del tramo subterráneo de la Línea 12.

Resultados:

- Los estudios elaborados por ICA 2021 y AECOM 2022 señalan los problemas de filtraciones, canalización de aportes externos de agua y en el sistema de drenaje y bombeo.
 - ICA 2021 y AECOM 2022 identifican problemas de diseño y ejecución de obra en sistema de drenaje y bombeo: tuberías con problemas de pendientes y paso de agua, fallas de diseño en el sistema de bombeo y localización de cárcamos.
 - Problemas de drenaje y sistema de bombeo coinciden con los tramos con curvas de radios menores a 500m: Inter estaciones Zapata-Parque de los Venados, Parque de los Venados – Eje central y Mexicaltzingo – Atlalilco.
 - 2 de las 4 Salidas de Emergencia que generan aportes externos de agua se presentan en zonas de curvas.
 - Las filtraciones de mayor flujo se presentan en las zonas de Mixcoac – Insurgentes.

- AECOM 2022 concluye que el funcionamiento de la solución con relleno grava-arena para el sistema de vías dependía de 2 factores que no se cumplieron:
 - 1) Ejecución de obra (compactación y % de finos): Se cuenta con evidencia de etapa de obra sobre problemas de ejecución del relleno grava-arena
 - 2) Funcionamiento del sistema de drenaje: se concluye que existieron fallas de diseño y por ejecución desde etapa de obra.

- El relleno grava-arena presenta humedad, contaminación, pérdida de finos por paso de agua y compactación media visible, mismas que impactan en la elevada deflexión de las vías al paso del tren en diversos puntos; corroborado mediante pruebas con tren lastrado de PCI 2022, así como por calas y pruebas de placa de ICA 2021.

- El balasto presenta elevado porcentaje de finos, boleo y trituración, corroborado por pruebas de laboratorio realizadas en 2021 por ICA, IMT y STC.
 - Los estudios de ICA 2021 recomiendan el cambio de balasto en los tramos de curvas de radio reducido. También, concluye que existe desgaste de balasto en aparatos de cambio de vía, juntas y cajas inductivas.
 - Los tramos con mayores actividades de mantenimiento asociadas a pérdida de balasto, bateo y alineamiento de vía se presentan en los tramos de curvas de radio reducido.

- Los tramos de curvas de radio reducido presentaron valores de deflexión fuera de norma al paso de tren lastrado (Pruebas de módulo de vía)

Extractos de los estudios de ICA 2021 y AECOM 2022

AECOM, 2022 Informe de revisión de diseño de terracerías

Respecto al material especificado para esta capa de base o sub balasto, . AECOM considera que el éxito de una solución de estas características, que resulta técnicamente válida, está muy condicionado por las condiciones de puesta en obra; **lográndose la adecuada compactación**, y también de manera **relevante por las condiciones de mantenimiento**, que permitan administrar posibles filtraciones de aguas que pudieran **alterar estas capas de material de la plataforma de vía**. Si esto se garantizara, las soluciones de este tipo **resultan viables**.

Fuente: AECOM, 2022, Informe de revisión de diseño de Terracerías, pp32

Esta supervisión puede **avalar los resultados aportados en la primera estimación según la AREMA**, pero ha de recordarse que a **la fecha de redacción del proyecto**, el manual de AREMA vigente era el de 2008 y, conforme **al mismo**, el **espesor total demandado para las capas de balasto y subbalasto sería 10 cm superior al diseño**. Hay que tener en cuenta que este resultado es dependiente **del diámetro de las ruedas del convoy y espaciados de durmientes**; datos que requieren de confirmación complementaria.

Fuente: AECOM, 2022, Informe de revisión de diseño de Terracerías, pp27

AECOM, 2022 Informe de revisión de drenajes

Del análisis realizado se detectó que es necesario adicionar cárcamos y ubicarlos en los cadenamientos estratégico, así como rectificar las pendientes de algunos tramos del tubo dren existente, de tal manera que su funcionamiento sea óptima.


AECOM
23

Fuente: AECOM, 2022, Informe de revisión de drenaje, pp23

De la revisión el **94%** cumple mientras que **aproximadamente 11.56 kilómetros**, se observó que el **6%** de la tubería de la red de drenaje equivalente a **700 m** está sujeto a mejoras para alcanzar las velocidades permisibles de flujo y de arrastre de sólidos en tuberías con lo establecido en los Manuales de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la CONAGUA, por lo que se sugiere realizar un análisis detallado, integrando en conjunto todos los componentes y dispositivos que conforman el sistema de drenaje mediante un software especializado, con la finalidad de hacer un análisis más refinado y apegado con sus condiciones actuales de operación normales y extraordinarias. Los tramos en los que se recomienda realizar dicho análisis son los siguientes para el caso de revisión del dimensionamiento de la tubería:

Fuente: AECOM, 2022, Informe de revisión de drenaje, pp27

Tabla 25 Ubicación de cárcamo de acuerdo con la planta y perfil

Ubicación de cárcamos representados en planta y perfil	Incidencias a la cantidad de cárcamos ubicados en el drenaje del túnel.
18+797	Se sugiere adicionar cárcamos de bombeo en los siguientes cadenamientos, 18+449, 19+890, 22+992, 24+517, 25+559, 26+676.42 siendo estos los de mayor atención ya que el tubo dren descarga a gravedad.  Adicionalmente, es necesario evaluar la pendiente del dren, para que su funcionamiento cumpla con el objetivo de descargar al cárcamo más cercano.
19+420	
20+340	
21+670	
24+886	
25+300	
26+077.38	

Fuente: AECOM, 2022, Fuente: Informe de revisión de drenaje, pp24

ESTACIÓN/TRAMO	CABECERA DE ANDEN Y/O CADENAMIENTO	GASTO DE BOMBEO		Revisión al cumplimiento a la norma para la instalación de al menos 2 equipos de bombeos como se menciona el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.
		BOMBA 1	BOMBA 2	
Parque de los Venados	Oriente	15.37	Sin evidencia o información de su instalación	Se recomienda instalar un equipo de bombeo adicional, para cumplir integralmente con la carga dinámica y eficiencia para una correcta operación desde el cárcamo hasta la descarga de un colector, al sur de la Ciudad de México.

Fuente: AECOM, 2022, Informe de revisión de drenaje, pp26, ejemplo 1 de 8

A sí mismo, es necesario que en la planta y perfil producto de un levantamiento, se ubiquen todos los cárcamos de bombeo que se menciona en el concentrado de aportes vs capacidad de bombeo (ver anexo A.2), se recomienda que se incremente la cantidad de 6 cárcamos, ubicándolos en la parte más baja donde descarga a gravedad el tubo dren de 200 mm, e instalar

AECOM
28

al menos dos bombas en cada cárcamo, así como actualizar la cantidad de bombas faltantes en los cárcamos existentes.

