



Ciudad de México a 10 de diciembre de 2021

**Asunto:** Comentarios al Infome de “levantamiento, inspección, trabajos de campo y laboratorio de la Línea 12 del metro en el tramo Subterráneo” elaborado por la empresa ICA, octubre 2021

**Referencia:** Rehabilitación y Refuerzo de L12

INGENIERO HUGO FLORES SÁNCHEZ  
Dirección General de Obras para el Transporte  
P R E S E N T E

### **NOTA INFORMATIVA**

Con fecha de 9 de noviembre de 2021 se recibió a través de la Dirección General de Obras para el Transporte de la Secretaría de Obras y Servicios de la Ciudad de México, el “Informe Ejecutivo: Levantamiento, inspección, trabajos de campo y laboratorio de la Línea 12 del Metro en el tramo subterráneo”, elaborado por la empresa ICA. Esta información se compone de un informe ejecutivo y 6 conjuntos de anexos, compuestos por 20 carpetas con 74 archivos (440 MB)

El infome documenta y reconoce una gran cantidad fallas de funcionamiento y diseño en los siguientes componentes la tramo subterráneo de la Línea 12:

- Existencia de filtraciones con gran aporte de agua al túnel
- Drenaje y sistema de carcamos deficiente que no permite canalizar y drenar correctamente los aportes de agua externos y por filtraciones del sistema de vías y subbalasto.
- Subbase con tirante de agua en los tramo Mexicaltzingo – Atlalilco y Parque de los Venados – Zaapta (“vados”).
- Balasto y relleno grava arena sujeto a deterioro, causado por las filtraciones y aportes de agua y funcionamiento inadecuado del sistema de drenaje durante los 9 años de operación de la línea, resultando en “contenido anormal de finos”, “relleno medianamente compactado” y “contaminación del relleno grava arena y balasto”
- Balasto “desgastado (con elevada cantidad de finos y material boleado y contaminado), principalmente en zona de curvas de radios menores” (7 curvas de radios menores a 500m) y juntas y aparatos cambio de vía.
- Balasto cercano al fin de su vida útil (10 años)

Este informe presenta las siguientes conclusiones en cada uno de los elementos descritos anteriormente, mismos que serán abordado de forma más amplia en los siguientes capítulos de esta anota técnica:

Página 1



**A. Comportamiento estructural del túnel:**

- El informe considera que no hay evidencia sobre riesgos estructurales en el túnel.

**B. Filtraciones:**

- Se documentan filtraciones con un levantamiento preliminar amplio, mismo que debe ser cotejado con los levantamientos del STC Metro
- Se presenta una clasificación de incidencia y afectación de las filtraciones, destacando el tramo “Pueblo de Culhuacán”.- Parque de los Venados (7.4 y 70% del túnel) y tramo Insurgentes Sur – Mixcoac (1 km, 9% del túnel).
- Se requiere presentar los detalles de los criterios de atención utilizados (nivel A, B y C), propuestos, pues no son suficientes para evaluar la funcionalidad de la solución propuesta.

**C. Drenaje:**

- Se reconoce la necesidad de intervenir los tramos descritos con “contenido anormal de arenas” y “balasto contaminado”, siendo estos de acuerdo con el reporte:
  - Eje Central - Parque de los Venados (cala 31) , Tramo Mexicaltzingo – Atlalilco (incluyendo la lumbrera de Centeno), Zonas aledañas a salidas de emergencia: localizadas en las interestación Mexicaltzingo - Ermita, - Ermita - Eje Central y Eje Central - Parque de los Venados,
- Se reporta la siguiente problemática en el funcionamiento de drenaje y el estado de la subbase de la vía y del balasto, que denotan las fallas de funcionamiento del sistema de drenaje desde el inicio de operación de la Línea 12.
  - Tirante de agua en tramos Atlalilco – Mexicaltzingo y Ermita - Eje Central
  - Mezcla de subbase con balasto en el tramo Eje Central – Parque de los Venados
  - “Relleno medianamente compacto” en el tramo Parque de los Venados - 20 de Noviembre.
  - Humedad por arriba del nivel óptimo en las calas realizadas entre la Estación Ermita y Mixcoac.
  - Tramos con profundidad variable de balasto

**D. Subbase:**

- Se puede concluir que existen deformaciones plásticas importantes (incluso para un solo ciclo de carga).
- 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 cuenta 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 empelados.
- Las conclusiones y recomendaciones, particularmente para la sección con relleno Grava-Arena, no consideran las problemáticas presentadas en la subbase, de acuerdo con las calas realizadas y el reporte de calas entregado.

