

CAPÍTULO II

MEDICIÓN DE DEFORMACIONES

II.1 Generalidades de las gráficas

En el capítulo anterior se describió el principio de funcionamiento de los dispositivos instalados para medir las deformaciones del túnel excavado con escudo y del comportamiento del terreno aledaño al mismo. El propósito de este capítulo es presentar las evidencias gráficas de los registros y de la información procesada de los distintos dispositivos de monitoreo en el tramo de la lumbrera de entrada hasta la estación Mexicaltzingo; el análisis y comparaciones, así como las conclusiones derivadas de dichos registros y datos se harán en capítulos posteriores.

La frecuencia de toma de lecturas está programada para hacerse dos veces a la semana, sin embargo, se podrá observar en las gráficas que las fechas en que se actualiza la información no necesariamente corresponde a esta programación, esto debido a que en todo momento se depende del avance de la obra para poder llevar a cabo el monitoreo, sin embargo, la cantidad de datos obtenidos proveen una vasta fuente de información acerca del comportamiento de las zonas instrumentadas.

Es difícil sensibilizarnos a simple vista con los datos obtenidos por las mediciones, esto debido a que la cantidad de datos numéricos es mucha y está dada de manera abstracta, sin embargo, el graficar estos datos con la ayuda de hojas de cálculo programadas para dicho fin nos provee una manera de visualizar el comportamiento de los registros en función del tiempo, y a su vez nos permite mirar los valores máximos y mínimos, la tendencia de algún valor e inclusive nos puede advertir de alguna anomalía en el monitoreo de los instrumentos

Las gráficas presentadas en este capítulo cuentan con una explicación breve de los datos que están graficados en ellas. A pesar de que se cuenta con instrumentos de monitoreo con tecnología de punta y con mucha pericia en la toma de las lecturas de los instrumentos instalados, pueden existir errores en algún registro, errores que en su caso son milimétricos y que en la parte de las comparaciones y conclusiones serán discutidos a fondo.

Toda la información graficada que se expone en este capítulo está disponible en la página del departamento de instrumentación del consorcio de la línea 12 del metro, y esta información es propiedad de la empresa ICA.

II.2 Celdas de presión

Las gráficas que a continuación se presentan son del anillo 188 instrumentado, localizado en el cadenamiento 20+641.600. En la planta de dovelas con ayuda de los técnicos que las construyen se colocaron cuatro celdas de presión en cuatro dovelas distintas, la designación de las dovelas con celda de presión es la siguiente:

Para la celda 1 la dovela A1, la celda 2 corresponde a la dovela A3, la celda 3 es la dovela A5 y la celda número 4 está ubicada en la clave K, en la figura 15 se muestra de forma esquemática el anillo 188 instrumentado.

Como se puede observar son cuatro las celdas de presión distribuidas en el anillo de manera ortogonal, por lo que se generaron 4 gráficas distintas designadas como Anillo 188-1, Anillo 188-2, Anillo 188-3 y Anillo 188-4. En las gráficas el eje de las abscisas corresponde a las fechas del monitoreo, mientras que en las ordenadas se localiza la presión del suelo ejercida sobre las celdas en toneladas sobre metro cuadrado. Se muestra una imagen correspondiente a la hoja de cálculo utilizada para graficar los datos medidos en las celdas.

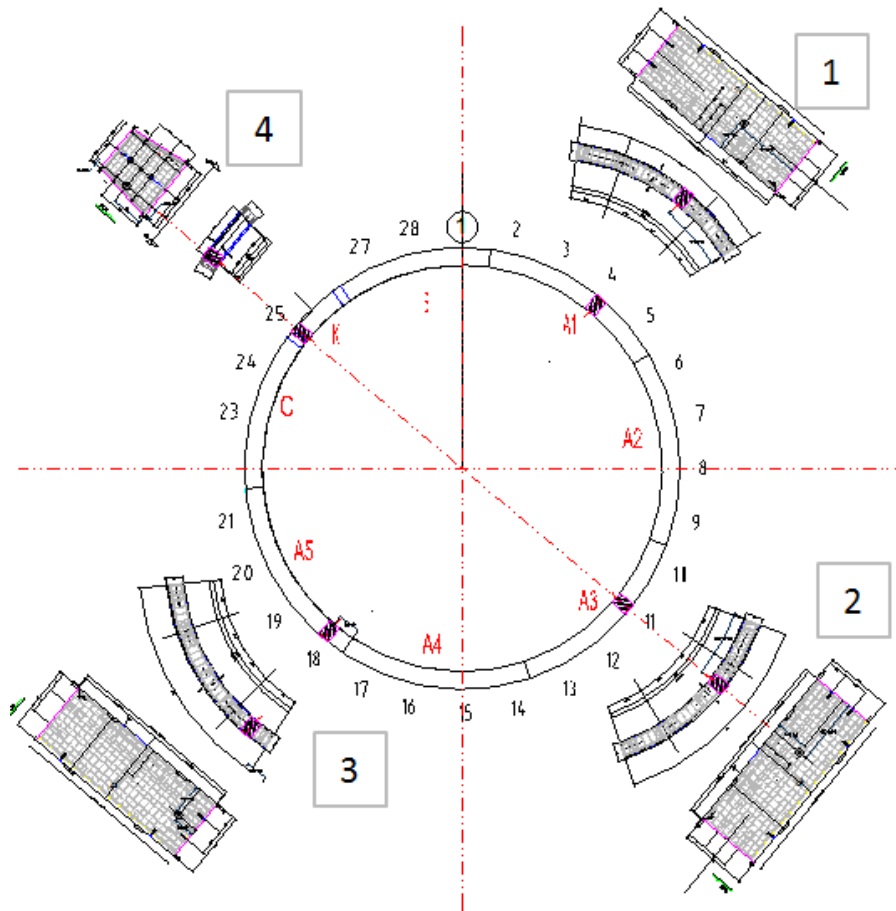


Fig. 15 Esquema de dovelas instrumentadas con celdas de presión.

La ecuación programada en la hoja de cálculo es:

$$P(KPa) = C.F. * (Li - Lc) + [0.1 (Bi - Bc)]$$

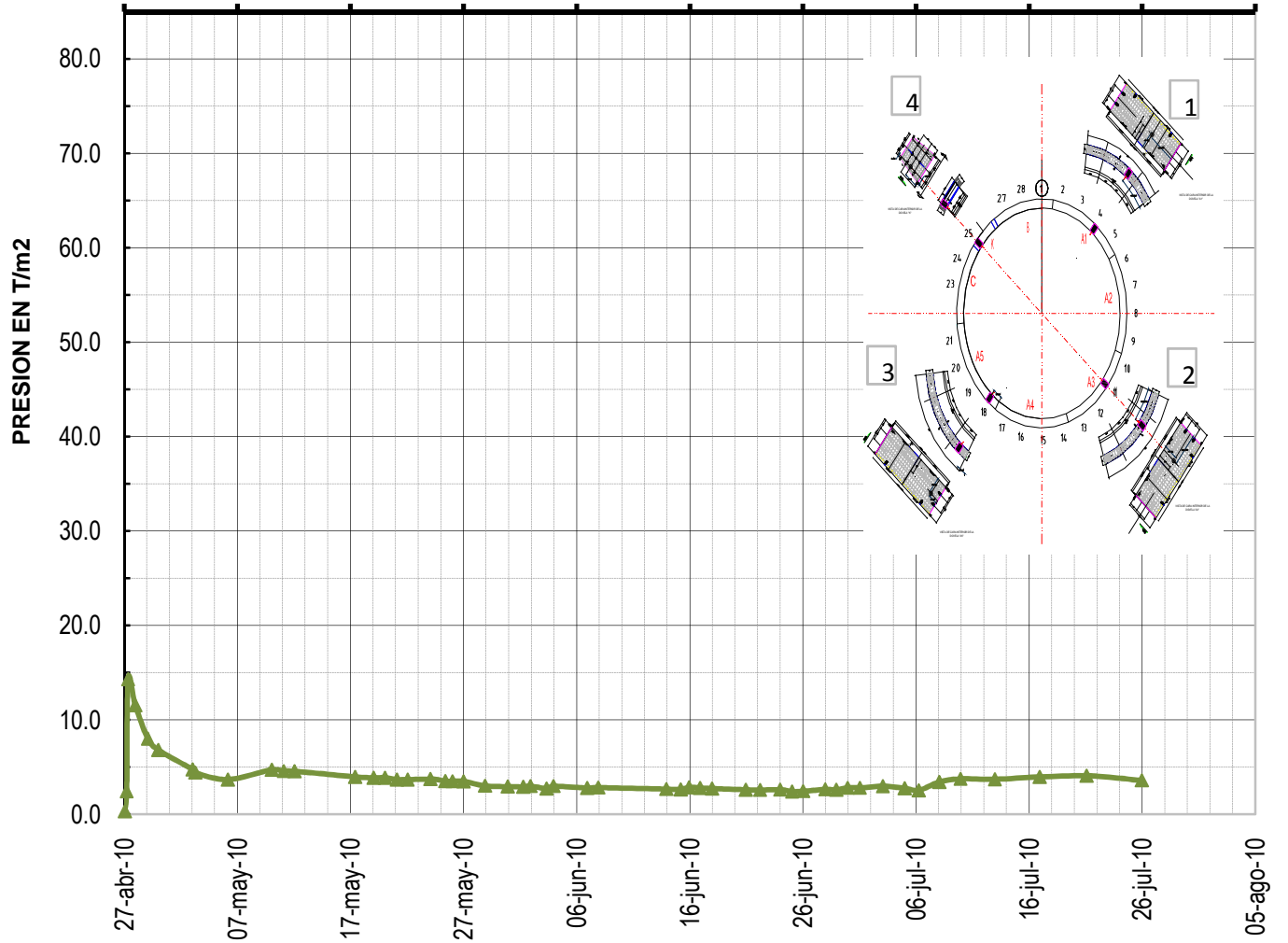
Li= Lectura inicial

PARÁMETROS OBTENIDOS DE LA HOJA DE CALIBRACIÓN (Ajuste Lineal):				
BC =	1,023.90	mbar	mbar (Presión barométrica en fábrica)	
Bi =	1,027.00	mbar	(Presión barométrica en fábrica, despues de calibracion)	
Ti =	17.70	°C	(Temperatura en fábrica)	(Temperatura inicial °C) 23.50
Lc =	9,535.00	(B units)	(Lectura del instrumento en fábrica)	(Lectura Cero) 9,661.70
C.F.=	0.1860	kPa/Bunits	(FACTOR DE CALIBRACION)	

No.	Fecha	LECTURA		PROMEDIO POR DIA			Presión (Ajuste Polinomial)		Observaciones
		Lc (Bunits)	T (°c)	FECHA	Lc (Bunits)	T (°c)	P (kPa)	P (t/m2)	
1	27/04/2010 10:16	9,661.60	23.50						
2	27/04/2010 10:16	9,661.90	23.50						
3	27/04/2010 10:17	9,661.60	23.50	27/04/2010 10:16	9,661.70	23.50	0.00	0.00	Lectura cero
4	27/04/2010 11:50	9,644.40	23.30						
5	27/04/2010 11:51	9,644.40	23.40						
6	27/04/2010 11:51	9,644.50	23.40	27/04/2010 11:51	9,644.43	23.37	3.21	0.33	
7	27/04/2010 15:23	9,553.40	24.20						
8	27/04/2010 15:23	9,524.80	24.30						
9	27/04/2010 15:24	9,522.40	24.30	27/04/2010 15:23	9,533.53	24.27	23.84	2.43	
10	27/04/2010 18:33	8,907.30	25.80						
11	27/04/2010 18:34	8,906.40	25.90						
12	27/04/2010 18:35	8,906.30	25.90	27/04/2010 18:34	8,906.67	25.87	140.41	14.31	
13	28/04/2010 10:13	9,051.10	34.00						
14	28/04/2010 10:14	9,053.90	34.10						
15	28/04/2010 10:15	9,052.40	34.10	28/04/2010 10:14	9,052.47	34.07	113.30	11.55	
16	29/04/2010 12:28	9,238.80	36.80						
17	29/04/2010 12:29	9,240.00	36.80						
18	29/04/2010 12:30	9,240.00	36.80	29/04/2010 12:29	9,239.60	36.80	78.50	8.00	
19	30/04/2010 11:00	9,302.70	37.70						
20	30/04/2010 11:01	9,303.00	37.70						
21	30/04/2010 11:02	9,302.70	37.70	30/04/2010 11:01	9,302.80	37.70	66.74	6.80	
22	03/05/2010 11:50	9,411.00	33.20						
23	03/05/2010 11:51	9,411.00	33.30						
24	03/05/2010 11:52	9,410.80	33.30	03/05/2010 11:51	9,410.93	33.27	46.64	4.75	
25	03/05/2010 17:43	9,428.50	32.80						
26	03/05/2010 17:44	9,429.10	32.90						
27	03/05/2010 17:45	9,429.20	32.90	03/05/2010 17:44	9,428.93	32.87	43.29	4.41	
28	06/05/2010 14:25	9,467.90	30.80						
29	06/05/2010 14:26	9,467.90	30.90						
30	06/05/2010 14:27	9,467.60	30.90	06/05/2010 14:26	9,467.80	30.87	36.06	3.68	
31	10/05/2010 11:59	9,413.00	28.70						
32	10/05/2010 12:00	9,412.90	28.80						
33	10/05/2010 12:01	9,413.00	28.80	10/05/2010 12:00	9,412.97	28.77	46.26	4.72	
34	11/05/2010 12:52	9,420.20	28.40						
35	11/05/2010 12:53	9,419.90	28.50						
36	11/05/2010 12:54	9,420.90	28.50	11/05/2010 12:53	9,420.33	28.47	44.89	4.58	
37	12/05/2010 11:47	9,421.60	28.30						
38	12/05/2010 11:48	9,421.60	28.30						
39	12/05/2010 11:49	9,421.70	28.30	12/05/2010 11:48	9,421.63	28.30	44.65	4.55	
40	17/05/2010 20:26	9,452.70	27.30						
41	17/05/2010 20:27	9,453.60	27.30						
42	17/05/2010 20:28	9,453.40	27.30	17/05/2010 20:27	9,453.23	27.30	38.77	3.95	
43	19/05/2010 11:55	9,457.70	27.00						
44	19/05/2010 11:56	9,457.70	27.00						
45	19/05/2010 11:57	9,457.50	27.00	19/05/2010 11:56	9,457.63	27.00	37.95	3.87	
46	20/05/2010 12:02	9,457.20	27.00						
47	20/05/2010 12:03	9,457.50	27.00						
48	20/05/2010 12:04	9,457.30	27.00	20/05/2010 12:03	9,457.33	27.00	38.01	3.87	

