

## **CAPÍTULO III**

# **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA MEDICIÓN DE DEFORMACIONES**

### *III.1 Descripción general*

En el capítulo I se describió el principio básico de funcionamiento de los diversos dispositivos utilizados en el monitoreo del tramo Mexicaltzingo-Lumbrera de acceso, mientras que en el capítulo II se presentaron los registros gráficos obtenidos de cada dispositivo ya mencionado, en este capítulo III se interpretan y analizan los diferentes parámetros graficados que se generaron durante el monitoreo del túnel excavado con escudo tipo EPB y del monitoreo del terreno aledaño a dicho túnel.

Los datos y/o valores graficados que serán puntos de interés serán los valores obtenidos como máximos, mínimos, puntos de inflexión y zonas de estabilidad. Aun cuando en algunos casos se cuenta con registros de diversas fechas de monitoreo, para el caso de las deformaciones relativas del anillo se tomará la última lectura proporcionada (sistema de convergencias), mientras que en el caso de los dispositivos monitoreados con topografía (extensómetro de barras y referencias superficiales), se examinará el historial de las lecturas recabadas.

Durante este análisis e interpretación se mostrarán nuevamente algunas gráficas de las utilizadas en el capítulo II, pero sin entrar a detalle en ellas, ya que solo se destacarán aquellos puntos que sean de interés para el presente capítulo, además, las observaciones que se hagan estarán apoyadas solo en los registros de los datos presentados, ya que en el último capítulo de esta tesis se presentaran las conclusiones y recomendaciones pertinentes generadas de dicha observación y análisis.

### *III.2 Celdas de presión*

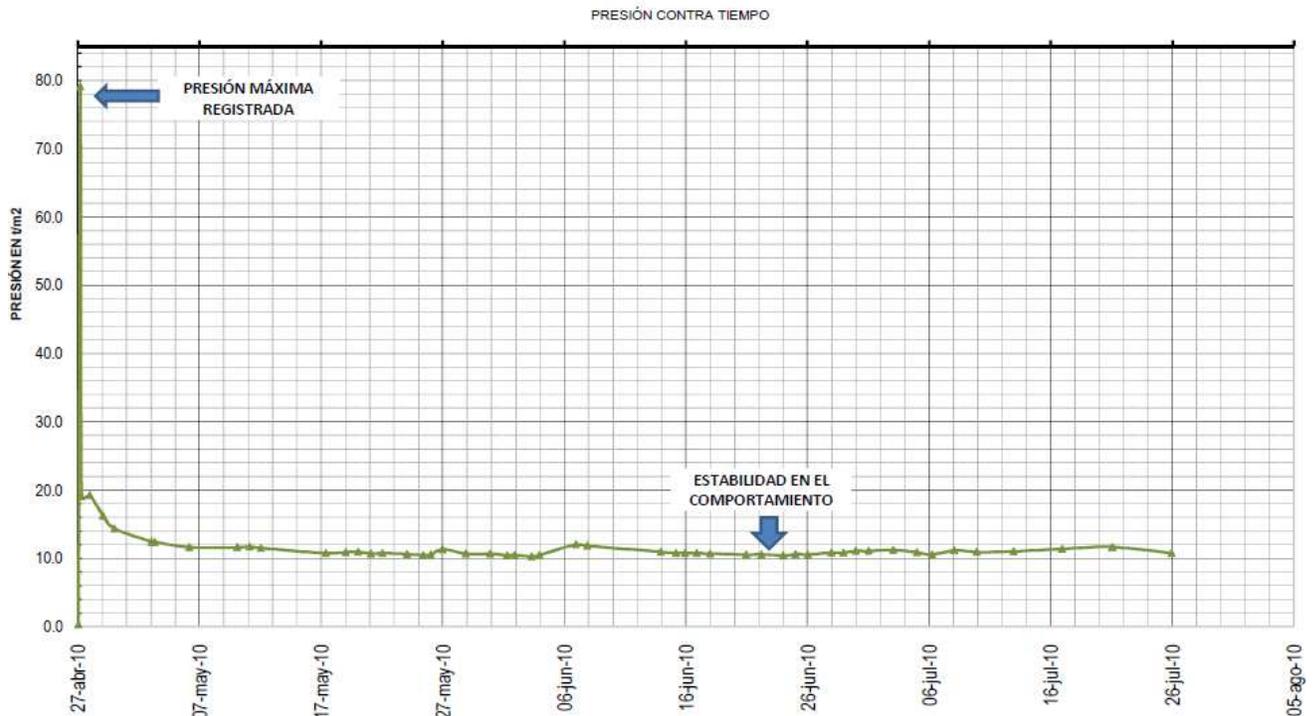
Las celdas de presión colocadas en el anillo 188 pasaron por tres etapas principales, estas son:

