



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA  
APLICADA DURANTE EL PROCESO DE  
CONSTRUCCIÓN DE LA SUBESTRUCTURA  
DEL PROYECTO MARINA 385”**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A**

HERIBERTO ANASTACIO MENDEZ

**DIRECTOR DE TESIS**

M.I. SERGIO MACUIL ROBLES



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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/094/15

Señor  
HERIBERTO ANASTACIO MENDEZ  
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 como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA APLICADA DURANTE EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA SUBESTRUCTURA DEL PROYECTO MARINA 385"**

- I. INTRODUCCIÓN
- II. ANTECEDENTES
- III. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO MARINA 385
- IV. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA SUBESTRUCTURA
- V. INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA UTILIZADA EN MARINA 385
- VI. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN
- CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA
- ANEXOS

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 21 de septiembre del 2015.  
EL PRESIDENTE

M.I. GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

GLR/MTH\*gar.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>7</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES</b> .....	<b>11</b>
1.1    ¿Qué es la instrumentación? .....	16
1.2    Objetivos de la instrumentación .....	17
1.3    Tipo de tecnología empleada en la fabricación de instrumentos .....	17
1.3.1    Cuerda vibrante (Vibrating Wire).....	18
1.3.2    Sistemas Microelectromecánicos (Microelectromechanical Systems-MEMS).....	19
1.3.3    Fibra óptica.....	20
1.4    Clasificación de la instrumentación.....	22
1.4.1    Instrumentación geotécnica .....	22
1.4.2    Instrumentación estructural.....	22
1.4.3    Instrumentación sísmica.....	23
1.4.4    Instrumentación automatizada .....	23
1.5    Procedimiento general para elaborar un proyecto de instrumentación.....	23
1.6    Tipos de instrumentos usados en la instrumentación.....	24
1.6.1    Instrumentos para medición de presiones.....	24
1.6.2    Instrumentos para medir desplazamientos internos .....	26
1.6.3    Instrumentos para medir movimientos superficiales .....	28
1.7    Ventajas y desventajas de la instrumentación .....	30
<b>CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO MARINA 385</b> .....	<b>31</b>
2.1    Localización.....	31
2.2    Características generales del proyecto.....	31
2.3    Condiciones geotécnicas del sitio .....	32
2.3.1    Zonificación geotécnica .....	32
2.3.2    Coeficiente sísmico .....	35
2.3.3    Hundimiento regional.....	35
2.4    Estratigrafía .....	35
2.4.1    Trabajos de exploración .....	36
2.4.2    Resultados de ensayos de laboratorio .....	37
2.4.3    Secuencia estratigráfica .....	39
2.4.4    Condiciones piezométricas .....	41
<b>CAPÍTULO 3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA SUBESTRUCTURA</b> .....	<b>44</b>



3.1	Análisis y diseño geotécnico de la subestructura .....	44
3.1.1	Solución de la cimentación .....	44
3.1.2	Capacidad de carga de las pilas de cimentación .....	44
3.1.3	Estabilidad de la excavación.....	50
3.1.4	Implicaciones para el diseño estructural.....	51
3.1.5	Materiales .....	55
3.2	Proceso constructivo de la subestructura .....	55
3.2.1	Sistema constructivo “Top-Down” .....	55
<b>CAPÍTULO 4. INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA UTILIZADA EN MARINA 385</b>		<b>68</b>
.....		
4.1	Proyecto ejecutivo del sistema de instrumentación.....	68
4.1.1	Alcance .....	68
4.1.2	Objetivo .....	68
4.1.3	Metodología de instrumentación .....	69
4.1.4	Información de referencia.....	69
4.1.5	Recursos humanos .....	69
4.2	Programa de instrumentación .....	70
4.3	Instalación del sistema de instrumentación.....	71
4.3.1	Instalación de inclinómetros verticales.....	71
4.3.2	Instalación de referencias topográficas.....	78
4.4	Medición del sistema de instrumentación .....	81
4.4.1	Medición de inclinómetros verticales.....	82
4.4.2	Medición de referencias topográficas.....	84
4.5	Procesamiento de datos del sistema de instrumentación.....	87
4.5.1	Procesamiento de inclinómetros verticales .....	87
4.5.2	Revisión de resultados .....	90
4.5.3	Informe mensual de resultados del sistema de instrumentación .....	90
<b>CAPÍTULO 5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....</b>		<b>92</b>
5.1	Desplazamientos permitidos en la subestructura .....	92
5.1.1	Alarmas de evaluación de riesgo en las deformaciones de la subestructura .....	92
5.2	Interpretación de resultados y comentarios finales .....	92
5.2.1	Resultados de Inclinómetros verticales.....	93
5.2.2	Referencias Topográficas .....	95
5.3	Comparativa de resultados: desplazamiento teórico vs máximos desplazamientos medidos en inclinómetros verticales.....	99
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES .....</b>		<b>100</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>		<b>102</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>103</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca lacustre de México (1519). Fuente: <a href="https://labrujula.nexos.com.mx/?p=1363">https://labrujula.nexos.com.mx/?p=1363</a> .....	11
Figura 2. Cuenca de México, antiguos cuerpos de agua y ciudades importantes. Fuente: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Cuenca_de_M%C3%A9xico">https://es.wikipedia.org/wiki/Cuenca_de_M%C3%A9xico</a> .....	12
Figura 3. Historial de hundimientos entre 1991 y 2001 en la Catedral Metropolitana. Fuente: <a href="https://www.slideshare.net/jackruiz581/historia-y-actualidad-del-hundimiento-regional">https://www.slideshare.net/jackruiz581/historia-y-actualidad-del-hundimiento-regional</a> .....	14
Figura 4. Espesor de la cuenca sedimentaria donde se localiza la CDMX. Fuente: <a href="http://ciencia.unam.mx/leer/652/-que-ocurrio-el-19-de-septiembre-de-2017-en-mexico-">http://ciencia.unam.mx/leer/652/-que-ocurrio-el-19-de-septiembre-de-2017-en-mexico-</a> .....	15
Figura 5. Principio básico del funcionamiento de los sensores de cuerda vibrante. Fuente: <a href="http://cuerdavibrante.blogspot.com/">http://cuerdavibrante.blogspot.com/</a> .....	18
Figura 6. Magnitud del tamaño de las tecnologías MEMS. Fuente: <a href="http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4966/fichero/e.+Tecnologia+MEMS.pdf">http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4966/fichero/e.+Tecnologia+MEMS.pdf</a> .....	19
Figura 7. Fibra óptica. Fuente: <a href="https://concepto.de/fibra-optica/">https://concepto.de/fibra-optica/</a> .....	21
Figura 8. Piezómetros de cuerda vibrante. Fuente: <a href="http://muchik.com/piezometro-de-cuerda-vibrante/">http://muchik.com/piezometro-de-cuerda-vibrante/</a> .....	24
Figura 9. Detalle de la instalación del piezómetro abierto (piezómetro Casagrande). Fuente: Instrumentación y Monitoreo del comportamiento de Obras Hidráulicas .....	25
Figura 10. Celda de presión total (tipo hidráulica). Fuente: <a href="https://www.rstinstruments.com/">https://www.rstinstruments.com/</a> .....	25
Figura 11. Esquema de los componentes básicos de un Inclinómetro vertical. Fuente: Instrumentación y Monitoreo del comportamiento de Obras Hidráulicas .....	26
Figura 12. Clinómetro (biaxial). Fuente: <a href="https://www.rstinstruments.com/">https://www.rstinstruments.com/</a> .....	26
Figura 13. Extensómetro interno de barras y extensómetro externo de juntas y grietas (eléctrico). Fuente: Instrumentación y Monitoreo del comportamiento de Obras Hidráulicas .....	27
Figura 14. Deformómetro mecánico con sonda USBR. Fuente: Instrumentación y Monitoreo del comportamiento de Obras Hidráulicas.....	27
Figura 15. Celda de asentamiento. Fuente: <a href="https://www.rstinstruments.com/">https://www.rstinstruments.com/</a> .....	28
Figura 16. Estación total automatizada TS60 Leica. Fuente: <a href="https://www.instop.es/nova/leica_nova_ts60.php">https://www.instop.es/nova/leica_nova_ts60.php</a> .....	28
Figura 17. Banco de nivel. Fuente: Prueba de carga y precarga para el Nuevo Aeropuerto de Ciudad de México, 2013. ....	29
Figura 18. Referencias topográficas instaladas en suelo y pavimento. Fuente: Prueba de carga y precarga para el Nuevo Aeropuerto de Ciudad de México, 2013. ....	29
Figura 19. Localización del proyecto MARINA 385. Fuente: Memoria descriptiva de Marina 385 .....	31
Figura 20. Predio donde se ubica MARINA 385 en el de 1974. Fuente: Memoria descriptiva de Marina 385 .	31
Figura 21. Orientación de la Torre 1 y Torre 2. Fuente: Cortesía de proyecto Marina 385 .....	32
Figura 22. Zonificación geotécnica del Distrito Federal y localización del proyecto MARINA 385. Fuente: <a href="http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/742.htm">http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/742.htm</a> .....	34
Figura 23. Plano de curvas de hundimiento regional (1983-2004). Fuente: Recomendaciones geotécnicas para la solución de cimentación de Marina 385 .....	35
Figura 24. Ubicación de sondeos Exploratorios. Fuente: Exploración geotécnica en el predio Marina Nacional No. 385, Col. Verónica Anzures.....	37
Figura 25. Perfil estratigráfico del proyecto MARINA 385. Fuente: Plano arquitectónico M385-12-ARQ-III-33-0033-P-01 .....	40
Figura 26. Presión de poro medida en la estación piezométrica. Fuente: Exploración geotécnica en el predio Marina Nacional No. 385, Col. Verónica Anzures.....	42
Figura 27. Condiciones piezométricas del sitio, mediciones tomadas con el piezocono. Fuente: Exploración geotécnica en el predio Marina Nacional No. 385, Col. Verónica Anzures.....	43