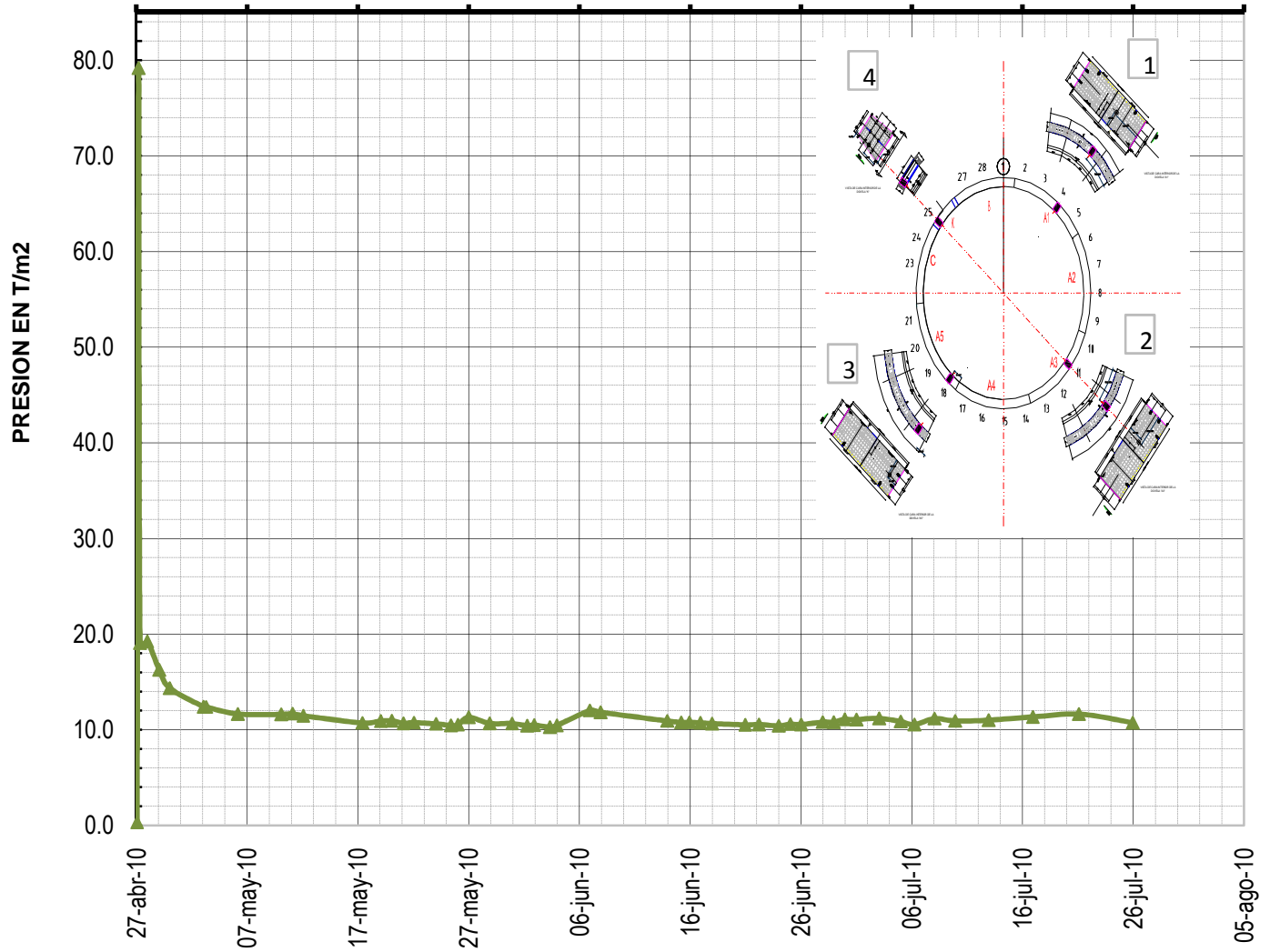
Imagen 1 Datos procesados para obtener presiones.

