



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO.

FACULTAD DE INGENIERÍA.

“SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL
TÚNEL CONVENCIONAL CORRESPONDIENTE AL TRAMO COLA DE MANIOBRAS
Y DEPOSITO MIXCOAC DE LA LINEA 12 DEL METRO.”

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL.

PRESENTA

GARCÍA TREJO RAÚL



TUTOR

M.I. SERGIO MACUIL ROBLES

MÉXICO D.F. 2013.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/192/12

Señor
GARCÍA TREJO RAÚL
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M.I. SERGIO MACUIL ROBLES**, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción **I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional"**, para obtener su título de **INGENIERO CIVIL**.

"SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL CONVENCIONAL CORRESPONDIENTE AL TRAMO COLA DE MANIOBRAS Y DEPÓSITO MIXCOAC DE LA LÍNEA 12 DEL METRO"

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO LÍNEA 12 DEL METRO
- III. CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL CONVENCIONAL COLA Y NAVE DE DEPÓSITO MIXCOAC
- IV. INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA EN EL TÚNEL CONVENCIONAL
- V. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
- VI. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 1 de marzo del 2013.
EL PRESIDENTE DEL COMITÉ.


M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JTS/MTH.rvm

DEDICATORIA.

A mi esposa e hijo

A mis padres, hermanos y familia.

A mis profesores y amigos

Al departamento de instrumentación del proyecto Línea 12

Agradecimientos.

En primera instancia y de manera muy particular, quiero agradecer a mi **esposa e hijo**, Susana Iriarte y David Mateo quienes aparte de ser mis dos amores, me apoyaron en todo momento para llevar a buen término este ciclo de mi vida.

A mis **padres** Felipe García y Cosme Trejo, **hermanos** Ana García y Cesar Castillo por haberme cuidado, educado y orientado para ser un hombre de bien para la sociedad, estaré siempre agradecido.

A mis **tíos** José Cruz García y Esther Falcón, a mis **primos** Edmundo, Karina, Heidi, Deisy; por apoyarme, orientarme y motivarme para poder terminar la carrera.

También quiero agradecer a alguien muy especial, al señor Liborio Iriarte quien me ha apoyado y dado consejos que me han ayudado a cambiar, además de compartir conmigo sus experiencias.

A mis **amigos de la Facultad de Ingeniería** José Antonio Ibarra, Enrique Rendón, Ángel Soriano, quienes me ayudaron en todo momento durante clases, además de darme su amistad incondicional dentro y fuera de la facultad

A mis **amigos del trabajo** Julio Terán, Heriberto Anastasio, Víctor Jiménez, Jaime Sánchez, José Luis Pérez, Oscar Díaz, Marco Álvarez, Jesús Garnica, Luis León, además de la señora Bernarda de la Rosa y sus hijos, Rosa María Medel, Luis Manuel, Josué y Abraham Mejía, quienes me han apoyado en los momentos más importantes y sobre todo me han demostrado su fiel amistad.

A los Ing. Jesús Morelos, Ing. Claudia Gómez y al Ing. Oscar Aguilar, por ser en su momento, los primeros en creer en mí y darme la oportunidad de aprender y crecer en el ámbito profesional, estaré siempre agradecido.

Al departamento de instrumentación de Línea 12 por darme la oportunidad de pertenecer a este proyecto que me ha dado muchas satisfacciones profesionales, además de apoyarme y aprender diferentes procesos constructivos.

Por último quedare muy agradecido al M.I. Sergio Macuil Robles que además de ser mi profesor de último semestre de carrera, fue el vínculo para obtener mi primer empleo dentro de ICA, además de darme el honor de ser mi tutor de tesis para este tema.

Y sobre todo a nuestra Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme dado las herramientas para mi formación como ingeniero civil con valor, responsabilidad y ética, durante mi vida profesional.

TEMA: “SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL CONVENCIONAL CORRESPONDIENTE AL TRAMO COLA DE MANIOBRAS Y DEPOSITO MIXCOAC DE LA LINEA 12 DEL METRO.”

OBJETIVO. DESCRIBIR EL TIPO DE INSTRUMENTACIÓN UTILIZADO Y LA FRECUENCIA DE LECTURAS, DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL CONVENCIONAL.

INTRODUCCIÓN.....	6
CAPITULO I ANTECEDENTES.....	8
1.1 Clasificación de Túneles.....	19
1.2 Criterios para Diseño de Túneles.	21
1.3 Instrumentación	22
1.4 Tipos de instrumentación.	22
1.5 Importancia de la instrumentación.....	27
CAPITULO II DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO LINEA 12 DEL METRO.....	29
2.1 Características Físicas y Operativas.	33
2.2 Estructura Organizacional del Consorcio.	34
2.3 Factores o Variables por Resolver.....	35
CAPITULO III CONSTRUCCION DE TUNEL DE TIPO CONVENCIONAL, PERTENECIENTE AL TRAMO COLA Y NAVE DEPOSITO MIXCOAC.....	41
3.1 Excavación y Construcción de Lumbreras.	42
3.2 Excavación y Construcción de Túnel Convencional.....	48
3.3 Zonas criticas durante la construcción.	52

CAPÍTULO IV INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA EN EL TÚNEL CONVENCIONAL	59
4.1 Referencias superficiales.....	60
4.2 Instrumentación al interior del túnel	73
4.3 Extensómetro de Barras.....	77
CAPÍTULO V ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	87
CAPITULO VI CONCLUSIONES.	95
ANEXOS.....	98
BIBLIOGRAFÍA.....	99

INTRODUCCIÓN

La construcción de obras subterráneas en la Ciudad de México es un reto muy grande, debido a la complejidad del suelo que como todos sabemos antes era un lago, sin embargo la ingeniería mexicana ha logrado resolver estos problemas y con ello tener estructuras que se comporten de manera satisfactoria durante y después de su construcción. Un ejemplo es la construcción del “imposible metro” de la Ciudad de México, algunos le llamaban así debido a que está construido en suelo muy complejos, y en su tiempo creían imposible el poder construir una obra de esta envergadura, sin embargo con el paso de los años se ha comportado de manera muy satisfactoria durante su vida operativa.

Una de las tantas preguntas que entraría en este tema, es ¿Cómo podemos tener la certeza de que estas estructuras se están comportando satisfactoriamente?; y la respuesta a esta pregunta la cual considero adecuada es mediante el uso de la ***instrumentación geotécnica y estructural***; esta rama nos permite estudiar el comportamiento tanto de las estructuras aledañas como la propia en construcción obra por medio de gráficas de comportamiento, con la medición de parámetros en sitio y con ellos predecir el comportamiento de dichas estructuras y su influencia en las edificaciones aledañas, además de ayudar a optimizar diseños para futuros proyectos y apoyar la ingeniería de campo.

Es por ello que en la construcción de la Línea 12 del metro o también llamada “Línea dorada” fue una de las obras más grandes de los últimos años y la cual nos dio muchas experiencias que aprender en todas las ramas. Debido a la magnitud de esta obra, hubo la necesidad de tener un control muy específico de las estructuras, es por eso que se creó una nueva área, el departamento de instrumentación y control, el cual se encargó de llevar a cabo esta gran labor, además de interactuar con diversas áreas de ingeniería tanto de diseño como de obra, por lo cual en la presente tesis, se muestra un caso específico de la instrumentación utilizada en el tramo de túnel convencional de dicha Línea, el cual pertenece al tramo “Cola de Maniobras y deposito Mixcoac”.

Por lo cual en el capítulo I se presenta un breve resumen en cuanto a la construcción de túneles, además de los tipos de instrumentación, en el capítulo II se hace una descripción del Proyecto metro Línea 12 y los problemas durante su construcción, en el capítulo III y IV se presenta una pequeña reseña de la construcción de dicho tramo y la

instrumentación utilizada respectivamente. Y por ultimo en el capitulo V se hace la interpretación de los resultados obtenidos en campo, además de las conclusiones y anexos los cuales ayudaran a complementar la interpretación de los resultados.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

I. ANTECEDENTES.

Los túneles a través de la historia.

El túnel arranca de la necesidad de superar un obstáculo natural, generalmente un macizo montañoso, pero además de la montaña existen otras barreras que se pueden salvar mediante túneles como los cursos de agua, fluviales o marinos, y las zonas urbanas densamente edificadas en las que a menudo se incorporan túneles.

Entre los usos más frecuentes pueden enumerarse los túneles para vehículos, para redes de ferrocarril urbano o Metros, para uso peatonal, para abastecimiento de agua, saneamiento, galerías de servicio y para almacenamiento de residuos.

Si bien el túnel en sentido estricto se caracteriza por su marcado carácter lineal, aquí se considerará, por extensión, el termino túnel en un sentido amplio, no sólo como obra lineal sino como espacio subterráneo que incluye desde la caverna, la cueva natural hasta amplios recintos subterráneos transitables dentro de lo que podría englobarse como urbanismo y espacio subterráneo; en suma, el túnel como obra de tránsito y también como hábitat.

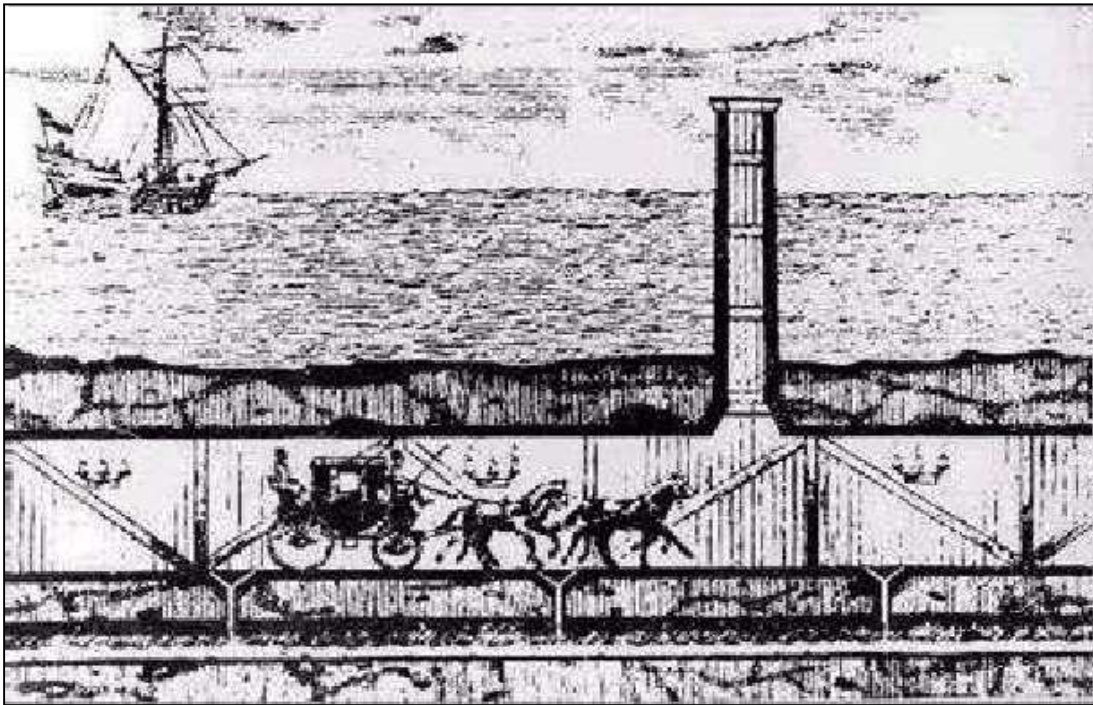


Figura No. 1 Imagen ficticia del túnel ideado por Thomé de Garamond bajo las aguas del Canal de la Mancha (Proyecto presentado en 1867 en la Exposición Universal)

El túnel en la historia de los pueblos.

El arte de los túneles se funde en sus orígenes con el arte de la minería. La **mina más antigua** que se conoce en el mundo se localiza en el cerro de Bomvu, en Swazilandia, y data del **año 40.000 a.C.**; en ella el hombre de Neandertal minaba hematites, *pedra de sangre*, muy apreciada para ritos mortuorios; las herramientas no eran otras que piedras afiladas y sus manos desnudas.

El **primer método de perforación** de galerías mineras y, con posterioridad, de túneles es la **Técnica del fuego**, consistente en provocar un incendio en el frente de ataque para luego sofocarlo bruscamente con agua fría produciendo un brusco gradiente térmico queda lugar al resquebrajamiento de la roca; pero esta técnica también provoca, como no es difícil imaginar, una atmósfera viciada, irrespirable, generando gases a menudo venenosos, convirtiendo el trabajo del minero en una trampa mortal a la que sólo unos pocos afortunados sobreviven.

El **primer túnel de la historia**, allá donde ésta se difumina con el territorio del mito, fue el que la leyenda dice mandara construir **Semiramis** bajo el Éufrates para comunicar el Palacio y el Templo de Belos en la Babilonia del 2200 a.C... A este formidable trabajo se refieren entre otros los historiadores Diodoro de Sicilia, Herodotoy Estrabón. En realidad, se trataba de un falso túnel, por cuanto no se perforó en galeríasino mediante zanja a cielo abierto y posteriormente recubierta, para lo cual se desviaron las aguas del Éufrates aprovechando el período de estiaje.

El siguiente túnel construido bajo el cauce de un río se perforó cuatro mil años después de aquel de Babilonia, obra de los Brunel padre e hijo quienes tras veinte años de lucha denodada y arrojo lograron dominar las furiosas aguas del río Támesis que se resistía a ver perforado su lecho.

A lo largo de la historia y en el seno de distintas culturas se han proyectado y construido túneles con distintos motivos. Así, tanto en el **antiguo Egipto**, como en las **culturas orientales**, el túnel ha tenido un marcado carácter religioso. Mientras que en zonas como las **Tierras de Canaán** (siglo X a.C.) el propósito no es místico o religioso sino ingenieril, hidráulico. Tenían como fin el abastecimiento a las ciudades y la captación de aguas. ¿Por

qué bajo tierra?, por varios motivos. El más poderoso de ellos, sin duda, evitar que un bien tanpreciado como el agua (muy escaso por aquellas regiones) se evaporara como consecuencia de las altas temperaturas que se alcanzaban.

Pero siguiendo con los principales hitos de la historia de los túneles merece especial referencia el de la **Isla de Samos**, de un kilómetro de longitud y primero del que se tiene noticia del ingeniero que lo construyó, **Eupalinos de Megara**, hijo de Naustrofo. Esta obra construida hacia el 530 a.C., servía para el abastecimiento de agua a la capital de la isla. Estuvo en funcionamiento durante un milenio y fue considerada como una de las tres maravillas del Mundo Heleno.

También merece especial atención la época del **Imperio Romano**. Los romanos construyeron túneles con muy diversos propósitos: galerías mineras, túneles para abastecimiento de agua, para alcantarillado, para el drenaje de lagos volcánicos(emisario de Fucino con 5500 m de longitud), en las calzadas romanas (como el túnel de Pausilippo, cerca de Nápoles, con sus 1500 m de longitud), sin olvidar los túneles de propósito militar y las catacumbas.

En la **Edad Media**, los túneles pierden esa potencia como obras vigorosas de ingeniería civil y derivan en galerías y pasadizos en castillos y fortalezas, obras menores. Durante este periodo, la minería se robustece y consolida, fundamentalmente en Centro Europa, surgiendo al filo del Renacimiento la obra maestra de la minería, *De Re Metallica* de **Georgius Agrícola** publicada en el S. XVI. Dicha obra recoge con minuciosidad en su texto y en sus grabados las prácticas y técnicas mineras, siendo un libro básico de consulta durante los dos siglos siguientes a su publicación.



Figura No. 2 Grabado extraído de la obra de *De Re Metallica* del autor alemán Georgius Agricola. Ésta, sirvió de referencia como manual de consulta durante los S.XVI-XVII

El **Renacimiento** marca el resurgir del hombre así como el de los túneles tras el letargo de la época medieval. Leonardo da Vinci concibe niveles subterráneos en sus proyectos de ciudades y piensa en la posibilidad de perforar túneles allá donde los canales se encuentran con barreras montañosas.

El primer túnel del Renacimiento es la **Mina de Daroca** en la provincia de Teruel. Cuenta con 600 m de longitud, 6 m de anchura y una altura variable entre los 7 y 8 m. Fue construido entre 1555 y 1570 por Pierres Bedel para reconducir y desviar las aguas torrenciales que venían castigando la villa aragonesa.



Figura No. 3 Imágenes de la antigua Mina de Daroca

Pero es en el siglo XVIII cuando surge la **Era de los Canales** y dentro de ella los túneles comienzan a adquirir peso propio: el **túnel de Malpas**, cerca de Beziers en el **Canal de Midi** para la unión de los dos mares (Atlántico y Mediterráneo), obra portentosa que impulsa Colbert bajo el reinado del Rey Sol (Luis XIV) es el primer túnel para canal. Este túnel, de 155 m de longitud, 6,5 m de altura y 8 de anchura, fue perforado por Pierre-Paul Riquet, empleando la pólvora por primera vez. Así comienza la era de los túneles para canales: tras él muchos túneles se construirán en las siguientes décadas destacando los túneles ingleses para canal, muchos de ellos obra de ese prodigioso ingeniero que se llamó James Brindley.

La experiencia adquirida con la construcción de túneles para canal resultaría valiosísima en el periodo siguiente, ya superado en el corazón de Europa el umbral de la Revolución Industrial, la **Era de los Ferrocarriles**.

En la historia de los Ferrocarriles, que se desarrolla a partir del siglo XIX, los túneles tuvieron gran auge; en la historia de los túneles de ferrocarril se agolpan grandes hazañas en una denotada lucha del hombre por dominar el arte de perforar la tierra; incorporando progresivamente maquinaria y procedimientos constructivos a partir de los cuales el esfuerzo manual va cediendo en pro de una incipiente mecanización. En el siglo XVI existía ya el transporte por carriles cuya infraestructura estaba construida de madera y se utilizaba para mover por ella vagones en las minas. Los avances técnicos del siglo XIX, que surgen gracias a la Revolución Industrial hacen que aparezcan los ferrocarriles. En 1803 se abrió el primer ferrocarril tirado por caballos del mundo en Surrey, Inglaterra. Así, los railes de hierro se extendieron al transporte de mercancías y viajeros. Con las primeras locomotoras de vapor el desarrollo del tren estaba decidido. En 1825 se inauguró el primer tren traccionado por una locomotora de vapor creada por Stephenson.

El **primer túnel de ferrocarril** fue el de Terre-Noir en Francia, de la línea Roanne-Andrezieux, camino de carriles traccionado por caballos, construido por caballos, construido en 1826, con 1476 m de longitud, 5 m de altura y cerca de 3m de anchura.

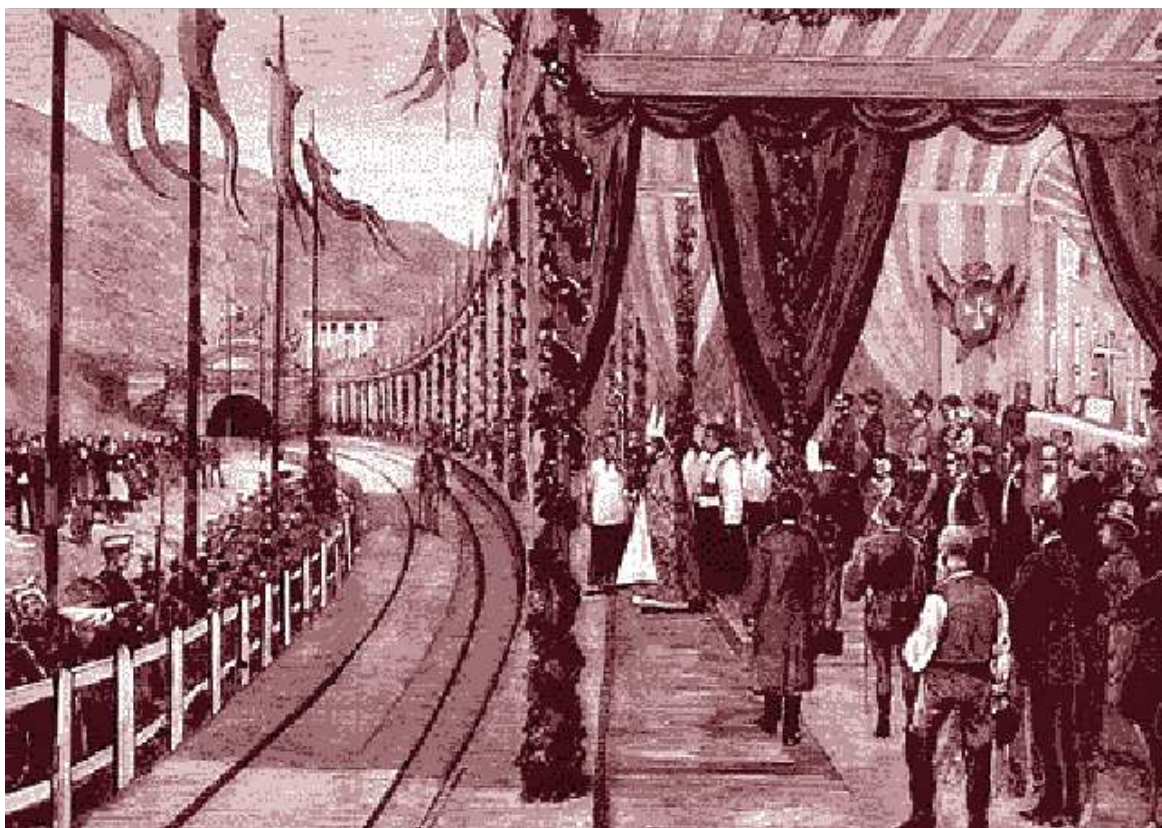


Figura No. 4 Imagen correspondiente a la bendición de los rieles de la vía del túnel de Peruca en León (1884)

Los ferrocarriles de vapor, que comenzaron en Gran Bretaña, se multiplicaron de forma importante entre los años 1830 y 1845. El ferrocarril de Liverpool a Manchester, obra de Isambard Kingdom Brunel fue el primero; dicha línea atravesaba la montaña por dos túneles, uno de 4.8 km y otro de 1.6 km.

Durante este período también tiene lugar la gesta de la perforación del primer túnel bajo el Támesis entre Rotherhithe y Wapping, el primero que se construye en terreno blando y con enorme presencia de agua y en el que por primera vez se aplica la técnica del **Escudo** que patentase **Marc Brunel**. Cuando la Reina Victoria inaugura el túnel en marzo de 1843 han transcurrido casi veinte años de brutal lucha contra las inundaciones del Támesis (en cinco ocasiones), contra la quiebra financiera, contra ese gran agujero del que casi todos recelaban pero que los Brunel superaron enfrentándose a todas las dificultades con arrojo y valentía sin límites.



Figura No. 5 Ala izquierda una imagen de época del túnel construido bajo las aguas del río Támesis y a la derecha otra del escudo utilizado y patentado por Brunel para este mismo proyecto (1843).

En un principio, la construcción de un ferrocarril era considerada como empresa de colosos, pero conforme los progresos se iban consolidando, los ferrocarriles se construían con relativa facilidad y economía, desarrollándose en todo el mundo como un gran modo de transporte terrestre. Ello llevó a una revolución en el transporte en todo el mundo y a un cambio trascendental en el estilo de vida.

Ya en la segunda mitad del siglo XIX se produce un avance impresionante con la construcción de los grandes túneles alpinos de ferrocarril. Los nombres de Mont Cenis, San Gotardo y Simplón constituyen la triada en la titánica lucha por perforar los Alpes y que marca el punto de mayor tensión en la historia de los túneles: baste recordar que la longitud respectiva de estas galerías es de 12.6 km, 15.2 km y 19.7 km. Los medios disponibles eran todavía modestos, si bien la incorporación de máquinas taladradoras accionadas por aire comprimido, obra de Sommeiller, marca un salto cualitativo en los rendimientos alcanzados.

En aquellas décadas la temeridad y audacia de los ingenieros no tenía límites y tal vez por ello ninguno de los que emprendieron los tres grandes túneles alpinos de ferrocarril pudieron ver su obra terminada. Probablemente, en ocasiones, también a causa de una ambición desmedida, las condiciones de trabajo resultaban inhumanas, destacando la negra historia de Louis Favre y el túnel de San Gotardo. El compromiso de un plazo de

ejecución imposible de cumplir con duras penalizaciones por cada día de retraso condujo a Favre primero a la ruina, luego a la muerte y a sus trabajadores a unas condiciones laborales y sanitarias infernales, estimándose en cerca de doscientos el número de muertos durante las obras; un precio muy elevado.

También en Estados Unidos se van imponiendo los túneles en la segunda parte del siglo XIX. Cabe recordar dos túneles bajo el río de Chicago abiertos en 1869 y 1871, que sirvieron como la única vía de escape para los habitantes de la ciudad durante el feroz incendio que redujo la ciudad a cenizas en octubre de 1871, sólo cuatro meses después de inaugurarse el túnel de la calle La Salle.

El **túnel Hoosac** marca también sin duda un hito a nivel de avances tecnológicos, como el de la utilización **por primera vez de la nitroglicerina** en este tipo de obras, y el túnel de Saint Clair construido a finales del XIX bajo el río que le da nombre entre EE.UU y Canadá mediante un escudo de 6.45 m de diámetro.

Como hemos visto el resurgimiento de los túneles como consecuencia de la Revolución Industrial, la máquina de vapor y los ferrocarriles marcó un hito importante en el diseño y construcción de los mismos. Los siguientes avances fueron debidos a diversas causas. Así, **la electricidad** y la **potencia eléctrica** propició la aparición de los ferrocarriles subterráneos, el metro. Por otra parte, las centrales de energía dieron lugar a los túneles para enfriamiento de agua y para conducción de cables. La máquina de combustión interna, no sólo extendió la potencia de la ingeniería sino que dio lugar al motor de explosión, lo que condujo al desarrollo de las carreteras y por tanto a la demanda de un número creciente de túneles para vehículos a motor, no sólo perforados bajo montañas sino también bajo colinas menores o incluso bajo los cauces de los ríos.

Son innumerables los túneles construidos desde entonces hasta la actualidad, así como las mejoras en las técnicas y elementos constructivos que poco a poco han alcanzado un grado de eficacia inimaginable. Debido precisamente a esta evolución vale la pena hacer un alto en el camino y revisar los distintos métodos nacionales de construcción de túneles que fueron surgiendo desde la Era de los Canales y los Ferrocarriles hasta la actualidad y que, aún, hoy día se utilizan en algunos casos concretos en los que el terreno no da otra opción.

Fundamentalmente han de considerarse los sistemas inglés, belga, alemán y austriaco. Con posterioridad se introduciría el Nuevo Método Austriaco, con una inmensa proyección y aplicación de forma diversificada.

A continuación revisaremos de forma esquemática los diversos métodos y que se centran principalmente en las diferentes secuencias de excavación.

El **Método Inglés**: recibe su nombre por haber sido aplicado en túneles a través del tipo de terreno que usualmente se localiza en Inglaterra, como son las arcillas y areniscas. Siguiendo el ejemplo establecido en la construcción del primer túnel bajo el Támesis, su principal característica es proceder el avance de la perforación a sección completa del túnel, en una sola operación.

El **Método Belga**: se basa en los principios que permitieron la construcción, en 1828 del túnel de Charleroi en el Canal que enlaza Bruselas y Charleroi.

El **Método Alemán**: este sistema fue utilizado por primera vez en 1803 para construir el túnel en el Canal de San Quintín, y desarrollado por Wiebeking en 1814, siguiendo el sistema de núcleo central, también empleado en la construcción de las amplias bóvedas de cerveza de Baviera.

El **Método Alemán Modificado**: se aplica en el caso en que durante la operación de perforación del túnel, a través de un terreno bastante firme, surja la aparición de agua, lo que origina una alteración en el Método Clásico Alemán en cuanto a las etapas sucesivas de ataque del frente.

El **Método Austriaco**: los austriacos desarrollaron un plan de trabajo basado en la utilización de puntales de madera formando un sistema de entibación, procedimiento aplicado en las minas de Friburgo y que fue aplicado por primera vez por Meisner en la construcción del túnel de Oberau, en el ferrocarril entre Leipzig y Dresden, en Sajonia en el año 1837. En 1839 Keissler lo empleó en el túnel de Gumpoldskirch, cerca de Viena-Neustadt.

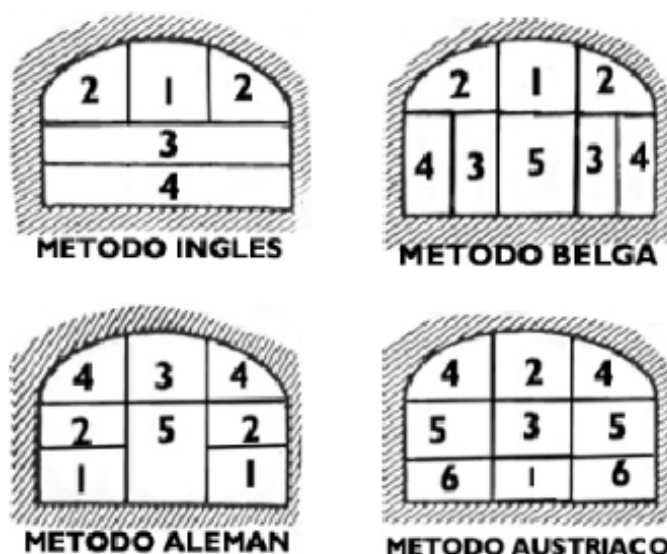


Figura No. 6 Esquema de los diferentes métodos constructivos nacionales

Construcción de túneles en México.

La construcción de túneles en suelos se desarrollo esencialmente como arte de los ingenieros con experiencia, en el que las decisiones se tomaban después del reconocimiento visual del frente y de juzgar la magnitud de los asentamientos inducidos; la estratigrafía del sitio y las propiedades mecánicas de los suelos servían de indicador. El proceso de construcción quedaba necesariamente expuesto a toda serie de modificaciones, donde la capacidad de improvisación era la mejor herramienta del ingeniero para resolver problemas.

El diseño racional de túneles excavados en suelos, se podrían que lo inicia K Terzaghi, al establecer los criterios de diseño para el ademe primario, basadas en experiencias de campo y en la Teoría del Arqueo, en 1942; sus experiencias en los túneles del metro de Chicago, han sido la mejor guía en este campo. E. Broms en 1967 contribuyo muy significativamente al estudiar la estabilidad de excavaciones verticales y R. Peck en 1969, con su artículo del estado del arte sobre excavaciones profundas y túneles.

Las notables características del subsuelo de la ciudad de México han obligado al desarrollo de mejores procedimientos de análisis para el diseño de túneles; los enfoques

más recientes incluyen investigaciones con modelos de elemento finitos, así como la aplicación de modelos mecánico-analíticos. Es evidente que los modelos numéricos, facilitan la comprensión del comportamiento de un túnel; sin embargo, la solución práctica del problema de estabilidad se simplifica notablemente con la ayuda de un modelo mecánico.

La necesidad de construir túneles para alojar el sistema de transporte colectivo de la ciudad de México, es común a todas las grandes ciudades del mundo, que adoptan esta solución como la alternativa más conveniente, en especial en las áreas urbanas más densamente pobladas. Esta tendencia tiene su origen en dos factores fundamentales: por una parte, la menor interferencia, durante la construcción de los túneles, con la actividad cotidiana de los habitantes metropolitanos, y con las instalaciones existentes de servicios públicos, y por otra parte, los avances tecnológicos de los últimos años, particularmente de las técnicas estables y de los hidro escudos utilizados en suelos inestables, que permiten la ejecución de túneles con rapidez, seguridad y economías competitivas con otras alternativas de construcción subterránea.

La experiencia obtenida en México en este tipo de obras ha sido altamente positiva y a medida que se avanza en este campo se van perfeccionando los criterios básicos producto del análisis de esta experiencia y de las otras metrópolis que contribuyen a la búsqueda de soluciones constructivas para los túneles del metro en las condiciones propias de los suelos del Valle de México.

1.1 Clasificación de Túneles.

Las demandas de transporte de pasajeros y mercancías han aumentado enormemente con el desarrollo social. Ni siquiera los obstáculos naturales más adversos podrían cortar los ríos, las montañas y los océanos, podría retrasar el transporte con seguridad únicamente los períodos, pero fueron conquistados por la actividad humana.

Las personas y territorios anteriormente aisladas unas de otras están ahora ligadas por puentes que atraviesan ríos y montañas por túneles en números cada vez mayores y con

dimensiones cada vez mayores, cada uno representando un empate y contribución a la cultura unidad de la humanidad.

El propósito de los túneles es asegurar el transporte directo de pasajeros o bienes a través de ciertos obstáculos. Dependiendo del obstáculo que hay que superar y en el objetivo de tráfico, o de transporte que deben alcanzarse, los túneles se pueden clasificar en varios grupos.

El obstáculo puede ser una montaña, un cuerpo de agua, urbana densa, o industrial ámbitos (tráfico, etc.) Los túneles pueden pasar correspondiente y en las montañas, los ríos, el mar canales, denso urbanas o áreas industriales, edificios y rutas de su tráfico propósito puede ser para llevar ferrocarril, carretera, peatón, tráfico o agua, para transmitir agua, energía eléctrica, gas, alcantarillado, etc, o para proporcionar el transporte interior para plantas industriales.

Los túneles así se pueden clasificar de acuerdo con su propósito ubicación y situación geológica. Dependiendo de su propósito los dos siguientes grupos de túneles:

A los ***túneles de tráfico*** el cual comprende a su vez para uso ferroviario, carreteras, peatonales, de navegación y el metro.

Y el otro el de ***túneles de medios de transporte*** el cual comprende para uso en centrales hidroeléctricas, suministro de agua, para el consumo, conducto de servicios públicos, de alcantarillado o de plantas industriales entre otros.

Además de ello, los criterios de clasificación son importantes localización de posición en relación con el terreno y la alineación, así, estos tienen una influencia decisiva en la sección de túnel, el método de construcción, el diseño y las fuerzas que actúan.

Túneles lo sucesivo, se entiende por estructuras subterráneas, que además de servir a los fines antes señalados, se construyen bajo tierra especial túneles métodos generalmente sin alterar la superficie. Los túneles son también construido a cielo abierto excavados en la superficie del terreno y se rellena posteriormente (cortar y cubrir). Los medios empleados en estas "cut and cover"

métodos no difieren esencialmente de aquellos asociados con la construcción recinto de foso fundación, la deshidratación, la excavación y relleno de los métodos utilizados en la ingeniería.

1.2 Criterios para Diseño de Túneles.

Llegados a este punto, consideramos adecuado hacer un pequeño resumen sobre los principales factores que han intervenido en el progreso de la ingeniería de túneles. La ingeniería de túneles ha progresado de forma muy significativa durante el siglo XX y lo que llevamos de XXI. Entre los principales factores que han contribuido decisivamente a este avance se encuentran los siguientes:

- **En relación con la excavación**, las mejoras en las técnicas de voladura, tanto en la fase de barrenado como en los tipos de explosivos, el uso cada vez más eficiente de la energía, sea eléctrica o por aire comprimido; así como la introducción de nuevos equipamientos y maquinaria, dependiendo de las características del terreno, como son las máquinas tuneladoras (TBM), las rozadoras o tuneladoras de ataque puntual, escudos, etc. ha sido determinante.
- **En relación con el sostenimiento**, los avances en materia de revestimientos, principalmente en hormigón y acero moldeado, en mejora del terreno mediante inyecciones a presión así como el perfeccionamiento de máquinas tuneladoras a sección completa.
- **En relación con las características del entorno de trabajo**, cabe resaltar las notables mejoras en sistemas de ventilación e iluminación, un control más eficaz del agua subterránea mediante equipos de bombeo o a través de sobre presión ambiental.
- **En relación con los métodos de diseño y construcción**, de entre los diversos métodos que anteriormente se apuntaron, cabe destacar el Nuevo Método Austriaco de construcción de Túneles (NATM). Si bien este método se encuadraría dentro de los sistemas de sostenimiento de túneles, su alcance, trascendencia y repercusión a nivel mundial permite afirmar que el NATM supone una destacada contribución a la ingeniería de túneles.

1.3 Instrumentación

En este ámbito se conocen diferentes definiciones de instrumentación, pero una definición que no es difícil de interpretar es la que nos presenta la página WEB de la Línea 12 la cual dice así: *“La instrumentación se puede definir como la combinación de conocimientos teóricos-prácticos que están enfocados al uso de dispositivos y técnicas especiales que nos permiten obtener información cualitativa y cuantitativa de las variables que caracterizan el comportamiento de una estructura, con el fin de evaluar su seguridad, y en su caso tomar acciones preventivas o correctivas, tanto en la etapa constructiva como de operación.”*

Es importante recalcar que la instrumentación es un medio de control necesaria en la construcción de cualquier obra, ya que podemos prevenir los movimientos que se pudiesen presentar tanto en la estructura que se está construyendo como en las estructuras aledañas y con ello evitar algún evento desafortunado que repercuta en los costos de la obra. Además ayuda a verificar y en su caso mejorar el diseño de las estructuras para futuros proyectos lo cual ayuda a no encarecer la obra.

1.4 Tipos de instrumentación.

Actualmente, se sigue utilizando la topografía como medio de control, pudiéndose complementar con nuevas tecnologías las cuales han innovado en cuanto a los sistemas de instrumentación, ya que existen aparatos que se pueden programar para que estén tomando lecturas en un cierto rango de tiempo y con ello facilitar el monitoreo de los mismos.

Es por ello y debido a las necesidades de cada área, la instrumentación la podemos clasificar de tres maneras:

- Instrumentación Geotécnica.
- Instrumentación Estructural.
- Instrumentación Sísmica.

Instrumentación geotécnica.

Uno de los objetivos básicos de la instrumentación geotécnica consiste en medir la respuesta del terreno ante determinadas variaciones en las condiciones de su entorno, las cuales pueden ser debidas a la ejecución de obras o a fenómenos naturales.

Para que un proyecto sea capaz de estimar la respuesta del terreno, debe haber contado durante su concepción, con las herramientas de cálculo adecuadas para modelar la situación, alimentadas con información precisa sobre las características geotécnicas del terreno sobre el que se va a llevar a cabo.

En la actualidad, se tiene un avance muy grande en cuanto a sensores, existen empresas como RST Instruments, GEOKON, Slope Indicator, por mencionar algunos que se han dedicado a innovar y ser muy prácticos para su monitoreo. A continuación se mencionan unos ejemplos:

Piezómetro: se utiliza para medir la presión de poro o el nivel de agua, principalmente en túneles o terraplenes. La aplicación más común es determinar la presión de agua en el terreno o el nivel de agua en perforaciones.



Figura No. 7 Piezómetro de cuerda Vibrante



Figura No. 8 Celda de presión de cuerda Vibrante

Celdas de presión: comúnmente llamadas también de “presión total” o “esfuerzo total”, las cuales nos sirven para medir los esfuerzos en el suelo o las ejercidas por el mismo sobre las estructuras, además de medir las presiones de agua en el terreno o presión de poro.

Piezo-Celdas este instrumento fue diseñado para ser hincado en suelos blandos, el cual nos permite medir tanto las presiones del suelo vecino, como la presión del agua en el suelo en un plano perpendicular al punto de aplicación. Este aparato, consta de un piezómetro y una celda de presión de tierra.



Figura No. 9 Piezo-Celda de cuerda Vibrante



Figura No. 10 Tubería de inclinómetro con coples telescópicos

Inclinómetro en suelo. este sistema, está compuesto por tubos de tipo ABS los cuales se van ensamblando con coples telescópicos hasta alcanzar la profundidad deseada. Es utilizado para medir la deformación horizontal del subsuelo, debido a la construcción de una estructura, como son túneles o excavaciones profundas, terraplenes, etc.

Extensómetros de barras es un sistema el cual está compuesto por una o varias barras de acero inoxidable, en su parte inferior se ancla al suelo a diferentes profundidades, y nos permiten medir las deformaciones verticales del suelo a diferentes profundidades



Figura No. 11 Extensómetro de barras

Instrumentación estructural

La instrumentación estructural nos permite determinar los esfuerzos y deformaciones que se presentan en las estructuras principalmente de concreto y acero, estas pueden sufrir daños tanto por las cargas a las que son sometidas como por las deformaciones de los elementos que las sustentan.

Es importante tener en cuenta que en el ámbito de la instrumentación incluye el control de las cargas y las deformaciones en puntos determinados de la estructura como por ejemplo la medición de inclinación de las pilas, deformación del acero, el concreto, etc.

Algunos ejemplos de aparatos utilizados para medir tales deformaciones, son los siguientes:

Deformímetro están diseñados para medir las deformaciones en miembros estructurales como por ejemplo puentes, pilotes, recubrimientos de acero en túneles, edificios, etc. Es por ello que a partir de la lectura obtenida, se pueden calcular los esfuerzos principales como son fuerza cortante o momento.



Figura No. 12 Deformímetro de concreto



Figura No. 13 Deformímetro de acero

Medidores de Juntas (Crackmeter). Este sensor es utilizado para poder medir grietas o articulaciones. Estos elementos se colocan anclados o atornillados en las estructuras, y con ello medir la separación, entre ambos elementos.



Figura No. 14 Medidor de juntas

Clinómetros (tilt meter). Estos sensores, son utilizados para medir la inclinación angular de cualquier estructura en tres sentidos (x, y y z) si se necesitase así. Comúnmente es utilizado en edificios, columnas, puentes, etc.



Figura No. 15 Clinómetro biaxial

Instrumentación sísmica.

La instrumentación sísmica, nos permite conocer entre otros los periodos de vibración de una estructura, al verse sometida a vibraciones o movimientos sísmicos, y con ello determinar el nivel de daño que pudiese ocurrirle a la estructura debido a un sismo, además de poder optimizar diseños.

Algunos ejemplos de sensores utilizados en de instrumentación sísmica podrían ser:

Acelerógrafos. Este instrumento sirve para medir aceleraciones del terreno en función del tiempo. Usualmente registra movimientos producidos por temblores fuertes o con epicentros cercanos. Los acelerógrafos también se colocan en edificios para analizar su comportamiento en diferentes niveles de la construcción (cimientos, pisos intermedios, azotea).

Sismógrafo. Es un instrumento de alta sensibilidad que registra los movimientos de la superficie de la Tierra, en función del tiempo, causados por el paso de las ondas sísmicas. Al registro producido se le conoce como sismograma.

Acelerómetros. Se emplean para medir vibraciones y oscilaciones de las estructuras, así, la medición proporciona los siguientes parámetros: aceleración de la vibración, velocidad de vibración y variación de vibración.

1.5 Importancia de la instrumentación.

La instrumentación como se puede observar es de gran importancia y vitalidad en toda obra ya sea grande o pequeña, como se comento anteriormente, nos permite conocer los comportamientos estructurales y geotécnicos de las mismas antes, durante y después de la construcción. Para poder conocer las dificultades y las soluciones a los que se puede presentar la instrumentación es necesario conocer sus objetivos:

1. Medición de comportamientos estructurales y geotécnicos antes, durante y después de la construcción de las estructuras y de su entorno.
2. Determinación de criterios de riesgo en conjunto con las disciplinas de ingeniería, antes, durante y después de las construcciones.
3. Optimización de tiempo en el procesamiento de información y toma de lecturas de la instrumentación con ayuda de nuevas tecnologías como aparatos de cuerda vibrante, micro electromecánicos, mecánicos, magnéticos, topográficos, procesadores de datos, unidades de almacenamiento y lectura además de programas de computadora para el procesamiento, manejo e interpretación de las mediciones.
4. Detección de comportamientos atípicos y manejo oportuno del flujo de información sobre los comportamientos geotécnicos y estructurales, garantizando la entrega de la misma a los frentes de obra, coordinadores, gerentes y directivos.
5. Actualización e innovación de nuevas tecnologías y herramientas para el departamento.
6. Creación y capacitación de brigadas de trabajo para la instalación de dispositivos, toma de lecturas y procesamiento de datos.
7. Tener confiabilidad fehaciente de todas las áreas del proyecto garantizando la seguridad de todos.

A partir de estos objetivos es necesario asumir la responsabilidad de cumplir con los requisitos solicitados por el cliente y por aquellos que suscriben los reglamentos y leyes vigentes de nuestro país.

CAPITULO II

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO LINEA 12 DEL METRO.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO LINEA 12 DEL METRO.

La construcción de la Línea 12 del metro, dentro del Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México, forma parte del Programa de “inversión pública” más grande del país durante los últimos 10 años.

Con base a los estudios llevados a cabo por Empresas especializadas contratadas por el gobierno de la Ciudad de México se reducirá el tiempo de traslado de las personas de Tláhuac al Centro Histórico, de dos horas y media a 75 minutos; reduciéndose también el costo del transporte de \$13.00 a \$3.00, además de poder movilizar diariamente la cantidad aproximada de 400 mil usuarios en días laborables.

Por su extensión de 24.9 km. Es la línea de mayor longitud de la Red del Sistema de Transporte Colectivo (metro) y la más larga de América Latina.

Los objetivos principales de la construcción de la Línea 12 son:

1.- Brindar servicio de transporte masivo de pasajeros en forma rápida, segura, económica y ecológicamente sustentable a los habitantes de siete delegaciones.

- Tláhuac: Con el mayor índice demográfico.
- Iztapalapa: La más poblada
- Coyoacán: Con un importante índice de saturación vial
- Benito Juárez: Con un importante índice de saturación vial
- Xochimilco: Comunicación adicional por el centro de Tulyehualco
- Milpa Alta: Comunicación directa al CETRAM Tláhuac por Tecomitl
- Álvaro Obregón: Con un gran índice demográfico.

2.- Mejorar el desempeño de la totalidad de la Red del Metro, al proporcionar conectividad con las líneas 2, 3, 7 y 8 en el sur de la Ciudad de México.

La construcción de la Línea 12 traerá grandes beneficios a la sociedad en:

- Vialidades: Construcción de vialidades conforme a un proyecto integrado en la zona de influencia, para reforzar el transporte público y evitar la competencia excesiva con la nueva línea del Metro (puentes vehiculares y peatonales, ampliaciones, adecuaciones geométricas, nueva señalización horizontal y vertical e instalación de semáforos).
- Ciclo vías y estacionamientos: Incorporación de facilidades al uso de la bicicleta en el diseño de estaciones y vialidades relacionadas.
- Nuevo diseño de estaciones: Incorporación de escaleras eléctricas, salva escaleras, bandas transportadoras, torniquetes mixtos (con capacidad para lectura de boletos unitarios y tarjetas electrónicas); baños y accesibilidad total a personas con discapacidad.
- Desarrollo urbano, ecológico y turístico en la zona de influencia: Mejoramiento y ampliación de la capacidad del drenaje existente, especialmente en áreas de inundaciones.
- Ampliación del área de reserva ecológica en la zona con el posible desarrollo de un centro de conservación y turismo ecológico.
- Equipamiento para la seguridad pública, incorporando vigilancia en las instalaciones y mejorando la iluminación en la zona de influencia.
- Aumentar la productividad de la Ciudad al reducir el tiempo de transporte hasta en una hora quince minutos desde la terminal sur-oriente al centro del D.F. por persona.

“SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL CONVENCIONAL CORRESPONDIENTE AL TRAMO COLA DE MANIOBRAS Y DEPOSITO MIXCOAC DE LA LINEA 12 DEL METRO.”

- Disminuir la contaminación del ambiente por emisiones de gases y ruido que desprenden los vehículos de combustión.

El proyecto de la Línea 12 del metro, tiene una longitud total de 25.1 km, el cual va desde el oriente del Valle de México (Tláhuac), hasta la parte poniente (Mixcoac). El trazo del proyecto se ha dividido en dos Fases, la primera de 15.2 km de longitud y con inicio en Tláhuac, corresponde con la construcción de estructuras superficiales y elevadas entre las cuales se encuentran Talleres, Estaciones e Intertramos. La segunda Fase, de 9.9 km, la cual inicia en la zona correspondiente a la Estación Atlalilco de la línea 8, contempla la construcción del tramo subterráneo, tanto de Estaciones como de Intertramos.

En el tramo correspondiente a la Fase 2, se ejecutará un túnel de aproximadamente 7.4 km excavado con escudo EPB. Debido a las características geotecnicas a lo largo del trazo del túnel, el perfil estratigráfico se dividió en cinco zonas homogéneas, las cuales servirían para el diseño del revestimiento del túnel.

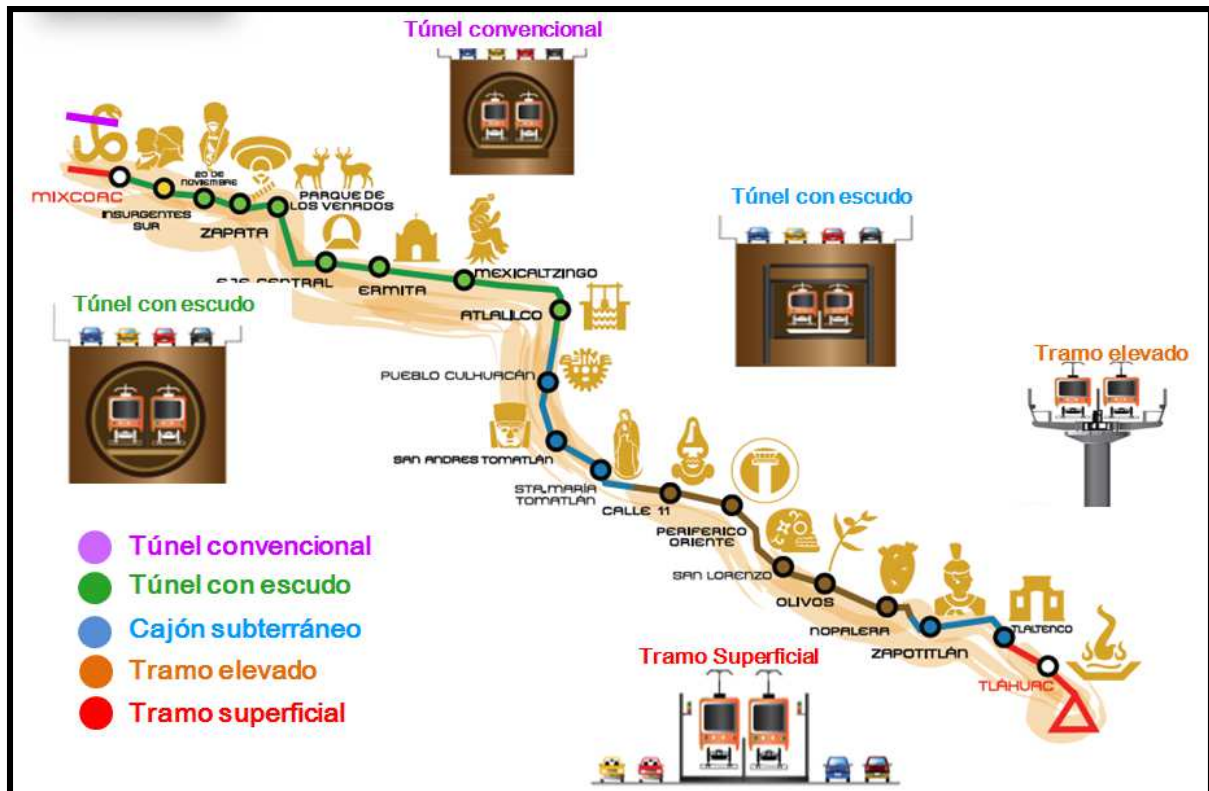


Figura No. 16 Proyecto Línea 12 del metro del Distrito Federal.

2.1 Características Físicas y Operativas.

La Línea 12 “Línea Dorada” es la más extensa de México y América Latina, la cual tendrá las siguientes características:

- 24.9 Kilómetros de longitud.
- 20 Estaciones
- 16 Aparatos de Vía
- 28 Trenes (al inicio de la operación intervalo de 3.9 minutos).
- 35 Trenes (intervalo mínimo de 2.5 minutos en horas pico).
 - De rodadura férrea.
 - De ocho vagones cada uno.
- Mínima distancia en transbordos.
- Alternativas de integración del comercio formal e informal en terminales, estaciones y aledaños.
- Posibilidad de desarrollo inmobiliario en terminales y estaciones.
- Preparaciones para continuidad de la Red.
- Reordenamiento del transporte en el corredor y puntos de transferencia.
- Infraestructura planeada considerando necesidades de operación y mantenimiento de la Línea.
- Programa de desvíos de tránsito por la construcción de obras.
- Áreas de estacionamiento para bicicletas en terminal Tláhuac y estaciones.
- Diseño de ciclo vías a lo largo de la ruta.

2.2 Estructura Organizacional del Consorcio.

Con relación a la licitación pública internacional en la modalidad de proyecto integral a precio alzado y tiempo determinado de fecha enero de 2008. Las empresas ICA, ALSTOM y CARSO presentaron su propuesta de manera grupal, en junio de 2008 y el Gobierno del Distrito Federal dio la adjudicación a este consorcio en julio del mismo año.

A continuación se hace una descripción de las tres empresas involucradas.

Ingenieros Civiles Asociados S.A de C.V (ICA).

Empresa de Ingeniería, procuración y construcción más grande de México, fue fundada en 1947 y ha realizado obras de construcción e ingeniería en 21 países.

ALSTOM.

Es una corporación francesa centrada en el negocio de la generación de electricidad y la fabricación de trenes y barcos. ALSTOM además diseña y produce sistemas de Metro de alta calidad y funcionalidad.

Grupo CARSO.

Es uno de los conglomerados más importantes de América Latina. Controla y opera gran cantidad de empresas de los ramos industrial, comercial y de infraestructura y construcción; también se encuentra en otros sectores, como el automotriz y el minero.

Los trabajos tanto de obra civil como sistemas electromecánicos están distribuidos dentro del consorcio de la siguiente forma.

Obra Civil

- ICA 75%
- CARSO 25%

Sistemas Electromecánicos.

ALSTOM 100%.

2.3 Factores o Variables por Resolver

El proyecto de la línea 12 del metro de la Ciudad de México, se caracteriza por la innovación en el diseño y construcción utilizando sistemas y procedimientos por primera vez en México, unos de los tantos ejemplos que se pueden mencionar es la integración del sistema Top Down o sub excavación para las estaciones subterráneas, este método permite estructurar de arriba hacia abajo el espacio subterráneo restableciendo en 4 meses nuevamente la vialidad en esa zona, sin embargo debajo de la vialidad la construcción continúa, gracias a esto se contribuye a reducir los impactos tanto sociales como en el entorno urbano.



Figura No. 17 Construcción de la estación Mexicaltzingo

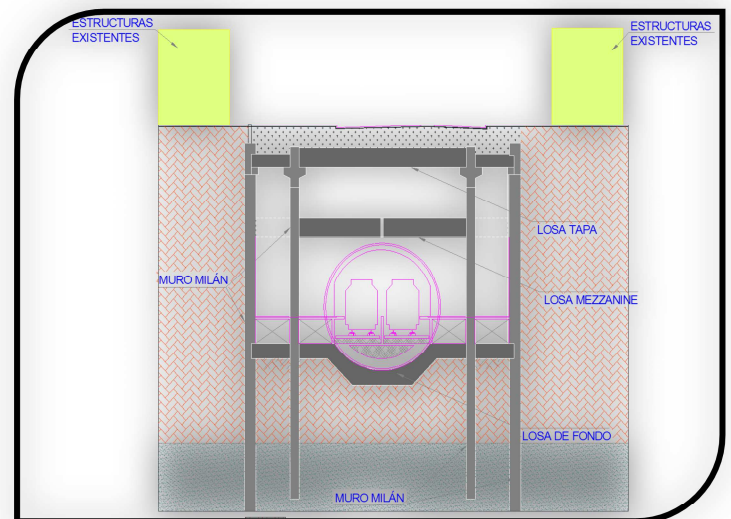


Figura No. 18 Corte esquemático de la estación Mexicaltzingo

“SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL CONVENCIONAL CORRESPONDIENTE AL TRAMO COLA DE MANIOBRAS Y DEPOSITO MIXCOAC DE LA LINEA 12 DEL METRO.”

