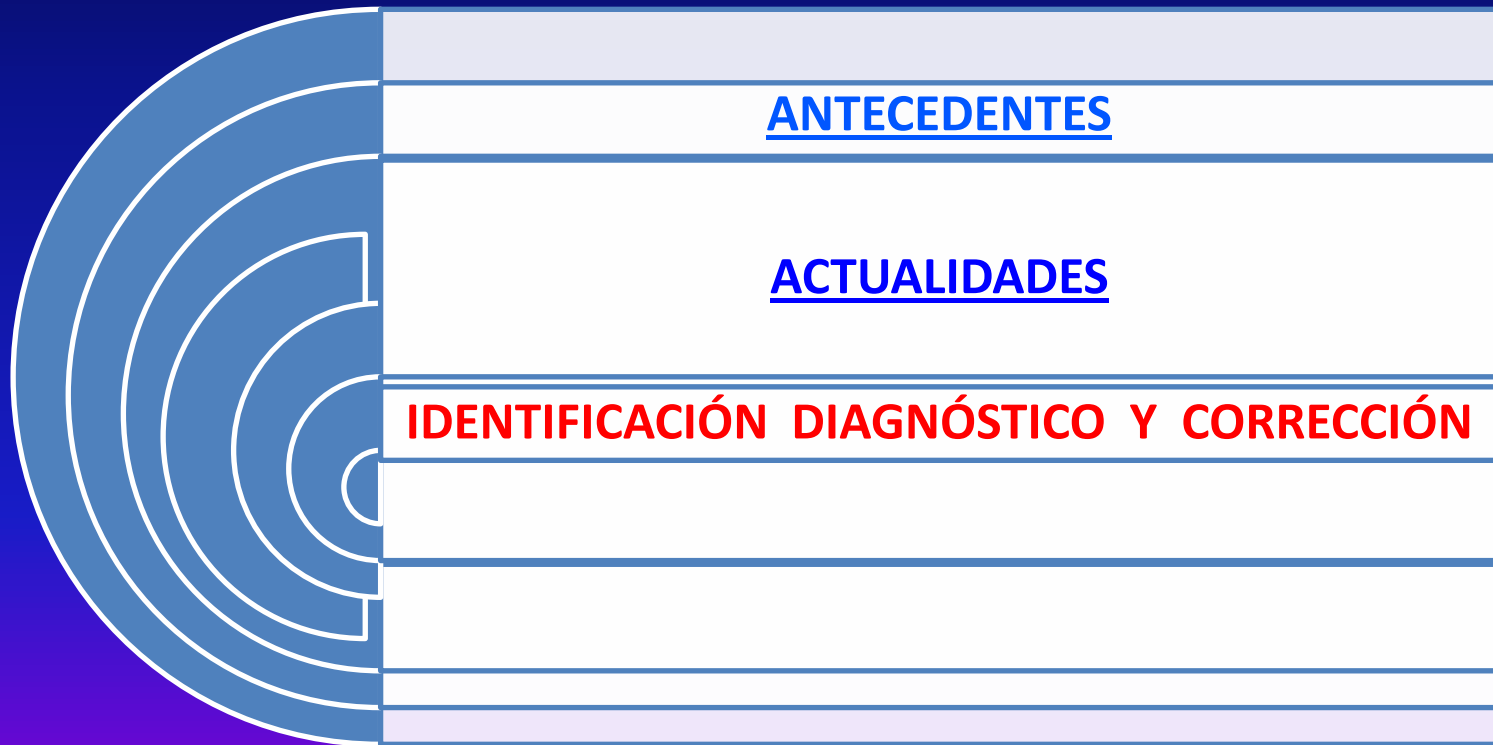




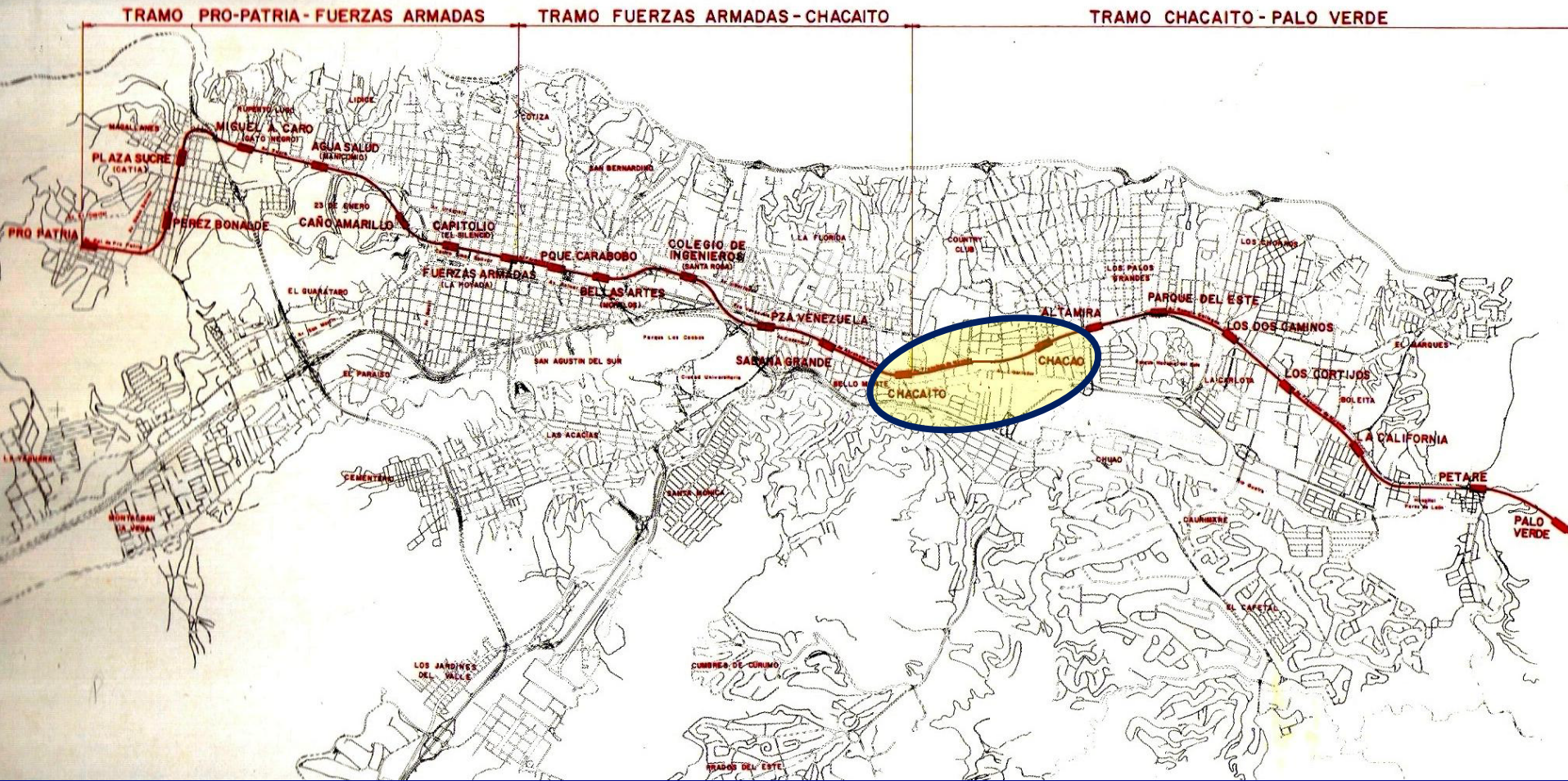
Identificación Diagnóstico y Corrección  
de la problemática de las aguas que filtran  
dentro del túnel Sur de la Línea 1 del Metro de  
Caracas entre las estaciones Chacaíto y Chacao