1. Instalación de celdas en el interior del concreto en la planta de dovelas.
2. Colocación de las dovelas por el escudo tipo EPB.
3. Disposición final de las dovelas en el túnel.

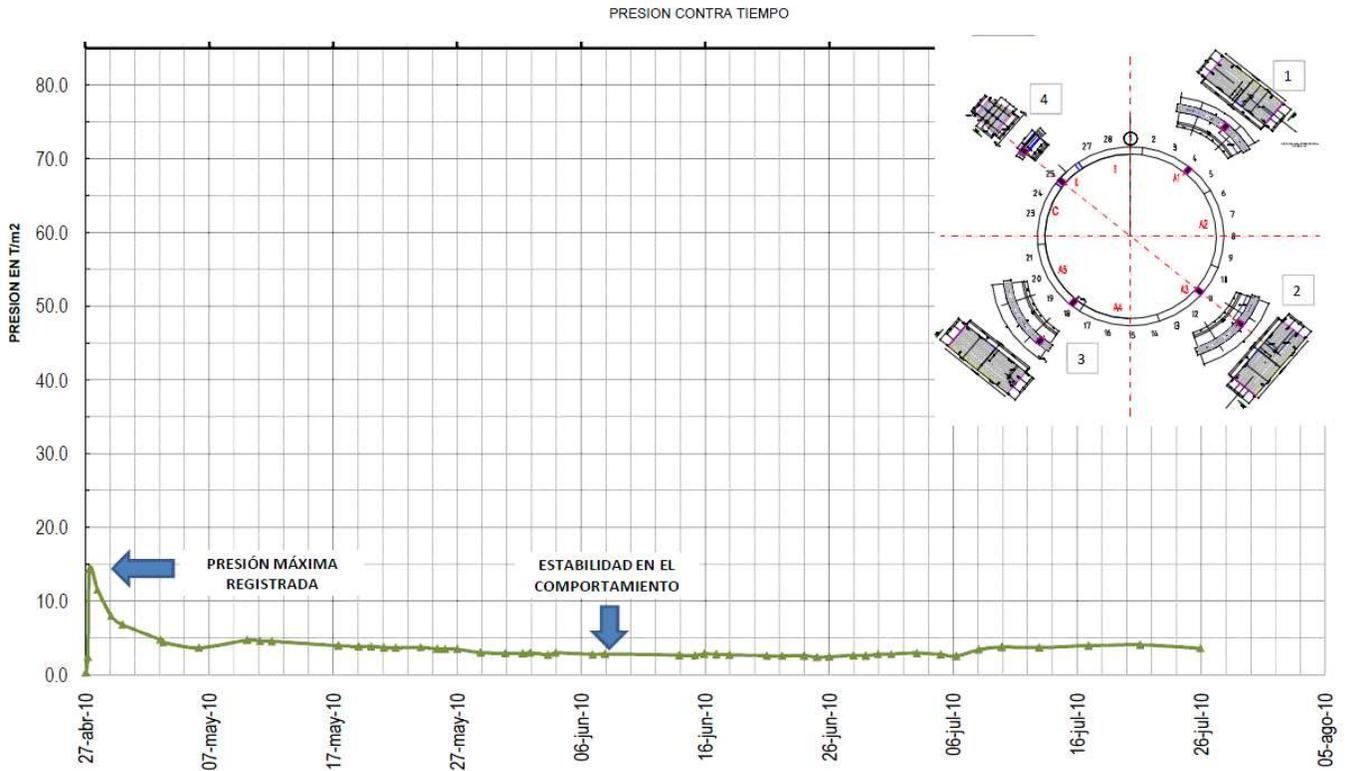
Durante estas tres etapas se puede observar que el comportamiento de las gráficas también registra este procedimiento. La lectura cero es la correspondiente a la colocación de las celdas en el interior de las dovelas, donde no estaban sometidas a ningún esfuerzo ni del escudo, ni del suelo, este punto se puede observar en la grafica y corresponde al 27 de abril de 2010, día de la instalación.