#### **E. Subbase:**

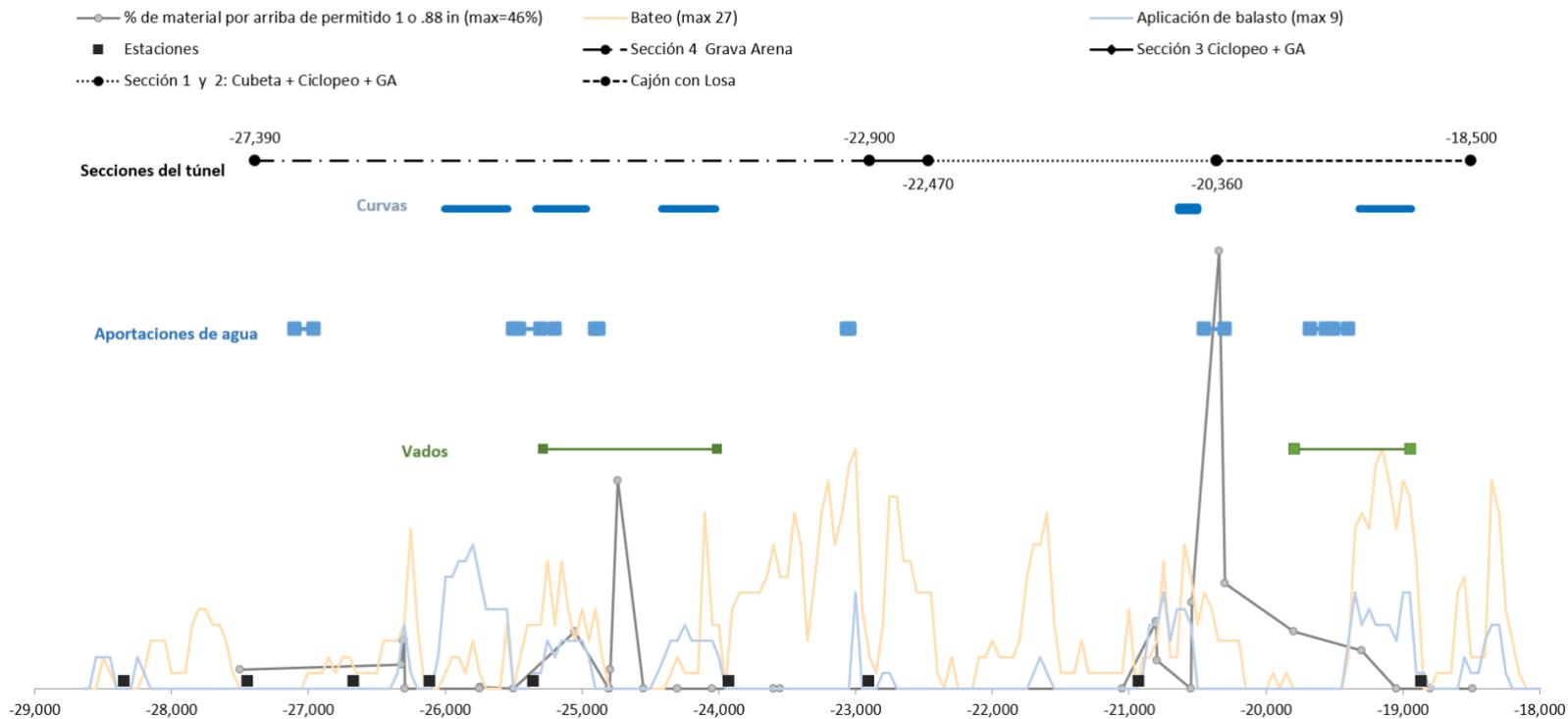
- El informe concluye que se cuenta con balasto cercano al fin de su vida útil, desgastado y boleado en zonas de curvas y esfuerzo mecánico de la vía (ADVs, juntas, etc..)
- Se reporta un total de 45 calas sin embargo solo se entrego resultados de 13 muestras para granulometría.
- Granulometría: las muestras incumplen frente a la Norma C4 en los criterios que pueden ser evaluados, e incluso frente a la norma original de PMDF.
  - Debido a que los parámetros usados en las norma difieren de la especificación C4, no es posible evaluar todos los criterios de la norma.
- Dureza: el 11% (LIEC) y 13% (LIEC) de la muestra incumplen los criterios de dureza (16% de acuerdo con norma PMDF o C4)
- La totalidad de las calas y muestras reportadas presenta fotografías reportadas o sin calidad suficiente para apreciar detalles (aun en los archivos digitales).

Una vez procesada la información en manos de las diferentes áreas del STC Metro, así como la provista por la empresa, se presenta a continuación un resumen de las diferentes problemáticas y características del tramo subterráneo, en donde se aprecia la convergencia de la problemática de balasto con puntos de alta presencia de agua, curvas de radios menores a 500m y en el tramo del túnel en donde no se cuenta con una subbase firme para la vía (Sección 4 de relleno grava—arena)



Correspondencia de los trabajos de mantenimiento por bateo y aplicación de balasto, exceso de finos medidos por pruebas de granulometría, curvas de R<500m, vados, filtraciones de agua de gran volumen y sección sin subbase estable en el tramo subterráneo (Sección 4).

**Tramo subterráneo, sobreposición: Tipos de sub base + Vados + Zonas de aportes de agua + Curvas + Aplicación y bateo de balasto**



Fuente: Elaboración STC



## **1. CONDICIONES ESTRUCTURALES DEL TÚNEL (CAPÍTULO 2)**

1. En función de la evidencia colectada por el STC, sobre el comportamiento del túnel de la Línea 12 durante los 9 años de operación y los análisis presentados por la empresa ICA, se considera que no hay evidencia sobre riesgos estructurales en el túnel.
2. Se solicita entregar la evidencia fotográfica en archivos de resolución suficiente para futuras verificaciones.
  - a. El anexo corresponde a una revisión de los cálculos y diseños originales del túnel en los puntos en donde existen salidas de emergencia, sin la validación de las condiciones reales en sitio.

## **2. REVISIÓN INTEGRAL DEL SISTEMA DE DRENAJE Y HALLAZGOS (CAPÍTULOS 3 Y 4)**

3. Este capítulo documenta la existencia de filtraciones y aportes de agua externos al túnel que concurren con fallas e insuficiencias en el sistema de drenaje y bombeo.
  - a. Para el planteamiento de las soluciones presentadas por la empresa, debe considerarse que la problemática documentada de drenaje y filtraciones ha permanecido durante los 9 años de operación de Línea 12, así como las evidentes afectaciones a la subbase de la vía, el balasto, fijaciones e instalaciones del tramos subterráneo.
4. La clasificación presentada sobre las condiciones en las que se presentan los tramos interestación del tramo subterráneo se observa lo siguiente:
  - a. Que existe una condición de mayor incidencia y afectación de las filtraciones en el tramo “Pueblo de Culhuacán”.- Parque de los Venados, representando en total aproximadamente de 7.4 kms del tramo subterráneo (70%)
  - b. Se considera incorrecta la clasificación de tramo Insurgentes Sur – Mixcoac como “Menor incidencia de filtraciones” de acuerdo con los registros de filtraciones recabados por el STC Metro. En este tramo se han identificado 408 metros lineales de balasto de vía simple afectados por filtraciones (20% del total).

Este tramo es señalado con aportes extraordinarios de agua en la sección 4.1 del informe,

- i. “Filtraciones en el tramo 28+067 al 28+098 (V1 y V2) del intertramo Insurgentes Sur- Mixcoac
  - ii. Filtraciones en el tramo 28+136 al 28+158 (V1) del intertramo Insurgentes Sur- Mixcoac”
5. Se considera que el levantamiento de filtraciones realizado por la empresa debe considerar el levantamiento histórico colectado por el STC Metro, ya que en un algunas pueden no haber aparecido durante el recorrido realizado por la empresa.



6. La clasificación de filtraciones bajo los criterios de “no requieren atención”, “flujo despreciable” y de “atención necesaria” es insuficiente en tanto que:
  - a. El listado no ha sido conciliado con el mapeo de filtraciones del STC Metro.
  - b. El mayor volumen fue clasificado dentro de la categoría que “no requiere atención” siendo necesaria la validación de la clasificación de estos 790 puntos, además de los no considerados por la empresa, para garantizar que no existan afectaciones a futuro.
  - c. Los criterios de atención prioritaria, nivel A, B y C, no son suficientes para evaluar la funcionalidad de la solución propuesta.
  - d. No se cuenta con detalles de la solución propuesta para sellado y canalización de filtraciones.
  