Gianfranco Perri

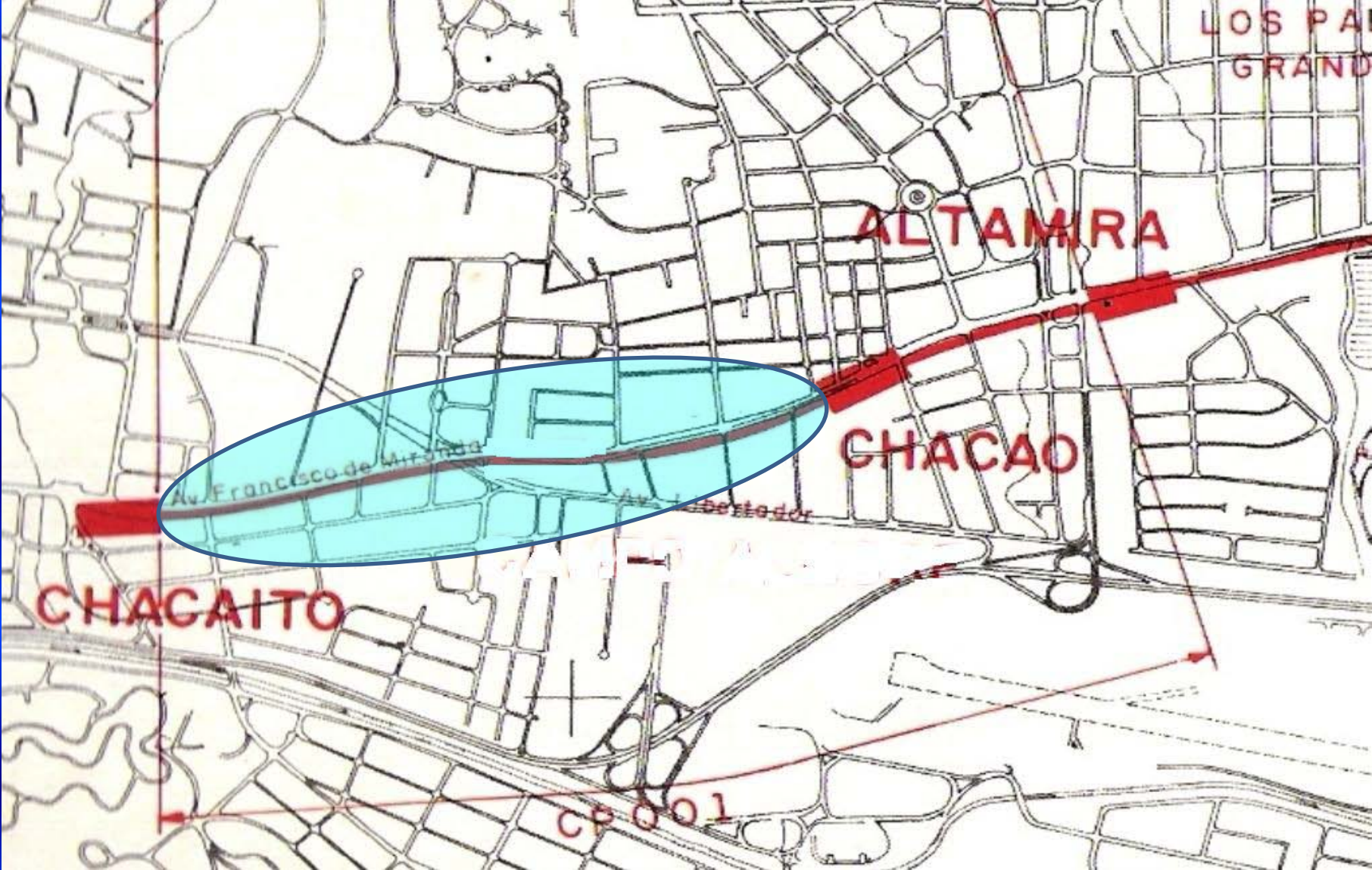
Identificación Diagnóstico y Corrección de la problemática de las aguas que filtran dentro del túnel Sur de la Línea 1 del Metro de Caracas entre las estaciones Chacaíto y Chacao