PRESION CONTRA TIEMPO



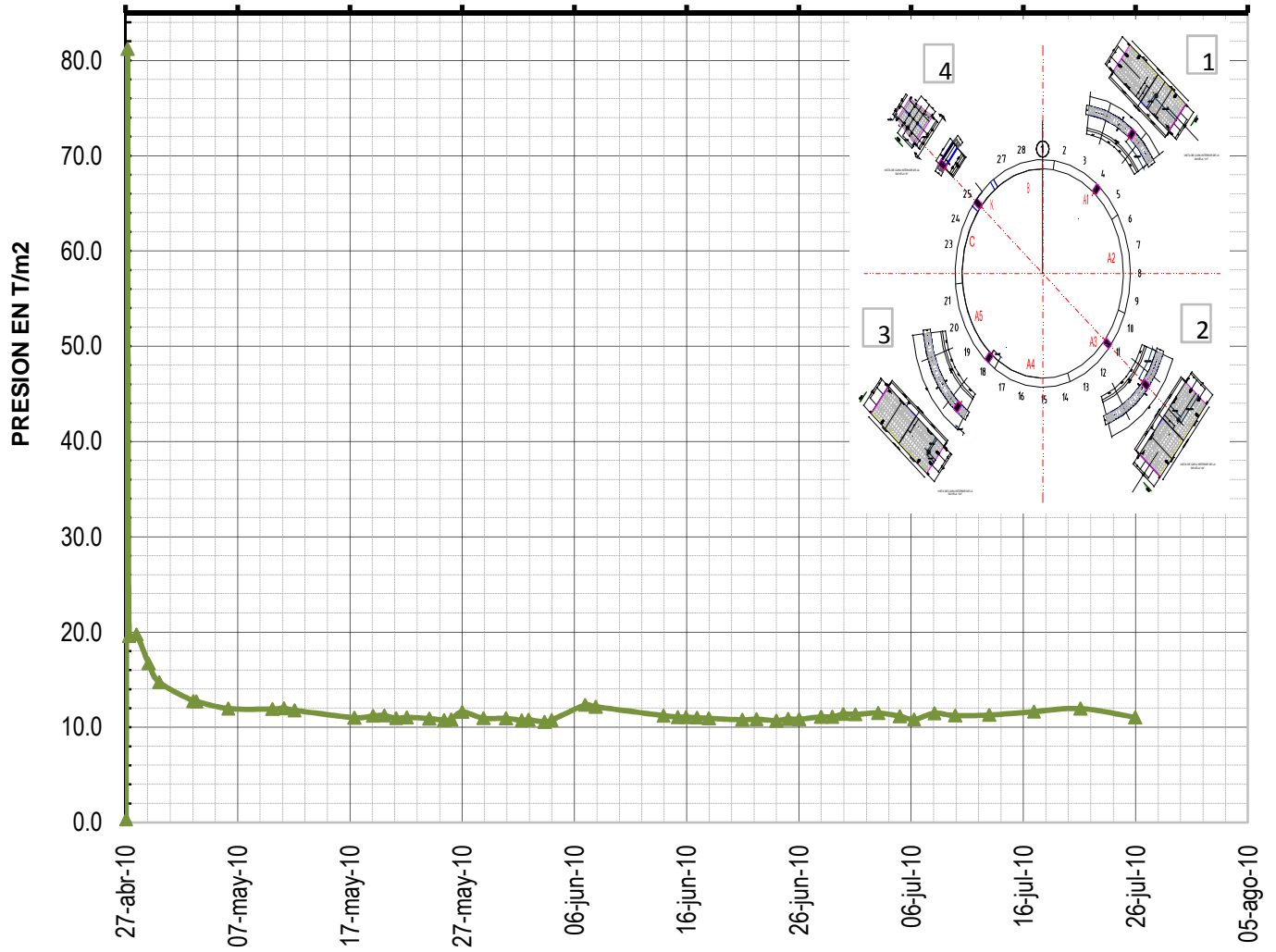
Gráfica 1 Anillo 188, dovela A-1

PRESION CONTRA TIEMPO



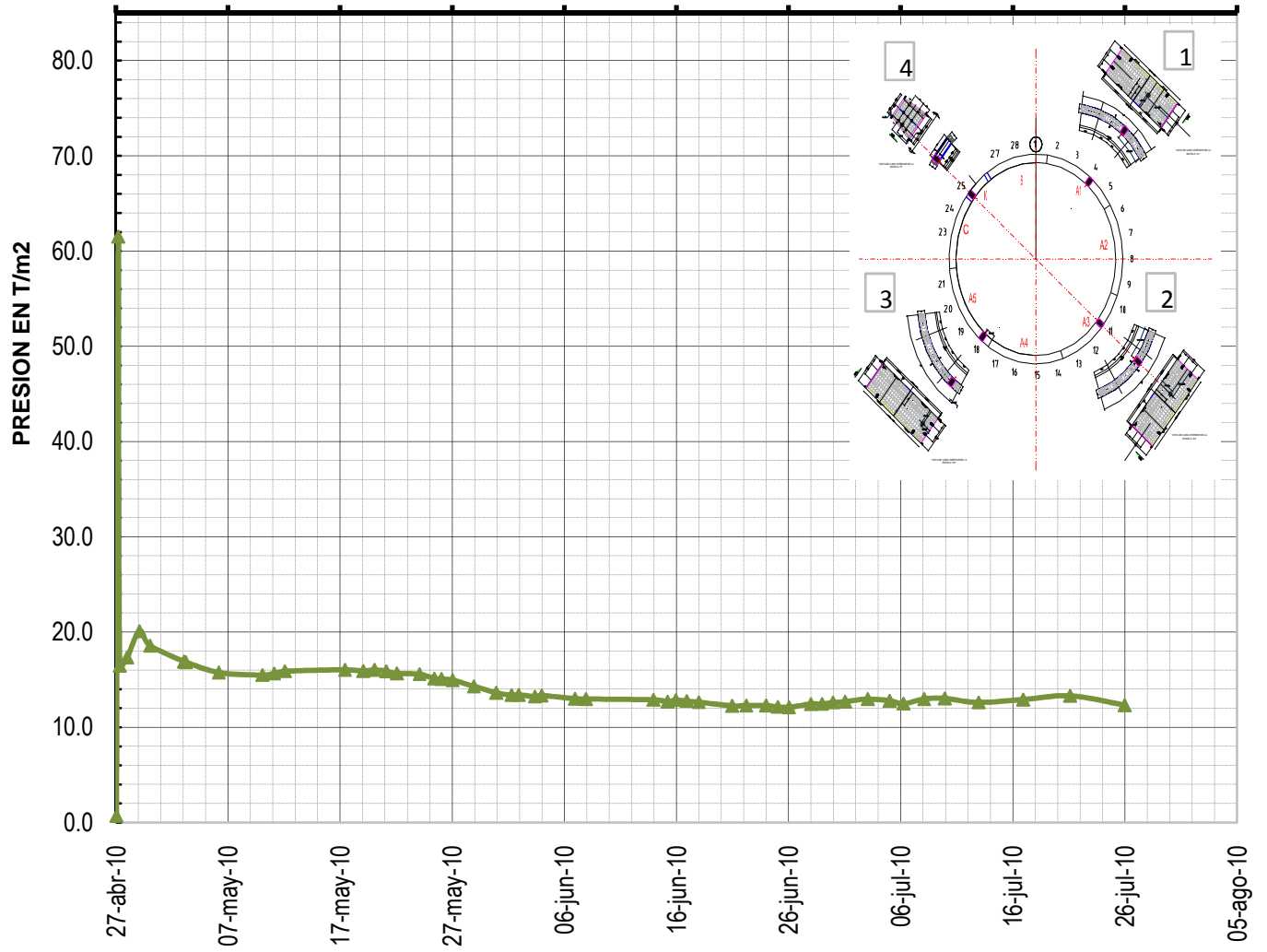
Gráfica 2 Anillo 188, dovela A-3

PRESION CONTRA TIEMPO



Gráfica 3 Anillo 188, dovela A-5

PRESION CONTRA TIEMPO



Gráfica 4 Anillo 188, dovela K

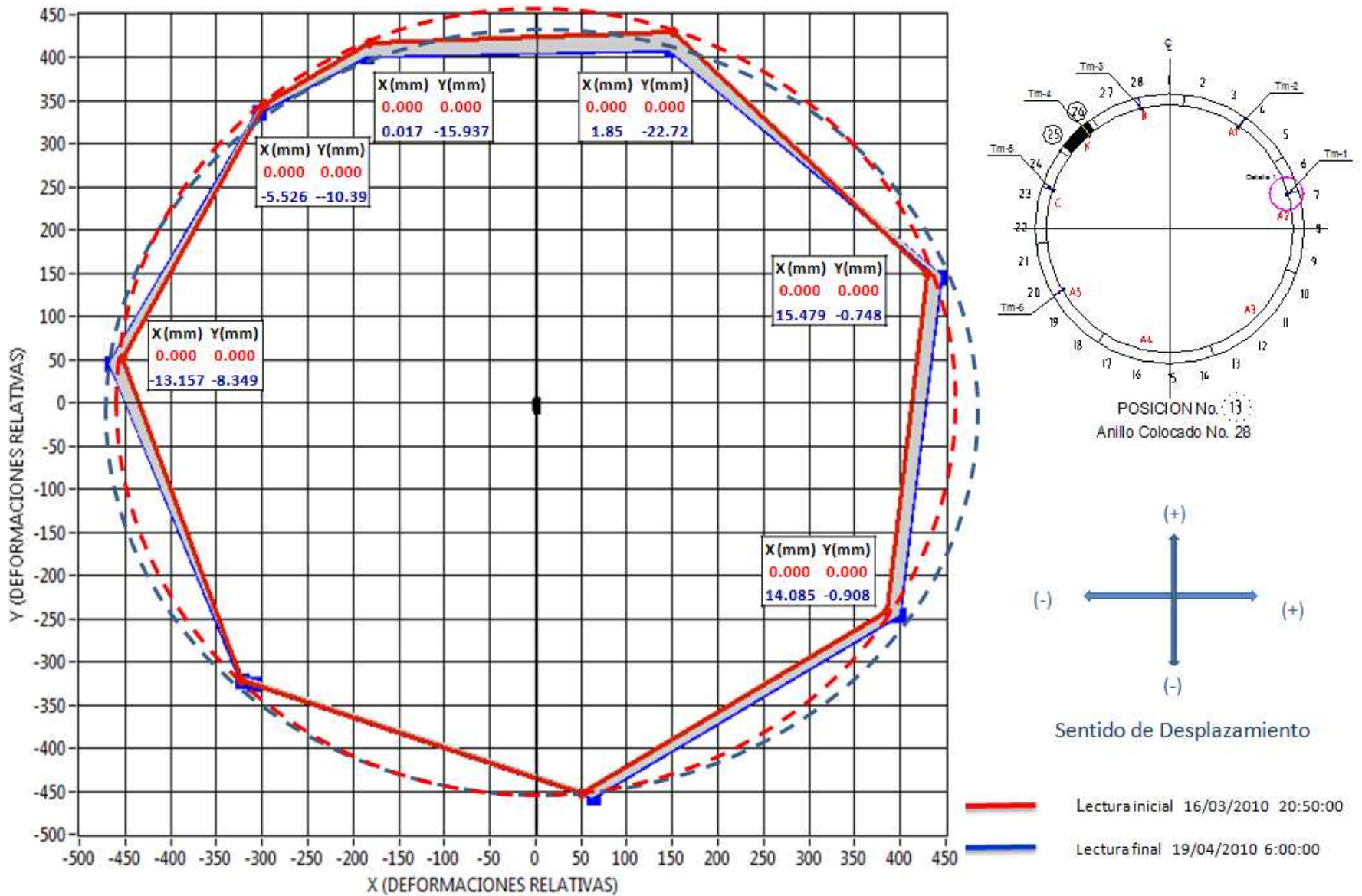
II.3 Sistema de convergencias y divergencias automatizado

En ciertos sectores con una especial importancia se requieren las medidas de las deformaciones generadas en el túnel excavado con escudo. Las convergencias y divergencias se miden generalmente a través de levantamientos topográficos a todo lo largo del túnel excepto en la zona de carros o pórticos, esto debido a que los equipos que transporta el tren y los propios carros dificultan la visualización para la toma de lecturas topográficas, es por esto que se propuso como solución alternativa, el monitoreo automatizado de anillos instrumentados en diversas zonas del túnel.

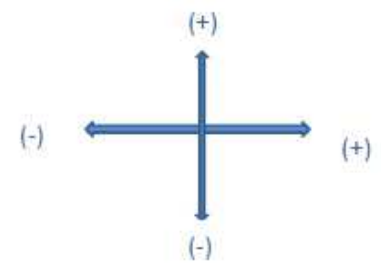
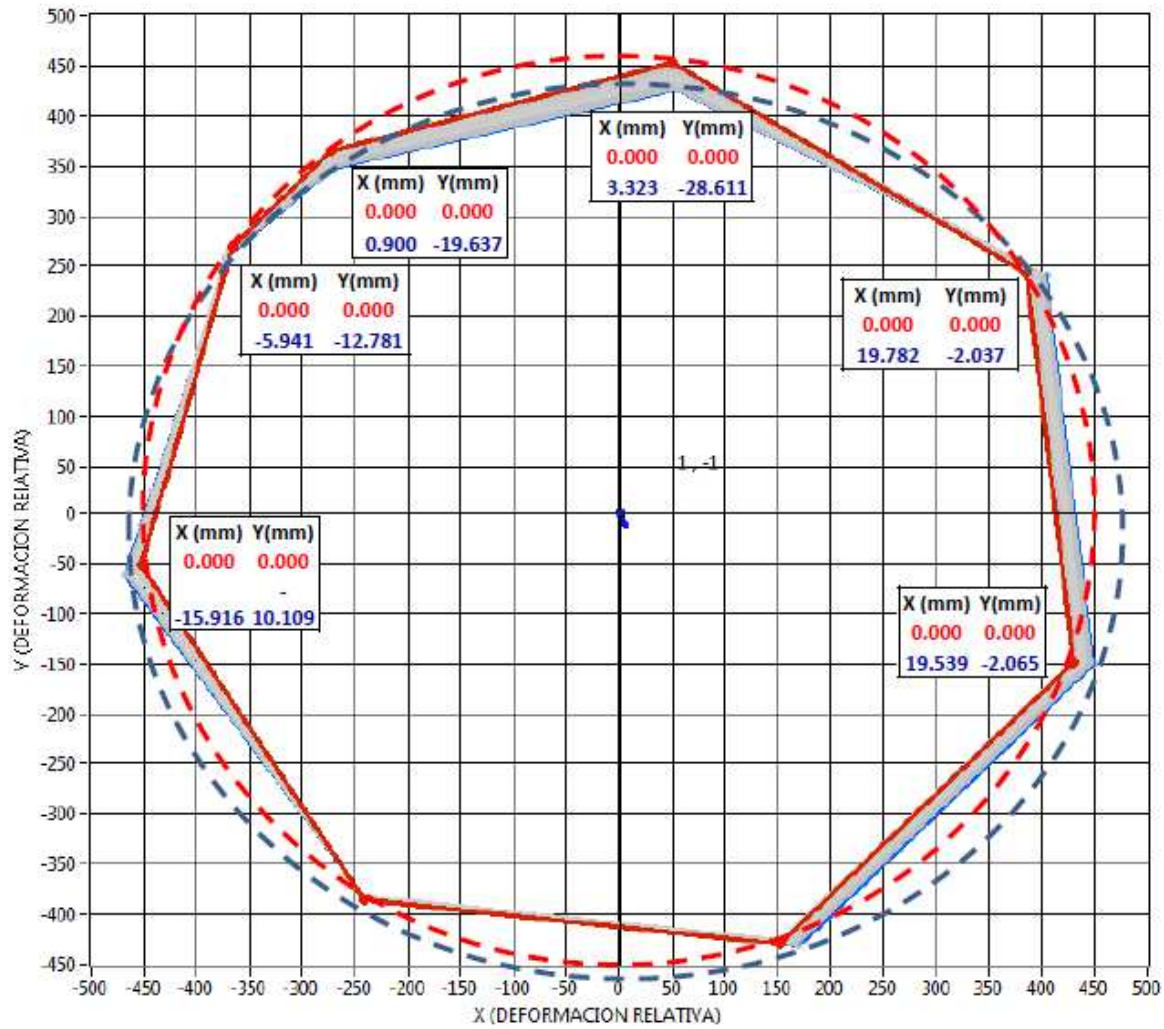
Los anillos instrumentados corresponden al número 28 y 103, ambos pertenecientes al tramo de la lumbrera de entrada y la estación Mexicaltzingo. En las gráficas que se presentan de las convergencias y divergencias automatizadas, se muestra la deformación relativa máxima que registra el deformímetro (Tilt meter) instalado en la dovela. De color rojo se puede observar la lectura inicial, mientras que de color azul podemos ver la última lectura correspondiente a la fecha de monitoreo.

Se eligió un sistema de referencia cartesiano conveniente para determinar los desplazamientos positivos y negativos que se registran. También se muestra en la gráfica un esquema de la configuración del anillo, y se observan además, los 6 tilt meter instalados en las dovelas. En el caso del sistema de convergencias no se pudo tener una vista previa de la programación utilizada para la obtención de las gráficas, la razón es que a diferencia de los demás dispositivos que se pueden graficar utilizando el Excel, para el sistema de convergencias automatizado se utiliza un software especializado llamado Logger Net, para esta tesis solo fueron proporcionadas las gráficas generadas por el sistema de convergencias. Para mayor información acerca del Logger Net se podrán consultar las referencias proporcionadas.

Las periodicidad del monitoreo de los anillos instrumentados fue de tres veces a la semana, sin embargo, aquí se presentarán dos fechas de monitoreo para cada anillo; el análisis y conclusiones pertinentes se harán en capítulos posteriores.



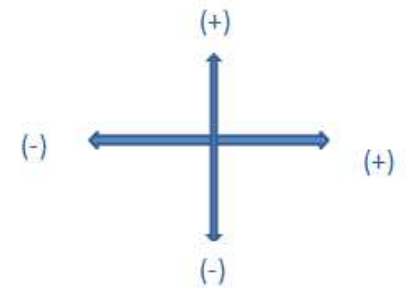
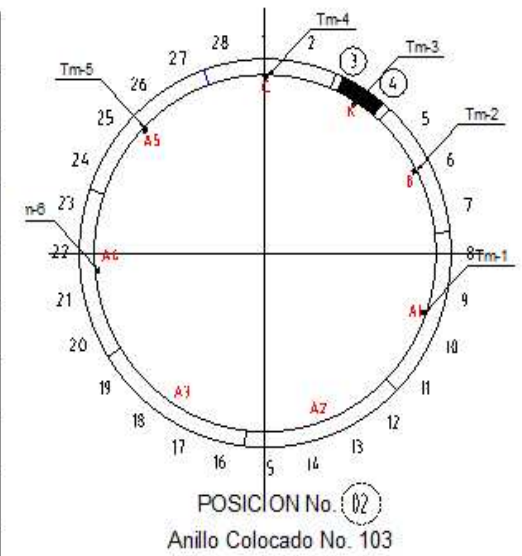
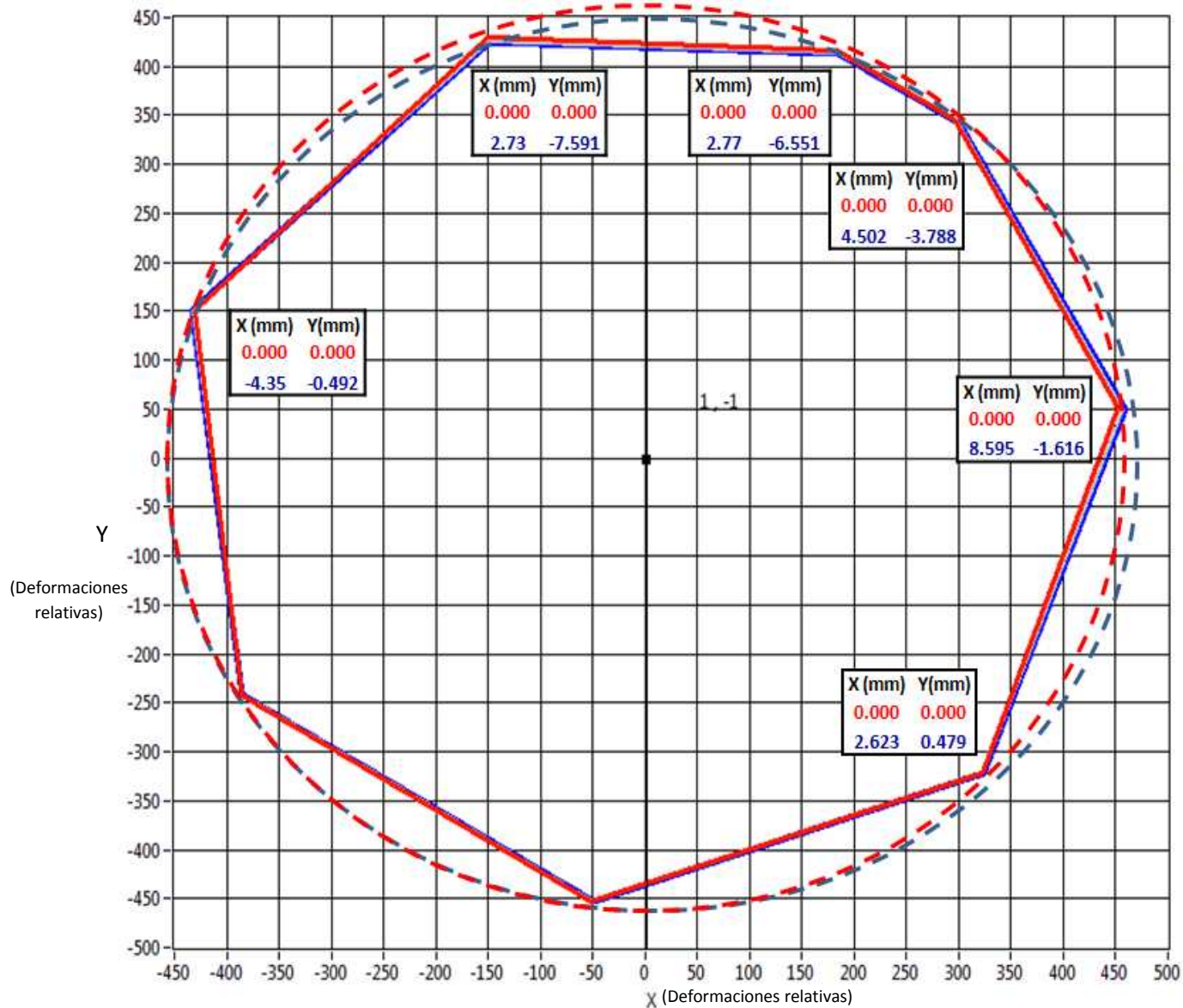
Gráfica 5 Anillo 28 correspondiente al 19 de abril de 2010