La segunda etapa se muestra en la gráfica con la anotación de "Presión Máxima Registrada", esta presión se registra el mismo día de la instalación y es generada por la inyección de lodos bentoníticos dentro del faldón del escudo en el proceso de colocación del anillo de dovelas. En este punto las celdas registran presiones provocadas por el proceso de instalación y estas presiones no corresponden a las del terreno, ya que el anillo cuando es colocado pasa un lapso dentro del faldón del escudo, y es cuando se coloca el anillo siguiente cuando el anillo que estaba en el faldón es liberado.

La etapa numero tres representa el contacto del anillo instrumentado con celdas de presión y el suelo que es aledaño al mismo; se puede ver de la gráfica que la presión disminuye drásticamente cuando al anillo sale del faldón y empieza a tener interacción con el terreno. Las graficas de las 4 celdas se estabilizan en un lapso menor a dos semanas. Para el caso de las cuatro gráficas de las celdas, tres de ellas alcanzan la estabilidad a la presión aproximada de 10 t/m<sup>2</sup>, mientras que la grafica que corresponde a la clave del túnel registra una presión máxima de 15 t/m<sup>2</sup> y una presión en la que se estabiliza de 3.5 t/m<sup>2</sup> aproximadamente.



Las dovelas A1, A3, A5, muestran un comportamiento similar, por lo que la gráfica mostrada arriba solo se presenta como un ejemplo, en el capítulo anterior se observa a detalle cada gráfica.



La gráfica muestra el comportamiento registrado en la dovela K del anillo.

### III.3 Sistema de convergencias y divergencias automatizado

Cabe señalar que las medidas de convergencia únicamente miden la variación de la longitud que hay entre dos puntos. En consecuencia, los desplazamientos que se pueden determinar entre estos dos puntos son desplazamientos relativos.

La medición de la deformación relativa del anillo 28 muestra los siguientes datos:

	19/04/2010		27/05/2010	
	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)
TM-1	14.085	-0.908	19.539	-2.065
TM-2	15.479	-0.748	19.782	-2.037
TM-3	1.850	-22.720	3.323	-28.611
TM-4	0.017	-15.937	0.900	-19.637
TM-5	-5.526	-10.390	-5.941	-12.781
TM-6	-13.157	-8.349	-15.916	10.109

De los cuales se observa que el valor máximo registrado es:

X= 19.782  
Y= -28.611

Estas deformaciones corresponden a la clave del túnel, mientras que para la mínima deformación se tiene:

$$X= 0.900$$
$$Y= -2.037$$

El valor de X corresponde a la dovela K, esta deformación se toma de la lectura del 27 de mayo y varía en un 1.88% con respecto a la registrada el 19 de abril, mientras que el valor de Y se registra en la dovela A1 ubicada en la clave del túnel.

La medición de la deformación relativa del anillo 103 muestra los siguientes datos:

De los cuales se observa que el valor máximo registrado es:

	19/04/2010		04/06/2010	
	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)
TM-1	2.623	0.479	11.467	1.813
TM-2	8.595	-1.616	24.648	-2.825
TM-3	4.502	-3.788	14.593	-8.172
TM-4	2.77	-6.551	10.628	-14.521
TM-5	2.73	-7.591	10.557	-16.410
TM-6	-4.35	-0.492	-5.178	-0.587

$$X= 24.648$$
$$Y= -16.410$$

Siendo que para la deformación en X se registra en la dovela B, mientras que para Y tenemos el registro en la dovela A5.

Para la mínima deformación tenemos los siguientes valores.

$$X= -5.178$$
$$Y= -0.587$$

Ubicadas en la dovela A4 que a su vez se localiza en uno de los hastiales del túnel.