7. El STC Metro concuerda en la existencia de aportes externos de agua. Sin embargo, se considera que el estado generalizado de humedad y escurrimiento en soportaría e instalaciones se asocian también a la presencia de un alto volumen de filtraciones en los tramos descritos en el punto 4 (más del 70% del túnel).

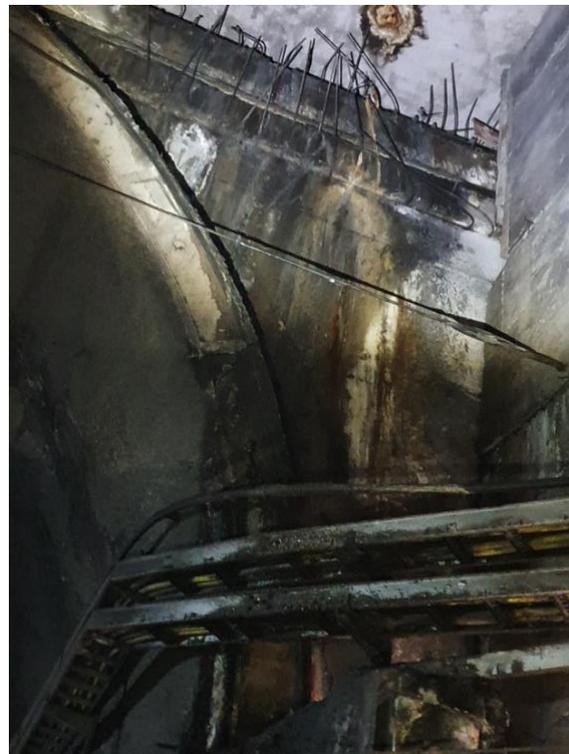
**Ejemplo: Fisura de 7 mm en hongo del riel por filtración de agua en tramo, vía 2 riel "C" p.k. 25+482 y fisura de 9.5 mm de profundidad en hongo de riel por filtración de agua en vía 1 fila "A" p.k. 25+466 (Parque de los Venados- Zapata).XX**





Fuente: Archivo STC Metro, 12 y 13 noviembre de 2020

**Ejemplo: Filtración de agua a lo largo del tramo en la unión de las dovelas**





Fuente: Archivo STC Metro y CTRR, 2021

8. Mediante la realización de las 45 calas para medición de espesores de capa, el informe verifica la existencia de contenido anormal de arenas, polvo y lodo.
9. Se reconoce la necesidad de intervenir los tramos descritos con “contenido anormal de arenas” y “balasto contaminado”, siendo estos de acuerdo con el reporte, los siguientes tramos:
  - a. Eje Central - Parque de los Venados (cala 31)
  - b. Tramo Mexicaltzingo – Atlalilco (incluyendo la lumbrera de Centeno)
  - c. Zonas aledañas a salidas de emergencia: localizadas en las interestación Mexicaltzingo - Ermita, - Ermita - Eje Central y Eje Central - Parque de los Venados
  - d. No se presentó un listado consolidado de estos resultados, así como una evaluación de la afectación por el contenido anormal de finos.
  - e. No se presentó una conclusión o recomendación sobre la sustitución de balasto y subbase por la contaminación y presencia de finos.
10. El informe confirma la contaminación de balasto en los mismos puntos descritos anteriormente:
  - a. Parque de los Venados – Eje Central
  - b. Mexicaltzingo - Atlalilco
11. El anexo 3.2.1 “Reporte de medición de espesores de capas” presenta las siguientes problemáticas en el funcionamiento de drenaje y el estado de la subbase de la vía y del balasto.
  - a. Tirante de agua en tramos Atlalilco – Mexicaltzingo y Ermita - Eje Central
  - b. Mezcla de subbase con balasto en el tramo Eje Central – Parque de los Venados
  - c. “Relleno medianamente compacto” en el tramo Parque de los Venados - 20 de noviembre.
  - d. Humedad por arriba del nivel óptimo en las calas realizadas entre la Estación Ermita y Mixcoac.
  - e. Tramos con profundidad de balasto superior a las tolerancias normativas de la vía (¿?)



Se anexa el compilado de reportes de acompañamiento realizado por el personal de STC Metro a la realización de las calas mencionadas por el informe.