Sentido de Desplazamiento

- Lectura inicial 16/03/2010 20:50:00
- Lectura final 27/05/2010 06:00:00

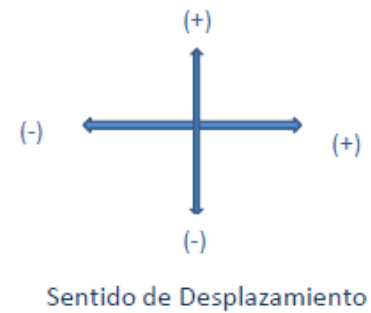
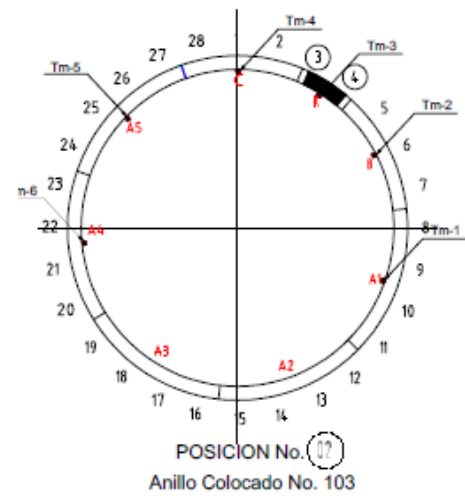
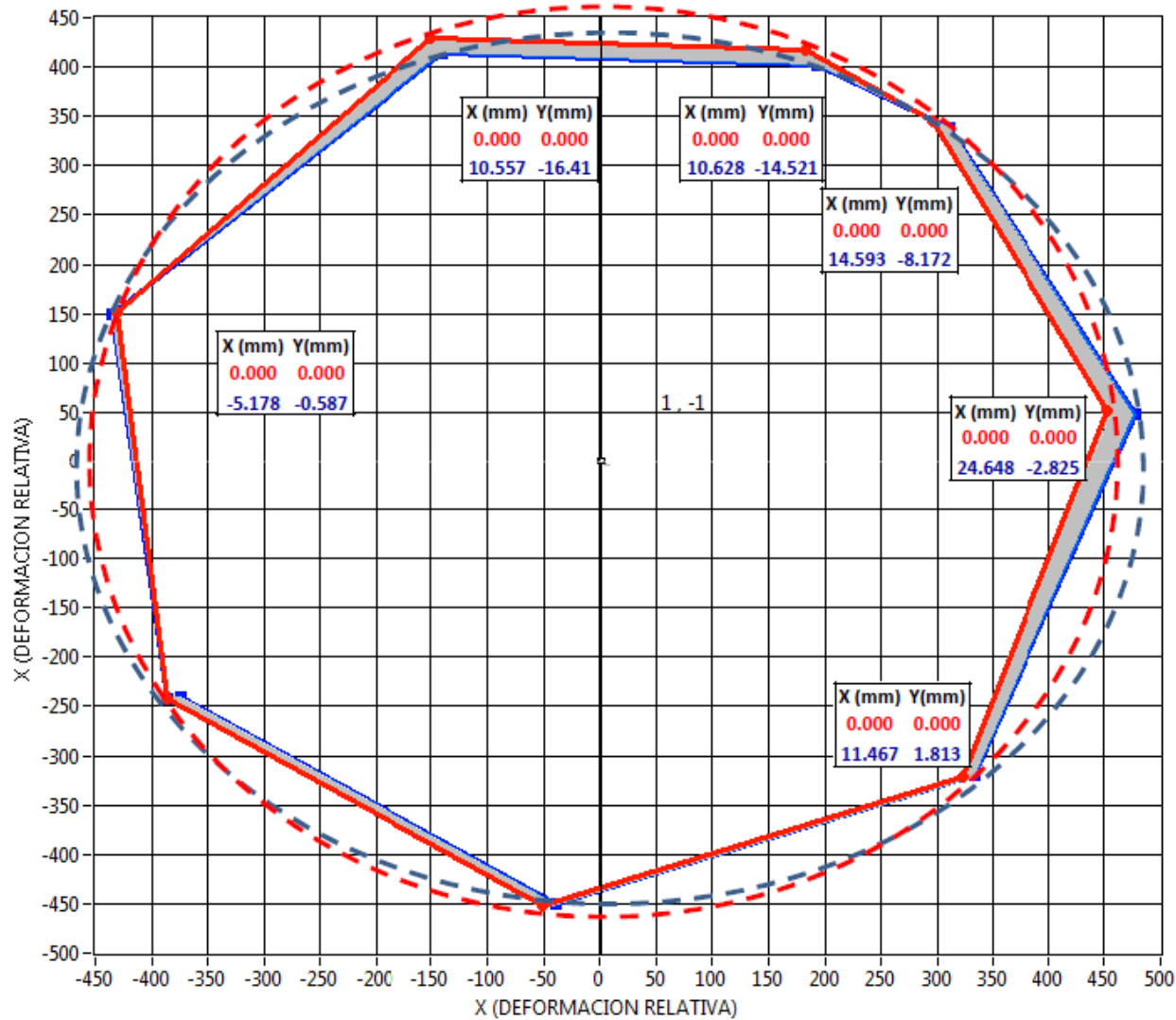
Gráfica 6 Anillo 28 correspondiente al 27 de mayo de 2010



Sentido de Desplazamiento

- Lectura inicial 13/04/2010 19:32
- Lectura final 19/04/2010 11:45:00

Gráfica 7 Anillo 103 correspondiente al 19 de abril de 2010



— Lectura inicial 13/04/2010 19:32
— Lectura final 04/06/2010 6:00:00

La última lectura del sistema de convergencias se realizó el día 4 de Junio de 2010 ya que en esta fecha se quitó el sistema para colocarlo posteriormente en el siguiente punto.

Gráfica 8 Anillo 103 correspondiente al 4 de junio de 2010

II.4 Extensómetro Magnético con tubería para inclinómetro

Se presenta en primer lugar las gráficas correspondientes al extensómetro magnético, como ya se mencionó, este dispositivo registra movimientos verticales a diferentes profundidades de un mismo barreno, por tanto, se muestran las seis gráficas que componen el monitoreo llevado a cabo para este dispositivo, en el eje de las abscisas se observan los asentamientos registrados en milímetros y en el eje de las ordenadas se muestran las fechas de la lectura correspondiente, también se puede observar la hoja de cálculo utilizada para el procesamiento de la información generada.

En segundo lugar, se presenta las gráficas del inclinómetro, este dispositivo mide los desplazamientos horizontales a diferentes profundidades de un mismo barreno, este inclinómetro se compone de una tubería ranurada y a su vez esta tubería sirve para adosar el extensómetro magnético. Se puede ver que en el eje de las ordenadas están las profundidades a las que se está monitoreando la deformación generada por el paso de la tuneladora, mientras que en las abscisas se muestra el desplazamiento medido en milímetros.

El sistema de monitoreo varió dependiendo el avance del escudo, siendo de dos veces a la semana 100 metros antes y 100 metros después del paso del escudo por donde se localizó el extensómetro con tubería para inclinómetro, mientras que el monitoreo fue casi todos los días mientras el escudo se encontraba en los 200 metros más próximos al dispositivo de medición ya mencionado. También se puede observar la hoja de cálculo utilizada para el procesamiento de la información generada.

La forma de tomar las lecturas del extensómetro magnético con tubería para inclinómetro es con la ayuda de una sonda magnética especial para este tipo de monitoreo, así como de una PC de campo de la marca RST Instrument (Field PC). Para más detalles acerca de del tipo de sonda y de la PC de campo consulte las referencias dadas al final de esta tesis.

LECTURAS SONDA MAGNETICA							
Lecturas en m	NUMERO DE ARAÑA						
FECHA	1	2	3	4	5	6	ANILLO DE REFERENCIA
27/02/2010	5.796	9.441	14.115	19.926	24.434	26.911	31.813
01/03/2010	5.797	9.442	14.115	19.927	24.435	26.911	31.812
03/03/2010	5.798	9.442	14.114	19.927	24.435	26.909	31.812
08/03/2010	5.798	9.442	14.115	19.929	24.431	26.908	31.813
10/03/2010	5.797	9.442	14.115	19.929	24.434	26.913	31.813
13/03/2010	5.796	9.440	14.114	19.928	24.436	26.912	31.812
17/03/2010	5.796	9.443	14.114	19.927	24.435	26.910	31.808
19/03/2010	5.795	9.442	14.113	19.927	24.436	26.910	31.807
22/03/2010	5.796	9.442	14.115	19.926	24.436	26.911	31.807
25/03/2010	5.794	9.442	14.113	19.926	24.435	26.911	31.807
27/03/2010	5.795	9.441	14.114	19.924	24.435	26.912	31.807
29/03/2010	5.796	9.442	14.114	19.926	24.435	26.910	31.806
31/03/2010	5.796	9.442	14.114	19.927	24.436	26.908	31.807
05/04/2010	5.796	9.443	14.114	19.927	24.435	26.910	31.807
07/04/2010	5.797	9.443	14.114	19.927	24.435	26.910	31.809
10/04/2010	5.796	9.443	14.115	19.927	24.435	26.913	31.809
13/04/2010	5.796	9.443	14.115	19.927	24.436	26.913	31.808
15/04/2010	5.796	9.443	14.114	19.926	24.436	26.913	31.806
17/04/2010	5.795	9.443	14.114	19.926	24.436	26.912	31.806
19/04/2010	5.795	9.442	14.115	19.925	24.435	26.912	31.812
21/04/2010	5.795	9.443	14.115	19.926	24.435	26.913	31.812
23/04/2010	5.796	9.443	14.114	19.926	24.436	26.913	31.809
28/04/2010	5.794	9.446	14.131	19.949	24.460	26.938	31.830
29/04/2010	5.795	9.435	14.127	19.944	24.455	26.935	31.822
30/04/2010	5.793	9.440	14.125	19.942	24.456	26.932	31.819
01/05/2010	5.792	9.442	14.123	19.939	24.449	26.930	31.817
03/05/2010	5.792	9.442	14.121	19.937	24.446	26.928	31.815
06/05/2010	5.793	9.441	14.120	19.934	24.443	26.925	31.813
08/05/2010	5.793	9.441	14.118	19.932	24.442	26.923	31.811
10/05/2010	5.791	9.441	14.118	19.932	24.442	26.921	31.810
12/05/2010	5.790	9.440	14.116	19.933	24.440	26.917	31.815
18/05/2010	5.792	9.439	14.115	19.928	24.438	26.915	31.808
20/05/2010	5.791	9.440	14.115	19.929	24.437	26.913	31.806

Imagen 2 Datos capturados de los registros de campo.

La ecuación programada en la hoja de cálculo es:

$$DV = ABS([(LiAR - LiAraña) - (LAR - LAraña)] + [(LAraña - LiAraña) - (LAR - LiAR)]) * 1000$$

Donde:

DV= Desplazamiento Vertical Medido en milímetros

LiAR= Lectura inicial de anillo de referencia

LiAraña= Lectura inicial de araña magnética

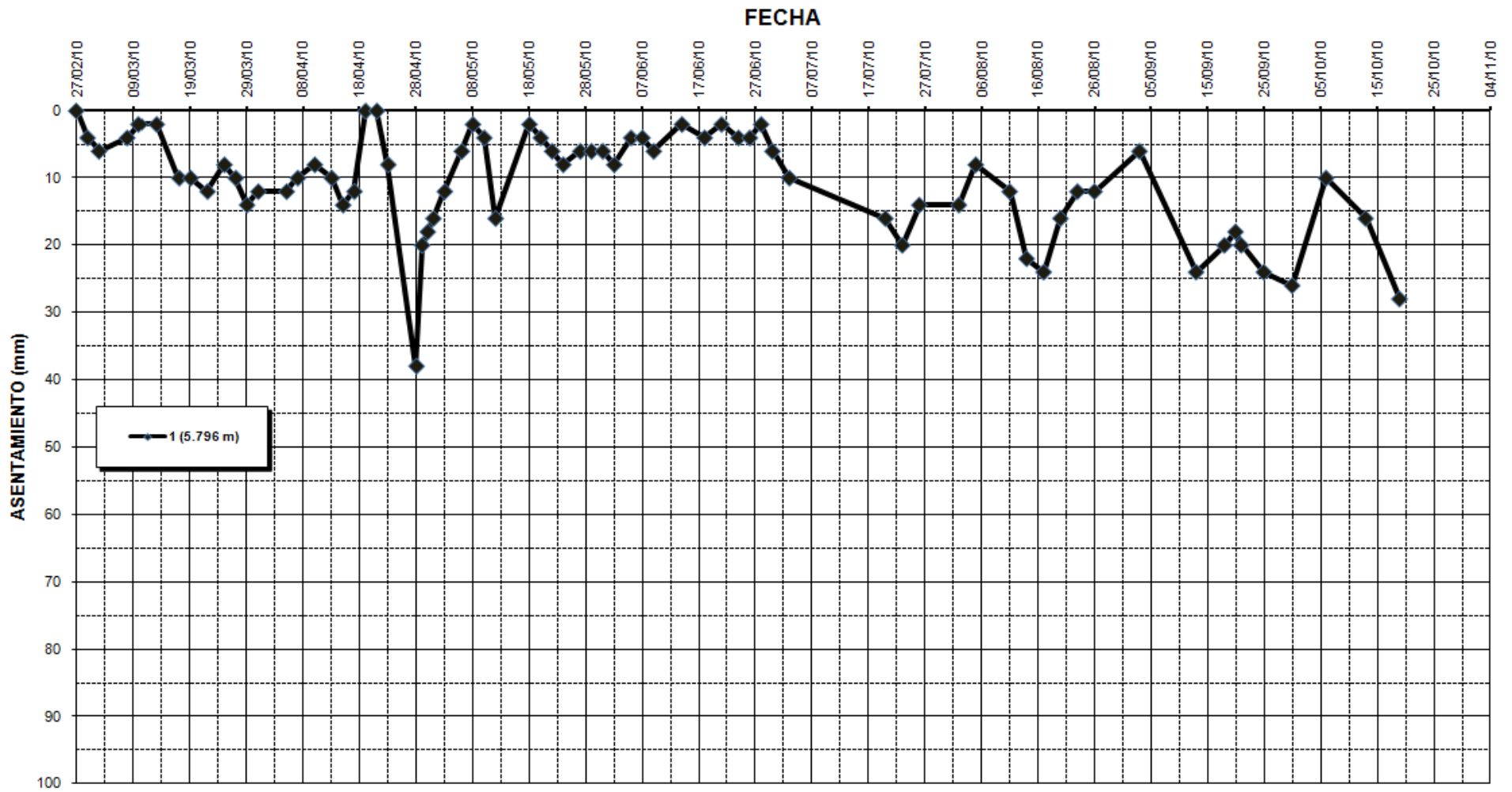
LAR= Lectura de anillo de referencia

Laraña= Lectura de araña magnética

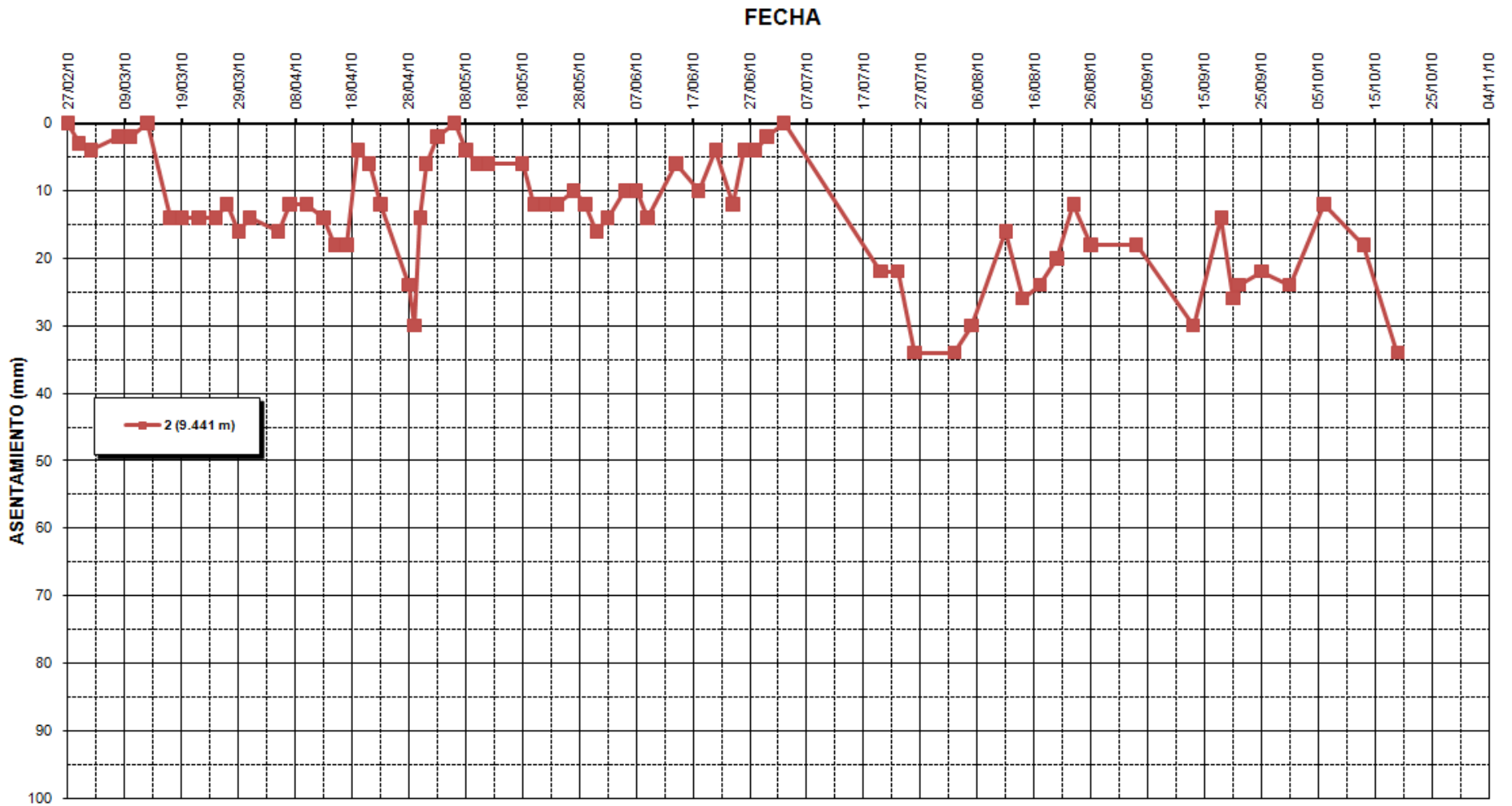
ABS= Valor absoluto

ASENTAMIENTOS ACUMULADOS							
Diferencias en mm	NUMERO DE ARAÑA						
FECHA	1	2	3	4	5	6	ANILLO DE REFERENCIA
27/02/2010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
01/03/2010	4.000	3.000	2.000	4.000	4.000	2.000	0.000
03/03/2010	6.000	4.000	0.000	4.000	4.000	2.000	0.000
08/03/2010	4.000	2.000	0.000	6.000	6.000	6.000	0.000
10/03/2010	2.000	2.000	0.000	6.000	0.000	4.000	0.000
13/03/2010	2.000	0.000	0.000	6.000	6.000	4.000	0.000
17/03/2010	10.000	14.000	8.000	12.000	12.000	8.000	0.000
19/03/2010	10.000	14.000	8.000	14.000	16.000	10.000	0.000
22/03/2010	12.000	14.000	12.000	12.000	16.000	12.000	0.000
25/03/2010	8.000	14.000	8.000	12.000	14.000	12.000	0.000
27/03/2010	10.000	12.000	10.000	8.000	14.000	14.000	0.000
29/03/2010	14.000	16.000	12.000	14.000	16.000	12.000	0.000
31/03/2010	12.000	14.000	10.000	14.000	16.000	6.000	0.000
05/04/2010	12.000	16.000	10.000	14.000	14.000	10.000	0.000
07/04/2010	10.000	12.000	6.000	10.000	10.000	6.000	0.000
10/04/2010	8.000	12.000	8.000	10.000	10.000	12.000	0.000
13/04/2010	10.000	14.000	10.000	12.000	14.000	14.000	0.000
15/04/2010	14.000	18.000	12.000	14.000	18.000	18.000	0.000
17/04/2010	12.000	18.000	12.000	14.000	18.000	16.000	0.000
19/04/2010	0.000	4.000	2.000	0.000	4.000	4.000	0.000
21/04/2010	0.000	6.000	2.000	2.000	4.000	6.000	0.000
23/04/2010	8.000	12.000	6.000	8.000	12.000	12.000	0.000
28/04/2010	38.000	24.000	2.000	12.000	18.000	20.000	0.000
29/04/2010	20.000	30.000	6.000	18.000	24.000	30.000	0.000
30/04/2010	18.000	14.000	8.000	20.000	32.000	30.000	0.000
01/05/2010	16.000	6.000	8.000	18.000	22.000	30.000	0.000
03/05/2010	12.000	2.000	8.000	18.000	20.000	30.000	0.000
06/05/2010	6.000	0.000	10.000	16.000	18.000	28.000	0.000
08/05/2010	2.000	4.000	10.000	16.000	20.000	28.000	0.000
10/05/2010	4.000	6.000	12.000	18.000	22.000	26.000	0.000
12/05/2010	16.000	6.000	2.000	10.000	8.000	8.000	0.000
18/05/2010	2.000	6.000	10.000	14.000	18.000	18.000	0.000
20/05/2010	4.000	12.000	14.000	20.000	20.000	18.000	0.000

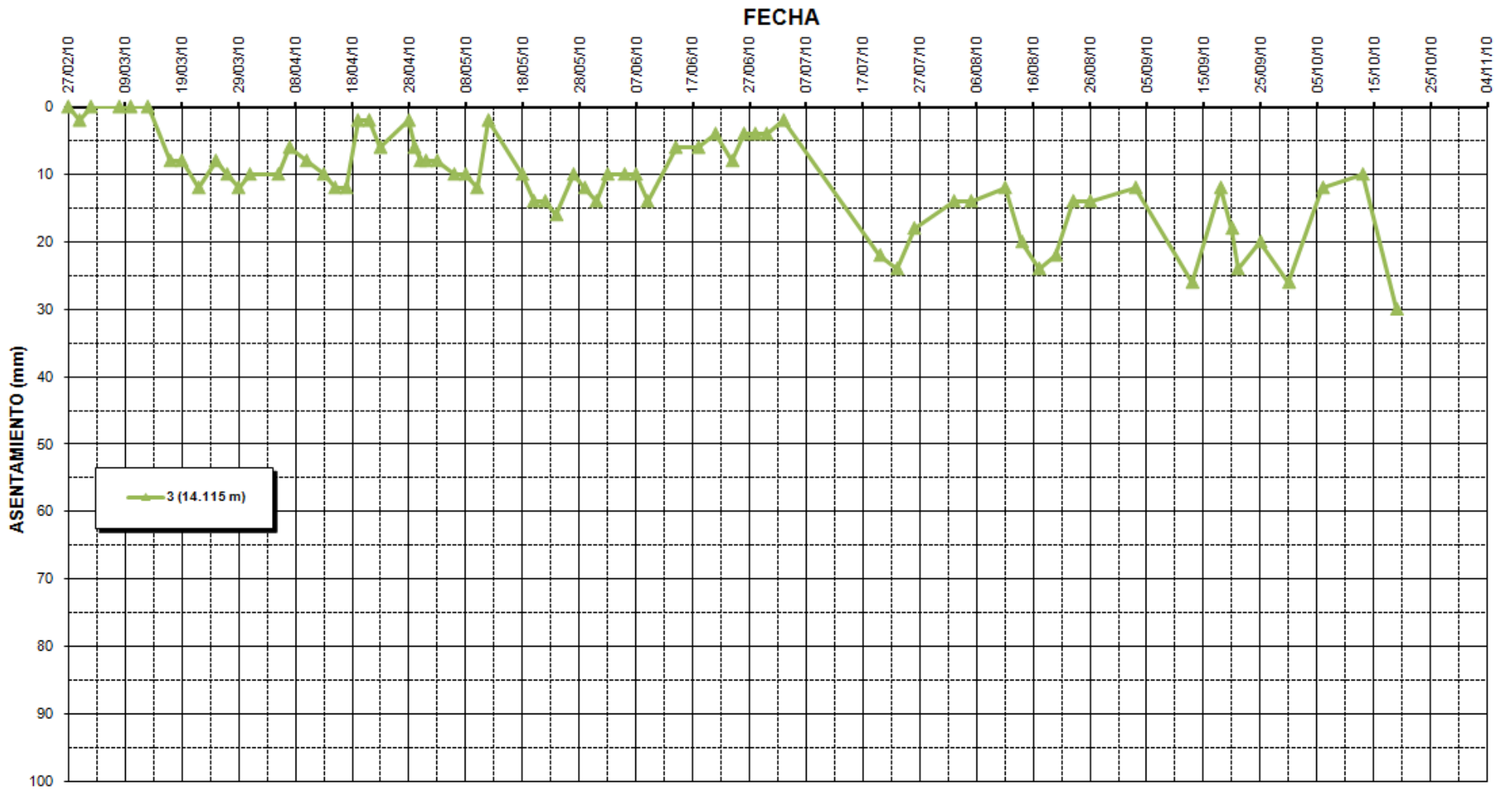
Imagen 3 Datos procesados para determinar movimientos verticales.