Figura 28. Gráfica Asentamiento VS Diámetro de pila. Fuente: Exploración geotécnica en el predio Marina Nacional No. 385, Col. Verónica Anzures..... 49

Figura 29. Presiones sobre el muro Milán en la colindancia con la plaza comercial. Fuente: Exploración geotécnica en el predio Marina Nacional No. 385, Col. Verónica Anzures..... 54

Figura 30. Presiones sobre el muro Milán en la en la periferia donde no hay edificios colindantes. Fuente: Exploración geotécnica en el predio Marina Nacional No. 385, Col. Verónica Anzures ..... 54

Figura 31. Ejecución de trabajos preliminares dentro del predio. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385. 56

Figura 32. Excavación para construcción de brocal e izado de acero de refuerzo para pila. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385..... 57

Figura 33. Posición final de columnas metálicas. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385..... 57

Figura 34. Excavación, maniobrad de izado de acero y colado de muro Milán. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385 ..... 58

Figura 35. Proceso constructivo Top-Down – Etapas 1 a 4. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385 ..... 58

Figura 36. Sistema de bombeo (pozo de bombeo y tubo de observación). Fuente: Plano Sistema de bombeo para el abatimiento del nivel freático - TGC..... 59

Figura 37. Proceso constructivo Top-Down – Etapa 5. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385 ..... 59

Figura 38. Construcción del sistema de pisos en nivel +1.8 m. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385..... 60

Figura 39. Proceso constructivo Top-Down – Etapa 6. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385 ..... 60

Figura 40. Retiro de material en lumbrera y carga de material producto de la excavación. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385..... 61

Figura 41. Excavación al nivel -3.0 m, apuntalamiento y armado de losacero. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385 ..... 61

Figura 42. Proceso constructivo Top-Down – Etapas 7 y 8. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385 ..... 62

Figura 43. Excavación al nivel -6.0 m. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385..... 62

Figura 44. Montaje de las traves metálicas (primarias y secundarias) en el nivel -5.4 m. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385..... 63

Figura 45. Proceso constructivo Top-Down – Etapas 9 y 10. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385 ..... 63

Figura 46. Colocación de traves metálicas y cimbra en el nivel -8.4 m. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385..... 64

Figura 47. Proceso constructivo Top-Down – Etapas 11 y 12..... 64

Figura 48. Proceso constructivo Top-Down – Etapas 13 y 14. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385 ..... 65

Figura 49. Proceso constructivo Top-Down – Etapa 15. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385..... 65

Figura 50. Sistema de entrepisos. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385 ..... 66

Figura 51. Proceso constructivo Top-Down – Etapas 16 y 17. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385 ..... 66

Figura 52. Proceso constructivo Top-Down – Etapas 18 y 19. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385 ..... 67

Figura 53. Planta de ubicación de los once inclinómetros verticales. Fuente: Elaboración propia ..... 71

Figura 54. Elementos que integran el Inclinómetro vertical. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385 ..... 72

Figura 55. Colocación de tubería de PVC de 6” en armado de parrilla. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385..... 74

Figura 56. Izaje del armado del muro y colocación dentro de la excavación. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385 ..... 74

Figura 57. Limpieza de tubería de PVC 6” . Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385 ..... 75

Figura 58. Separadores en la tubería de inclinómetro. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385..... 75

Figura 59. Instalación de tubería y acoplamiento de tubos adicionales. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385..... 76

*Figura 60. Elaboración de lechada en obra y colocación de lechada en espacio anular. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385 ..... 76*

*Figura 61. Inclínómetro vertical instalado. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385 ..... 77*

*Figura 62. Referencias topográficas superficiales instaladas en muro Milán. Fuente: Elaboración propia ..... 79*

*Figura 63. Referencias topográficas interiores instaladas en nivel -15.90 m. Fuente: Elaboración propia..... 80*

*Figura 64. Referencias topográficas interiores instaladas en nivel -18.70 m. Fuente: Elaboración propia..... 81*

*Figura 65. Sonda falsa (dummy), utilizada para verificar acceso libre en tubería ABS. Fuente: <http://www.rstinstruments.com/index> ..... 83*

*Figura 66. Alineación de la sonda en tubería ABS para toma de lecturas. Fuente: Elaboración propia..... 83*

*Figura 67. Equipo topográfico y accesorios usados para medición de las referencias topográficas. Fuente: Proyecto Hidroeléctrico Chicoasén II, año 2016 ..... 85*

*Figura 68. Medición de referencias superficiales. Fuente: <http://axisima.com/en-que-consiste-la-nivelacion-topografica/>..... 85*

*Figura 69. Gráfica general del inclinómetro vertical en eje A (ejemplo). Fuente: Elaboración propia ..... 88*

*Figura 70. Gráfica Tiempo vs Desplazamiento del máximo desplazamiento registrado (ejemplo) . Fuente: Elaboración propia ..... 89*

*Figura 71. Gráfica Tiempo vs Deformación de las referencias topográficas Nivel -15.90 m. Fuente: Elaboración propia ..... 98*

*Figura 72. Gráfica Tiempo vs Deformación de referencias topográficas Nivel -18.70 m. Fuente: Elaboración propia ..... 98*

*Figura 73. Desplazamiento teórico vs desplazamientos medidos de los inclinómetros verticales. Fuente: Elaboración propia ..... 99*

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Sondeos de exploración .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 2. Resultados de ensayos triaxiales UU.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 3. Resultados de ensayos de consolidación.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 4. Medición de estaciones piezométricas y pozo de observación .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 5. Presión de poro medida con piezocono .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 6. Capacidad de carga última de las pilas .....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 7. Fricción negativa sobre el muro Milán.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 8. Capacidad de carga admisible en pilas.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 9. Módulos de reacción estático .....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 10. Resumen de la instalación de los once inclinómetros verticales.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 11. Resumen de la instalación de las Referencias topográficas superficiales .....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 12. Resumen de la instalación de las Referencias topográficas interiores .....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 13. Frecuencia de mediciones para el sistema de instrumentación .....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 14. Desplazamientos máximos en los ejes A y B.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 15. Distribución de referencias topográficas superficiales .....</i>	<i>95</i>

## **OBJETIVOS**

### Objetivo General

- ❖ Detectar oportunamente desplazamientos laterales fuera del rango teórico esperado, durante la construcción de la subestructura, para tomar acciones preventivas o correctivas en tiempo y forma

### Objetivos Específicos

- ❖ Resaltar la importancia que tiene la instrumentación durante la etapa de construcción de las subestructuras en edificaciones desplantadas en la Ciudad de México
- ❖ Describir el tipo de instrumentación instalado durante el proceso constructivo de la subestructura
- ❖ Monitorear el comportamiento de los desplazamientos laterales del suelo, generados durante las distintas etapas del procedimiento constructivo de la subestructura
- ❖ Procesar la información tomada en campo para su análisis respectivo y de esta manera elaborar graficas de comportamiento del muro Milán perimetral
- ❖ Analizar las gráficas de comportamiento, para elaborar un historial de comportamiento de la subestructura a lo largo de su etapa de construcción

## INTRODUCCIÓN

La Ciudad de México (CDMX) es el centro urbano más importante del país, por ser la principal sede política, académica, económica, financiera, empresarial y cultural; por lo tanto, surge la necesidad de un aprovechamiento óptimo de los espacios físicos donde se han construido grandes y pesadas superestructuras, mismas que transmiten sus cargas al suelo por medio de sistemas de cimentación cada vez más complejos y profundos. Actualmente se requiere de un desarrollo matemático, analítico y constructivo detallado para resolver el problema de la limitación de los espacios, resultando subestructuras de grandes dimensiones por el servicio que ofrecen como elementos de cimentación y contención; estacionamientos subterráneos, cisternas y bodegas.

Los avances tecnológicos, la experiencia en técnicas y equipos de construcción son las herramientas más importantes que permiten enfrentar los retos de profundizar más en la cimentación de las edificaciones construidas en la zona urbana y conurbada de la CDMX.

Las etapas de excavación en los suelos de la CDMX son complejas y peligrosas, ya que los suelos se caracterizan por ser altamente deformables, además que la ciudad está en una zona de alta sismicidad, afectada por el hundimiento regional y tener un nivel freático importante.