Fuente: AECOM, 2022, Informe de revisión de drenaje, pp 28 y 29

ICA, 2021, Informe ejecutivo.

En algunos puntos a lo largo de la campaña de exploración se detectaron zonas con contenido anormal de arenas, polvo y lodo, que provienen de fuentes externas (como ejemplo se puede citar el ingreso de agua con lodo desde la superficie de la rejilla de ventilación de la lumbrera de centeno que se deposita en el foso y contamina el balasto).

Fuente: Estudios y pruebas ICA, 2021, Informe ejecutivo pp 6

En el anexo 3.1.1 "Reporte de Filtraciones" se presentan los datos obtenidos en dicho reconocimiento.

El resultado de este reconocimiento permitió identificar 790 puntos que corresponden a humedad y brillo sin escurrimiento y no requieren tratamiento alguno, 265 con flujo despreciable y 165 de mayor aporte de atención necesaria. En el Anexo 3.1.2 "Prioridad de atención a filtraciones", se enlistan las de mayor aporte y su prioridad sugerida de atención.

Fuente: Estudios y pruebas ICA, 2021, Informe ejecutivo pp 5

Cabe señalar que la zona donde los registros presentan acumulación de agua, anteriormente mencionadas, coincide con las tomas de materiales en que presentaron agua libre en las terracerías (3 de 45 muestreos) mediante pozos a cielo abierto.

Fuente: Estudios y pruebas ICA, 2021, Informe ejecutivo pp 8

Otro hallazgo detectado durante esta revisión señala una deficiencia en los equipos de bombeo (nueve casos) que deben atenderse y que más adelante de este escrito se detallará la acción correctiva.

Fuente: Estudios y pruebas ICA, 2021, Informe ejecutivo pp 8

Adicionalmente, durante los recorridos en el túnel se observaron puntos específicos de desgaste en la geometría del balasto (aristas redondeadas) en zonas localizadas en donde se encuentran las juntas aislantes de la vía, cajas inductivas y los aparatos de cambio de vía; que puede advertirse que es debido a que no se puede realizar una compactación o bateo totalmente efectivo por presencia de instalaciones de señalización o tracción. Para este hallazgo y al derivar de situaciones no relacionadas con la construcción del Tramo Subterráneo de la Línea 12.

Fuente: Estudios y pruebas ICA, 2021, Informe ejecutivo pp 14

Como parte de las acciones, se recomienda sustituir o cambiar la segunda capa de balasto (próxima a los durmientes que se determinará en el proyecto ejecutivo correspondiente) en las zonas de curvas de radio reducido para prevenir el deterioro del mismo, complementar los volúmenes de balasto faltante, así como realizar el bateo del balasto en las zonas donde se observa deficiencia.

Fuente: Estudios y pruebas ICA, 2021, Informe ejecutivo pp 17

- **Azolve en 60%** de los registros en el tramo subterráneo, constituido por balasto, basura, etc., muestra del mantenimiento inadecuado de tramo en cuestión.
- **3%**, registros con **daño estructural**, mismos que serán incorporados en un programa de intervención para su reparación correspondiente.
- **8.8%** con agua a distintos niveles.
- **El 30%** de los registros restantes inspeccionados, se encontraban secos y en buen estado.

Fuente: Estudios y pruebas ICA, 2021, Informe ejecutivo pp 7



Fuente: Limpieza de drenajes por material de obra, IUYET, 21 de octubre de 2021

Antecedentes documentales del túnel de la Línea 12

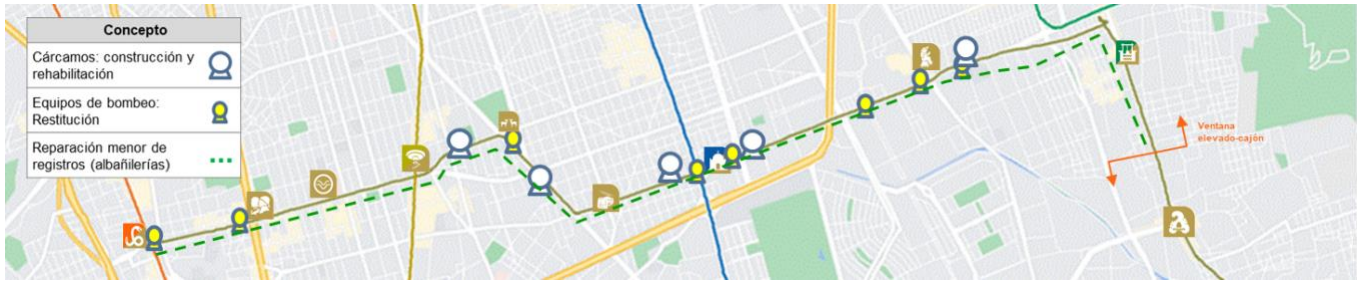
1. IMT, Levantamiento de estudios de alta tecnología en el tramo subterráneo (Atlalilco – Mixcoac) de la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo Metro (STCM) de la Ciudad de México.
2. CTA, Notas técnicas de recomendaciones.
 - Nota técnica 1. Revisión del documento PMDF-11-MS-612000-III-0311-05467-M-00
 - Nota técnica 2. Comentarios referentes al procedimiento de inyecciones propuesto por ICA, para solucionar las filtraciones que se tienen en el túnel dovelado
 - Nota técnica 3. Recomendaciones para la sustitución del material granular presente en el proyecto de ICA
 - Nota técnica 4. Revisión de la información presentada por la empresa ICA en las recomendaciones emitidas por el Comité técnico asesor para el refuerzo y rehabilitación de la Línea 12
 - Nota técnica 5. Aclaración de la configuración del soporte de vía en los cadenamientos 22+900 al 27+390
 - Nota técnica No. 6. Comentarios técnicos referentes al soporte de vía del tramo subterráneo de la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo Metro.
 - Especificación para construir la losa de concreto fluido que sustituye al material tipo base
 - Especificación para construir losa de sustentación que sustituirá al material granular (i. e. grava-arena) tipo base Tramo Eje Central – Parque de los venados
 - Especificación para el sustento de vía en las zonas con terracería (25+500 al 27+390)
 - Estudios geotécnicos específicos para el refuerzo y rehabilitación del tramo subterráneo de la Línea 12 del STC_Agosto_2021
3. ICA, 2021.
 - Informe ejecutivo
 - Sondeos
 - Larguillo tramo subterráneo
 - Revisión por sismo
 - Revisión estructural de salidas de emergencia
 - Filtraciones
 - Espesores de capa
 - Inspección de registros
 - Aforos de cárcamos
 - Falta de bombas
 - Pruebas de laboratorios: certificados, muestras y fotografías de ensayos, informes de pruebas y tabla resumen
 - Pruebas de placa
 - Perfil estratigráfico
4. AECOM, 2022: Diseño de terracerías, sistema de drenaje y auscultación de estado de vías.
5. CIID-PCI, 2021-2022, Módulo de vía
 - Estudio de módulo de vía (deflexión de la vía),
 - Especificación y proyecto de inyecciones para mejoramiento de vía
6. STC – Metro, bitácoras y reportes de mantenimiento del sistema de vías.
7. Oficio D.G. 10000 / 000093 / 2015, Anexo 2, “Relatoría de la Verificación de las Condiciones existentes en el Relleno de Terracería soporte de vía en el subterráneo a nivel túnel de la Línea 12 de Atlalilco a Insurgentes Sur”; y Anexo 7, “La problemática del sistema de drenaje en el tramo subterráneo en términos constructivos identificada por la DGOP. Algunos registros han quedado