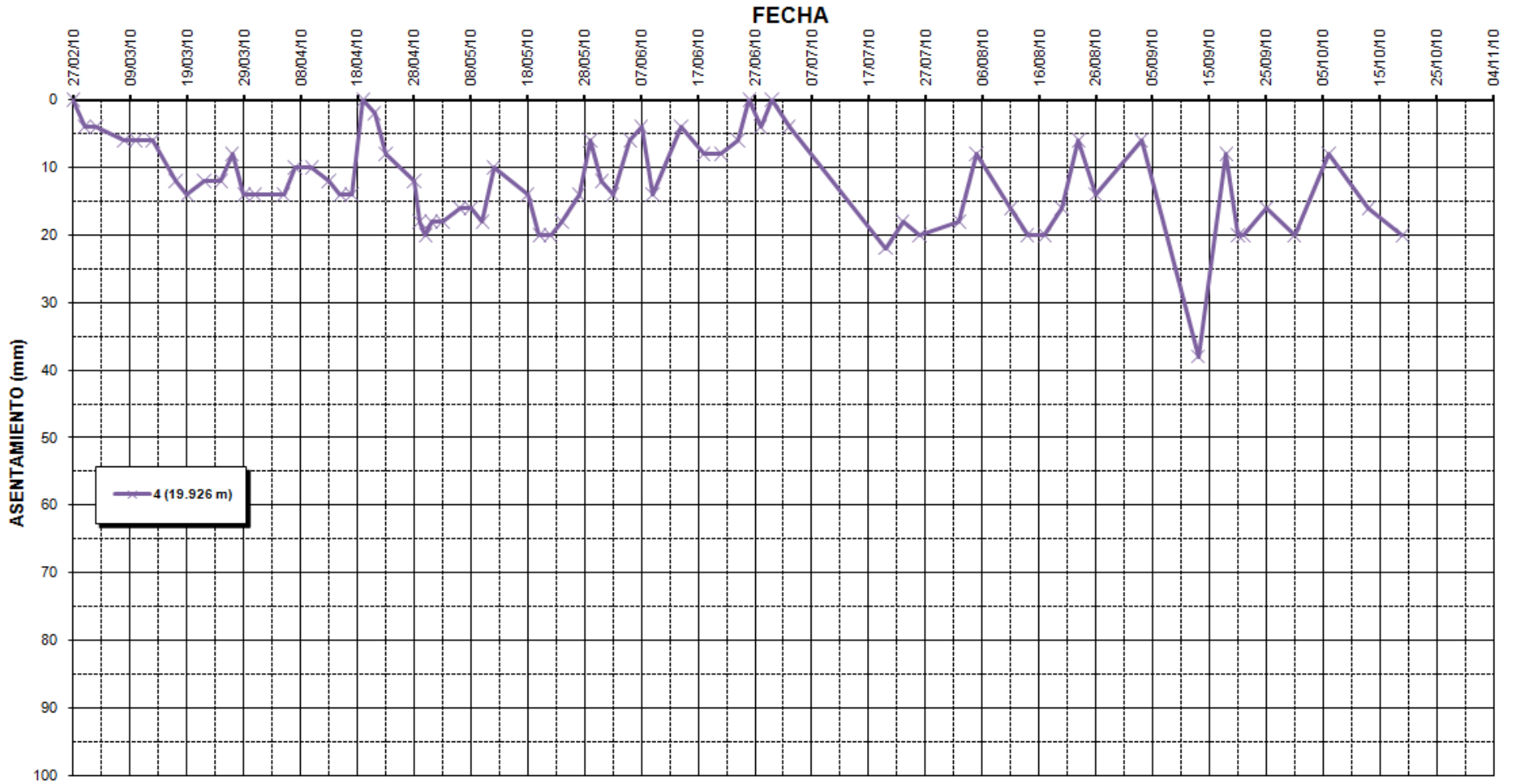
Gráfica 9 Comportamiento de araña magnética 1



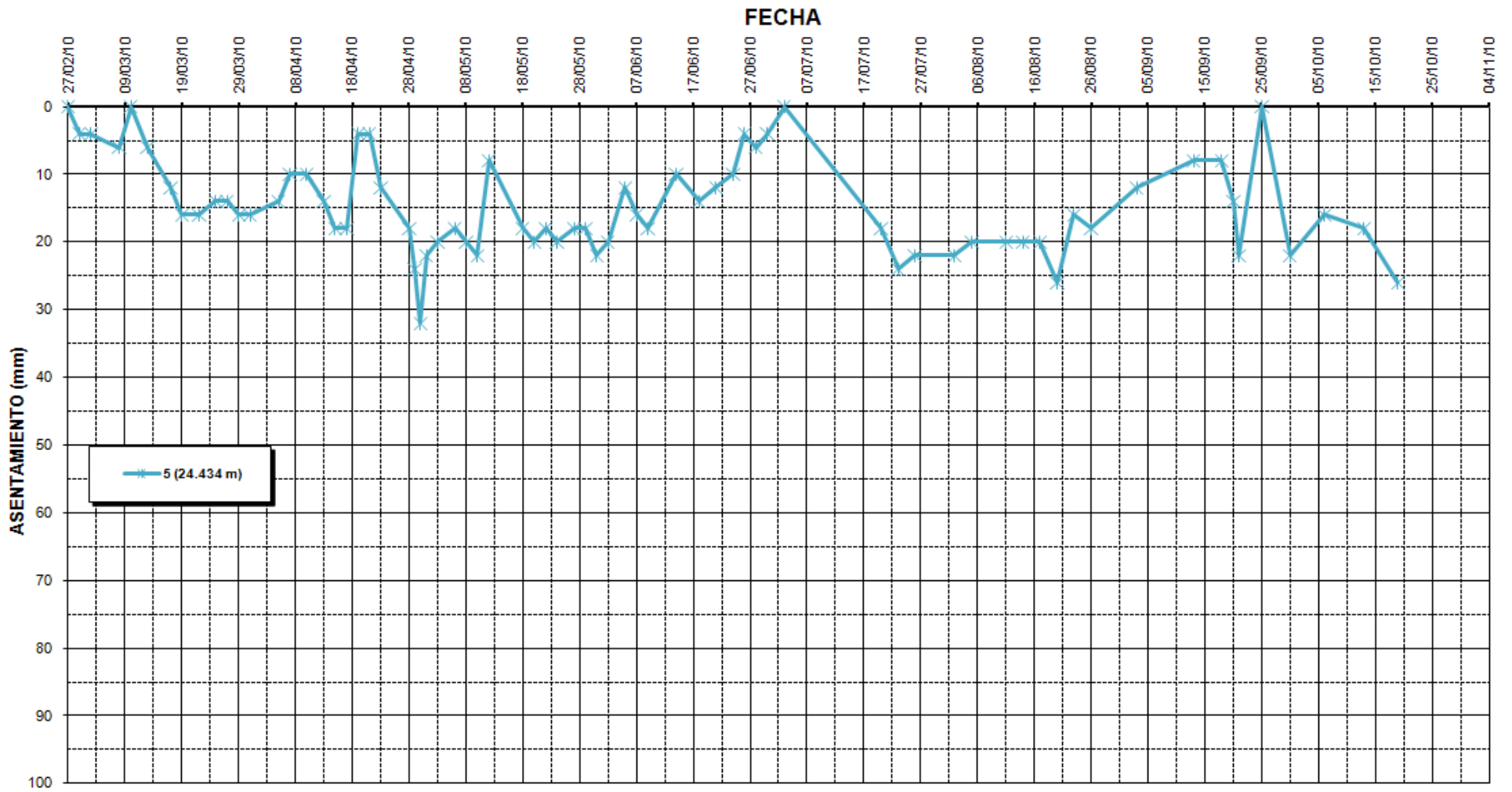
Gráfica 10 Comportamiento de araña magnética 2



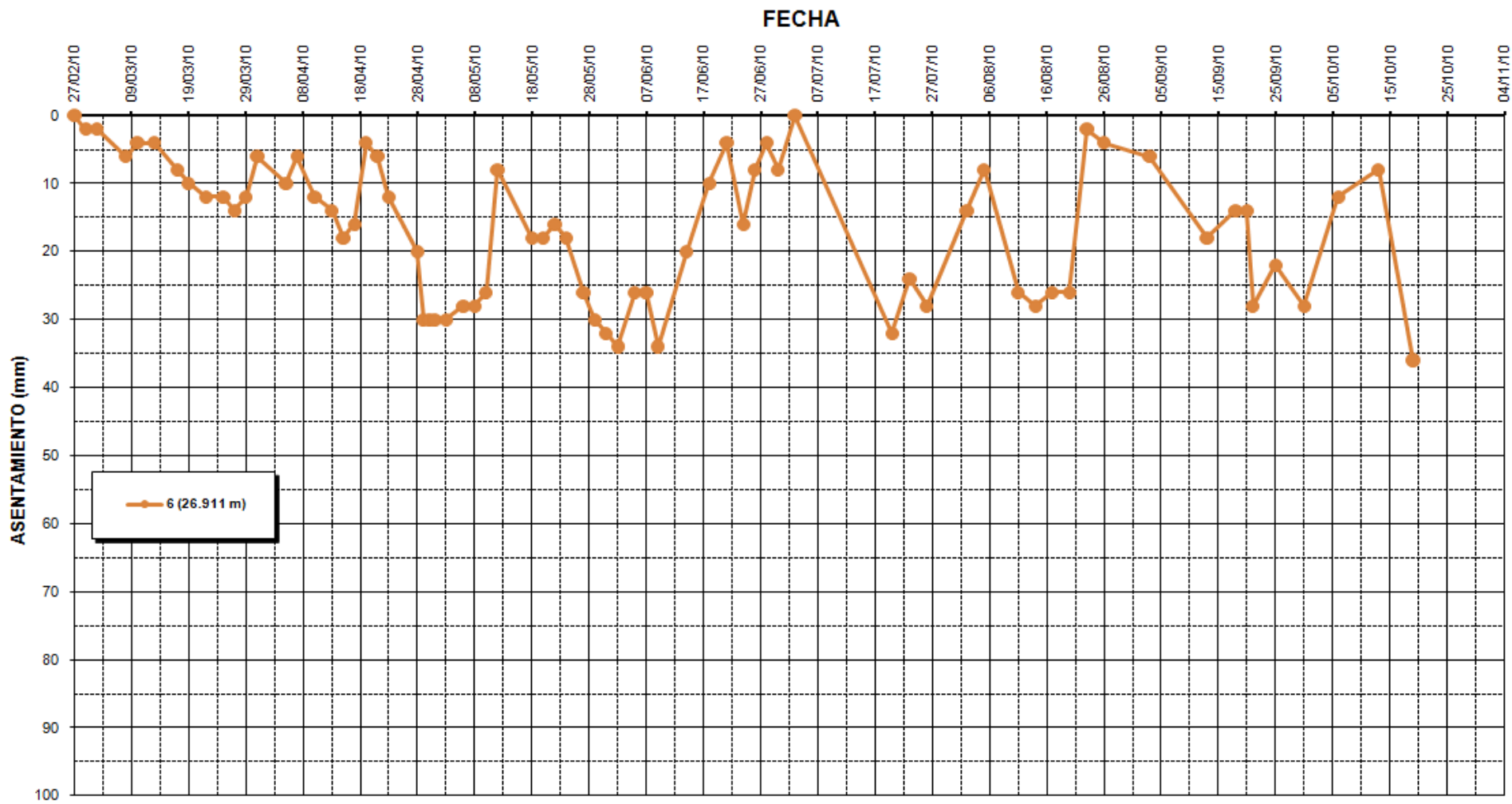
Gráfica 11 Comportamiento de araña magnética 3



Gráfica 12 Comportamiento de araña magnética 4



Gráfica 13 Comportamiento de araña magnética 5



Gráfica 14 Comportamiento de araña magnética 6

La siguiente imagen fue tomada de las hojas de cálculo elaboradas para el procesamiento de los datos obtenidos en campo con la ayuda de la unidad de lectura.

La ecuación programada en la hoja de cálculo es:

$$DAC = [(Lact - Linic) * 0.5] * Cos \alpha$$

Donde:

DAC= Deflexión acumulada corregida

Lact= Lectura actual

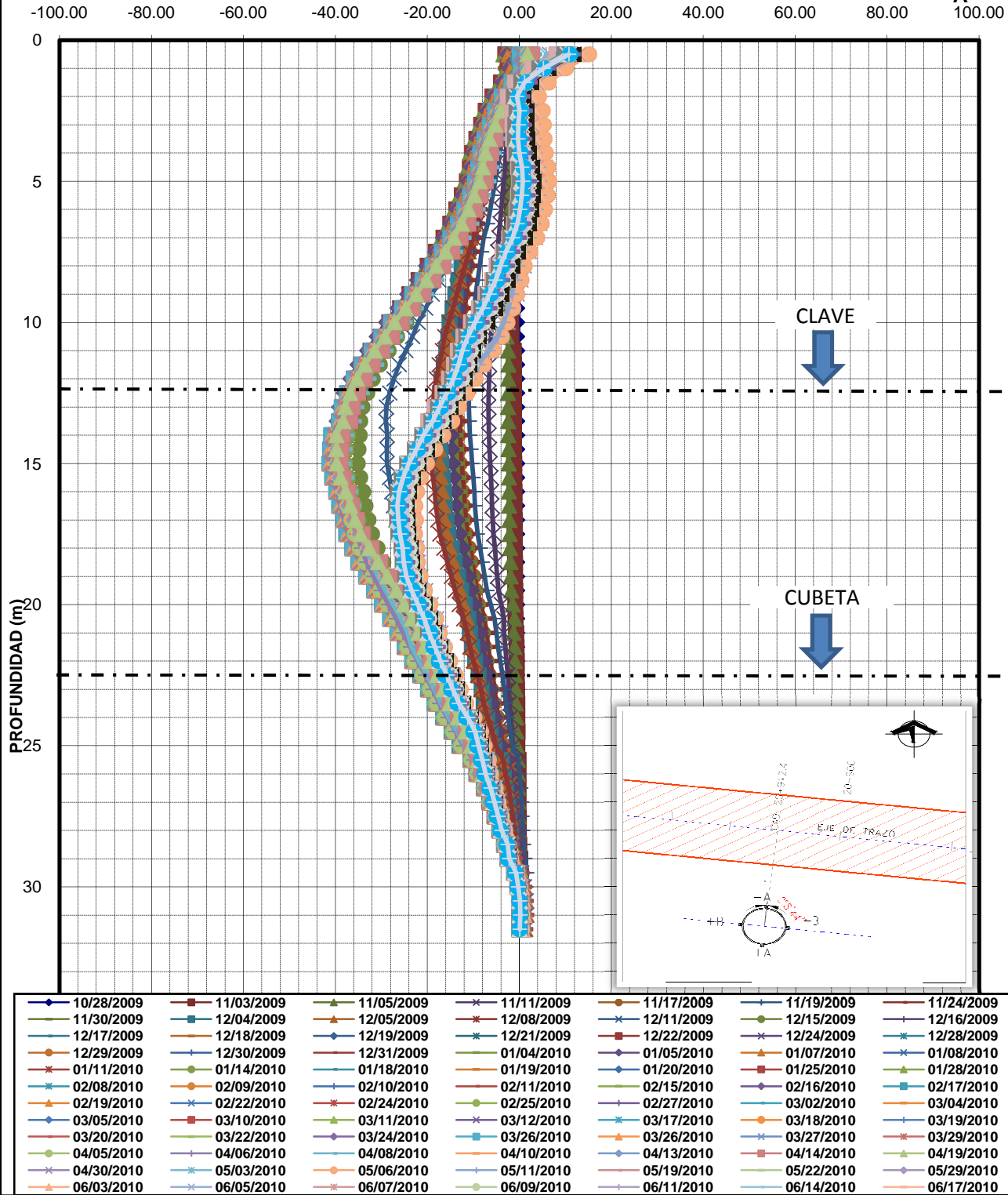
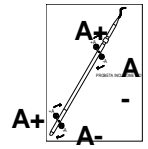
Linic= Lectura inicial