El proyecto desarrollado a lo largo de este documento será nombrado **MARINA 385**, ubicado en el N°385 de la Avenida Marina Nacional, en la colonia Verónica Anzures, cuenta con un área total de 4,048.50 metros cuadrados ( $m^2$ ) ocupados en su totalidad por cinco niveles de sótanos subterráneos, a partir del nivel de banquetta se construirá un edificio, que visto en planta tendrá forma de "T", integrado por una planta baja con doble altura, seguido de 20 niveles de entresijos y en la azotea se ubicaran la zona de amenidades.

**MARINA 385** fue construido por la empresa Ingenieros Civiles Asociados (ICA), la construcción de la subestructura se realizó por medio de una secuencia de excavación y construcción mediante el sistema "Top-Down". En el Capítulo 3.2 se describe detalladamente el proceso constructivo de la subestructura.

Para corroborar que la cimentación del proyecto se comportó satisfactoriamente respecto a lo diseñado, se instaló un sistema de instrumentación a base de once inclinómetros verticales, los cuales permitieron medir y analizar el comportamiento de los desplazamientos laterales del muro Milán a diferentes profundidades mediante gráficas de comportamiento, estas graficas se elaboraron con información recabada en sitio, con el propósito de identificar anomalías en los procesos constructivos y de ser el caso comunicar al constructor para tomar las acciones correspondientes.

Para completar el sistema de instrumentación se colocaron referencias topográficas superficiales en el eje longitudinal del muro Milán para medir los posibles desplazamientos transversales y verticales en superficie que pudiera sufrir el muro durante los procesos de excavación y estructuración de la subestructura. En la plantilla de las losas de fondo se instalaron referencias topográficas para medir

las deformaciones (expansiones y asentamientos) del suelo durante el periodo que la excavación permaneció abierta y la espera de iniciar la construcción de las losas de fondo.

El presente documento de titulación, está integrado en su totalidad por seis capítulos, los cuales se resumen a continuación:

Iniciando con una breve reseña de la transformación de la Cuenca de México a lo largo de la historia, descripción del tipo de suelo de la CDMX; se mencionan los instrumentos, aparatos y sensores que existen para instrumentar edificaciones, descripción de los tipos de tecnologías empleadas actualmente, por último se mencionan las ventajas y desventajas de la instrumentación geotécnica y estructural.

Posteriormente, se describe detalladamente en que consiste el proyecto **Marina 385**, resaltando la localización, características generales del proyecto, alcances generales del proyecto, estratigrafía y condiciones geotécnicas del sitio.

En el tercer capítulo se mencionan los parámetros considerados en el análisis y diseño geotécnico de la subestructura, se describe la solución de la cimentación y se desarrolla el proceso constructivo “Top-Down” aplicado a la subestructura.

Posteriormente se describen las etapas del sistema: instalación, medición y procesamiento de la instrumentación geotécnica instalada. Una vez teniendo la totalidad de los datos de campo obtenidos durante el periodo de medición del sistema de instrumentación, se analizó el comportamiento de los once Inclinómetros verticales y de las referencias topográficas, superficiales e interiores, para realizar la interpretación grafica de los resultados.

Por último, se emiten las conclusiones del sistema de instrumentación instalado derivado de las gráficas de comportamiento de los instrumentos medidos durante el proceso constructivo de la subestructura.

Adicionalmente, en el apartado de **Anexos** se incluyen los documentos que validan las conclusiones y el objetivo general de esta tesis de titulación.



## CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

Para entender por qué surge la necesidad e importancia de instrumentar las edificaciones que se construyen en la CDMX y sus alrededores, primero se deben conocer las condiciones geológicas y geotécnicas de la Cuenca de México, características físicas de cómo estaba integrada la CDMX durante su fundación y construcción, hasta llegar a la época actual.

En el año 1324 los aztecas llegaron a la cuenca lacustre de México, asentándose en una pequeña isla del lago de Texcoco llamada Tenochtitlan “*Piedra surgiendo del agua*”, ahí fundaron una imponente ciudad y la nombraron México-Tenochtitlan, diseñada con una geometría cuadrada de aproximadamente 3.2 km por lado, formada de avenidas y canales alrededor de un centro ceremonial integrado por pirámides, templos y palacios.

La isla capital del imperio azteca se comunicaba con la rivera del lago de Texcoco mediante cuatro calzadas construidas con pilotes de madera, roca y tierra: Tepeyac (1), Tenayuca (2), Tlacopan (3) e Iztapalapa (4), ver figura 1.



Figura 1. Cuenca lacustre de México (1519). Fuente: <https://labrujula.nexos.com.mx/?p=1363>

La CDMX es una de las ciudades más antiguas del continente americano y la sexta ciudad más poblada a nivel mundial (2019), desplantada sobre las ruinas de México-Tenochtitlan, alberga una población de 8,985,339 habitantes (INEGI 2015) contenida en un área aproximada de 1,495 km<sup>2</sup>.

La figura 2 muestra la ubicación actual de la Cuenca de México que ocupa un área de 9,600 km<sup>2</sup>, situada a 2,250 m.s.n.m, tiene un contorno irregular con 125 km de largo y 75 km de ancho. La cuenca está rodeada por altas montañas, limitada al norte por las Sierras de Pachuca, Tepotztlán, Guadalupe, Patlachique y Tepozán; al sur está limitada por la Sierra de Chichinautzin; acotada al este por la Sierra Nevada, Iztaccíhuatl y Popocatepetl y al oeste está limitada por la Sierra de Monte Alto y de las Cruces.



Figura 2. Cuenca de México, antiguos cuerpos de agua y ciudades importantes. Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cuenca\\_de\\_M%C3%A9xico](https://es.wikipedia.org/wiki/Cuenca_de_M%C3%A9xico)

Los suelos lacustres que existen en la CDMX provocan graves y complejos problemas durante la etapa de diseño y construcción de las cimentaciones de edificaciones elevadas y de gran peso, los cuales se solucionan gracias a los conocimientos técnicos y experiencia de ingenieros especializados en cada una de las áreas de la ingeniería.

Los tres factores principales que un ingeniero debe considerar para diseñar y construir edificaciones (subestructura y estructura) son los siguientes:

- Propiedades índices y mecánicas del subsuelo
- El hundimiento regional del sitio
- Zona sísmica

### **Propiedades índices y mecánicas del subsuelo**

A continuación se mencionan algunas propiedades del subsuelo de la CDMX y sus características tan complejas que no se encuentran fácilmente en alguna otra parte del mundo.

Los sedimentos lacustres de origen volcánico presentan propiedades índices y mecánicas singulares, que no se ajustan a los patrones de comportamiento de la mayoría de los suelos, su comportamiento mecánico, estático y dinámico es bastante complejo y a la fecha sigue siendo un desafío poder hacer una interpretación precisa.

El subsuelo de la ciudad está compuesto por sedimentos heterogéneos, volcánicos, lacustres, con una proporción y variedad de microfósiles que adicionan compuestos solubles generados por la alteración de sus exoesqueletos y que forman parte de la microestructura del suelo, esto influye de tal manera que los suelos no pueden considerarse dentro de una clasificación simple.

Los suelos de la CDMX tienen propiedades únicas, ya que el contenido de agua es mayor a 400 %, el índice de plasticidad excede el 300% y el índice de compresión (Cd) puede llegar a un valor de 10, cuando en la mayoría de los suelos es menor a 1, el ángulo de fricción es de 43° comparable en magnitud con las arenas. Por lo tanto, se clasifica a los sedimentos lacustres de la CDMX como altamente compresibles.

### **Hundimiento regional**

La constante sobreexplotación de los mantos acuíferos del Valle de México es preocupación alarmante debido al descenso continuo del nivel de los mantos acuíferos, provocando la disminución de las presiones del agua intersticial e incrementa el esfuerzo que actúa en la parte sólida del subsuelo, lo cual genera hundimientos diferenciales de la superficie que casi siempre terminan por afectar a las construcciones.

El problema del hundimiento regional no solo se limita a la CDMX, ya que en la actualidad se han presentado agrietamientos y hundimientos diferenciales en ciudades como Celaya, Irapuato, Querétaro, Torreón y Aguascalientes, también comienza a manifestarse en las ciudades de Toluca y Puebla.

En el año 2016, en la CDMX existían más de 1,600 pozos profundos en operación, con una extracción de agua aproximada de 39.6 m<sup>3</sup>/s. Pero también son significativas las pérdidas de agua por la extracción en pozos clandestinos o no regulados, evaporación solar y pozos mal sellados o abandonados.

El resultado de la explotación excesiva de los mantos acuíferos es el hundimiento regional acelerado, ya que desde 1856 a la actualidad han sido casi 9.0 m de hundimiento, según la referencia de la Catedral Metropolitana que actualmente se hunde unos 6 a 7 centímetros por año. Con información proporcionada por el Sistema de Agua de la Ciudad de México (1995) se logró identificar las zonas con mayor velocidad de hundimiento, las cuales son el Peñón del Marqués con alarmantes 40 cm/año, Coapa y Ecatepec con 20 cm/año y Chalco con 30 cm/año.

Un ejemplo claro del hundimiento regional es la Catedral Metropolitana, ya que gracias al monitoreo y análisis de la información proporcionada por 4 bancos de nivel profundo instalados a 40, 60, 80 y 100 m de profundidad (1991 a 2007), se obtuvieron los datos presentados en la figura 3.