El tramo elevado el cual está compuesto de nueve estaciones, fue necesario tener un control muy riguroso, teniendo en cuenta que los hundimiento se encuentran entre los 2 y 6 cm/año la única forma de poder evaluar estos hundimientos, es colocando un sistema de instrumentación que permita registrar y evaluar el comportamiento de la excavación y la respuesta inicial de la cimentación, así como el comportamiento durante y después de la construcción de la misma además de las columnas y montaje de traveses de la línea elevada del metro.



Figura No. 19 Columnas con cabezales colocados pertenecientes al tramo elevado



Figura No. 20 Tramo elevado de la Línea 12 del metro terminado.

Otro de los procesos constructivos con el cual se innovo en la construcción de la Línea 12 del metro, es el túnel excavado con escudo con una longitud de 7.4 Km, este escudo cuenta con el mayor diámetro utilizado en América latina y el segundo en el mundo con 10.19m, puede utilizarse en suelos arcillosos y limos arenosos, aunado a esto uno de los grandes retos es que atraviesa la ciudad de forma muy somera, entre los 8.00 y 10.00m de profundidad.

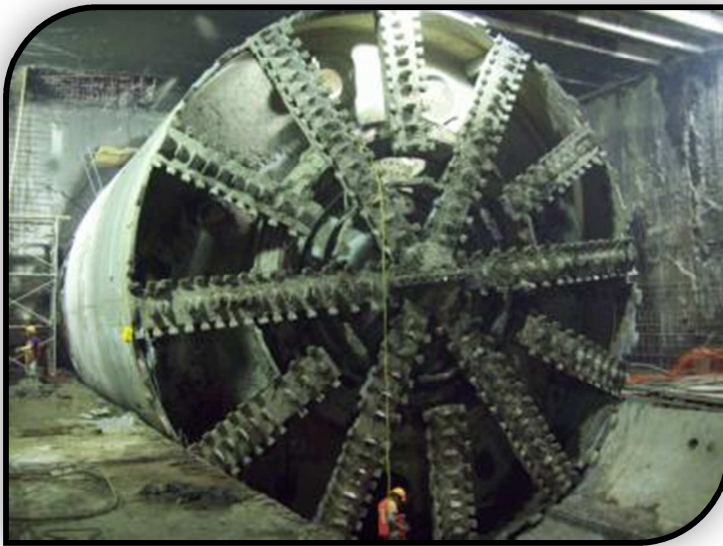


Figura No. 21 Tuneladora tipo EPB utilizada en Línea 12



Figura No. 22 Túnel excavado con tuneladora tipo EPB.

“SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL CONVENCIONAL CORRESPONDIENTE AL TRAMO COLA DE MANIOBRAS Y DEPOSITO MIXCOAC DE LA LINEA 12 DEL METRO.”

En la zona poniente de la línea 12 del metro, se realiza la excavación del túnel por medios convencionales directamente sobre el terreno natural, el túnel convencional cuenta con dos lumbreras, las cuales después de construidas se realiza la excavación del túnel con dos frentes de excavación iniciando en las lumbreras hasta hacer converger los dos frentes de excavación.



Figura No. 23 Frente de excavación del túnel convencional



Figura No. 24 Sección de túnel convencional completa

Debido a la incertidumbre del comportamiento del suelo al frente de la excavación es necesario realizar un monitoreo constante en este para así evitar cualquier riesgo de caídos de material o alguna deformación excesiva, así como también es necesario tener un control de los movimientos en superficie y comportamiento de las estructuras como las lumbreras, edificaciones, instalaciones.

Uno de los retos importantes que se presento dentro de la línea, es cruce con vialidades o estructuras importantes, uno de ellos fue el es el cruce del túnel convencional de línea 12 por encima de la estructura existente de la línea 7 de metro, en este cruce la distancia entre túneles es aproximadamente de 0.8m y debido a que la línea 7 se encuentra en funcionamiento se debe tener un riguroso control de las deformaciones y desplazamientos que se presentan en la estructura existente y en la que será construida.

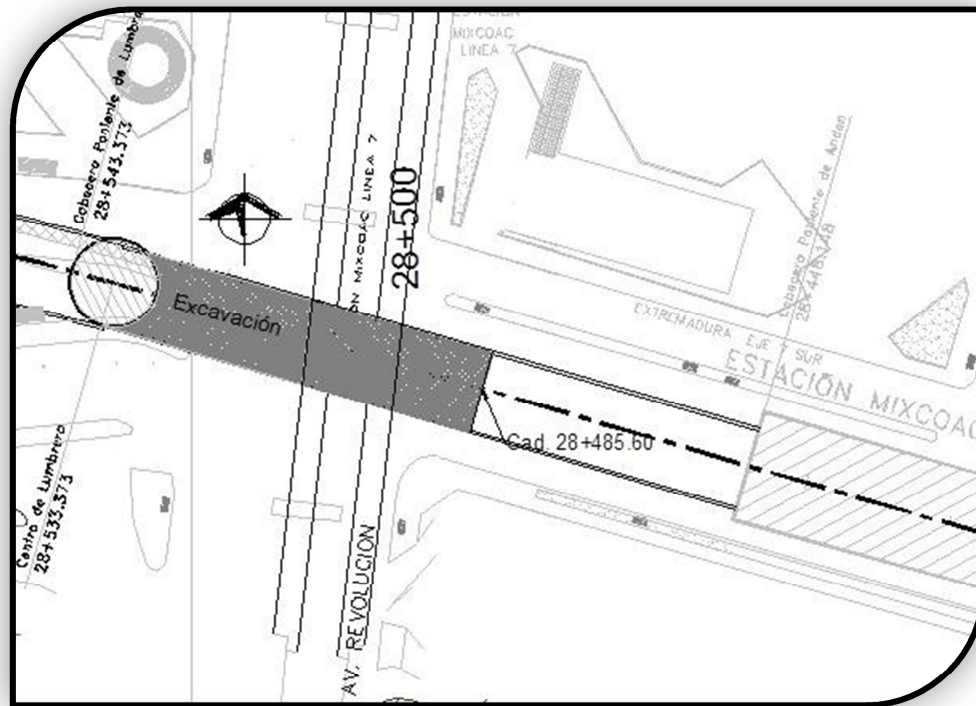


Figura No. 25 Cruce Línea 12 con Línea 7 del metro del Distrito Federal

Otro de los cruces de vital importancia, es cruce Churubusco, el túnel de la Línea 12 del metro pasa a 4.5 m aproximadamente por debajo del Colector Ejido y del propio río Churubusco el cual se encuentra entubado, y cruza entre los pilotes de cuatro zapatas de cimentación del puente vehicular Ermita Iztapalapa – Las Torres – Río Churubusco.

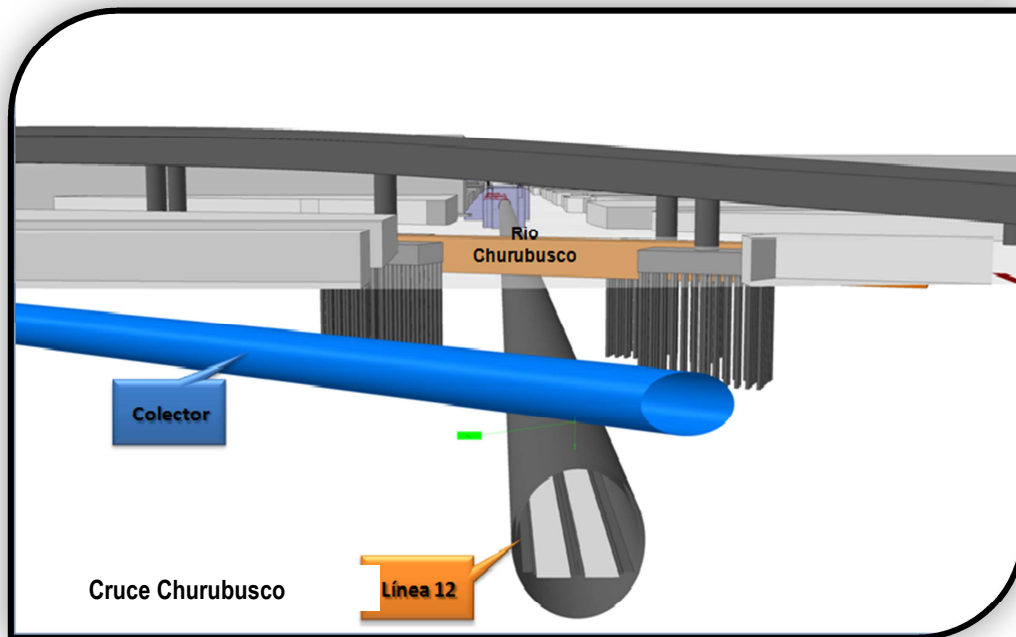


Figura No. 26 Esquema de estructuras existentes en el cruce de la Línea 12 con Av. Río Churubusco.

Son también relevantes los cruces con otras Líneas del Metro como son Ermita con la Línea 2 y Zapata con Línea 3, así como el multifamiliar Miguel Alemán y el cruce por debajo de las casas en Av. División del Norte y Av. Popocatepetl. En estos cruces es muy importante el manejo de las presiones al frente de excavación, y las deformaciones que se pudiesen presentar en superficie, es por eso que fue necesario al igual que en otros frentes tener un sistema de instrumentación riguroso para evitar algún daño mayor a las estructuras existentes y que están en operación.

CAPITULO III

CONSTRUCCION DE TUNEL DE TIPO CONVENCIONAL, PERTENECIENTE AL TRAMO COLA Y NAVE DEPOSITO MIXCOAC.

III CONSTRUCCION DE TUNEL DE TIPO CONVENCIONAL, PERTENECIENTE AL TRAMO COLA Y NAVE DEPOSITO MIXCOAC.

El presente capitulo, nos permitirá conocer la secuencia de construcción y excavación del tramo de túnel perteneciente a Cola y Nave de depósito Mixcoac de la línea 12 del metro del Distrito Federal la construcción del túnel convencional, además de la construcción de las dos lumbreras que servirán de apoyo para poder iniciar la excavación y construcción del mismo.

3.1 Excavación y Construcción de Lumbreras.

Para poder dar inicio a la construcción del túnel y dada la longitud del mismo, fue necesario construir dos Lumbreras, la primer Lumbrera, también conocida como Lumbrera 1, la cual está construida al lado poniente de la Av. Revolución sobre el camellón que separa el paradero de Mixcoac y la Av. Benvenuto Cellini, (ver figura No. 27) y la segunda lumbrera, llamada Lumbrera 2 construida en el cruce de la calle Franz Halls y Av. Benvenuto Cellini (Ver figura No. 28).

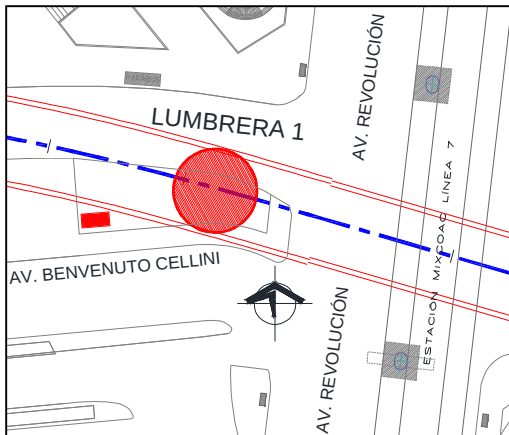


Figura No. 27 Localización de Lumbrera 1.

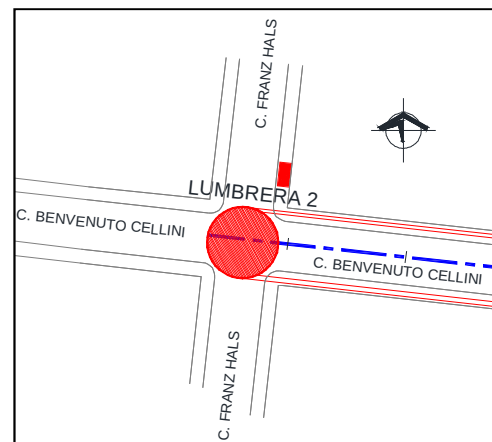


Figura No. 28 Localización de Lumbrera 2.

A continuación se describirá brevemente la secuencia de excavación de ambas lumbreras

3.1.1 Lumbrera 1 y 2

La Lumbrera 1 y 2 están construidas con una sección de tipo circular, la cual tendrá un diámetro de 12.4 m. en ambas lumbreras, incluyendo el revestimiento primario y secundario. La Lumbrera 1 se construyó a una profundidad de 18.7 m y la lumbrera 2 a 36m, ambas medidas desde el nivel de terreno natural hasta el lecho bajo de lo que es túnel convencional.

El proceso constructivo de dicha lumbrera, se excavara y construirá en cuatro etapas como se muestra en la figura No. 31.

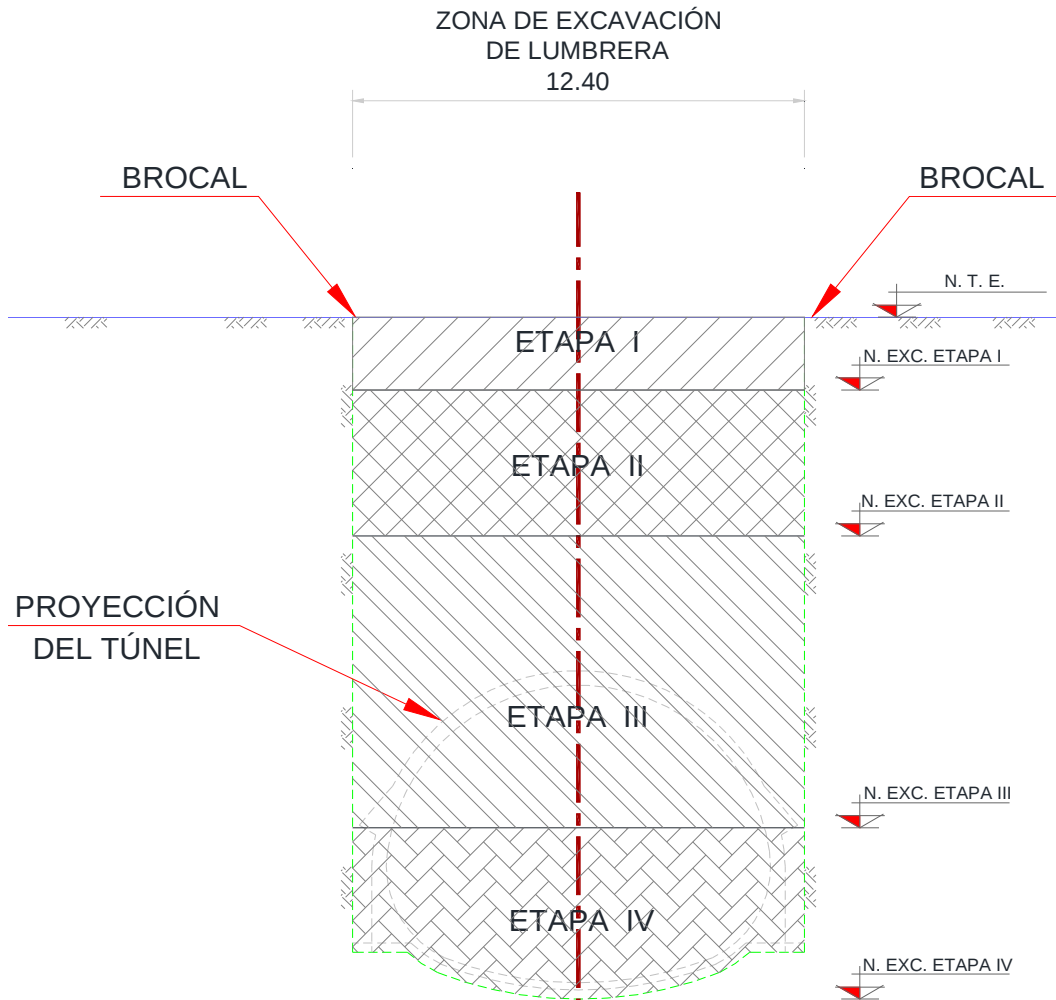


Figura No. 31 Etapas de construcción de la etapa 1 y 2

A continuación se describen de manera más detallada, los avances de excavación y construcción de la Lumbreira 1 por cada una de las etapas antes mencionadas.

Etapas I.

La etapa 1 de excavación se realizara con un avance vertical y horizontal de 2.0 m, dejando un talud de 1:2. Se armara y colara un brocal de 2m de ancho por 2m de alto en todo el perímetro de la excavación. Ver figuras No. 32 y 33.

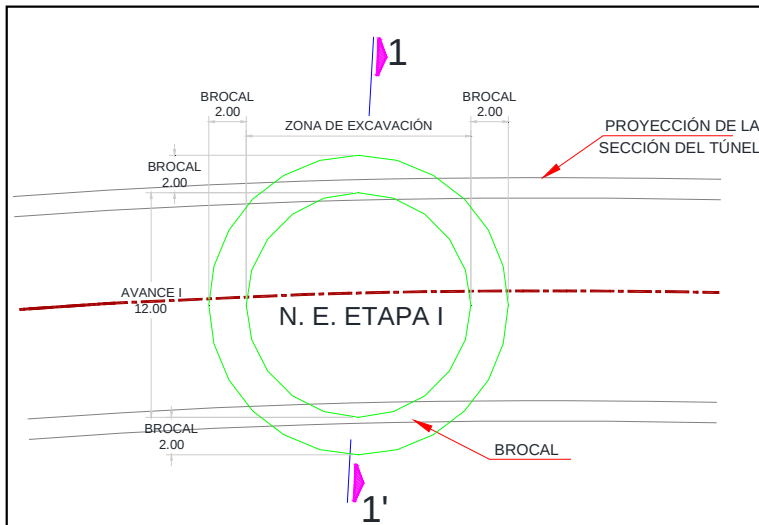


Figura No. 32 Vista en planta de la construcción del brocal

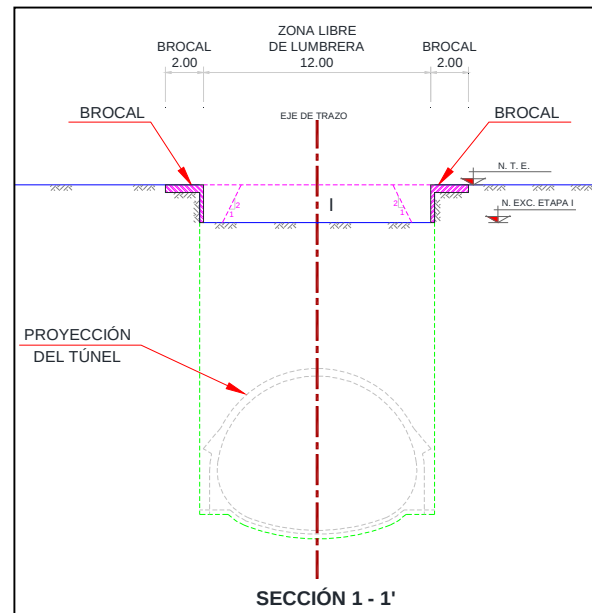


Figura No. 33 Corte 1-1' para la construcción del brocal.

Etapla II.

La etapa II la excavación se realizara en cuatro avances verticales de 1.00 m y avances horizontales mediante cuatro cuadrantes, excavando dos cuadrantes simultáneamente y dejando dos cuadrantes sin excavar, para cada avance que se fue realizando, se fue colocando el revestimiento primario y revestimiento definitivo. Ver figuras No. 34 y 35.

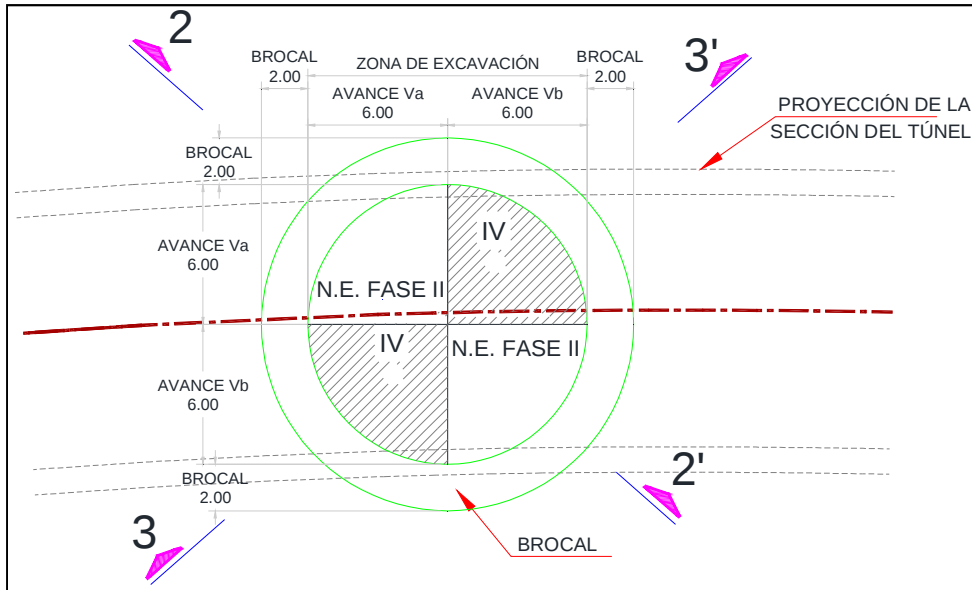


Figura No. 34 Vista en planta del avance de excavación para la etapa II

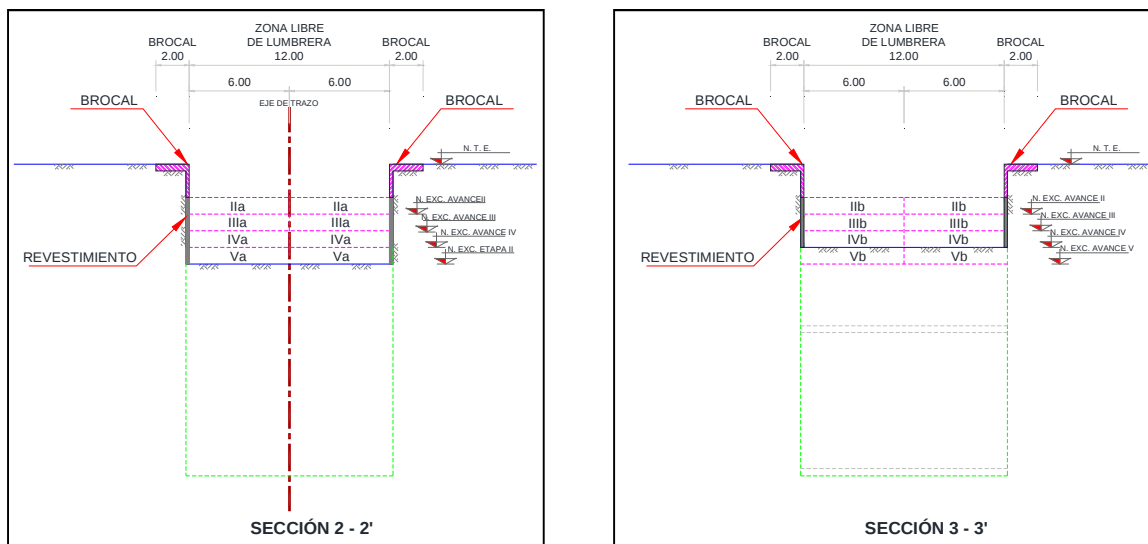


Figura No. 35 Corte 2-2' y 3-3' correspondiente a la etapa II

Etapa III.

La etapa III de excavación se realizo en cuatro avances de 2.0 m de profundidad y con avance horizontal en dos secciones, para cada avance fue necesario ir colocando el revestimiento primario y revestimiento definitivo. Ver figuras No. 36 y 37

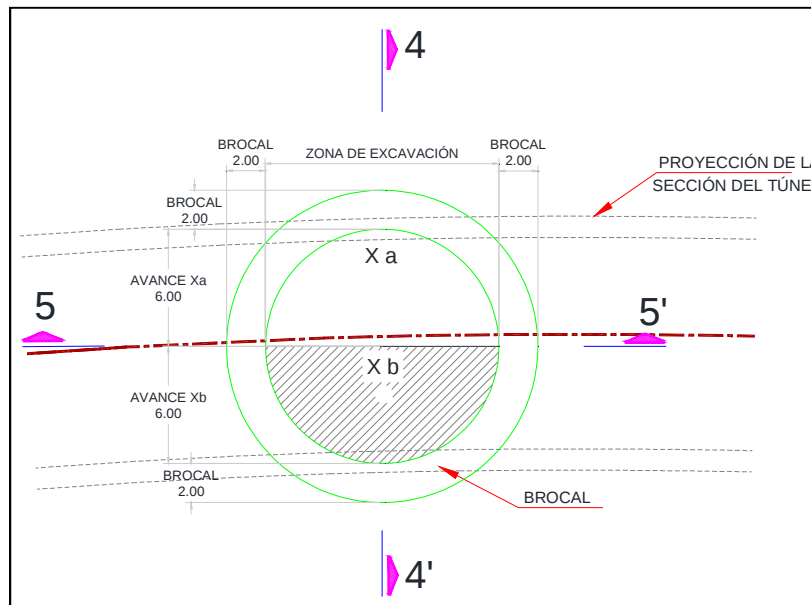


Figura No. 36 Vista en planta correspondiente a la etapa III

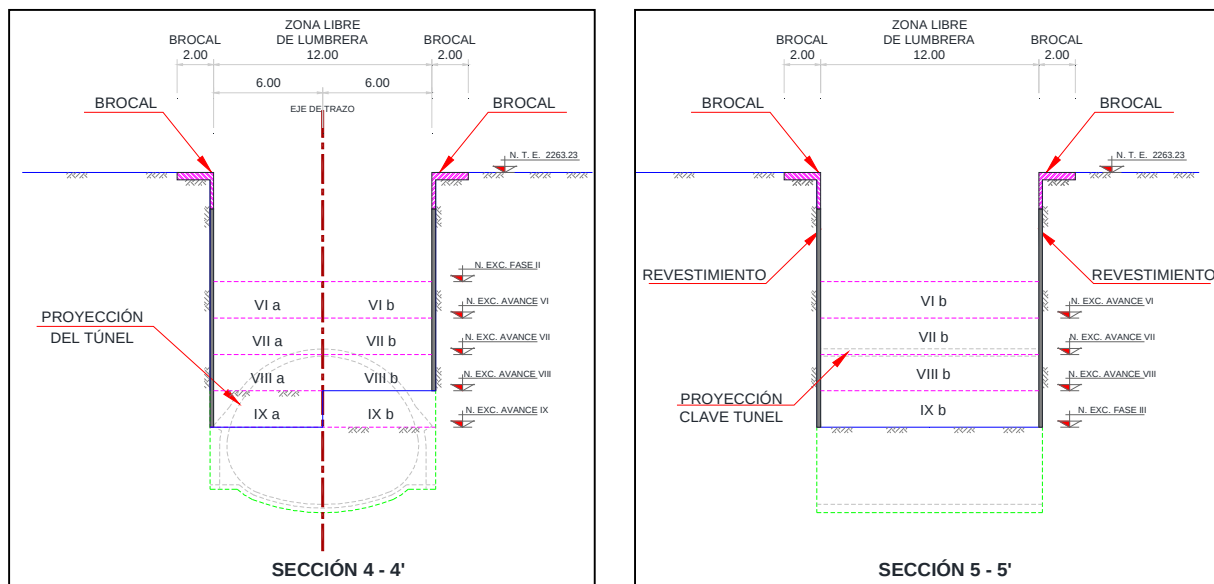


Figura No. 37 Corte 4-4' y 5-5' correspondiente a la etapa III

Etapla IV.

La etapa IV de excavación se realizaron en dos avances, el primero de 2.2 m y el segundo de 2.5 m de profundidad, excavando en toda la sección de la lumbrera, al igual en cada avance se fue colocando el revestimiento primario y definitivo.

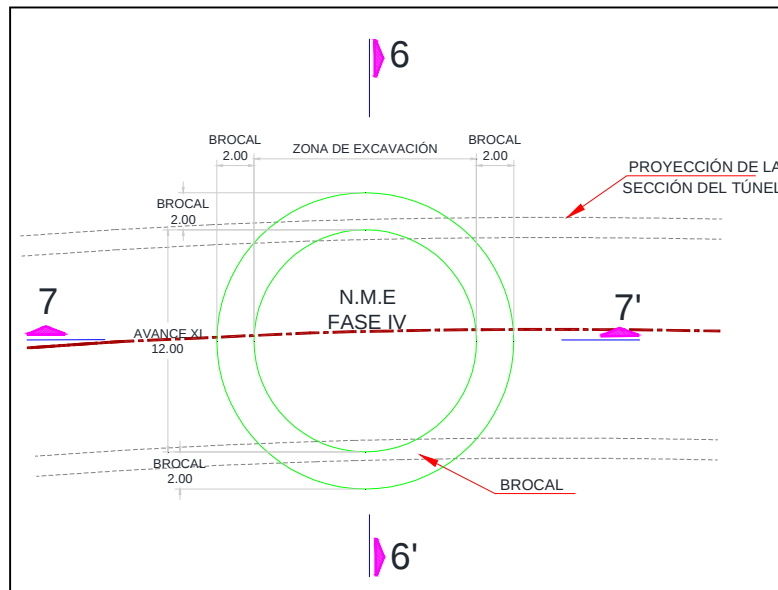


Figura No. 38 Vista en planta correspondiente a la etapa IV

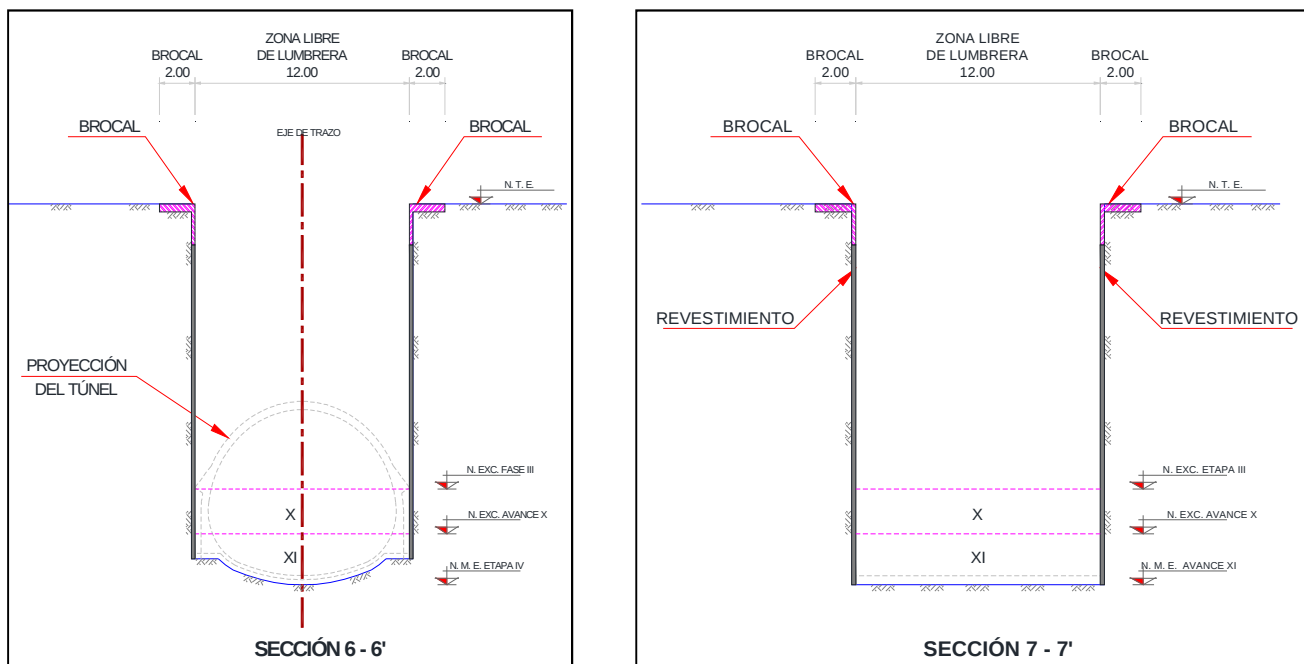


Figura No. 39 Corte 6-6' y 7-7' correspondiente a la etapa IV

3.2 Excavación y Construcción de Túnel Convencional.

Como parte de la continuación del tramo Cola y Nave de Depósito Mixcoac, se continuaron con los trabajos de excavación y construcción del túnel por medios convencionales. La longitud del tramo por construir es de aproximadamente 856 m, comprendiendo desde la cabecera poniente de la estación Mixcoac, hasta la Lumbreira 2. Ver figura No. 40

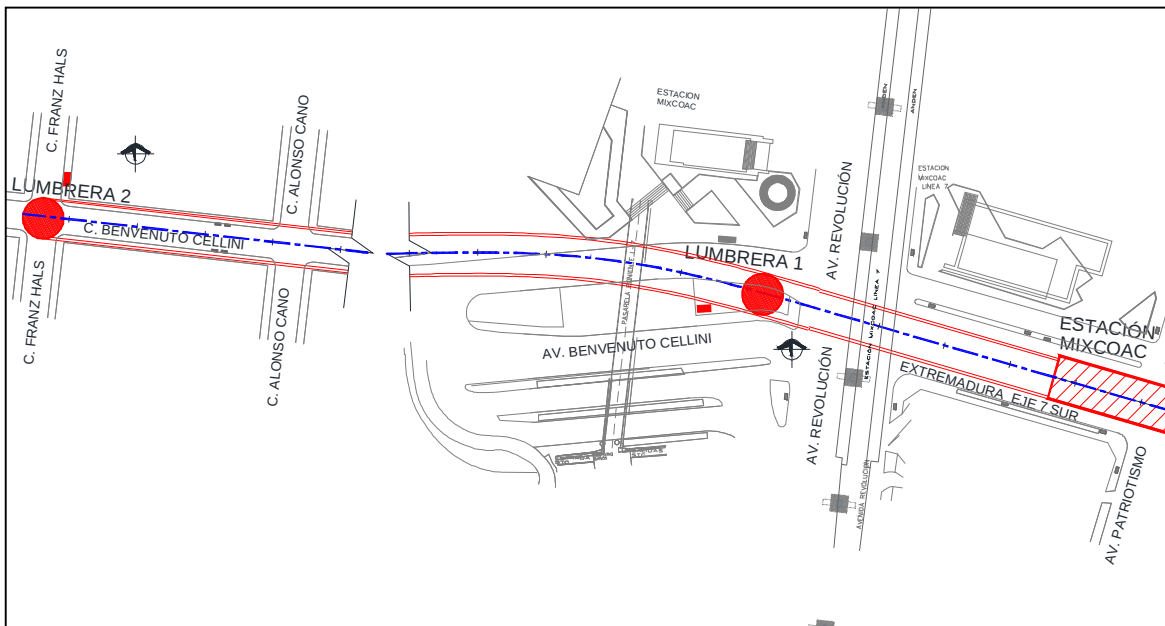


Figura No. 40 Vista en planta del tramo estación Mixcoac-Lumbreira 1-Lumbreira 2.

El método que se utilizo para estos trabajos, fue el método austriaco (NATM), y para dar inicio a la construcción de dicho tramo, se hizo con tres frentes de trabajo, el primero inicio de la Lumbrera 1 en dirección a la Lumbrera 2, el segundo, inicio poco tiempo después, de Lumbrera 2 en dirección a la Lumbrera 1 hasta encontrarse ambos frentes, y por último el tercer frente de trabajo, inicio tiempo después de la Lumbrera 1 en dirección a la cabecera poniente de la estación Mixcoac de la Línea 12 del metro del Distrito Federal. Ver figura No. 41

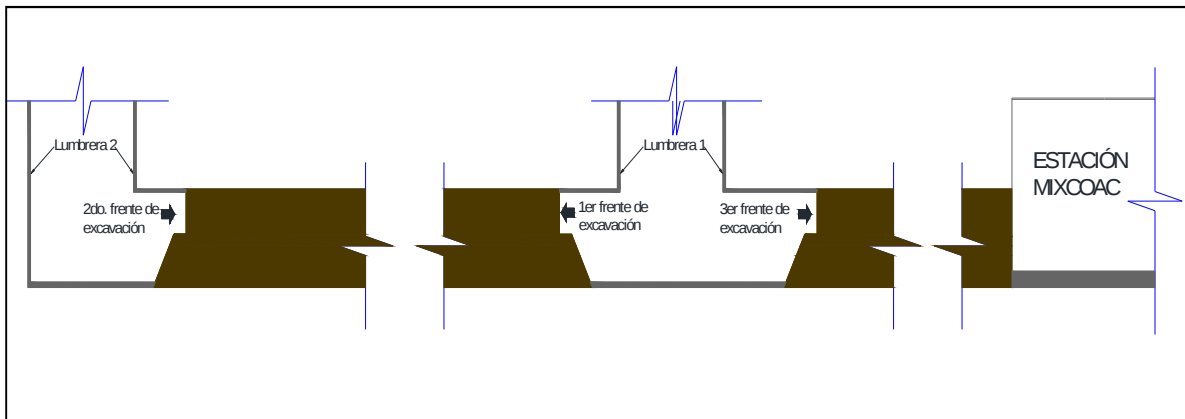


Figura No. 41 Corte longitudinal de los frentes de excavación.

Cabe mencionar que se tuvo una gran expectación en cuanto a la conexión del frente de trabajo 1 y 2, debido a que se tenía la incertidumbre de poder encontrarse. Afortunadamente ambos túneles se conectaron de manera exitosa, teniendo un error de 5 cm, el cual se considera despreciable comparándolo con el diámetro del túnel.

En todos los frentes de trabajo, se llevó el mismo avance de excavación, excepto en algunos puntos críticos, como son el cruce con Línea 7 del metro y con el interceptor poniente ubicado en Periférico, en los cuales los avances fueron más pequeños.

A continuación, se presenta la secuencia de excavación y construcción del túnel convencional, el cual como se menciona, fue con el método austriaco.

1.- Se realizo la excavación de la media sección superior con avances de entre 1.5m y 2m., según lo permita el terreno. Posteriormente el lanzamiento de concreto para el revestimiento primario y posteriormente lo mismo para el revestimiento definitivo. Ver figura No 42.

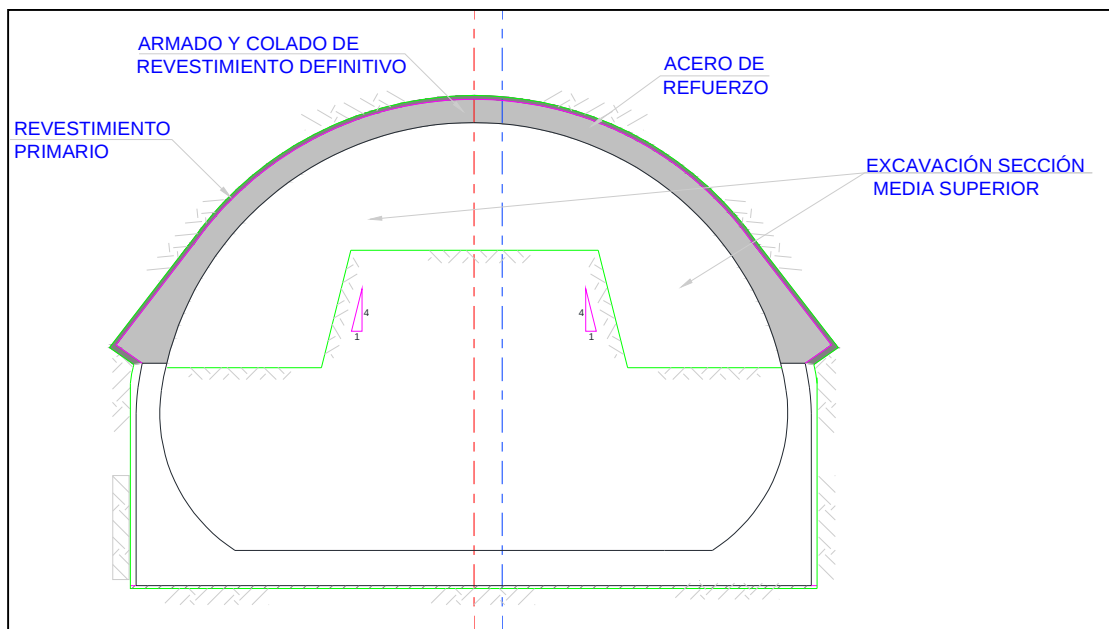


Figura No. 42 Corte transversal de excavación y revestimiento sección media superior.

“SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL CONVENCIONAL CORRESPONDIENTE AL TRAMO COLA DE MANIOBRAS Y DEPOSITO MIXCOAC DE LA LINEA 12 DEL METRO.”

2.- Después de un avance entre 50m y 100m de la sección superior, con todo y revestimiento definitivo se empezó con la excavación de la sección inferior (zapatas), las cuales se excavarán y colaran una a la vez. Ver figura No. 43 y 44.

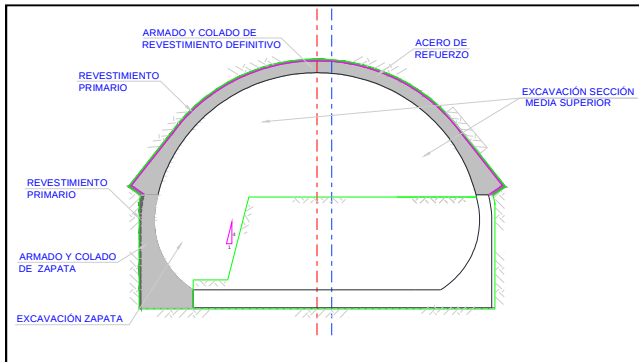


Figura No. 43 Corte de excavación y revestimiento de Zapata 1

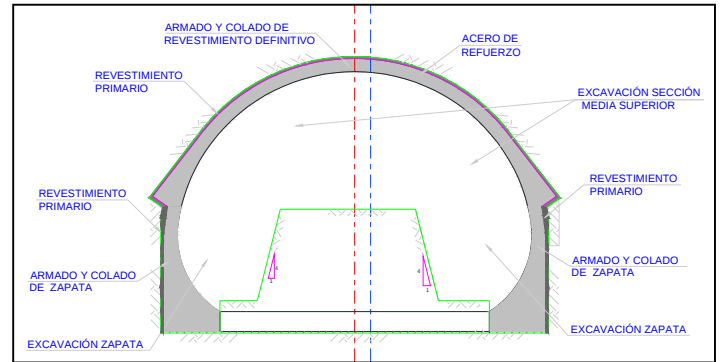


Figura No. 44 Corte de excavación y revestimiento de Zapata 2

3.- Y por último, ya coladas la media sección superior y las zapatas, se realiza la excavación y colado la losa de fondo y con ello se tiene la sección completa. Ver figura No 45.



Figura No. 45 Sección de túnel terminada

3.3 Zonas criticas durante la construcción.

Durante la construcción del túnel convencional desde la cabecera poniente de la Estación Mixcoac hasta la Lumbrera 2, se tuvieron dos zonas críticas que fueron de vital importancia debido a las estructuras que se encuentran en esos puntos los cuales se mencionan a continuación:

- Cruce con el Interceptor poniente
- Cruce con línea 7 del metro del la Ciudad de México.

Para poder tener la seguridad de que estos cruces se realizarán con éxito, fue necesario tomar medidas preventivas para llevar a buen término estos cruces, como ejemplo de estas medidas, fue reducir los avances de excavación, colar inmediatamente tanto el revestimiento primario y definitivo, establecer un sistema de instrumentación en ambos cruces con una frecuencia de lecturas más cerrada, visita diaria de un geotecnista para poder observar el tipo de suelo que se fue encontrando al frente de excavación, etc.

A continuación se describen cada uno de los siguientes cruces con los aspectos más relevantes durante la construcción.

- **Cruce con Interceptor Poniente.**

Conforme se fue excavando y construyendo el túnel de Lumbrera 1 en dirección a Lumbrera 2, se llego a uno de los puntos críticos de este tramo el cual es el cruce con el Interceptor Poniente, este interceptor sirve para transportar aguas residuales el cual tiene un diámetro de 4 m y se encuentra ubicado abajo de Periférico Sur, cruzando el túnel de Línea 12 por debajo del interceptor. (Ver figura No. 46 y 47).

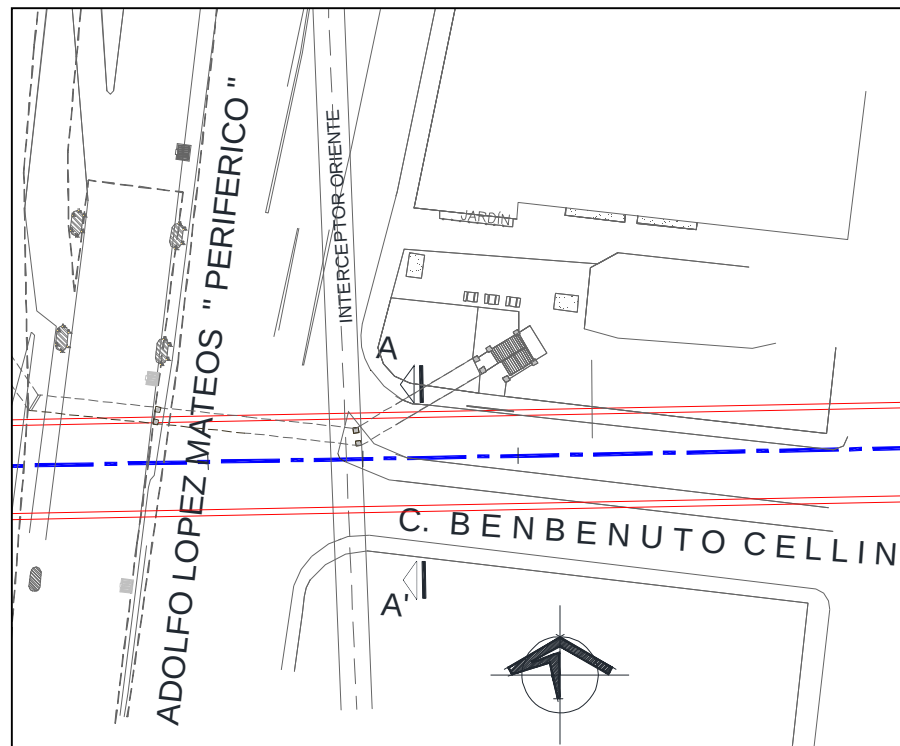


Figura No. 46 Ubicación en planta del interceptor poniente

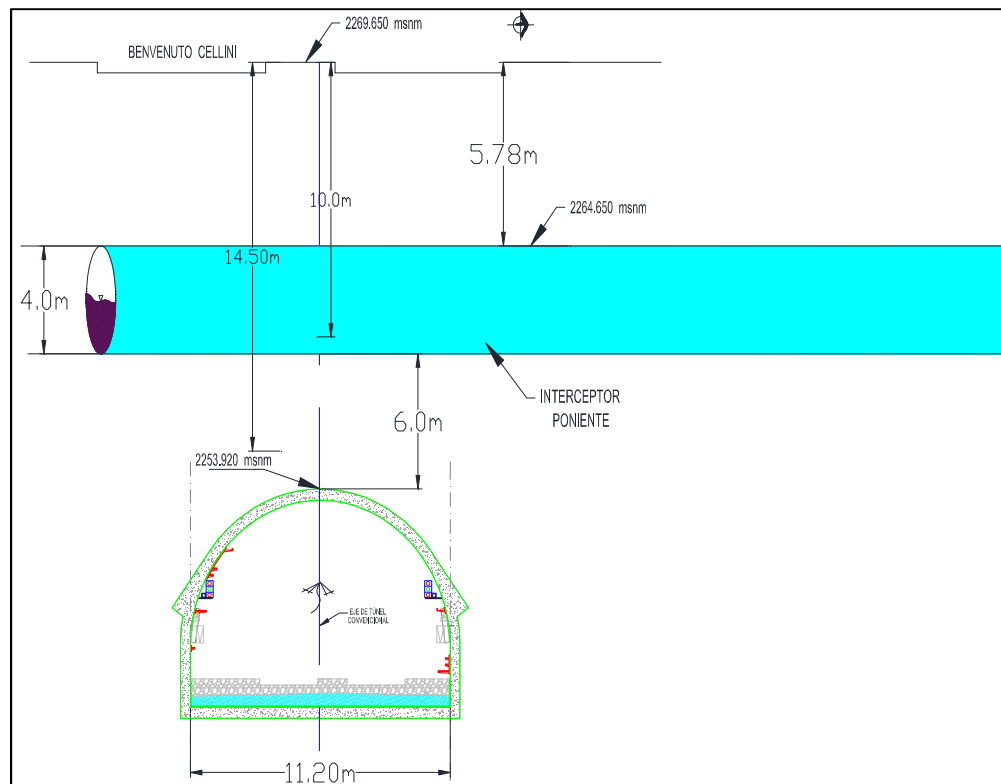


Figura No. 47 Corte A-A'

Antes y durante la excavación bajo el interceptor poniente, surgieron algunas preguntas en cuanto a los riesgos y medidas que se fueran presentando en este cruce, dichas preguntas se fueron contestando durante la construcción las cuales se mencionan a continuación:

¿Qué riesgos se pueden presentar?

Los riesgos que se pueden presentar durante la excavación del túnel, es la presencia de posibles fisuras del Interceptor Poniente y por consecuencia filtraciones que pudiesen reenblandecer el suelo y provocar asentamientos fuertes en superficie, la presencia de filtraciones en el interior al túnel de Línea 12 y por ende el debilitamiento del mismo, provocado un colapso de la estructura.

¿Qué medidas se tomaron para prevenir estos riesgos?

Las medidas que se tomaron, fue reducir los avances de excavación de aproximadamente 1.20 m o menos en un lapso de 10 m atrás y 10 m adelante del cruce, y con ello reducir los asentamientos tanto en superficie, como en el propio interceptor.

Para poder tener un control con respecto a las deformaciones que se pudiesen presentar, es colocar un sistema de instrumentación en la zona, además de reducir la frecuencia de lecturas, realizando gráficas en el momento e informar de inmediato a los ingenieros especialistas en el tema y personal de la propia obra, para su interpretación y con ello poder tomar medidas preventivas ante cualquier deformación presentada.

¿Qué problemas se presentaron y como se resolvieron?

Unos meses después de haber realizado el cruce, se presentaron filtraciones en el interior del túnel de Línea 12, justamente en el cruce con el interceptor, debido a posibles fisuras. Para ello fue necesario retomar nuevamente la instrumentación, para descartar movimientos en superficie y del propio túnel, por lo cual se volvieron a tomar lecturas diarias y procesar la información en el momento, antes de tener cualquier catástrofe.

Por otra parte se aceleró el proceso de excavación y colado de zapatas en ambos lados, con el fin de evitar algún tipo de colapso del túnel, además se hizo reinyección en la zona para reducir las filtraciones.

Posteriormente personal de la Secretaría de Aguas hizo una inspección al interceptor con para observar si se tenían daños de consideración, los cuales no se observaron a simple vista, por lo cual se realizó revestimiento con aditivos el interior del interceptor.

Tomando estas medidas antes mencionadas, al paso del tiempo se pudieron mitigar dichas filtraciones con éxito.

- **Cruce con Línea 7 del metro.**

Llevando un avance de más del 50% en la construcción de túnel del tramo de Lumbrera 1 a Lumbrera 2, se dio inicio a la construcción del último sub tramo el cual comprende de la Lumbrera 1 hacia cabecera poniente de la Estación Mixcoac, en este tramo se tuvo otro punto crítico, el cruce con la línea 7 del metro del Distrito Federal, ya que la Línea 12 cruzara por arriba de la Línea 7, con muy poco lecho entre ambas líneas. La Línea 7 del metro en su tiempo se construyó de manera similar que la Línea 12, es decir por medios convencionales. Ver figuras No. 48 y 49

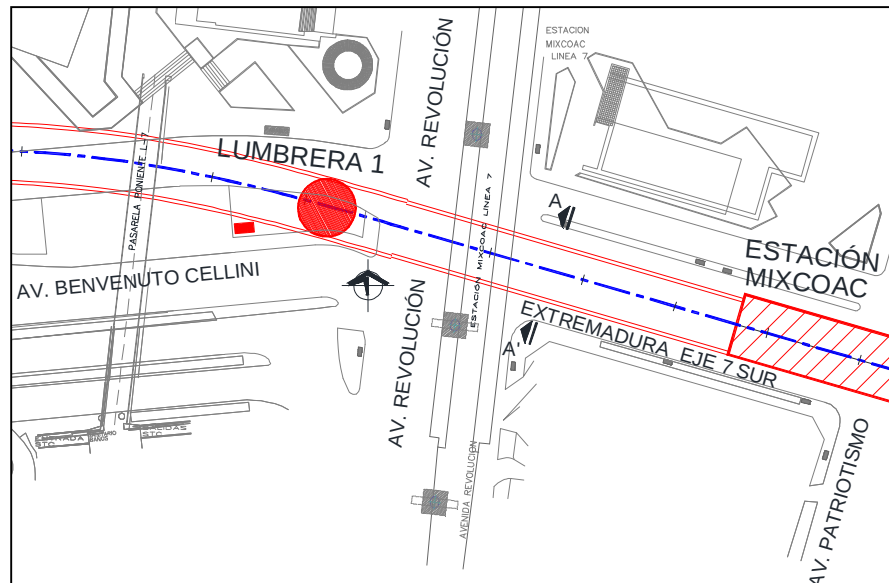


Figura No. 48 Ubicación en planta del cruce con Línea 7 del metro

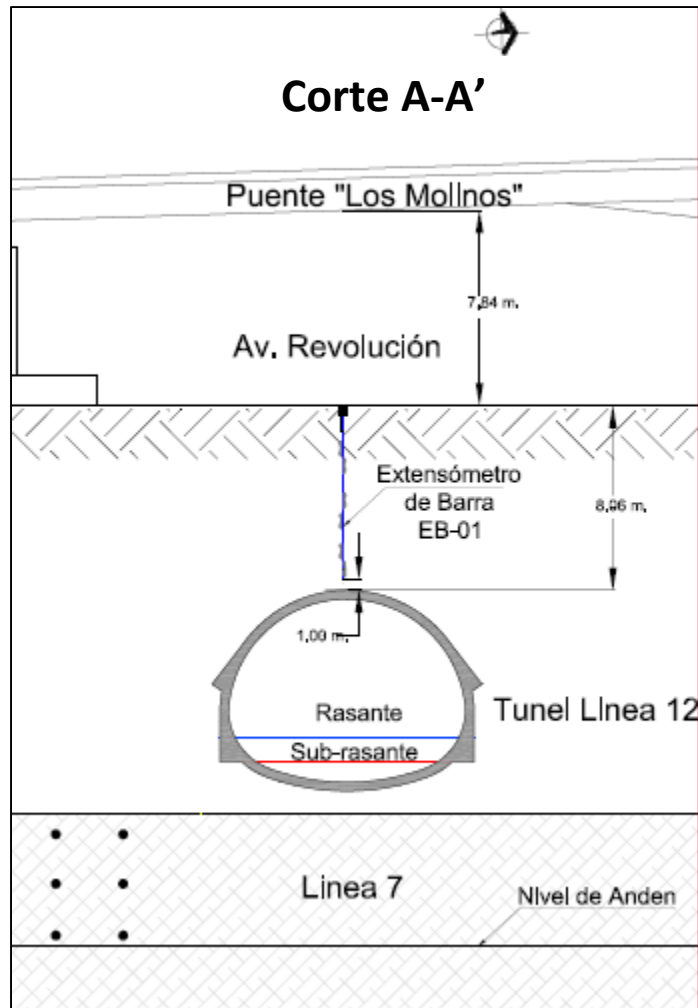


Figura No. 49 Corte A-A'

Al igual que en el cruce anterior, se describen las preguntas que se fueron presentando.

¿Qué riesgos se pudiesen presentar?

Uno de los riesgos que sería el más latente es el colapso del túnel de Línea 7 del metro, en la cual está en funcionamiento y con ella el colapso de la Línea 12. Otro riesgo que se podría presentar es que se tuvieran deformaciones excesivas del túnel de línea 7, que pudieran provocar fisuras en el interior del túnel y por consecuencia una inseguridad dentro del mismo

¿Qué medidas se tomaron para prevenir estos riesgos?