**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 Volumetrica (cm)	Peso Sub-balasto (Kg)	Profundidad Balasto (cm)	Humedad de la muestra de Sub-balasto	Manta Elastomerica	Peso Arena Silica (Kg)	Profundidad Sub-balasto (cm)	Resultado Impactometro	Presencia de Agua	Observaciones
1	30/08/2021	17+820	Central	LIEC/ICA	Culhuacan - Atlalilco	N/A	N/A	73	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	No	Presencia de Loza
2	30/08/2021	18+050	Izquierdo	LIEC/ICA	Culhuacan - Atlalilco	N/A	N/A	77	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	No	Presencia de Loza
3	30/08/2021	18+300	Central	LIEC/ICA	Culhuacan - Atlalilco	N/A	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 - Atlalilco	N/A	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 - Atlalilco	N/A	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 - Atlalilco	N/A	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 - Atlalilco	N/A	N/A	58	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	No	Presencia de Loza
8	30/08/2021	19+550	Derecho	LIEC/ICA	Altalilco - Mexicaltzingo	N/A	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	Altalilco - Mexicaltzingo	N/A	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	Altalilco - Mexicaltzingo	N/A	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	Altalilco - Mexicaltzingo	N/A	N/A	47	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	No	Presencia de Loza
12	31/08/2021	20+550	Derecho	LIEC/ICA	Altalilco - Mexicaltzingo	N/A	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	LIEC/ICA	Altalilco - Mexicaltzingo	N/A	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	LIEC/ICA	Altalilco - Mexicaltzingo	20	5.775	63	Baja	No	4.2	40	N/A	No	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	Medición cerca de la dovela
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	Medición cerca de la dovela
19	01/09/2021	22+300	Central	LIEC/ICA	Mexicaltzingo - Ermita	20	6.425	69	Baja	No	5.2	38	6	No	
20	01/09/2021	22+550	Derecho	LIEC/ICA	Mexicaltzingo - Ermita	15	3.235	61	Baja	No	2.3	N/A	15	No	Medición cerca de la dovela
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	Presencia de agua, medición cerca de la dovela
23	02/09/2021	23+300	Central	TSO	Ermita - Eje Central	19	3.565	63	Saturada	Si	2.5	38	13	Si	Presencia de agua
24	02/09/2021	23+550	Derecho	TSO	Ermita - Eje Central	21	6.645	62	Baja	No	5.9	N/A	5	No	Medición cerca de la dovela
25	02/09/2021	23+800	Central	LIEC/ICA	Ermita - Eje Central	20	3.885	71	Baja	No	3.0	61	9	No	
26	02/09/2021	24+050	Izquierdo	LIEC/ICA	Eje Central - Pque de los Venados	15	6.235	95	Baja	No	5.2	N/A	5	No	Medición cerca de la dovela
27	03/09/2021	24+300	Central	TSO	Eje Central - Pque de los Venados	19	6.395	79	Muy Baja	Si	5.4	48	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	Medición cerca de la dovela
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	LIEC/ICA	Eje Central - Pque de los Venados	15	2.060	56	Saturada	No	1.5	N/A	15	Si	Presencia de agua
31	03/09/2021	25+295	Central	LIEC/ICA	Eje Central - Pque de los Venados	N/A	N/A	66	N/A	No	N/A	N/A	N/A	No	Presencia de Loza
32	27/08/2021	25+550	Derecho	LIEC/ICA	Pque de los Venados - Zapata				Optima					No	Medición cerca de la dovela
33	27/08/2021	25+800	Central	LIEC/ICA	Pque de los Venados - Zapata				Optima					No	Presencia de Loza
34	03/09/2021	26+050	Izquierdo	TSO	Pque de los Venados - Zapata	19	4.440	46	Optima	No	3.5	78	Error	No	El impactómetro fallo en esta actividad
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	El espesor del sub-balasto fue de 122cm
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	Medición cerca de la dovela
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	El impactómetro fallo en esta actividad
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	Medición cerca de la dovela
39	06/09/2021	27+300	Central	LIEC/ICA	Hosp 20 de nov - Insurgentes Sur	20	5.605	63	Muy Baja	No	5.8	No realizada	Error	No	El impactómetro fallo en esta actividad
40	06/09/2021	27+550	Derecho	LIEC/ICA	Insurgentes Sur - Mixcoac	N/A	N/A	75	N/A	No	N/A	N/A	N/A	No	En esta zona no hay sub-balasto
41	07/09/2021	27+800	Central	LIEC/ICA	Insurgentes Sur - Mixcoac	N/A	N/A	67	N/A	Si	N/A	N/A	N/A	No	En esta zona hay loza
42	07/09/2021	28+050	Izquierdo	LIEC/ICA	Insurgentes Sur - Mixcoac	N/A	N/A	65	N/A	Si	N/A	N/A	N/A	Si	Se encontro 1 cm de espejo de agua
43	07/09/2021	28+295	Central	LIEC/ICA	Insurgentes Sur - Mixcoac	18	2.755	70	Optima	No	2.1	16	27	No	La loza se encuentra en inclinación
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	En esta zona hay loza
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	En esta zona hay loza

(valores en rojo = fuera de tolerancias con base en datos registrados en campo)

Fuente: Archivo STC Metro, septiembre 2021



12. A pesar de la empresa no haber presenciado “aguachinamientos” el STC Metro cuenta con registros de este tipo de problemáticas de forma histórica, documentándose principalmente en el tramos Atlalilco Mexicaltzingo.

**Encharcamiento en la inter estación Atlalilco - Mexicaltzingo en los PK ´s aproximados 19+360 al 19+430 principalmente sobre los ADV 15/25**



Fuente: Archivo STC Metro, 28 de julio 2021

13. Se concuerda con la situación diagnosticada de drenaje, que señala:
- Drenaje azolvado en un 60%,
  - Daño estructural en registros,
  - Agua a distintos niveles en los registros,
  - 30% de cárcamos secos.
14. Se concuerda con la recomendación de aumentar la capacidad del sistema de drenaje mediante:



- a. La construcción y equipamiento de 3 cárcamos (PK 20+701, 22+823 y 23+146)
  - b. Adecuación de 2 cárcamos existentes (PK 24+487 y 25+525)
  - c. Construcción de un nuevo registro en el tramo entre la Lumbrera de Centeno – Mexicaltzingo
15. No se concuerda con la aseveración realizada sobre el sistema de drenaje : “sistema de tuberías funcional, redundante y su desempeño es acorde a la normatividad aplicable y no requiere intervención mayor o cambio en su criterio de diseño”. Esto en función de los siguientes elementos aportados por el propio informe y sus anexos:
- a. Se encuentra contradictoria esta aseveración toda vez que el informe considera la construcción y equipamiento de 3 cárcamos, adecuación de 2 cárcamos existentes, construcción de un registro adicional y deficiencia de equipo de bombeo en 9 casos.
  - b. El diseño y ejecución de la solución de drenaje, tuberías y registros contiene:
    - i. Registros que no son visitables ni factibles de limpieza en el tramo..
    - ii. Obstrucciones de la tubería (ver detalle fotográfico).
    - iii. Tramos desconectados de drenaje, que no aportan a los cárcamos.
  - c. Se omite analizar la relación de humedad y tirante de agua identificadas en las calas, mismas que se originan de la falla de diseño del sistema, falta conexión, o bloqueo de estos, por ejemplo (en referencia al Anexo 3.3.3):
  - d. Los 4 cárcamos en las estaciones Eje Central y Ermita presentan un aporte mínimo (gasto de 0.01-0.02 lps), al mismo tiempo que la cala 22 en este intertramo reflejó un tirante de agua de 2 cm.
  - e. Se reporta un exceso de capacidad en los cárcamos del tramo Atlalilco – Mexicaltzingo, al mismo tiempo que se presentan tirantes de agua de hasta 25 cm.
16. No se conocen los proyectos propuestos para el mejoramiento del sistema de drenaje: Cárcamos y registros.
17. Se considera adecuada la identificación de 8 puntos de aportes extraordinarios de agua, en donde:
- a. 2 de ellos corresponden a zonas de filtraciones en la zona Insurgente sur – Mixcoac
  - b. 4 de ellos se refieren a rejillas y salidas de emergencias, mismas que deberían haber sido consideradas en el proyecto para diseño del drenaje.
18. Los problemas citados en el drenaje asociados a obstrucciones y falta de mantenimiento, de acuerdo con la evidencia en campo corresponden a obstrucciones de la etapa de construcción (concreto, polines y otros materiales de obra), así como los puntos descritos en el comentario 14.b.



Hallazgos en las limpiezas de tuberías



Fuente: Archivo STC Metro, 21, oct, 2021

### **3. BALASTO Y RELLENO GRAVA ARENA: ESTUDIOS DE MATERIALES, ANÁLISIS Y RESULTADOS (CAPÍTULOS 5 Y 6)**

#### **BALASTO**

19. Balasto el balasto provisto originalmente por el consorcio constructor de la Línea 12, está compuesto por dos tipos de material: basáltico y calcáreos (SYSTRA 2014, TSO 2016).

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.