- debajo del sistema de vías, para su desazolve modifica todo el sistema afectando la operación del servicio de transporte”.
8. Oficio 10000/0028/2014, Anexo, “Informe de afectaciones a la operación y seguridad de la Línea 12”.
 9. Escritura 122,635, 2014; Anexo, “Relatoría relativa a la verificación de las condiciones existentes en el relleno de soporte de vía en el Túnel de la Línea 12”.
 10. Reporte de actividades 16 de abril de 2012 (p, 12); “Cabe mencionar que todo el tramo subterráneo, sufre de filtraciones del nivel freático que no han sido atendidas, las cuales se incrementarán con el paso del tiempo [...] en su momento las filtraciones irán desgastando el relleno de tepetate y tezontle, ocasionando hundimientos de vía, así como taponeo del dren cubeta”.
 11. Anexo 3 del Informe Final del Proyecto “Inicio de Operación de la Línea 12 (Antes del 30 de octubre de 2012)” (p. 12), 29 de marzo de 2010; “Interestación Mexicaltzingo-Atlalilco: [...] en el avance del túnel que presenta obra civil, se observan filtraciones provenientes del nivel freático, en su momento le reporte que aún cuando se han sellando las filtraciones de esta interestación”.
 12. SYSTRA, 2015
 - Diagnóstico del túnel de la Línea 12
 - Análisis de comportamiento dinámico de la Línea 12

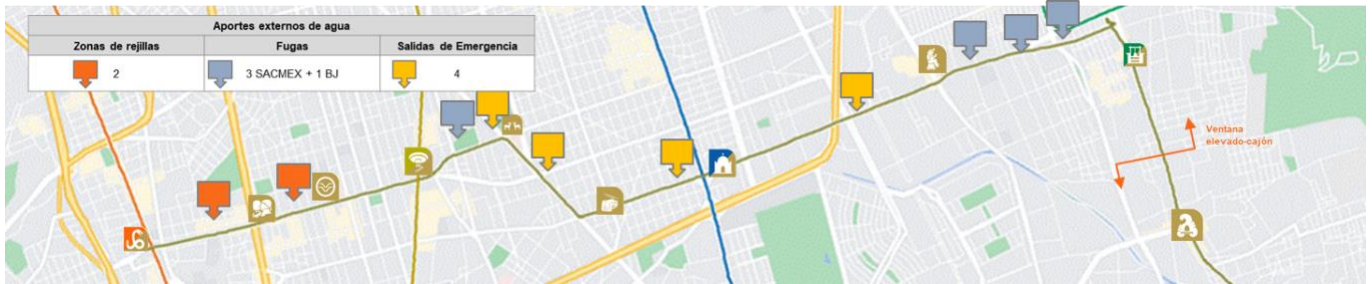
Sistema de drenaje

1. Insuficiencia de cárcamos (al menos 6) y necesidad de rectificar las pendientes de tubos dren (AECOM, 2022).
2. Incumplimiento de funcionamiento conforme a diseño de 700 m de drenaje (6%) (AECOM, 2022).
3. Existencia de tirante de agua en subbase y humedad en subbase y balasto tramos Atlalilco – Mexicaltzingo y Ermita - Eje Central (ICA, 2021).
4. Durante los trabajos de limpieza se evidenció material de obra que generó las obstrucciones del drenaje, el cual lo inhabilitó, sin posibilidad de ser susceptible a mantenimiento (Trabajos de desazolve de ICA, 2021)
5. Insuficiencia del diseño de los equipos de bombeo ante normativas, recomendación de colocar 2 bombas por cárcamo (AECOM, 2022).
6. Existencia de filtraciones a lo largo de todo el túnel, con 165 “puntos” de aporte mayor (ICA, 2021).
7. Aportes de agua por motivos externos se originan por problemas de diseño o filtraciones mayores del túnel: entradas de agua en salidas de emergencias (2), Rejillas de ventilación (2) y filtraciones (2 tramos) (ICA, 2021).
8. Contaminación de balasto y subbase por las entradas de material al túnel por los aportes externa de agua su necesidad de intervención (ICA, 2021).

Localización de cárcamos y equipos de bombeo faltantes



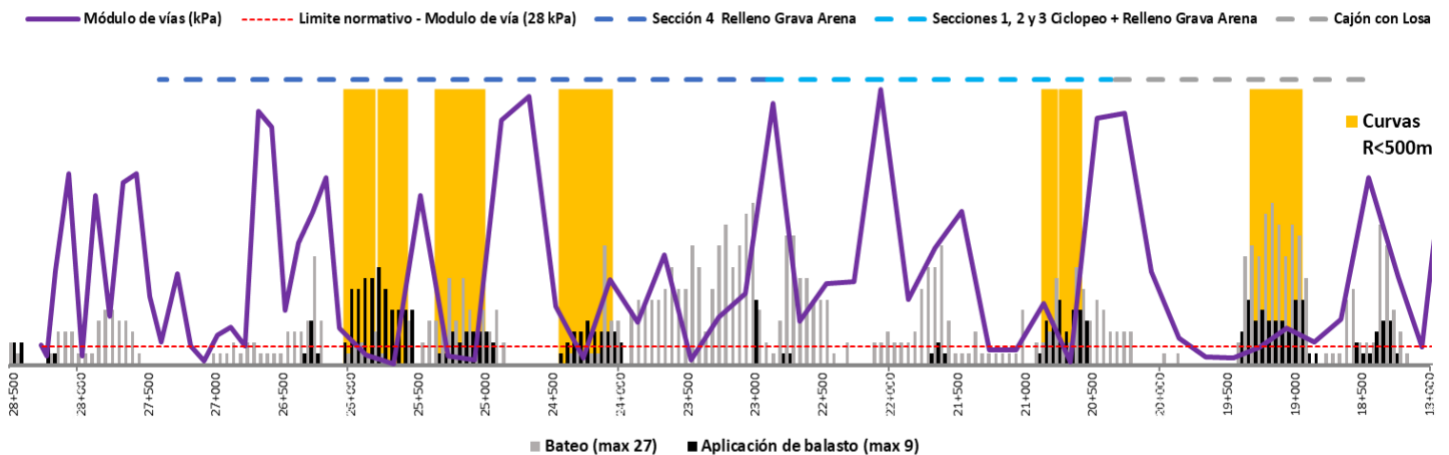
Localización de aportes externos de agua