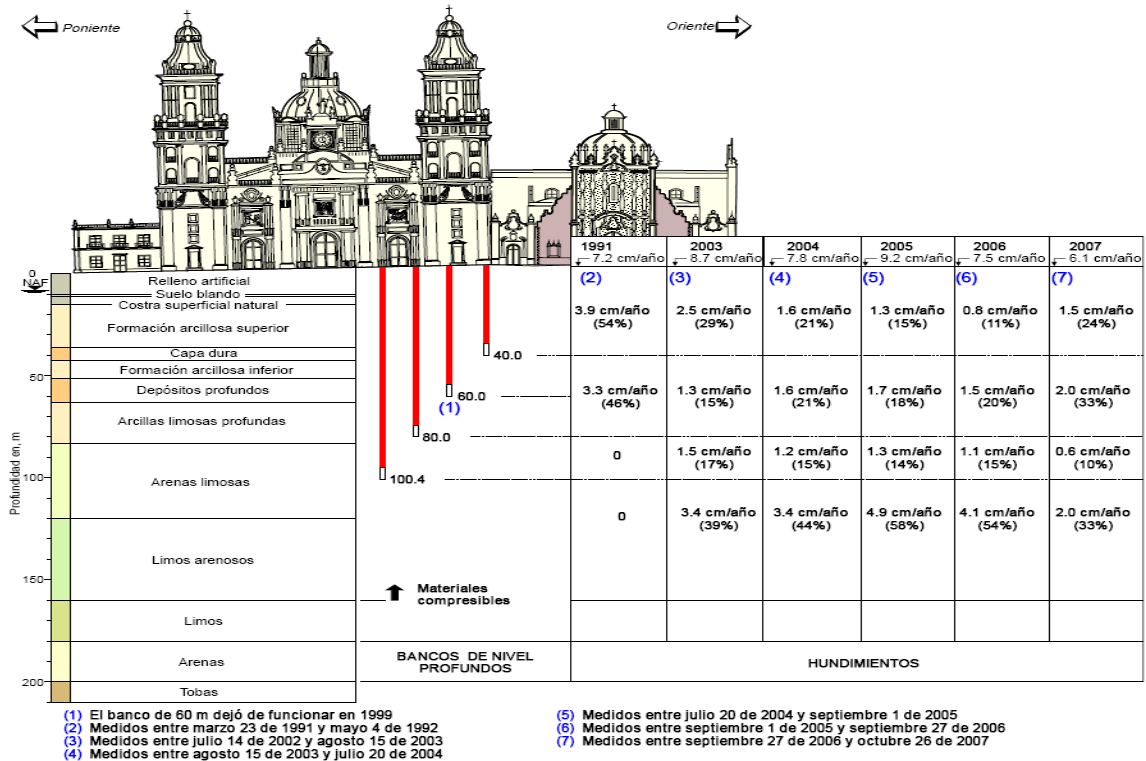


Figura 3. Historial de hundimientos entre 1991 y 2001 en la Catedral Metropolitana. Fuente: <https://www.slideshare.net/jackruiz581/historia-y-actualidad-del-hundimiento-regional>

El hundimiento regional de la CDMX es consecuencia inmediata de la extracción excesiva de agua que a su vez indujo consolidación de las dos formaciones de arcillas blandas características del subsuelo. Existía la hipótesis de que al paso de los años la consolidación se terminaría y los hundimientos se reducirían; sin embargo, la consolidación aún no termina y además que las arcillas duras y los materiales granulares por debajo de los 80 m de profundidad aportan un porcentaje de hundimiento.

### Sismicidad

México se localiza en una zona de alta sismicidad, ya que las placas de Cocos y la Rivera provocan subducción con la placa Norteamérica, la primera placa se mueve con una velocidad relativa de 5cm/año, respecto a la placa continental; mientras que la segunda placa se desplaza 2.5 cm/año aproximadamente.

En los últimos 34 años la CDMX fue afectada gravemente por dos sismos de intensidad considerable, el primero se presentó el 19 de septiembre de 1985 frente a la costa de Michoacán y Guerrero con magnitud de 8.0 Ms (magnitud de onda superficial) y en algunas partes de la ciudad alcanzó una intensidad de IX en la escala de Mercalli, este sismo causó que muchos edificios sufrieran

asentamientos excesivos e inclinaciones importantes, incluso se produjo el derrumbe total de algunas estructuras.

El sismo del 19 de septiembre de 2017 se presentó por la ruptura dentro de la placa oceánica de Cocos, por debajo del continente, a una profundidad de 57 km y a una distancia de 120 km al sur de la CDMX, provocando que las sacudidas en la ciudad fueran violentas y devastadoras, registrándose una magnitud de 7.1 Ms.

A consecuencia de estos eventos tan desafortunados, se llega a la conclusión que existe una fuerte correlación entre la distribución espacial del daño producido y la ubicación de los sedimentos lacustres, como se muestra en la figura 4. Por lo tanto, se tiene la certeza de que las características y propiedades del subsuelo de la CDMX desempeñaron un papel principal en tan fatal evento.

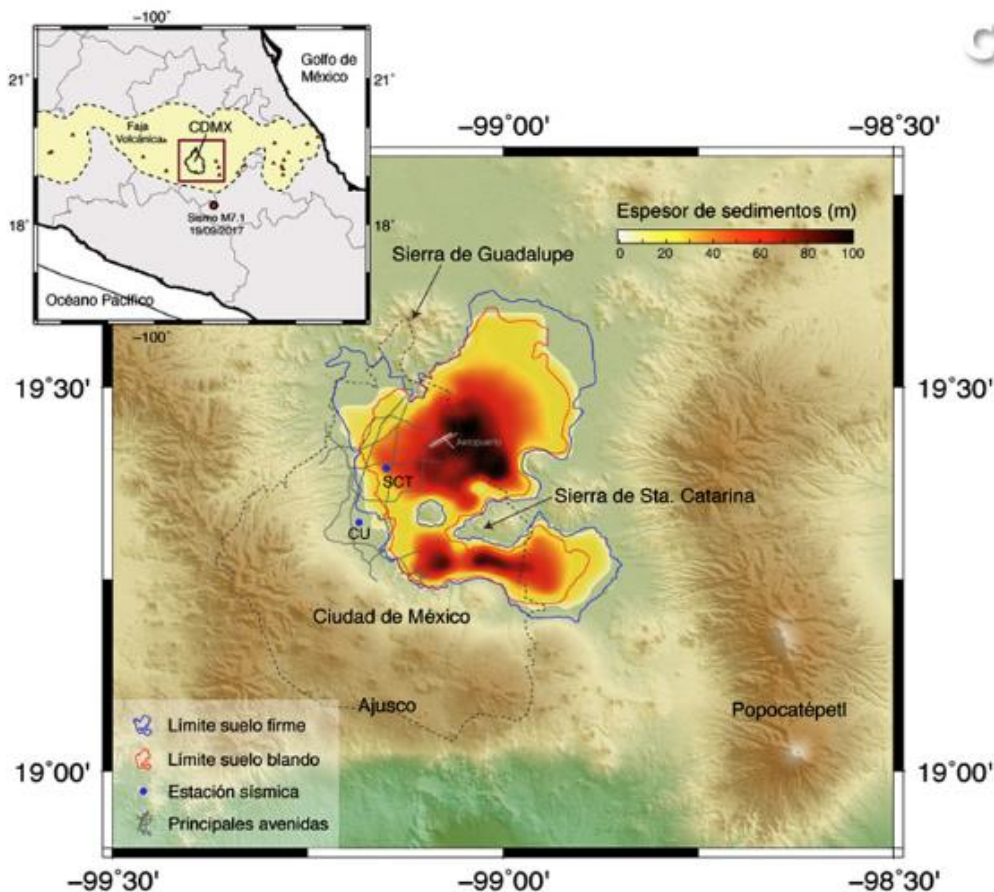


Figura 4. Espesor de la cuenca sedimentaria donde se localiza la CDMX. Fuente: <http://ciencia.unam.mx/leer/652/-que-ocurrio-el-19-de-septiembre-de-2017-en-mexico>

Por lo tanto, para lograr un diseño estructural y geotécnico que se adapte a las condiciones actuales de los suelos de la CDMX se debe tener siempre en la mente los tres factores antes mencionados (propiedades del suelo, hundimiento regional y sismicidad), considerar la experiencia de los constructores, tomar en cuenta las conclusiones plasmadas en los estudios geológicos, geotécnicos y pruebas de campo.



Durante la etapa de construcción se recomienda la instalación de instrumentación geotécnica, instrumentación estructural e instrumentación sísmica, adecuada para salvaguardar la seguridad e integridad del personal y que sea suficiente para tener la certeza que la construcción del proyecto está desarrollándose acorde al diseñado y a la planeación constructiva.

### 1.1 ¿Qué es la instrumentación?

En el campo de la ingeniería, la instrumentación se refiere al uso de instrumentos, aparatos de adquisición de datos, aplicación de procedimientos y técnicas especiales para obtener información cuantitativa específica de las variables que permiten analizar el comportamiento de una estructura durante el proceso constructivo que se aplique. El objetivo principal de la instrumentación es evaluar la seguridad y comportamiento del proyecto para tomar decisiones racionales en el caso de acciones preventivas o correctivas.