20. No se presentan los resultados consolidados de las pruebas, conclusiones y medidas propuestas para atender el objetivo planteado para las pruebas de balasto: “evaluar el nivel de desgaste, degradación o envejecimiento de los años en operación”

21. No se cuenta con los resultados completos de las pruebas de granulometría

- a. Laboratorio LIEC 45 muestreos; se entregaron 13 resultados.
- b. Laboratorio LANCO, 18 muestreos; Se entregaron 3 resultados.

22. El informe indica las siguientes problemáticas del balasto, con base en la propia interpretación de los resultados de calas, muestreos y pruebas de laboratorio, relacionandas directamente con el funcionamiento de este material:



- a. “Existen al menos tres valores que se acercan a los límites permitidos con el porcentaje de finos y se han podido relacionar con las curvas de radio reducido”.
  - b. “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.”
23. Resultados de granulometría: La muestras incumplen la normativa de la Norma C4 en los criterios que pueden ser evaluados.
- a. Debido a que los parámetros usados en las normas difieren de la especificación C4, no es posible evaluar todos los criterios de la norma.
  - b. Aunque las muestras presentadas sean comparadas contra la norma PMDF, las muestras incumplen en la categoría de finos (material < 1 in)
24. Resultados de Dureza: 11% (LIEC) y 13% (LIEC) de la muestra incumplen los criterios de dureza (PMDF o C4 = 16%)
25. No se considera relevante el valor promedio en el caso de una muestra no distribuida homogéneamente, como es el balasto colocado en línea y expuesto a 9 años de uso y esfuerzo, adicionalmente, se reconoce el desgaste sobre todo en ciertos puntos de la vía.
26. La totalidad de las calas y muestras reportadas presenta fotografías reportadas o sin calidad suficiente para apreciar detalles (incluso en los archivos digitales).



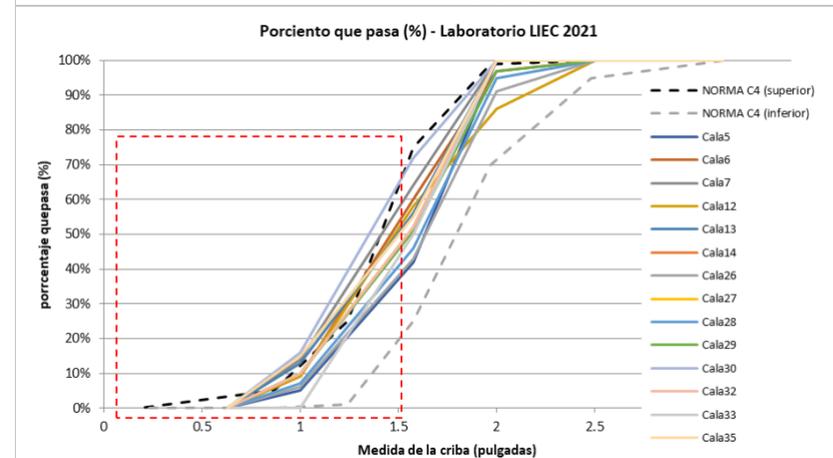
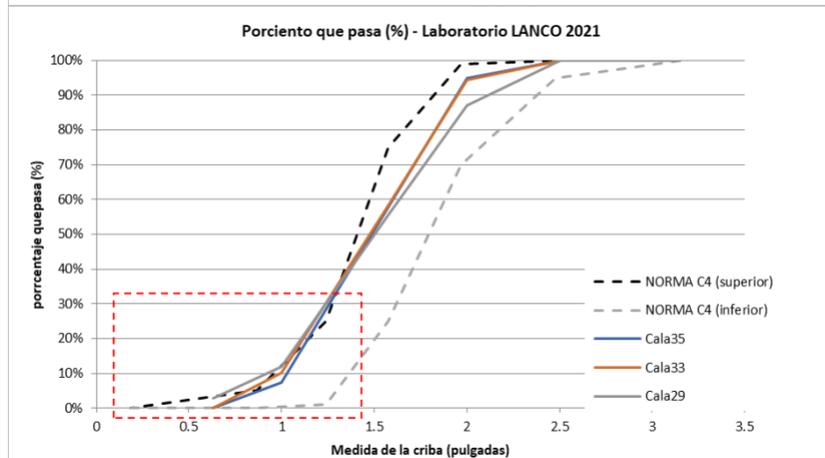
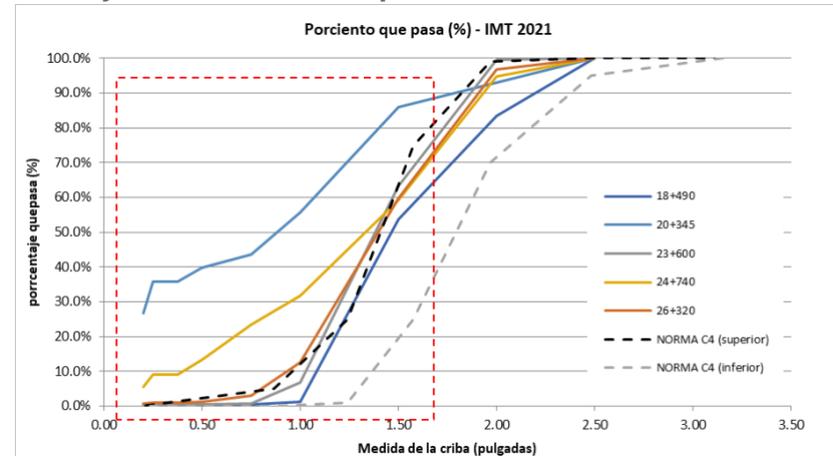
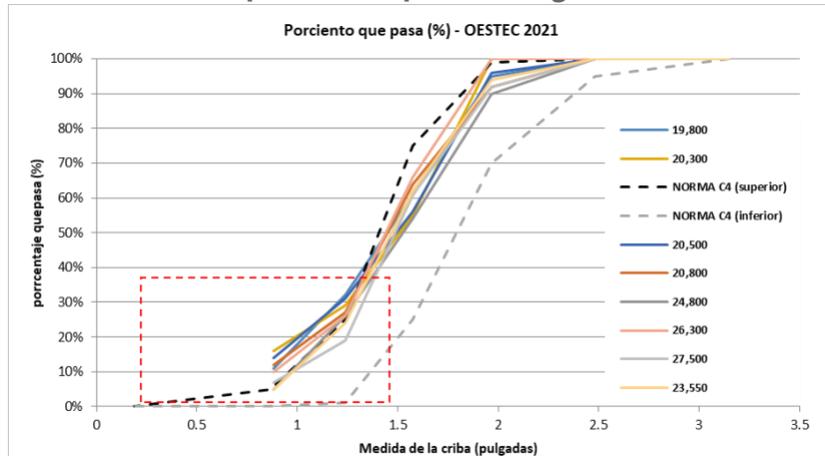
Consolidado de pruebas de granulometría realizadas por IMT, LIEC-ICA, LANCO-ICA, y OESTEC-TSO en 2021 y cumplimiento frente a norma C4