Se realizo algo similar al cruce con el interceptor poniente, se redujo el avance de excavación, pero con la diferencia de que se construyo de inmediato toda la sección, es decir la media sección superior, zapatas en ambos lados y losa de fondo antes de poder realizar otro avance similar.

Adicional a esto y para evitar deformaciones excesivas, se reforzó el túnel de Línea 7, colocando anclas de tensión en los hastiales túnel en la zona donde cruzaran ambas líneas. Algo de llamar la atención, es la colocación de las anclas de tensión, y esto es debido a que durante la construcción de la línea 12 el túnel de línea 7 al quitarle el peso producto de la excavación de línea 12, el túnel de línea 7 sufriría una especie de relajación, lo cual produciría posibles fisuras en el túnel existente, por lo tanto dicho refuerzo ayudaría a evitar deformaciones excesivas.

Al igual que en el interceptor poniente se estableció un sistema de instrumentación especial para este cruce y mucho más riguroso, realizando lecturas diarias o en ocasiones dos veces al día, procesar la información al momento y enviarla a los ingenieros interesados para observar el comportamiento de las estructuras, otra medida es la inspección visual de las estructuras, con el objeto de poder observar alguna fisura y reportarla de inmediato.

¿Qué problemas se presentaron y como se resolvieron?

En cuanto a la Línea 7 y el puente Revolución, se comportaron satisfactoriamente, ya que no presentaron deformaciones excesivas que obligara a tomar otro tipo de acciones.

Dentro del túnel de línea 7 se observaron pequeñas grietas que al parecer ya existían antes de la construcción de la línea 12 y para cerciorarse de que estas no siguieran incrementándose, se colocaron testigos de yeso observándose diario, no presentándose incremento de dichas fisuras.

Durante la excavación se presentaron grietas verticales en el frente de excavación, lo cual obligo a que se rellenaran estas grietas con la finalidad de evitar la presencia de bloques o “columnas” de suelo que pudiesen concentrar cargas inadecuadas para su propia estabilidad o que trasmitan cargas concentradas al túnel de la Línea 7 y provocar deformaciones.

En general el cruce se realizo con éxito sin tener hasta la fecha consecuencias después del mismo.

CAPÍTULO IV.

Instrumentación utilizada en el túnel convencional.

IV INSTRUMENTACION UTILIZADA EN EL TUNEL CONVENCIONAL.

Dada la importancia del proyecto, se implementó un sistema de instrumentación que permita evaluar el comportamiento de la obra antes, durante su vida constructiva y después, con el fin de detectar algún comportamiento atípico que se pudiese presentar o la posibilidad de realizar alguna optimización en la construcción.

Para cumplir con dichos objetivos existen varias posibilidades de control como por ejemplo control topográfico, con aparatos de cuerda vibrante, micro-electromecánicos, mecánicos y magnéticos en todos los frentes de construcción; a través de este monitoreo, se revisan los desplazamientos y deformaciones del suelo vecino que pudiesen impactar en edificaciones, instalaciones, estructuras, vialidades o equipamientos urbanos.

Con todo lo descrito anteriormente y con respecto a este tramo en particular, se diseñó un sistema de instrumentación únicamente a base de topografía el cual nos servirá para ver el comportamiento de la estructura y las estructuras aledañas durante la etapa constructiva.

El sistema de instrumentación utilizado en el tramo Cola y Nave de Depósito Mixcoac perteneciente a la línea 12 del metro, está compuesta de la siguiente manera:

- Referencias superficiales.
- Instrumentación al interior del túnel.
- Extensómetro de barras.
- Piezómetros tipo Casagrande.

4.1 Referencias superficiales.

Con el fin de medir los movimientos que se pudiesen generar en superficie provocadas durante la excavación y construcción del túnel, se colocaron referencias a base de bancos de nivel superficial, palomas (niveletas) y plomos en las edificaciones aledañas a la obra. A continuación se describirá la instrumentación utilizada como medio de control y prevención ante cualquier evento.

4.1.1 Referencias sobre el eje de trazo.

Con el objeto de poder medir los desplazamientos generados en superficie a consecuencia de la excavación y construcción de la Línea 12 del metro, se colocaron referencias a base de bancos de nivel superficial sobre el eje de trazo, las cuales están colocadas a cada 5 o 10 m.

Debido a la longitud del túnel y a las condiciones en el entorno a este, como se menciono anteriormente, se decidió iniciar la excavación en tres frentes de trabajo, los cuales empezaron en diferentes lapsos de tiempo, es por eso que el sistema de instrumentación se dividió en tres tramos los cuales son:

- Lumbrera 1-Mixcoac (cruce con línea 7).
- Lumbrera 1-Periferico Sur.
- Periférico Sur-Lumbrera 2.

En estos últimos dos tramos en particular, se dividieron así ya que en Boulevard Adolfo López Mateos (Periférico Sur), por seguridad no se pudieron tomar lecturas debido a la constante afluencia vehicular de esta avenida.

Lumbrera 1-Mixcoac (cruce Línea 7).

El tramo Lumbrera 1-Mixcoac, es el más corto con una longitud de 82 m aproximadamente, pero considerado por muchos el de mayor importancia en toda la Línea, debido a que se construye con muy poco lecho sobre la línea 7 del metro del Distrito Federal. Uno de los medios de control en este cruce, fue colocando referencias con clavos de acero a cada 5m sobre el eje de trazo indicando con pintura el cadenamiento al cual pertenece dando un total de 19 puntos de referencia, (ver figura No. 50).

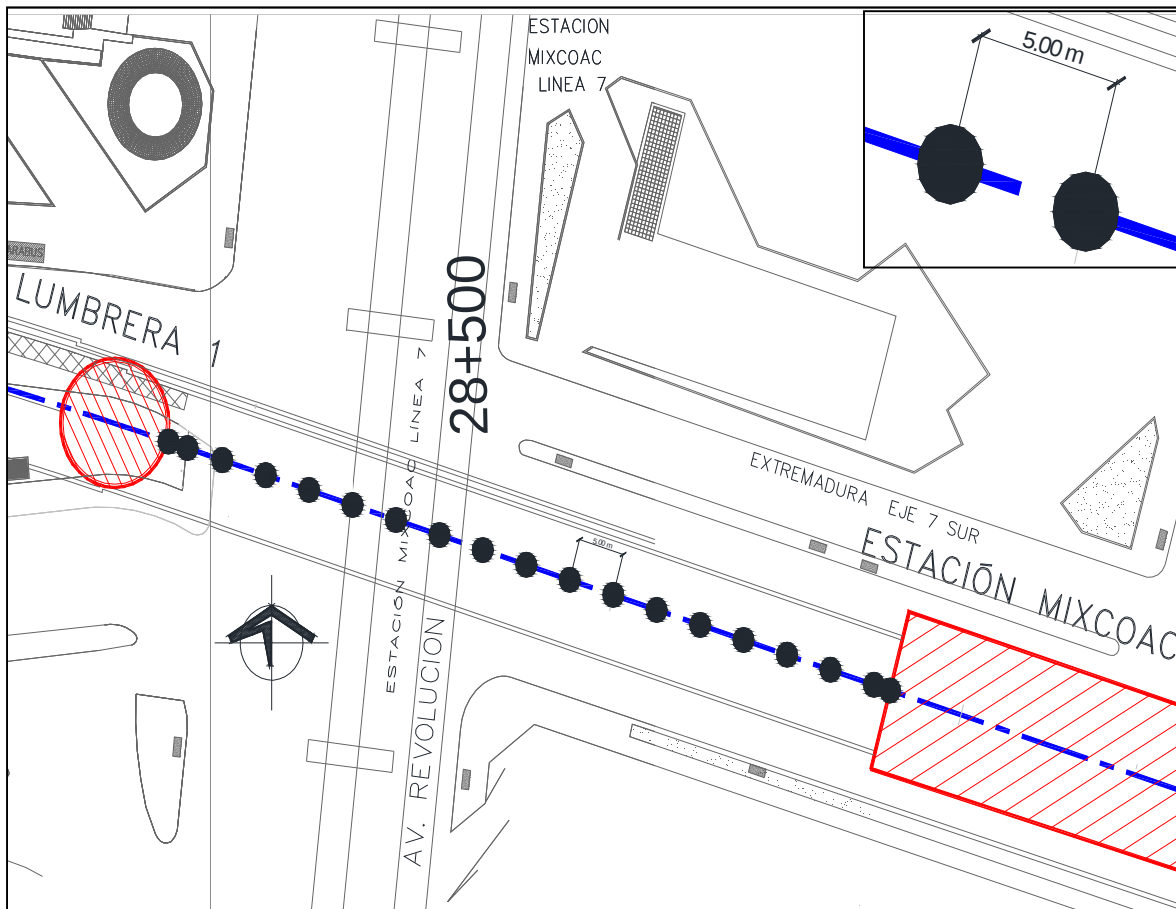


Figura No. 50 Referencias superficiales al eje de trazo del tramo Lumbrera 1-estación Mixcoac

Frecuencia y toma de lecturas. Dada la importancia de este tramo, el monitoreo y toma de lecturas se realizo de la siguiente manera:

- a) Se tomará una lectura inicial, la segunda tres días posteriores a la primer lectura, si las dos lecturas son similares se toma como inicial, de no ser así se repetirán las lecturas hasta que tengan una diferencia máxima de ± 3 mm. Posterior a ésta, se tomará una lectura semanal.
- b) Una vez que comiencen los trabajos del frente de excavación de la Lumbrera 1 hacia la estación Mixcoac, se realizará una lectura al día, hasta que el frente se encuentre 50 m posteriores al cruce con la línea 7 del metro del Distrito Federal o que las gráficas tiempo vs deformación muestren una tendencia clara de estabilidad.
- c) En el momento en que se muestre una tendencia de estabilidad, se realizará una lectura por semana, si después de tres meses se observa la continuidad de la estabilidad en muestreo se realizarán dos lecturas por mes durante la etapa constructiva del túnel convencional.

Lumbrera 1-Periférico Sur.

Este tramo el cual es el más largo con aproximadamente 400 m de longitud, al igual se colocaron referencias con clavos de acero y en áreas verdes con cilindros de concreto o comúnmente también llamadas “mojoneras” a cada 5 m sobre el eje de trazo indicando con pintura el cadenamamiento al cual pertenece, en total se colocaron 90 puntos de referencia los cuales se pueden ver en la figura No. 51

“SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL CONVENCIONAL CORRESPONDIENTE AL TRAMO COLA DE MANIOBRAS Y DEPOSITO MIXCOAC DE LA LINEA 12 DEL METRO.”

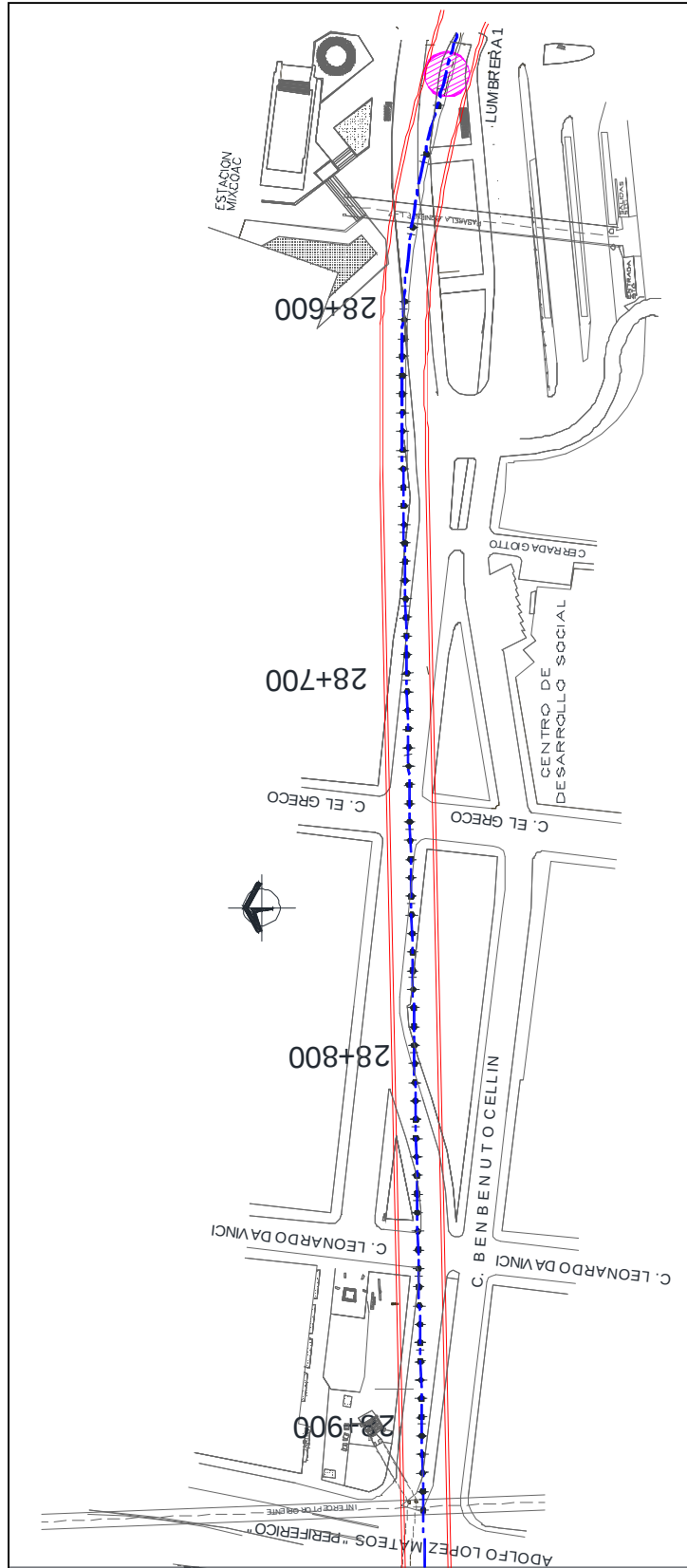


Figura No. 51 Referencias superficiales al eje de trazo del tramo Lumbrera 1-Periférico Sur

Frecuencia y toma de lecturas. Para el monitoreo y toma de lecturas se realizo de la siguiente manera.

- a) Se tomará una lectura inicial, la segunda tres días posteriores a la primer lectura, si las dos lecturas son similares se toma como inicial, de no ser así se repetirán las lecturas hasta que tengan una diferencia máxima de ± 3 mm. Posterior a ésta, se tomará una lectura semanal.
- b) Una vez que comiencen los trabajos del frente de excavación de la Lumbrera 1 hacia la Lumbrera 2, se realizará una lectura al día tres veces por semana.
- c) En el momento en que se muestre una tendencia de estabilidad, se realizará una lectura por semana, si después de tres meses se observa la continuidad de la estabilidad en muestreo se realizarán dos lecturas por mes durante la etapa constructiva del túnel convencional.

Lumbrera 2-Periferico Sur.

Y por ultimo en este tramo el cual es el más largo con aproximadamente 300 m de longitud, al igual se colocaron referencias con clavos de acero” a cada 5 m sobre el eje de trazo indicando con pintura el cadenamamiento al cual pertenece, en total se colocaron 90 puntos de referencia los cuales se pueden ver en la figura No. 52.

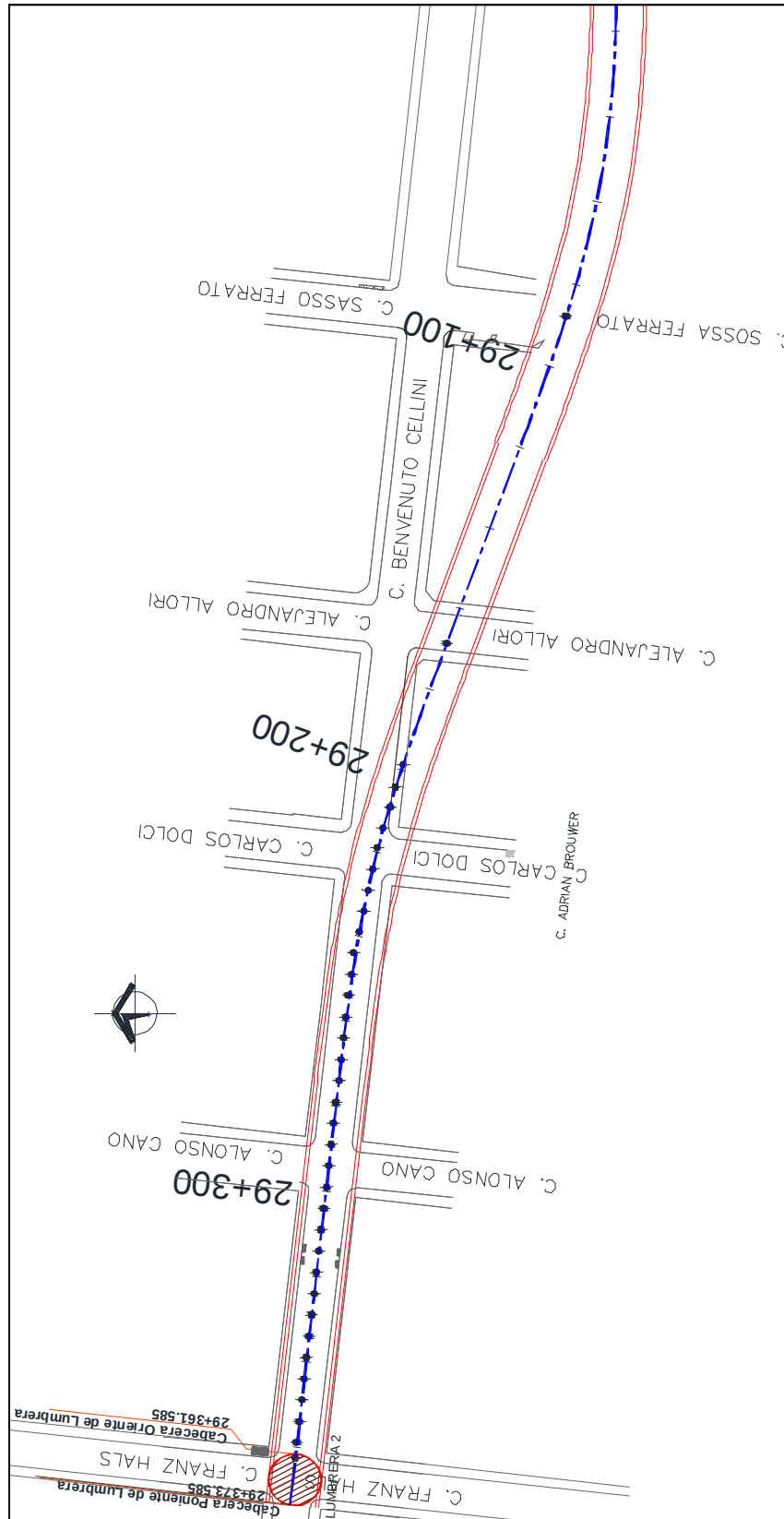


Figura No. 52 Referencias superficiales al eje de trazo del tramo Lumbra 2-Periférico Sur

Frecuencia y toma de lecturas. Para el monitoreo y toma de lecturas se realizo de la misma manera que en el tramo Lumbrera 1-Periferico Sur

- a) Se tomará una lectura inicial, la segunda tres días posteriores a la primer lectura, si las dos lecturas son similares se toma como inicial, de no ser así se repetirán las lecturas hasta que tengan una diferencia máxima de ± 3 mm. Posterior a ésta, se tomará una lectura semanal.
- b) Una vez que comiencen los trabajos del frente de excavación de la Lumbrera 2 hacia la Lumbrera 1, se realizará una lectura al día tres veces por semana.
- c) En el momento en que se muestre una tendencia de estabilidad, se realizará una lectura por semana, si después de tres meses se observa la continuidad de la estabilidad en muestreo se realizarán dos lecturas por mes durante la etapa constructiva del túnel convencional.
- d) Se realizaron gráficas de comportamiento general y de tiempo deformación. En las graficas generales, se deberán contener la lectura inicial y las últimas tres lecturas y en las graficas tiempo-deformación deberán estar graficados todos los puntos para su interpretación.

4.1.2 Referencias transversales.

Con el objeto de poder medir los desplazamientos que se pudiesen medir en superficie, en este caso de manera puntual en el cruce con la Línea 7 del metro, se colocaron referencias transversales compuestas por 11 bancos de nivel superficial instalándose de la siguiente manera:

Tomando como punto de partida el cruce del eje de túnel de línea 12 y el eje de túnel de línea 7, se colocó el primer clavo acero en ese punto y de ahí se colocaron las demás referencias a cada 5 m hasta completar 25 m a cada lado. Ver figura No.53

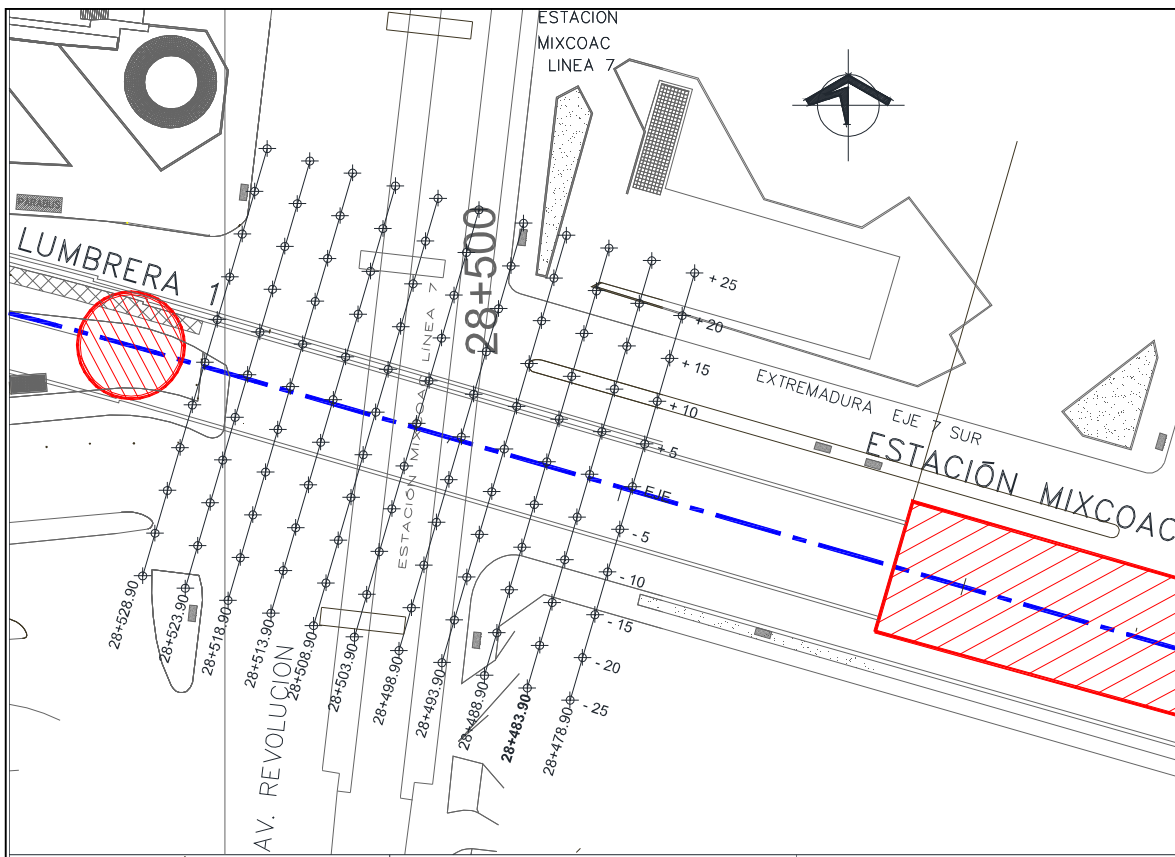


Figura No. 53 Referencias transversales al eje de trazo en el cruce con la Línea 7 del metro

Frecuencia y toma de lecturas. Como se ha mencionado anteriormente sobre la delicadeza de este tramo, el monitoreo y toma de lecturas se realizo de la siguiente manera:

- a) Se tomará una lectura inicial, la segunda tres días posteriores a la primer lectura, si las dos lecturas son similares se toma como inicial, de no ser así se repetirán las lecturas hasta que tengan una diferencia máxima de ± 3 mm. Posterior a ésta, se tomará una lectura semanal.
- b) Una vez que comiencen los trabajos del frente de excavación de la Lumbrera 1 hacia la estación Mixcoac, se realizará una lectura al día, hasta que el frente se encuentre 50 m posteriores al cruce con la línea 7 del metro del Distrito Federal o que las gráficas tiempo vs deformación muestren una tendencia clara de estabilidad.
- c) En el momento en que se muestre una tendencia de estabilidad, se realizará una lectura por semana, si después de tres meses se observa la continuidad de la estabilidad en muestreo se realizarán dos lecturas por mes durante la etapa constructiva del túnel convencional.

4.1.3 Niveletas.

Cun el fin de conocer los movimientos que se pudieran presentar en los edificios aledaños al intertramo y en estructuras importantes, se procederá a colocar marcas de pintura (palomas), de acuerdo con lo descrito a continuación:

Las palomas se ubicarán en las edificaciones colindantes con la zona de proyecto (eje de trazo del túnel y en las lumbreras 1, 2 y estación Mixcoac).

En edificaciones las marcas (palomas) se colocarán en el paramento de las edificaciones a 1.50m de altura, medido a partir del nivel de banqueteta, tal como se muestra en la figura No. 54. En las base de las columnas se colocará una Niveleta por cada lado de la columna para un total de cuatro, estas referencias se ubicarán a 1.5 m de altura por encima del nivel de terreno natural. En las figura No. 55 se muestra la ubicación de las niveletas colocadas en este tramo.

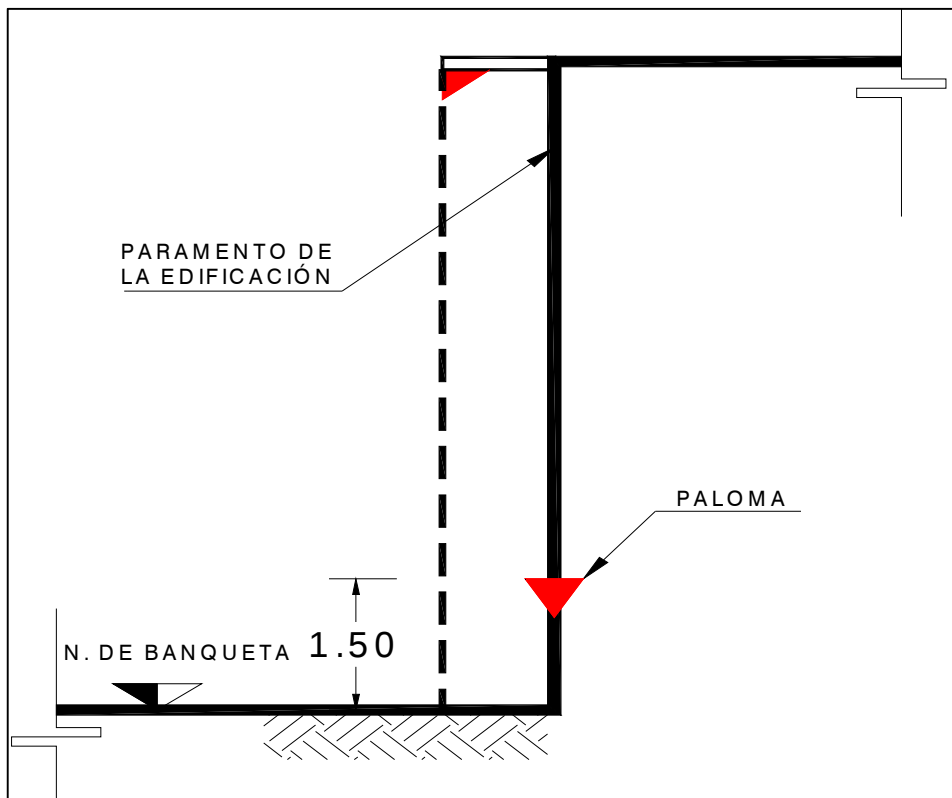


Figura No. 54 Esquema de colocación de niveletas en edificaciones

**“SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL CONVENCIONAL
CORRESPONDIENTE AL TRAMO COLA DE MANIOBRAS Y DEPOSITO MIXCOAC DE LA LINEA 12 DEL
METRO.”**

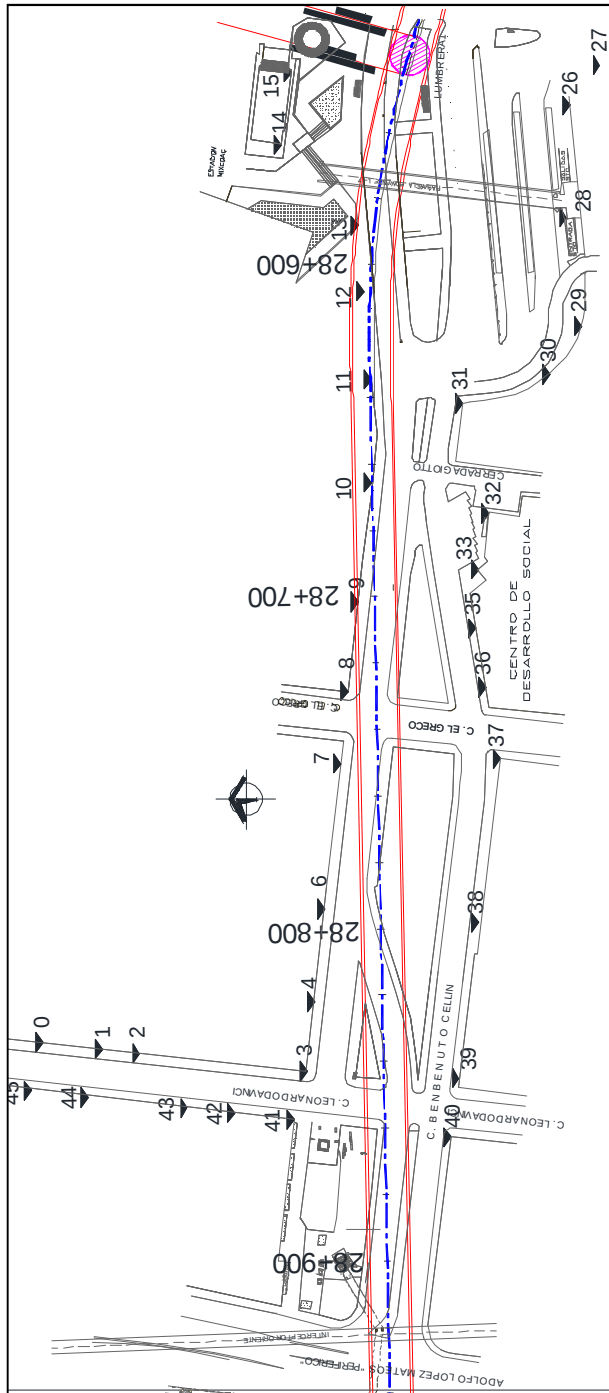


Figura No. 55 Vista en planta de la colocación de las
niveletas del tramo Lumbra 1-Periférico Sur

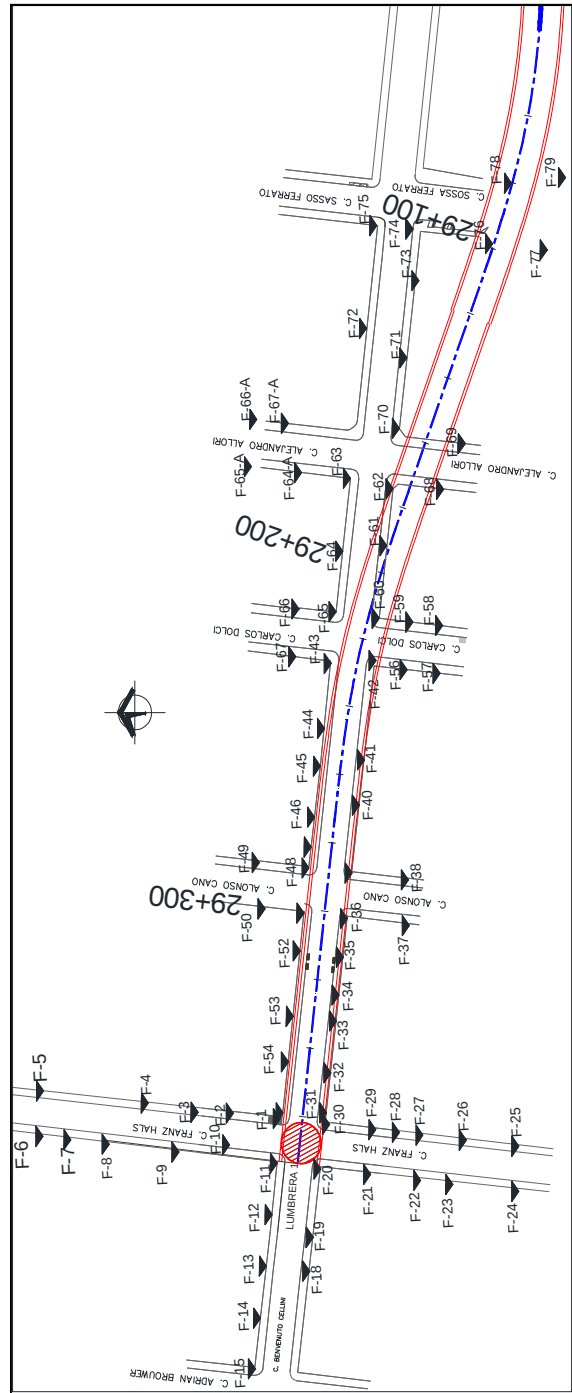


Figura No. 56 Vista en planta de la colocación de las
niveletas del tramo Lumbra 1-Periférico Sur

Frecuencia y toma de lecturas.

La frecuencia y toma de lecturas se muestra a continuación:

Primer lectura cuando el frente de excavación se encuentre a una distancia de 2 diámetros y medio del túnel, la segunda un día después de la primer lectura, si las dos lecturas son similares se toma como inicial, de no ser así se repetirán las lecturas hasta que tengan una diferencia máxima de ± 3 mm.

Cuando el frente de excavación del túnel se encuentre a una distancia de aproximadamente 2 veces el diámetro del túnel se tomarán lecturas diarias hasta que el frente de excavación se encuentre por delante 2 veces el diámetro.

Posterior se realizará una lectura una por semana, hasta el colado del revestimiento definitivo, continuando con lecturas quincenales hasta que la tendencia marque estabilidad momento en el cual se podrán suspenderse las lecturas.

4.2 Instrumentación al interior del túnel

Con el objeto de poder medir la deformación que se pudiese tener en el interior del túnel, se colocarán puntos de referencia a base de reflejantes para medir las convergencias y divergencias a lo largo del túnel convencional a cada 50.00m en todo el eje excepto los 100 primeros metros del inicio de las lumbreras y en edificaciones o estructuras importantes en las que se localizarán a cada 10m, por lo que coincidirán con las referencias superficiales al eje de trazo.

Estos reflejantes estarán conformados por ángulos de metal de 1 1/2" en el cual en un lado se pegara el reflejante y el otro extremo se fijara en los puntos de interés del túnel (ver figura No. 57

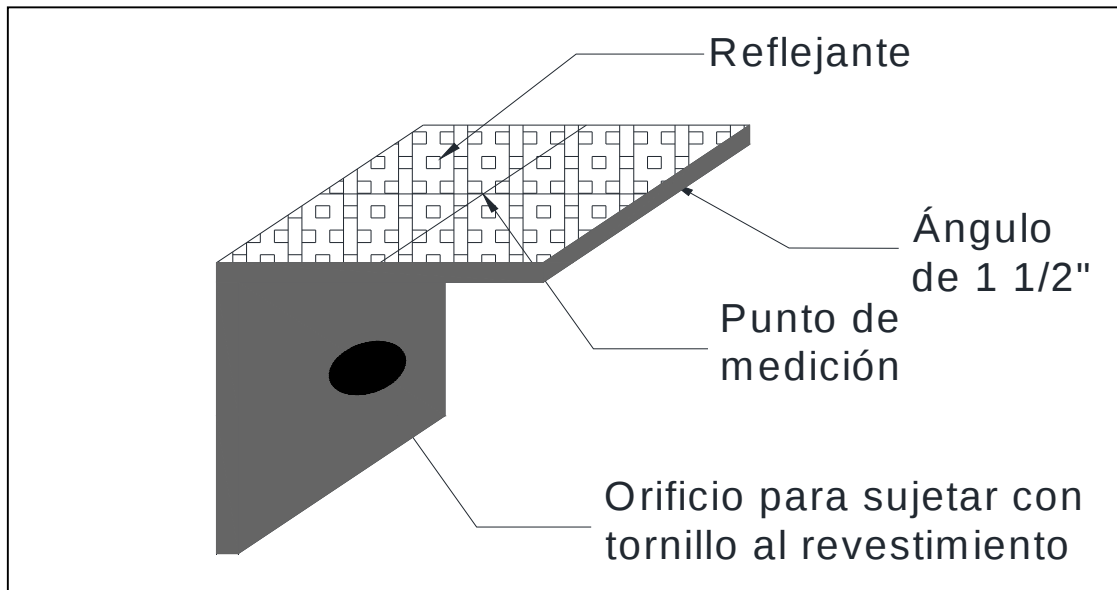


Figura No. 57 Esquema de reflejante utilizado para medición de convergencias y divergencias en el interior del túnel

La instalación de los reflejantes se realizará en dos etapas ya que la excavación se ejecutará en etapas de media sección y sección completa,

Una vez que la fase de la sección media superior (zona 1) en donde se ubicará el sistema de convergencias quede completamente excavada y colada se instalarán al centro de y a los costados, tres reflejantes (B, C y D), ver figura No. 58. Una vez que se excave la sección media inferior (zona II) se instalarán los últimos dos reflejantes (A y E), ver figura No.59.

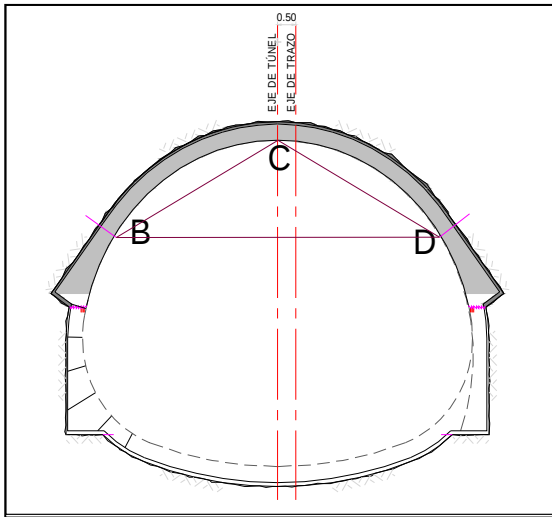


Figura No. 58 Sección simple colocada en la media sección superior

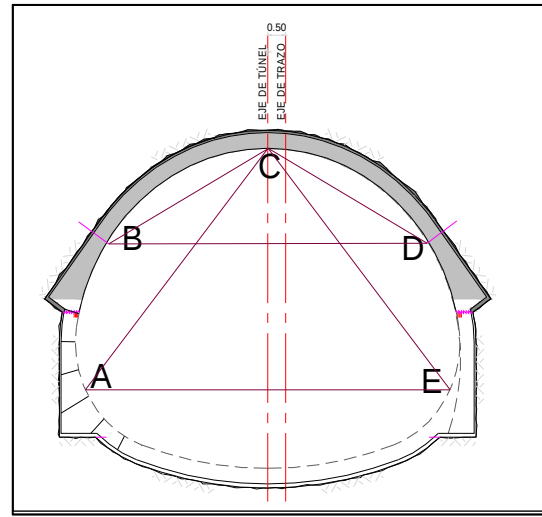


Figura No. 59 Sección compuesta, después de coladas las zapatas

Frecuencia y toma de lecturas.

La frecuencia y toma de lecturas se muestra a continuación:

- a) Posterior a la lectura inicial, la segunda tres días posteriores a la primer lectura, si las dos lecturas son similares se toma como inicial, de no ser así se repetirán las lecturas hasta que tengan una diferencia máxima de ± 3 mm. Posteriormente se tomará una lectura semanal.
- b) Una vez que el frente de excavación comience con los trabajos desde la lumbrera 1 hacia el túnel en el sentido oriente se realizará una lectura al día, hasta que el frente se encuentre 50m posteriores a la zona de convergencias o que las gráficas tiempo vs distancia muestren una estabilidad de por lo menos 15 días.

- c) Una vez que se muestre una tendencia de estabilidad conforme a lo anterior, se realizará una lectura por semana, si después de tres meses se observa la continuidad de la estabilidad en muestreo se realizarán dos lecturas por mes durante la etapa constructiva del túnel convencional.

Convergencias y Divergencias en el interior del túnel de línea 7

Con el fin de medir las convergencias y divergencias al interior del túnel, se colocarán puntos de referencia a base de tarjetas reflejantes en el túnel como se muestra en la figura No. 60, se colocarán tres reflejantes fijados a la dovela con pegamento epóxico, uno en clave y los otros dos a $1/2$ de la distancia de clave y rasante aproximadamente, dependiendo del espacio disponible en el túnel, es decir, en función de las instalaciones al interior del túnel.

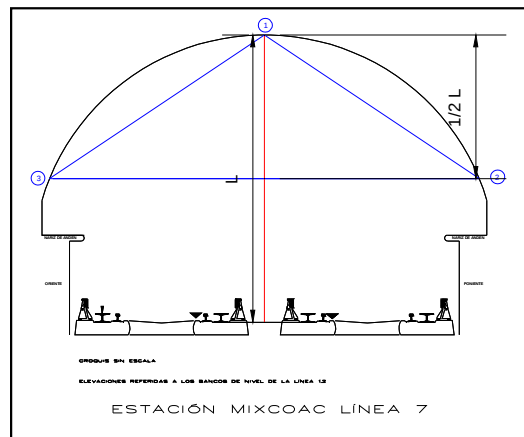


Figura No. 60 Esquema de localización de convergencias en Línea 7

Las mediciones de convergencias y divergencias se realizarán con una estación total con precisión de 3", para realizarlo se colocará la estación total en el eje de trazo monitoreando las convergencias y divergencias a cada 5 metros de ambos lados hasta llegar a los 10m. Ver figura No. 61

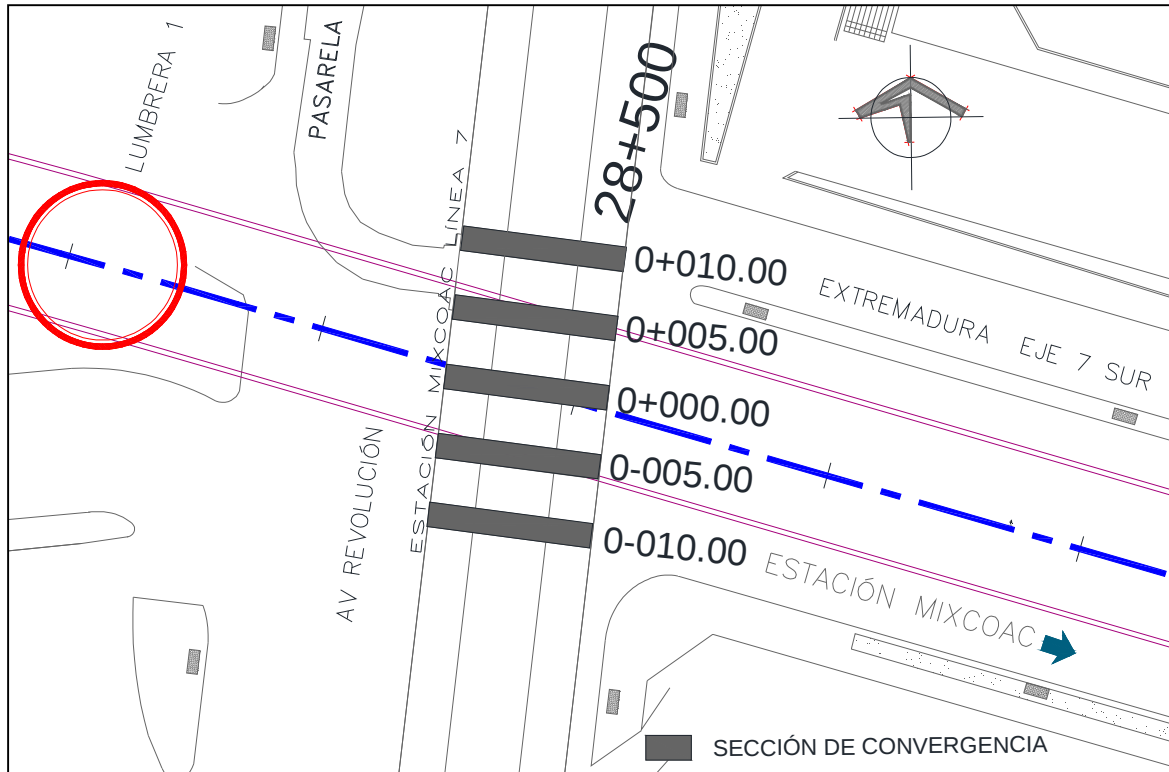


Figura No. 58 Vista en planta de localización de convergencias en Línea 7

4.3 Extensómetro de Barras.

Con el objeto de poder medir los desplazamientos en el subsuelo, se colocaron extensómetros de barras en dos puntos clave en este tramo:

- Cruce con interceptor poniente.
- Cruce con Línea 7 del metro.

Cruce con Interceptor Oriente.

Con el fin de detectar los movimientos verticales que se puedan presentar en la masa de suelo, se instalará un extensómetro de tres barras sobre el eje de trazo de la línea 12 (ver figura No. 62) del metro, en la zona del cruce con el interceptor poniente, con las siguientes profundidades de 4.00 m, 9.70 m y 15.00 m. Ver figura No. 63

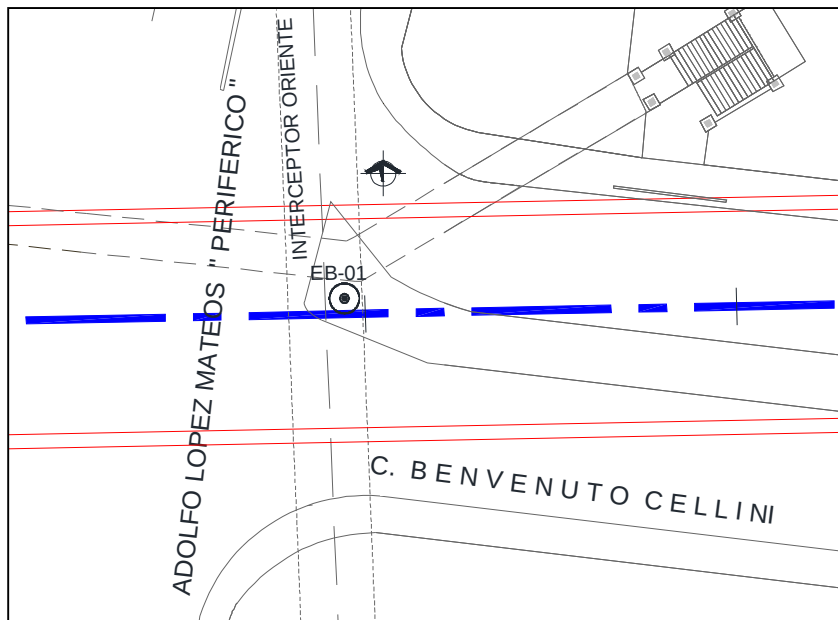


Figura No. 62 Ubicación en planta del extensómetro de tres barras.

“SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL CONVENCIONAL CORRESPONDIENTE AL TRAMO COLA DE MANIOBRAS Y DEPOSITO MIXCOAC DE LA LINEA 12 DEL METRO.”

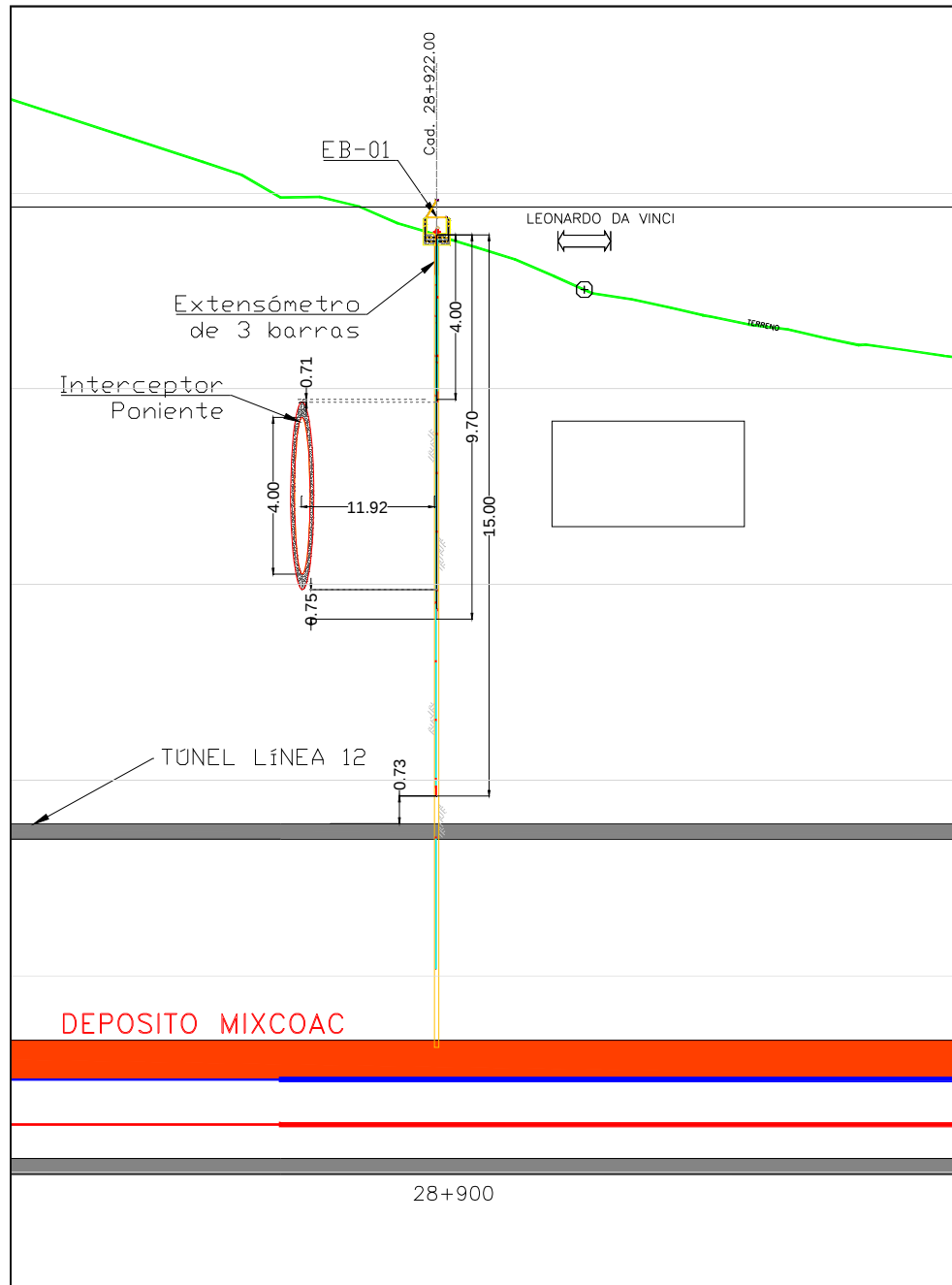


Figura No. 63 Corte transversal del extensómetro de tres barras.

El extensómetro de barra estará conformado en la parte superior por un cabezal conformado con dos bridas, un cople y una placa metálica los cuales servirán como base para las mediciones, fijado a la brida inferior se encuentra tubería de PVC de 3" de diámetro con una longitud de 1.5 m; dentro de la brida con ayuda de un elemento plástico se colocará una barra de acero inoxidable de 1/4" instalada a la profundidad de la

clave del túnel de la Línea 12, encamisada por tubería de PVC de 1/4" a todo lo largo, en la base de la barra se soldará un ancla de acero corrugado de 3/4" de diámetro. Ver figura No. 64

La barra de acero inoxidable junto con el encamisado quedará con una holgura tal que permita el movimiento libre de la misma con respecto a la base para las mediciones ya que esta se empotrará al suelo para poder detectar los movimientos y se tomarán las deformaciones con ayuda de un micrómetro de profundidad o con mediciones topográficas.

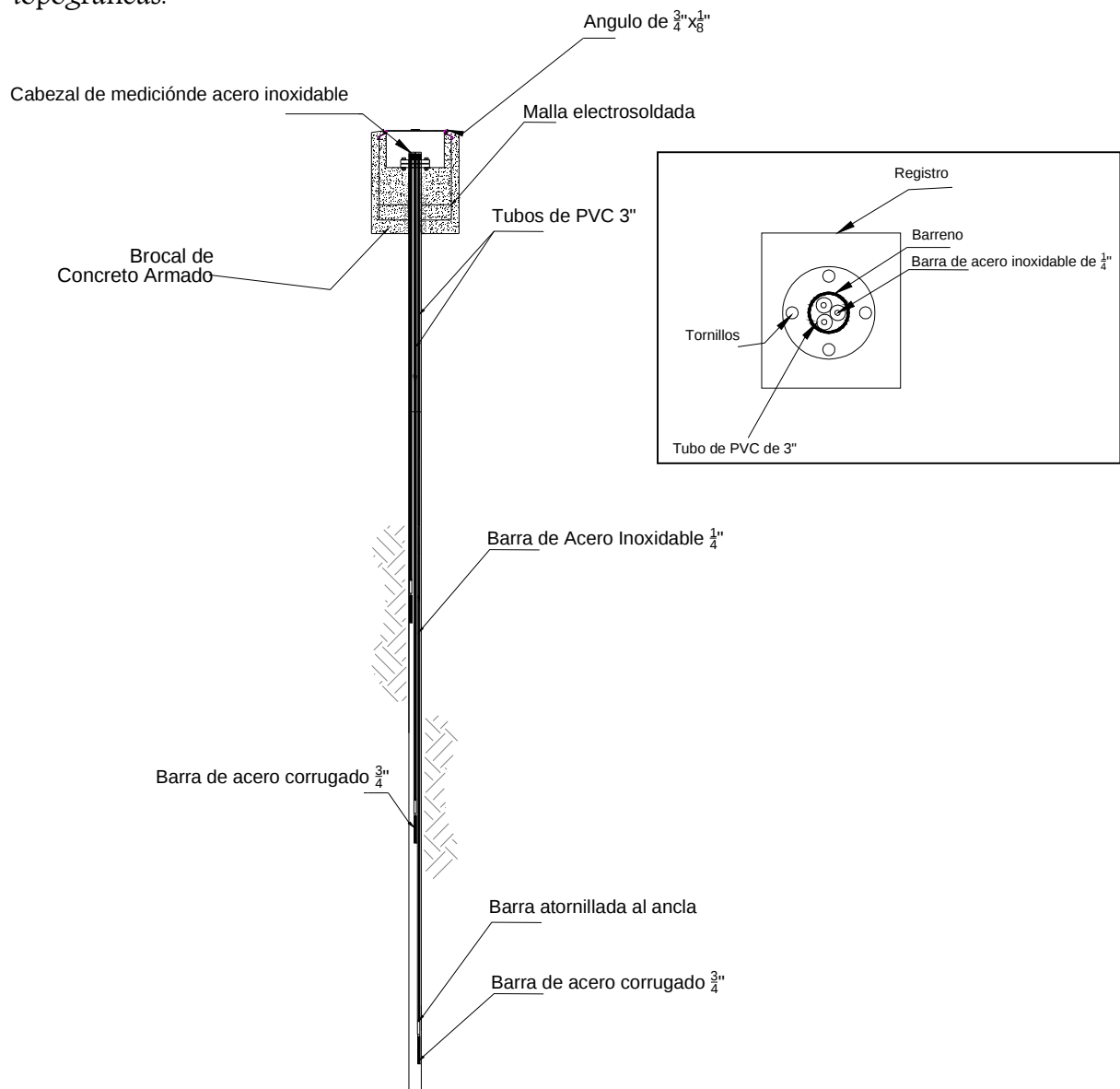


Figura No. 64 Esquema de instalación del extensómetro de tres barras.