Se conocen diferentes interpretaciones al concepto de instrumentación, pero las siguientes definiciones resumen de manera breve y precisa la comprensión del concepto:

- *“La instrumentación es una combinación de filosofía, conocimientos y actividades prácticas, que requieren de perspicacia, experiencia, aparatos y técnicas de medición, para obtener información cualitativa o cuantitativa necesaria para evaluar la seguridad de una estructura o resolver algún problema geotécnico”*
  
- *“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 casos críticos tomar acciones preventivas o correctivas, tanto en la etapa constructiva y de operación”*

Los profesionistas que no están familiarizados con la instrumentación podrían creer que, para obtener la información en campo, solo se necesita tomar un instrumento del almacén, instalarlo en el proyecto y obtener lecturas del mismo; sin embargo, el éxito de cualquier proyecto de instrumentación depende de un detallado trabajo de ingeniería y planeación, así como de la participación de personal capacitado en todos los procesos que involucre la instrumentación: instalación, medición, procesamiento y análisis de la información.

Sin embargo, debe tenerse presente que el simple hecho de instrumentar un proyecto no garantiza que los diseños sean buenos o las obras sean seguras, incluso puede darse el caso que los instrumentos inadecuados o instalados en sitios equivocados proporcionen información inútil, confusa y que distraigan la atención de los ingenieros impidiendo detectar anomalías que existieran o se desarrollen en otras partes del proyecto no instrumentado. Por lo tanto, se requiere conocer lo mejor posible el proyecto para determinar con claridad los objetivos de la instrumentación.

## 1.2 Objetivos de la instrumentación

La instrumentación tiene como fin, conocer el comportamiento de las estructuras desde la etapa de construcción para verificar hipótesis, criterios de diseño y ajustar especificaciones de construcción, y durante la vida útil de las estructuras para detectar oportunamente cualquier anomalía que se presente.

Este conocimiento permite evaluar en todo momento las condiciones de seguridad del proyecto, particularmente después de la ocurrencia de cargas normales y eventos extraordinarios como sismos de gran magnitud, grandes avenidas de agua, precipitaciones intensas y deslizamientos del terreno. También permite observar la tendencia a largo plazo de las variables que pueden indicar un comportamiento anormal y peligroso en el proyecto o estructuras colindantes.

Objetivos principales de la instrumentación:

- Verificar las hipótesis de diseño geotécnico y estructural, conociendo la influencia de diversos factores y anomalías que intervienen en el comportamiento de las etapas constructivas, así como la necesidad de eventuales cambios en el diseño y su impacto en la seguridad
- Conocer el comportamiento de las edificaciones (estructura y subestructura) durante las diversas etapas de construcción y la operación bajo condiciones de cargas normales o extraordinarias, con el fin de evaluar la seguridad y corregir con oportunidad las anomalías o deficiencias que se presenten
- Obtener conocimientos y experiencias que permitan mejorar los diseño y procesos constructivos de los diferentes tipos de estructuras, reduciendo tiempos de construcción y costos, sin demeritar o comprometer la seguridad durante las diversas etapas constructivas del proyecto

## 1.3 Tipo de tecnología empleada en la fabricación de instrumentos

Los avances tecnológicos aplicados a la instrumentación, permite evaluar con mayor exactitud los parámetros y variables que fueron establecidos en la etapa de planeación, por supuesto que la información obtenida en campo debe ser analizada de manera profesional y responsable, por personal capacitado, ya que dicha información es muy valiosa. El criterio que se utilice para analizarla es lo que realmente da la validación y soporte para determinar la optimización en los diseños o tomar las medidas correctivas o preventivas necesarias.

Depende de muchos factores (tipo de estructura, parámetros a medir, precio de instrumento, fabricante, marca, tiempo en de entrega, etcétera) saber cuál será la tecnología de instrumentación conveniente para cada proyecto, pero indudablemente el que tiene la responsabilidad absoluta para elegir los instrumentos y aparatos será el equipo de ingenieros instrumentistas. Si no se tiene el tipo adecuado de tecnología, instrumentos y lugar conveniente para instalarlo, los resultados no serán los adecuados para hacer la interpretación del comportamiento de las estructuras instrumentadas.

A continuación, se describen los tipos de tecnologías comúnmente utilizadas en los sensores de la instrumentación:

### 1.3.1 Cuerda vibrante (Vibrating Wire)

Esta tecnología está basada en el principio de “resonancia” y consiste de una cuerda vibrante que sometida a una frecuencia de vibración determinada responderá cuando el sistema entre en resonancia, ya que la elongación de la cuerda variará dependiendo de la presión externa a la que está siendo sometido el sistema.

Así como las diferentes frecuencias resonantes de un violín dan origen a diferentes notas musicales, las diferentes oscilaciones de una cuerda vibrante dan lugar a diferentes masas y cargas de fuerza, que son interpretadas como partículas fundamentales.

Los sensores de cuerda vibrante, son relativamente nuevos que derivan de los recientes avances en el campo de la electrónica, el funcionamiento básico de los sensores de cuerda vibrante se muestra en figura 5. El cable se coloca dentro de una cámara que contiene el fluido a una presión desconocida y sometido a un campo magnético, el cable resuena a su frecuencia natural de acuerdo con su tensión, que varía con la presión, esa frecuencia se mide por circuitos electrónicos integrados en el dispositivo. Este tipo de sensores son precisos, +0.2% de la escala, confiables, particularmente insensibles a los cambios de las condiciones ambientales y permiten transmitir la señal a distancias de más de 1,000 m sin perder la precisión.

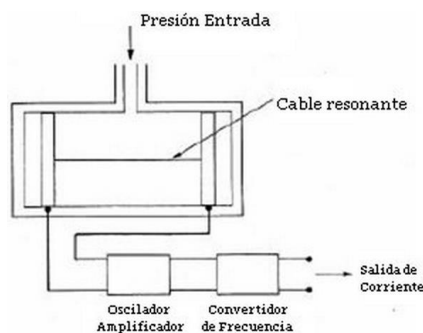


Figura 5. Principio básico del funcionamiento de los sensores de cuerda vibrante. Fuente: <http://cuerdavibrante.blogspot.com/>

Un instrumento de cuerda vibrante está integrado por un cuerpo que puede tener diferentes formas y un sensor piezorresistivo, este sensor tiene una cuerda pretensada unida a una membrana muy sensible a la presión que sometida a la carga de la presión que va a medir tiende a flexionarse provocando que la cuerda de metal se destense.

Las señales de frecuencia de la cuerda vibrante se pueden medir y son proporcionales a la presión aplicada, la frecuencia de la señal se transmite mediante cables a las unidades de lectura, que pueden ser portátiles o una estación automatizada de adquisición de datos instalada en un cuarto de control.



### 1.3.2 Sistemas Microelectromecánicos (Microelectromechanical Systems-MEMS)

Las siglas MEMS son un acrónimo para denotar a lo que actualmente se conoce como Sistemas Micro-Electro-Mecánicos, son definidos como dispositivos de pequeñas dimensiones compuestos por elementos activos y pasivos microfabricados, que realizan funciones como percepción, procesamiento de datos, comunicación y actuación sobre el entorno. Existen diferentes tipos de dispositivos MEMS que pueden variar desde estructuras relativamente simples que no tienen ninguna parte móvil, hasta sistemas electromecánicos muy complejos en la que múltiples elementos se mueven bajo el control de la electrónica integrada.

Los sensores MEMS varían en dimensiones, van desde un micrómetro  $\mu\text{m}$  a un milímetro  $\text{mm}$ . En la figura 6 se ilustra de una manera clara cuál es el tamaño real de la tecnología MEMS.

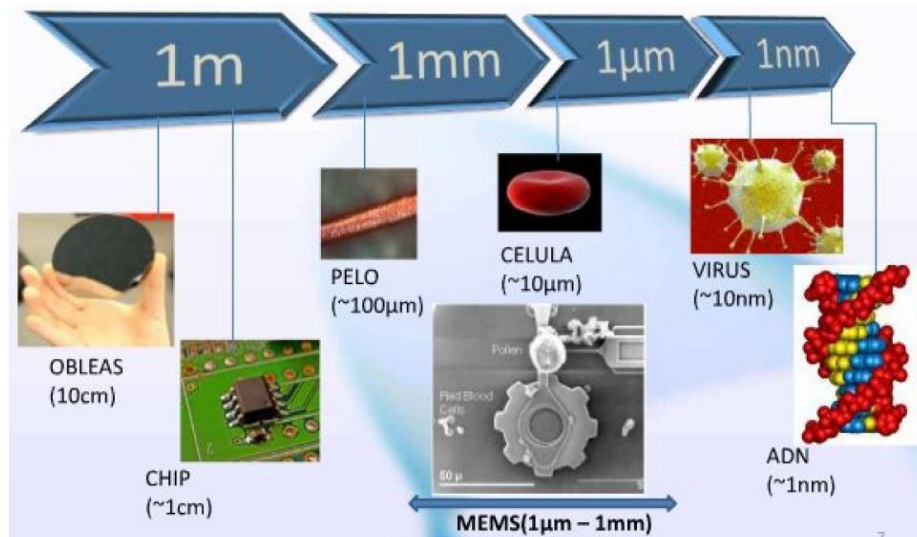


Figura 6. Magnitud del tamaño de las tecnologías MEMS. Fuente:  
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4966/fichero/e.+Tecnologia+MEMS.pdf>

La naturaleza del microsistema puede ser eléctrica, magnética, óptica, térmica, mecánica o fluido y la arquitectura del MEMS engloba circuitos electrónicos y ópticos, generadores de señal y receptores, microsensores, microactuadores y microgeneradores.