Afectaciones del drenaje y filtraciones a la subbase y balasto

9. Dependencia de las características de puesta en obra del material granular, y de la presencia de agua asociada a las filtraciones que afectan estas capas de material AECOM 2022).
10. Necesidad de intervenir los tramos descritos con “contenido anormal de arenas” y “balasto contaminado” (ICA 2021):
 - a. Eje Central - Parque de los Venados), Tramo Mexicaltzingo – Atlalilco (incluyendo la lumbrera de Centeno), Zonas aledañas a salidas de emergencia: interestación Mexicaltzingo - Ermita, - Ermita - Eje Central y Eje Central - Parque de los Venados,
11. Existe humedad por arriba del nivel óptimo en las calas realizadas entre la Estación Ermita y Mixcoac Supervisión de calas ICA, 2021).
12. Los tramos con mayores actividades de mantenimiento asociadas a pérdida de balasto, bateo y alineamiento de vía se presentan en los tramos de curvas de radio reducido.
13. Los estudios de Modulo de vía (PCI, 2022) confirman niveles de rigidez de la vía por debajo de lo aceptado por la norma, en las zonas de curvas de radio reducido, provocando mayores deflexiones al paso de trenes cargados.

Frecuencia acumulada de mantenimiento (bateo y aplicación de balasto en tramo subterráneo de L12) y resultados de (Módulo de vía); sobreposición de curvas de radio reducido con aplicación de balasto



Subbase:

14. Incumplimiento cabal del espesor de diseño, así como la gran dependencia de las características de puesta en obra del material granular de la subbase (AECOM, 2022).
15. Relleno grava -arena “medianamente compactado”, contaminado y de profundidad variable (ICA, 2021).
16. A pesar de las inconsistencias¹ en la ejecución de las pruebas de placa elaboradas por ICA, los especialistas concluyen que estas pruebas permiten evidenciar la existencia de deformaciones plásticas de esta subbase, incluso para un solo ciclo de carga (ICA, 2021).

Balasto:

17. Tramos con profundidad variable de balasto
18. Mezcla de subbase con balasto en el tramo Eje Central – Parque de los Venados
19. Se presentan pruebas de laboratorio con material no conforme a norma²:
 - a. Muestras rechazadas de granulometría
 - i. ICA, Laboratorio LIEC: 29% - 4 de 14 (vs norma aplicada, PMDF)
 - ii. ICA, Laboratorio LANCO: 67% - 2 de 3 (vs norma aplicada, PMDF)
 - b. Muestras rechazadas de dureza -Prueba de Los Ángeles):
 - i. ICA, Laboratorio LIEC: 11%, 5 de 45,
 - ii. ICA, Laboratorio LANCO: 13%, 2 de 16
20. Adicionalmente, se realizaron pruebas adicionales con la metodología aplicable a la tipología C4; Laboratorio OESTEC: 75%de rechazo de granulometría (7 de 8).
21. Se reporta desgaste de balasto (boleado) en las zonas de curvas, juntas, cajas inductivas y aparatos cambios de vía.

¹ -En conjunto con los especialistas geotécnicos de Comité Técnico Asesor del Gobierno de la Ciudad de México para el Refuerzo y Rehabilitación de la Línea 12 se considera que la realización de la prueba de placa, así como la modelación presentada son insuficientes para evaluar la calidad y funcionalidad de la subbase:

- No es suficiente evaluar únicamente la resistencia al impacto, debe estudiarse deformación acumulada. Por lo tanto, 1 ciclo de carga no es suficiente, debe considerarse un número muy superior de ciclos (50, preliminarmente).
- Existen pruebas específicas para medir la deformación el sistema de vías: “Módulo e vías”.
- La normativa empleada es obsoleta (emitida en los 70’s y en desuso)
- Los laboratorios utilizados no cuentan con certificación para realización de Pruebas de Placa.
- El modelo empleado para el cálculo de la capacidad de carga es incorrecto: No puede asumirse un comportamiento lineal, el modelo es académico.
- La metodología empleada en la prueba es incorrecta, desde el montaje del marco del equipo para aplicación de la fuerza.
- Los datos reportados para diferentes pruebas son idénticos o se encuentran repetidos.
- El modelo constitutivo (elástico lineal) presentado no captura las deformaciones plásticas acumuladas asociadas y se constataron errores en los datos y metodología empleados.

² A pesar del posible cumplimiento de la norma PMDF, las características mecánicas, geométricas, así como el origen de los materiales no permite el cumplimiento de las normativas aplicables para trenes férreos.

a. Vías:

- i. El informe de “Auscultación de vías” concluye que la “geometría estática de la vía es aceptable para el tránsito de trenes”, en función de parámetros normativos de referencia (AECOM, 2022).
- ii. En ningún documento se presenta una revisión técnica de la interfaz rueda – riel que permita descartar o reconsiderar las recomendaciones y estudios realizadas por SYSTRA 2015.