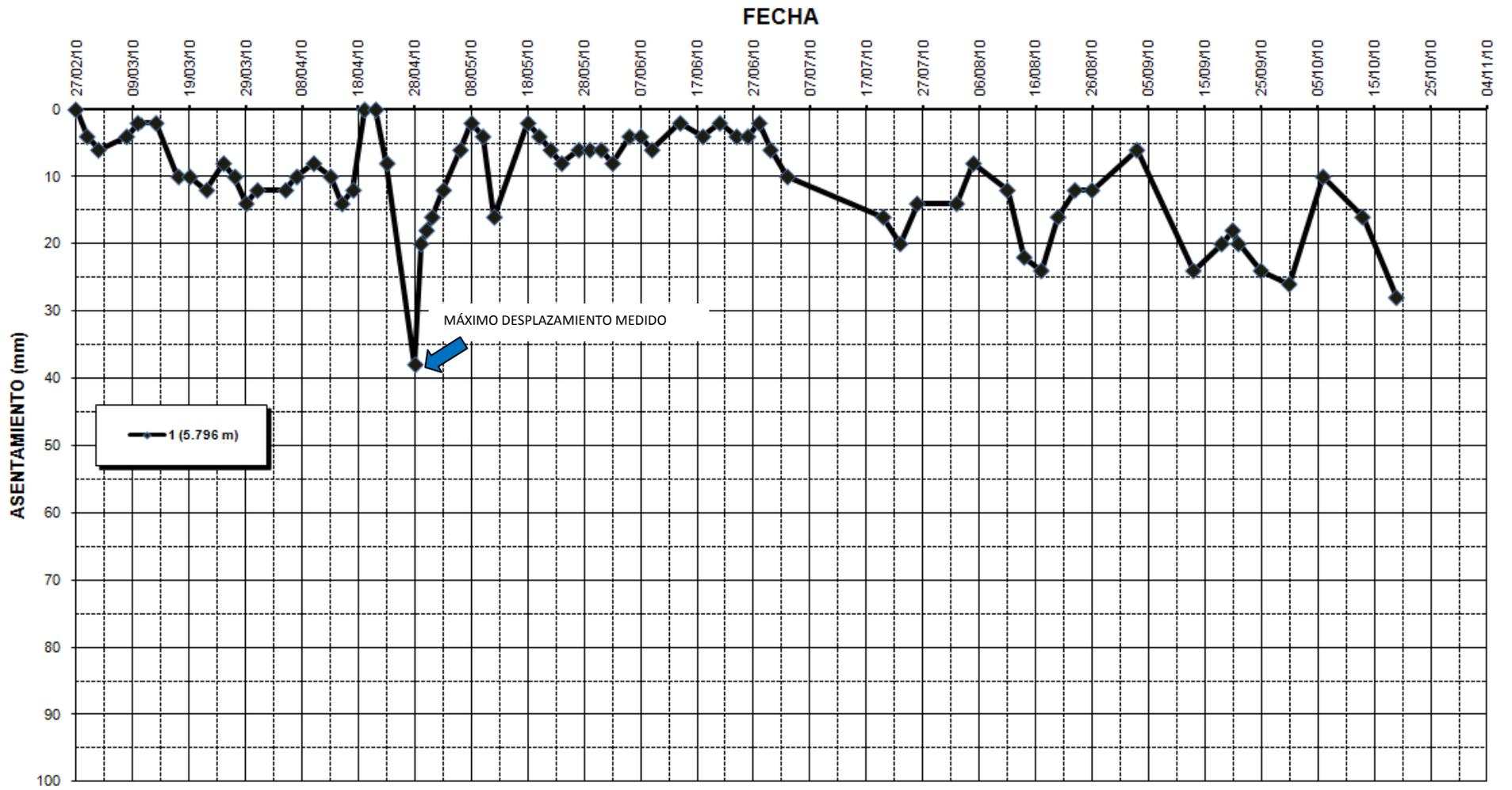
### *III.4 Extensómetro Magnético con tubería para inclinómetro*

Las arañas magnéticas colocadas en la tubería registraron los movimientos verticales del terreno, siendo el mayor desplazamiento de 39mm en la araña más somera y este a su vez se da mientras el escudo pasa por el punto instrumentado; de las gráficas presentadas en el capítulo II se observa que todas ellas parten del valor cero como punto de origen y de allí se desplazan de forma ascendente o descendente dependiendo del avance de la excavación.