Los microsistemas se pueden categorizar en seis distintos tipos:

- Sensores: son dispositivos MEMS diseñados para medir cambios e interactuar con el ambiente. Estos microsistemas incluyen sensores químicos, de movimiento, inerciales, térmicos y ópticos
- Actuadores: son un grupo de dispositivos diseñados para proporcionar un estímulo a otros componentes o dispositivos MEMS. En los microsistemas los actuadores son operados electrostáticamente o térmicamente

- MEMS RF: son una clase de dispositivos usados para transmitir alta frecuencia, es decir señales de radio frecuencia. Los dispositivos típicos incluyen: interruptores (switches), capacitores, antenas, etcétera
- MOEMS (Micro-Opto-Electro-Mechanical Systems): son dispositivos diseñados para dirigir, reflejar, filtrar, y/o amplificar la luz. Estos componentes incluyen interruptores
- MEMS para microfluidos: son dispositivos diseñados para interactuar y trabajar con fluidos. Dispositivos como bombas y válvulas se han diseñado para trabajar con pequeños volúmenes de fluido
- Bio MEMS son: dispositivos que, como muchos de los MEMS para microfluidos, son diseñados para interactuar específicamente con muestras biológicas, como proteínas, células biológicas, reactivos médicos y pueden usarse para suministrar medicamentos u otro análisis médico in situ.

Estas seis áreas representan aplicaciones totalmente diferentes de dispositivos MEMS que actualmente se encuentran en uso o en desarrollo para aplicaciones comerciales o gubernamentales.

Durante las últimas décadas los investigadores y desarrolladores de MEMS han fabricado un número extremadamente elevado de microsensores para casi todas las modalidades posibles de detección incluyendo la temperatura, la presión, las fuerzas de inercia, química, campos magnéticos, radiación, etcétera. Sorprendentemente, muchos de estos sensores micromecanizados han demostrado que su desempeño mejora en comparación con sus homólogos a macroescala.

Los MEMS poseen una serie de ventajas frente a los sistemas de mayor tamaño, entre las cuales se encuentran:

- ❖ Posibilidad de fabricación masiva con bajo costo
- ❖ Tamaño y peso reducido
- ❖ Consumo de energía reducido
- ❖ Alta precisión y biocompatibilidad
- ❖ Partes mecánicas precisamente diseñadas, las cuales serán más eficientes y durables
- ❖ Micromateriales con propiedades que les permitan ser más fuertes y ligeros
- ❖ Desarrollo de componentes electrónicos más rápidos, de mayor potencia y funcionalidad

Dichas ventajas han favorecido su introducción en un gran número de aplicaciones, mercados y silenciosamente han ocupado un lugar en nuestra vida cotidiana.

### 1.3.3 Fibra óptica

La aplicación de la fibra óptica, en instrumentación, es para realizar la interconexión y automatización de las tecnologías de cuerda vibrante y MEMS, gracias a que la fibra óptica es un conjunto de numeroso de hilos transparentes, normalmente están fabricados en base a vidrio, ver figura 7. Se ha demostrado que estos hilos son receptores de luz y que a través suyo puede viajar

una gran cantidad de datos e información a alta velocidad que son mantenidos dentro del hilo. De este modo, se disminuye en gran medida la dispersión de la información al poder mantenerse mucho más controlada.

Al mismo tiempo, la fibra óptica ha sido especialmente creada para tolerar las ondas electromagnéticas, garantizando mayor seguridad, eficiencia para el traslado de información y al no necesitar electricidad agrega otro elemento de seguridad al usuario.

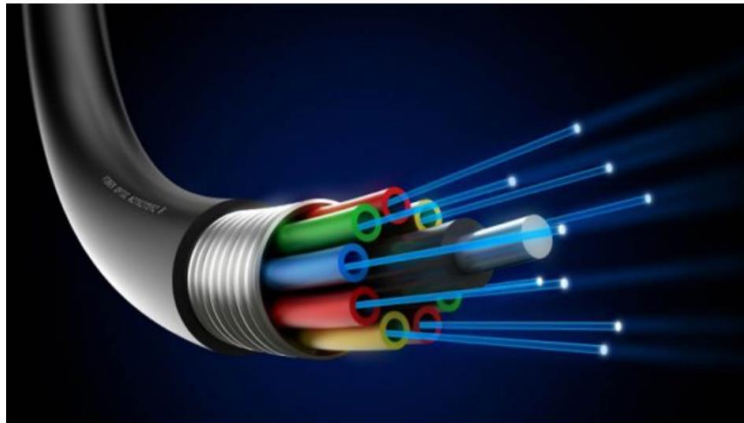


Figura 7. Fibra óptica. Fuente: <https://concepto.de/fibra-optica/>

Las ventajas que se tienen al desarrollar la interconexión de un sensor de cuerda vibrante con fibra óptica son las siguientes:

- Insensibilidad a los campos de tipo electromagnético y resistencia a corrosiones de distinta naturaleza
- Por tener muy poca masa soportan muy bien las vibraciones
- Estabilidad a largo plazo
- Autocorregir los cambios térmicos
- Poder fabricar sensores desde 20 cm de longitud hasta varias decenas de metros
- Resolución de 2 micras
- Precisión superior al 0.2 % de la deformación medida
- Rango de medida superior al 1% de la longitud del sensor en tracción
- Tiempo de lectura inferior a 10 segundos, dependiendo de la longitud
- Distancia de lectura hasta 5 Km

Por todas estas razones, puede afirmarse que existen aplicaciones en las que puede resultar muy conveniente su utilización y obtener condiciones extremadamente ventajosas para su uso. En general, siempre que se trate de mediciones a largo plazo, en medios sometidos a alteraciones eléctricas o electromagnéticas o con posibles alteraciones físico-químicas, se puede disponer de esta tecnología altamente fiable y precisa, como se ha implementado en la automatización de proyectos tan complejos como presas hidroeléctricas, aeropuertos, puentes y estructuras en ciudades.

El uso de dispositivos a base de fibra óptica se puede emplear para medir deformaciones en estructuras de concreto, problemas de fisuras, estabilización mediante anclajes, concreto lanzado, inyecciones o cualquier otra forma de mejora aplicada a la estructura, son realmente ventajosos por su menor peso, tamaño y complejidad de instalación además que su resistencia a vibraciones los hace igualmente atractivos para determinadas aplicaciones.

#### 1.4 Clasificación de la instrumentación

En la actualidad, la instrumentación se ha convertido en una potente herramienta al servicio de la ingeniería, respondiendo a la necesidad de conocer y controlar adecuadamente el comportamiento de nuestras obras.

Debido a las necesidades y especificaciones técnicas que exige cada área de la ingeniería civil, podemos clasificar la instrumentación por el uso de los instrumentos y localización final en el proyecto, dando como resultado la siguiente clasificación:

- ❖ Instrumentación geotécnica
- ❖ Instrumentación estructural
- ❖ Instrumentación sísmica
- ❖ Instrumentación automatizada

##### 1.4.1 Instrumentación geotécnica

El objetivo principal de la instrumentación geotécnica es obtener información confiable y oportuna del comportamiento de estructuras y depósitos de suelo ante variaciones de las condiciones de su entorno, las cuales pueden ser debidas a la ejecución de procesos constructivos o fenómenos naturales, mismas que serán monitoreadas con sensores e instrumentos de medición; para finalmente hacer la adecuada interpretación de los datos obtenidos.

Para que en un proyecto se pueda estimar la respuesta del terreno, necesitó haber contado durante la fase de diseño y planeación con las adecuadas herramientas de cálculo para modelar las condiciones a que será sometida y sustentado con información precisa sobre las características geotécnicas del terreno (mecánica de suelos) donde se pretende construir el proyecto.

##### 1.4.2 Instrumentación estructural

La instrumentación estructural permite determinar los esfuerzos y deformaciones que se presentan en las estructuras, principalmente de concreto y acero, las cuales pueden sufrir daños por las cargas a las que son sometidas, por deformaciones de los elementos que las integran o por malos procesos constructivos.

Es importante tener en cuenta que la instrumentación estructural incluye el control de las cargas y las deformaciones en puntos determinados de la estructura, por ejemplo, deformación del acero en las columnas o trabes, deformaciones en dovelas de concreto para túneles, etcétera.

### 1.4.3 Instrumentación sísmica

La instrumentación sísmica permite medir y conocer los periodos de vibración de alguna estructura al verse sometida a movimientos sísmicos y vibraciones, con ello determinar el nivel de daño que pudiese ocurrirle a la estructura, además poder optimizar diseños estructurales reduciendo el factor de sismicidad que realmente se presenta durante la vida útil de las estructuras.

### 1.4.4 Instrumentación automatizada

El desarrollo de sistemas automatizados aplicados a la instrumentación, geotécnica, estructural y sísmica, permiten conocer en tiempo real el comportamiento de cualquier tipo de obra, ya que constituye un medio práctico y efectivo para recolectar, transmitir, almacenar, procesar, evaluar y reportar de manera confiable y oportuna los resultados obtenidos de las mediciones de campo.