Cruce con Línea 7 del metro.

Con el fin de detectar los movimientos verticales que se puedan presentar en la masa de suelo, se instalará un extensómetro de barra con una barra sobre el eje de trazo de la Línea 12 del metro en la zona del cruce con el túnel de la Línea 7 a una profundidad de 7.30 m (ver figuras No. 65, 66 y 67)

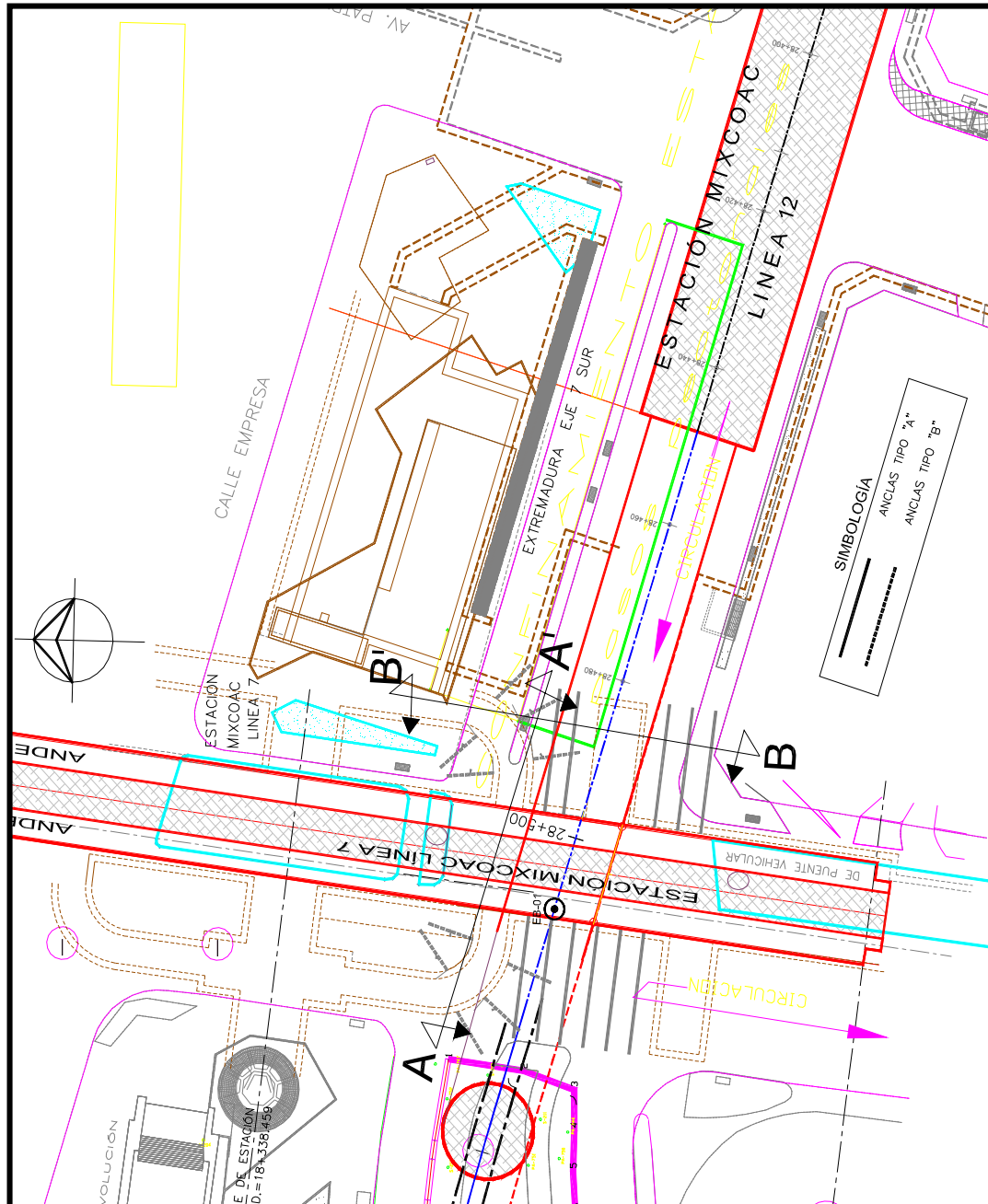


Figura No.65 Vista en planta del extensómetro de una barra.

**“SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL CONVENCIONAL
CORRESPONDIENTE AL TRAMO COLA DE MANIOBRAS Y DEPOSITO MIXCOAC DE LA LINEA 12 DEL
METRO.”**

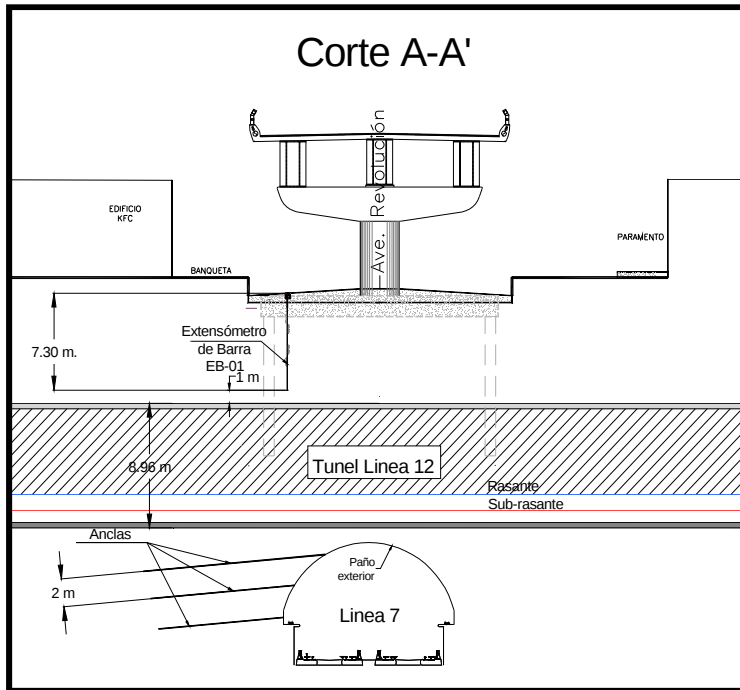


Figura No. 66 Corte A-A' del extensómetro de una barra.

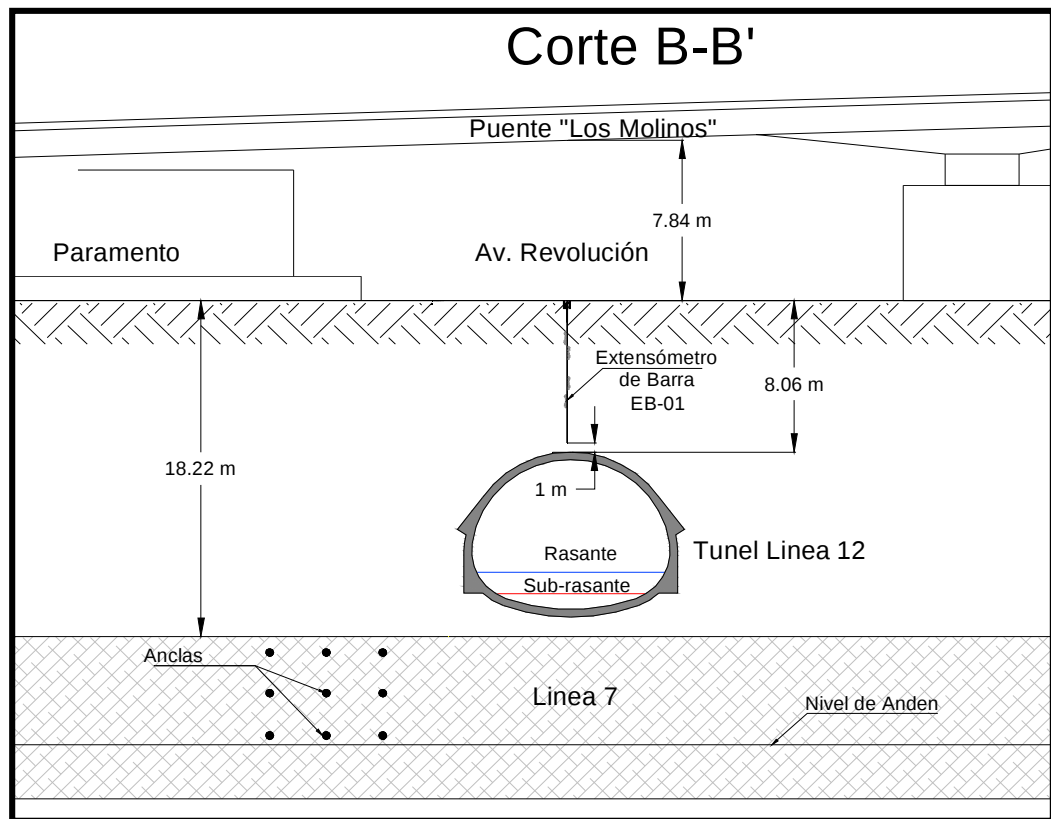


Figura No. 67 Corte B-B' del extensómetro de una barra.

El extensómetro de barra estará conformado en la parte superior por un cabezal conformado con una brida, un cople y una placa metálica los cuales servirán como base para las mediciones, fijado a la brida inferior se encuentra tubería de PVC de 3" de diámetro con una longitud de 1.5 m; dentro de la brida con ayuda de un elemento plástico se colocará una barra de acero inoxidable de 1/4" instalada a la profundidad de la clave del túnel de la Línea 12, encamisada por tubería de PVC de 1/4" a todo lo largo, en la base de la barra se soldará un ancla de acero corrugado de 3/4" de diámetro. Ver figura No. 64

La barra de acero inoxidable junto con el encamisado quedará con una holgura tal que permita el movimiento libre de la misma con respecto a la base para las mediciones ya que esta se empotrará al suelo para poder detectar los movimientos y se tomarán las deformaciones con ayuda de un micrómetro de profundidad o con mediciones topográficas.

La frecuencia de lecturas de ambos extensómetros se muestra a continuación:

- a) Se tomará una lectura inicial, la segunda tres días posteriores a la primer lectura, si las dos lecturas son similares se toma como inicial, de no ser así se repetirán las lecturas hasta que tengan una diferencia máxima de ± 3 mm. Posterior a ésta, se tomará una lectura semanal.
- b) Una vez que el frente de excavación se encuentre a 50m previos al cruce se realizará una lectura al día, hasta que el frente se encuentre 50m posteriores a éste o que las gráficas tiempo vs deformación muestren una tendencia clara de estabilidad.
- c) En el momento en que se muestre una tendencia de estabilidad, se realizará una lectura por semana, si después de tres meses se observa la continuidad de la estabilidad se podrán suspender las lecturas.

Con el objeto de verificar la existencia de fugas que pudieran presentarse en el interceptor poniente durante la excavación y construcción de la línea 12 del metro, se instalaran dos tubos de observación o también conocidos como piezómetros abiertos de tipo Casagrande a una profundidad de 14m y 10.30m como se muestra en las figuras No. 68 y 69.

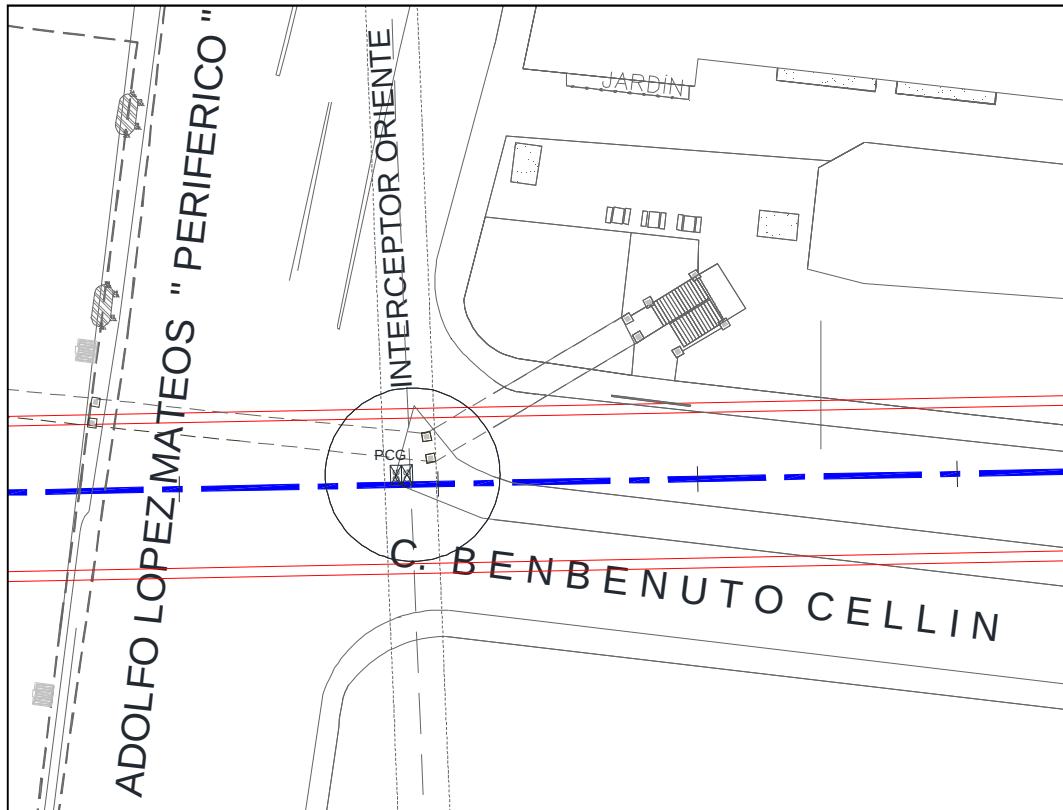


Figura No. 68 Vista en planta de Piezómetro tipo Casagrande.

**“SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL CONVENCIONAL
CORRESPONDIENTE AL TRAMO COLA DE MANIOBRAS Y DEPOSITO MIXCOAC DE LA LINEA 12 DEL
METRO.”**

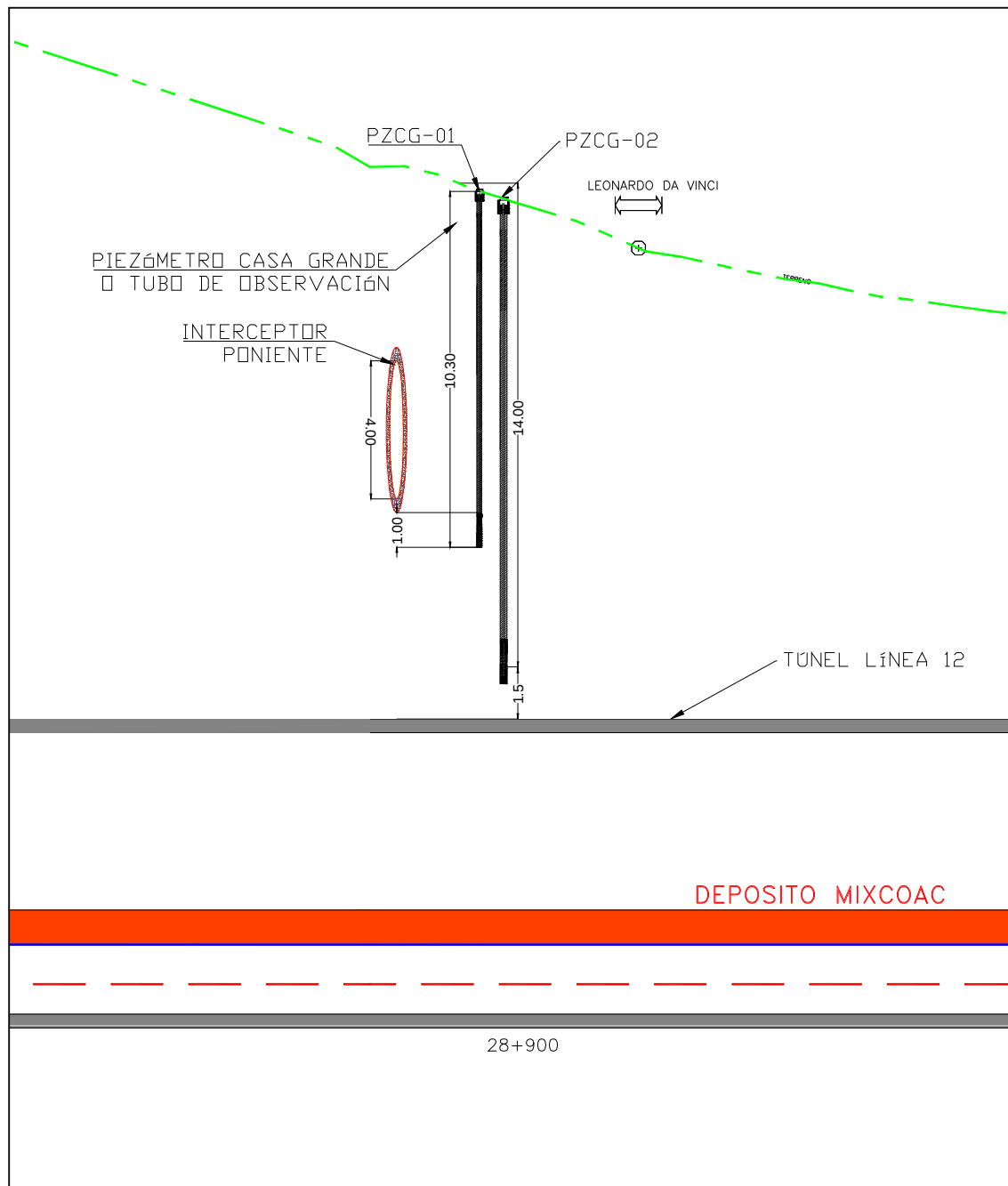


Figura No. 69 Corte transversal de instalación de Piezómetros tipo Casagrande.

Los piezómetros se instalaran de la siguiente manera:

Un mes previo a la realización de los trabajos en la zona donde se encuentran los piezómetros y habiendo sido localizada topográficamente su ubicación, se realizará una perforación de 5 ½” de diámetro con ayuda de una máquina Long Year 38 o similar. La profundidad del barreno deberá ser dos metros mayor a la profundidad de instalación correspondiente, esto con el fin de evitar problemas de azolve. Durante el proceso de barrenación, se deberá emplear agua limpia como fluido de perforación.

Una vez terminada la perforación, mediante un pistón acoplado a una sonda, se verificará la profundidad del barreno, así como la limpieza del mismo, verificando que esté libre de obstáculos que pudiesen impedir el descenso de la tubería. En caso necesario se deberá lavar el barreno de agua limpia.

Al mismo tiempo se realizará la preparación de la tubería, con tubos de PVC sanitario de 2” se realizarán con ayuda de una sierra de diente fino, tres ranuras en el perímetro correspondiente al tubo de PVC, estas ranuras tendrán una separación igual a 2 cm y tendrán una longitud total de 1.00m. (Ver figura). En el tubo inferior se colocará un tapón tipo campana, dicho tapón entrará a presión garantizando la fijación de la tubería. Ver figura No. 70

**“SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL CONVENCIONAL
CORRESPONDIENTE AL TRAMO COLA DE MANIOBRAS Y DEPOSITO MIXCOAC DE LA LINEA 12 DEL
METRO.”**

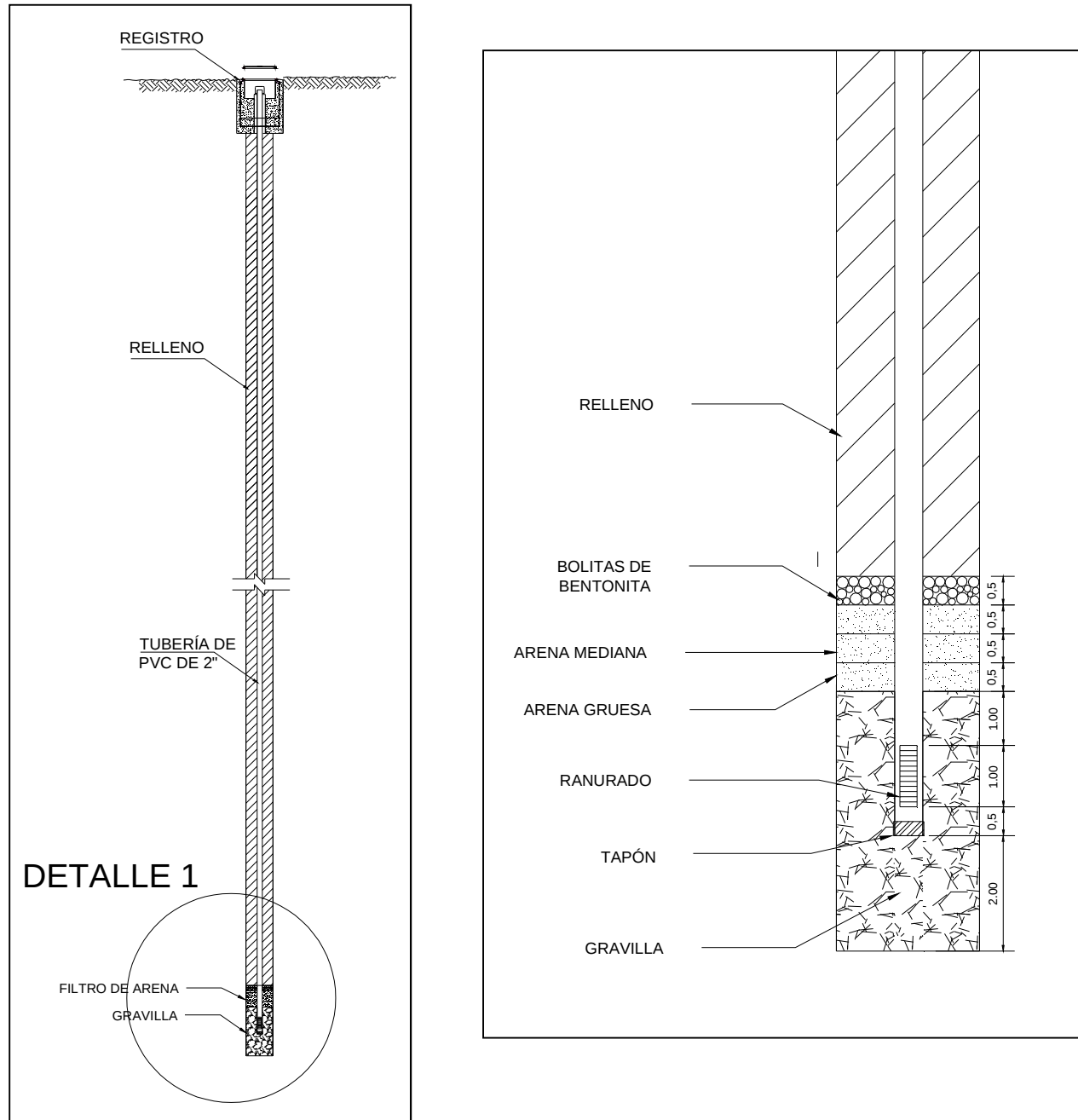


Figura No. 70 Esquema de instalación de Piezómetros tipo Casagrande.

CAPÍTULO V.

Análisis e Interpretación de resultados.

V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

El sistema de instrumentación instalado en el tramo Cola y Deposito Mixcoac, como se ha mencionado anteriormente, está conformado por niveletas en paramentos, referencias sobre el eje de trazo, extensómetro de barras, piezómetro tipo casa grande, convergencias y divergencias en el interior del túnel de Línea 12 y Línea 7 del metro. De la instrumentación antes señalada se presentan los desplazamientos promedio durante todo el periodo de monitoreo.

REFERENCIAS SUPERFICIALES.

Niveletas en paramentos.

En el tramo Cola y Deposito Mixcoac, las gráficas se encuentran divididas en dos tramos, el primero comprende de **Periférico Sur a Lumbrera 1** y el siguiente de **Periférico Sur a Lumbrera 2**.

A lo largo del periodo de monitoreo de las niveletas en paramentos del tramo comprendido del 30 de agosto de 2009 al 18 de febrero de 2012, se pudieron apreciar desplazamientos en ambos lados, los cuales se resumen a continuación.

En las niveletas del tramo **Lumbrera 1 a Periférico Sur** en el **lado norte**, se registraron expansiones promedio de 0.8 cm previo a la excavación del túnel. Una vez que hecha la excavación y revestimiento del túnel (concluido entre junio de 2010 y febrero de 2011), registraron asentamientos comprendidos en un rango de 0.2 a 3.5 cm presentándose el máximo en la niveleta I-10.

En las niveletas del tramo **Lumbrera 1 a Periférico Sur** en el **lado sur**, se registraron expansiones promedio de 0.6 cm antes de la excavación del túnel. Una vez hecha la excavación y revestimiento del túnel, se registraron asentamientos comprendidos en un rango de 0.1 a 1.0 cm

En las niveletas del tramo **Lumbrera 2 a Periférico Sur** en el **lado norte**, se durante el proceso de excavación y revestimiento del túnel, se registraron asentamientos en un rango comprendido de 0.1 cm a 3.5 cm manteniéndose estable hasta el momento.

En las niveletas del tramo **Lumbrera 2 a Periférico Sur** en el **lado sur**, se registraron expansiones promedio de 8 mm antes de la excavación del túnel. Una vez que hecha la excavación y revestimiento del túnel se registraron asentamientos en un rango comprendido de de 0.1cm a 3.0 cm.

En la niveleta F-47 ubicada en la esquina de la calle Alfonso Cano y Av. Benvenuto Cellini del lado norte del trazo del túnel, se presento el mayor hundimiento del orden de 5.1 cm en enero de 2011, estabilizándose hasta la última toma de lecturas.

Ver **ANEXO A**

Referencias sobre el eje de trazo

En el tramo Cola y Deposito Mixcoac y al igual que en el caso de las niveletas en paramentos, las referencias sobre el eje de trazo se dividió en tres tramos, **Lumbrera 1-Mixcoac**, **Lumbrera 1-Periférico Sur** y **Lumbrera 2-Periférico Sur**.

Lumbrera 1-Mixcoac.

A lo largo del periodo de monitoreo de las referencias sobre el eje de trazo, del tramo Lumbrera 1-Mixcoac, comprendido del 24 de diciembre de 2010 al 22 de junio de 2011 se pudieron apreciar algunos desplazamientos en superficie, los cuales se resumen a continuación:

En las referencias sobre el eje de trazo del tramo **Lumbrera 1-Mixcoac**, los asentamientos registrados indican estabilidad en las referencias cercanas a la Lumbrera 1 y a la estación Mixcoac. En la parte central se observan desplazamientos en un rango comprendido de 0.1 a 2.1 cm. durante la etapa constructiva, permaneciendo estable de mayo de 2011 hasta la última fecha de monitoreo.

En el cadenamiento 28+495.00 correspondiente al eje de trazo, se presento el máximo asentamiento de 2.1 cm, el cual de mayo de 2011 hasta la última toma de lecturas se mantiene estable.

Lumbrera 1-Periférico Sur

A lo largo del periodo de monitoreo de las referencias sobre el eje de trazo, del tramo Lumbrera 1-Periférico Sur, comprendido del 16 de diciembre de 2009 al 21 de marzo de 2012, se pudieron apreciar algunos desplazamientos en superficie, los cuales se resumen a continuación:

En las **referencias sobre el eje de trazo** del tramo **Lumbrera 1-Periférico Sur**, los asentamientos registrados en la última fecha de monitoreo en febrero de 2012, se encuentran en un rango comprendido de 0.5 a 4.8 cm. durante la etapa constructiva, permaneciendo estables desde octubre de 2011 hasta la última toma de lecturas.

En el cadenamiento 28+665.00 correspondiente al eje de trazo, se presentó el máximo asentamiento de 4.8cm en febrero de 2011, manteniéndose estable hasta la última fecha de monitoreo de la referencia en junio de 2011, debido a que la referencia fue siniestrada el 15 de junio de 2011.

Lumbrera 2-Periférico Sur.

En las **referencias sobre el eje de trazo** del tramo **Lumbrera 2-Periférico-Sur**, los asentamientos registrados en las últimas fechas de monitoreo se encuentran en un rango comprendido de 0.6 a 4.3 cm presentado durante la excavación del túnel convencional, permaneciendo estables de enero de 2011 hasta la última fecha de monitoreo.

En el cadenamiento 29+220.00 correspondiente al eje de trazo, se presentó la máxima expansión de 4.6 cm y en los cadenamientos 29+295.00 y 29+285.00 se presentaron los máximos asentamientos de 4.3 cm, los cuales desde marzo de 2011y hasta la última toma de lecturas en febrero de 2011 se mantienen estables.

Ver **ANEXO B**

Referencias Transversales

A lo largo del periodo de monitoreo de las referencias transversales en el cruce de Av. Extremadura y Av. Revolución, del 02 de Julio 2010 al 25 de junio de 2011, se pudieron apreciar desplazamientos, los cuales se resumen a continuación:

Entre los puntos -5, EJE y 5 se presentaron asentamientos en un rango comprendido entre 0.3 y 1.8 cm, entre los meses de mayo y julio de 2011, y en el resto de los puntos se presentaron expansiones en un rango comprendido entre 0.4 y 1.4 cm entre los meses de febrero y mayo de 2011. Las referencias se mantienen estables entre a partir de mayo hasta la última toma de lecturas.

El máximo desplazamiento se presentó en el EJE perteneciente al cadenamiento 28+493.90 con asentamiento de 1.8 cm manteniéndose estable de mayo de 2011 hasta la última fecha de monitoreo.

Ver **ANEXO C**.

INSTRUMENTACIÓN AL INTERIOR DEL TUNEL.

Convergencias y divergencias tramo Lumbrera 1-Lumbrera 2.

Las convergencias y divergencias se encuentran ubicadas en el interior del túnel de Línea 12, con el objeto detectar los movimientos que pudiese presentar el revestimiento del túnel.

En este caso, se presentaron los mayores desplazamientos en el cadenamiento 29+030.00, el cual tiene lecturas acumuladas de 0.9 cm en la línea AE la cual diverge, manteniéndose estable de abril de 2011 hasta la última toma de lecturas.

Todas las convergencias se estabilizaron de del periodo de abril de 2011 hasta la última lectura de monitoreo.

Ver **ANEXO D**.

Convergencias y divergencias tramo Lumbrera 1- Mixcoac.

A lo largo del periodo de monitoreo entre los meses de diciembre de 2010 a junio de 2011, se presentaron movimientos en un rango comprendido entre -0.6 y 1.0 cm (-acortamiento de distancia, + alargamiento de distancia). En los cadenamientos 28+495.00 y 28+500.00 se presentaron los mayores desplazamientos en la línea BD alcanzando el cm, mostrando alargamiento de distancia

Todas las referencias se mantienen estables desde mayo de 2011 hasta la última toma de lecturas.

Las convergencias y divergencias se encuentran ubicadas en el interior del túnel de línea 7, con el objeto detectar los movimientos que pudiese presentar el revestimiento del túnel durante y después de la construcción del túnel de línea 12.

Ver **ANEXO E**

Convergencias y divergencias tunel Línea 7 del metro.

En las convergencias y divergencias durante el periodo de monitoreo, de abril de 2010 al 02 de junio de 2011 se pudieron apreciar valores oscilando entre 0.6 a -0.8 cm (+alargamiento, - acortamiento). En la sección 0+010.00 se presentaron los mayores desplazamientos en la línea BC alcanzando los 0.61 cm, mostrando alargamiento de distancia.

Todas las referencias se mantienen estables a partir de abril de 2011 hasta la última toma de lectura.

Ver **ANEXO F**

EXTENSÓMETROS DE BARRAS.

Cruce interceptor poniente.

En el tramo Cola y Deposito Mixcoac, se colocó un extensómetro de tres barras en el cadenamiento 28+921.10 con el objeto de medir los desplazamientos verticales en el subsuelo a diferentes profundidades.

Los asentamientos máximos registrados se muestran en la siguiente tabla:

BARRA	DESPLAZAMIENTO ACUMULADO EN mm	PROF. DE INST. (m)
1	24	15.2
2	20	9.9
3	21	3.9

Los desplazamientos antes mencionados fueron detectados durante el proceso constructivo.

Cruce con línea 7.

En el tramo **Lumbrera 1-Mixcoac** se colocó un extensómetro de una barra en el cadenamiento 28+509.21 con el objeto de medir los desplazamientos verticales en el subsuelo al cruce de la línea 7.

En el extensómetro de una barra se presentó estabilidad los primeros días después de la instalación (03-dic-10), posteriormente se presentaron pequeños asentamientos de 5 mm entre los meses de diciembre de 2010 y febrero de 2011, y por último entre los meses de febrero y junio de 2011 se volvió a incrementar este asentamiento hasta alcanzar los 16 mm, siendo en este periodo cuando se estabilizó.

Ver **ANEXO G.**

PIEZÓMETRO TIPO CASAGRANDE.

En el tramo Cola y Deposito Mixcoac, se colocaron dos piezómetros de tipo Casagrande en el cadenamiento 28+922.81 con el objeto medir la presencia de agua en el subsuelo a diferentes profundidades, producto de posibles fugas del túnel Interceptor Poniente previo a la llegada del frente de excavación y tomar las acciones preventivas necesarias.

Durante la construcción del túnel de línea 12, no se registro presencia de agua en ambos piezómetros

Ver **ANEXO H**

CAPITULO VI

CONCLUSIONES.

CONCLUSIONES.

Como se pudo observar el departamento de instrumentación fue de vital importancia en este proyecto, esto debido a la interacción constante con distintas áreas interesadas, tanto de ingeniería como de campo; mediante la difusión oportuna en una página WEB o en la misma obra, en la cual se publicaron las gráficas de comportamiento, reportes de quincenales, mensuales, especificaciones, etc., además de prevenir posibles riesgos que pudiesen sufrir la estructura o las estructuras aledañas.

Un ejemplo es el presentado en este tema, como se menciono anteriormente fue un sistema de instrumentación prácticamente a base de topografía, en el cual cabe recalcar que la difusión oportuna del comportamiento de la estructura en construcción y las estructuras aledañas, ayudo a tomar decisiones en cuanto al avance de excavación, es decir si se registraban movimientos anormales, se reducían dichos avances para evitar algún caído durante la construcción, además de tener la certeza de que las estructuras se estuvieran comportando de manera adecuada.

En cuanto a las zonas críticas como son el cruce de Línea 12 con el interceptor poniente y con Línea 7, se verifico que se realizaran de acuerdo a las especificaciones, comportándose de manera satisfactoria, a pesar de que en el interceptor poniente se registraron filtraciones posteriores al paso del túnel de Línea 12, no registraron movimientos que obligaran a tomar alguna decisión fuera de lo normal, y en cuanto a Línea 7, el túnel se comportó de manera satisfactoria a pesar de que se encontraba en operación, por lo cual no fue necesario suspender el servicio de transporte.

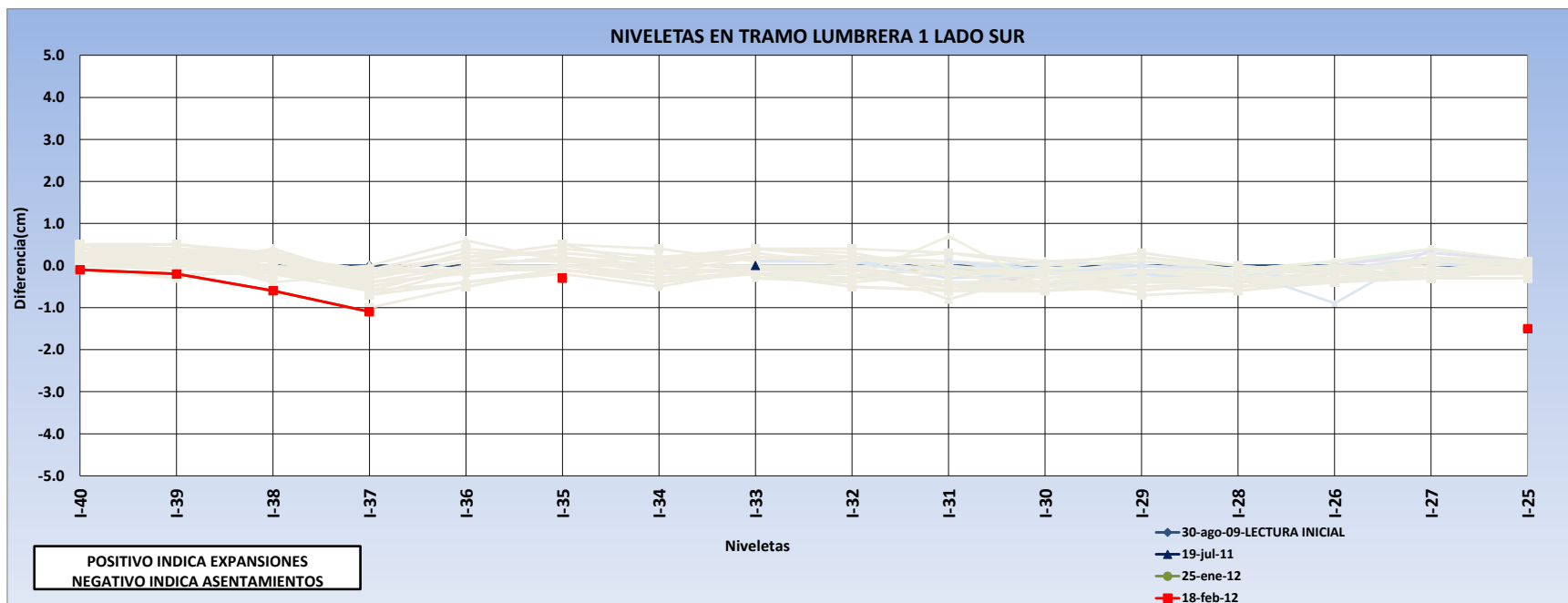
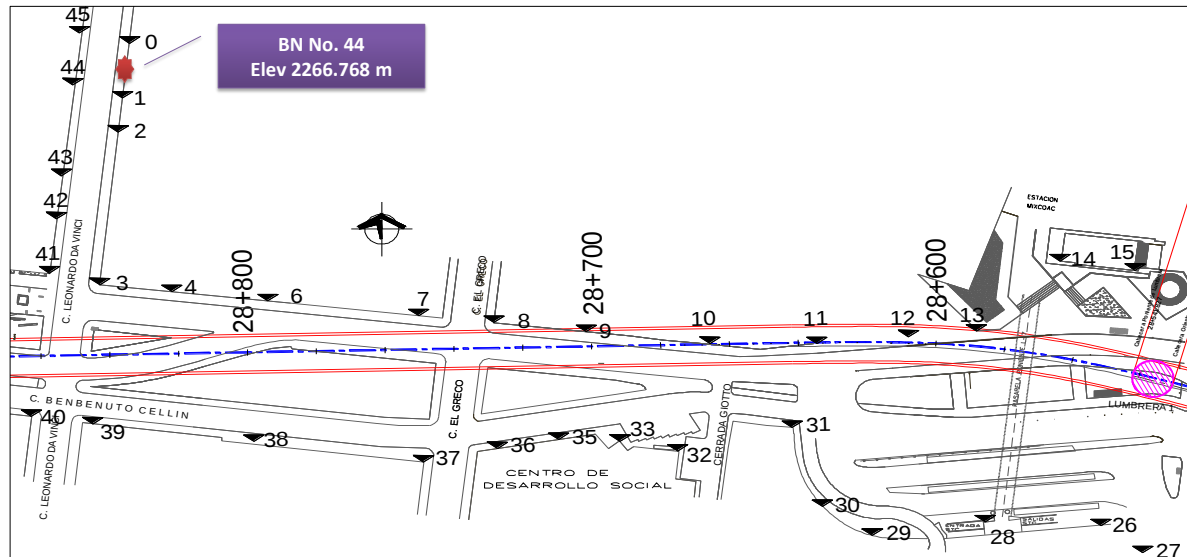
Concluyendo, se trata de concientizar al ingeniero sobre darle más peso al uso de la instrumentación en los proyectos, actualmente se empieza a tener un peso muy importante en obras de gran envergadura considerando la instrumentación como una necesidad durante su construcción, un claro ejemplo es la construcción de esta Línea. Se cuentan con aparatos de nueva generación como se mostro en el capítulo 1, los cuales son

más precisos y de fácil manipulación, lo cual ayuda a que un sistema de instrumentación sea más completo, preciso y se pueda revisar en tiempo real de acuerdo a las necesidades de cada proyecto, ayudando a tener una visión muy amplia sobre el comportamiento de las estructuras, además ayuda a optimizar el diseño de las mismas para futuros proyectos y en consecuencia viéndose reflejado en el costo de las mismas.

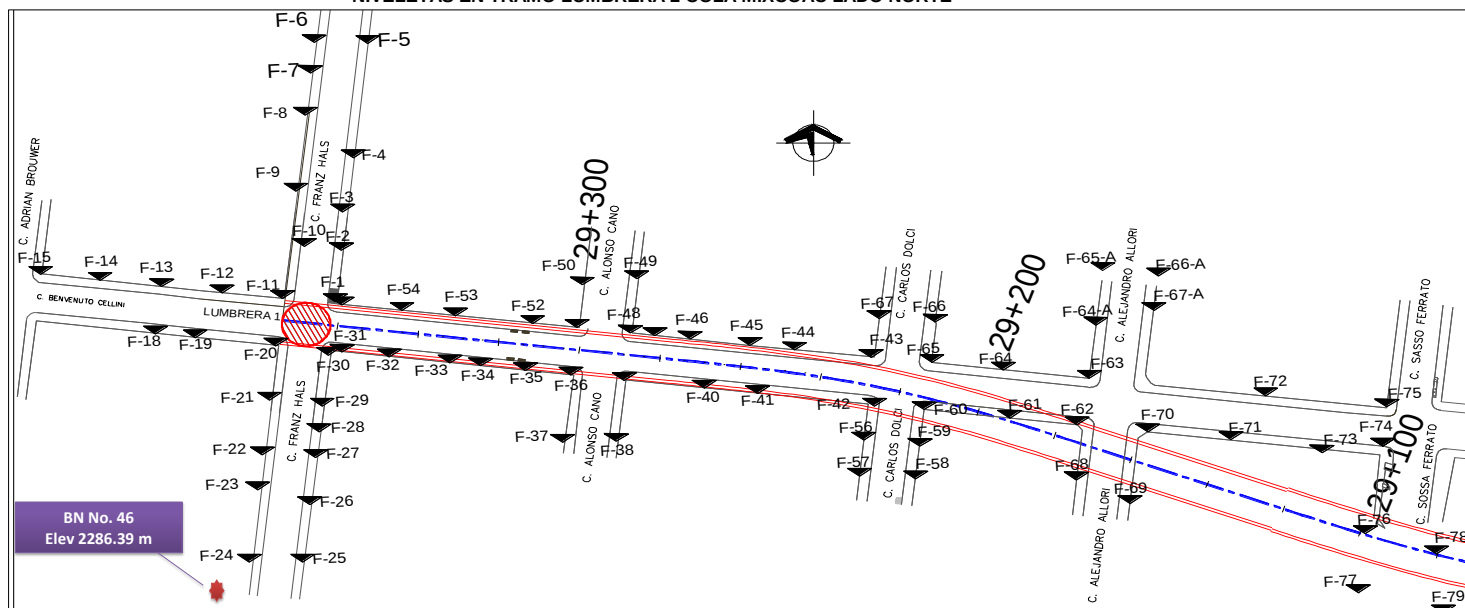
ANEXOS

NIVELETAS EN TRAMO LUMBRERA 1 COLA MIXCOAC LADO SUR

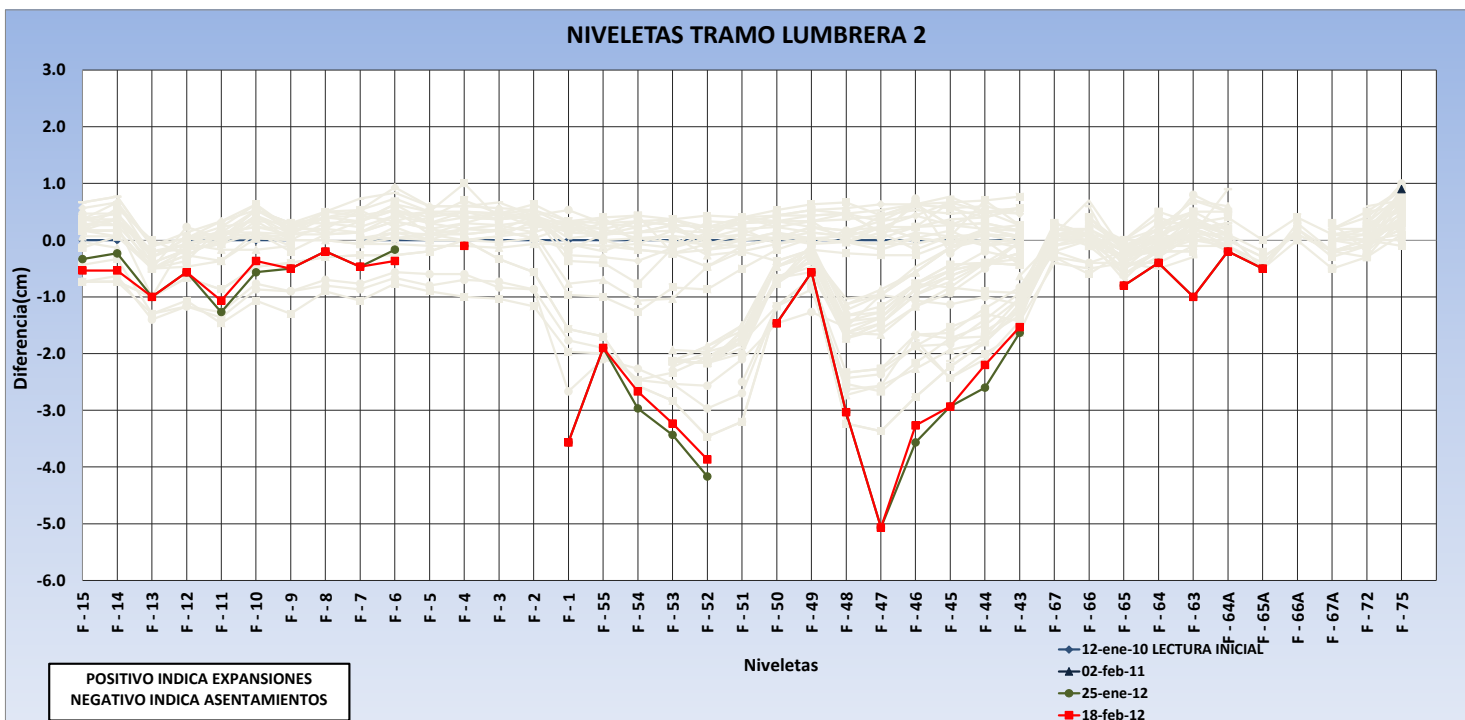
FRENTE: TRAMO LUMBRERA 1 COLA MIXCOAC



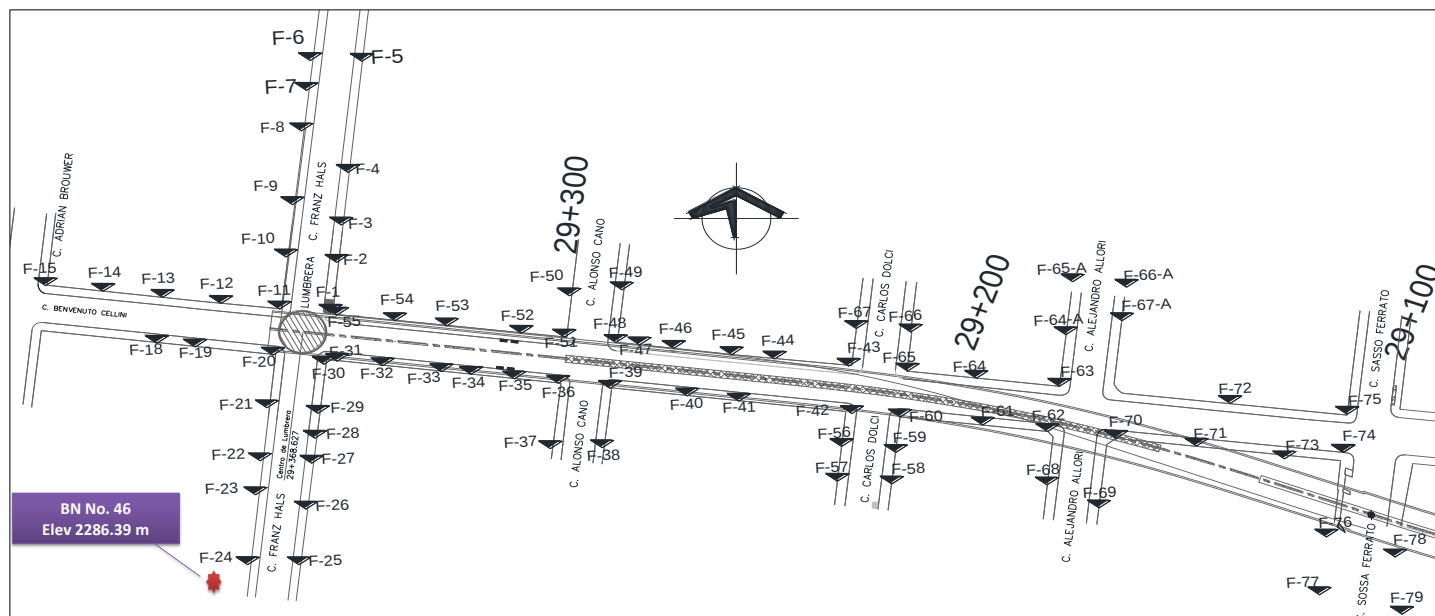
NIVELETAS EN TRAMO LUMBRERA 2 COLA MIXCOAC LADO NORTE



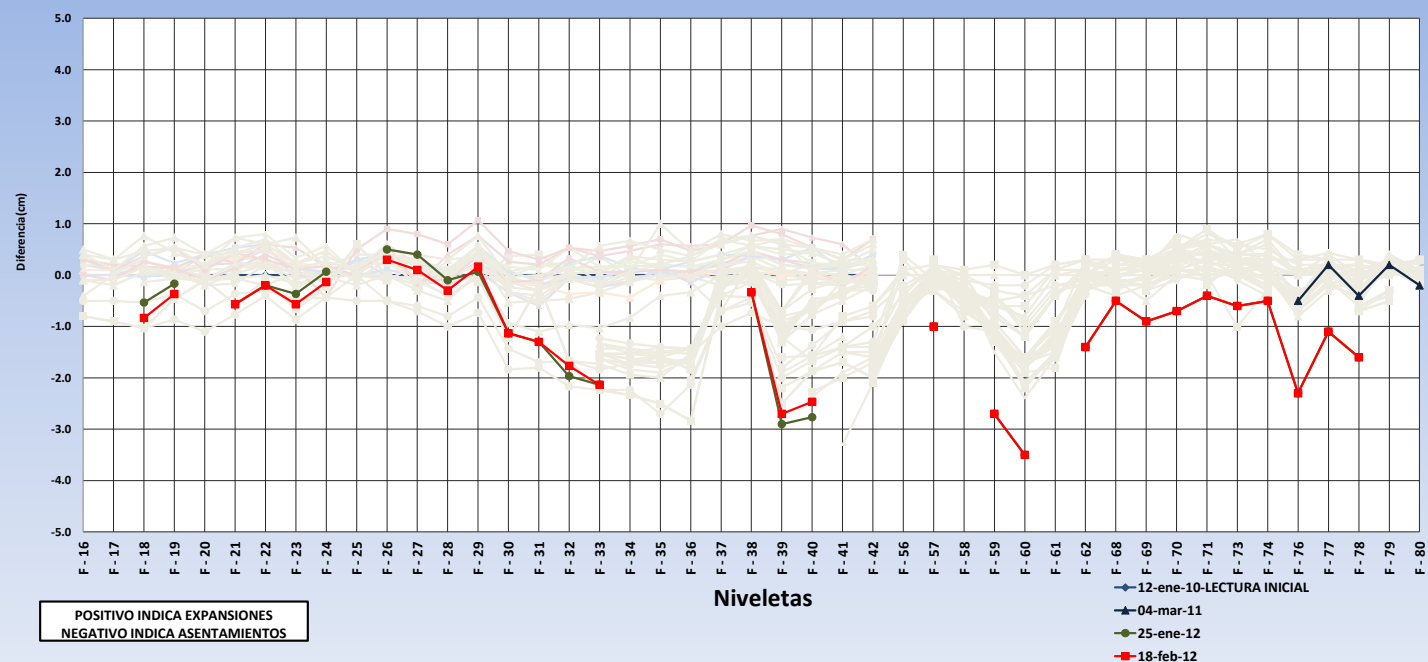
NIVELETAS TRAMO LUMBRERA 2



NIVELETAS EN TRAMO LUMBRERA 2 COLA MIXCOAC LADO SUR

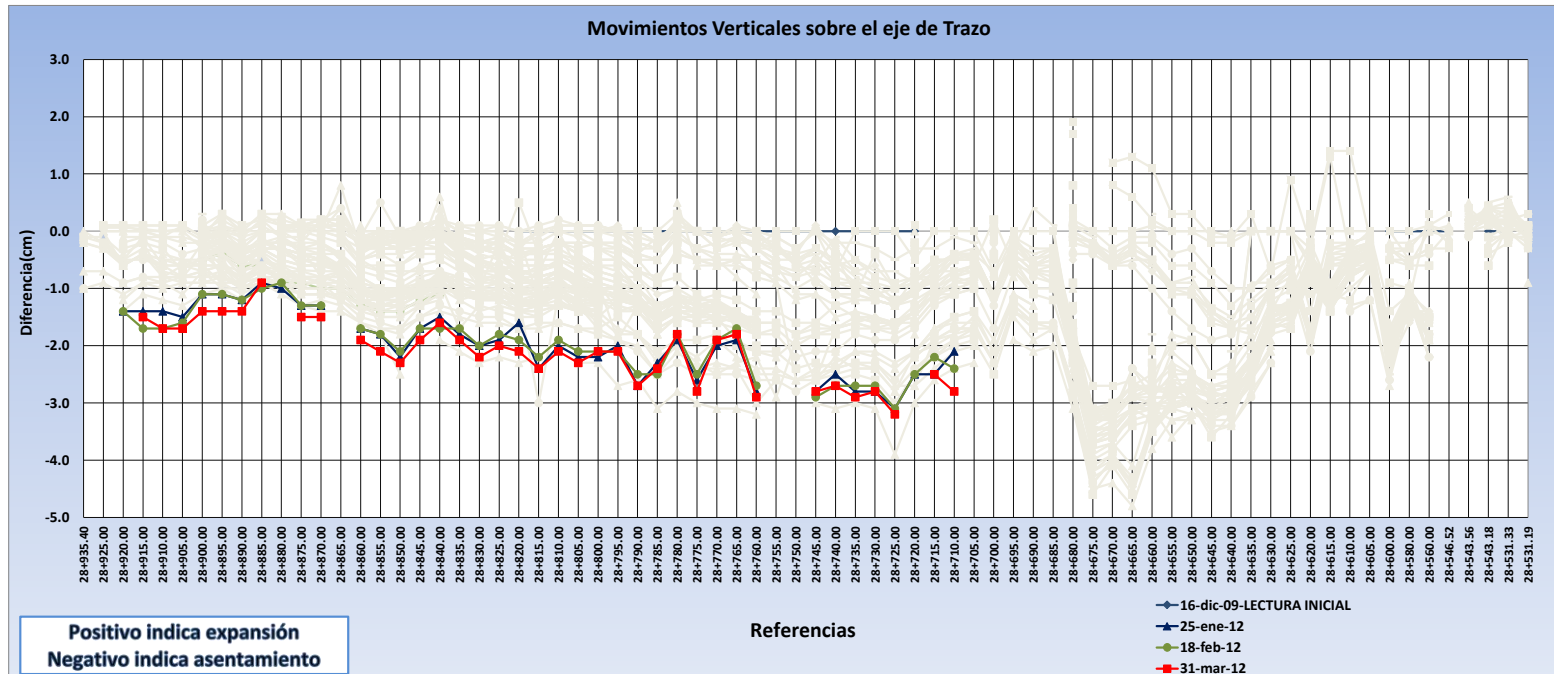
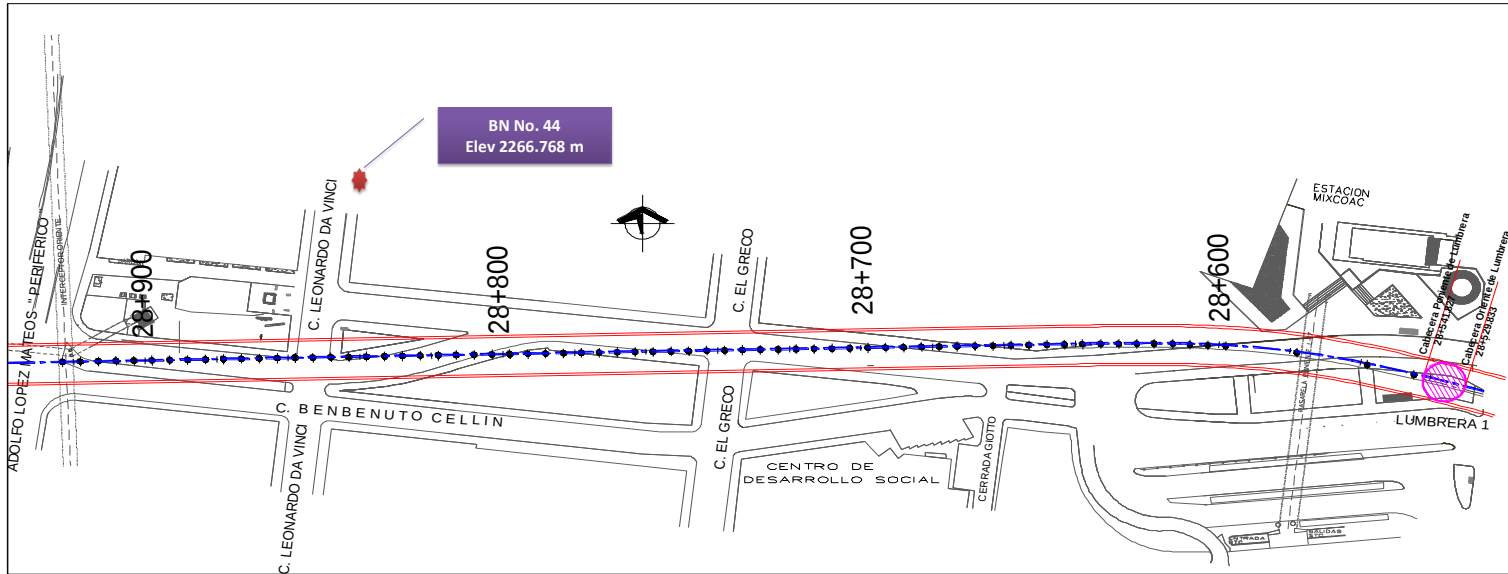