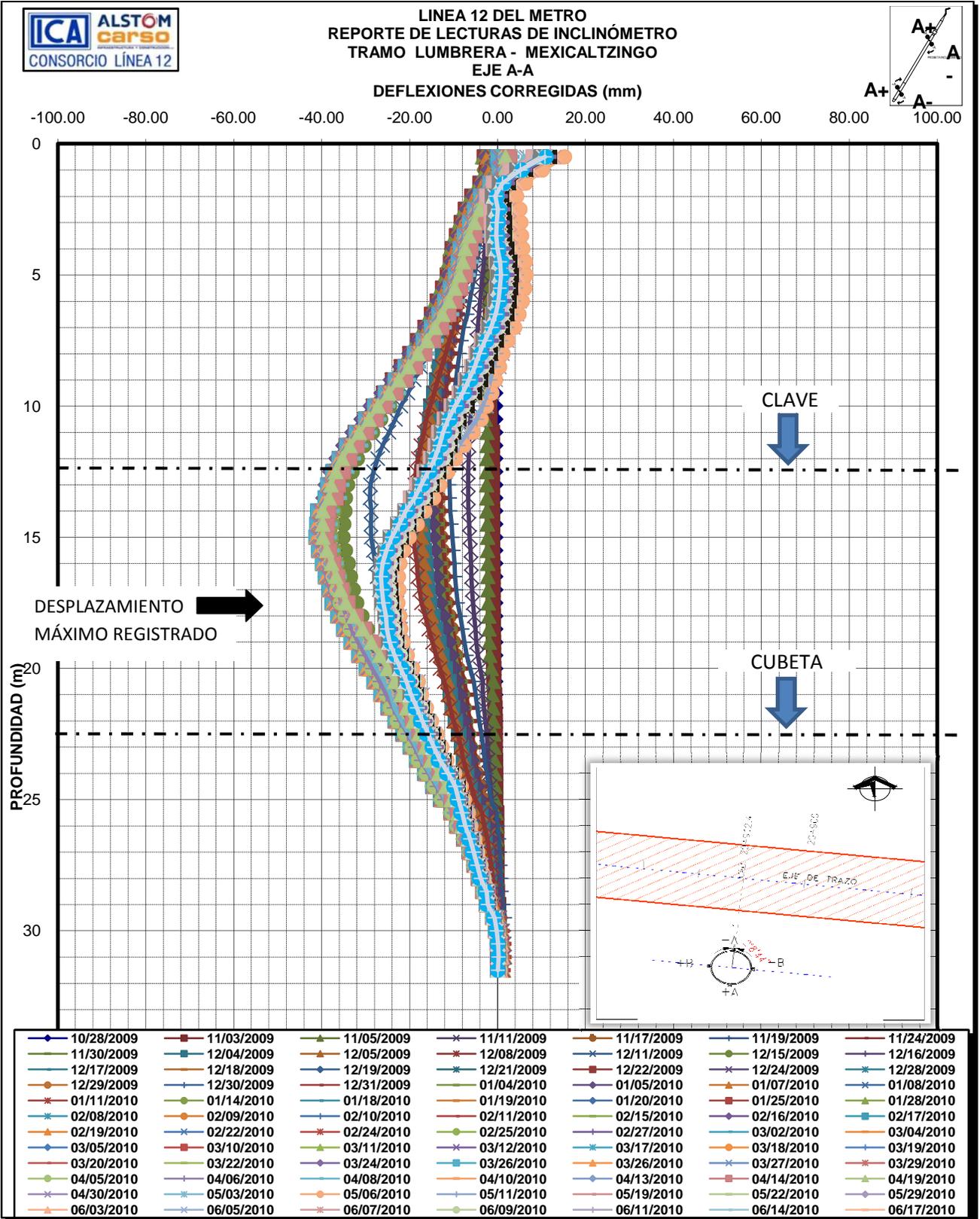
Las arañas son un dispositivo que se monitorea de forma manual a través de una sonda magnética, por lo cual los errores pueden estar presentes debido a factores humanos, la instalación adecuada también influye en el comportamiento de los dispositivos, sin embargo, la variedad de registros generados por las arañas magnéticas permite tener diversos datos para ser comparados entre sí y detectar alguna anomalía generada por factores distintos al movimiento del terreno.

Como ya se dijo en el capítulo I, el barreno en el que se instalan las arañas magnéticas y el inclinómetro es el mismo, y mientras que las arañas registran el desplazamiento vertical, el inclinómetro registra la deformación horizontal, esta deformación se acentúa al paso del escudo. Tenemos de la gráfica que el valor máximo de deflexión medido está en -44mm a los 15 metros de profundidad, notamos también en la gráfica que esta deformación se da en el túnel, ligeramente por encima de los hastiales, y vemos que en la parte superior del inclinómetro las deformaciones son mayores comparadas con aquellas a mayor profundidad.