Laboratorio,cala y PK		Norma C4		IMT	LIEC Cala5	LIEC Cala6	LIEC Cala7	OESTEC	OESTEC	IMT	OESTEC	LIEC Cala12	LIEC Cala13	OESTEC	LIEC Cala14	OESTEC	IMT	LIEC Cala26	LIEC Cala27	LIEC Cala28	IMT	LANCO Cala29	LIEC Cala29	OESTEC	LIEC Cala30	LIEC Cala32	LANCO Cala33	LIEC Cala33	LANCO Cala35	LIEC Cala35	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%	100%			
2.50	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%	97%	92%				
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%								26%	19%				
1.00	25	10%	0%	1%	5%	9%	14%			56%		9%	13%		4%		7%	6%	10%	7%	32%	12%	10%		16%	10%	10%	0%	7%	15%		13%					
0.88	22	5%						11%	16%		14%					5%								5%							10%		7%				
0.75	19			0%						44%							1%					23%											3%				
0.63	16				0%	0%	0%					0%	0%		0%			0%	0%	0%		3%	0%		0%	0%	0%	0%	0%	0%							
0.50	13			0%						40%							1%					13%											1%				
0.38	10			0%						36%							1%					9%											1%				
0.25	6			0%						36%							1%					9%											1%				
0.20	5	0%	0%	0%						27%							1%					6%											1%				
Cumplimiento de norma C4 (1 = cumple; 0 = no cumple)																																					
in	mm			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			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			
2.50	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			
2.00	51			1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	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			
1.24	31.5							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
1.00	25			1	1	1	0			0		1	0		1		1	1	1	1	0	0	1		0	0	1	0	1	1	0		0				
0.88	22							0	0	0	0	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												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	0.50	0.67	1.00	0.60	0.67	1.00	0.83	0.67	1.00	0.80	1.00	0.80	1.00	0.67	0.80	1.00	0.67	0.60	0.80	0.80	0.80	1.00	0.60	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.



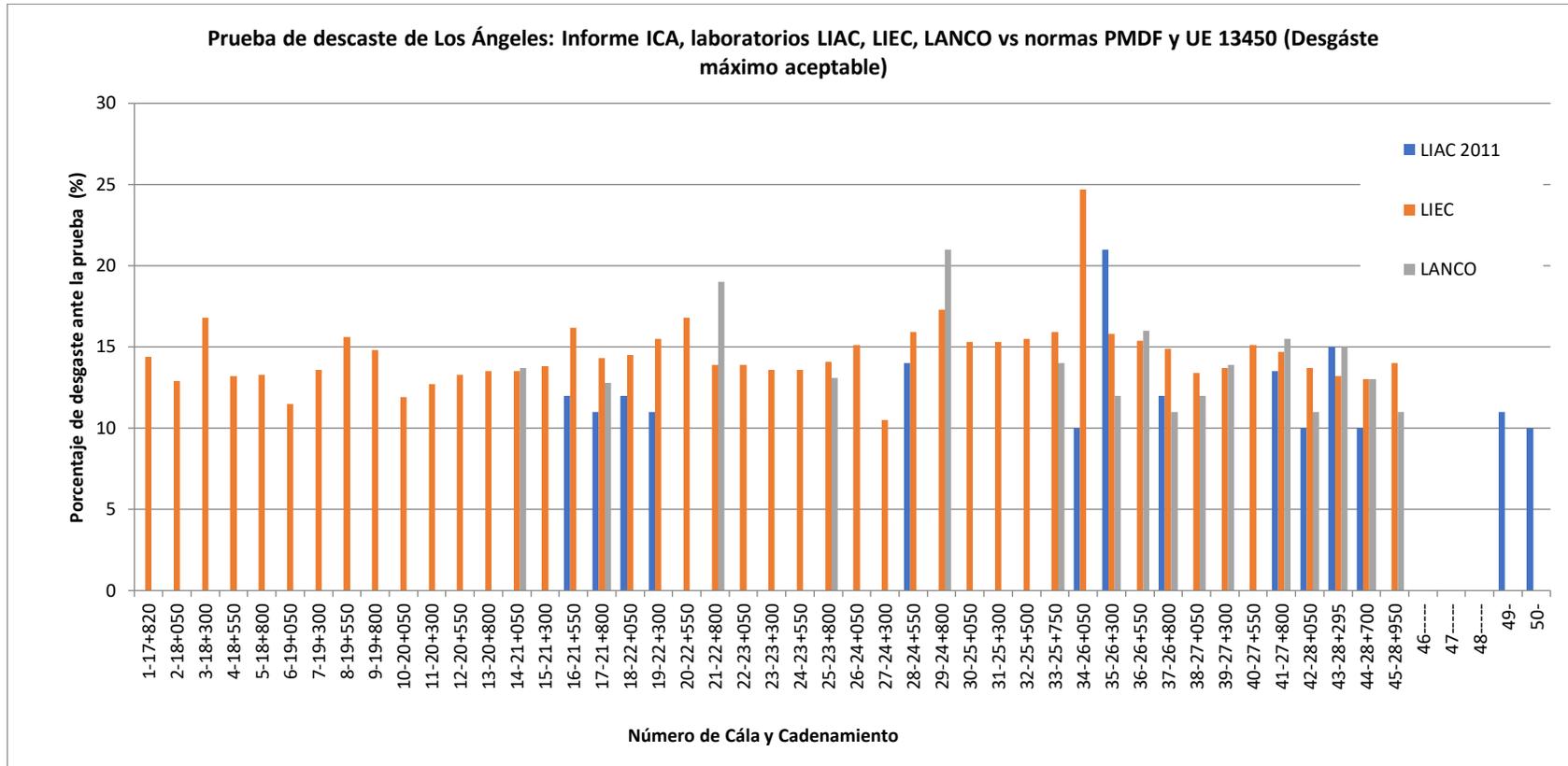
**Comparación de pruebas de granulometría vs Normativa C4 y zonas fuera del cumplimiento de la norma.**



Fuente: Elaboración STC, noviembre 2021.