NIVELETAS TRAMO LUMBRERA 2 LADO SUR



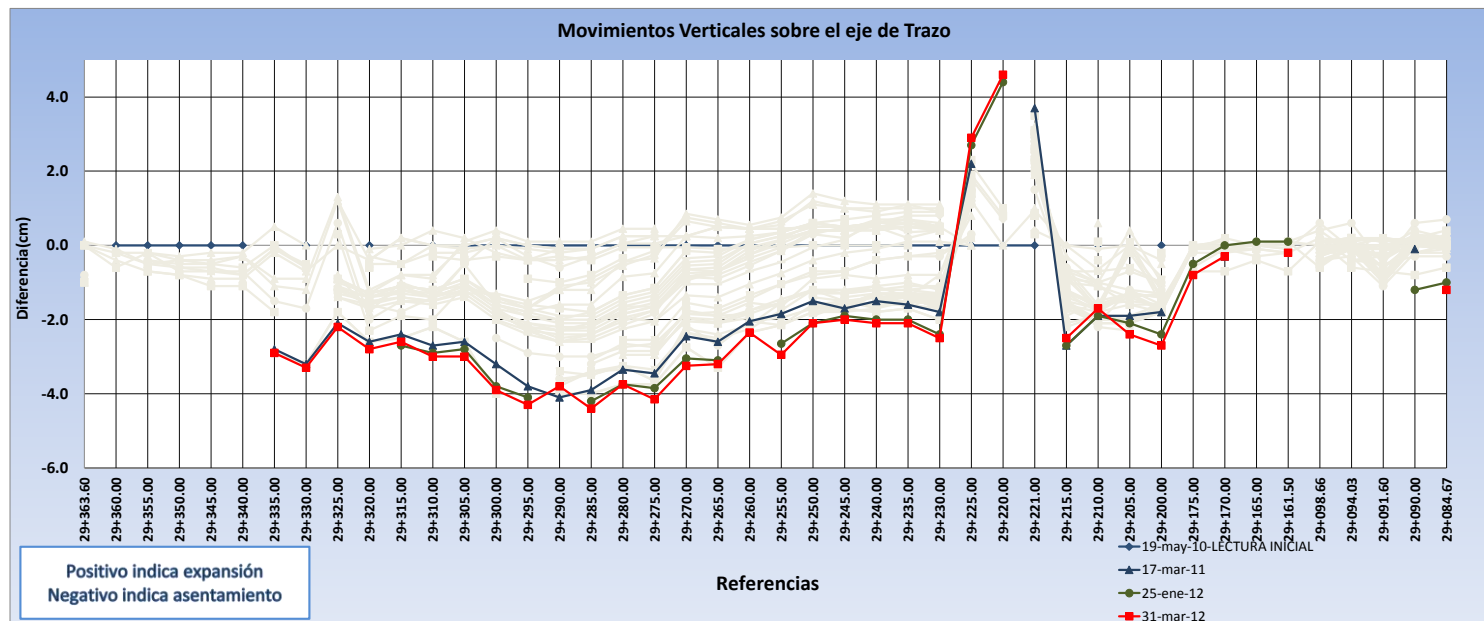
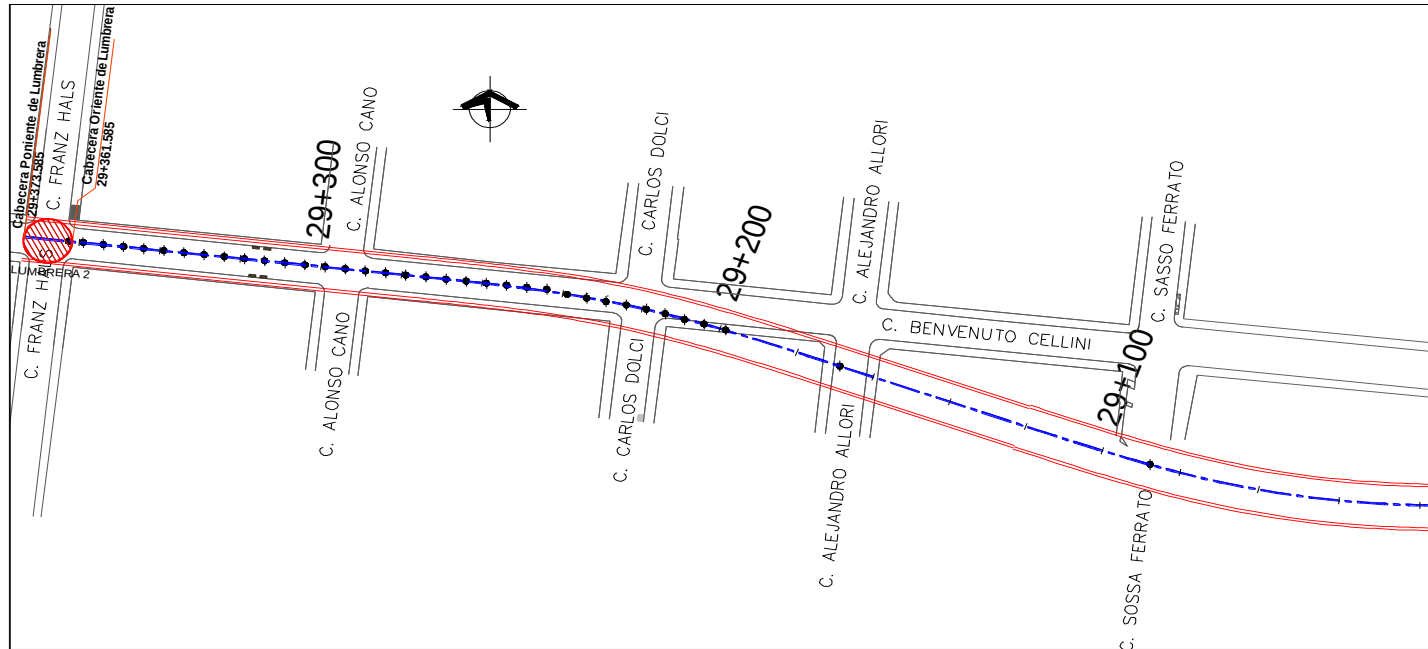
REFERENCIAS SOBRE EL EJE DE TRAZO

FRENTE: TRAMO LUMBRERA 1 COLA MIXCOAC
CADENAMIENTO: 28+531.33 AL 28+935.40



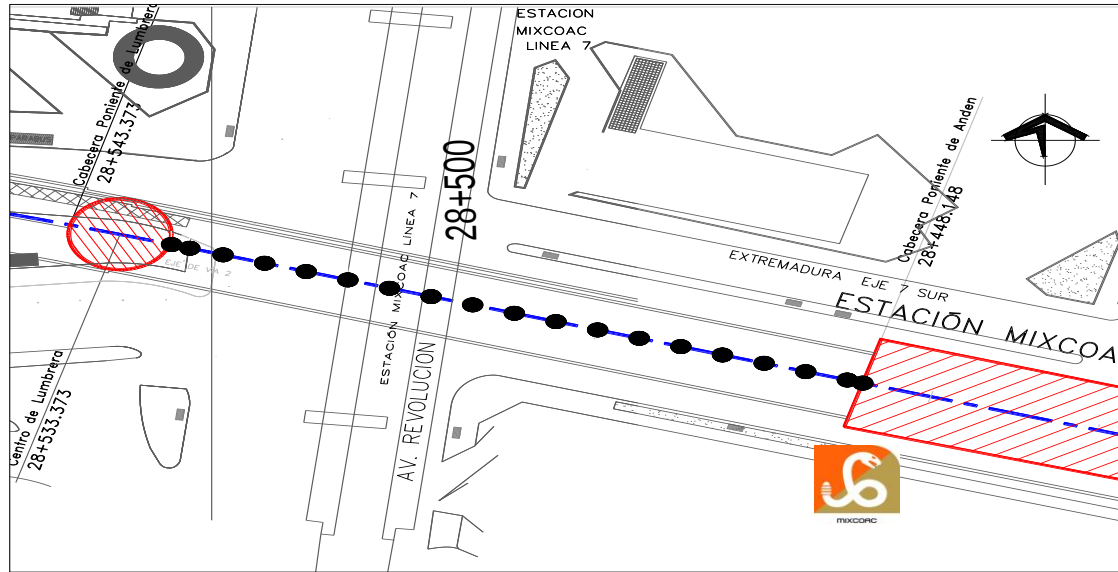
REFERENCIAS SOBRE EL EJE DE TRAZO

FRENTE: TRAMO LUMBRERA 2 COLA MIXCOAC
CADENAMIENTO: 29+084.67 AL 29+363.60

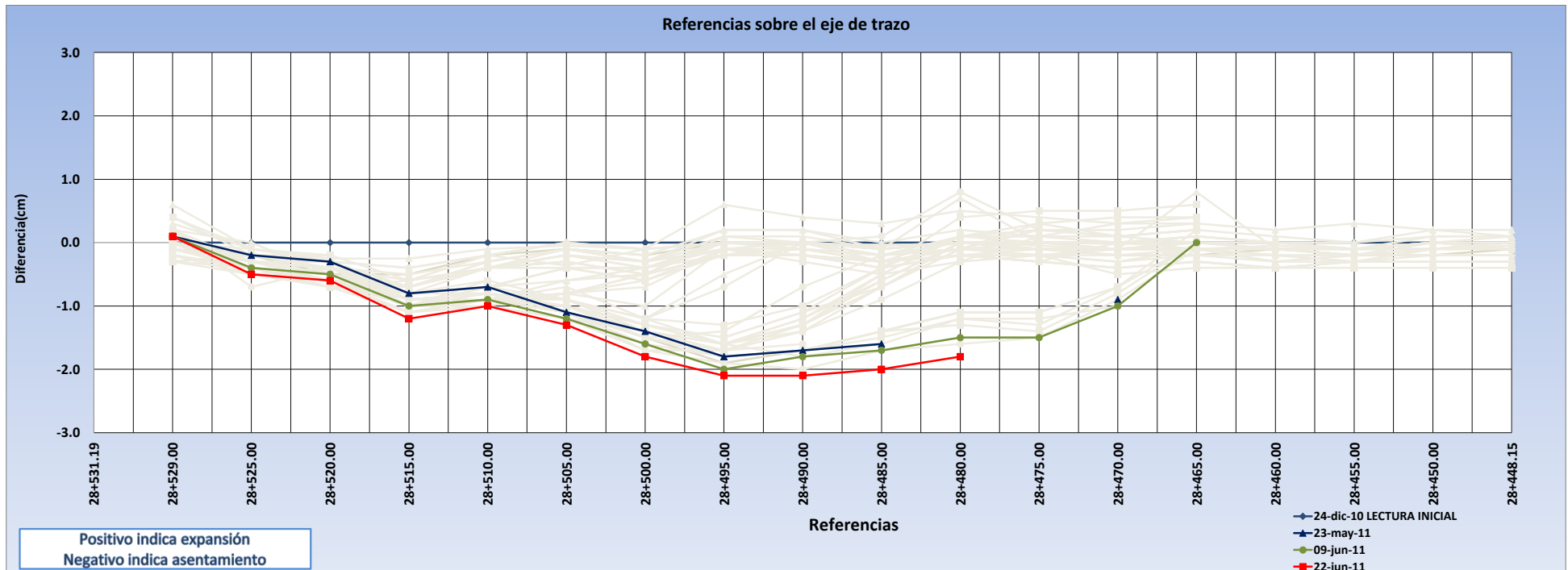


REFERENCIAS SOBRE EL EJE DE TRAZO

FRENTE: TRAMO LUMBRERA 1-MIXCOAC (CRUCE LÍNEA 7)
CADENAMIENTO: 28+531.33 AL 28+448.148

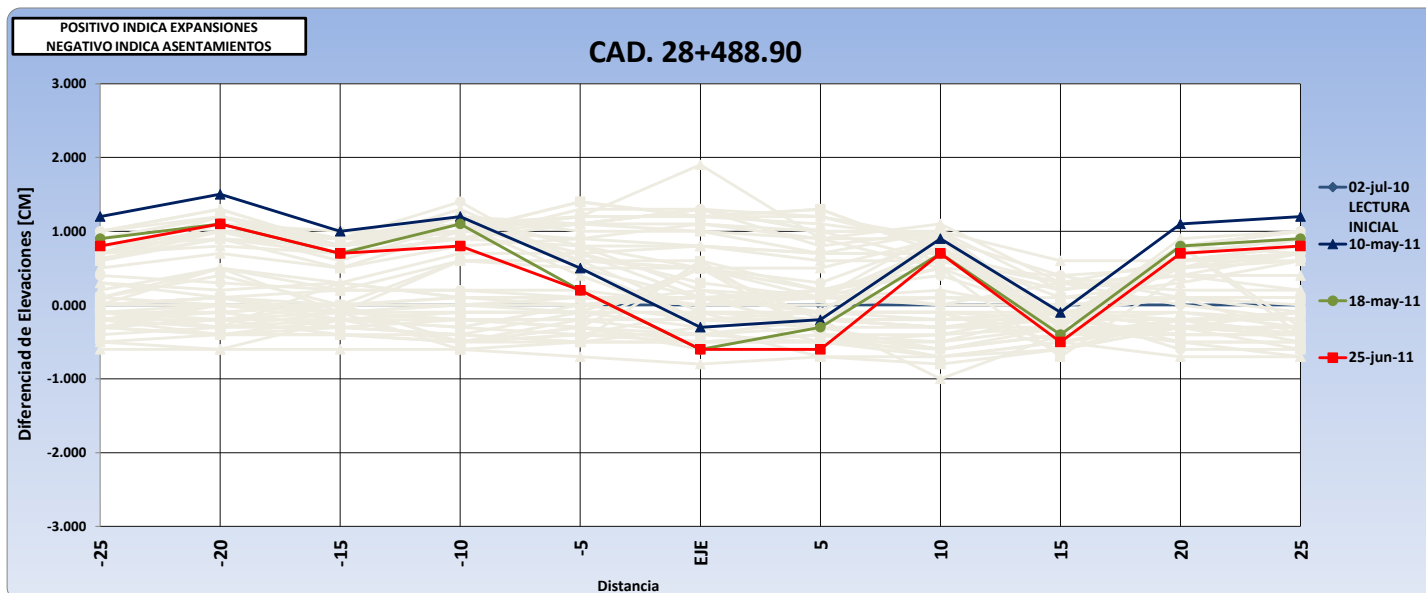
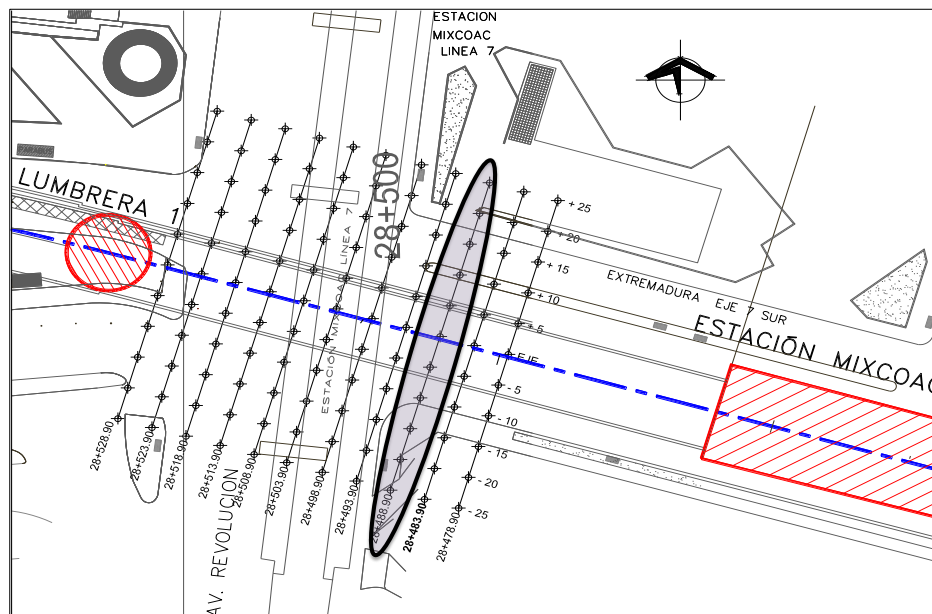


EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN CLAVE	
REVESTIMIENTO CLAVE	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.8° A LAS 19:47:25 HRS	



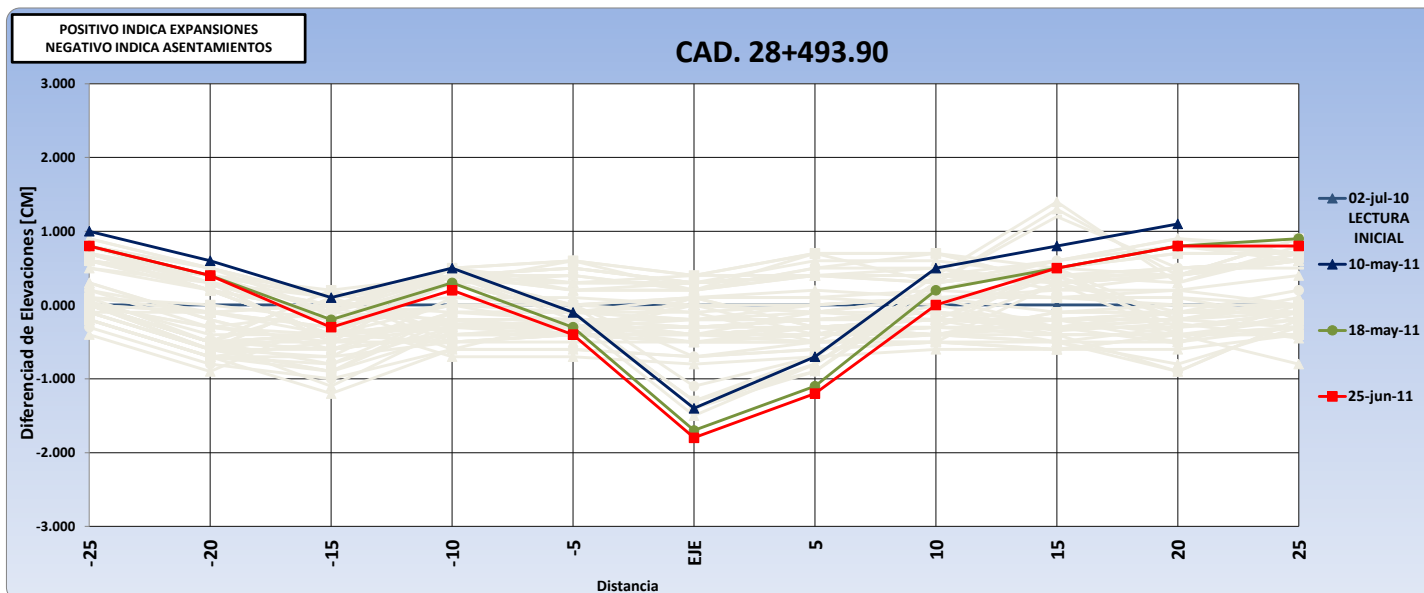
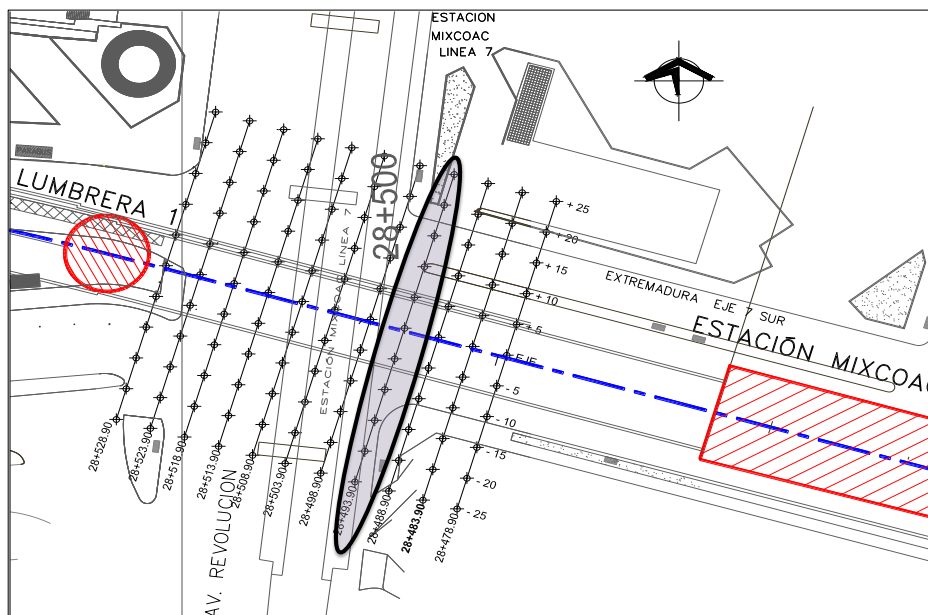
CONTROL TOPOGRAFICO DE REFERENCIAS SUPERFICIALES

FRENTE: TRAMO LUMBRERA 1 (CRUCE LINEA 7)
UBICACIÓN: AV. EXTREMADURA ESQ. AV REVOLUCIÓN
CADENAMIENTO: 28+488.90



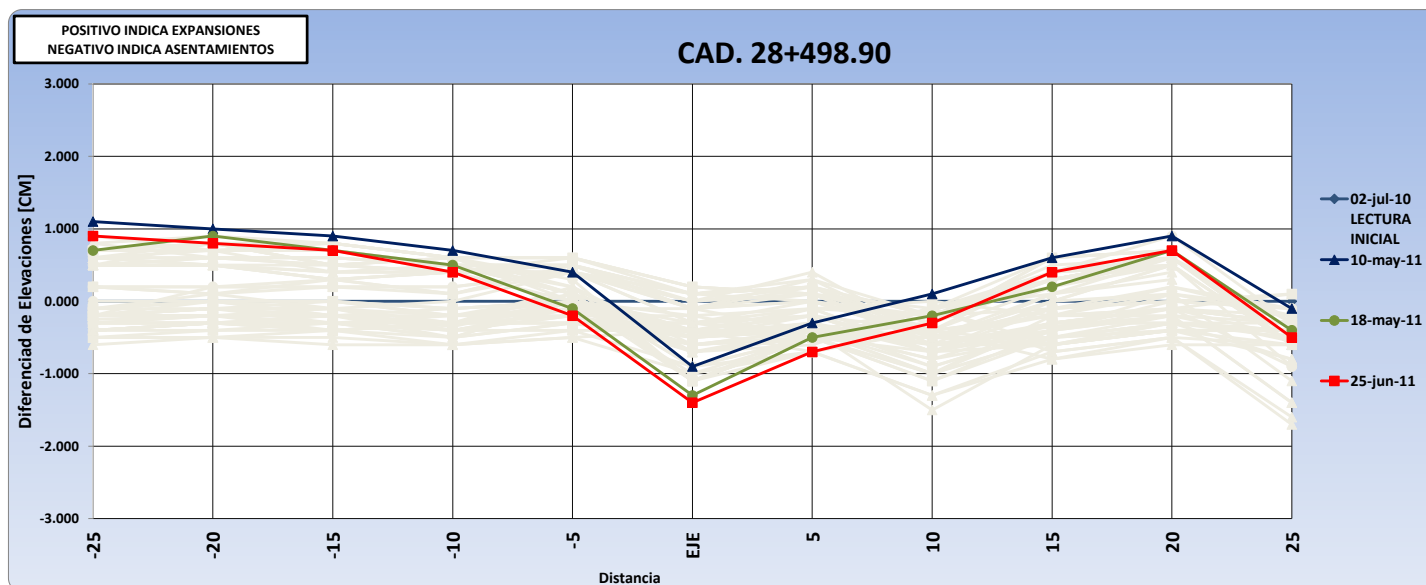
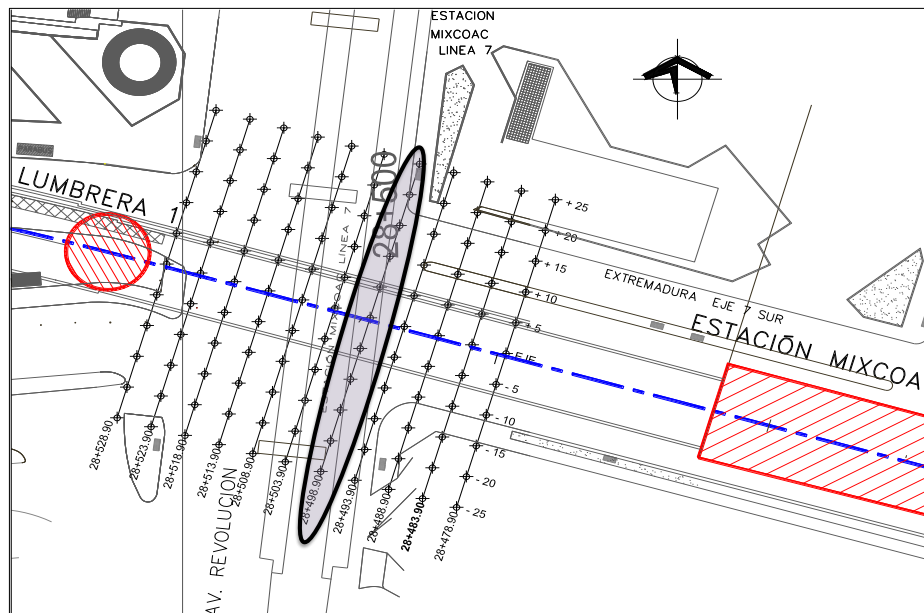
CONTROL TOPOGRAFICO DE REFERENCIAS SUPERFICIALES

FRENTE: TRAMO LUMBRERA 1 (CRUCE LINEA 7)
UBICACIÓN: AV. EXTREMADURA ESQ. AV REVOLUCIÓN
CADENAMIENTO: 28+493.90



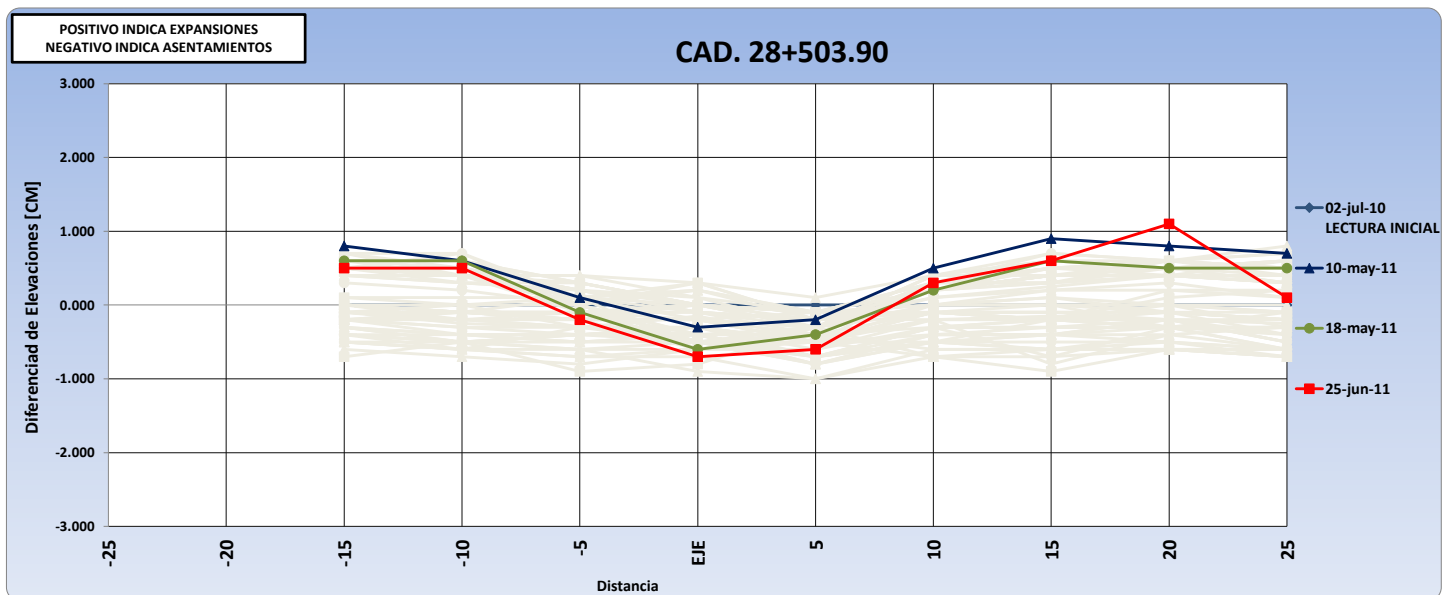
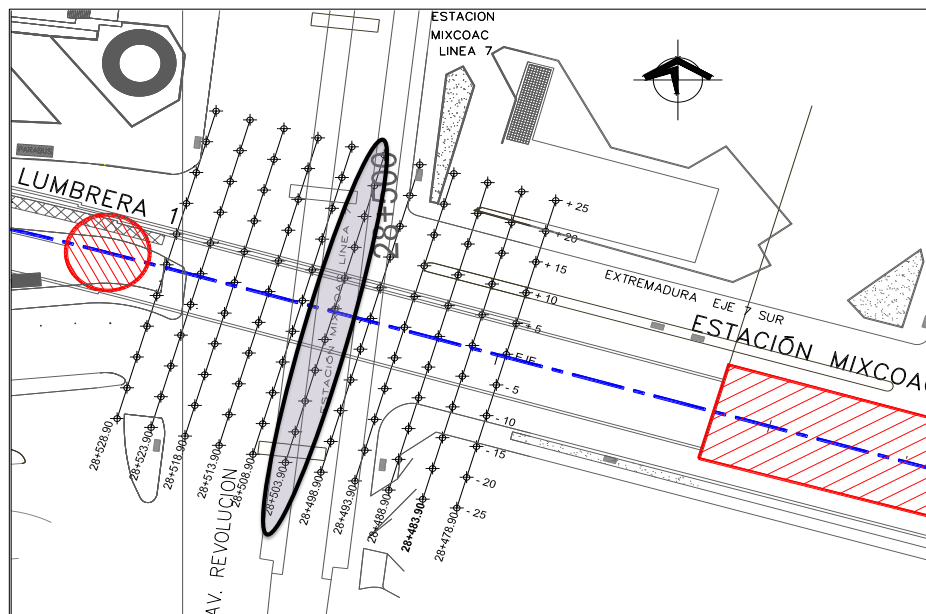
CONTROL TOPOGRAFICO DE REFERENCIAS SUPERFICIALES

FRENTE: TRAMO LUMBRERA 1 (CRUCE LINEA 7)
UBICACIÓN: AV. EXTREMADURA ESQ. AV REVOLUCIÓN
CADENAMIENTO: 28+498.90



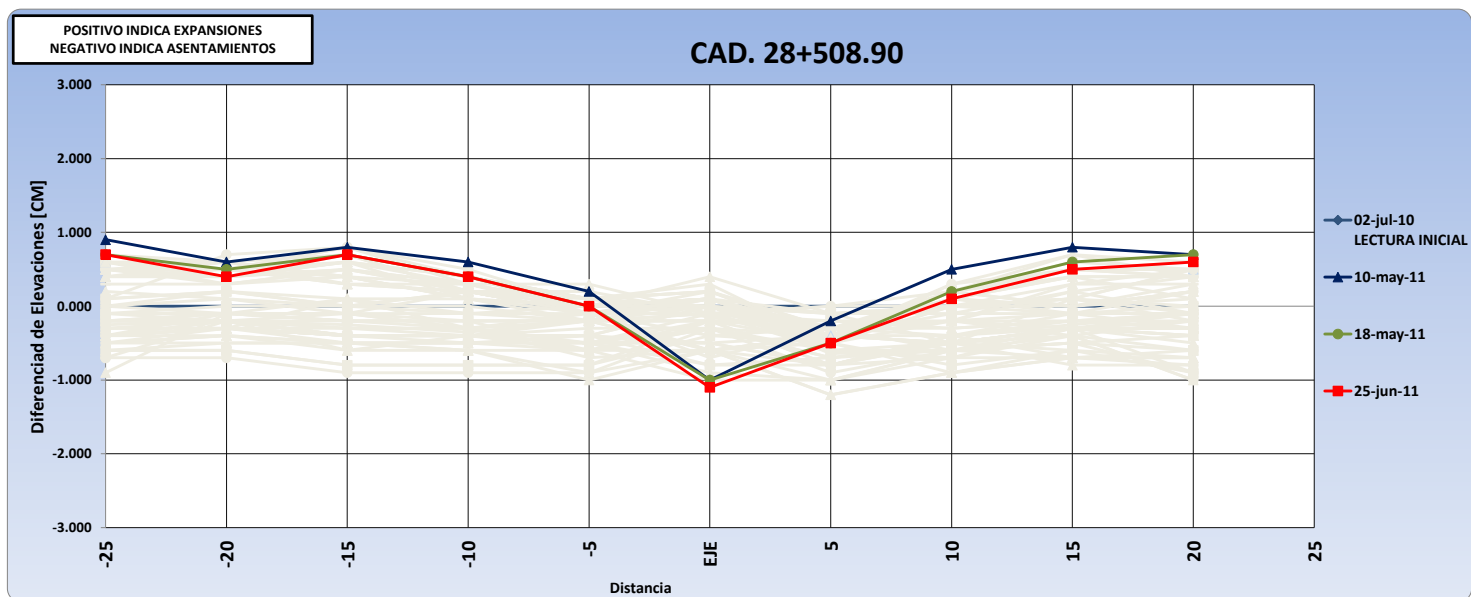
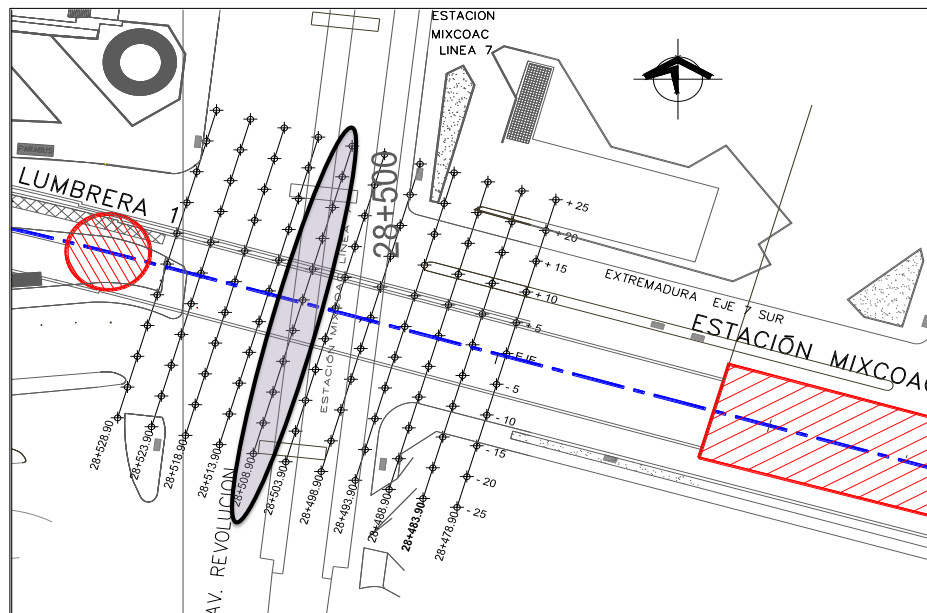
CONTROL TOPOGRAFICO DE REFERENCIAS SUPERFICIALES

FRENTE: TRAMO LUMBRERA 1 (CRUCE LINEA 7)
UBICACIÓN: AV. EXTREMADURA ESQ. AV REVOLUCIÓN
CADENAMIENTO: 28+503.90



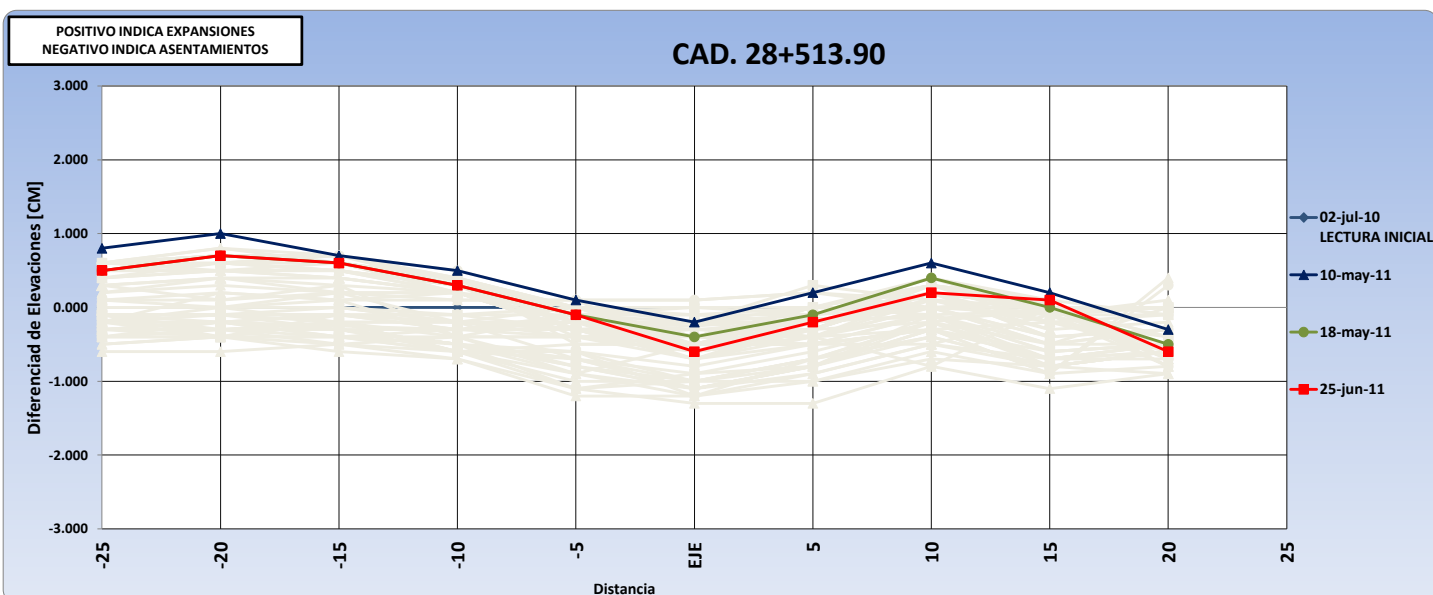
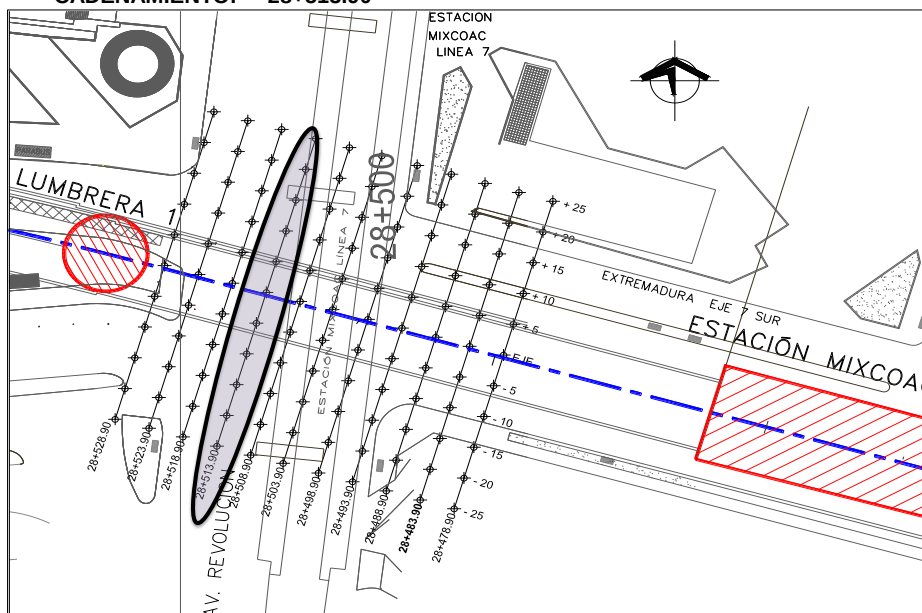
CONTROL TOPOGRAFICO DE REFERENCIAS SUPERFICIALES

FRENTE: TRAMO LUMBRERA 1 (CRUCE LINEA 7)
UBICACIÓN: AV. EXTREMADURA ESQ. AV REVOLUCIÓN
CADENAMIENTO: 28+508.90



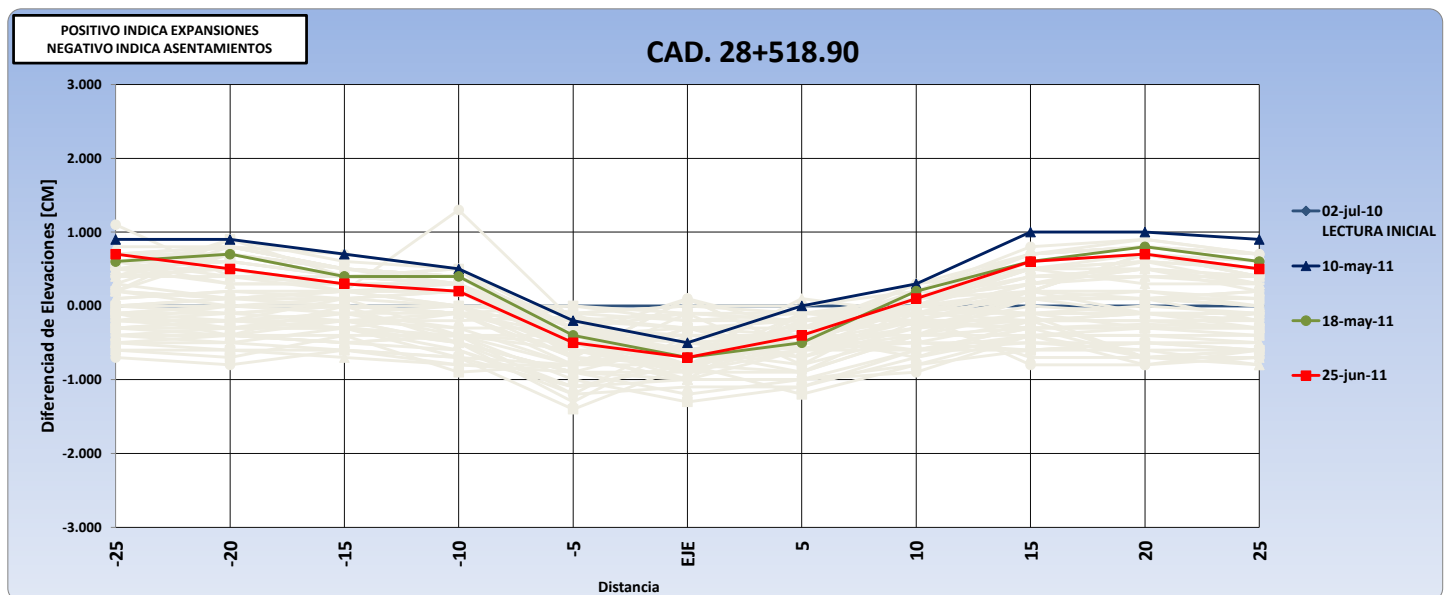
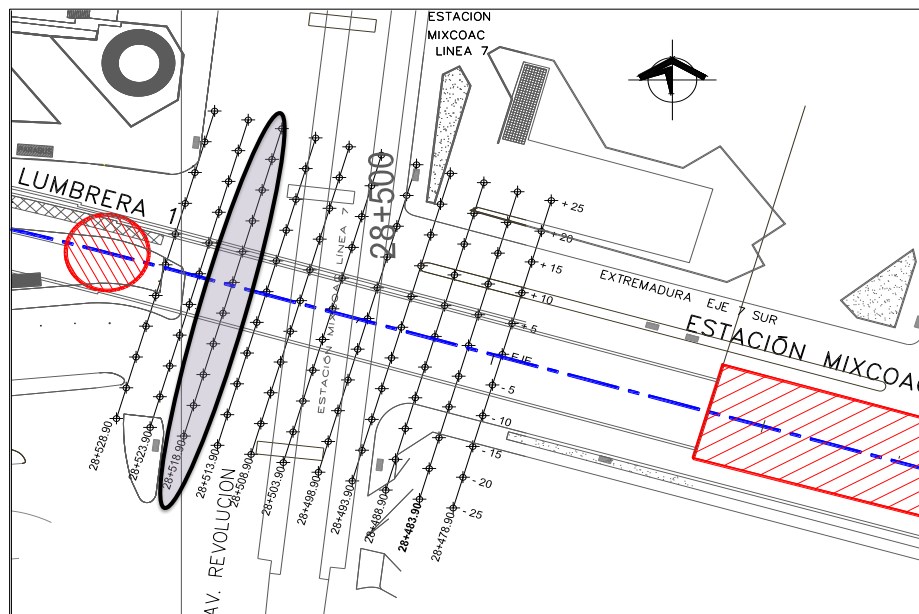
CONTROL TOPOGRAFICO DE REFERENCIAS SUPERFICIALES

FRENTE: TRAMO LUMBRERA 1 (CRUCE LINEA 7)
UBICACIÓN: AV. EXTREMADURA ESQ. AV REVOLUCIÓN
CADENAMIENTO: 28+513.90



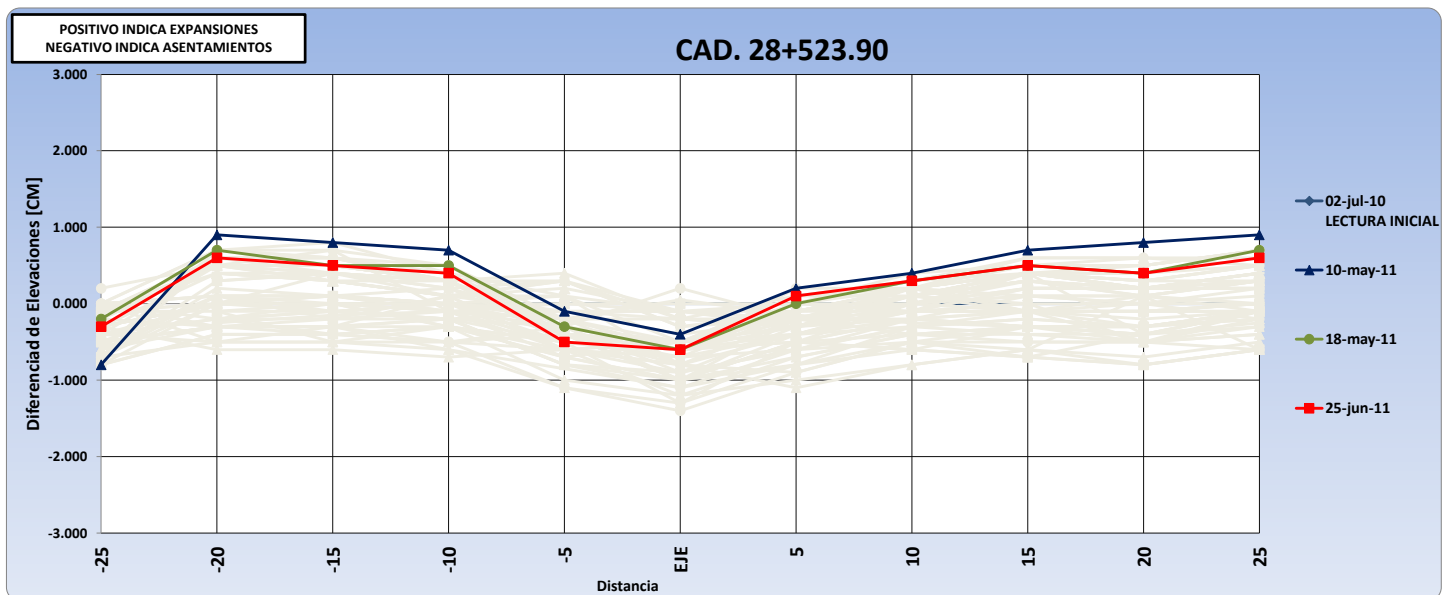
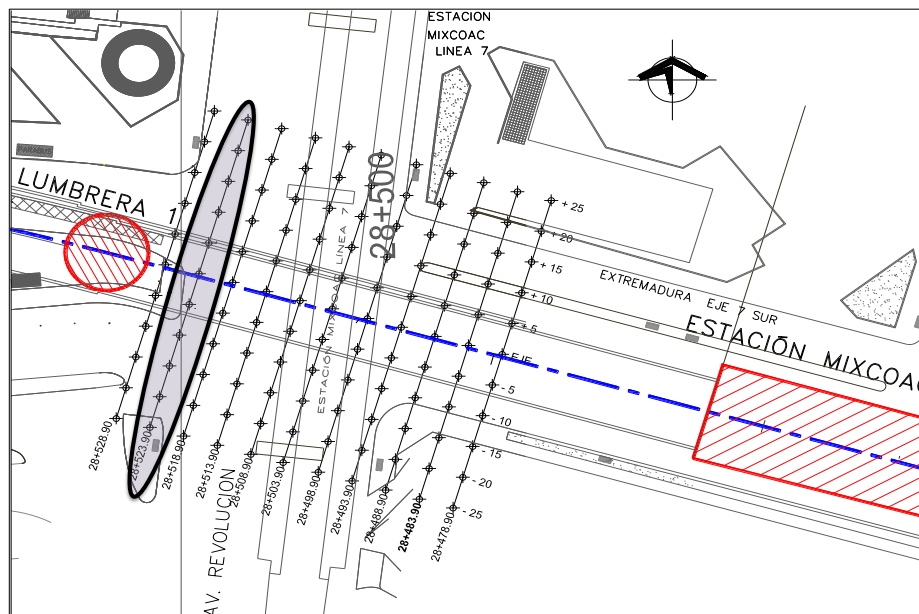
CONTROL TOPOGRAFICO DE REFERENCIAS SUPERFICIALES

FRENTE: TRAMO LUMBRERA 1 (CRUCE LINEA 7)
UBICACIÓN: AV. EXTREMADURA ESQ. AV REVOLUCIÓN
CADENAMIENTO: 28+518.90



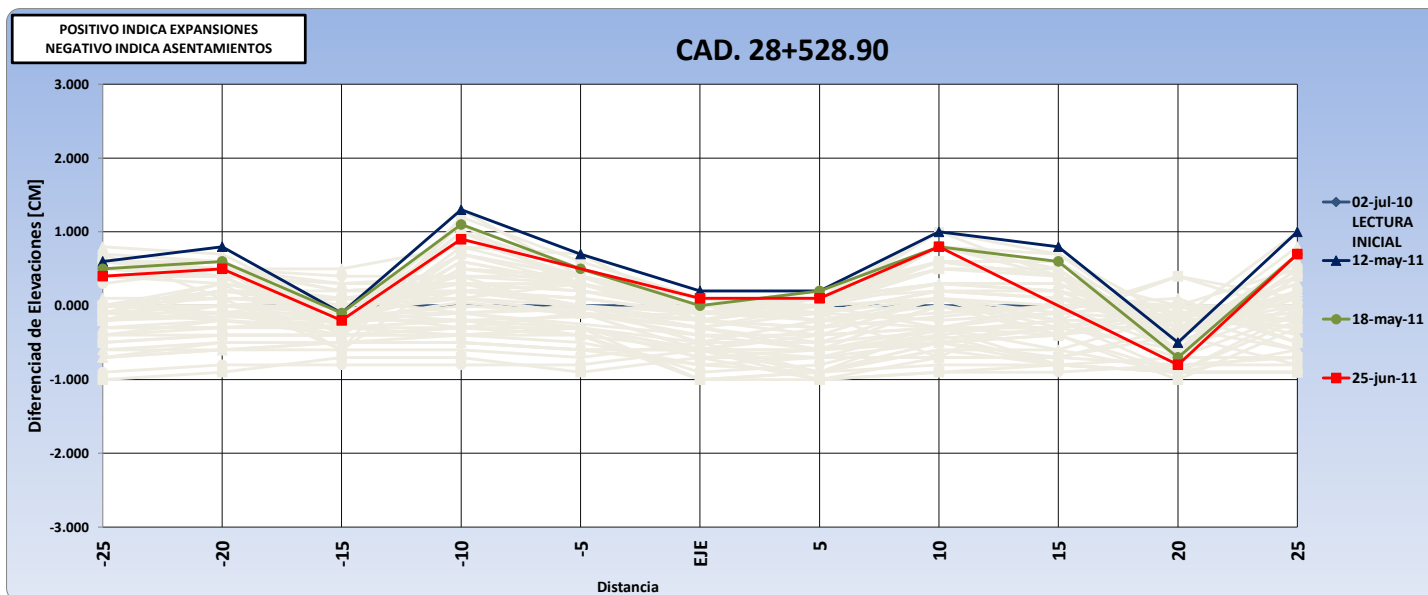
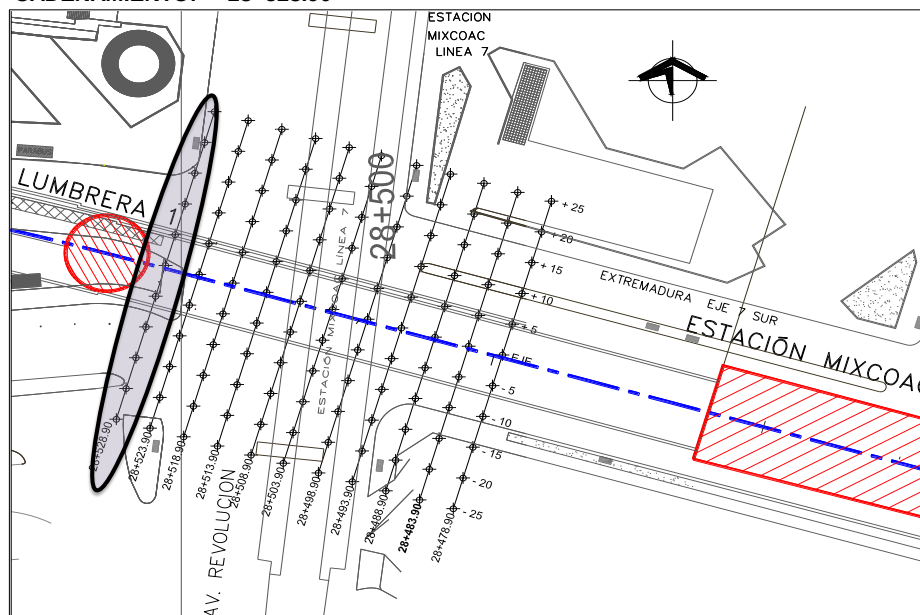
CONTROL TOPOGRAFICO DE REFERENCIAS SUPERFICIALES