Cos α = Ángulo de corrección

DIFERENCIAS EN LA LECTURA ACTUAL		Corr. (EJE A)	Corr. (EJE B)	EJE A			EJE B		
(A+) - (A-)	(B+) - (B-)			DEFLEXION i	DEFLEXION ACUM.	DEFLEXION ACUM. CORREGIDA	DEFLEXION i	DEFLEXION ACUM.	DEFLEXION ACUM. CORREGIDA
21.88378	-8.55924	0.25383	-0.37898	0.1269	0.1269	0.0906	-0.1895	-0.1895	-0.2093
16.05369	-4.14905	0.05453	-0.31682	0.0273	0.1542	0.0888	-0.1584	-0.3479	-0.3700
10.73856	-1.25138	0.05117	-0.16532	0.0256	0.1798	0.0991	-0.0827	-0.4306	-0.4559
6.87531	0.33619	0.1447	0.01454	0.0723	0.2521	0.1716	0.0073	-0.4233	-0.4618
2.10768	-0.8636	0.36743	0.00449	0.1837	0.4358	0.3527	0.0022	-0.4210	-0.4928
7.25383	-3.82763	-0.31713	-0.24236	-0.1586	0.2773	0.1748	-0.1212	-0.5422	-0.5834
12.14316	2.5776	0.30202	-0.59611	0.1510	0.4283	0.2696	-0.2981	-0.8403	-0.9038
13.91944	3.30299	0.06099	-0.09538	0.0305	0.4588	0.2909	-0.0477	-0.8880	-0.9562
13.32366	3.18379	-0.18424	-0.09561	-0.0921	0.3667	0.1917	-0.0478	-0.9358	-0.9866
14.92265	3.67178	0.14007	-0.26652	0.0700	0.4367	0.2365	-0.1333	-1.0690	-1.1303
14.87253	4.89026	0.0282	-0.02856	0.0141	0.4508	0.2478	-0.0143	-1.0833	-1.1469
13.63201	3.33916	0.04646	-0.02147	0.0232	0.4740	0.2687	-0.0107	-1.0941	-1.1616
14.48837	1.35221	0.21529	-0.13805	0.1076	0.5817	0.3621	-0.0690	-1.1631	-1.2490
12.53674	10.66969	0.1513	-0.13054	0.0757	0.6573	0.4248	-0.0653	-1.2283	-1.3268
10.17294	16.11096	0.80664	0.06398	0.4033	1.0606	0.8272	0.0320	-1.1964	-1.3682
10.14919	15.07342	0.69009	0.1977	0.3450	1.4057	1.1845	0.0988	-1.0975	-1.3332
9.5565	11.79683	-0.03363	0.14567	-0.0168	1.3889	1.1811	0.0728	-1.0247	-1.2586
10.00279	9.12394	0.68754	-0.029	0.3438	1.7326	1.5166	-0.0145	-1.0392	-1.3349
10.65149	7.58604	0.93819	-0.08138	0.4691	2.2017	1.9706	-0.0407	-1.0799	-1.4596
10.52712	6.31178	0.59226	-0.0122	0.2961	2.4979	2.2608	-0.0061	-1.0860	-1.5190
10.17565	2.72964	0.92538	-0.04653	0.4627	2.9605	2.7117	-0.0233	-1.1092	-1.6254
10.32685	-0.23244	0.24056	0.05094	0.1203	3.0808	2.8346	0.0255	-1.0838	-1.6221
12.85893	0.32205	1.13336	0.11699	0.5667	3.6475	3.4025	0.0585	-1.0253	-1.6669
14.12292	3.44865	1.86866	0.70198	0.9343	4.5818	4.3848	0.3510	-0.6743	-1.4903

Imagen 4 Datos procesados para determinar desplazamientos horizontales.

LINEA 12 DEL METRO
 REPORTE DE LECTURAS DE INCLINÓMETRO
 TRAMO LUMBRERA - MEXICALTZINGO
 EJE A-A
 DEFLEXIONES CORREGIDAS (mm)



Gráfica 15 Inclinómetro

II.5 Referencias superficiales sobre el eje del trazo

Por medio de levantamientos topográficos se obtienen los registros de los movimientos verticales en superficie sobre el eje del trazo, estos levantamientos están en función del avance del escudo y por tanto la variación de los registros está directamente relacionada con el progreso en la excavación del túnel. En la gráfica se podrá observar el cadenamiento correspondiente en donde se realizan los levantamientos (eje de las abscisas), mientras que en las ordenadas se observan los desplazamientos en milímetros.

Se puede observar que el comportamiento de la gráfica puede verse alterado por las maniobras en superficie, esto debido a factores diversos tales como traslado de maquinaria y/o equipo especializado de construcción pesada, almacenaje de material o montaje de alguna estructura propia de la obra de la línea 12, sin embargo, en dicha gráfica se hacen las anotaciones pertinentes para aclarar algún comportamiento peculiar y poder así lograr un monitoreo eficiente.

La nivelación de las referencias superficiales se hace periódicamente con referencia a bancos de nivel profundos y semi profundos distribuidos a lo largo del trazo de la línea 12, pero estas nivelaciones no se muestran en la gráfica ya que el propósito de las referencias superficiales es mostrar puntualmente lo que sucede solo en el eje de trazo y no se considera el hundimiento local y regional dado por los bancos de nivel profundos y semi profundos.

Por último, la gráfica de las referencias superficiales sobre el eje de trazo se presenta en un principio tal y como aparece en la página del departamento de instrumentación del consorcio de la línea 12, sin embargo, para poder visualizarla mejor dicha gráfica la he dividido en dos partes para que esta pueda ser apreciada y observada con mayor detalle.

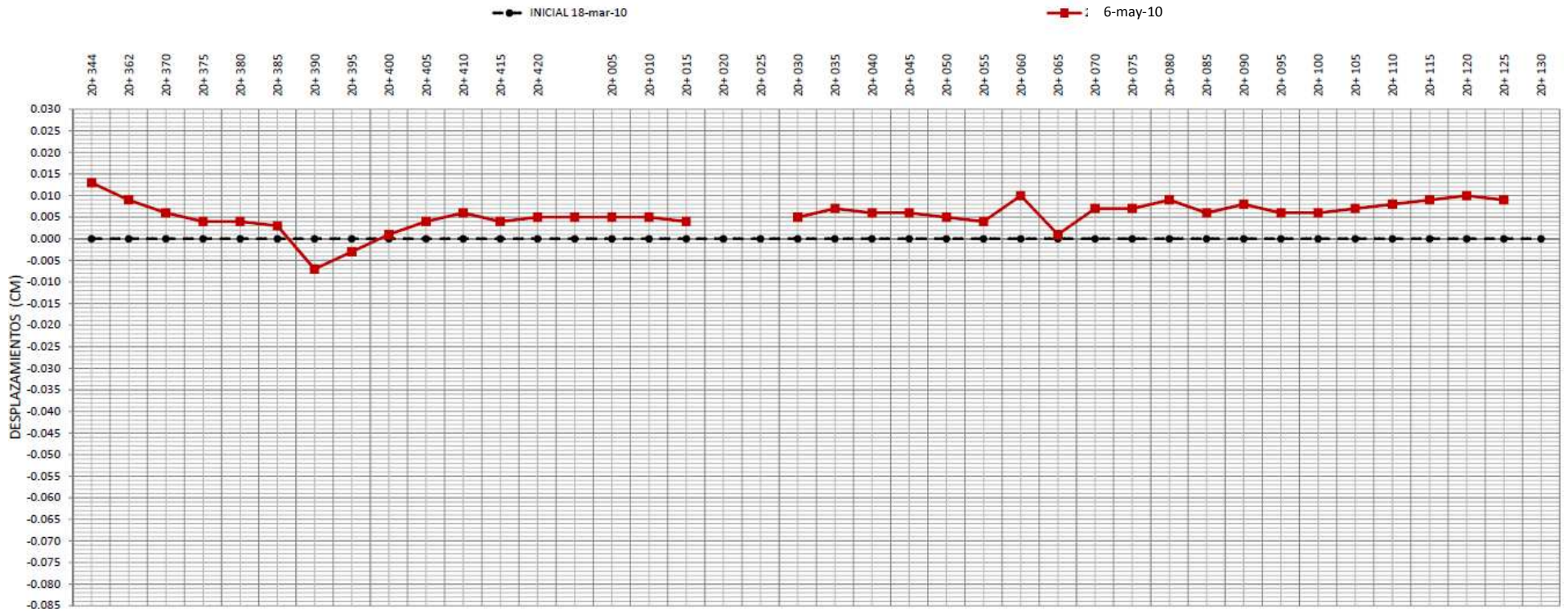
La ecuación programada en la hoja de cálculo es:

$$\text{Desplazamiento} = (\text{Lectura CERO}) - (\text{Lectura Subsecuente})$$

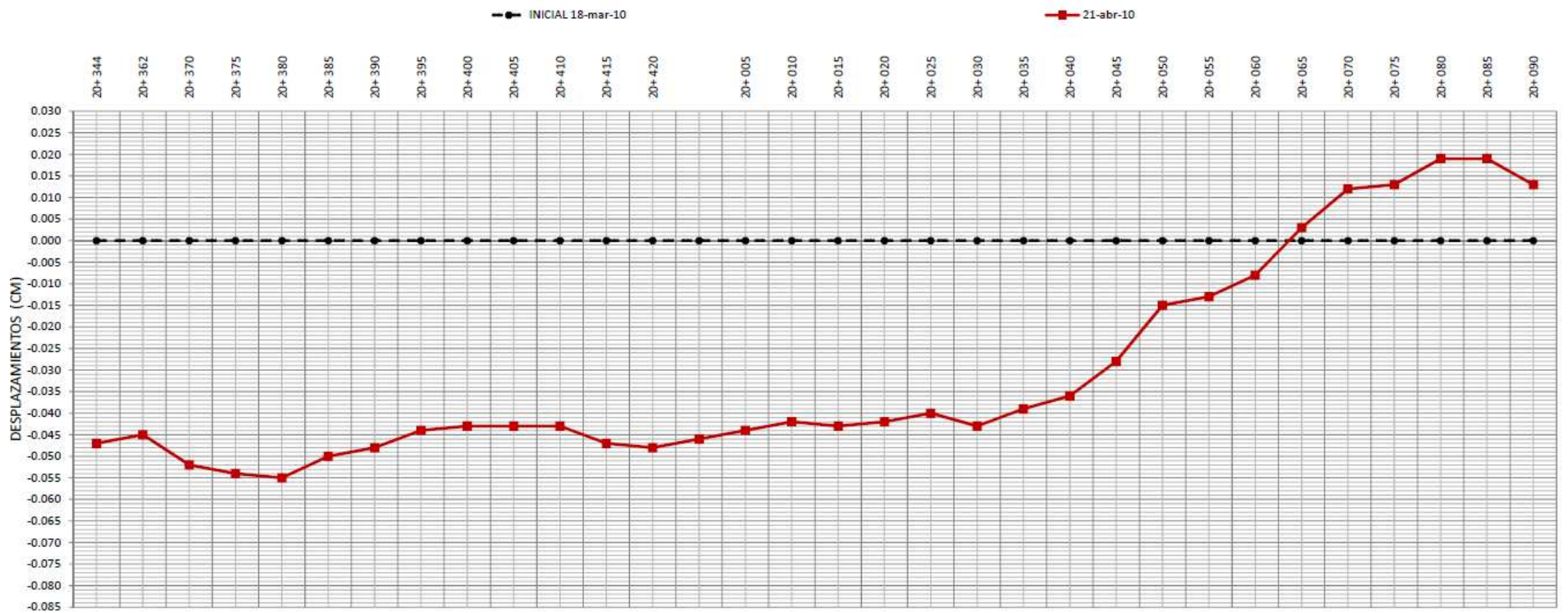
El desplazamiento obtenido está en milímetros.