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



Fuente: Elaboración STC, noviembre 2021



### **PLATAFORMA. Pruebas de Placa**

27. Se considera que la realización de la prueba de placa para evaluar capacidad de carga del relleno grava arena con un valor objetivo mínimo de  $2.0 \text{ kg/cm}^2$  es insuficiente para evaluar la calidad y funcionalidad de la subbase en el túnel de la Línea 12. Se presentan los motivos a continuación:
- a. 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).
  - b. Existen pruebas específicas para medir la deformación el sistema de vías: “Módulo e vías”.
  - c. La normativa empleada es obsoleta (emitida en los 70’s y en desuso)
  - d. Los laboratorios utilizados no cuenta con certificación para realización de Pruebas de Placa.
  - e. El modelo empleado para el cálculo de la capacidad de carga es incorrecto: No puede asumirse un comportamiento lineal, el modelo es académico.
  - f. La metodología empleada en la prueba es incorrecta, desde el montaje del marco del equipo para aplicación de la fuerza.
  - g. Los datos reportados para diferentes pruebas son idénticos o se encuentran repetidos.
28. Como lo establece el proyecto, los parámetros que debe cumplir el relleno de grava-arena son en particular la granulometría y el grado de compactación, y no incluye la capacidad de carga, debido a que el diseño de esta capa no es función de la capacidad de carga, por lo que la revisión realizada no tiene sustento técnico.
29. De acuerdo con los comentarios realizados por el Comité Técnico Asesor “las curvas de esfuerzo deformación obtenidas por la empresa LIEC y LANCO exhiben una deformación plástica después del primer ciclo de esfuerzo-deformación” (Nota técnica CTA, 1 diciembre de 2021).
- a. “Los resultados ponen de manifiesto la no linealidad esperada en estos materiales granulares inclusive para los esfuerzos de trabajo de diseño, por lo que no pueden ser caracterizados mediante un modelo elástico lineal como el utilizado en el análisis numérico de ICA”
  - b. “De acuerdo con la naturaleza de las cargas dinámicas a las que la subbase está sometida, no puede considerarse únicamente la resistencia al impacto, en su lugar debe estudiarse la deformación acumulada de la subbase”.
30. Considerando que las deformaciones se obtuvieron con un sólo ciclo de carga el CTA considera necesario realizar pruebas que consideren un mayor número de ciclos, con el fin de establecer al menos parcialmente, el potencial de generación de deformaciones plásticas asociadas a la



ocurrencia de una carga repetida. Estas pruebas deben ser realizadas tanto en el material de subbase como en el balasto (Nota técnica CTA, 1 diciembre de 2021).

**PLATAFORMA. Reporte geotécnico del estudio del comportamiento esfuerzo-deformación en los estratos de balasto y relleno grava-arena.**

31. De acuerdo con los comentarios de los especialistas geotécnicos, el modelo constitutivo (elástico lineal), no captura las deformaciones plásticas acumuladas asociadas (Nota técnica CTA, 1 diciembre de 2021).
  - a. “El modelo constitutivo considerado para simular el comportamiento de los materiales de grava y arena fue elástico lineal, con el cual no se podrán capturar las deformaciones plásticas acumuladas asociadas a la carga cíclica generada por el paso de los trenes durante la vida útil del proyecto. Es recomendable considerar un modelo no-lineal. Al afirmar que los esfuerzos calculados mediante el modelo elástico lineal no se acumulan durante la carga dinámicas se pone en evidencia la primera desventaja del modelo constitutivo empleado.”
  
32. El modelo presentado presenta los siguientes errores en los parámetros y metodología empleada (Nota técnica CTA, 1 diciembre de 2021):
  - a. Espesores de balasto y base no corresponden a los observados in-situ: “Con la finalidad de determinar los espesores de balasto, base (relleno grava-arena), y el tipo de cubeta construido a lo largo del tramo dovelado, se llevaron a cabo 15 calas. En la Tabla 1 del documento presentado por ICA se muestra un resumen con los espesores medidos en cada sitio. Estos espesores difieren de lo observado en campo, e incluso son inconsistentes con el propio anexo 2.1 “sondeos” incluido en el informe de ICA. La importancia de esta observación radica en que los espesores de balasto y base indicados en la Tabla 1 son el punto de partida del dimensionamiento de los espesores a considerar en el modelo numérico desarrollado por ICA, los cuales no corresponden a los observados in-situ”.
  - b. “El módulo de elasticidad utilizado para caracterizar la rigidez de los durmientes fue obtenido mediante la ecuación ( $4400\sqrt{f'c}$ ), en Mpa), la cual no aplica para elementos preesforzados como lo son los durmientes”.
  - c. “El valor del módulo de elasticidad para el material grava-arena tipo base fue tomado de la literatura técnica (i.e. 70 Mpa), y no es coincidente con lo reportado mediante las pruebas de placa realizadas (i.e. entre 20 y 60 Mpa)”.
  - d. “Existen dudas en las cargas utilizadas, según las especificaciones cada bogie tiene dos ejes, y la descarga por eje es de 15 ton. Sin embargo, el análisis considera una descarga de 7.5 ton por eje. Además, no se consideran los factores de impacto relacionados con el



comportamiento dinámico del tren. Con base en lo anterior se infiere que con las cargas consideradas se estimarán esfuerzos y solicitaciones menores a las reales”.

- e. “En el documento se afirma que el bulbo de esfuerzos solo afecta al estrato del balasto, lo cual es incorrecto y no es coincidente con lo reportado en la Figura 7 del documento”.

### Otros comentarios

33. Durante los 9 años de operación de la Línea 12, el STC ha tenido que realizar trabajos de nivelación y alineamiento de vía de forma extraordinaria en esta línea, muy por encima de niveles presentados en otras líneas del STC y en otras líneas semejantes en el mundo (TSO, 2021).
  - a. Especialistas del STC Metro, empresas de mantenimiento, así como del CTA, y otras especialistas en geotécnica, vías y operación de sistemas férreos consideran que estas pérdidas de trazo y perfil se asocia al mal funcionamiento de la sub base de la vía y la mala calidad y funcionamiento del balasto.
34. De acuerdo con las características de paso constante de los trenes y el tipo de vía que se presenta en la Línea 12 (Largo riel soldado, sujeto a esfuerzos adicionales por el propio trazo de la vía) se requiere una vía compacta, estable y resistente a las deformaciones acumuladas, así como estar libre de agua.
35. El informe afirma un valor de “compacidad” sin presentar evidencia. Adicionalmente, los anexos referentes a registro de las calas registraron relleno sin compactar en varios puntos.
36. Los especialistas consideran viable la realización de pruebas adicionales para determinar la deformación real de la vía al paso de los trenes.
37. Se deben considerar los comentarios presentados en el numeral 8 en donde “se reconoce la necesidad de intervenir los tramos descritos con “contenido anormal de arenas” y “balasto contaminado”.