Se puede observar también que después del paso del escudo por el punto instrumentado el terreno empieza a recuperarse de forma paulatina, sin embargo, aunque el historial de lecturas no nos muestra un rango mayor de monitoreo, se sabe por la experiencia en los monitoreos de otros inclinómetros que estos no se recuperen de manera total a través del tiempo, esto debido a que la flexión en la tubería tipo ABS seguirá sometida a los esfuerzos que el suelo le proporcionará al túnel durante toda su vida útil.



En la gráfica se muestra la araña más somera que es la que registra el máximo desplazamiento medido al paso del escudo.

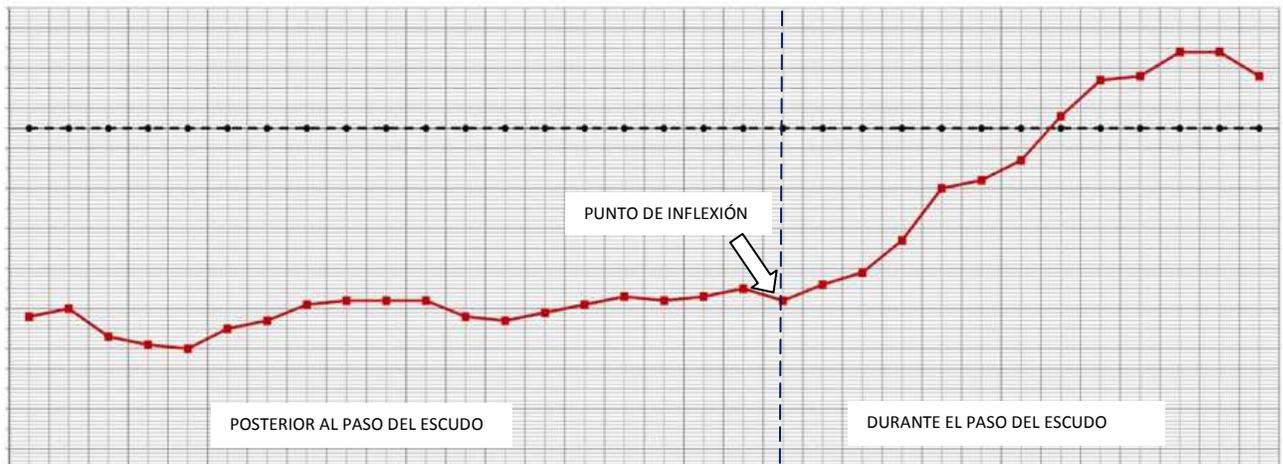


El inclinómetro muestra una máxima deformación al paso del escudo y una recuperación paulatina de la deflexión posterior al paso del escudo tipo EPB.