TOPOGRAFIA													
fecha / km	20+ 344.48	20+ 361.65	20+ 370.00	20+ 375.00	20+ 380.00	20+ 385.00	20+ 390.00	20+ 395.00	20+ 400.00	20+ 405.00	20+ 410.00	20+ 415.00	20+ 420.00
INICIAL 18-mar-10	2234.328	2234.328	2234.257	2234.215	2234.161	2234.236	2234.343	2234.437	2234.443	2234.519	2234.612	2234.692	2234.749
Lectura CERO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18-mar-10	2234.328	2234.328	2234.257	2234.215	2234.161	2234.236	2234.343	2234.437	2234.443	2234.519	2234.612	2234.692	2234.749
19-mar-10	2234.328	2234.328	2234.257	2234.215	2234.160	2234.235	2234.342	2234.435	2234.439	2234.514	2234.608	2234.688	2234.744
Desplazamiento	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.004	-0.005	-0.004	-0.004	-0.005
19-mar-10	2234.328	2234.328	2234.257	2234.215	2234.160	2234.235	2234.342	2234.435	2234.439	2234.514	2234.608	2234.688	2234.744
Desplazamiento	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.004	-0.005	-0.004	-0.004	-0.005
20-mar-10	2234.327	2234.327	2234.256	2234.210	2234.162	2234.233	2234.340	2234.432	2234.427	2234.510	2234.595	2234.684	2234.742
Desplazamiento	-0.001	-0.001	-0.001	-0.005	0.001	-0.003	-0.003	-0.005	-0.016	-0.009	-0.017	-0.008	-0.007
20-mar-10	2234.326	2234.326	2234.254	2234.210	2234.159	2234.231	2234.339	2234.432	2234.426	2234.508	2234.588	2234.679	2234.735
Desplazamiento	-0.002	-0.002	-0.003	-0.005	-0.002	-0.005	-0.004	-0.005	-0.017	-0.011	-0.024	-0.013	-0.014
21-mar-10	2234.326	2234.326	2234.255	2234.208	2234.157	2234.225	2234.337	S/L	2234.426	S/L	2234.580	2234.658	2234.726
Desplazamiento	-0.002	-0.002	-0.002	-0.007	-0.004	-0.011	-0.006		-0.017		-0.032	-0.034	-0.023
22-mar-10	2234.327	2234.325	2234.254	2234.212	2234.157	2234.232	2234.337	2234.429	2234.433	2234.511	2234.584	2234.654	2234.702
Desplazamiento	-0.001	-0.003	-0.003	-0.003	-0.004	-0.004	-0.006	-0.008	-0.010	-0.008	-0.028	-0.038	-0.047
23-mar-10	2234.330	2234.330	2234.258	2234.217	2234.162	2234.237	2234.343	2234.436	2234.440	2234.507	2234.584	2234.650	2234.704
Desplazamiento	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	-0.001	-0.003	-0.012	-0.028	-0.042	-0.045
23-mar-10	2234.327	2234.326	2234.254	2234.212	2234.156	2234.232	2234.337	2234.428	2234.433	2234.498	2234.574	2234.640	2234.693
Desplazamiento	-0.001	-0.002	-0.003	-0.003	-0.005	-0.004	-0.006	-0.009	-0.010	-0.021	-0.038	-0.052	-0.056
24-mar-10	2234.327	2234.328	2234.257	2234.213	2234.159	2234.232	2234.340	2234.431	2234.435	2234.502	2234.577	2234.647	2234.703
Desplazamiento	-0.001	0.000	0.000	-0.002	-0.002	-0.004	-0.003	-0.006	-0.008	-0.017	-0.035	-0.045	-0.046
24-mar-10	2234.327	2234.325	2234.254	2234.211	2234.155	2234.230	2234.335	2234.428	2234.431	2234.499	2234.574	2234.643	2234.695
Desplazamiento	-0.001	-0.003	-0.003	-0.004	-0.006	-0.006	-0.008	-0.009	-0.012	-0.020	-0.038	-0.049	-0.054
25-mar-10	2234.325	2234.324	2234.254	2234.211	2234.154	2234.231	2234.335	2234.428	2234.433	2234.498	2234.574	2234.643	2234.698
Desplazamiento	-0.003	-0.004	-0.003	-0.004	-0.007	-0.005	-0.008	-0.009	-0.010	-0.021	-0.038	-0.049	-0.051

Imagen 5 Levantamientos topográficos y procesamiento de datos para obtener los desplazamientos verticales.



Gráfica 16 Referencias transversales sobre el eje de trazo



Gráfica 17 Referencias transversales sobre el eje de trazo antes y después del paso del escudo

II.6 Extensómetro de Barras

Las dos barras que se colocaron en el extensómetro se desplazan de manera vertical ascendente o descendente según el avance de la excavación. En la gráfica se puede observar el eje de las abscisas correspondiente a la fecha del levantamiento topográfico; mientras que en el eje de las ordenadas se puede ver el desplazamiento medido en milímetros, el signo negativo representa hundimientos en el suelo y el signo positivo nos indica expansión del terreno. El cadenamiento donde se instaló el extensómetro es el 20+715.250, y el monitoreo fue solo durante el paso del escudo por ese punto.

De color azul se muestra la gráfica de la barra instalada a 15.20 metros de profundidad, mientras que de color rojo se presenta la barra de 9.90 metros de longitud. Se puede observar también la hoja de cálculo utilizada para procesar la información generada por los levantamientos topográficos correspondientes.

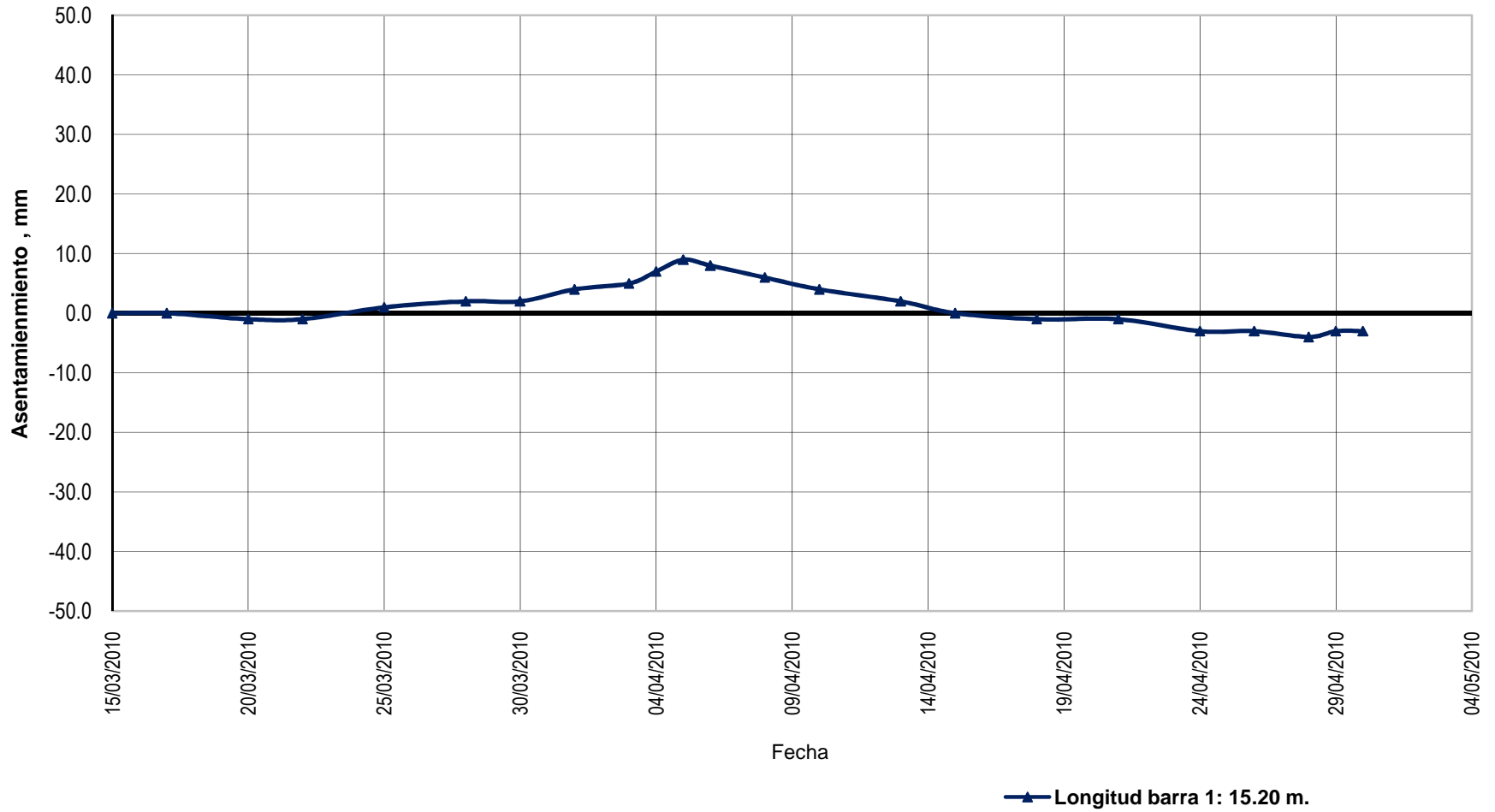
La ecuación programada en la hoja de cálculo para calcular los desplazamientos verticales en milímetros es:

$$DESPLAZAMIENTO = (LECTURA ACTUAL - LECTURA INICIAL) * 1000$$

		EXT-01		EXT-02	
		Longitud barra 1: 15.20 m.		Longitud barra 2: 9.90 m.	
No.	Fecha	Lectura [m]	Diferencia acumulada [mm]	Lectura [m]	Diferencia acumulada [mm]
1	15/03/2010	2270.174	(inicial)	2270.173	(inicial)
2	17/03/2010	2270.174	0.000	2270.173	0.000
3	20/03/2010	2270.173	-1.000	2270.174	1.000
4	22/03/2010	2270.173	-1.000	2270.174	1.000
5	25/03/2010	2270.175	1.000	2270.175	2.000
6	28/03/2010	2270.176	2.000	2270.175	2.000
7	30/03/2010	2270.176	2.000	2270.176	3.000
8	01/04/2010	2270.178	4.000	2270.179	6.000
9	03/04/2010	2270.179	5.000	2270.180	7.000
10	04/04/2010	2270.181	7.000	2270.181	8.000
11	05/04/2010	2270.183	9.000	2270.182	9.000
12	06/04/2010	2270.182	8.000	2270.180	7.000
13	08/04/2010	2270.180	6.000	2270.179	6.000
14	10/04/2010	2270.178	4.000	2270.179	6.000
15	13/04/2010	2270.176	2.000	2270.177	4.000
16	15/04/2010	2270.174	0.000	2270.175	2.000
17	18/04/2010	2270.173	-1.000	2270.174	1.000
18	21/04/2010	2270.173	-1.000	2270.174	1.000
19	24/04/2010	2270.171	-3.000	2270.172	-1.000
20	26/04/2010	2270.171	-3.000	2270.171	-2.000
21	28/04/2010	2270.170	-4.000	2270.170	-3.000

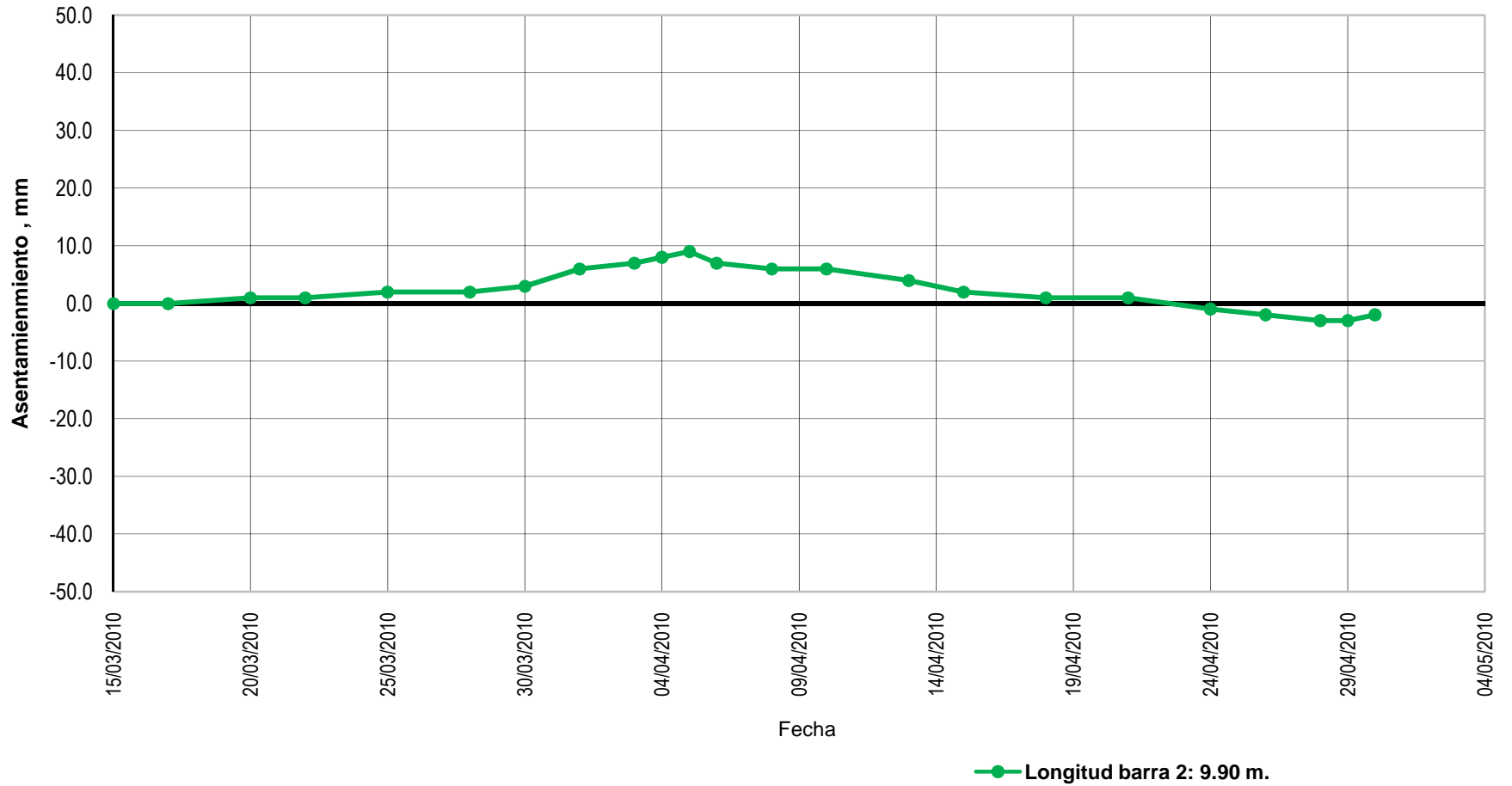
Imagen 6 Datos procesado para medir desplazamientos verticales.

ASENTAMIENTO DEL TERRENO MEDIDO CON EXTENSÓMETRO DE BARRAS



Gráfica 18 Extensómetro de barras a 15.20 metros de profundidad

ASENTAMIENTO DEL TERRENO MEDIDO CON EXTENSÓMETRO DE BARRAS



Gráfica 19 Extensómetro de barras a 9.90 metros de profundidad