#### **4. RECOMENDACIONES Y PLAN DE ACCIONES PARA CONSERVACIÓN (CAPITULO 7)**

38. A fin de constatar que las recomendaciones realizadas por la empresa permitirán resolver los problemas de filtraciones, acumulación de agua y humedad, tirnate de agua y aguachinamiento, se requiere:
- Conocer los proyectos de construcción de cárcamos y registros,
  - Especificación de sellado de filtraciones
  - Procedimiento de limpieza.
  - Proyecto de conexión de drenaje en tramos sin conexión.
  - Especificaciones de los equipos de bombeo.

Así mismo, se espera que la empresa cumpla con el control de calidad necesario en los proceso que ejecute para atender existosamente los objetivos de estas actividades.

39. **El informe considera que el balasto esta a fin de su vida útil “después de 10 años”, una expectativa muy por debajo del estandar normativo que postula establece una vida útil cercan a a 20 años.**
40. **El informe recomienda sustituir o cambiar la segunda capa de balasto en las zonas de curvas de radio reducido**, así como continuar con las labores de mantenimiento que corrigen las deficiencias de funcionamiento del material.
41. No se considera valida la conclusión presentada sobre el comportamiento mecánico del relleno grava-arena debido a los comentarios citados anteriormente. **Se considera necesario realizar un analisis más profundo para determinar los puntos en donde es necesario intervenir este componente del tramo subteraneo.**

#### **5. COMENTARIOS FINALES)**

Esta información ha sido evaluar por el personal de la Dirección General y de la Subdirección General de Mantenimiento, Gerencia de Obras de Mantenimiento, la Subgerencia de Instalaciones Mecánicas y Vías del Metro, contando con el apoyo de otros organismos, especialistas geotecnistas, en estructuras y de vías:

- SOBSE: Ing.- Hugo Flores, Director General de Obras para el Transporte.
- Especialistas externos por parte de SOBSE: Iván Lugo y Dr. Paul Garnica
- Comité Tecnico Asesor: Dr. Juan Manuel Mayoral e Ing. Rubén Ochoa,
- Especialista en Vías: Fermín Ramírez.



Adicionalmente, esta información ha sido presentada y discutida con la empresa ICA en múltiples reuniones citadas a continuación:

- 17 de noviembre, Presentación de resultados de ICA. Asistentes: ICA (equipo técnico responsable por la elaboración el informe), SOBSE, DGOT y Metro DG, especialistas externos de vías.
- 23 de noviembre, Presentación de pruebas de laboratorio. Equipos técnicos: ICA, Metro, SOBSE.
- 1 de diciembre , Revisión del estudio, Asistentes SOBSE, DGOT, Metro (DG, GOM, SgIMV), Dr. Juan Manuel Mayoral y especialistas externos Iván Lugo y Dr. Paul Garnica.
- 2 de diciembre, metodología de pruebas para deformación de vías. Asistentes: SOBSE, DGOT y Metro DG, especialistas externos de vías.
- 

#### **ATENTAMENTE**

MANUEL FERNANDO GALINDO ALTAMIRANO  
GERENTE DE OBRAS DE MANTENIMIENTO

ING. BENITO DECEBAL CHÁVEZ GAFTOI  
SUBGERENTE DE INSTALACIONES MECÁNICAS Y  
VÍAS

MFGA/drs/bdcg/des

C.c.c.e.p.: Ing. Jesús Antonio Esteva Medina, Secretario de Obras y Servicios  
Ing. Guillermo Calderón Aguilera, Director General de Sistema de Transporte Colectivo –  
Metro  
Archivo.



### ANEXOS

- Anexo 1: Listado de carpetas digitales entregadas por ICA, 9 de noviembre de 2021.
- Anexo 2. Otros comentarios realizados por el STC Metro
- Anexo 3. Seguimiento de STC – Metro de los muestreos y revisiones realizadas en el túnel.
- Anexo 4. Nota Técnica 4 - Revisión de la información presentada por la empresa Ingenieros Civiles Asociados, ICA, en respuesta a las recomendaciones emitidas por el Comité técnico asesor para el refuerzo y rehabilitación de la Línea 12.
- Anexo 5. Nota informativa: Justificación técnica de la necesidad de colocación de una losa de concreto como sustentación al sistema de vía en el tramo subterráneo de la Línea 12 del Metro (Atlalilco – Mixcoac).
- ANEXO 6. Pruebas de laboratorio aplicado al balasto, Laboratorio OESTEC 2021



# **ANEXO 1 - Listado de carpetas digitales entregadas por ICA**

**9 de noviembre de 2021.**



**Anexo 1: Listado de carpetas digitales entregadas por ICA, 9 de noviembre de 2021.**

1. Informe Ejecutivo: Levantamiento, inspección, trabajos de campo y laboratorio de la Línea 12 del Metro en el tramo subterráneo
  - 2.1 Sondeos
  - 2.2 larguillo Tramo Subterráneo
  - 2.3 Revisión por sismo
  - 2.4 Revisión estructural de salidas de emergencia
    - 3.1.1 Reporte de Filtraciones
    - 3.1.2 Prioridad de atención a filtraciones
      - 3.2.1 Reporte de medición de espesores de capas
      - 3.3.1 Informe de Inspección de Registros
      - 3.3.2 Planta y Perfil
      - 3.3.3 Aforo de Cárcamos
    - 4.3.1 Falta de Bombas
  - 5.1 Certificados ante la EMA
    - 5.2.1 Fotografías de muestreos
    - 5.3.1 Fotografías de ensayos, informes de pruebas y tabla resumen
      - 6.2.2.1 Pruebas de Placa
      - 6.2.2.2 Análisis de esfuerzo-deformación mediante elemento finito
    - 6.3.1 Perfil Estratigráfico
    - 6.5.1 Correlación de FE HECHOS



## **ANEXO 2 - Otros comentarios realizados por el STC Metro**



## **ANEXO 3 - Seguimiento de STC – Metro de los muestreos y revisiones realizadas en el túnel.**



**ANEXO 4 - Nota Técnica 4. Revisión de la información presentada por la empresa Ingenieros Civiles Asociados, ICA, en respuesta a las recomendaciones emitidas por el Comité técnico asesor para el refuerzo y rehabilitación de la Línea 12.**



**ANEXO 5 - Nota Informativa: Justificación técnica de la necesidad de colocación de una losa de concreto como sustentación al sistema de vía en el tramo subterráneo de la Línea 12 del Metro (Atlalilco – Mixcoac).**



# **ANEXO 6 – Pruebas de laboratorio aplicado al balasto, Laboratorio OESTEC 2021**