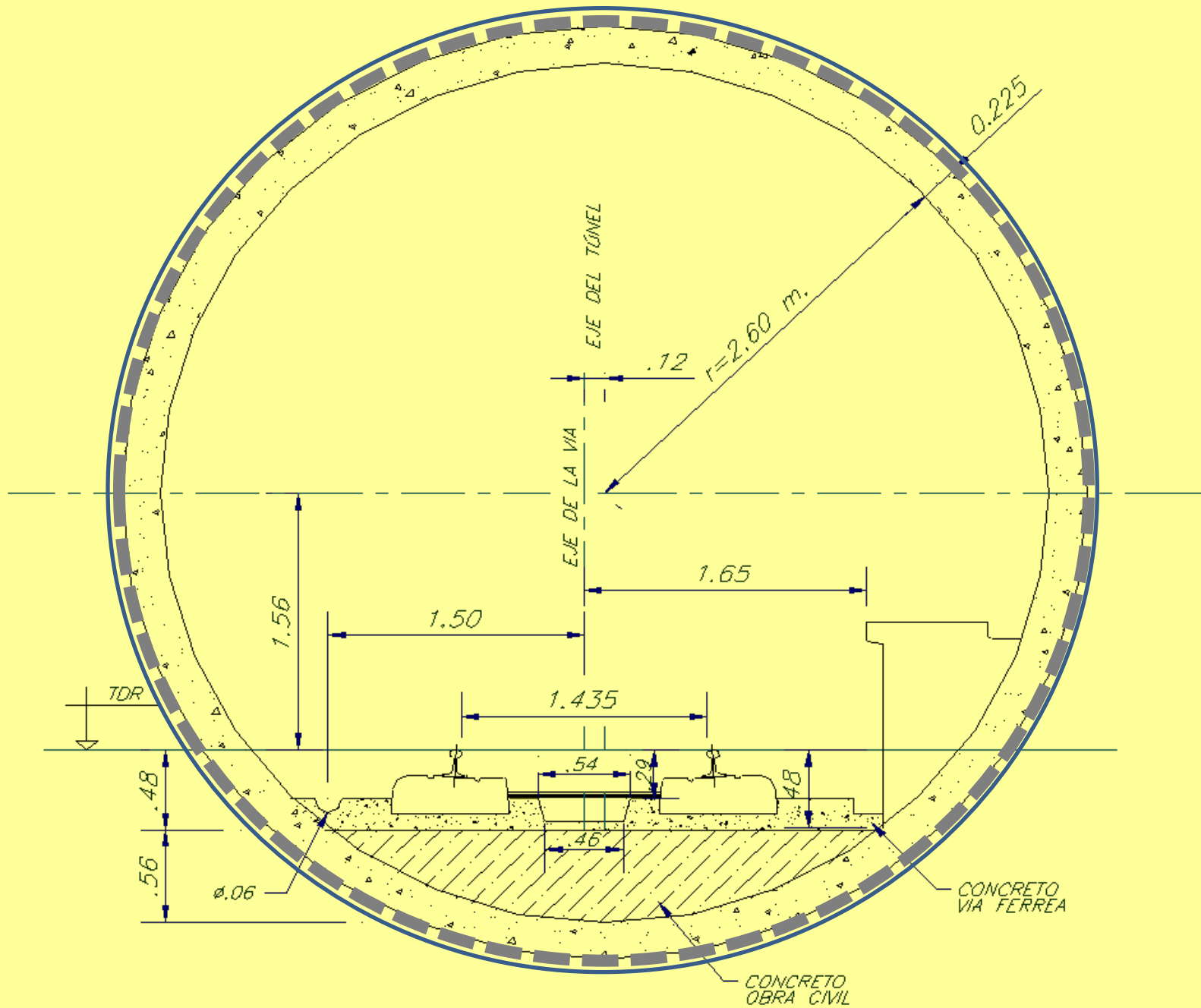


# LÍNEA 1 DEL MERO DE CARACAS



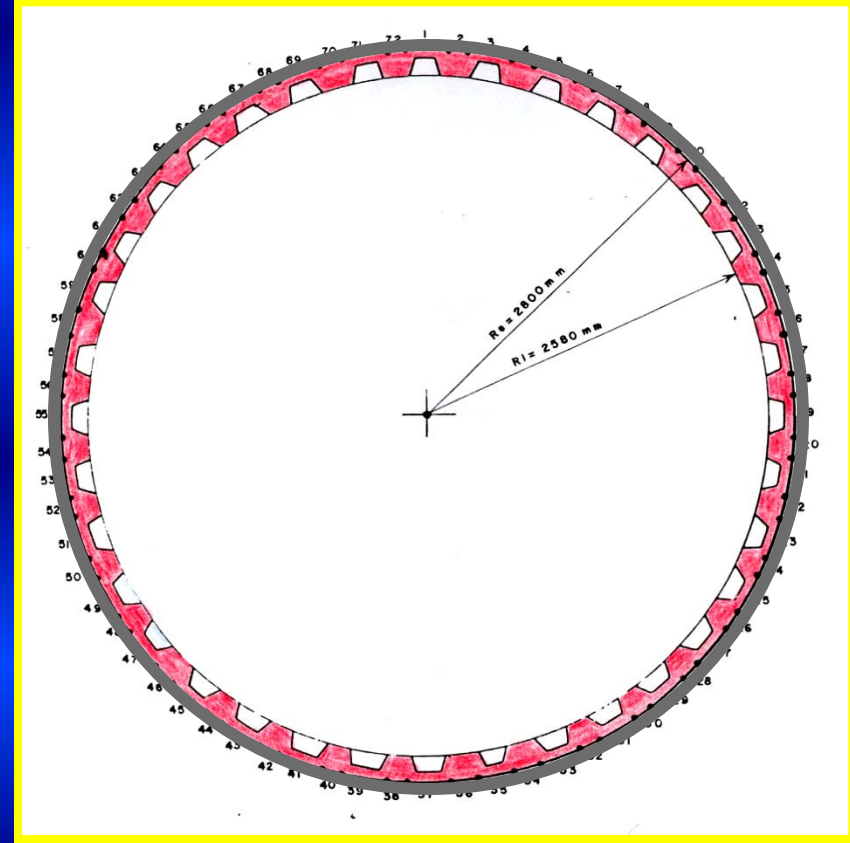
# TRAMO CHACAÍTO - CHACAO

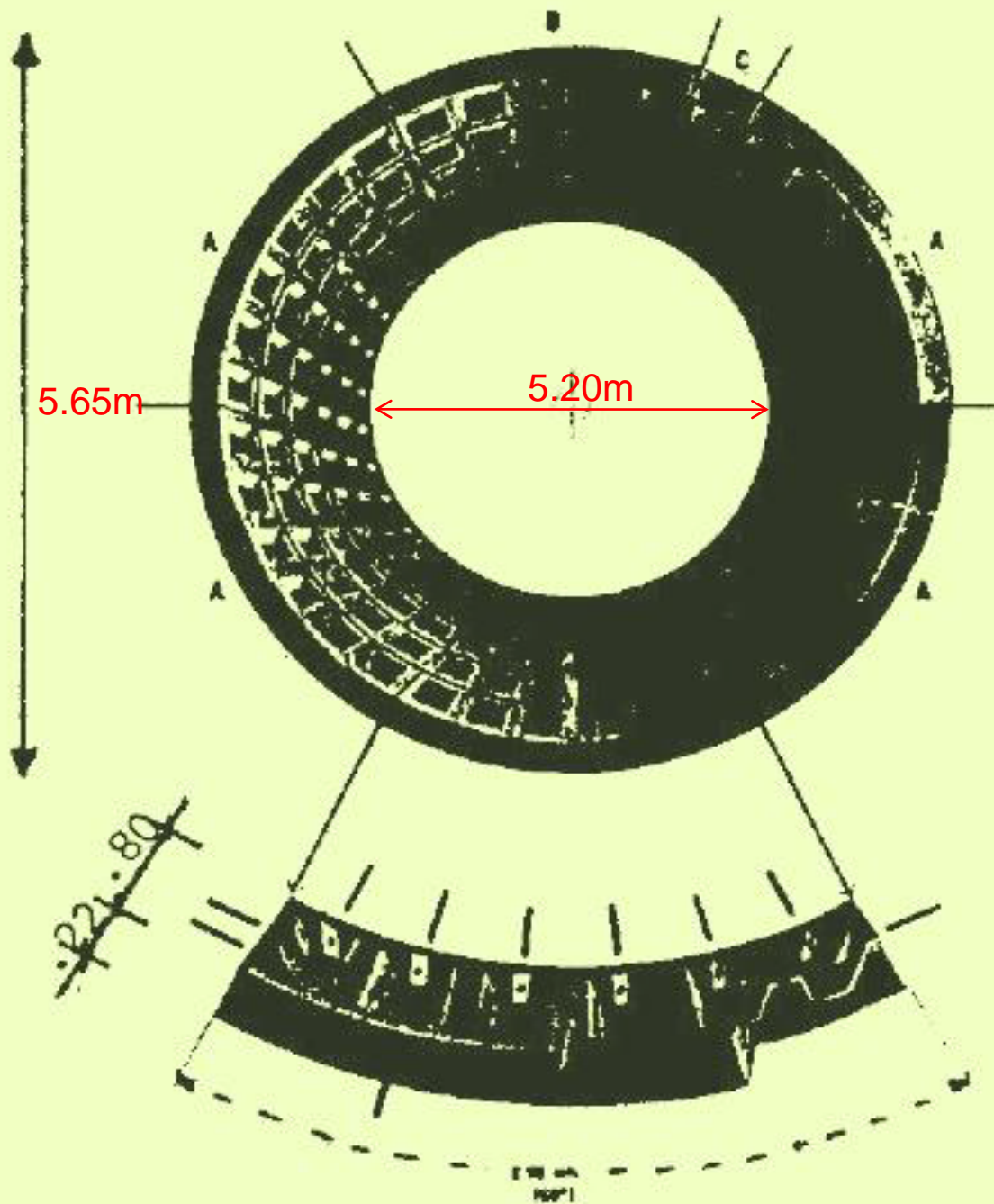




# *Línea I del Metro de Caracas*

## *Anillo estándar*





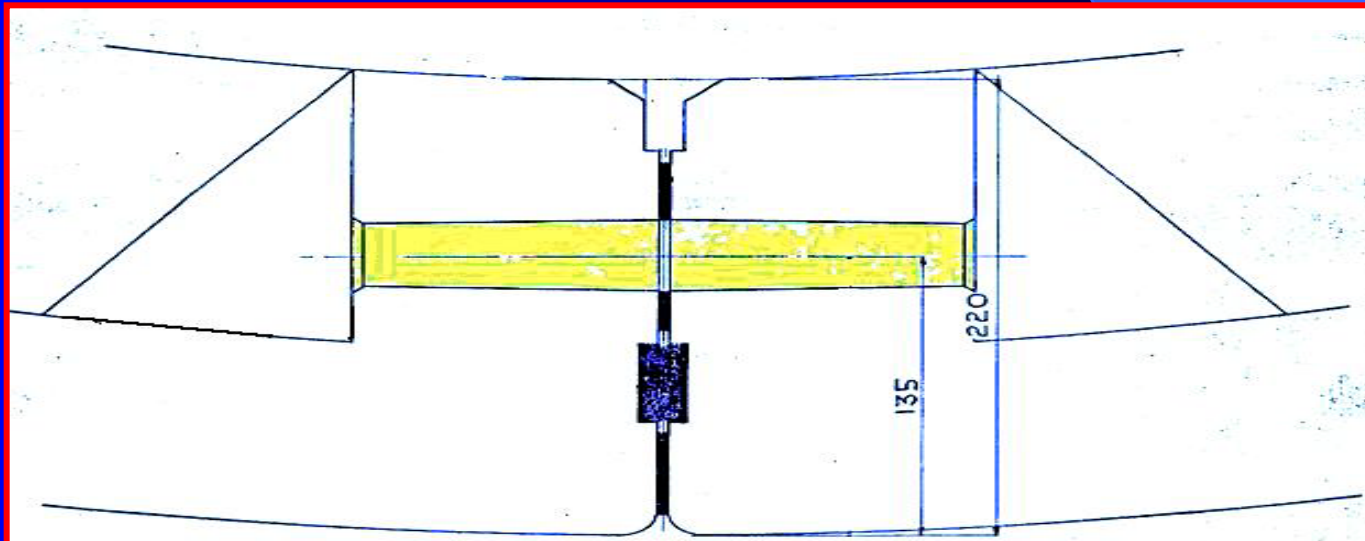
## Anillo Estándar "original" de la Línea 1 del Metro de Caracas

### 7 Segmentos:

- \* 5 Tipo A
- \* 1 Tipo B
- \* 1 Tipo C

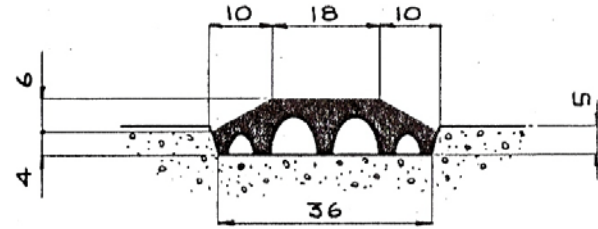


**Pernos de  
Conexión**

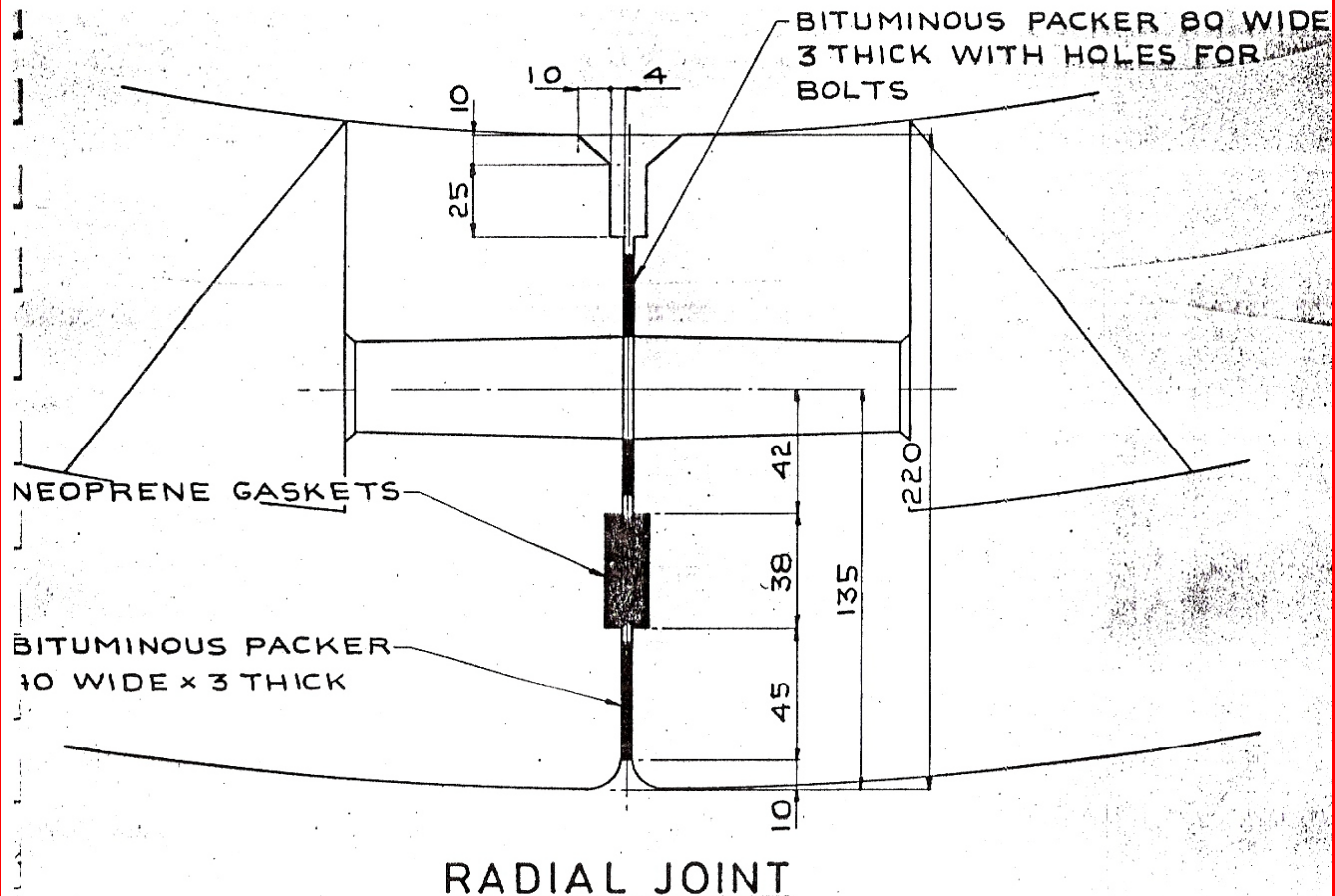




# SELLOS DE NEOPRENO UTILIZADOS EN LOS ANILLOS DEL TRAMO CHACAÍTO - CHACAO



NEOPRENE GASKET FOR RADIAL JOINT



## ANTECEDENTES DE LOS TÚNELES DE LA LÍNEA 1 ENTRE CHACAÍTO Y CHACAO

Estos túneles fueron diseñados por Parsons Brinckerhoff-Tudor-Bechtel en 1969, y la construcción la ejecutó Cedica-Sogene entre 1985 y 1986, después que en 1984 había encomendado a Parsons Brinckerhoff rediseñar los anillos modificando su longitud, pasando así de los 80 cm originales a los 120 cm con los que se fabricaron.