FRENTE: TRAMO LUMBRERA 1 (CRUCE LINEA 7)
UBICACIÓN: AV. EXTREMADURA ESQ. AV REVOLUCIÓN
CADENAMIENTO: 28+523.90



CONTROL TOPOGRAFICO DE REFERENCIAS SUPERFICIALES

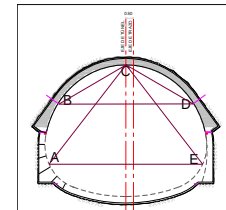
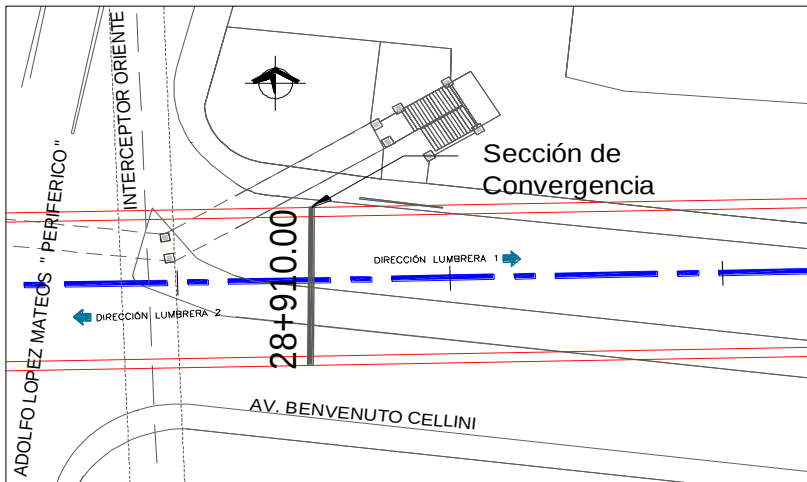
FRENTE: TRAMO LUMBRERA 1 (CRUCE LINEA 7)
UBICACIÓN: AV. EXTREMADURA ESQ. AV REVOLUCIÓN
CADENAMIENTO: 28+528.90



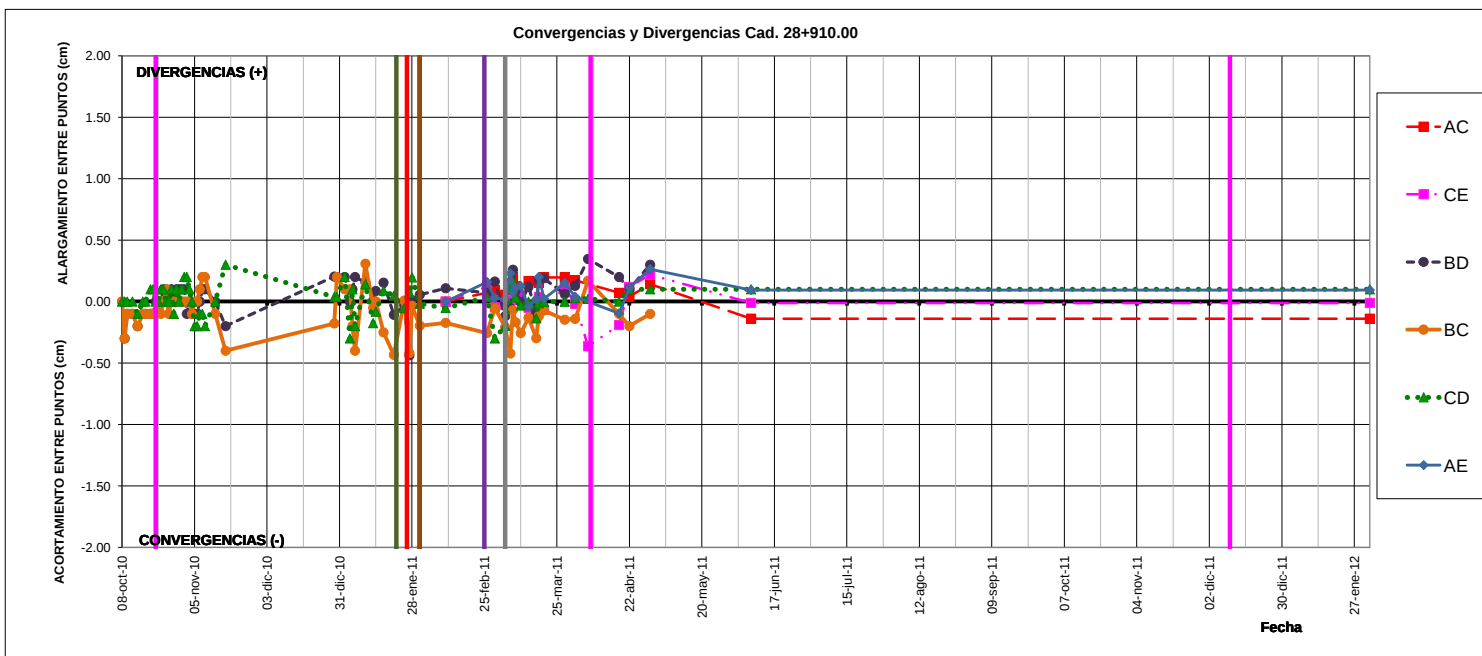
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1 (MIXCOAC) - LUMBRERA 2 (COLA MIXCOAC)

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+910.00

T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



EVENTOS IMPORTANTES	
	EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE
	REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE
	EXCAVACIÓN ZAPATA SUR
	REVESTIMIENTO ZAPATA SUR
	EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO
	COLADO LOSA DE FONDO
	SISMO 21/12/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS
	SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS
	SISMO 10/12/11 DE 6.8 ° A LAS 19:47:25 HRS



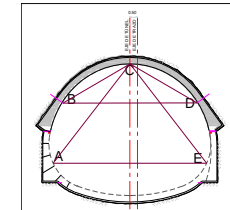
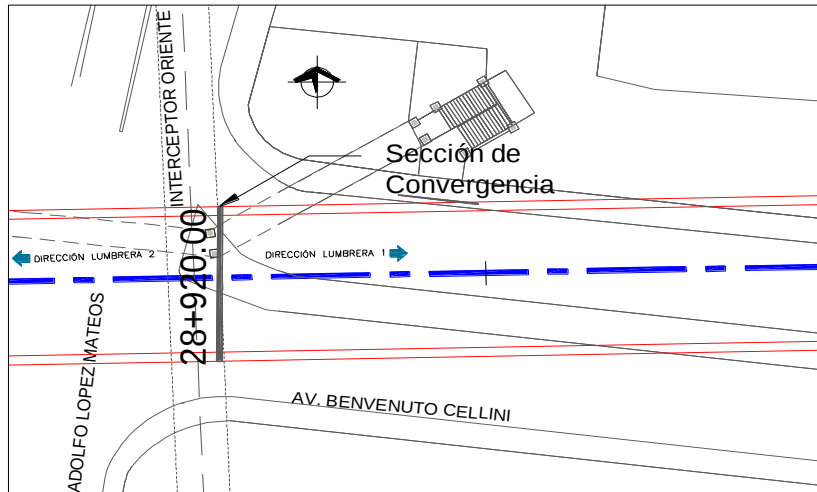
FUENTE: <http://icacc61.icacc.com.mx/instrumenta/home01.aspx>

ANEXO D-1

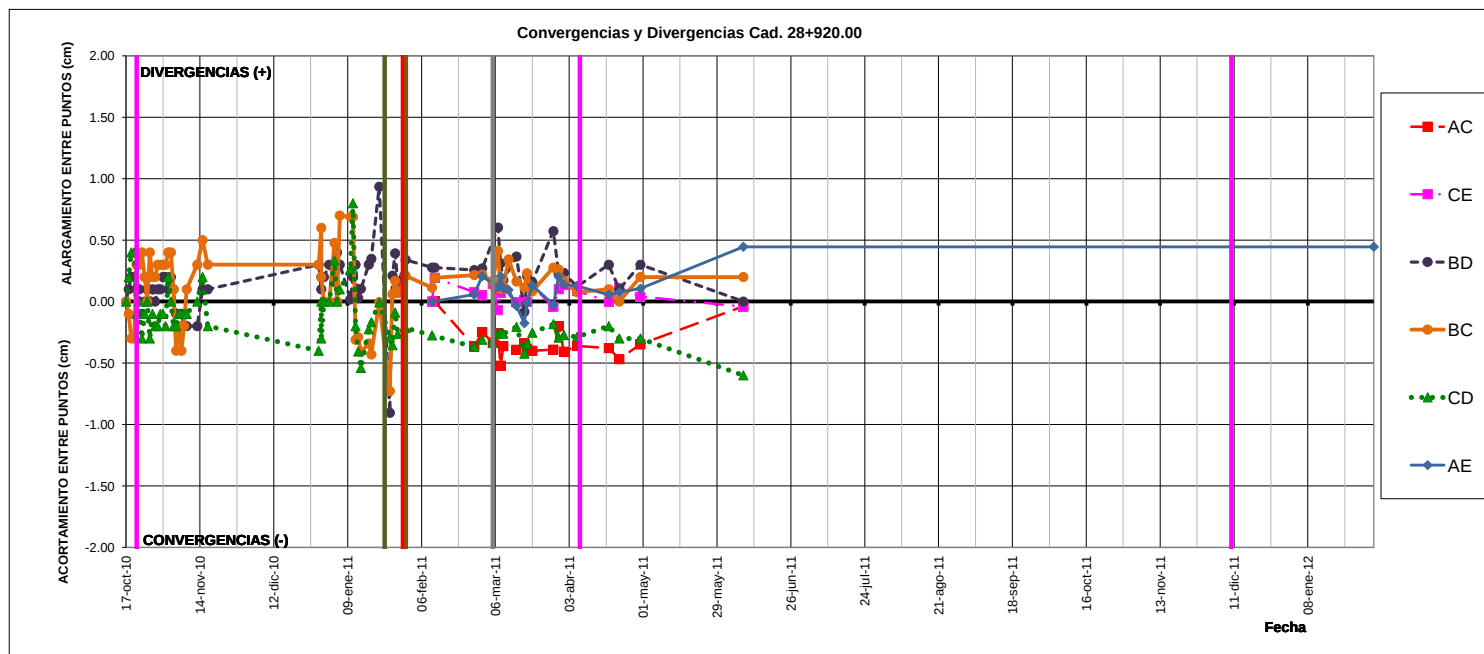
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1 (MIXCOAC) - LUMBRERA 2 (COLA MIXCOAC)

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+920.00

T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



EVENTOS IMPORTANTES	
	EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE
	REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE
	EXCAVACIÓN ZAPATA SUR
	REVESTIMIENTO ZAPATA SUR
	EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO
	COLADO LOSA DE FONDO
	SISMO 21/12/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS
	SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS
	SISMO 10/12/11 DE 6.8 ° A LAS 19:47:25 HRS



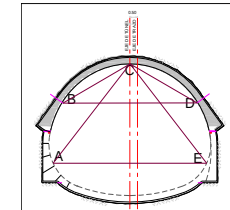
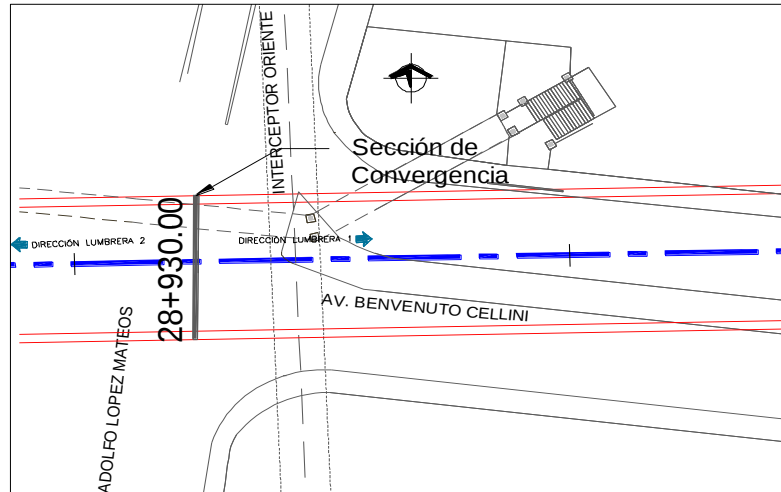
FUENTE: <http://icacc61.icacc.com.mx/instrumenta/home01.aspx>

ANEXO D-2

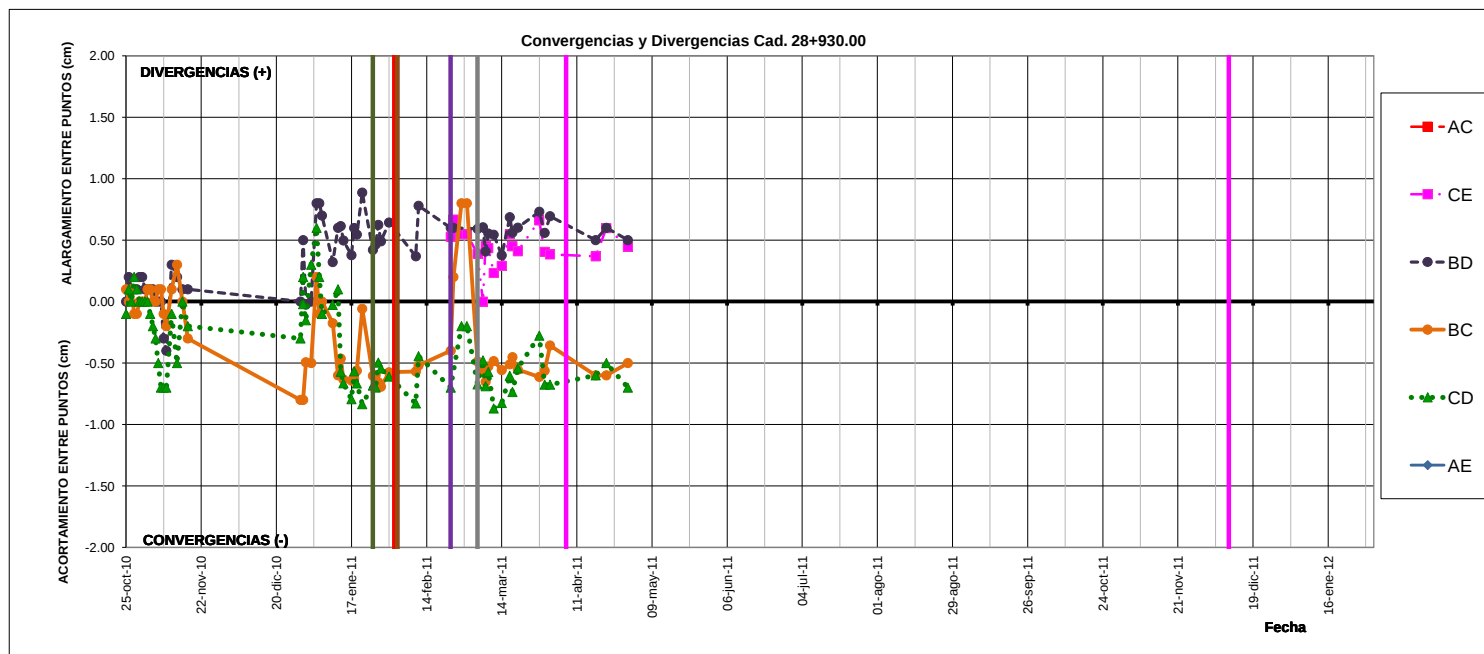
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1 (MIXCOAC) - LUMBRERA 2 (COLA MIXCOAC)

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+930.00

T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



EVENTOS IMPORTANTES	
	EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE
	REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE
	EXCAVACIÓN ZAPATA SUR
	REVESTIMIENTO ZAPATA SUR
	EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO
	COLADO LOSA DE FONDO
	SISMO 21/12/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS
	SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS
	SISMO 10/12/11 DE 6.8 ° A LAS 19:47:25 HRS



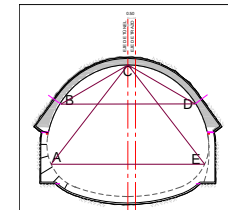
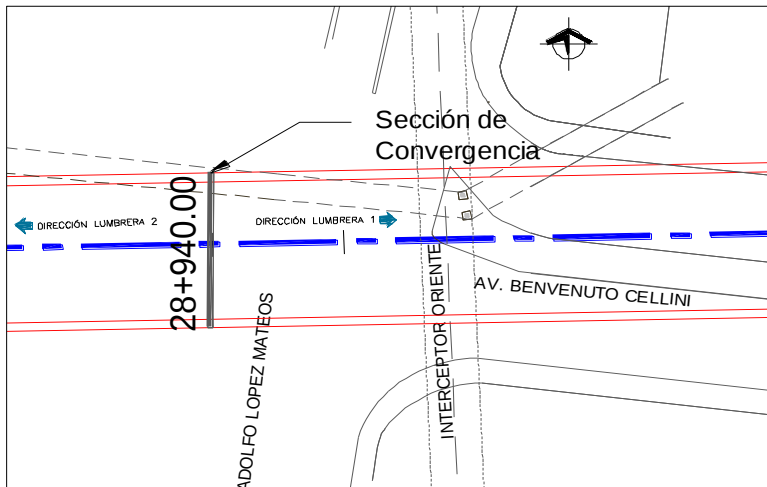
FUENTE: <http://icacc61.icacc.com.mx/instrumenta/home01.aspx>

ANEXO D-3

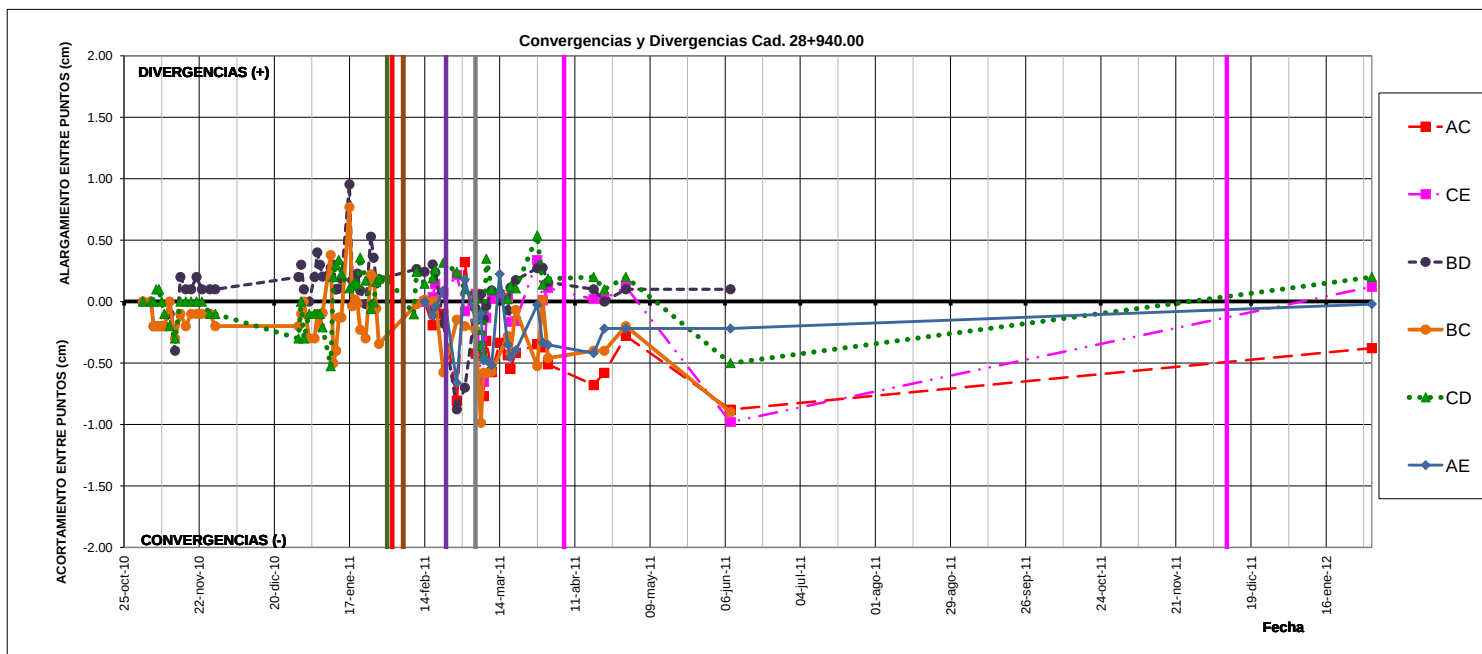
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1 (MIXCOAC) - LUMBRERA 2 (COLA MIXCOAC)

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+940.00

T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



EVENTOS IMPORTANTES	
	EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE
	REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE
	EXCAVACIÓN ZAPATA SUR
	REVESTIMIENTO ZAPATA SUR
	EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO
	COLADO LOSA DE FONDO
	SISMO 21/12/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS
	SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS
	SISMO 10/12/11 DE 6.8 ° A LAS 19:47:25 HRS



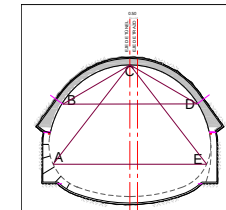
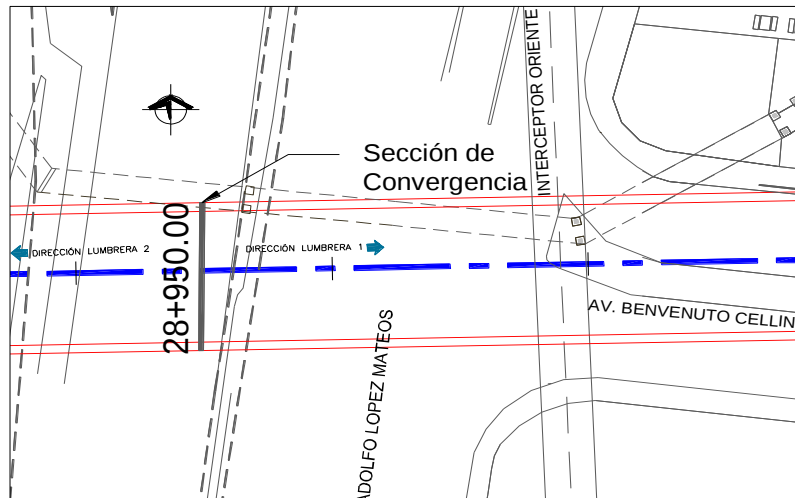
FUENTE: <http://icacc61.icacc.com.mx/instrumenta/home01.aspx>

ANEXO D-4

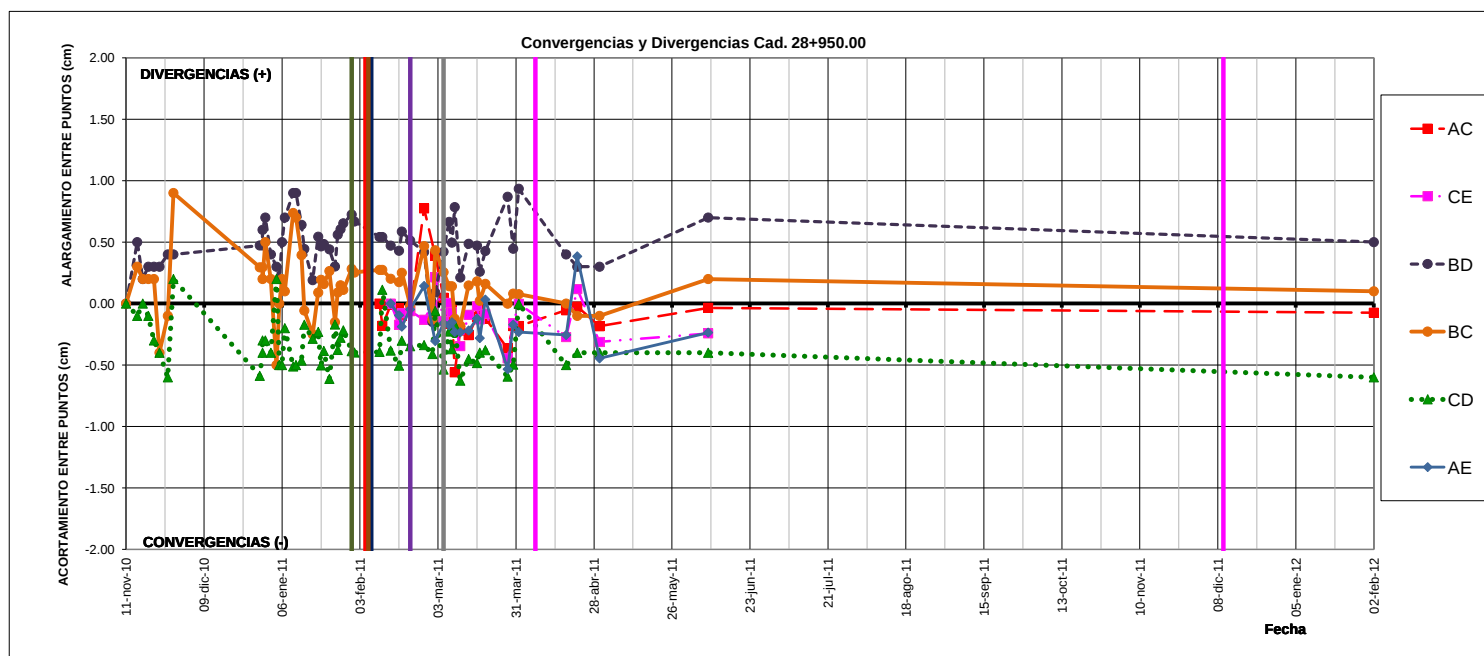
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1 (MIXCOAC) - LUMBRERA 2 (COLA MIXCOAC)

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+950.00

T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.8 ° A LAS 19:47:25 HRS	



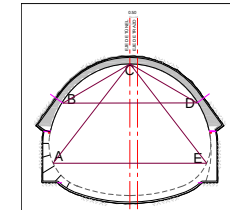
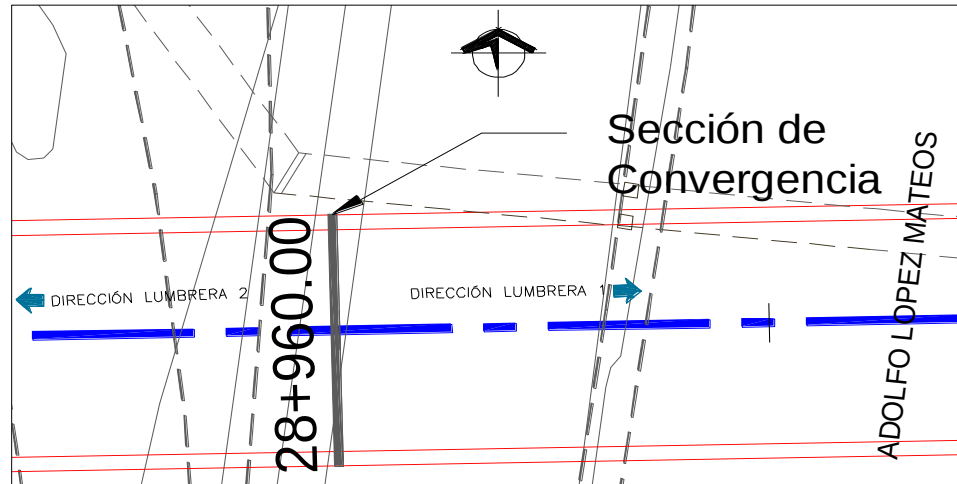
FUENTE: <http://icacc61.icacc.com.mx/instrumenta/home01.aspx>

ANEXO D-5

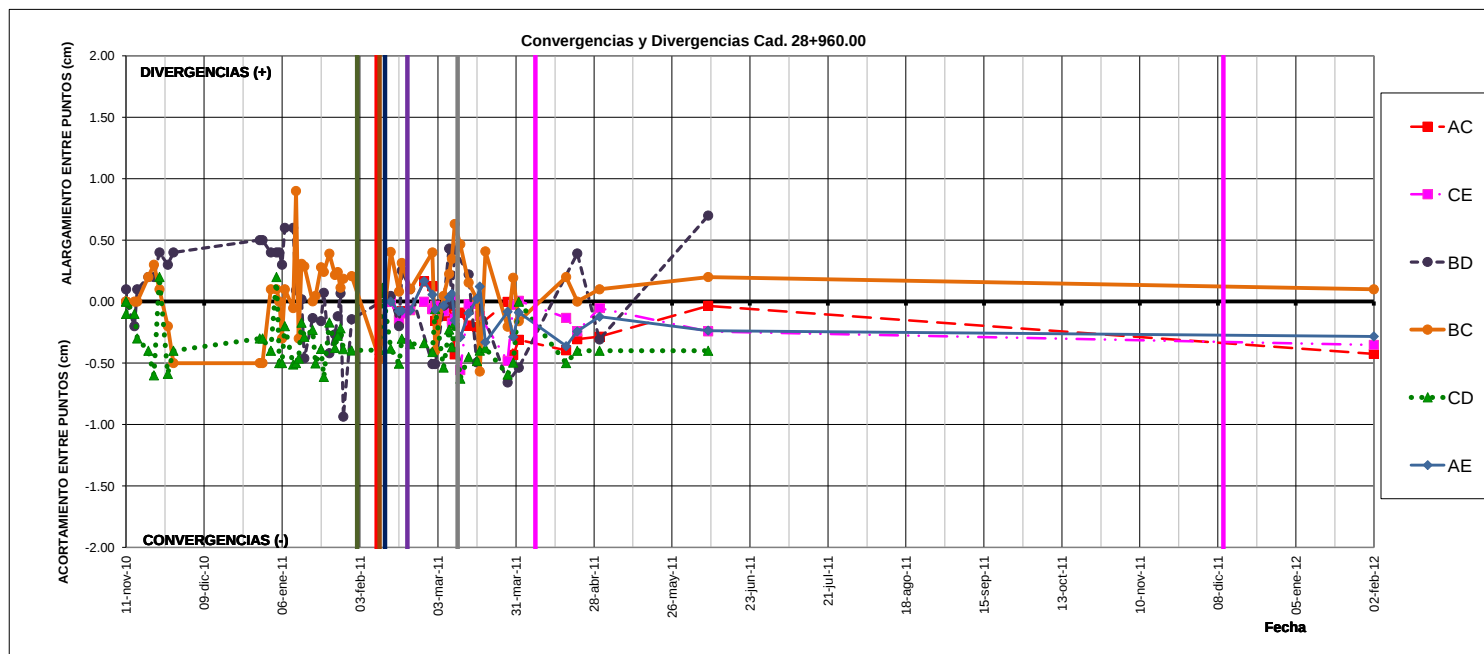
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1 (MIXCOAC) - LUMBRERA 2 (COLA MIXCOAC)

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+960.00

T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.8 ° A LAS 19:47:25 HRS	



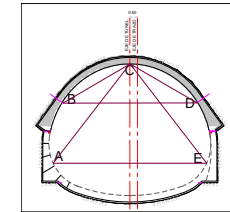
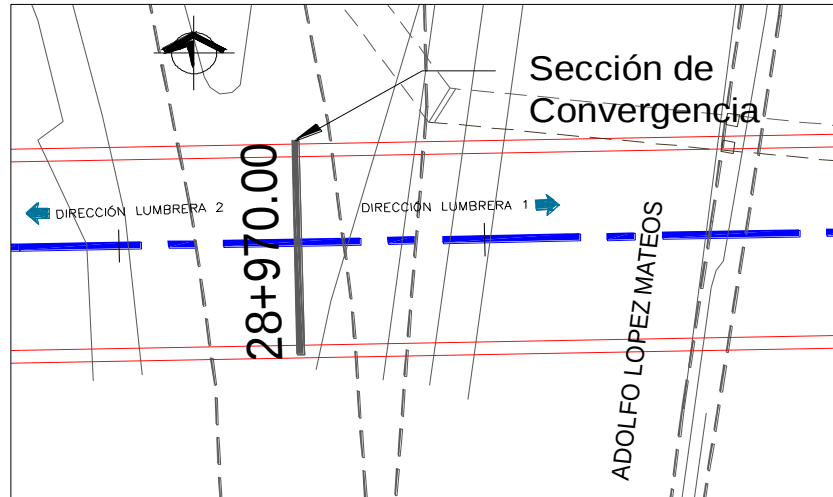
FUENTE: <http://icacc61.icacc.com.mx/instrumenta/home01.aspx>

ANEXO D-6

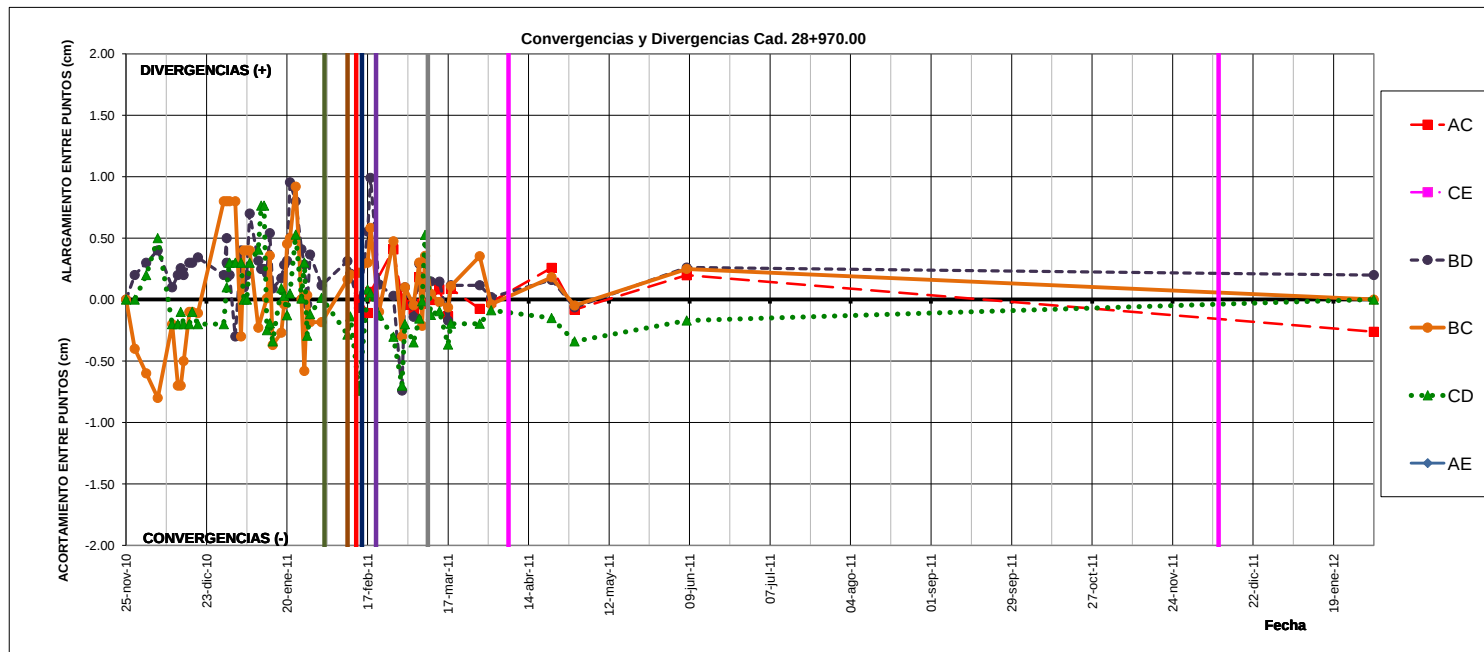
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1 (MIXCOAC) - LUMBRERA 2 (COLA MIXCOAC)

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+970.00

T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.8 ° A LAS 19:47:25 HRS	



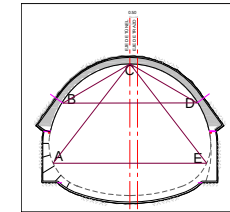
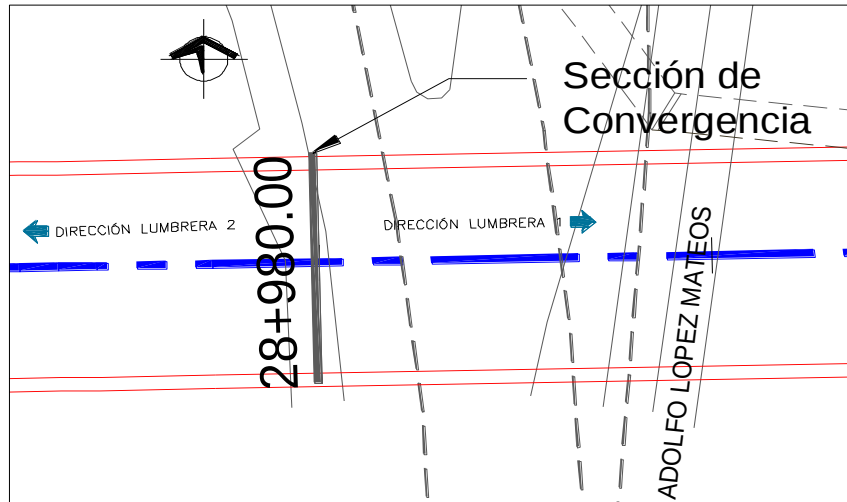
FUENTE: <http://icacc61.icacc.com.mx/instrumenta/home01.aspx>

ANEXO D-7

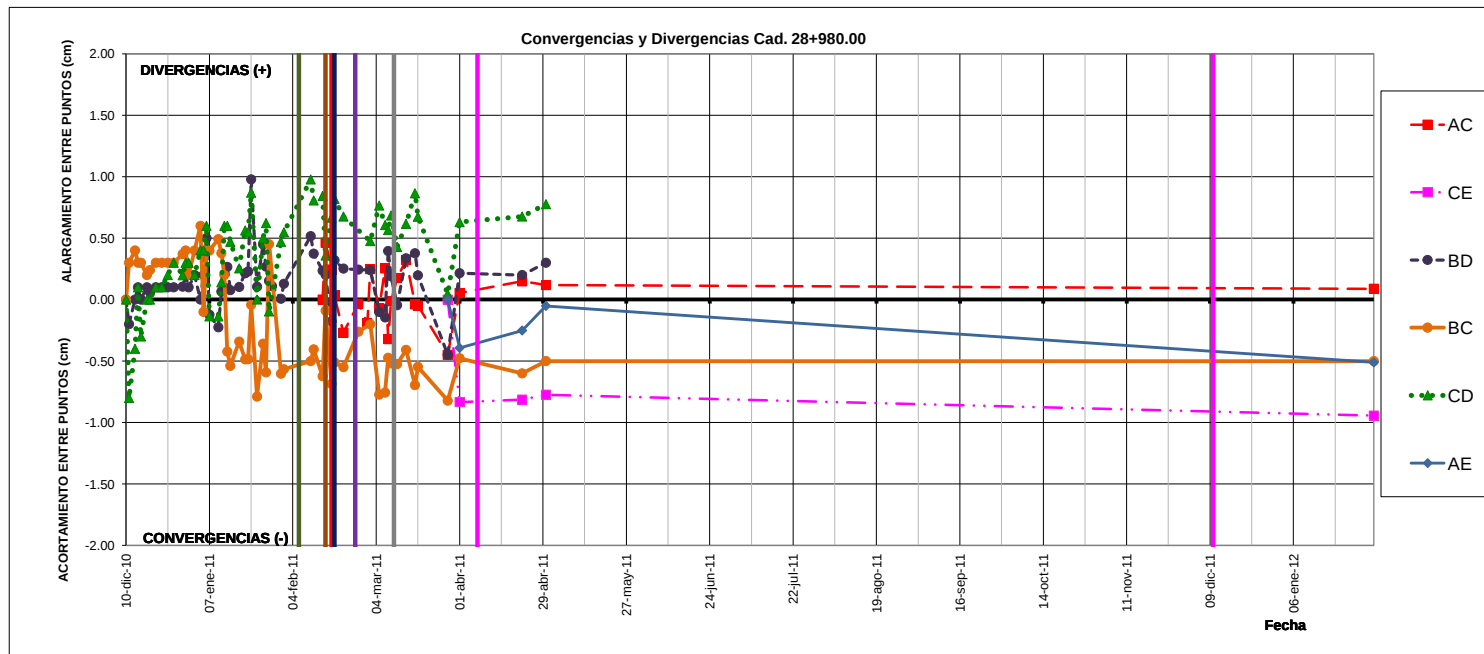
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1 (MIXCOAC) - LUMBRERA 2 (COLA MIXCOAC)

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+980.00

T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.8 ° A LAS 19:47:25 HRS	



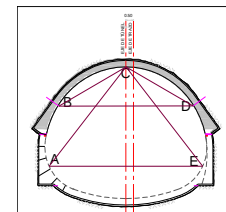
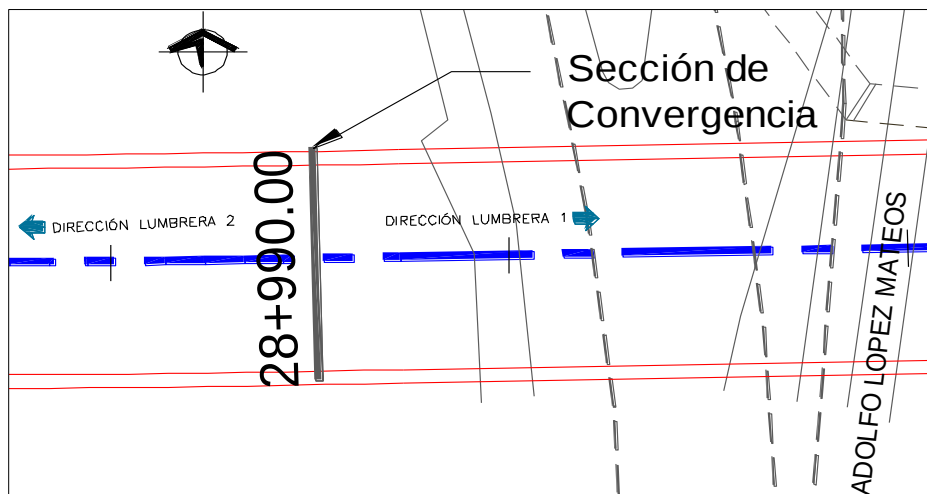
FUENTE: <http://icacc61.icacc.com.mx/instrumenta/home01.aspx>

ANEXO D-8

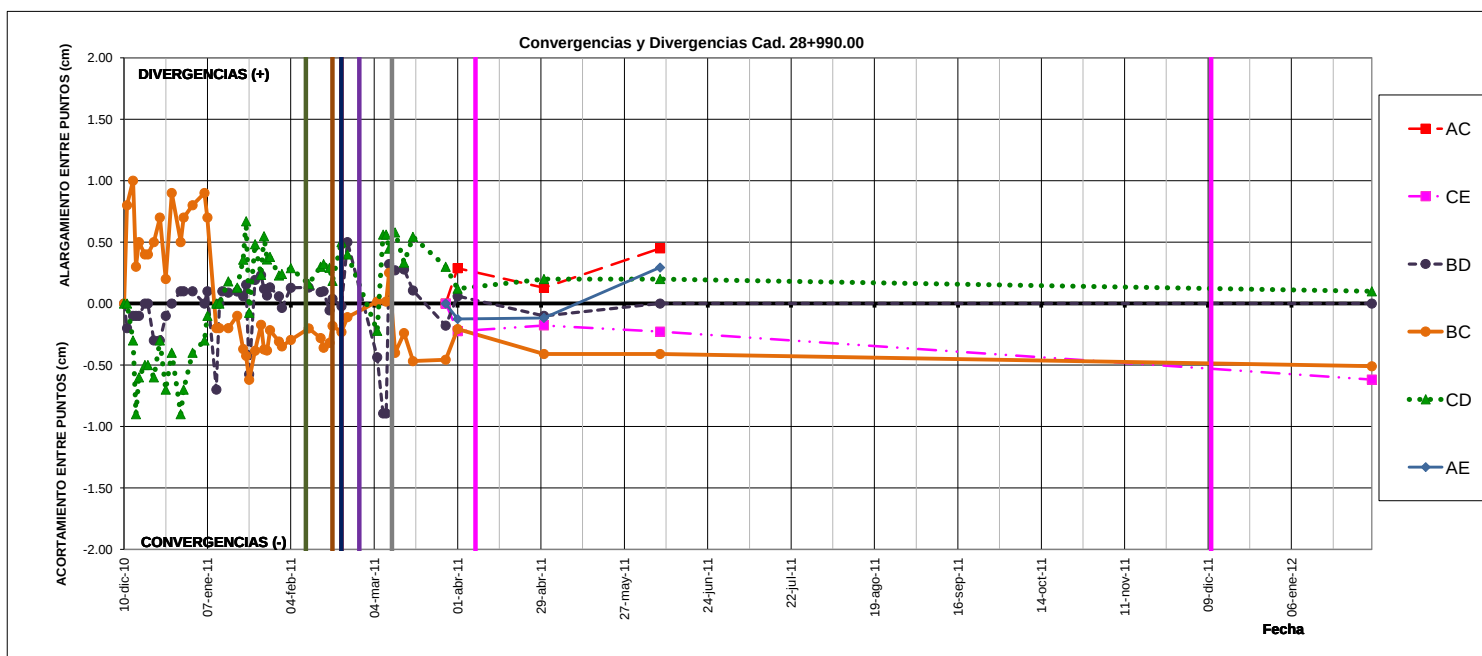
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1 (MIXCOAC) - LUMBRERA 2 (COLA MIXCOAC)

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+990.00

T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.8 ° A LAS 19:47:25 HRS	



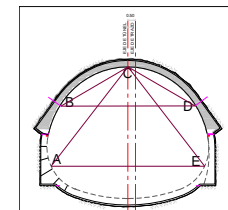
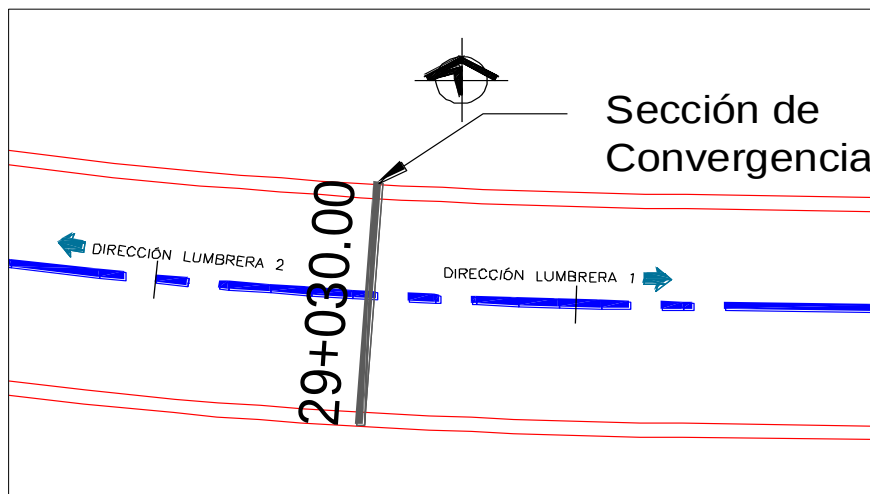
FUENTE: <http://icacc61.icacc.com.mx/instrumenta/home01.aspx>

ANEXO D-9

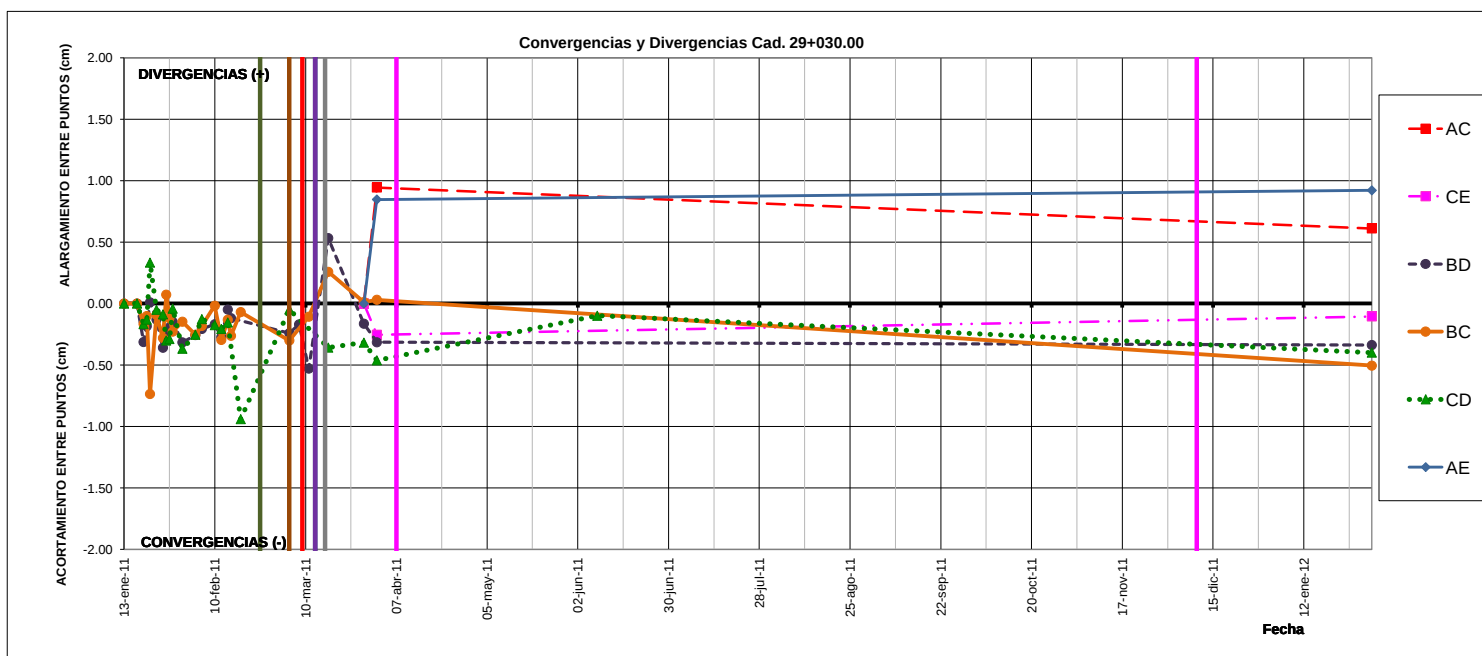
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1 (MIXCOAC) - LUMBRERA 2 (COLA MIXCOAC)

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 29+030.00

T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.8 ° A LAS 19:47:25 HRS	



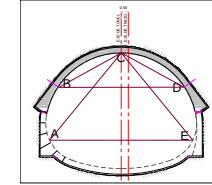
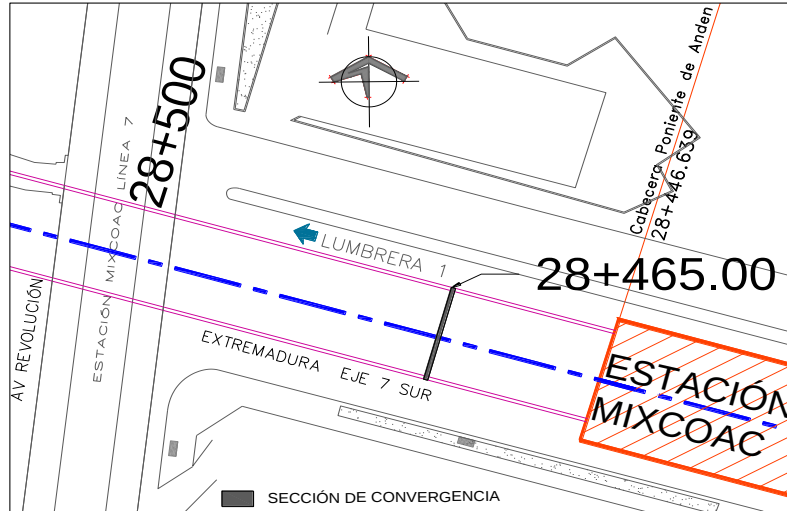
FUENTE: <http://icacc61.icacc.com.mx/instrumenta/home01.aspx>

ANEXO D-10

MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1-ESTACIÓN MIXCOAC

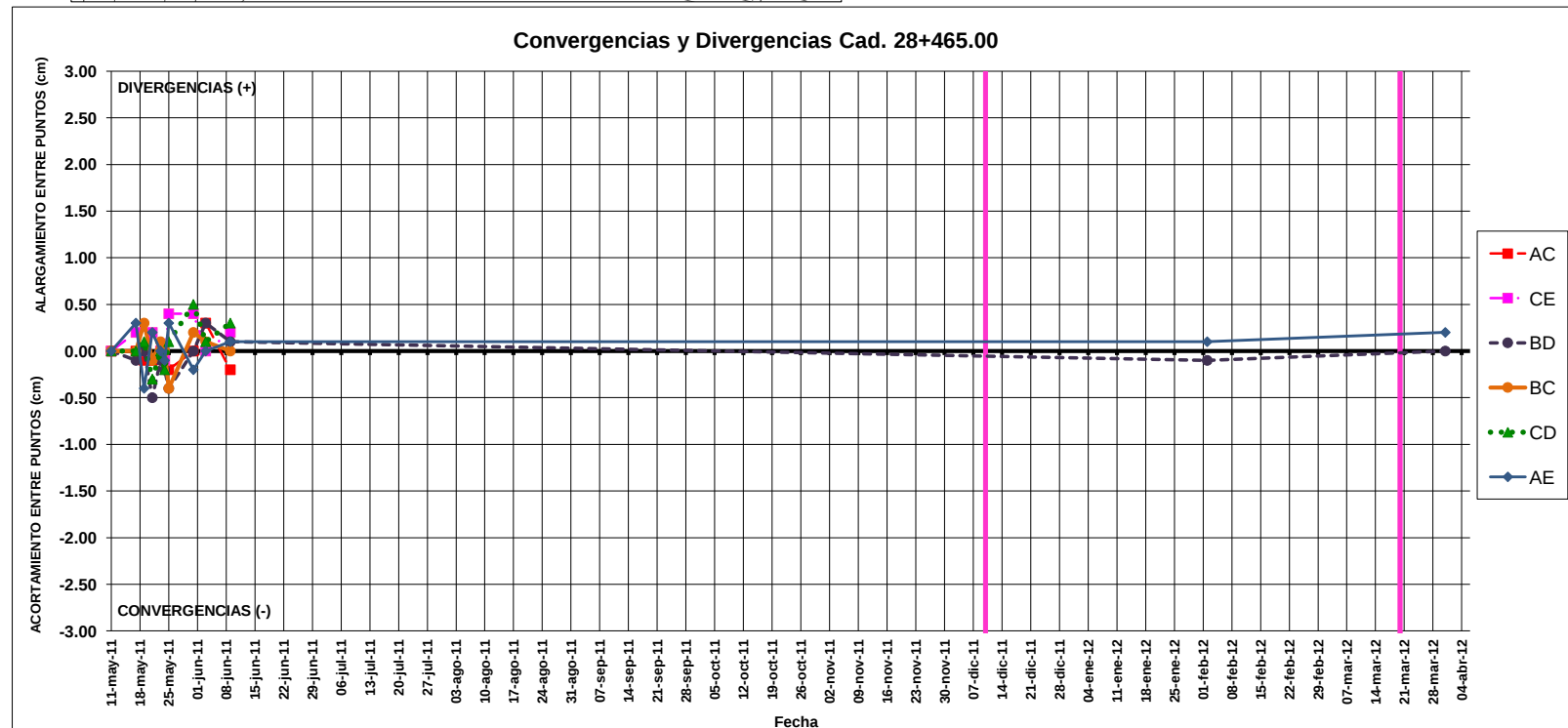
FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+465.00