Reporte de las calas realizadas en el proceso de revisión del estado del tramo subterráneo:

Fecha Muestreo	Cadenamiento	Ubicación	Realizada por	Inter-estación	Profundidad para la prueba Volumétrica (cm)	Peso Sub-balasto (Kg)	Profundidad Balasto (cm)	Humedad de la muestra de Sub-balasto	Manta Elastomérica	Peso Arena Silica (Kg)	Profundidad Sub-balasto (cm)	Resultado Impactómetro	Presencia de Agua	Observaciones
1	30/08/2021	17+820	Central	LIECACA	Culhuacan - Atlailco	N/A	73	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	No	Presencia de Loza
2	30/08/2021	18+050	Izquierdo	LIECACA	Culhuacan - Atlailco	N/A	77	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	No	Presencia de Loza
3	30/08/2021	18+300	Central	LIECACA	Culhuacan - Atlailco	N/A	52	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	No	Presencia de Loza
4	30/08/2021	18+550	Derecho	TSO	Culhuacan - Atlailco	N/A	56	Saturada	N/A	N/A	N/A	N/A	SI	Presencia de Loza y presencia de agua
5	30/08/2021	18+800	Central	TSO	Culhuacan - Atlailco	N/A	50	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	No	Presencia de Loza
6	30/08/2021	19+050	Izquierdo	TSO	Culhuacan - Atlailco	N/A	64	Saturada	N/A	N/A	N/A	N/A	SI	Presencia de Loza y presencia de agua
7	30/08/2021	19+300	Central	TSO	Culhuacan - Atlailco	N/A	58	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	No	Presencia de Loza
8	30/08/2021	19+550	Derecho	LIECACA	Atlailco - Mexicaltzingo	N/A	66	Saturada	N/A	N/A	N/A	N/A	SI	Presencia de Loza y presencia de agua
9	31/08/2021	19+800	Central	TSO	Atlailco - Mexicaltzingo	N/A	54	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	No	Presencia de Loza
10	31/08/2021	20+050	Izquierdo	TSO	Atlailco - Mexicaltzingo	N/A	57	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	No	Presencia de Loza
11	31/08/2021	20+300	Central	TSO	Atlailco - Mexicaltzingo	N/A	47	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	No	Presencia de Loza
12	31/08/2021	20+550	Derecho	LIECACA	Atlailco - Mexicaltzingo	N/A	60	Saturada	No	N/A	N/A	N/A	SI	Presencia de agua, sin pruebas al sub-balasto
13	31/08/2021	20+800	Central	LIECACA	Atlailco - Mexicaltzingo	N/A	70	Saturada	No	N/A	41	N/A	SI	Presencia de agua, sin pruebas al sub-balasto
14	31/08/2021	21+050	Izquierdo	LIECACA	Atlailco - Mexicaltzingo	20	5.775	63	Baja	No	4.2	40	N/A	No se realizó la prueba del Impactómetro
15	01/09/2021	21+300	Central	TSO	Mexicaltzingo - Ermita	21	9.490	57	Baja	SI	10.2	44	6	No
16	01/09/2021	21+550	Derecho	TSO	Mexicaltzingo - Ermita	21	6.330	64	Baja	SI	5.0	N/A	6	No
17	01/09/2021	21+800	Central	TSO	Mexicaltzingo - Ermita	19	4.670	62	Baja	No	3.5	42	6	No
18	01/09/2021	22+050	Izquierdo	TSO	Mexicaltzingo - Ermita	20	3.930	71	Baja	No	2.9	N/A	8	No
19	01/09/2021	22+300	Central	LIECACA	Mexicaltzingo - Ermita	20	6.425	69	Baja	No	5.2	38	6	No
20	01/09/2021	22+550	Derecho	LIECACA	Mexicaltzingo - Ermita	15	3.235	61	Baja	No	2.3	N/A	15	No
21	02/09/2021	22+800	Central	TSO	Mexicaltzingo - Ermita	20	3.525	66	Baja	No	2.6	58	15	No
22	02/09/2021	23+050	Izquierdo	TSO	Ermita - Eje Central	20	2.930	68	Saturada	No	2.4	N/A	8	SI
23	02/09/2021	23+300	Central	TSO	Ermita - Eje Central	19	3.565	63	Saturada	SI	2.5	38	13	SI
24	02/09/2021	23+550	Derecho	TSO	Ermita - Eje Central	21	6.645	62	Baja	No	5.9	N/A	5	No
25	02/09/2021	23+800	Central	LIECACA	Ermita - Eje Central	20	3.885	71	Baja	No	3.0	61	9	No
26	02/09/2021	24+050	Izquierdo	LIECACA	Eje Central - Pque de los Venados	15	6.235	95	Baja	No	5.2	N/A	5	No
27	03/09/2021	24+300	Central	TSO	Eje Central - Pque de los Venados	19	6.395	79	Muy Baja	SI	5.4	46	4	No
28	03/09/2021	24+550	Derecho	TSO	Eje Central - Pque de los Venados	19	4.010	66	Baja	No	3.2	N/A	14	No
29	03/09/2021	24+800	Central	TSO	Eje Central - Pque de los Venados	20	4.575	65	Muy Baja	No	3.8	53	5	No
30	03/09/2021	25+050	Izquierdo	LIECACA	Eje Central - Pque de los Venados	15	2.060	56	Saturada	No	1.5	N/A	15	SI
31	03/09/2021	25+295	Central	LIECACA	Eje Central - Pque de los Venados	N/A	N/A	66	N/A	No	N/A	N/A	N/A	No
32	27/08/2021	25+550	Derecho	LIECACA	Pque de los Venados - Zapata				Optima					No
33	27/08/2021	25+800	Central	LIECACA	Pque de los Venados - Zapata				Optima					No
34	03/09/2021	26+050	Izquierdo	TSO	Pque de los Venados - Zapata	19	4.440	46	Optima	No	3.5	78	Error	No
35	06/09/2021	26+300	Central	TSO	Zapata - Hosp 20 de nov	20	4.310	61.5	Baja	SI	3.7	122	4	No
36	06/09/2021	26+550	Derecho	TSO	Hosp 20 de nov - Insurgentes Sur	20	3.300	67	Baja	No	2.5	N/A	15	No
37	06/09/2021	26+800	Central	TSO	Hosp 20 de nov - Insurgentes Sur	19	5.260	65	Muy Baja	No	5.3	141	Error	No
38	06/09/2021	27+050	Izquierdo	TSO	Hosp 20 de nov - Insurgentes Sur	19	3.450	53	Muy Baja	No	2.8	N/A	15	No
39	06/09/2021	27+300	Central	LIECACA	Hosp 20 de nov - Insurgentes Sur	20	5.605	63	Muy Baja	No	5.8	No realizada	Error	No
40	06/09/2021	27+550	Derecho	LIECACA	Insurgentes Sur - Mixcoac	N/A	N/A	75	N/A	No	N/A	N/A	N/A	No
41	07/09/2021	27+800	Central	LIECACA	Insurgentes Sur - Mixcoac	N/A	N/A	67	N/A	SI	N/A	N/A	N/A	No
42	07/09/2021	28+050	Izquierdo	LIECACA	Insurgentes Sur - Mixcoac	N/A	N/A	65	N/A	SI	N/A	N/A	N/A	SI
43	07/09/2021	28+295	Central	LIECACA	Insurgentes Sur - Mixcoac	18	2.755	70	Optima	No	2.1	16	27	No
44	07/09/2021	28+550	sencia de trenes en ambas vías.											
45	07/09/2021	28+700	Central	TSO	Mixcoac - Tapón	N/A	N/A	59	N/A	SI	N/A	N/A	N/A	No
46	07/09/2021	29+500	Izquierdo	TSO	Mixcoac - Tapón	N/A	N/A	67	N/A	No	N/A	N/A	N/A	No