*“...En la actualidad se confronta un serio problema de filtración en los túneles construidos con anillos prefabricados, pues la junta entre anillos, previstas para que fueran estancas, no han funcionado así. El problema se debe a que los sellos embutidos en los extremos del anillo y a todo su alrededor detienen la entrada de la lechada de inyección, pero dejan pasar el agua por no quedar en íntimo contacto y bien presionado el uno contra el otro. ...El agua que logra pasar por los sellos de los anillos, al encontrar la resistencia que impone el calafateo colocado en las hendiduras a la vista, busca un camino más expedito el cual a veces encuentra a través de los agujeros dejados para el paso de pernos de fijación. El volumen de las filtraciones es bastante grande, pudiéndose observar localmente verdaderos chorros de agua...”*

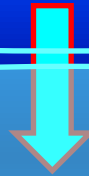
*- Roberto Centeno, 1984 -*

# *Línea I del Metro de Caracas – Túnel Sur en Construcción*



Identificación Diagnóstico y Corrección de la problemática de las aguas que filtran dentro del túnel Sur de la Línea I del Metro de Caracas entre las estaciones Chacaíto y Chacao

**1 IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL**



**2 DIAGNÓSTICO DE LAS PRINCIPALES CAUSAS**



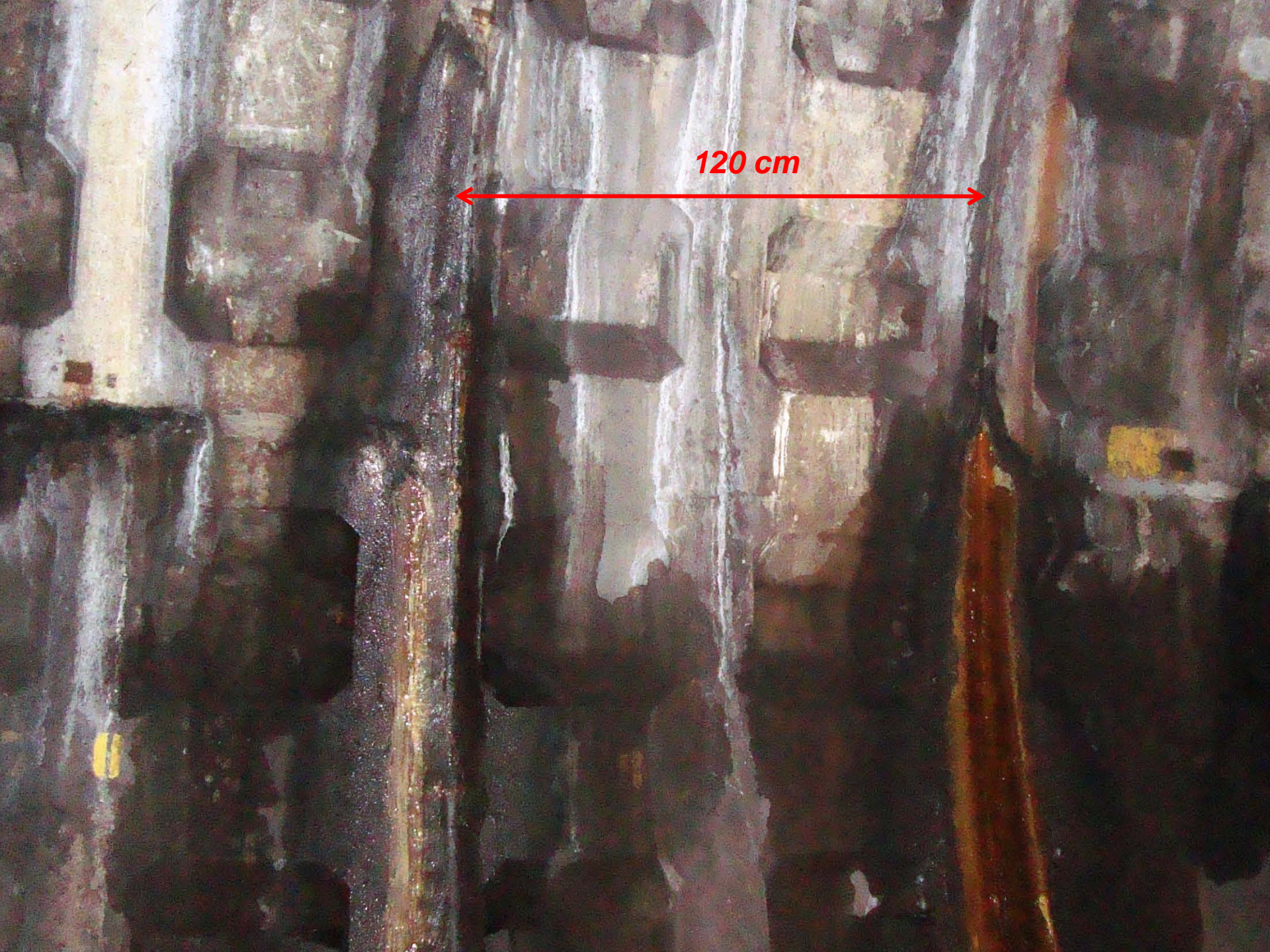
**3 ALTERNATIVAS PARA LA CORRECCIÓN**

# IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL

**1.** Las abundantes aguas que están actualmente presentes y circulando en el interior del túnel provienen de las filtraciones que, desde los acuíferos naturales presentes en los terrenos que alojan el túnel, se producen principalmente a través de las juntas existentes entre los anillos del revestimiento del túnel, y solo accesoriamente a través de las juntas existentes entre los segmentos que componen cada anillo y a través de los agujeros de los pernos de ensamblaje de los segmentos y de los anillos.

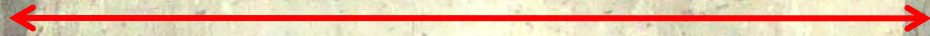
**2.** Las aguas que filtran desde la porción a la vista del perímetro del revestimiento del túnel, en parte gotean o escurren libremente mientras en su mayor parte están captadas, entubadas y finalmente canalizadas hasta las cunetas de drenaje presentes lateralmente en la losa de la plataforma de vía, las cuales descargan finalmente en la cuneta de drenaje central a la misma losa que las lleva al punto bajo del tramo (progresiva 22+800) desde donde son bombeadas y evacuadas.