T. CONVERGENCIA: COMPUERTA



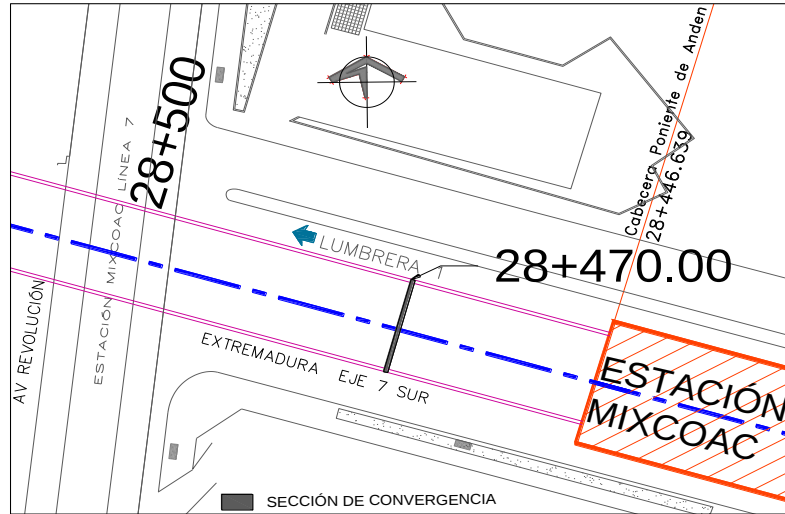
EVENTOS IMPORTANTES

EXCAVACIÓN CLAVE
REVESTIMIENTO CLAVE
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO
COLADO LOSA DE FONDO
SISMO 21/12/10 DE 6.5° A LAS 12:53:11 HRS
SISMO 07/04/11 DE 6.7° A LAS 08:11:22 HRS
SISMO 10/12/11 DE 6.5° A LAS 19:47:25 HRS

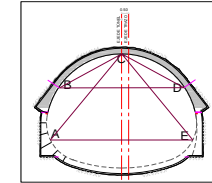


MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1-ESTACIÓN MIXCOAC

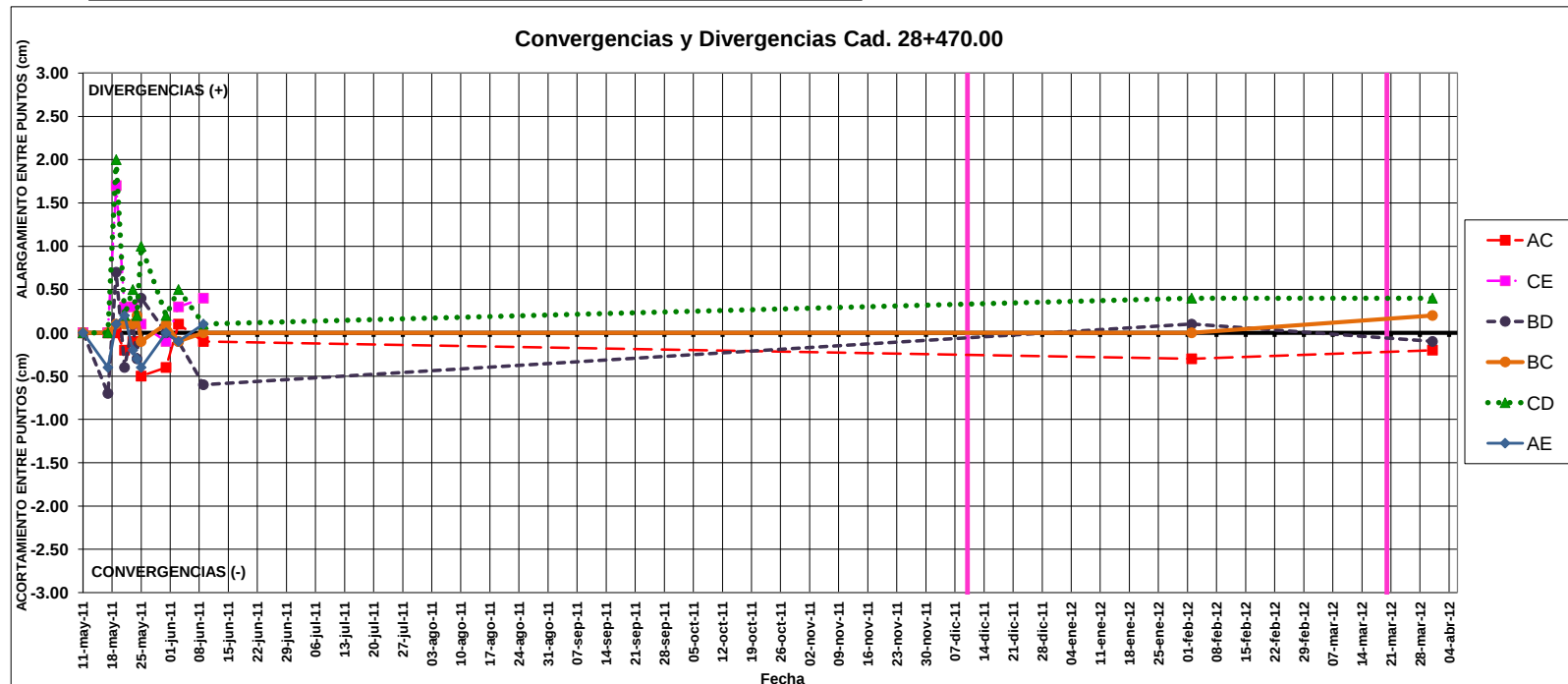
FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+470.00



T. CONVERGENCIA: COMPUERTA



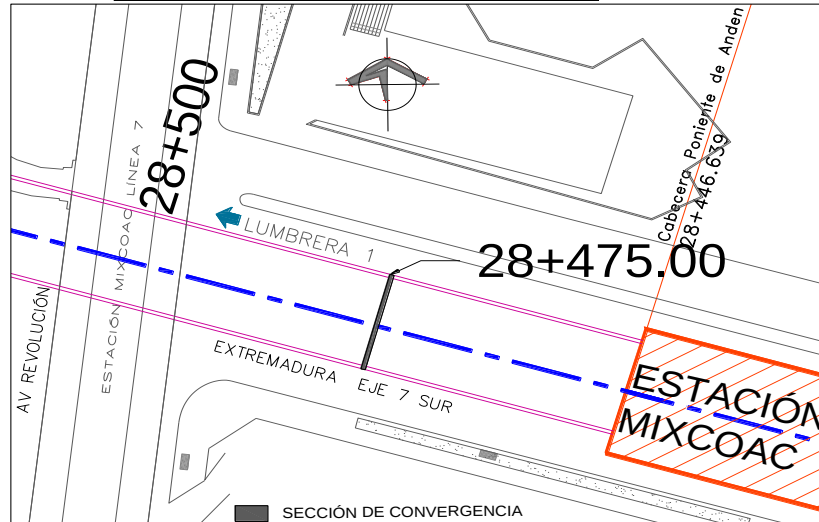
EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN CLAVE	
REVESTIMIENTO CLAVE	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.5 ° A LAS 19:47:25 HRS	



MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1-ESTACIÓN MIXCOAC

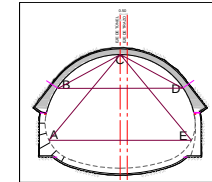
FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL

CADENAMIENTO: 28+475.00

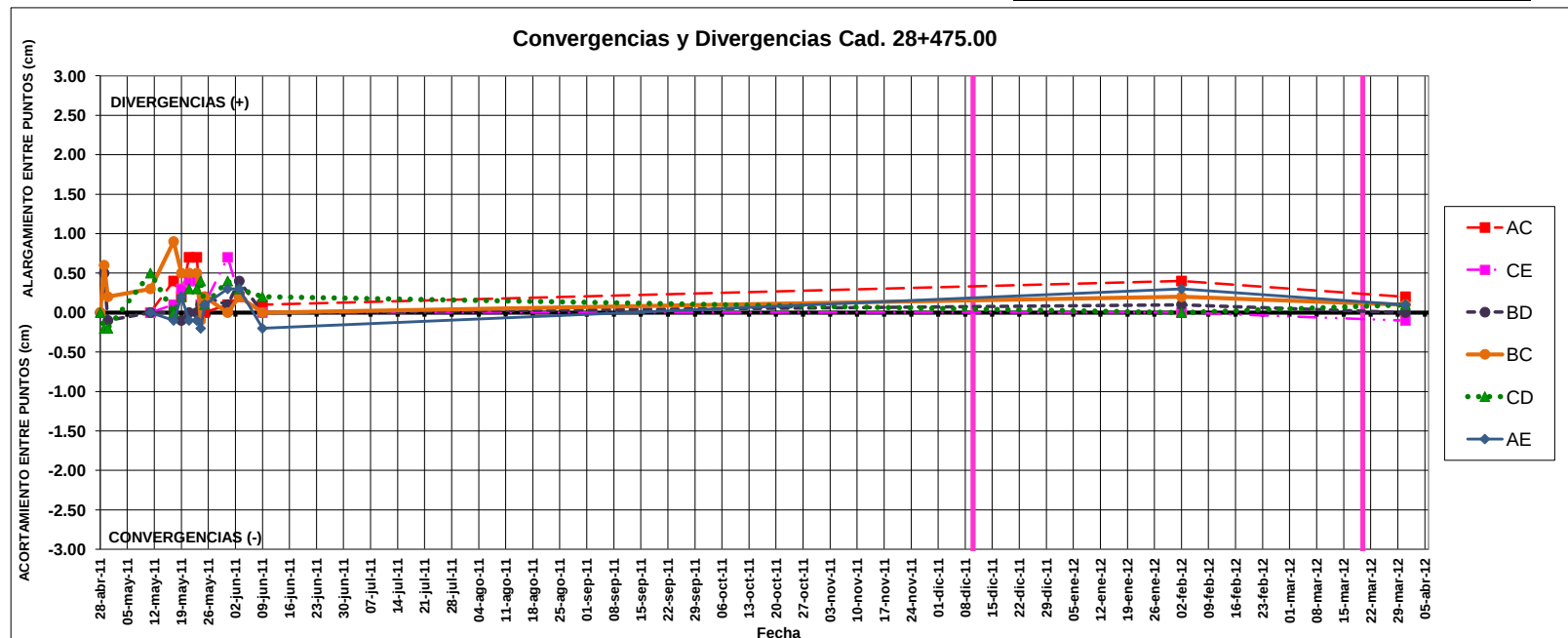


T. CONVERGENCIA:

COMPUESTA



EVENTOS IMPORTANTES	
	EXCAVACIÓN CLAVE
	REVESTIMIENTO CLAVE
	EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE
	REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE
	EXCAVACIÓN ZAPATA SUR
	REVESTIMIENTO ZAPATA SUR
	EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO
	COLADO LOSA DE FONDO
	SISMO 21/12/10 DE 6.5° A LAS 12:53:11 HRS
	SISMO 07/04/11 DE 6.7° A LAS 08:11:22 HRS
	SISMO 10/12/11 DE 6.5° A LAS 19:47:25 HRS

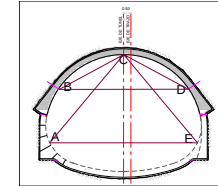
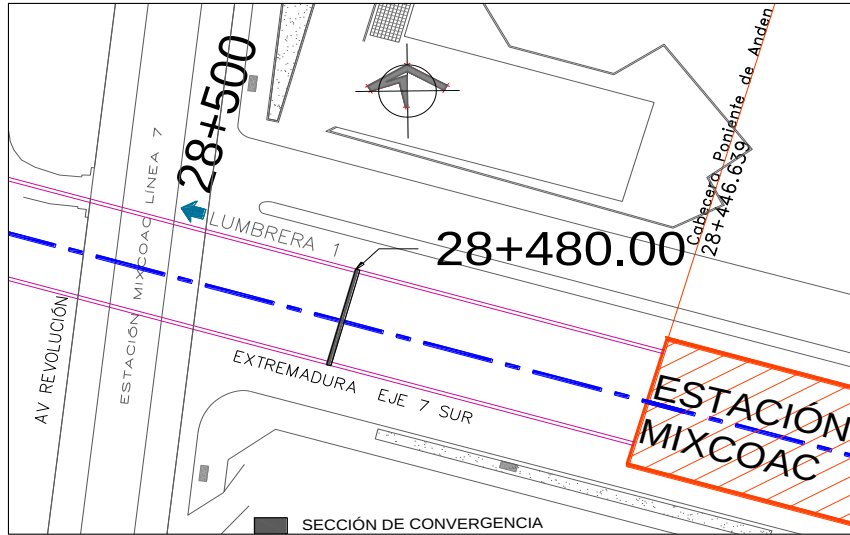


FUENTE: <http://icacc61.icacc.com.mx/instrumenta/home01.aspx>

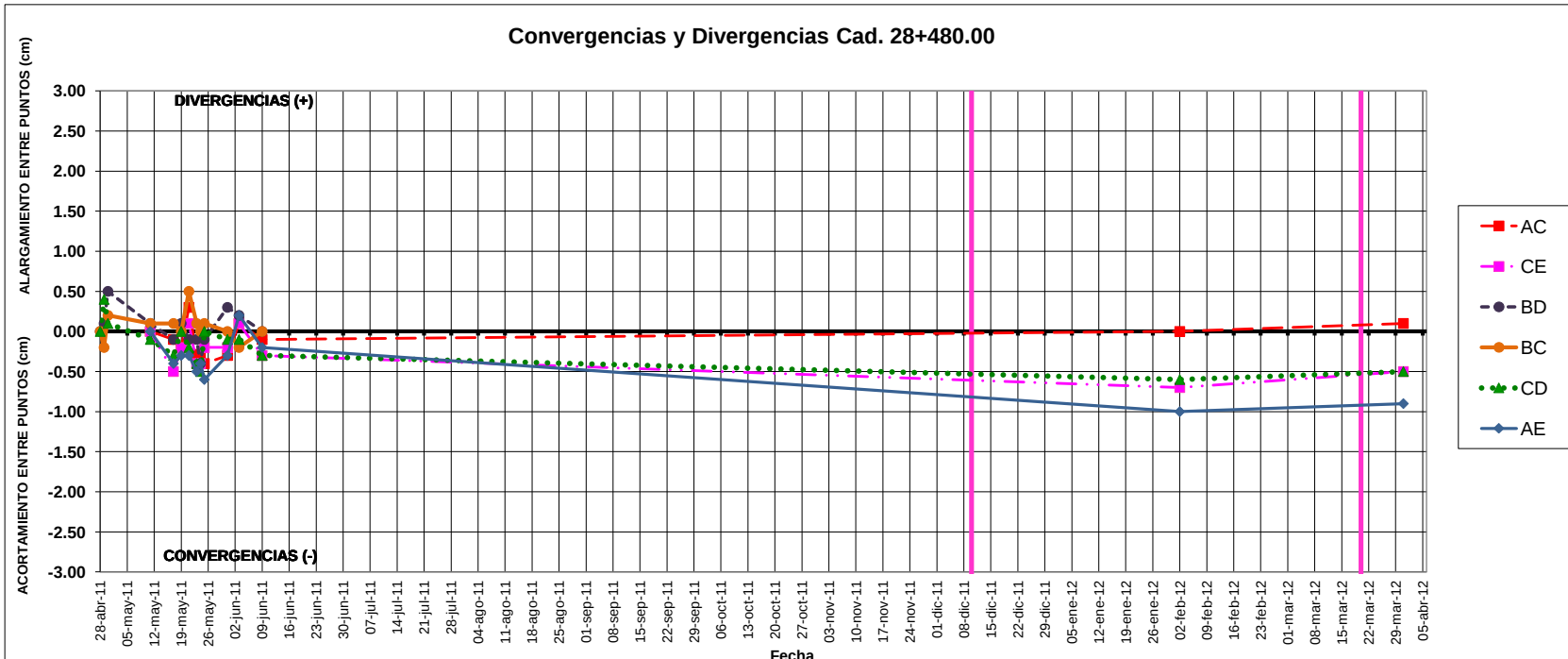
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1-ESTACIÓN MIXCOAC

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+480.00

T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



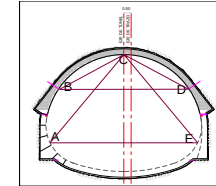
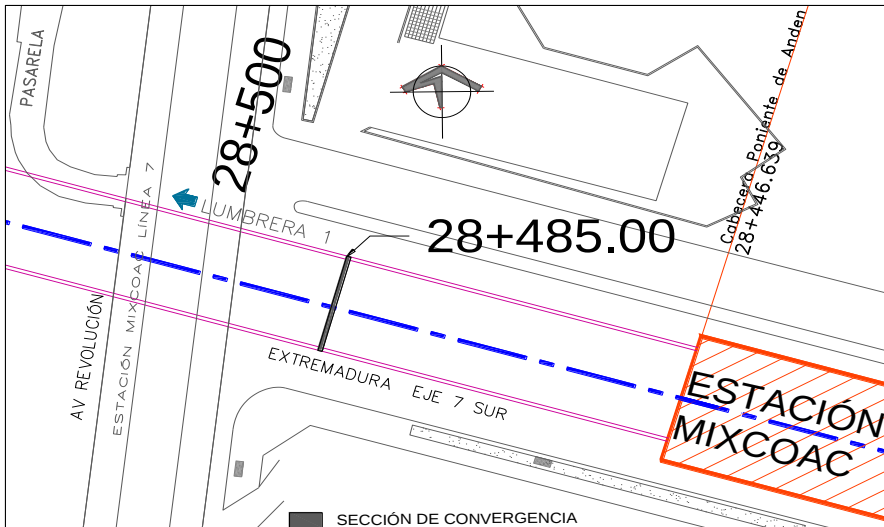
EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN CLAVE	
REVESTIMIENTO CLAVE	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.5 ° A LAS 19:47:25 HRS	



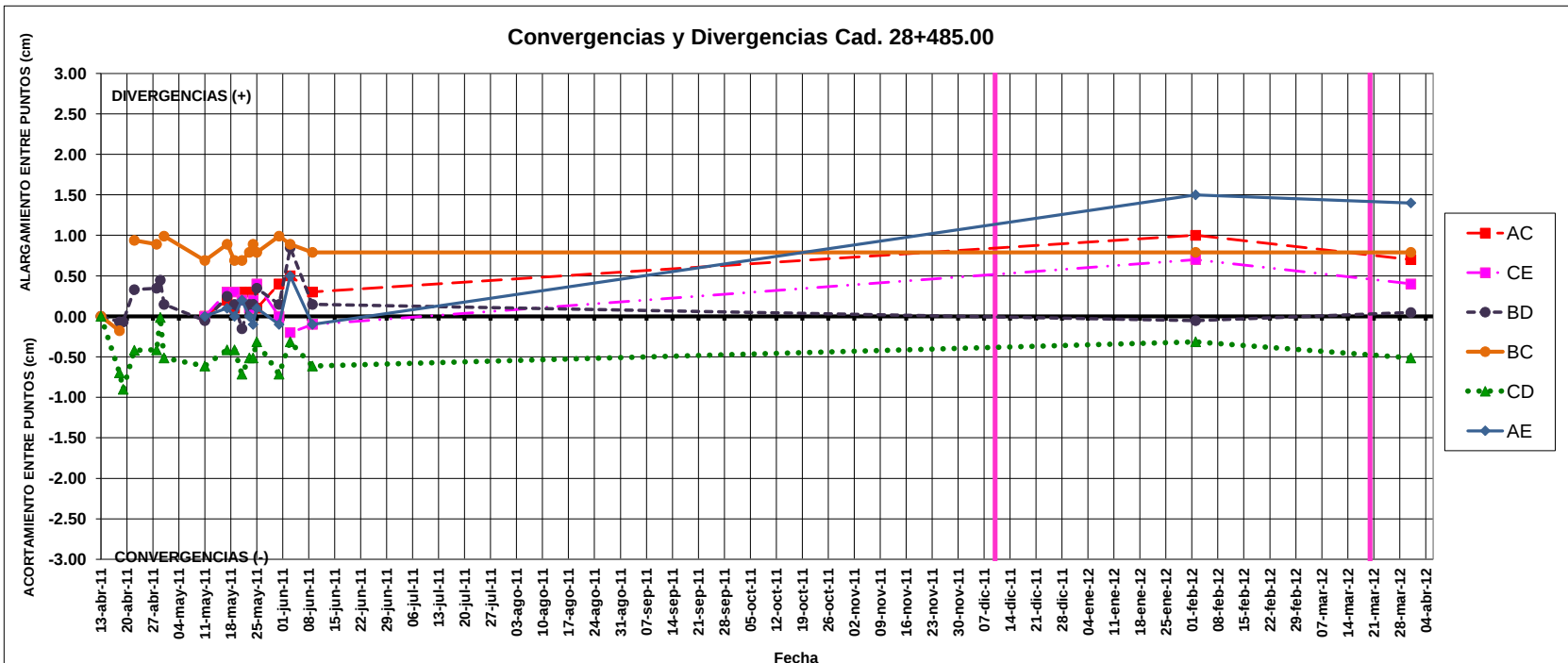
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1-ESTACIÓN MIXCOAC

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+485.00

T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



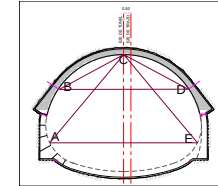
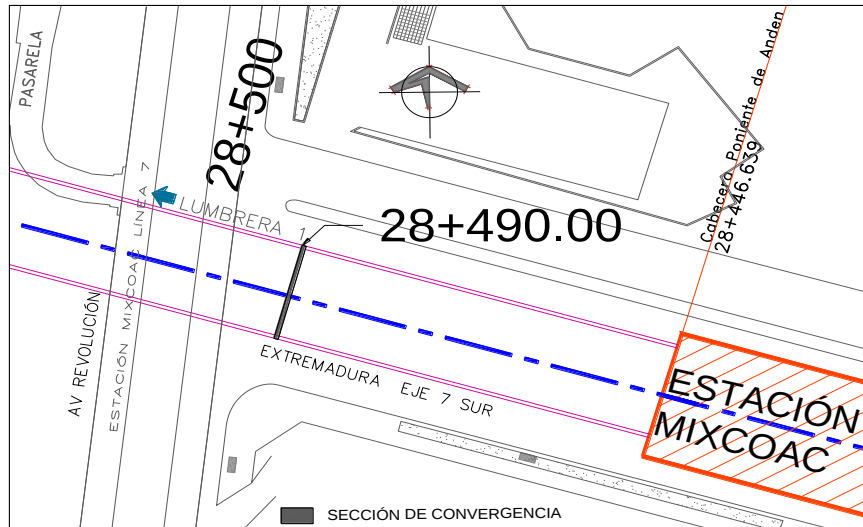
EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN CLAVE	
REVESTIMIENTO CLAVE	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.5° A LAS 19:47:25 HRS	



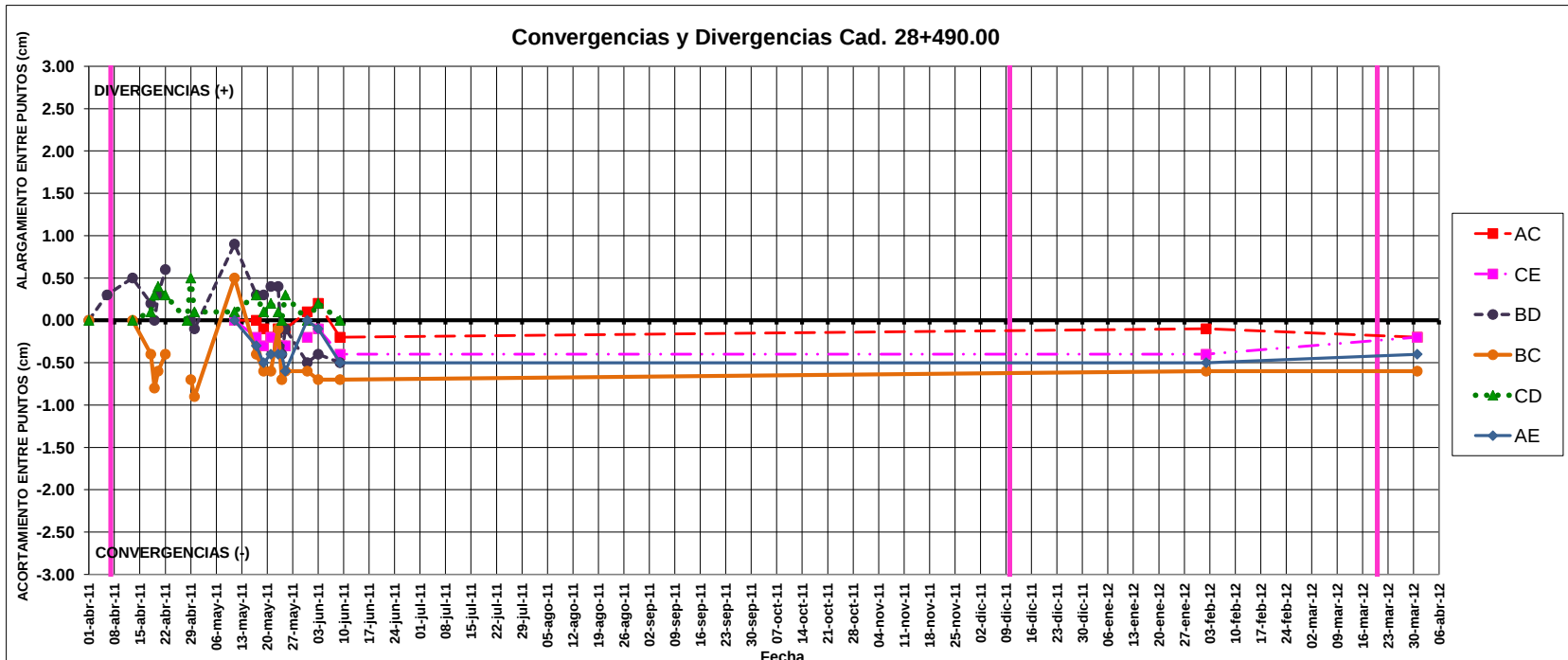
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1-ESTACIÓN MIXCOAC

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+490.00

T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



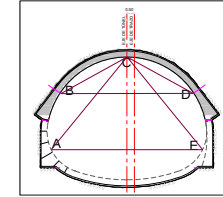
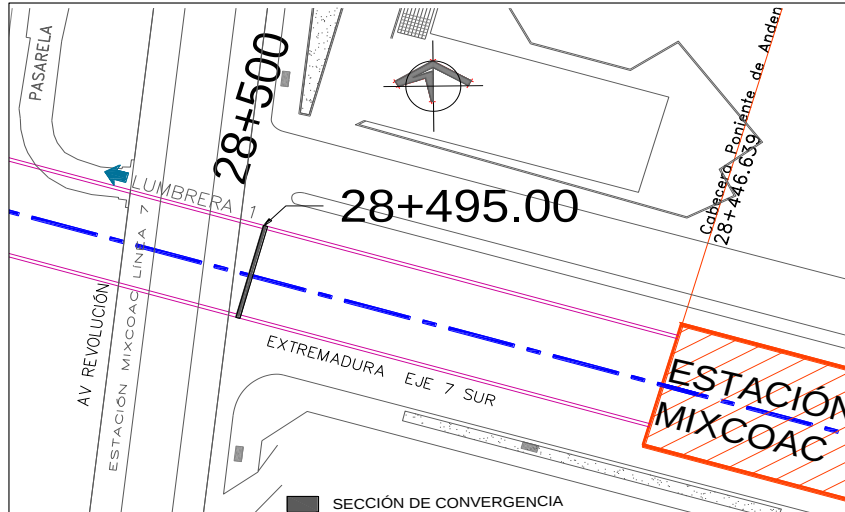
EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN CLAVE	
REVESTIMIENTO CLAVE	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.5° A LAS 19:47:25 HRS	



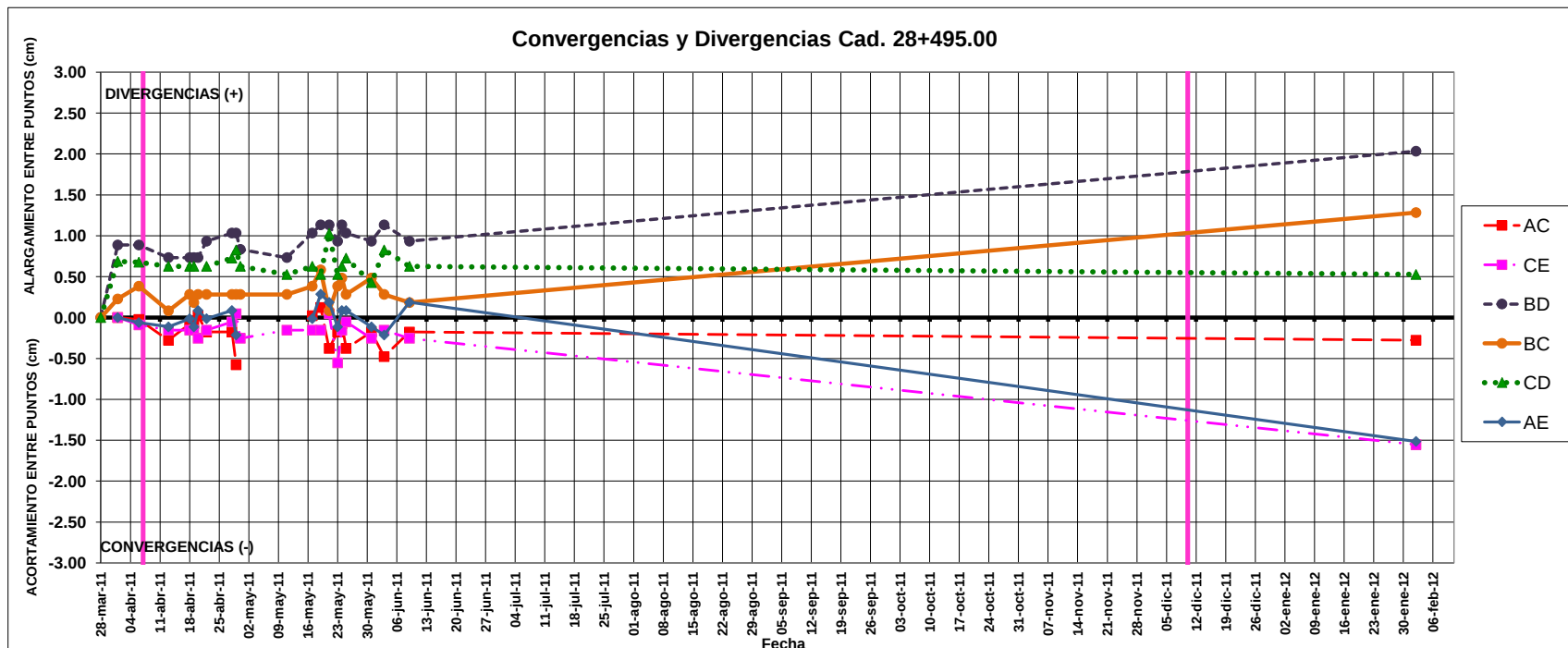
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1-ESTACIÓN MIXCOAC

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+495.00

T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



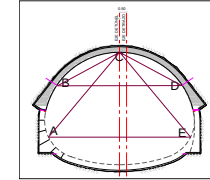
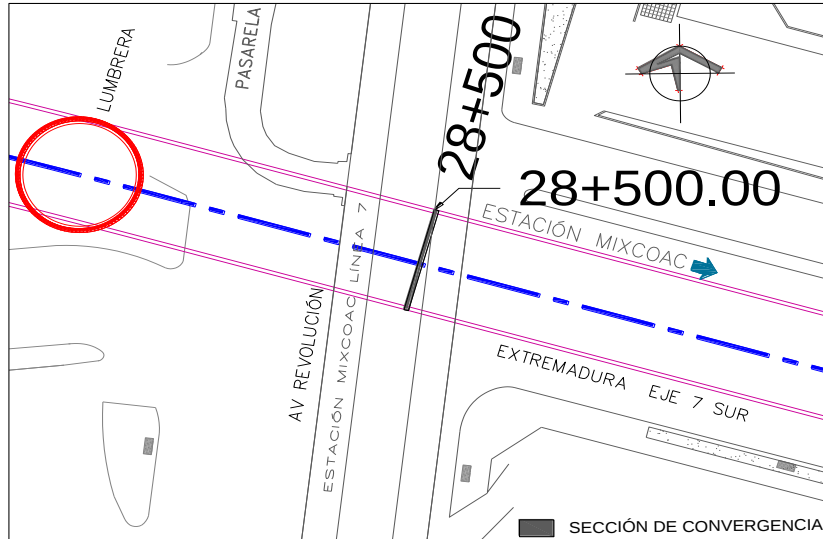
EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN CLAVE	
REVESTIMIENTO CLAVE	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.5° A LAS 19:47:25 HRS	



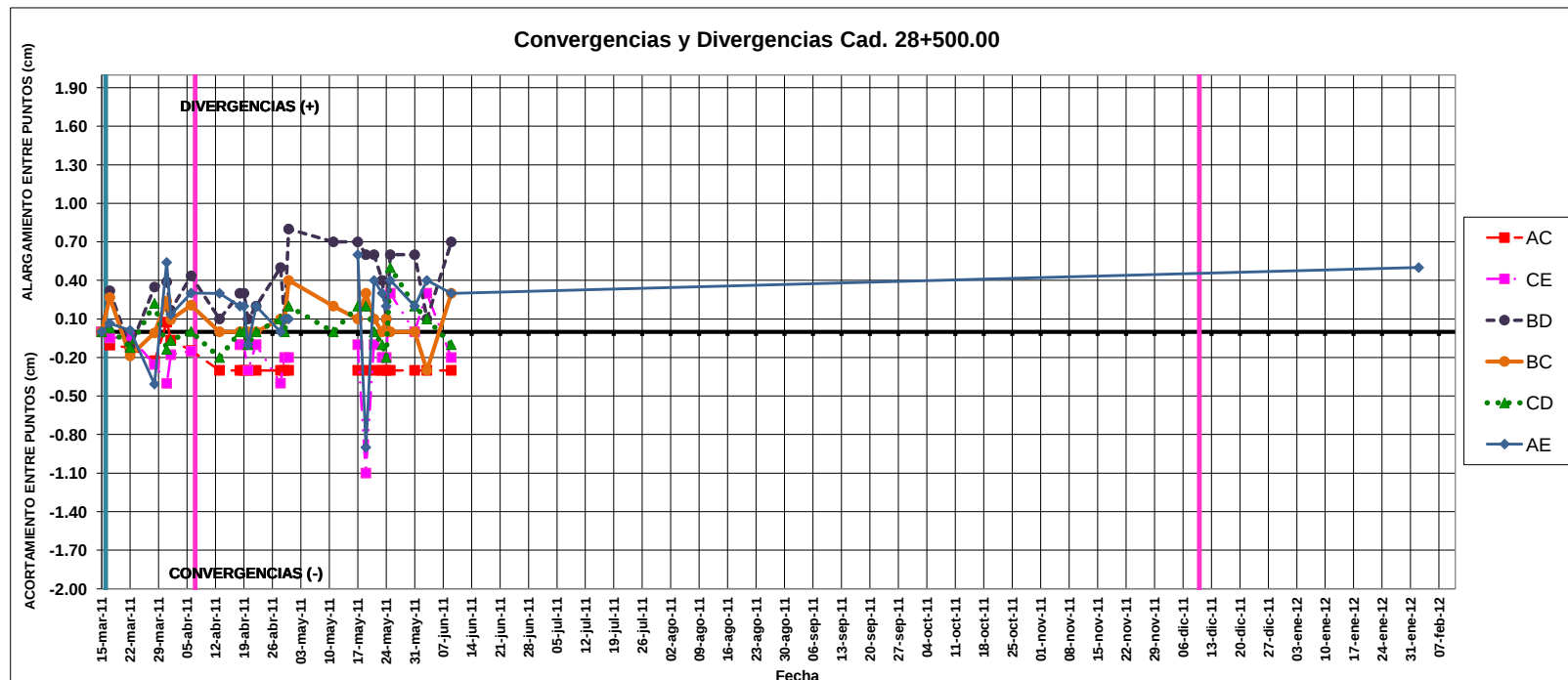
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1-ESTACIÓN MIXCOAC

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+500.00

T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN CLAVE	
REVESTIMIENTO CLAVE	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.5° A LAS 19:47:25 HRS	

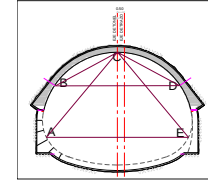
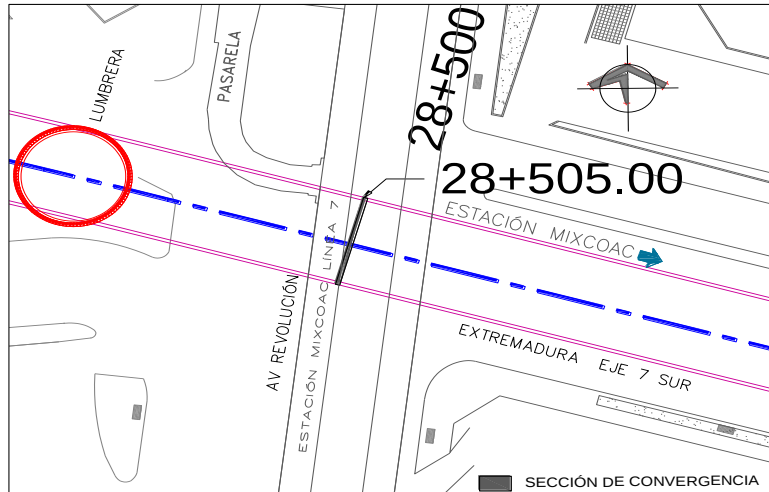


FUENTE: <http://icacc61.icacc.com.mx/instrumenta/home01.aspx>

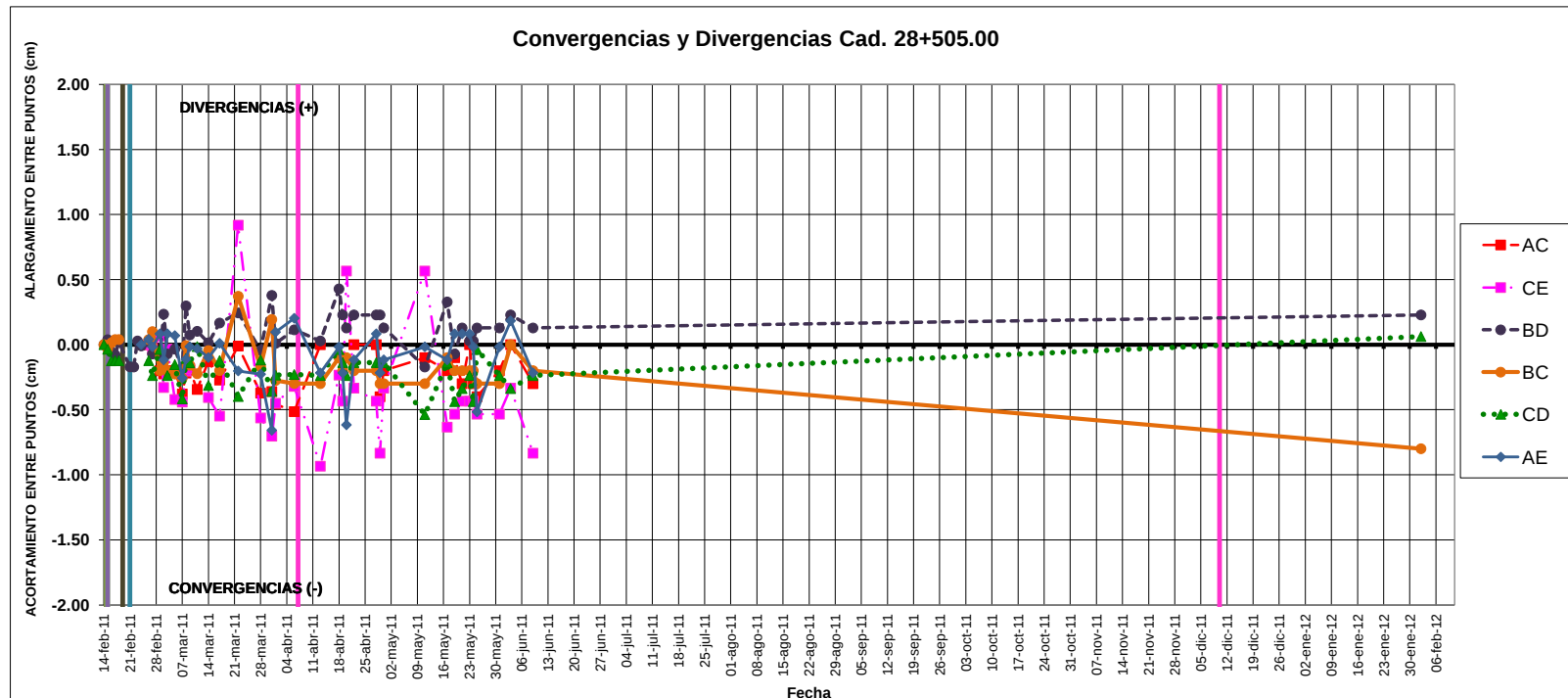
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1-ESTACIÓN MIXCOAC

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+505.00

T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



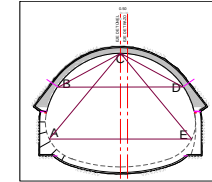
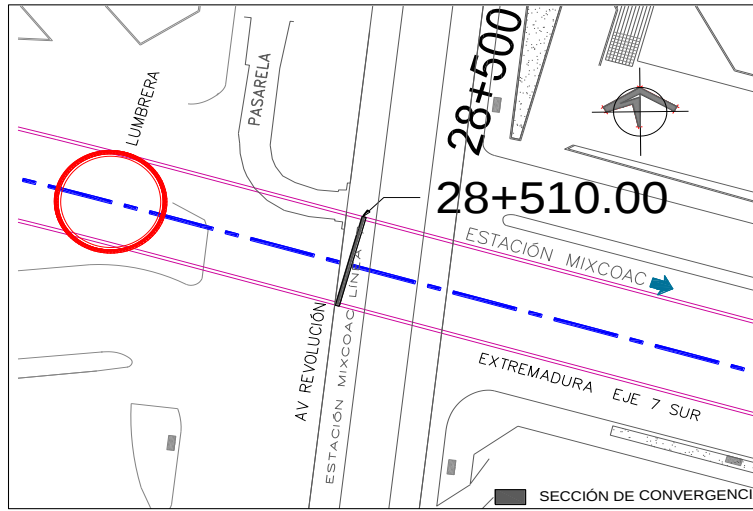
EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN CLAVE	
REVESTIMIENTO CLAVE	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.5° A LAS 19:47:25 HRS	



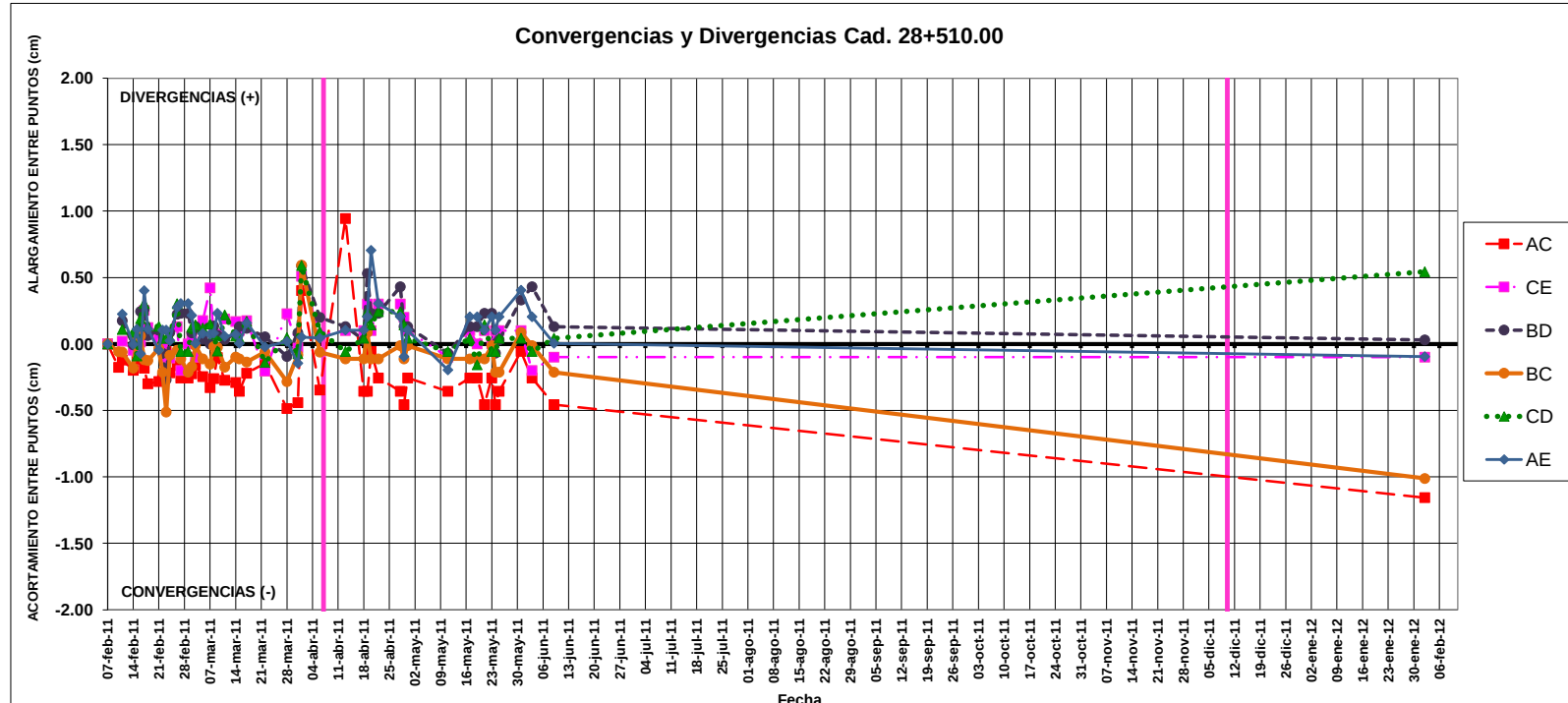
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1-ESTACIÓN MIXCOAC

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+510.00

T. CONVERGENCIA: COMPUERTA

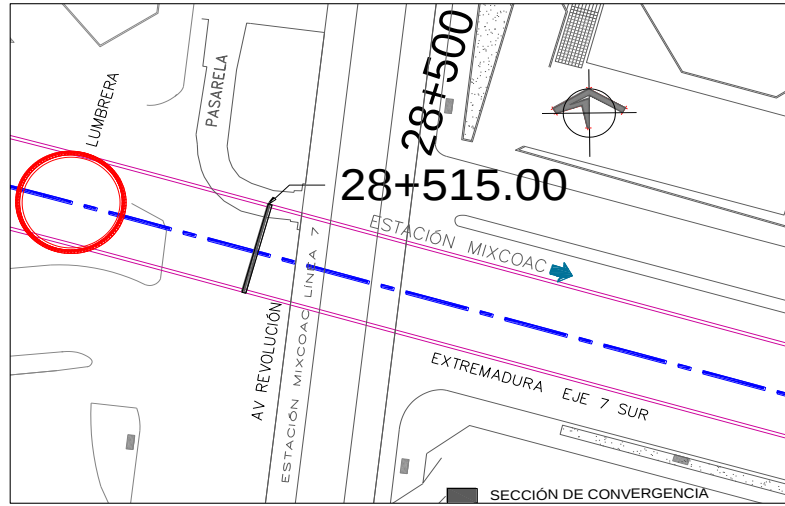


EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN CLAVE	
REVESTIMIENTO CLAVE	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.5 ° A LAS 19:47:25 HRS	

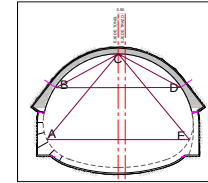


MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1-ESTACIÓN MIXCOAC

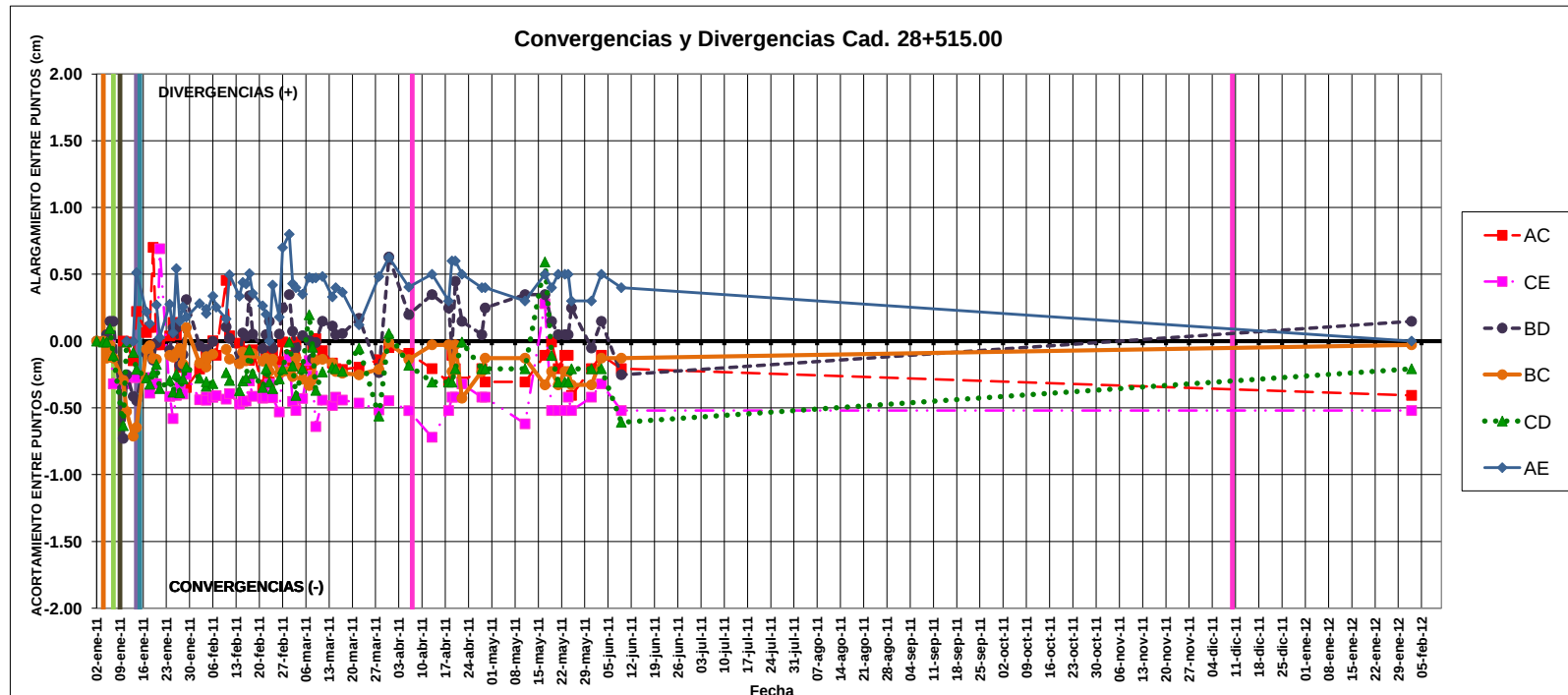
FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+515.00



T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



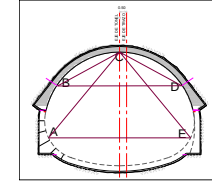
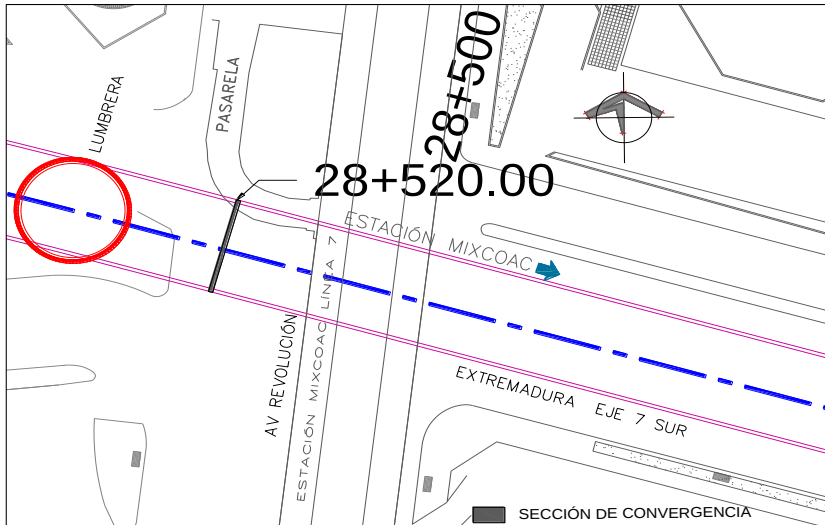
EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN CLAVE	
REVESTIMIENTO CLAVE	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.5° A LAS 19:47:25 HRS	



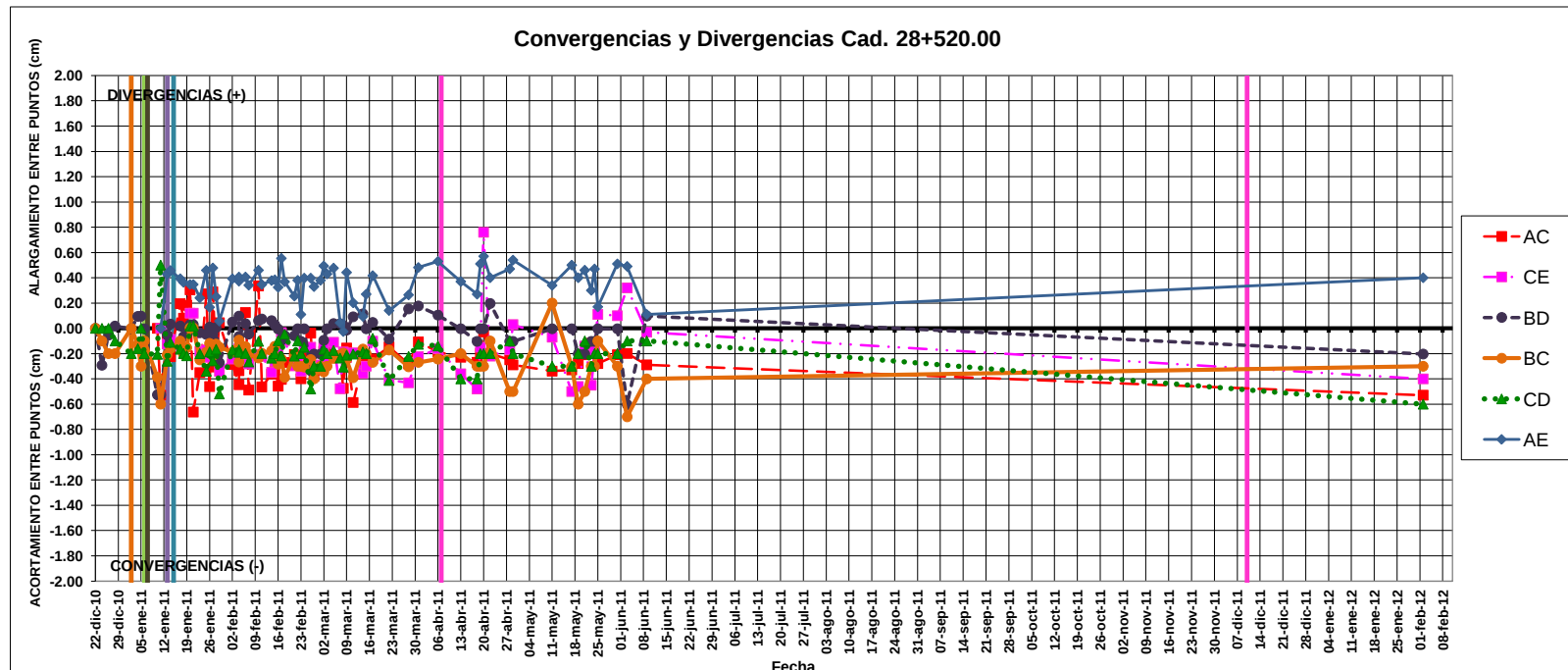
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1-ESTACIÓN MIXCOAC