Fuente: Archivo STC Metro, septiembre 2021, Datos registrados en campo en conjunto con ICA y supervisión (valores en rojo = fuera de tolerancias con base en datos registrados en campo)

Observaciones de las calas:

- Profundidad variable con valores superiores a límites normativos en zona de curvas y vado de la interestación con la mayor diferencia en Zona Eje Central - Parque de los Venados.
- Existencia de humedad (baja = Amarilla; Saturada = roja) en la mayoría del tramo.
- Ausencia de manta elastomérica en la mayoría del tramo (rojo)
- Profundidad variable de subbase hasta mayor a 1 metro (degradación en rojo)

**35% de las secciones de balasto fuera de norma
71% de calas con humedad**

Consolidado de pruebas de granulometría realizadas por IMT, LIEC-ICA, LANCO-ICA, y OESTEC-TSO en 2021 y cumplimiento frente a norma C4

Laboratorio, celda y PK		Norma C4		IMT	LIEC Celda5	LIEC Celda6	LIEC Celda7	OESTEC	OESTEC	IMT	OESTEC	LIEC Celda12	LIEC Celda13	OESTEC	LIEC Celda14	OESTEC	IMT	LIEC Celda26	LIEC Celda27	LIEC Celda28	IMT	LANCO Celda29	LIEC Celda29	OESTEC	LIEC Celda30	LIEC Celda32	LANCO Celda33	LIEC Celda33	LANCO Celda35	LIEC Celda35	OESTEC	IMT	OESTEC		
in	mm	Límite superior	Límite inferior	18,490	18,800	19,050	19,300	19,800	20,300	20,345	20,545	20,550	20,800	20,805	21,050	23,550	23,600	24,050	24,300	24,550	24,740	24,795	24,800	24,805	25,050	25,500	25,745	25,750	26,295	26,300	26,305	26,320	27,500		
3.1496063	80	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
250	64	100%	95%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
2.00	51	99%	70%	83%	100%	97%	100%	95%	100%	93%	96%	86%	100%	92%	94%	94%	100%	91%	100%	95%	95%	87%	97%	90%	100%	100%	94%	100%	95%	100%	100%	100%	100%	100%	
1.50	38	75%	25%	54%	42%	60%	64%	61%	55%	86%	56%	58%	56%	64%	42%	62%	63%	43%	52%	46%	59%	56%	51%	54%	72%	52%	58%	50%	58%	55%	66%	60%	61%		
1.24	31.5	25%	1%					32%	29%		31%			27%		24%																26%	19%		
1.00	25	10%	0%	1%	5%	9%	14%			96%		9%	13%		4%		7%	6%	10%	7%	32%	12%	10%		16%	10%	10%	0%	7%	15%		13%			
0.88	22	9%																																7%	
0.75	19			0%																														3%	
0.63	16				0%	0%	0%					0%	0%		0%			0%	0%	0%		3%	0%		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%				
0.50	13			0%						0%							1%							13%										1%	
0.38	10			0%																														1%	
0.25	6			0%																														1%	
0.20	5	0%	0%	0%																														1%	
Cumplimiento de norma C4 (1 = cumple; 0 = no cumple)																																			
3.1496063	80			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
250	64			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2.00	51			1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1
1.50	38			1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.24	31.5							0	0		0			0		1								0										1	
1.00	25			1	1	1	0			0		1	0		1		1	1	1	1	0	0	1		0	1	0	1	1	0				0	
0.88	22							0	0		0			0		1								1										0	0
0.75	19																																		
0.63	16																																		
0.50	13																																		
0.38	10																																		
0.25	6																																		
0.20	5			0						0														0											0
Cumplimiento de norma C4 (1 = cumple; 0 = no cumple)				0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
% criterios que cumplen				0.83	0.80	1.00	0.60	0.67	0.50	0.67	0.67	1.00	0.60	0.67	1.00	0.83	0.67	0.67	1.00	0.80	1.00	0.67	0.80	1.00	0.67	0.60	0.80	0.80	1.00	0.80	0.50	0.67	0.83		
Rango de volumen entre 2 y 1.25 in								1	1		1			1		1								1							1			1	
% de material por arriba de permitido 1 o 88 in (max=46%)				0%	0%	0%	4%	6%	11%	46%	9%	0%	3%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	22%	2%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	5%	5%	3%	2%		