120 cm

120 cm



856

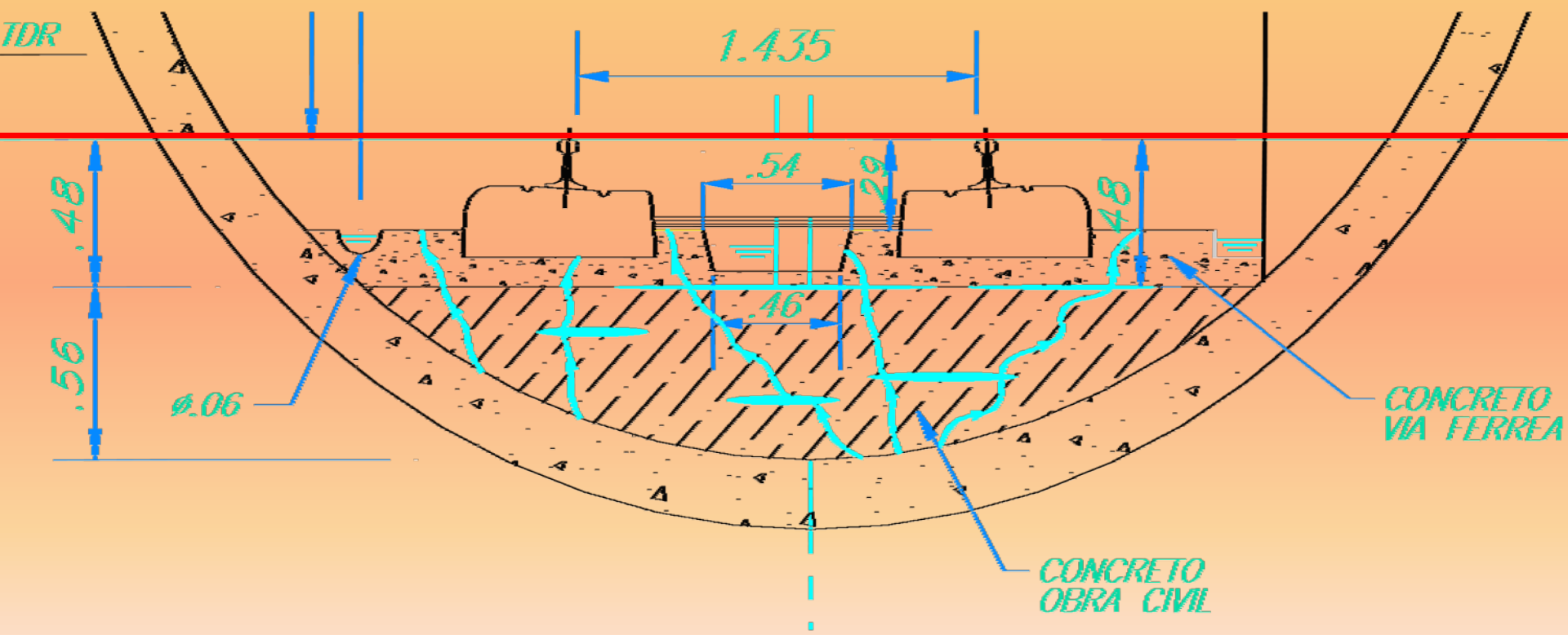
856







# IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL



# IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL

**3.** Las aguas que en cambio se infiltran desde las juntas entre anillos que se encuentran en la porción del perímetro del revestimiento que no está a la vista por estar cubierta por la losa de fondo, no encuentran ningún desahogo o drenaje predispuesto y en consecuencia presionan hasta encontrar o hasta abrirse algún recorrido aleatorio que, ofreciendo menor resistencia a través del concreto de la losa de fondo y luego, a través de la losa de vía, las lleve en unos casos hasta la superficie de la plataforma perforando ambas losas.

**4.** En otros casos en cambio, las aguas infiltradas se mantienen escurriendo sobre el plano de contacto entre las losas o sobre el plano de una espesa discontinuidad que se ha detectado existir a menudo dentro de la misma losa estructural, entre su estrato más superficial espeso entre 10 y 20 cm generalmente muy deteriorado y su remanente porción inferior, en coincidencia con la presencia de vestigios oxidados de una malla electro-soldada.

# IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL

**5.** La referida porción del perímetro del túnel tapada por la losa de fondo representa cerca de un cuarto de los aproximadamente 16 metros totales y por lo tanto, ciertamente por lo menos un cuarto del total de las aguas que filtran hacia el interior del túnel lo hacen escurriendo o perforando el concreto de las losas de fondo y de vía.

**6.** El referido tránsito o escurrimiento de las aguas de filtración a través del concreto de las losas no ha sido directamente contrastado durante los más de 20 años de ejercicio y por lo tanto las vías de circulación que se hayan abierto siguiendo una distribución y unos recorridos aleatorios, se han progresivamente incrementado en número y en sección, debido a la socavación mecánica del efecto abrasivo ejercido por las partículas de suelos que se ha comprobado son en muchas ocasiones arrastradas por las aguas y debido al efecto químico de la disolución del carbonato de calcio provocada por las aguas de infiltración que se ha comprobado ser en muchas ocasiones altamente corrosivas.



# IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL

**7.** El efecto evidentemente más deletéreo que las infiltraciones están produciendo al momento, es el consecuente al deterioro y socavación de los contacto entre la losa de vía y la losa estructural de fondo que, alcanzando aleatoriamente importantes extensiones y distribuciones, ha sido el responsable de las fracturas y colapsos de la plataforma de vía, que se han manifestado en repetidas ocasiones a lo largo de los años, obligando a cada vez más frecuentes intervenciones de mantenimiento mayor y de alto impacto sobre el ejercicio.

**8.** Tal deterioro y socavación de la losa de fondo y del contacto entre la losa de vía y la losa estructural de fondo, en ocasiones está directamente ligado a la acción mecánica de las aguas que escurren, mientras en otras ocasiones, el deterioro químico-físico que ha sufrido el concreto de la losa estructural de fondo ha sido tal que la misma se ha parcialmente y localmente desagregado y asentado separándose en consecuencia, y a veces abundantemente, de la losa de vía.