Estos sistemas cuentan con alarmas acústicas y visuales concentradas en un tablero de control, para advertir cuándo se superan los límites preestablecidos de los parámetros más importantes del sistema.

En conclusión, puede afirmarse que la automatización de las mediciones de los instrumentos permite un avance significativo en la toma de lecturas y procesamiento de información, mejorando la confiabilidad y procedencia de las mediciones en campo. Siempre debe contarse con el complemento de la información que proporcionan los recorridos de inspección periódicos para verificar las condiciones físicas en que se encuentran los sensores instalados en el proyecto, estos recorridos son de carácter obligatorio para la instrumentación automatizada.

## 1.5 Procedimiento general para elaborar un proyecto de instrumentación

Todo proyecto de instrumentación, por sencillo que parezca, requiere seguir una metodología planeada y sistemática, ya que el propósito principal de la instrumentación es suministrar información confiable y oportuna sobre los movimientos, deformaciones y presiones que se desarrollan en el proyecto, para ser comparados con los valores máximos obtenidos en la etapa de diseño. Esta metodología de instrumentación contempla las siguientes etapas:

- ❖ Familiarizarse con el proyecto, reunir y asimilar la información disponible
- ❖ Diseñar el sistema de instrumentación
- ❖ Organización y planeación de actividades
- ❖ Fabricación o adquisición instrumentos
- ❖ Instalación de instrumentos
- ❖ Medición de instrumentos y sensores

- ❖ Procesamiento de los datos medidos en campo
- ❖ Análisis de resultados
- ❖ Divulgación de resultados obtenidos por medio de reportes semanales o mensuales que incluyan las gráficas de comportamiento

## 1.6 Tipos de instrumentos usados en la instrumentación

En la actualidad, se tiene avances importantes en la fabricación de los componentes que integran un sistema de instrumentación, ya que existe una gran cantidad de empresas a nivel mundial que se dedican a crear, innovar y vender estos productos, entre las más importantes destacan RST Instruments, GEOKON, Slope Indicator y SISGEO.

A continuación, se describen algunos de los instrumentos que existe y que son básicos para tomarse en cuenta durante el diseño del sistema de instrumentación. Para el diseño de un sistema de instrumentación, el ingeniero instrumentista debe consultar catálogos y manuales de los fabricantes para conocer a detalle las especificaciones técnicas y características de un determinado instrumento, antes de decidir si la utilización es viable en un proyecto determinado.

### 1.6.1 Instrumentos para medición de presiones

#### **Piezómetro eléctrico**

Se utiliza para medir la presión de poro que actúa en uno de sus lados después de pasar por una piedra porosa, se utilizan principalmente en túneles o terraplenes. La aplicación más común es determinar la presión de agua en el terreno o en perforaciones, este tipo de instrumento está adaptado para la obtención de datos confiables de gran precisión a corto y mediano plazo, pero se requiere de protección tripolar de carga eléctrica contra voltajes transitorios. Existen diferentes tecnologías empleadas para fabricar estos instrumentos: sensor piezorresistivo, sensor de cuerda vibrante y sensores de cuerda vibrante.

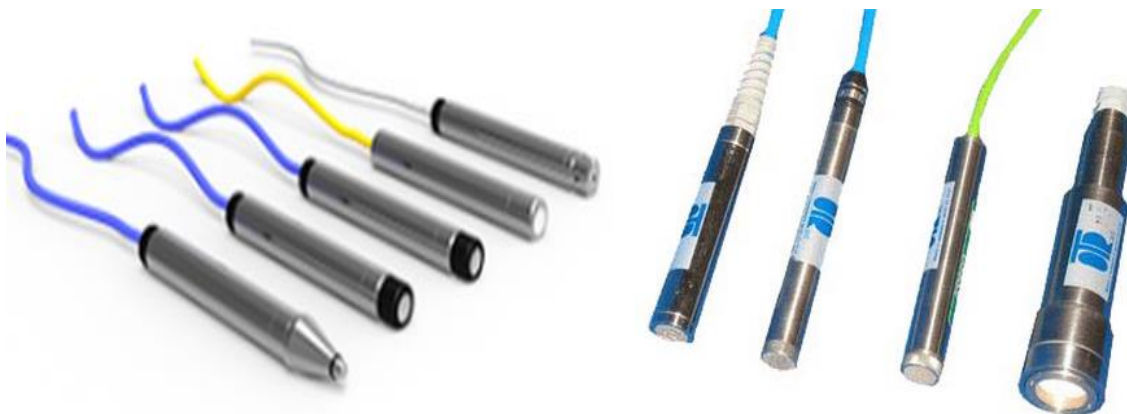


Figura 8. Piezómetros de cuerda vibrante. Fuente: <http://muchik.com/piezometro-de-cuerda-vibrante/>

### Piezómetro abierto (Piezómetro Casagrande)

El piezómetro abierto también es conocido como tipo Casagrande, ya que fue introducido por este notable investigador, aunque en el diseño original se utilizó una piedra porosa en el bulbo en vez de tubería ranurada. Este piezómetro es de respuesta lenta a los cambios de presión de poro, debido a que requieren volúmenes importantes de agua para cambiar el nivel en el tubo a la atmósfera, sobre todo cuando se coloca en suelos finos como limos y arcilla. Debido a su simplicidad, robustez y confiabilidad lo hacen el más utilizado de todos los piezómetros.

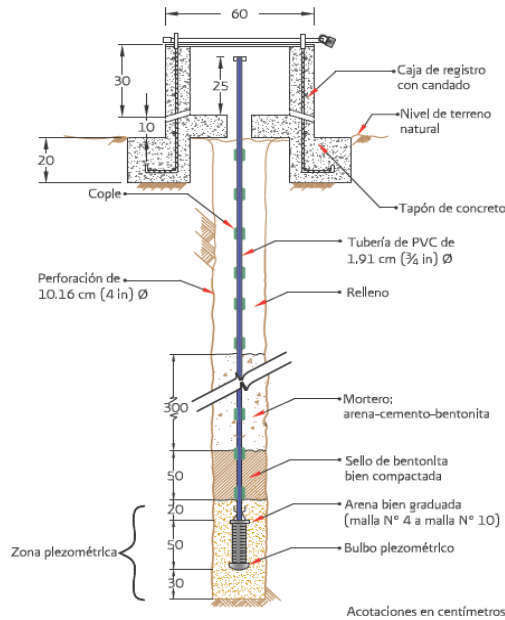


Figura 9. Detalle de la instalación del piezómetro abierto (piezómetro Casagrande). Fuente: Instrumentación y Monitoreo del comportamiento de Obras Hidráulicas

### Celda de presión (Pressure cell)

Llamadas también de celdas de presión total, las cuales nos sirven para medir los esfuerzos totales en la masa de suelo, ya que son necesarios para calcular los esfuerzos efectivos y como consecuencia conocer la resistencia al esfuerzo cortante en el punto de medición. Este instrumento constas de 4 partes básicas: cápsula plana llena de líquido, sensor, cable eléctrico y unidad de lectura.



Figura 10. Celda de presión total (tipo hidráulica). Fuente: <https://www.rstinstruments.com/>



## 1.6.2 Instrumentos para medir desplazamientos internos

### Inclinómetros

Son instrumentos muy versátiles y útiles para medir desplazamientos, verticales como horizontales, de una masa de suelo o roca, son usados para monitorear la estabilidad de terraplenes, taludes y excavaciones de subestructuras. El Inclinómetro mide el cambio de pendiente de un ademe guía colocado dentro de una perforación, muro o un relleno, mediante el paso de una sonda inclinométrica guiada o fija en su interior.

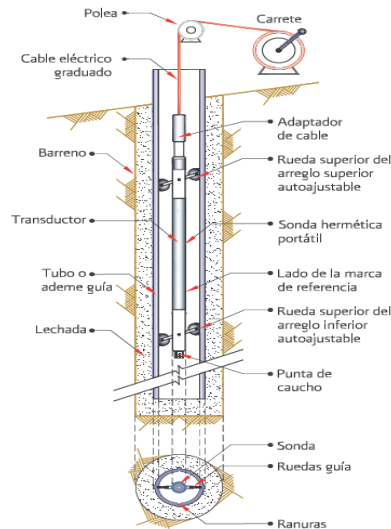


Figura 11. Esquema de los componentes básicos de un Inclinómetro vertical. Fuente: Instrumentación y Monitoreo del comportamiento de Obras Hidráulicas

### Clinómetro (Tiltmeter)

Es un equipo mecánico o eléctrico diseñado para medir con precisión los cambios en la inclinación o rotación de un punto ubicado en tierra o en una estructura. Funciona bajo el principio gravitacional, o sea, que registra los movimientos de inclinación con respecto a un eje vertical.



Figura 12. Clinómetro (biaxial). Fuente: <https://www.rstinstruments.com/>



### Extensómetros (Extensometers)

Son instrumentos para medir el cambio de distancia entre dos puntos, cuya separación inicial se conoce. Se colocan de manera externa o interna en todo tipo de estructuras para determinar para determinar la magnitud de las deformaciones lineales, ya sean horizontales, verticales o en cualquier ángulo que sea necesario.