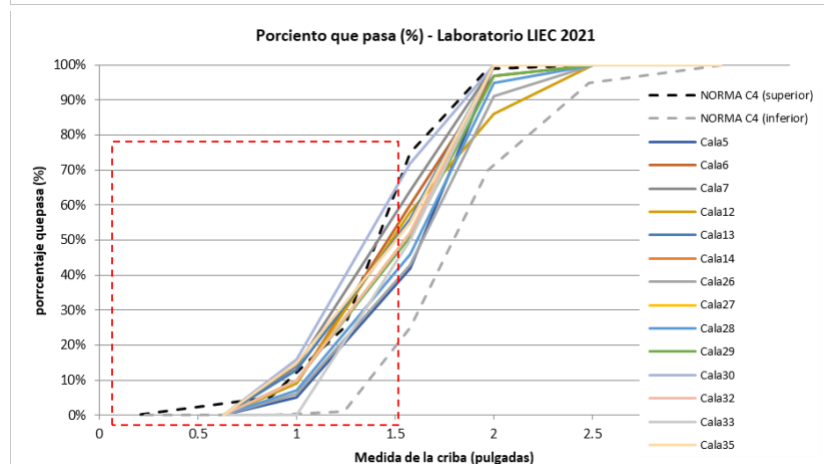
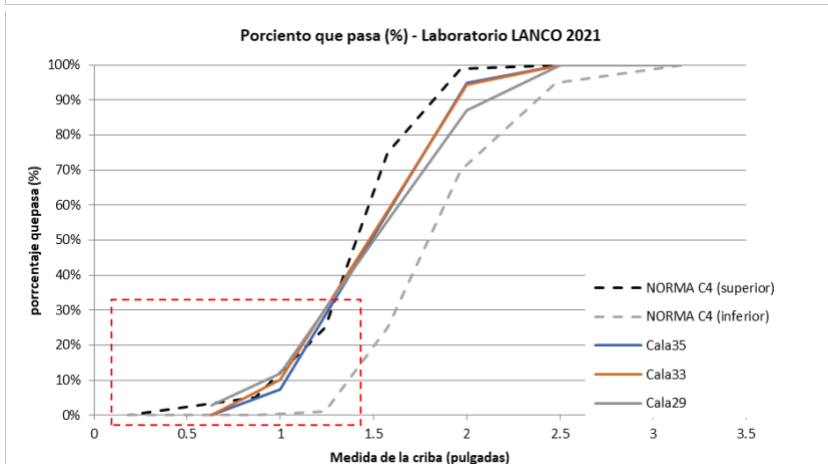
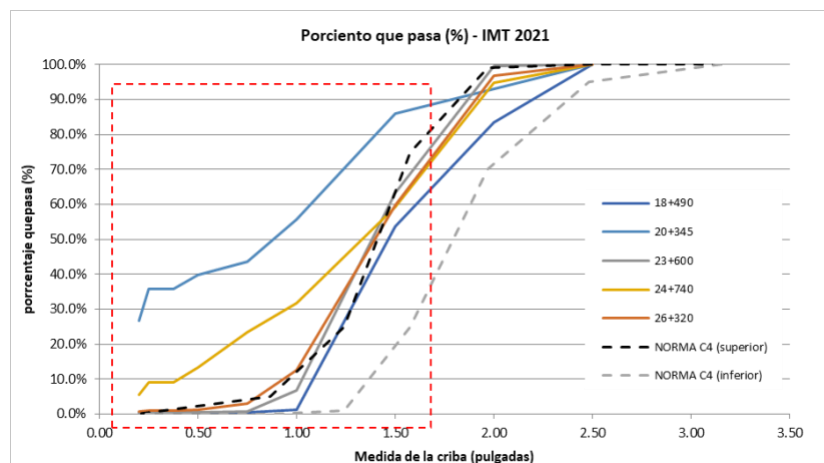
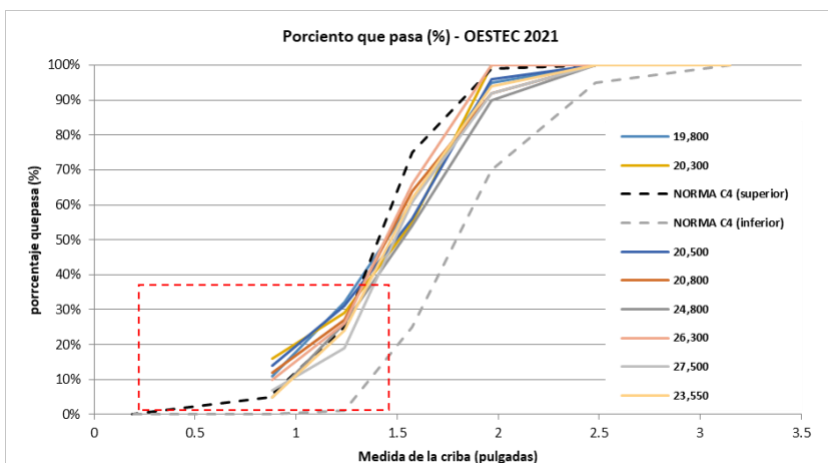
Fuente: Elaboración STC, (valores en rojo = fuera de tolerancias con base datos de laboratorio)

Observaciones de las calas:

- De las 30 pruebas documentas (elaboradas por ICA, IMT o METRO) 22/30 (74%) incumplieron la norma por alguno de los criterios comparando únicamente las pruebas de granulometría o desgaste de Los Ángeles disponibles.

(74%) de las muestras incumplen en pruebas de granulometría o desgaste

Comparación de pruebas de granulometría vs Normativa C4 y zonas fuera del cumplimiento de la norma.