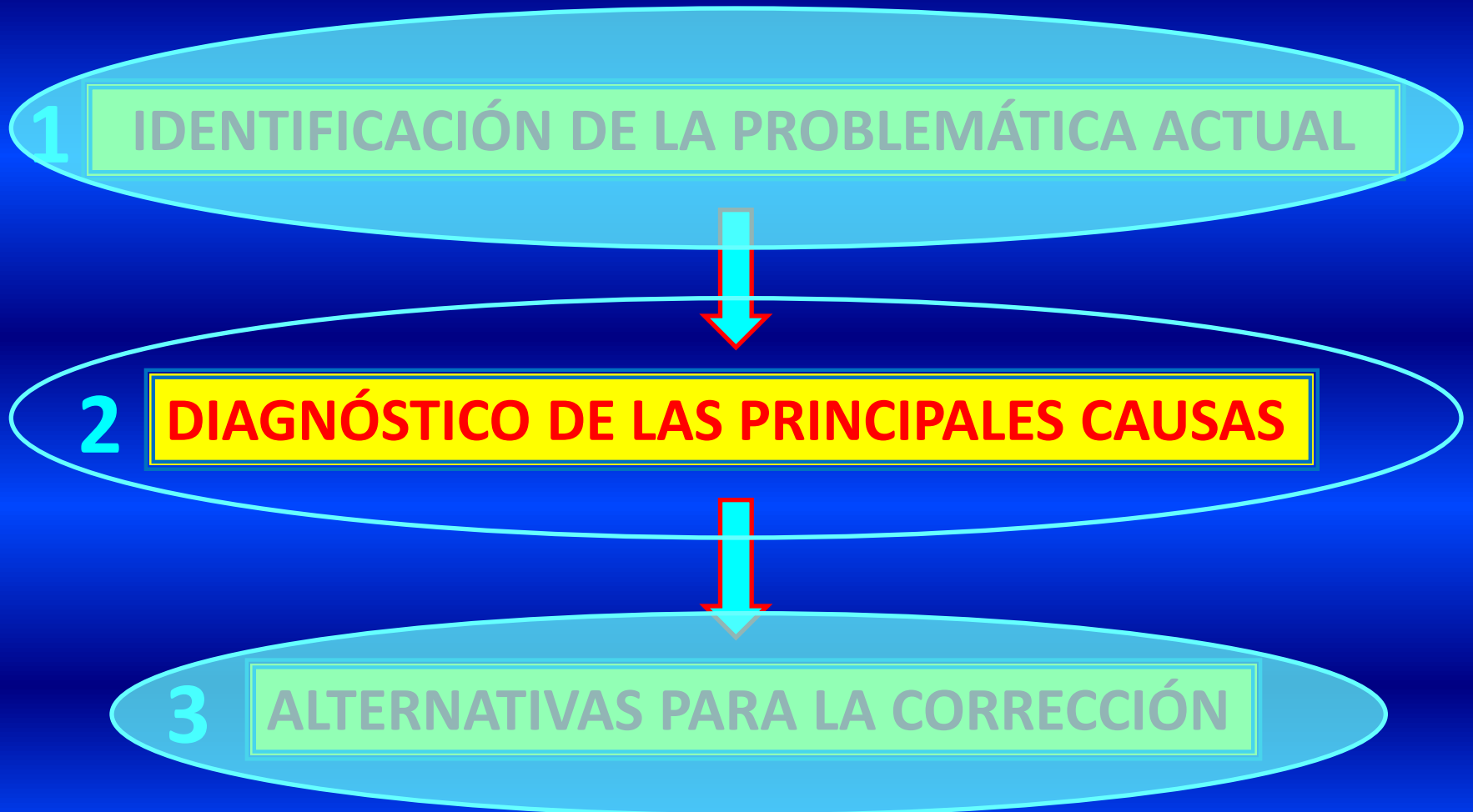


# IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL

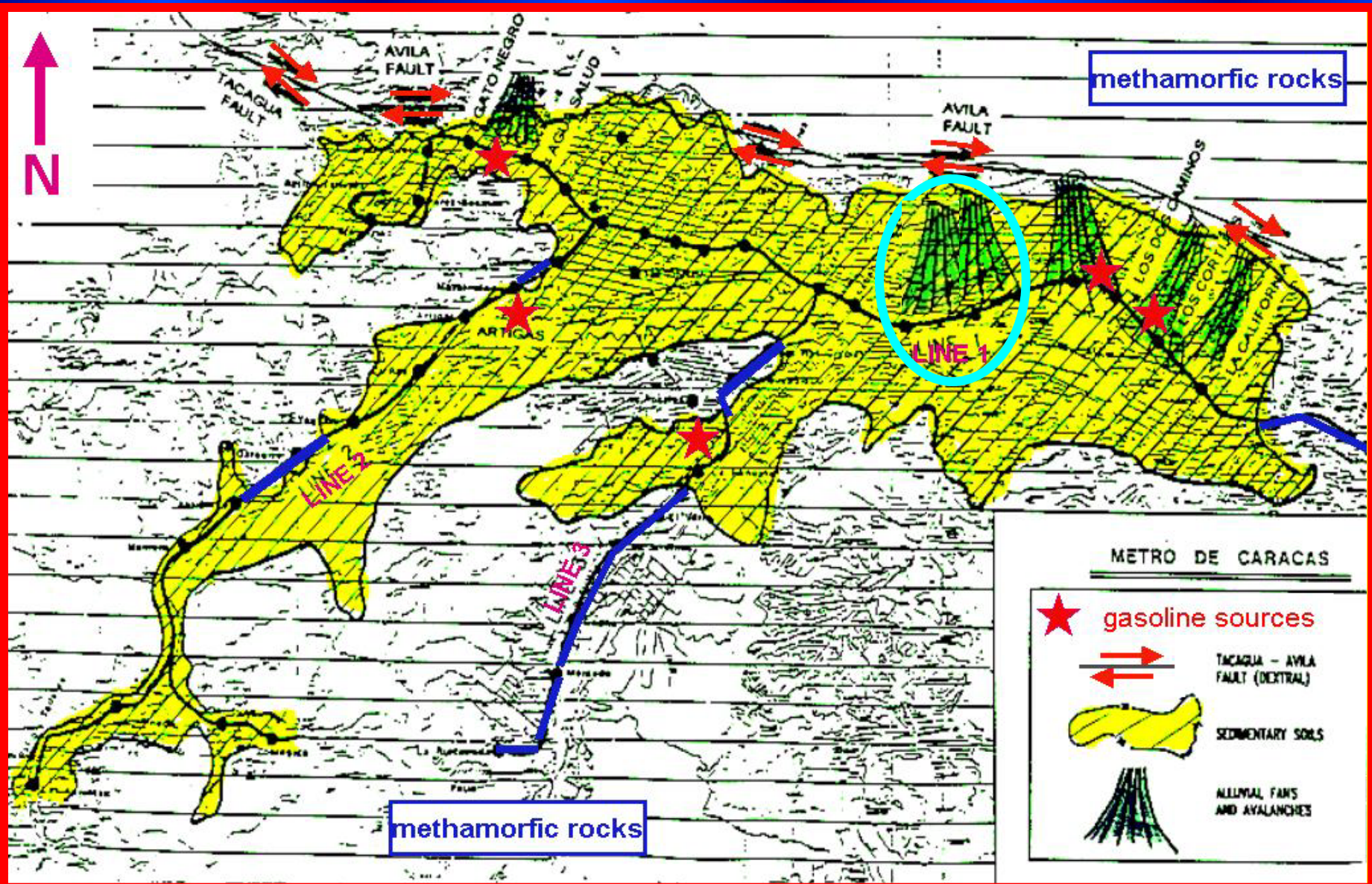
**9.** Espacialmente, las evidencias observables indican una aparente, aunque no exclusiva, concentración del problema en el sector del túnel aproximadamente comprendido entre el punto bajo del tramo (progresiva 22+800) y el sub-tramo de vía inmediatamente al Este del mismo, hacia Chacao, a largo de unos 400 metros lineales de túnel, comprendiendo las denominadas Curvas 30 y 31 con sus contigüidades.

**10.** Una campaña piloto de ensayos geofísicos no invasivos y no destructivos basados el uso del Radar (Ground Penetrating Radar-GPR) para verificar su posible utilidad en la investigación sistemática de las varias partes que conforman la estructuras del túnel, ha conducido a la desilusionante conclusión que los resultados de los registros obtenidos son relativamente poco claros y poco discriminatorios y sobre todo, lo que es lo más crítico, mediante la comprobación que se ha efectuado en campo, no se ha podido establecer una confiable aunque lábil correspondencia entre los resultados de los registros y las efectivas condiciones físicas de las estructuras registradas, evidenciándose por el contrario frecuentes y aleatorias contradicciones entre estos dos elementos.

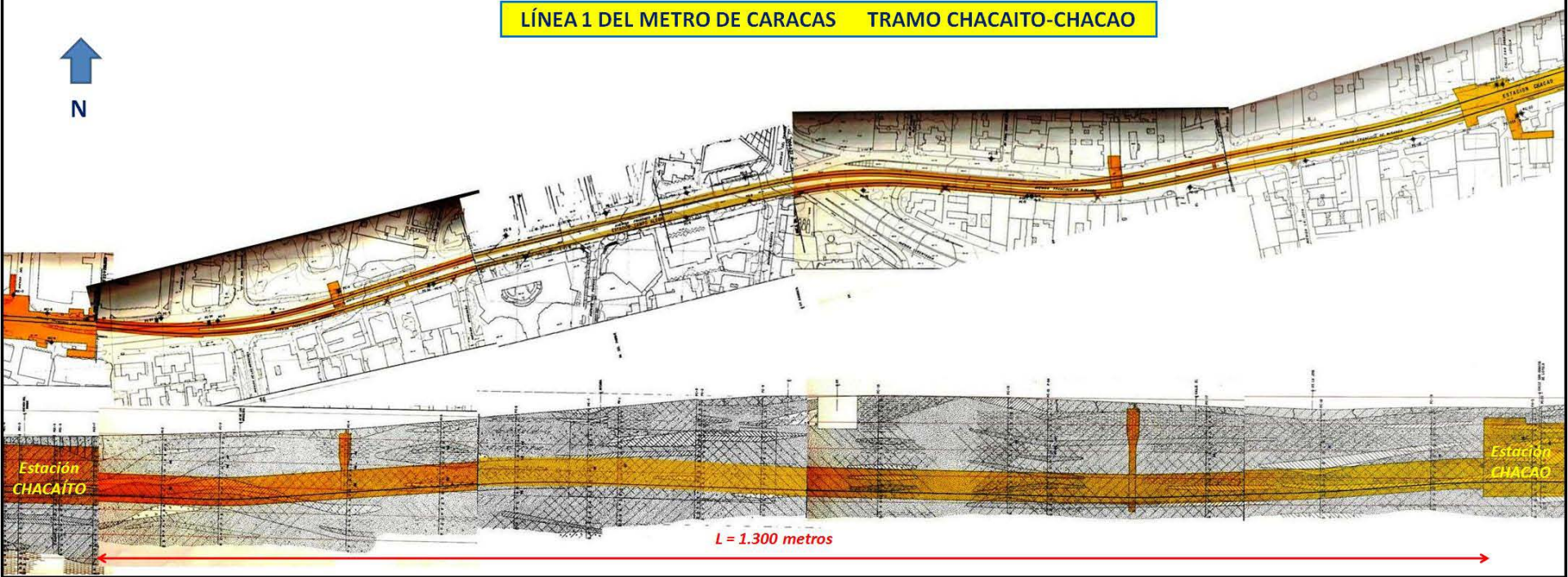
Identificación Diagnóstico y Corrección de la problemática de las aguas que filtran dentro del túnel Sur de la Línea I del Metro de Caracas entre las estaciones Chacaíto y Chacao



# Metro de Caracas - Geología



LÍNEA 1 DEL METRO DE CARACAS TRAMO CHACAITO-CHACAO



# DIAGNÓSTICO DE LAS PRINCIPALES CAUSAS

**i.** En cuanto a las causas primarias de las filtraciones objeto de este análisis, las mismas deben remontarse al parcialmente defectuoso y al mismo tiempo parcialmente inadecuado sistema de impermeabilización originalmente adoptado en el diseño y la construcción del revestimiento del túnel, el cual estuvo constituido por los sellos de goma colocados alrededor de cada uno de los segmentos que componen los anillos y por el conjunto de inyecciones primarias y secundarias reiteradamente ejecutadas para rellenar el espacio anular remanente entre los anillos del revestimiento y el perímetro del terreno excavado por la tuneladora.

**ii.** En efectos, independientemente de los defectos constructivos que ciertamente incidieron sobre el mal funcionamiento del referido sistema de impermeabilización, la concepción misma del sistema diseñado fue en buena parte incompatible con las objetivamente críticas condiciones geo-hidrológicas del tramo, en relación con el carácter localmente muy permeable del terreno y en relación con los aspectos hidro-estáticos y sobre todo hidro-dinámicos de las aguas subterráneas, elementos ambos cuyas criticidades fueron evidentemente sub-evaluadas y que en consecuencia contribuyeron de manera determinante al inmediato surgimiento y al sucesivo agravamiento del problema de las filtraciones.

# DIAGNÓSTICO DE LAS PRINCIPALES CAUSAS

**iii.** Por otro lado, sabiendo que la total estanqueidad de un túnel revestido con anillos de segmentos prefabricados de concreto es en la práctica algo casi inalcanzable, era imprescindible que el diseño de tales túneles hubiese previsto también la implementación de un eficiente sistema de drenaje de las aguas que finalmente y localmente hubiesen llegado a infiltrarse.

**iv.** Y efectivamente en el túnel en referencia se construyó un sistema de canaletas de drenaje dispuestas sobre la pasarela y luego dentro de la losa de concreto de la vía, pero este sistema fue evidentemente concebido para drenar solamente las aguas provenientes de aquellas filtraciones ubicadas en la porción expuesta del perímetro del túnel, o sea ubicadas en las paredes y bóveda del túnel, mas no de aquellas ubicadas en la porción del perímetro del túnel tapada por las losas de fondo y de vía, la cual porción sin embargo representa aproximadamente un cuarto del perímetro total de la sección del túnel.