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+520.00

T. CONVERGENCIA: COMPUERTA

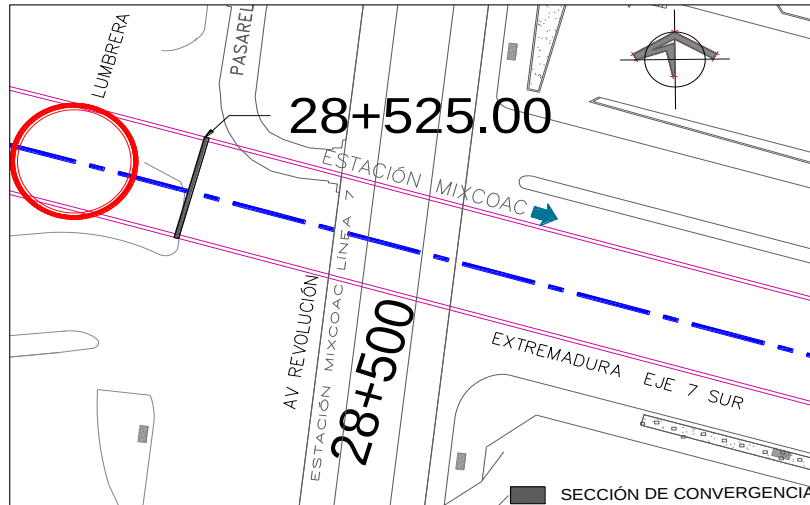


EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN CLAVE	
REVESTIMIENTO CLAVE	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.5 ° A LAS 19:47:25 HRS	

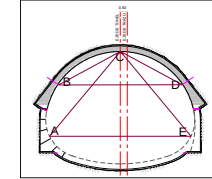


MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1-ESTACIÓN MIXCOAC

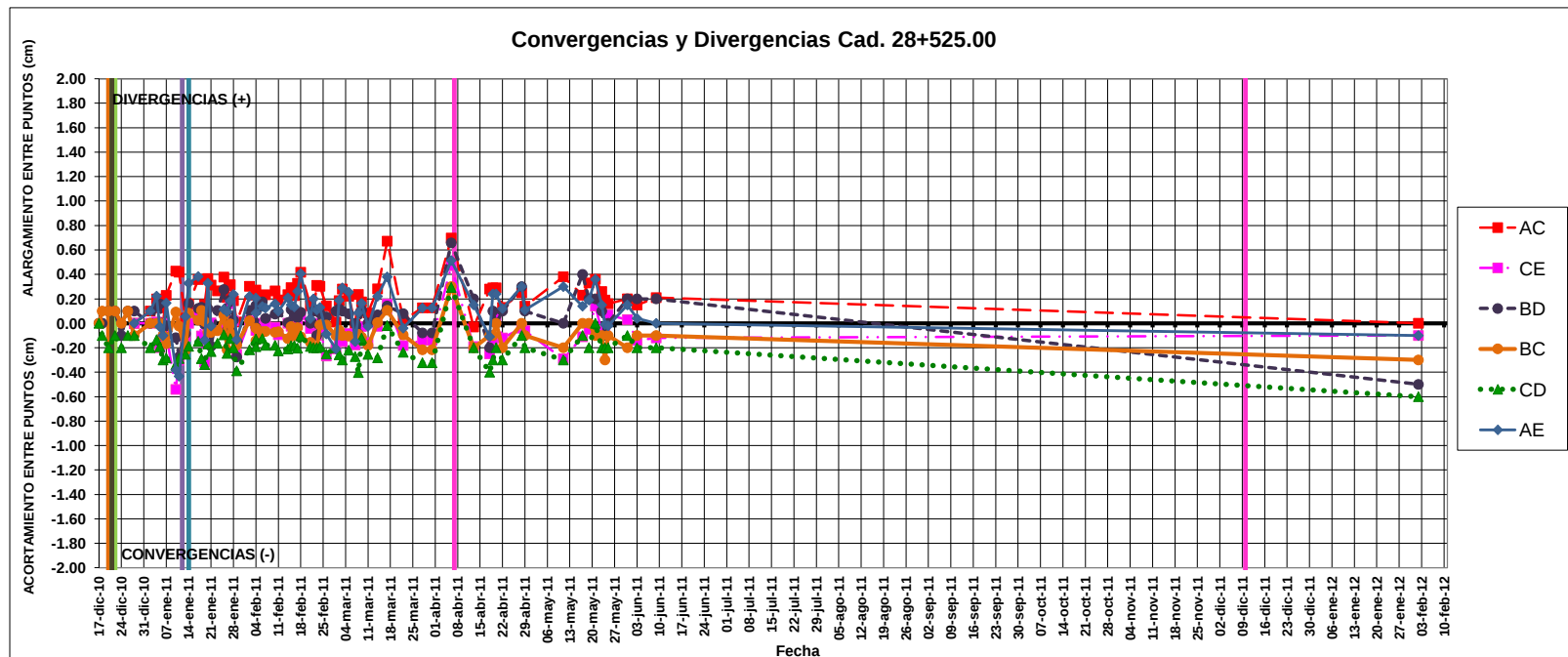
FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+525.00



T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



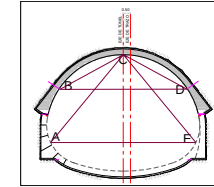
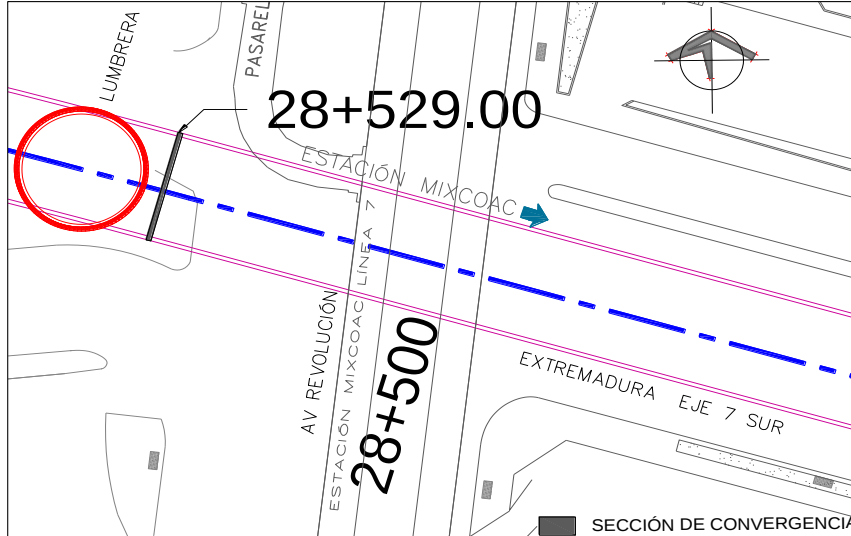
EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN CLAVE	
REVESTIMIENTO CLAVE	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.5° A LAS 19:47:25 HRS	



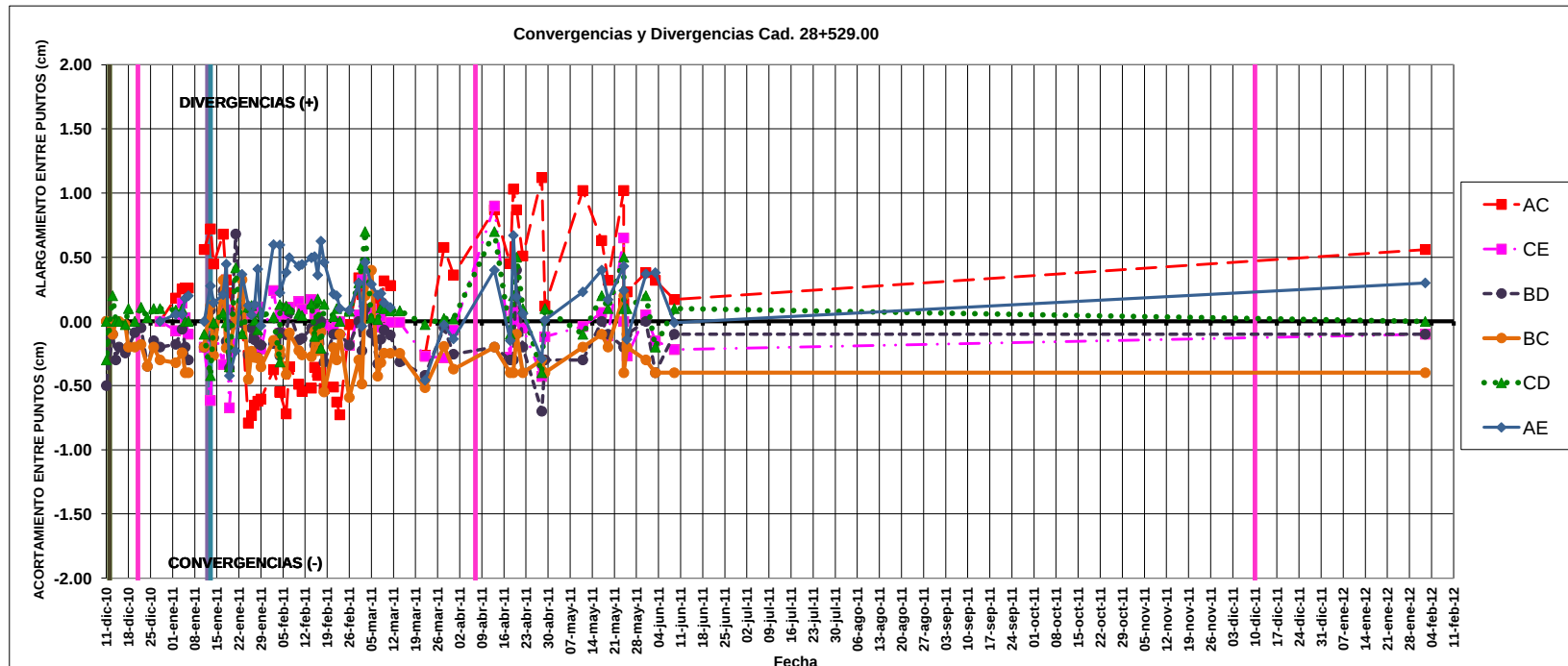
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL TRAMO LUMBRERA 1-ESTACIÓN MIXCOAC

FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 28+529.00

T. CONVERGENCIA: COMPUESTA



EVENTOS IMPORTANTES	
EXCAVACIÓN CLAVE	
REVESTIMIENTO CLAVE	
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
COLADO LOSA DE FONDO	
SISMO 21/12/10 DE 6.5° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.5° A LAS 19:47:25 HRS	

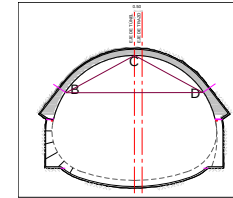
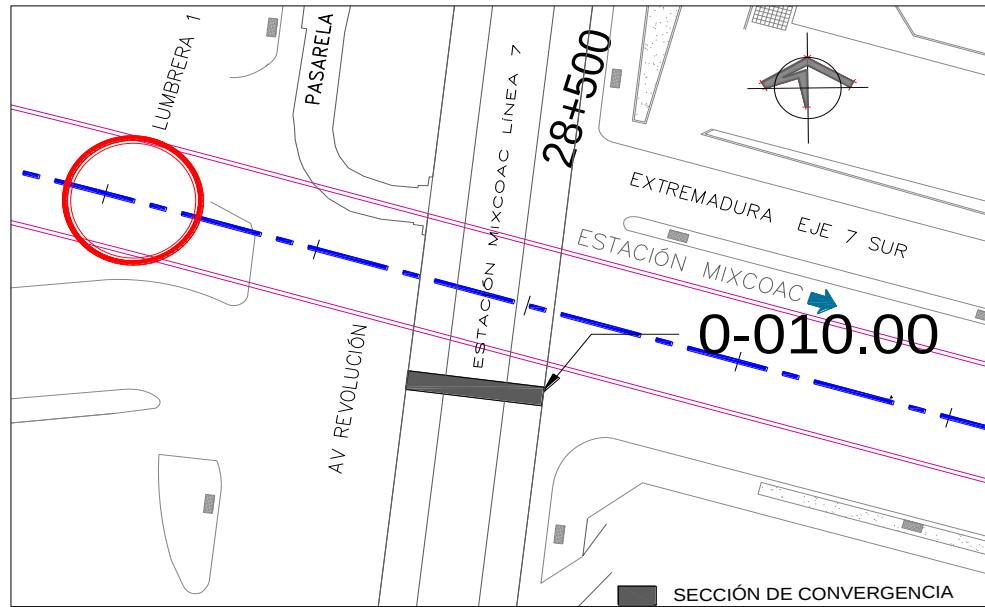


MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL EN EL TUNEL DE LA LINEA 7

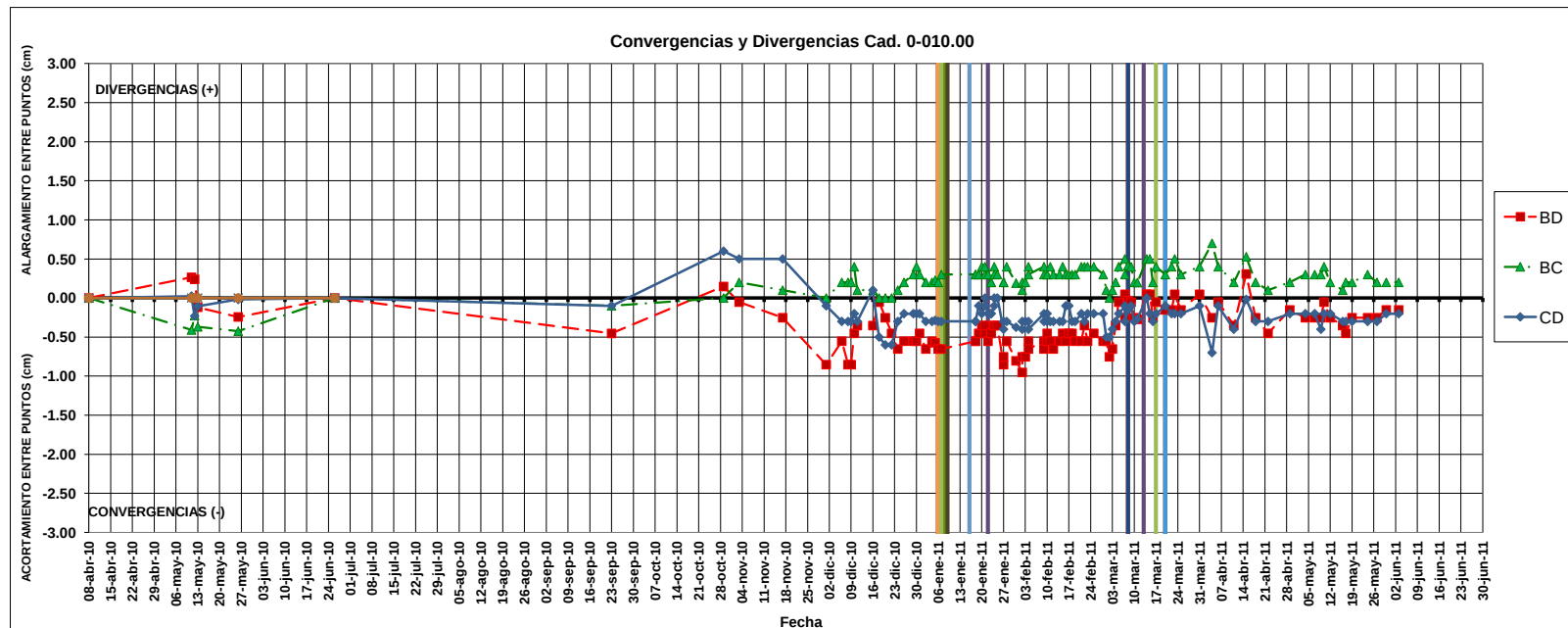
FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 0-010.00

T. CONVERGENCIA:

SIMPLE



EVENTOS IMPORTANTES	
INICIO EXCAVACIÓN CLAVE	
FIN EXCAVACIÓN CLAVE	
INICIO REVESTIMIENTO CLAVE	
FIN REVESTIMIENTO CLAVE	
INICIO EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
FIN EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
INICIO REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
FIN REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
INICIO EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
FIN EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
INICIO REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
FIN REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
INICIO EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
FIN EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
INICIO COLADO LOSA FONDO	
FIN COLADO LOSA FONDO	
SISMO 21/10/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.8 ° A LAS 19:47:25 HRS	



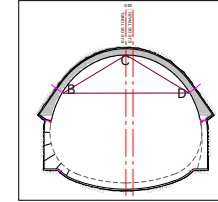
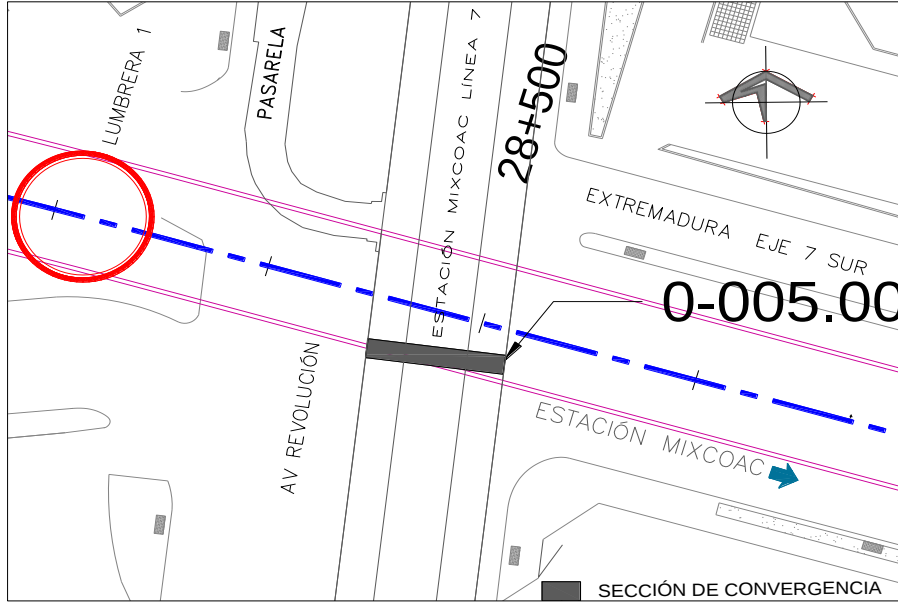
MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL EN EL TUNEL DE LA LÍNEA 7

FRENTE:
CADENAMIENTO:

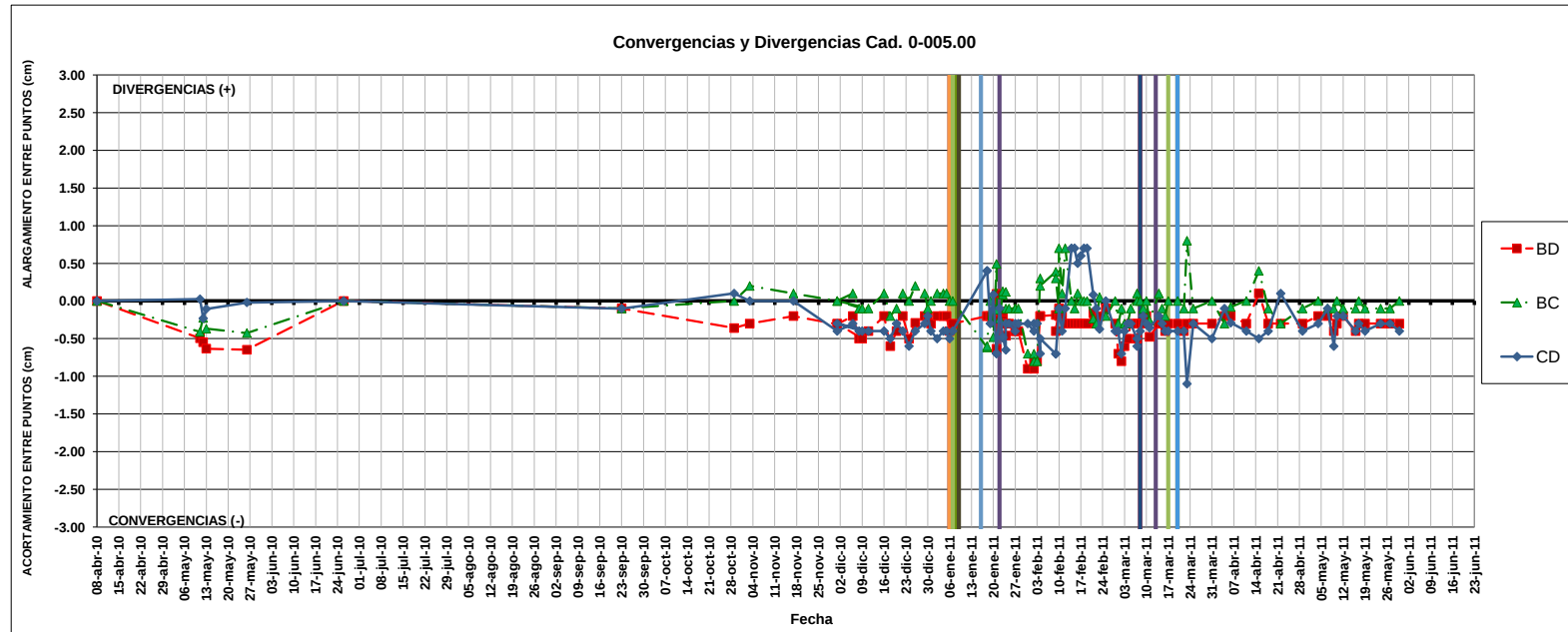
TÚNEL CONVENCIONAL
0-005.00

T. CONVERGENCIA:

SIMPLE



EVENTOS IMPORTANTES	
INICIO EXCAVACIÓN CLAVE	
FIN EXCAVACIÓN CLAVE	
INICIO REVESTIMIENTO CLAVE	
FIN REVESTIMIENTO CLAVE	
INICIO EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
FIN EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
INICIO REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
FIN REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
INICIO EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
FIN EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
INICIO REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
FIN REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
INICIO EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
FIN EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
INICIO COLADO LOSA FONDO	
FIN COLADO LOSA FONDO	
SISMO 21/10/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.8 ° A LAS 19:47:25 HRS	

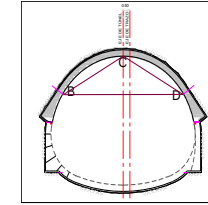
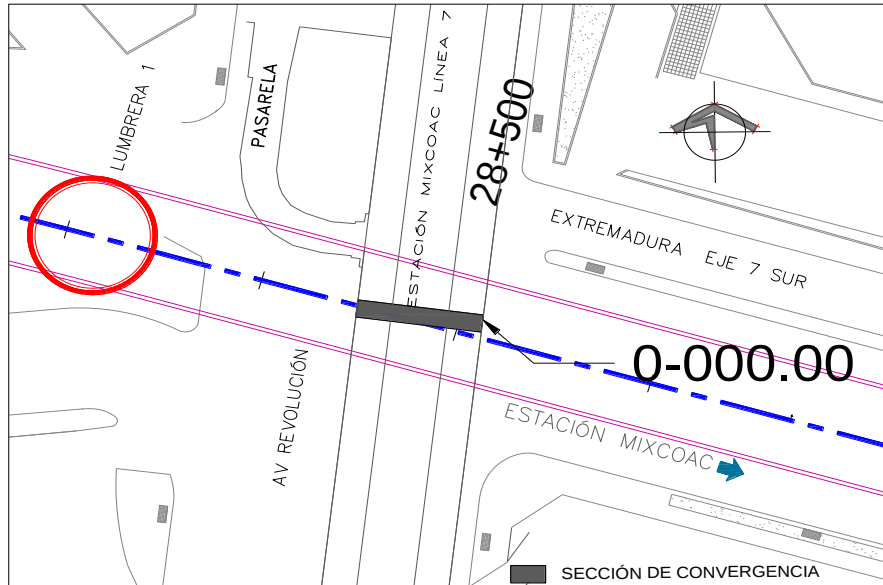


MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL EN EL TUNEL DE LA LINEA 7

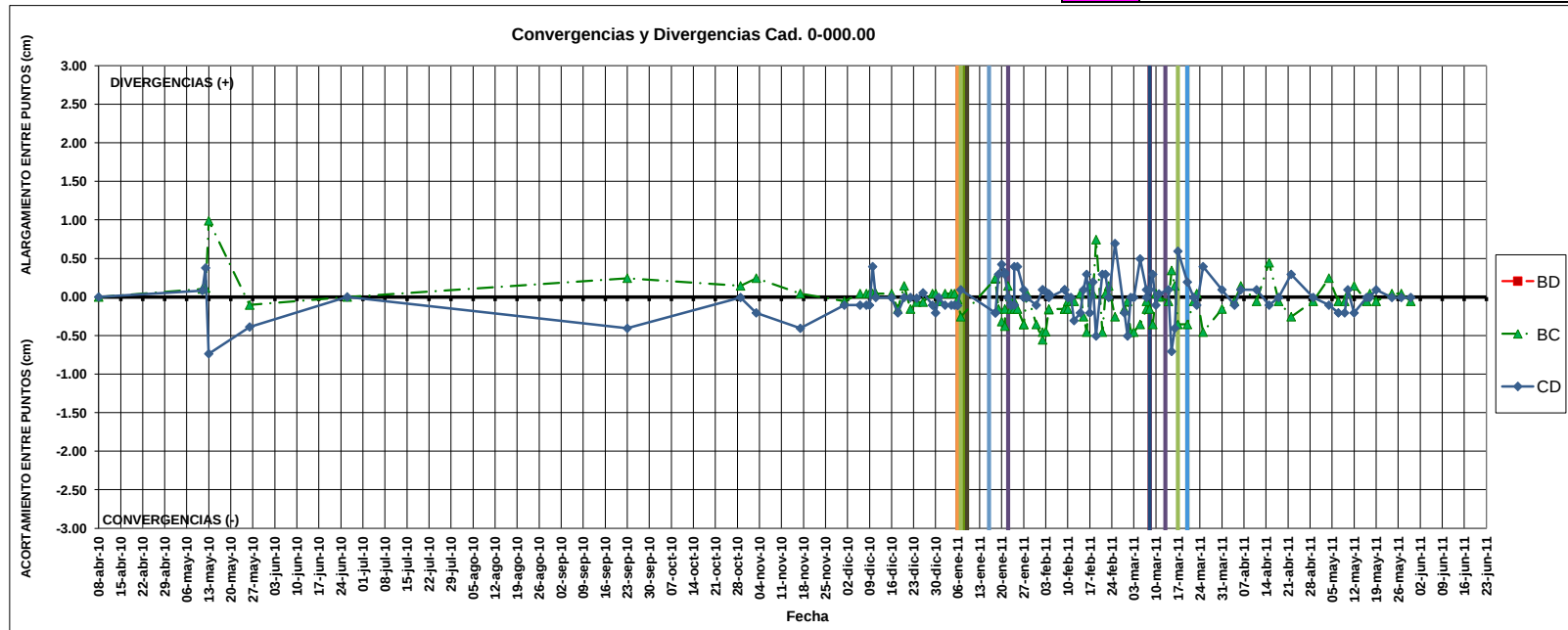
FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 0-000.00

T. CONVERGENCIA:

SIMPLE



EVENTOS IMPORTANTES	
	INICIO EXCAVACIÓN CLAVE
	FIN EXCAVACIÓN CLAVE
	INICIO REVESTIMIENTO CLAVE
	FIN REVESTIMIENTO CLAVE
	INICIO EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE
	FIN EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE
	INICIO REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE
	FIN REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE
	INICIO EXCAVACIÓN ZAPATA SUR
	FIN EXCAVACIÓN ZAPATA SUR
	INICIO REVESTIMIENTO ZAPATA SUR
	FIN REVESTIMIENTO ZAPATA SUR
	INICIO EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO
	FIN EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO
	INICIO COLADO LOSA FONDO
	FIN COLADO LOSA FONDO
	SISMO 21/10/10 DE 6.5° A LAS 12:53:11 HRS
	SISMO 07/04/11 DE 6.7° A LAS 08:11:22 HRS
	SISMO 10/12/11 DE 6.8° A LAS 19:47:25 HRS

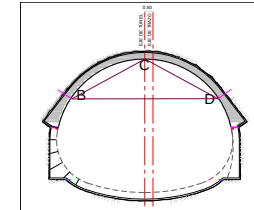
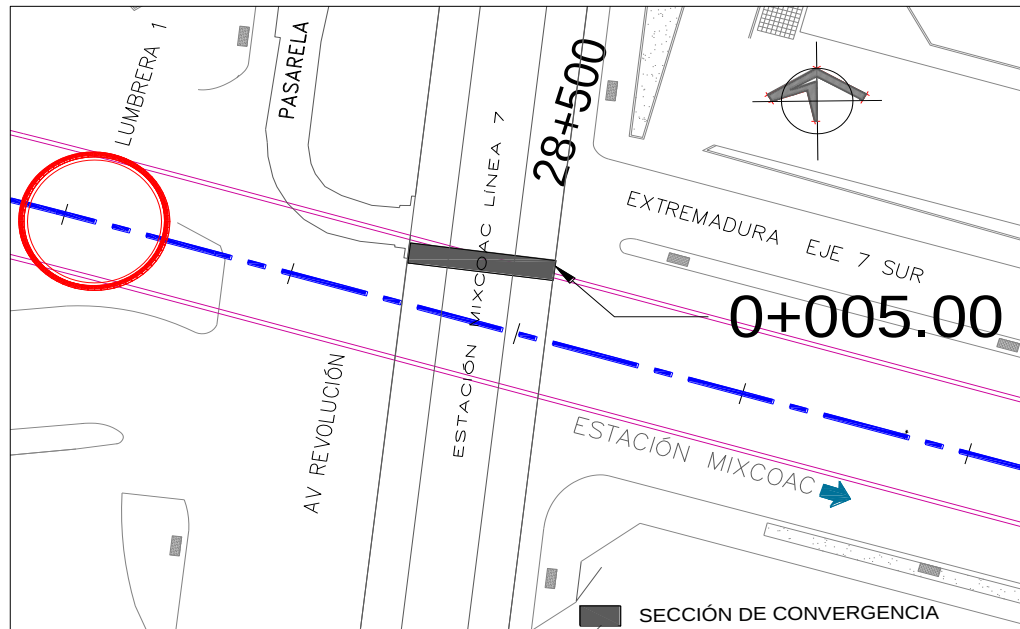


MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL EN EL TUNEL DE LA LINEA 7

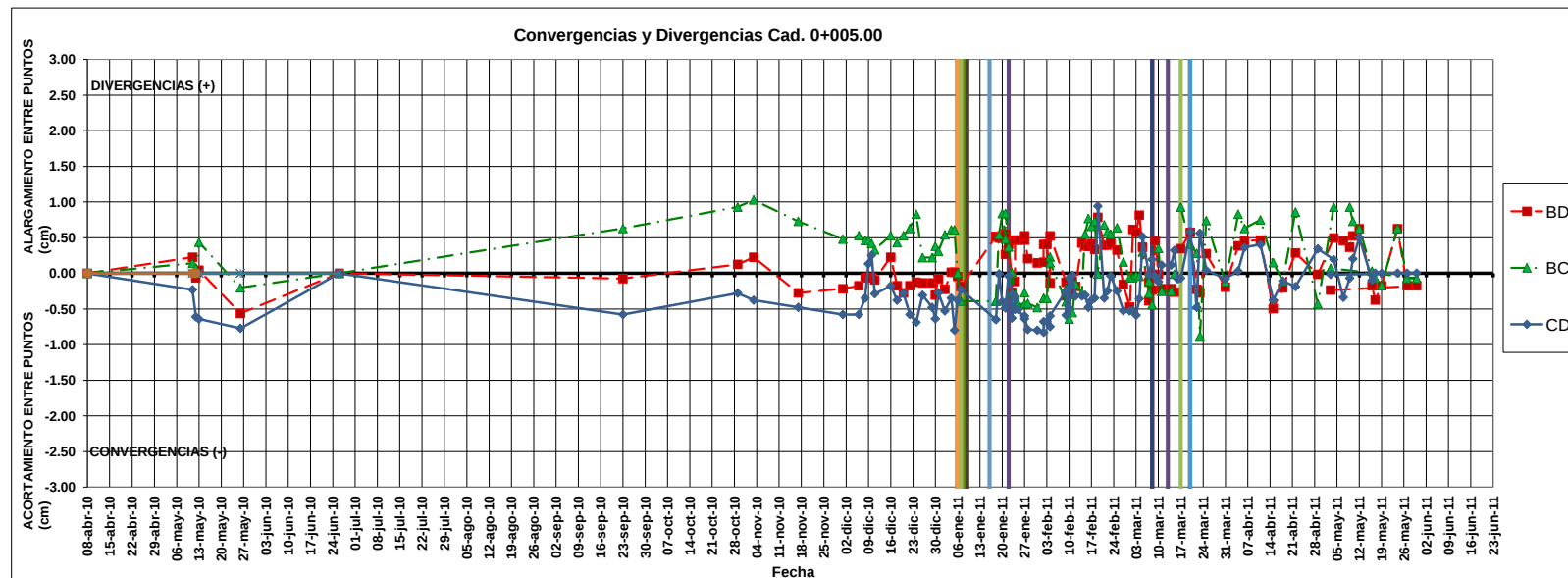
FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 0+005.00

T. CONVERGENCIA:

SIMPLE



EVENTOS IMPORTANTES	
INICIO EXCAVACIÓN CLAVE	
FIN EXCAVACIÓN CLAVE	
INICIO REVESTIMIENTO CLAVE	
FIN REVESTIMIENTO CLAVE	
INICIO EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
FIN EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
INICIO REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
FIN REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
INICIO EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
FIN EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
INICIO REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
FIN REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
INICIO EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
FIN EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
INICIO COLADO LOSA FONDO	
FIN COLADO LOSA FONDO	
SISMO 21/10/10 DE 6.5° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.8° A LAS 19:47:25 HRS	



FUENTE: <http://icacc61.icacc.com.mx/instrumenta/home01.aspx>

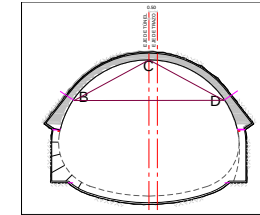
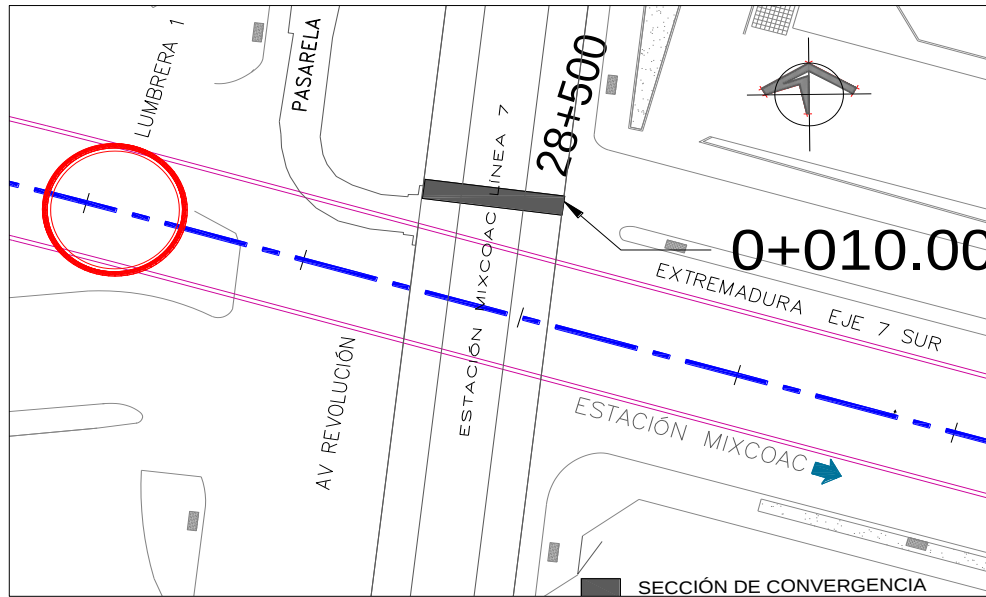
ANEXO F-4

MEDICIONES PARA CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS DE TÚNEL CONVENCIONAL EN EL TUNEL DE LA LINEA 7

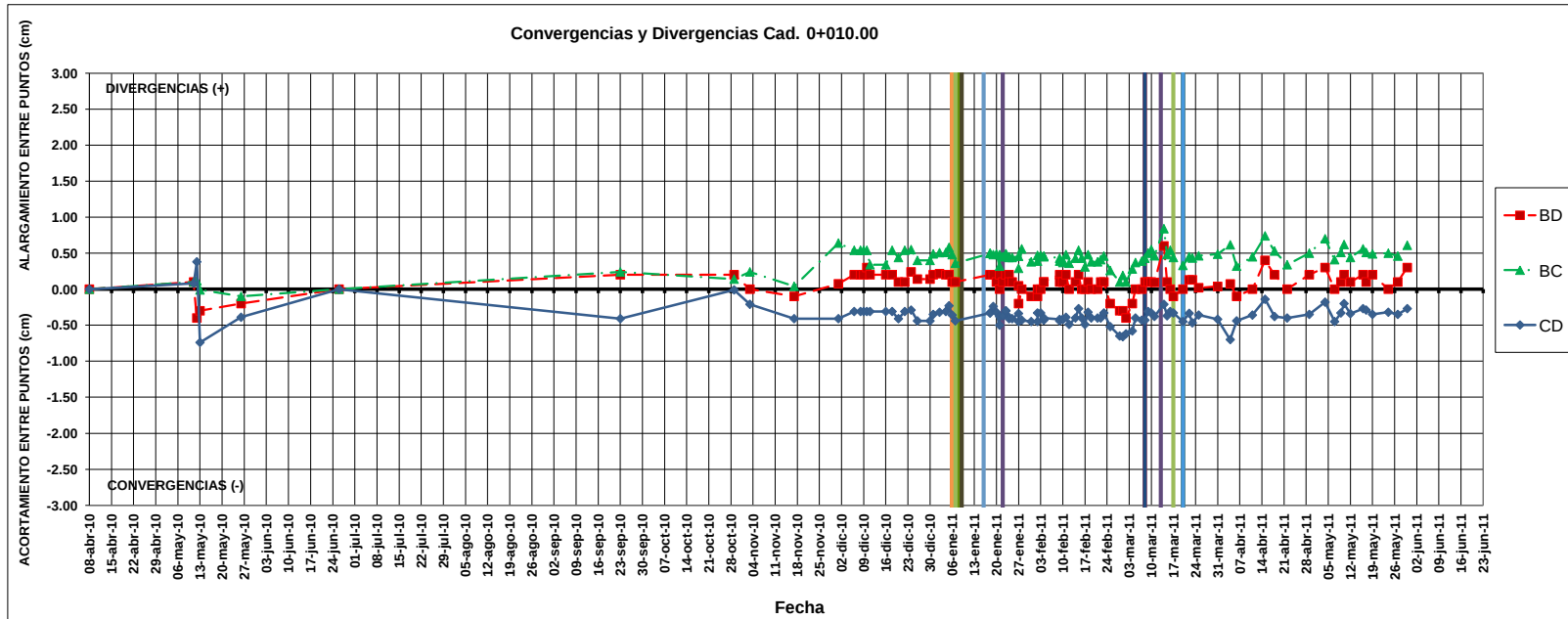
FRENTE: TÚNEL CONVENCIONAL
CADENAMIENTO: 0+010.00

T. CONVERGENCIA:

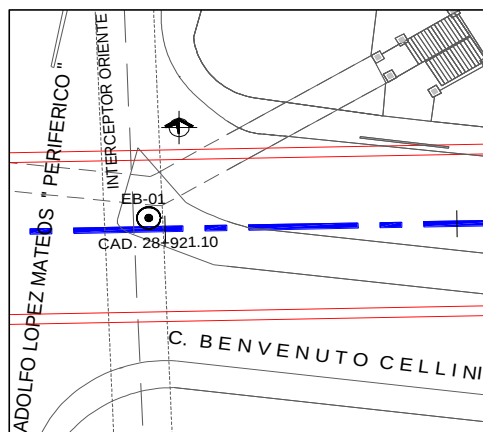
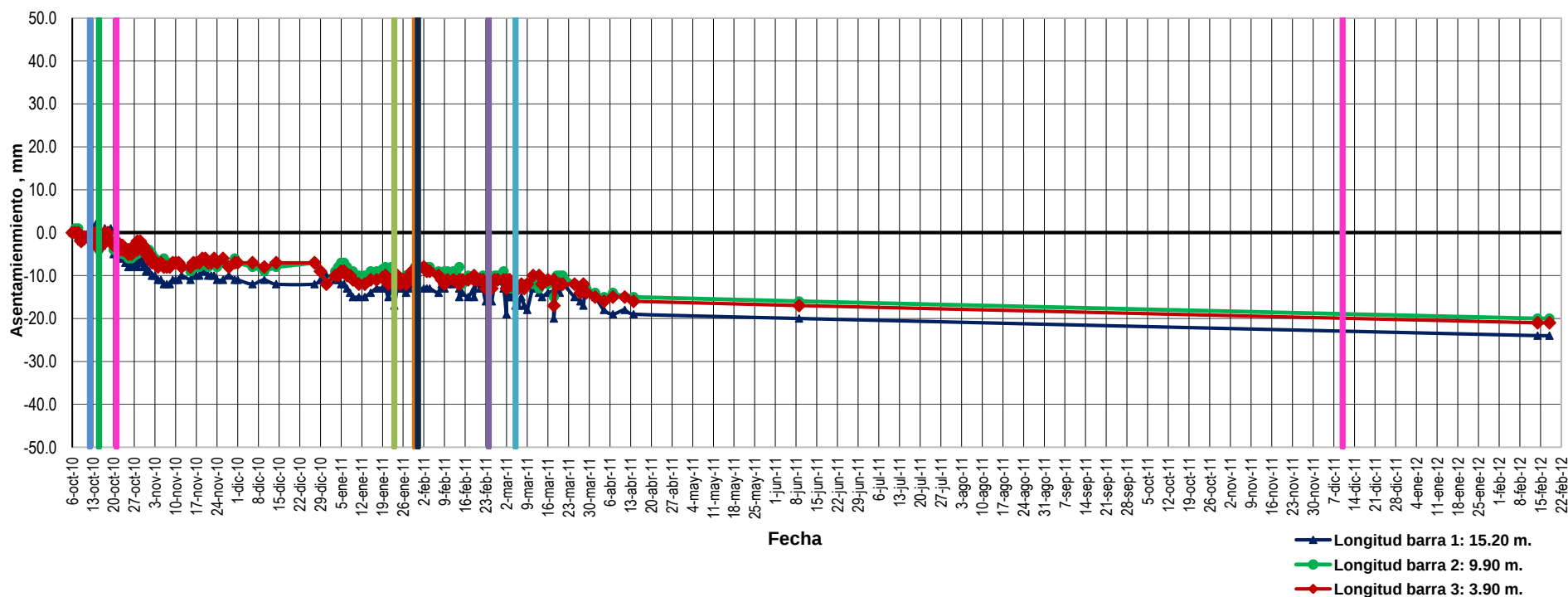
SIMPLE



EVENTOS IMPORTANTES	
INICIO EXCAVACIÓN CLAVE	
FIN EXCAVACIÓN CLAVE	
INICIO REVESTIMIENTO CLAVE	
FIN REVESTIMIENTO CLAVE	
INICIO EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
FIN EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE	
INICIO REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
FIN REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE	
INICIO EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
FIN EXCAVACIÓN ZAPATA SUR	
INICIO REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
FIN REVESTIMIENTO ZAPATA SUR	
INICIO EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
FIN EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO	
INICIO COLADO LOSA FONDO	
FIN COLADO LOSA FONDO	
SISMO 21/10/10 DE 6.5° A LAS 12:53:11 HRS	
SISMO 07/04/11 DE 6.7° A LAS 08:11:22 HRS	
SISMO 10/12/11 DE 6.8° A LAS 19:47:25 HRS	



ASENTAMIENTO DEL TERRENO MEDIDO CON EXTENSÓMETRO DE BARRAS

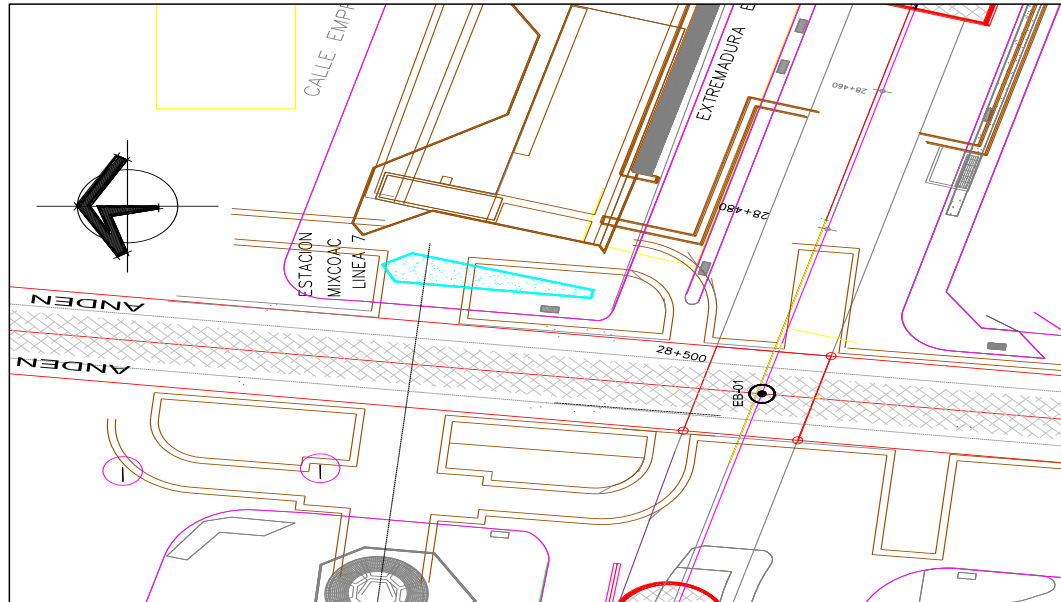


EVENTOS IMPORTANTES

EXCAVACIÓN CLAVE
REVESTIMIENTO CLAVE
EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE
REVESTIMIENTO ZAPATA NORT
EXCAVACIÓN ZAPATA SUR
REVESTIMIENTO ZAPATA SUR
EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO
COLADO LOSA DE FONDO
SISMO 6.5° RICHTER (21-oct-10)
SISMO 6.7° RICHTER (07-abr-11)
SISMO 6.5° RICHTER (10-dic-10)

FUENTE: <http://icacc61.icacc.com.mx/instrumenta/home01.aspx>

 CONSORCIO LINEA 12	INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTACIÓN	
	COLA MIXCOAC EXTENSÓMETRO DE 3 BARRAS	
		Fecha de Inst.: 05/10/2010



EVENTOS IMPORTANTES

	EXCAVACIÓN CLAVE
	REVESTIMIENTO CLAVE
	EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE
	REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE
	EXCAVACIÓN ZAPATA SUR
	REVESTIMIENTO ZAPATA SUR
	EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO
	COLADO LOSA DE FONDO
	SISMO 21/12/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS
	SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS
	SISMO 10/12/11 DE 6.5 ° A LAS 19:47:25 HRS



INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS
DEPARTAMENTO DE INSTRUMENTACIÓN



Extensómetro de Barras en Estación Mixcoac

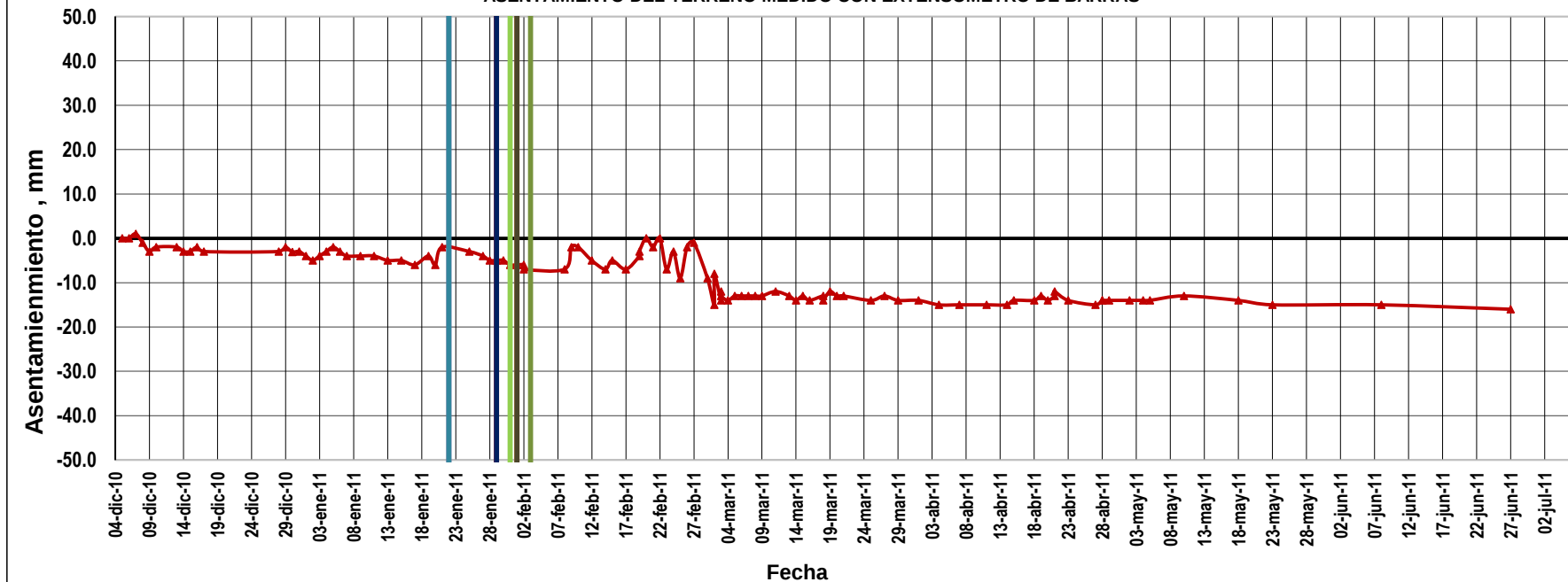
Cad.: 28+509.210

Prof. Inst.

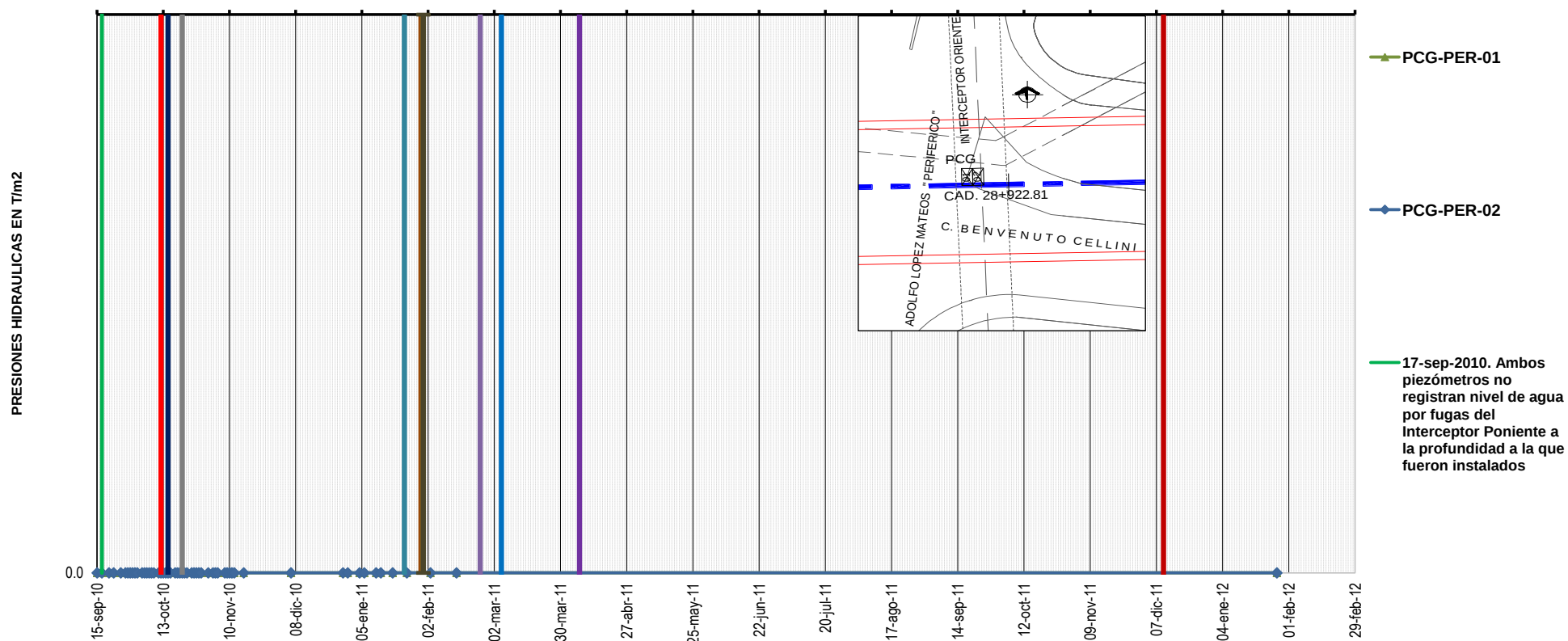
7.30 m

Fecha de Inst.: 03-dic-10

ASENTAMIENTO DEL TERRENO MEDIDO CON EXTENSÓMETRO DE BARRAS



PRESIÓN PIEZOMÉTRICA CONTRA TIEMPO



EVENTOS IMPORTANTES	
	EXCAVACIÓN CLAVE
	REVESTIMIENTO CLAVE
	EXCAVACIÓN ZAPATA NORTE
	REVESTIMIENTO ZAPATA NORTE
	EXCAVACIÓN ZAPATA SUR
	REVESTIMIENTO ZAPATA SUR
	EXCAVACIÓN LOSA DE FONDO
	COLADO LOSA DE FONDO
	SISMO 21/12/10 DE 6.5 ° A LAS 12:53:11 HRS
	SISMO 07/04/11 DE 6.7 ° A LAS 08:11:22 HRS
	SISMO 10/12/11 DE 6.5 ° A LAS 19:47:25 HRS

PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN:

PCG-CC-01= 10.0 m

PCG-CC-02= 14.5 m

	CONSORCIO LINEA 12 DEL METRO	
	INSTRUMENTACION	
	PERIFÉRICO	
PIEZOMETROS ABIERTOS TIPO CASAGRANDE		
CAD. 28+922.81		FECHA DE INSTALACIÓN: 15-Sep-201

FUENTE: <http://icacc61.icacc.com.mx/instrumenta/home01.aspx>

ANEXO H

BIBLIOGRAFÍA.

- Tamez, Enrique. (1988). MANUAL DE DISEÑO GEOTECNICO Vol. 1 y 2. México, Comité de Vialidad y Transporte Urbano (COVITUR).
- Buendía, Jose Luis, et al. (1997). 30 AÑOS DE HACER EL METRO. 1ª edición, México, Espejo de Obsidiana.
- Fichas técnicas, www.rstinstruments.com.
- Fichas técnicas, www.geokon.com.
- www.slopeindicator.com
- <http://icacc61.icacc.com.mx/instrumenta/home01.aspx>
- [http://www.coiim.es/enla/Industria/primeros tuneles.htm](http://www.coiim.es/enla/Industria/primeros_tuneles.htm)