### III.5 Referencias superficiales sobre el eje del trazo

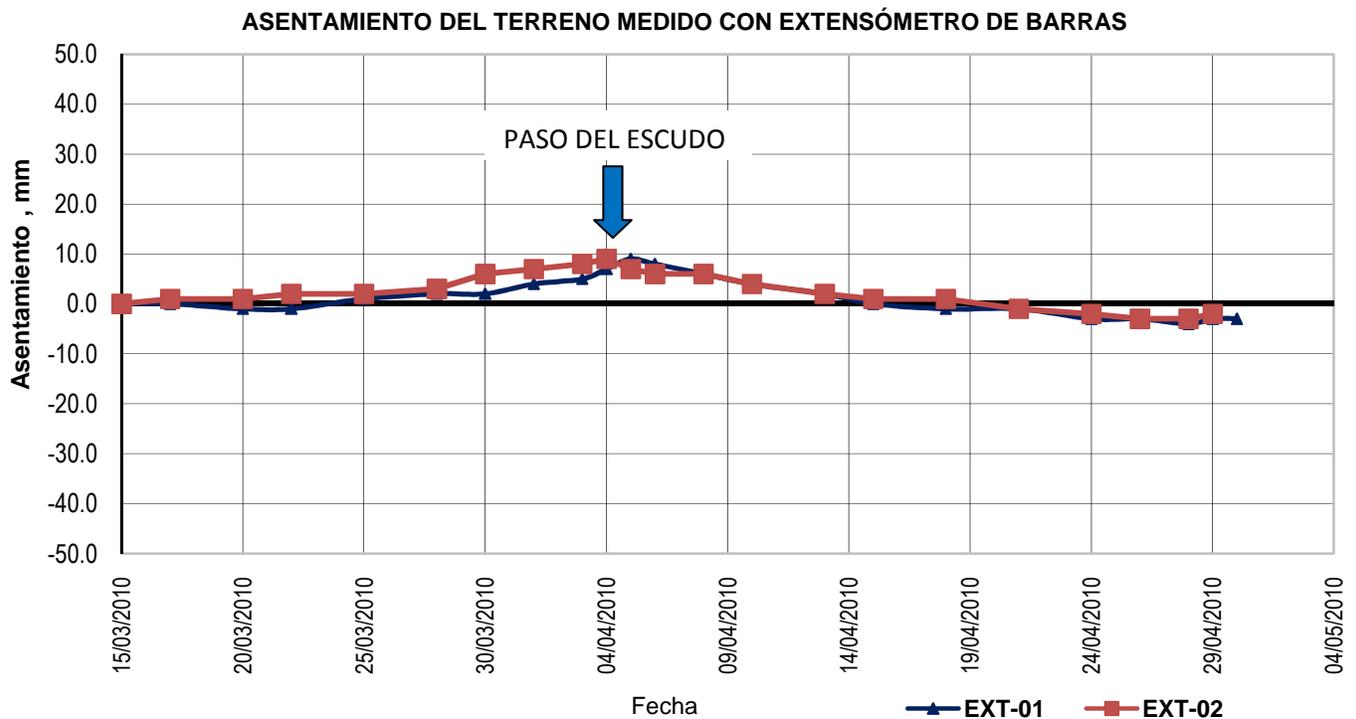
Las gráficas presentadas en el capítulo anterior muestran una clara tendencia de expansión del terreno al paso del escudo, esto como consecuencia de los empujes que el terreno recibe al ir construyendo el túnel, mientras que la segunda gráfica mostrada muestra asentamientos en el terreno una vez que el escudo pasó por allí. Los valores máximos medidos en expansión son del orden de 0.020 cm al paso del escudo, mientras que los asentamientos máximos registrados son del orden de -0.055 cm una vez que el escudo ha pasado en su totalidad por la zona instrumentada con referencias superficiales.

En la siguiente gráfica se muestra de manera esquemática cual es el comportamiento registrado en una sección del túnel correspondiente al tramo en estudio, en la gráfica se ve claramente una zona de asentamientos (posterior al paso del escudo) y una zona de expansiones (durante el paso del escudo), las referencias al eje de trazo por tanto, registran por medio de levantamientos topográficos este comportamiento y permiten valorar si existe riesgo alguno por los esfuerzos que el suelo está recibiendo y que como consecuencia se manifiestan en expansiones y/o asentamientos.



### III.6 Extensómetro de Barras

En la siguiente gráfica se muestran juntas las dos barras, en ellas podemos ver que el comportamiento entre sí es muy similar, además, el eje de las ordenadas ha sido nombrado por el departamento de instrumentación de la línea 12 como asentamiento, sin embargo, para la presente tesis llamaremos “expansiones” al asentamiento con signo positivo, mientras que el asentamiento con signo negativo será llamado simplemente “asentamiento”.



El extensómetro de barras muestra una tendencia muy parecida al de las referencias superficiales en el sentido de que muestra expansiones durante el paso del escudo y registra asentamientos después del paso de la tuneladora, sin embargo, a diferencia de las referencias superficiales, el extensómetro de barras se ubica a diferentes profundidades, la barra 1 está a 15.20m de profundidad y coincide con el hastial del túnel, mientras que la barra 2 se encuentra a 9.90m y coincide con la clave del túnel.

Debido a que las barras están más próximas al paso escudo tipo EPB, estas pueden registrar mayores deformaciones en el suelo, para ese caso tenemos que la máxima expansión que se registra es al paso del escudo con un valor medido de 9mm y que corresponde a la barra 2, mientras que el máximo asentamiento registrado es de -4mm en ambas barras y este muestra una estabilidad posterior al paso del escudo por el punto instrumentado con el extensómetro de barras.