# DIAGNÓSTICO DE LAS PRINCIPALES CAUSAS

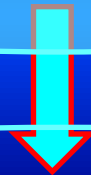
**V.** Lamentablemente son justamente aquellas aguas que, no observadas directamente ni contrastadas efectivamente e infiltrándose desde el piso de los anillos penetrando y a veces atravesando aleatoriamente e incontroladamente la losa estructural y eventualmente la de vía, las que ahora abundan y que son las responsables de los serios problemas de deterioro progresivo de ambas losas, obligando finalmente a costosas y cada vez más frecuentes y extensas intervenciones de mantenimiento mayor, las cuales además están destinadas a incrementarse exponencialmente en el tiempo debido al natural envejecimiento de las estructuras involucradas y al prolongado persistir de las acciones físico-químicas degradantes, todo lo cual lo cual indiscutiblemente favorece y acentúa el deterioro.

Identificación Diagnóstico y Corrección de la problemática de las aguas que filtran dentro del túnel Sur de la Línea I del Metro de Caracas entre las estaciones Chacaíto y Chacao

**1 IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL**



**2 DIAGNÓSTICO DE LAS PRINCIPALES CAUSAS**



**3 ALTERNATIVAS PARA LA CORRECCIÓN**



# ALTERNATIVAS PARA LA CORRECCIÓN

Premisa fundamental sobre la cual necesariamente se basa el diseño de los posibles correctivos a implementar para el caso general de las filtraciones en el túnel Sur del Tramo Chacao-Chacaíto y que se presentan a continuación, es poder contar para su implementación sobre una amplia disponibilidad de espacio y de tiempo, ya que los mismos no están destinados a ser implementados en situaciones de emergencia sobre sectores puntuales y muy cortos del túnel, circunstancias estas que impiden de hecho, así como ha ocurrido hasta ahora, poder atacar la causa del problema más próximamente a su raíz..

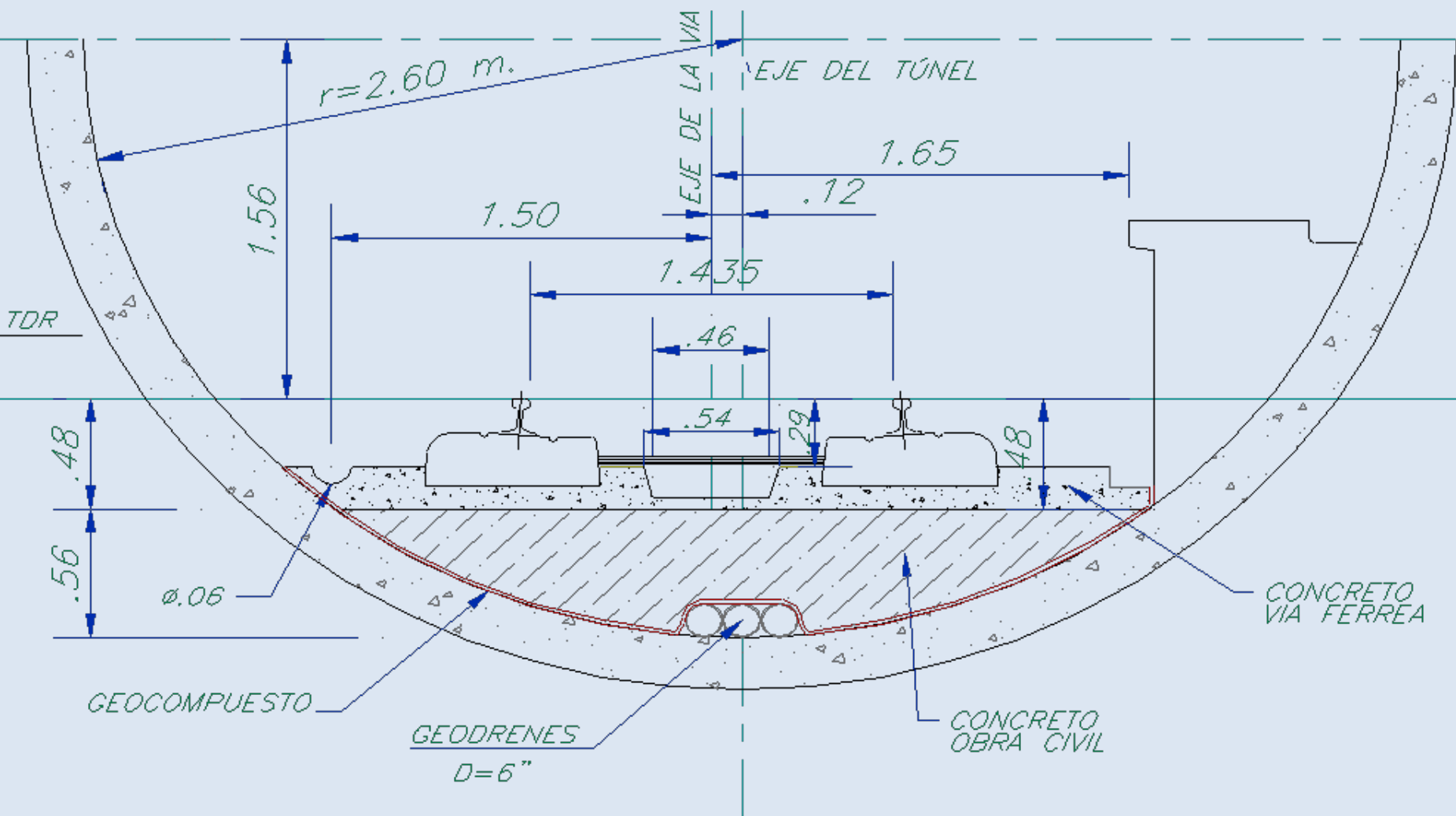
Otra premisa fundamental a considerar, es que la actual prioridad lo constituye la captación y el eficiente drenaje de las aguas que se infiltran desde la base de la losa estructural, ya que la abundancia volumétrica y la gran difusión alcanzadas a lo largo del túnel por estas infiltraciones están destinadas a incrementarse con el pasar del tiempo, agravando en consecuencia el problema del mantenimiento en seguridad de las operaciones, obligando a cada vez más frecuentes e impactantes intervenciones de emergencia.

# Alternativa N° 1 PARA LA CORRECCIÓN

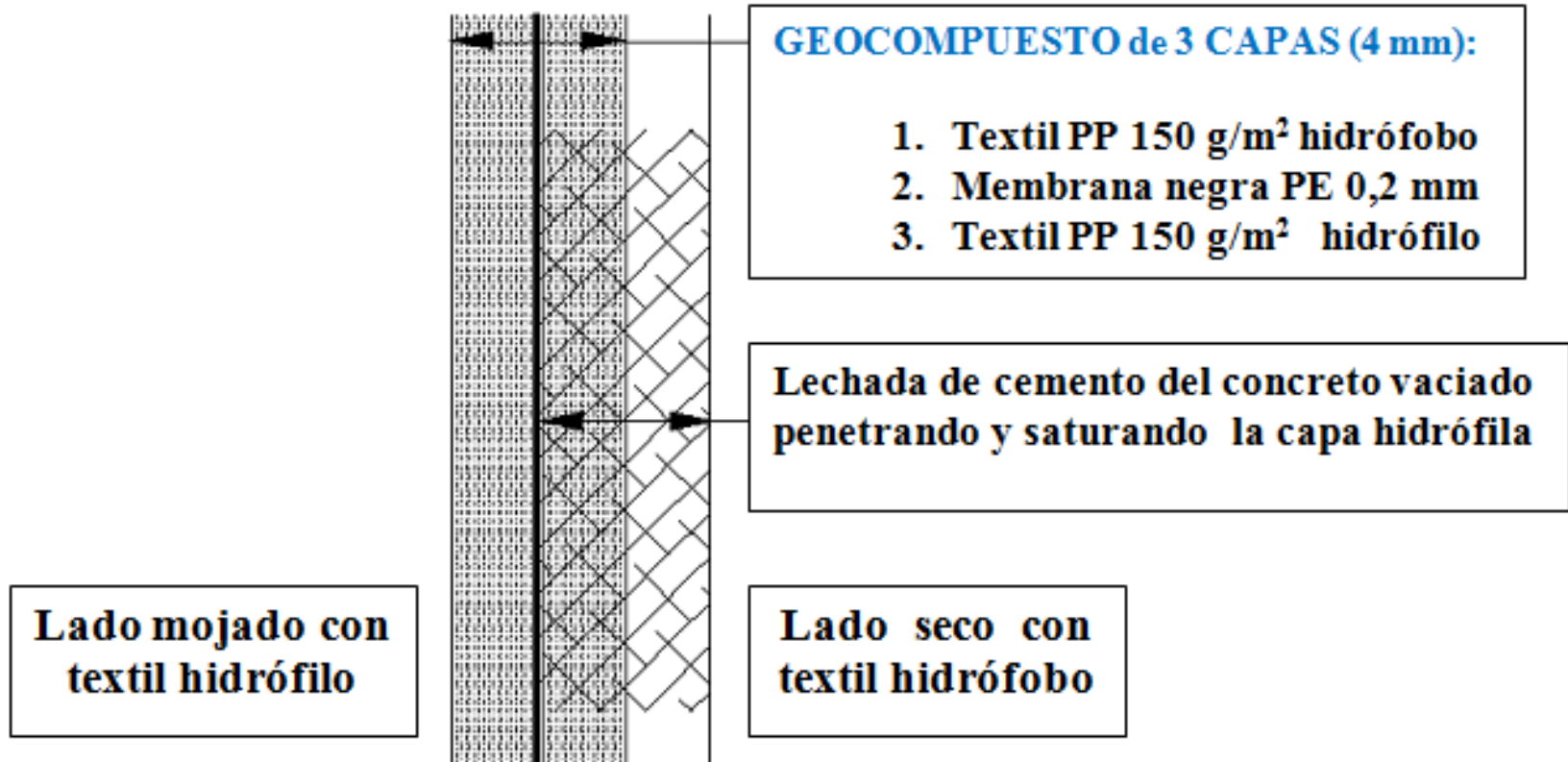
Para poder resolver de manera permanente el problema de las filtraciones de agua dentro del túnel, deberían corregirse sus causas a la raíz, o sea debería impedirse a las aguas de entrar en el túnel, por lo menos a aquellas aguas que actualmente se infiltran desde las juntas entre anillos tapeadas por las losas de vía y estructural de fondo y que a veces surgen hasta el contacto entre las losas o hasta la misma superficie, después de abrirse recorridos imprevisibles y aleatoriamente distribuidos y extendidos, pero ciertamente difundidos y amplios lo suficiente a producir finalmente el deterioro de la misma losa estructural de fondo y la consecuente rotura de la losa de vía, comprometiendo la integridad de la vía férrea necesaria al ejercicio seguro.