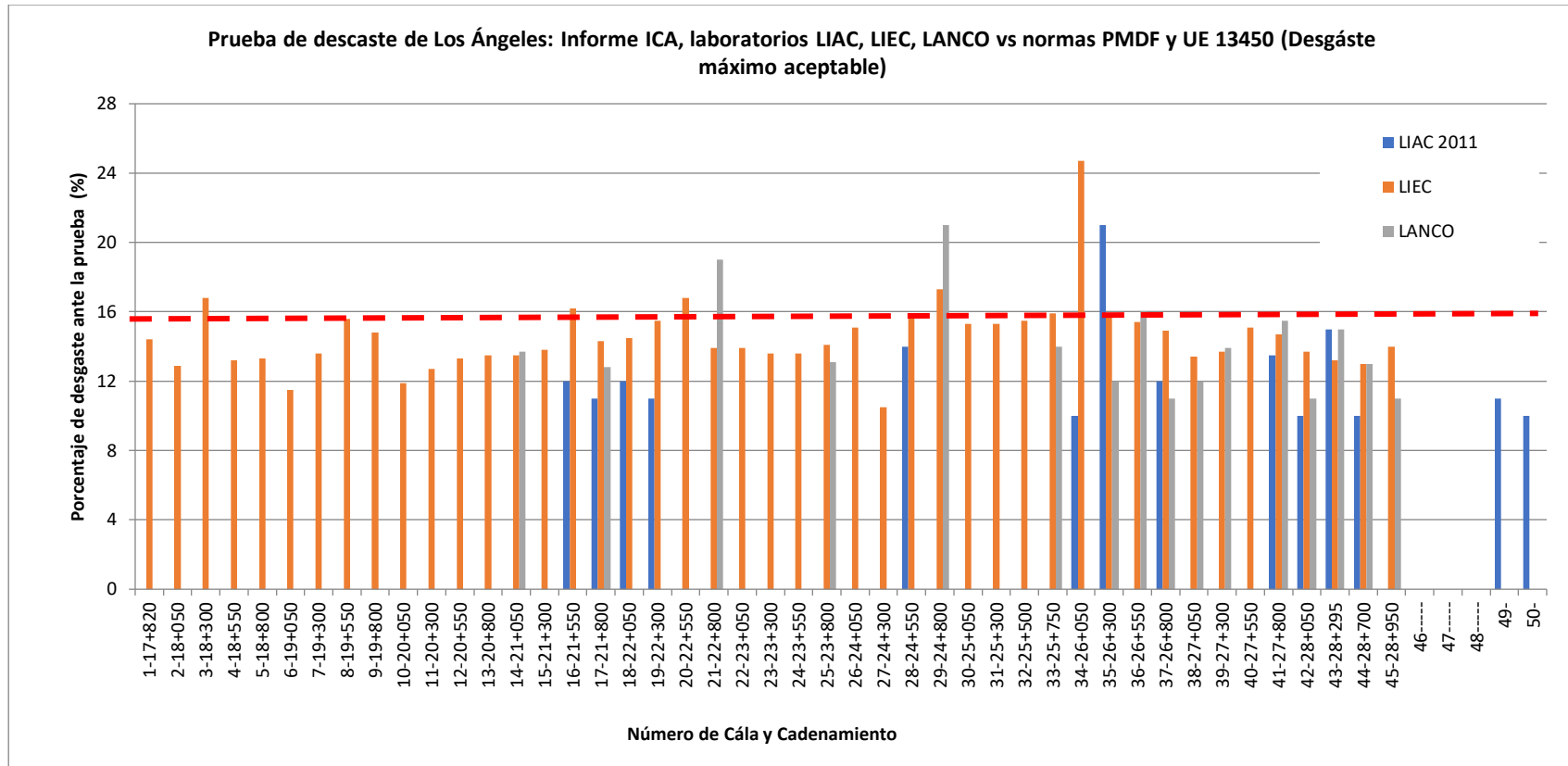
Fuente: Elaboración STC, noviembre 2021

Observaciones de las calas:

- Las envoltentes punteadas en color negro y gris, muestran el rango granulométrico aceptado.
- Áreas punteadas rojas señalan muestra por arriba del límite permitido para partículas finas o menores a 1 pulgada (curvas punteadas en negro).
- Las pruebas realizadas por el IMT específicamente en las curvas de Mexicalzingo y Eje Central muestran la mayor proporción de finos.

Los 4 laboratorios utilizados revelan finos por arriba de los límites normativos

Consolidado de pruebas de desgaste de Los Ángeles realizadas por IMT, LIEC-ICA, LANCO-ICA.



Fuente: Elaboración STC, noviembre 2021 (tolerancia máxima 16%)

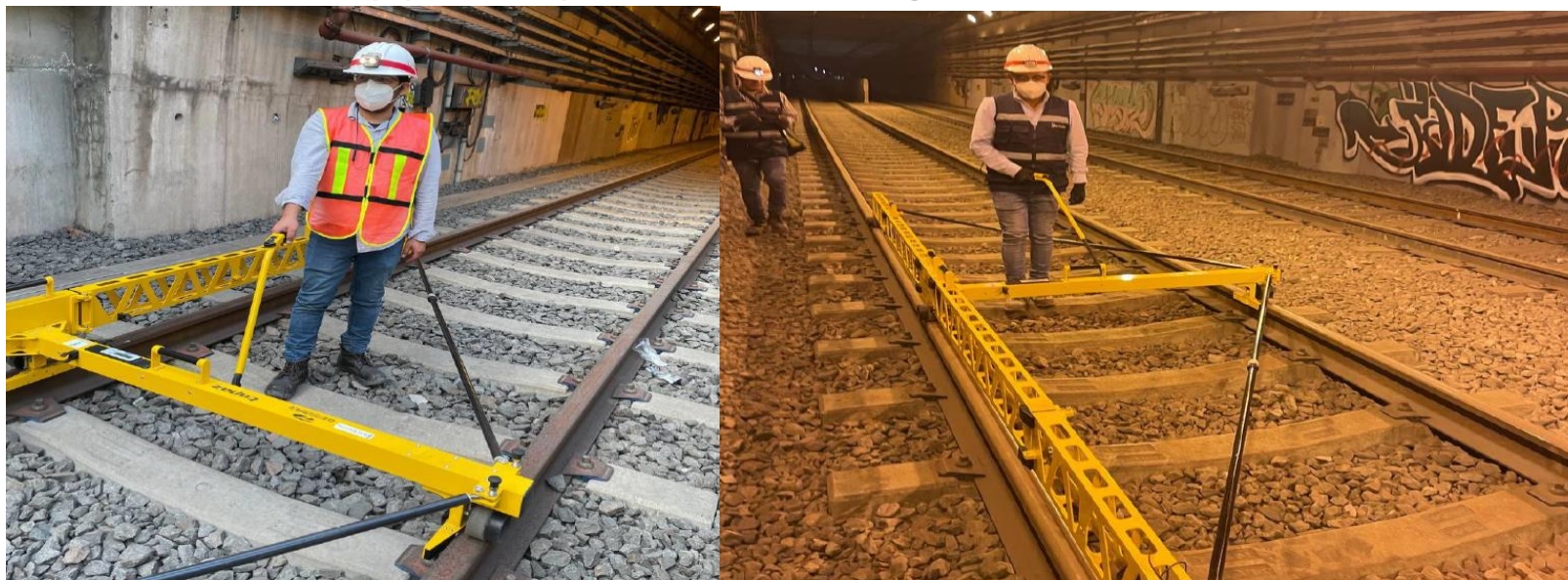
Observaciones de las calas:

- Cuando se analizan las pruebas de 2011 presentadas por ICA, se observan valores de la prueba de Desgaste de los Ángeles por arriba de la tolerancia máxima normativa.

11% de las muestras no pasaron el límite establecido de Desgaste de los Ángeles

Equipos de medición de trazo y perfil geométrico de vías

Equipo TOPAZ, portable, de medición de geometría de vía AECOM



Equipo de medición milimétrica de geometría de vía del METRO



Pruebas realizadas a la subbase

Prueba de placa, ICA, 2021



Prueba de módulo de vía, PCI, 2021



Sobre los documentos entregados:

22. Adicionalmente, los documentos presentados por ICA no corresponden a dictámenes o estudios técnicos con validez suficiente para los fines requeridos:

- a. El documento “Informe ejecutivo”, entregado por ICA en 2021, así como sus anexos, no cuentan con referencias de elaboración ni se encuentran suscritos por empresa o especialistas técnicos que los respalden. La evidencia de muestreos no presenta referencias ni controles de ejecución, y se basa en fotografías repetidas³, de calidad insuficiente o indistinguibles en la totalidad de los reportes de muestreo, de calas y de los ensayos de balasto.
- b. Los informes realizados por la empresa AECOM, en todo momento dejan claro que ni éstos “... **ni ningún otro integrante de los estudios de la asesoría constituyen un dictamen técnico, ni una certificación, ni una validación de los diseños realizados por ICA para el proyecto, ni tampoco constituyen una validación sobre los métodos de construcción o sobre la ejecución de la construcción**”.
 - i. La documentación presentada no toma en consideración la información entregada a la empresa ICA, las condiciones reales de operación y mantenimiento presentadas en el tramo subterráneo de la Línea 12, ni los estudios de SYSTRA 2014 y 2015.

³ La totalidad de las calas y muestras reportadas presenta fotografías repetidas o sin calidad suficiente para apreciar detalles (aun en los archivos digitales).