Desafortunadamente, la posible segura solución de la referida raíz del problema, además de pasar necesariamente por la temporal eliminación de las losas de vía y de fondo para poner al descubierto las juntas entre anillo desde las cuales se están infiltrando las aguas, requiere de un trabajo minucioso sistemático y lento, basado en el sellado de todas y cada una de las referidas juntas, por intermedio de inyecciones que hoy en día se pueden llevar a cabo con una buena dosis de éxito, gracias a las nuevas tecnologías y a los nuevos productos actualmente disponibles para tal fin.

# Alternativa N° 2 PARA LA CORRECCIÓN



# Alternativa N° 2 PARA LA CORRECCIÓN



*Geotextile sheet for drainage and control of active water flow from substrate  
Composite system: Drainage can be installed part- or full surface as needed*

## Alternativa N° 2 PARA LA CORRECCIÓN

El principio a seguir es que las aguas que se infiltran desde las juntas entre anillos, ubicadas en correspondencia de la porción de base de los mismos anillos que se encuentra tapeada por las losas, deben ser de inmediato captadas y drenadas, para así impedir su circulación, por ser esta circulación la responsable de alterar y socavar la losa de fondo y de permitir a las aguas alcanzar y erosionar el contacto con la losa de vía, hasta eventualmente surgir en la misma superficie de la plataforma de vía.

Este objetivo se alcanza colocando un filtro asociado a un sub-dren, justo en el contacto entre el anillo y la losa de fondo, lo cual evidentemente implica la eliminación temporal de la misma y su sucesiva reposición.

El filtro en cuestión está constituido por un geo-compuesto que presenta la peculiaridad de ser permeable o hidrófilo desde una cara (la cara inferior que debe quedar a contacto con el intradós de los anillos) e impermeable o hidrófobo desde la otra cara (la cara superior sobre la cual se vaciará la losa de fondo). El sub-dren en cuestión es un geodren constituido por uno, dos, o más tubos PVC ranurados y revestidos con geotextil, ofreciendo una sección drenante que se incrementa gradualmente a lo largo del túnel hacia el punto bajo de recolección y bombeo de las aguas.

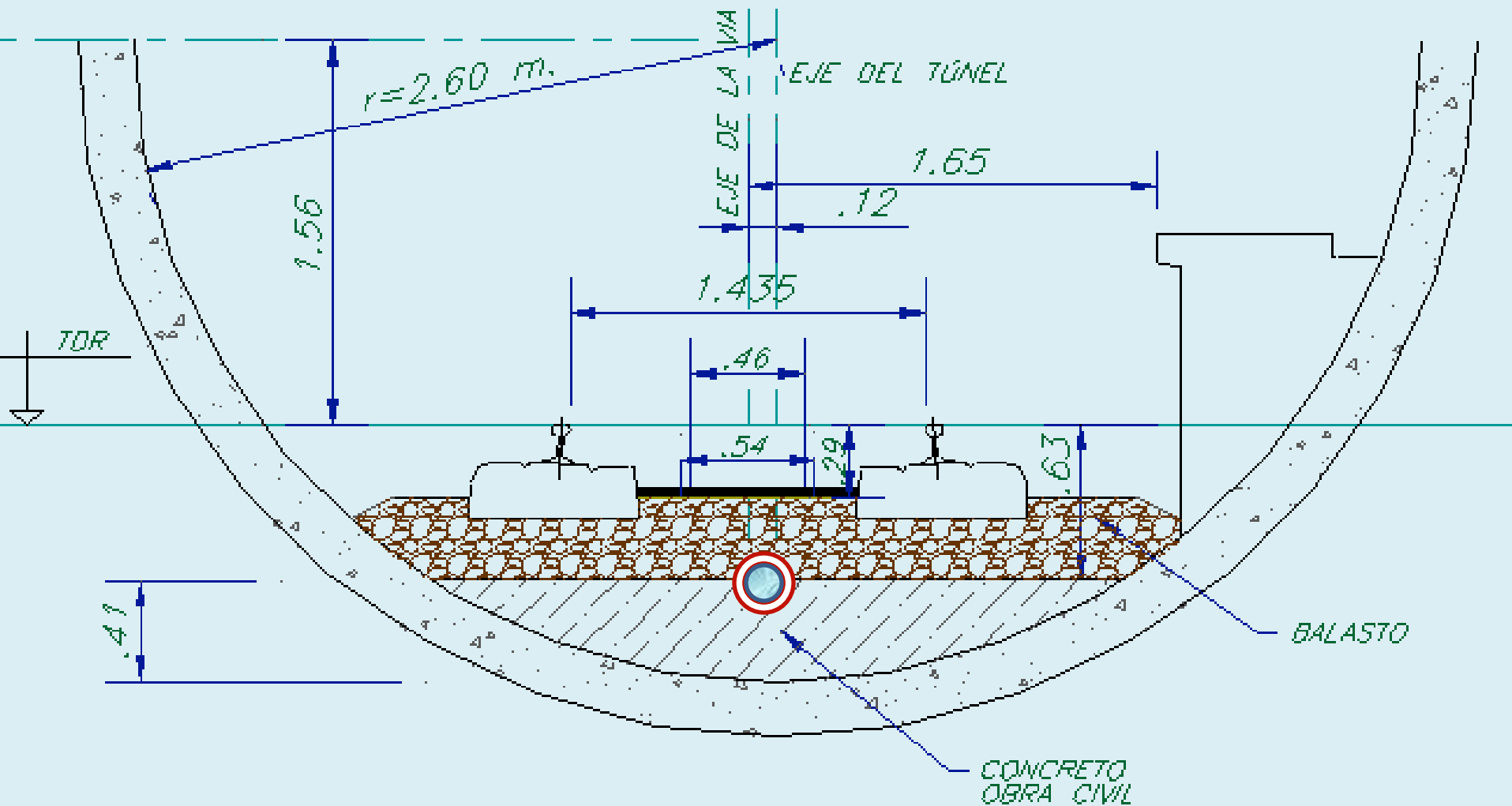
## Alternativa N° 2 PARA LA CORRECCIÓN

Considerando que el sub-dren a colocar debe llevar las aguas hasta un punto de recogida y bombeo, es en principio necesario que el sector a intervenir con tal correctivo sea relativamente extenso y que preferiblemente esté finalmente conectado con el punto bajo ya existente de concentración de las aguas del entero tramo de túnel.

Dentro de un plan concebido a la solución integral del problema basado en la solución propuesta, deberían programarse intervenciones sistemáticas sobre tramos de túnel de suficiente longitud ubicados consecutivamente hacia ambos lados a partir desde la progresiva central del punto bajo (22+800), para así poderlos sucesivamente y sistemáticamente incorporar al sistema de sub-drenaje previsto a colocar en la base de la losa estructural de fondo.

Si hubiese la necesidad de intervenir un sector de túnel aislado y no contiguo al descrito sistema de sub-drenaje, deberán temporalmente recogerse las aguas acumuladas y drenadas hacia el extremo bajo del sector intervenido para temporalmente bombearlas para verterlas en la canal de drenaje superficial, hasta tanto se llegue a establecer para el tramo específico, la referida continuidad del sistema de sub-drenaje previsto.

# Alternativa N° 3 PARA LA CORRECCIÓN



## Alternativa N° 3 PARA LA CORRECCIÓN

Para los casos en que el correctivo descrito en la alternativa anterior no quiera o no pueda ser implementado, bien para evitar demoler completamente la losa de fondo o bien por no disponerse del necesario punto de recogida y bombeo de las aguas drenadas, entonces otros posibles correctivos podrían prever la sustitución de la losa de vía con balasto.

Con tal sustitución obviamente se estaría introduciendo un sustancial cambio operacional del sistema férreo, con toda la serie de problemáticas que tal cambio implicaría. Pero el balasto, a diferencia de la losa de concreto, no estaría expuesto a todos los descritos graves inconvenientes ligados a la presencia y circulación de las aguas de infiltración, y por lo tanto no sería imprescindible implementar el sistema de sub-drenaje descrito para la anterior alternativa y en consecuencia no sería necesaria la integral demolición y reconstrucción de la losa estructural de fondo.

Solamente se deberían eliminar, además de la losa de vía, algunos pocos centímetros (15) del espesor más superficial de la losa estructural, los cuales por lo general son los que resultan estar mayormente deteriorados.