Los extensómetros se pueden clasificar en externos e internos, que a su vez se pueden subdividir en mecánicos y eléctricos, algunos instrumentos son los siguientes: Extensómetros externos de convergencias y de juntas y grietas; Extensómetros internos de placas y barras.

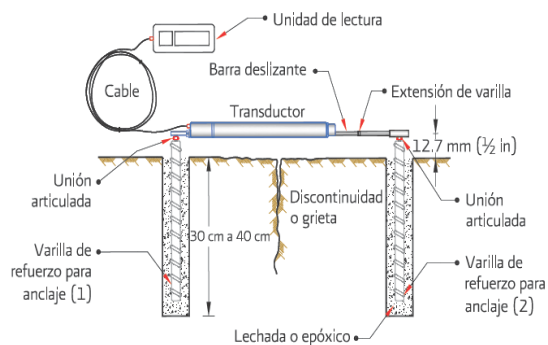


Figura 13. Extensómetro interno de barras y extensómetro externo de juntas y grietas (eléctrico). Fuente: Instrumentación y Monitoreo del comportamiento de Obras Hidráulicas

### Deformómetros (Probe Extensometers)

Instrumento para medir la deformación entre varios puntos de referencia a lo largo de un eje mediante una sonda, que se desliza dentro de un tubo de acceso. El tubo acceso se coloca en forma vertical dentro de un terraplén o en un cimiento y sirve para evaluar los asentamientos y expansiones.

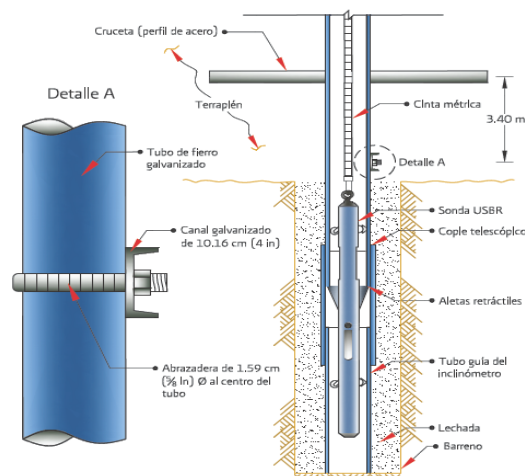


Figura 14. Deformómetro mecánico con sonda USBR. Fuente: Instrumentación y Monitoreo del comportamiento de Obras Hidráulicas.

### Celda de asentamiento (Settlement cell)

Instrumento que está diseñado para medir las deformaciones verticales, asentamientos o expansiones, en un punto de interés al interior de un terraplén. Las lecturas se realizan desde una caseta y es particularmente útil donde el acceso es difícil, además su instalación no interfiere con el proceso de construcción de la estructura.

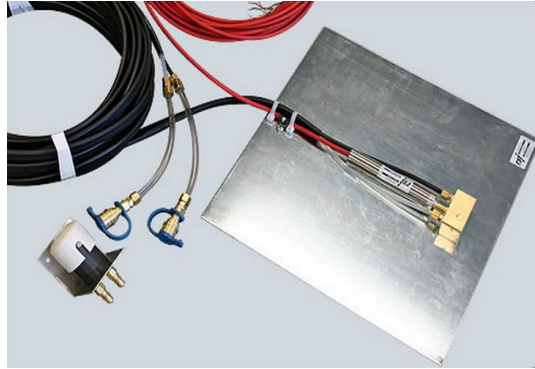


Figura 15. Celda de asentamiento. Fuente: <https://www.rstinstruments.com/>

### 1.6.3 Instrumentos para medir movimientos superficiales

Los procedimientos topográficos son fundamentales para determinar variables, tales como magnitud y velocidad de desplazamientos (laterales y verticales) en superficie. La precisión de la topografía está controlada por la calidad de las técnicas de medición, la precisión de los aparatos y las características de las referencias o puntos medidos.

#### Estación total automatizada

Aparato electroóptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica, consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.



Figura 16. Estación total automatizada TS60 Leica. Fuente: [https://www.instop.es/nova/leica\\_nova\\_ts60.php](https://www.instop.es/nova/leica_nova_ts60.php)

**Banco de nivel o bancos de referencia**

Puede ser superficial o profundo, dependerá de la estratigrafía del lugar, se deberán construir fuera de la influencia del proyecto en lugares estables y firmes. Se utilizan como puntos de control ya que a partir de ellos se realizan las mediciones hacia las referencias topográficas.

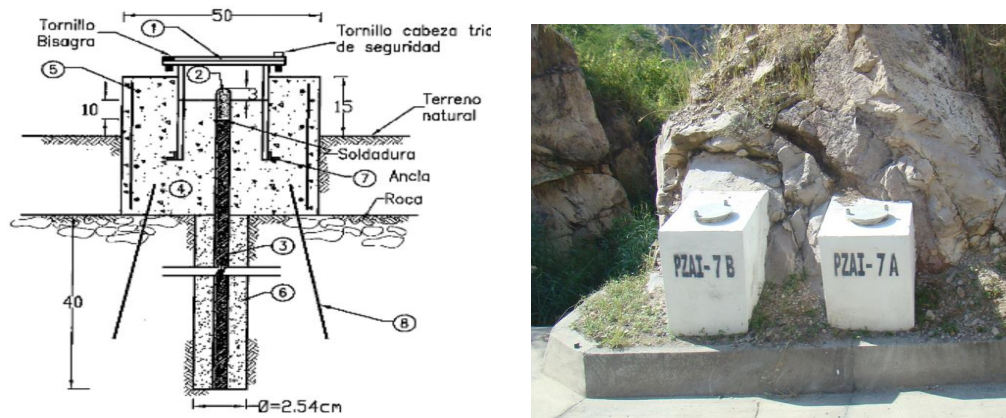


Figura 17. Banco de nivel. Fuente: Prueba de carga y precarga para el Nuevo Aeropuerto de Ciudad de México, 2013.

**Referencias topográficas**

Son monumentos que se construyen dentro del proyecto, de esta forma están afectados por los movimientos horizontales y verticales a que está sujeta la obra.



Figura 18. Referencias topográficas instaladas en suelo y pavimento. Fuente: Prueba de carga y precarga para el Nuevo Aeropuerto de Ciudad de México, 2013.

## 1.7 Ventajas y desventajas de la instrumentación

El uso del sistema de instrumentación ofrece múltiples ventajas:

- Las mediciones de los instrumentos instalados se pueden medir de forma automatizada, sin participación humana directa y así minimizar los errores en la obtención de los datos
- Se tendrá un control detallado de los procesos constructivos en cada una de sus etapas
- Estará monitoreada en todo momento la seguridad dentro del proyecto y se podrán minimizar los problemas causados por malos procesos constructivos
- Después de la puesta en marcha del proyecto se podrá monitorear el comportamiento de la misma y conocer cómo se comporta durante su vida útil.

También existen desventajas importantes, tales como:

- Los precios elevados de los instrumentos, equipos de medición y sensores, resultando en algunas ocasiones que esta actividad sea incosteable para el proyecto
- El excesivo volumen de información que se genera puede provocar confusiones y no tener clara la correlación de los procesos constructivos con el avance de obra monitoreado
- La calidad de la información se puede volver un problema y ocasionar confusiones, para que esto no suceda se deberá entregar la información de manera sencilla y de fácil entendimiento

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO MARINA 385

### 2.1 Localización

El proyecto **MARINA 385**, localizado en la Av. Marina Nacional N°385 esquina con la calle Bahía de la Ascensión en la colonia Verónica Anzúres perteneciente a la Alcandía Miguel Hidalgo de la Ciudad de México. El predio está rodeado por diferentes vialidades, colindando hacia el Nor-Oriente con la Av. Marina Nacional, hacia el Sur-Oriente con la Plaza de las estrellas y hacia el Poniente colinda con la calle Bahía Ascensión, ver figura 19.

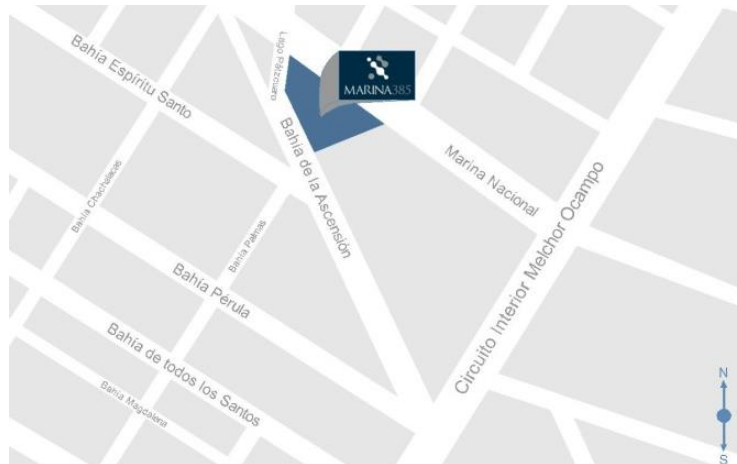


Figura 19. Localización del proyecto MARINA 385. Fuente: Memoria descriptiva de Marina 385

### 2.2 Características generales del proyecto

El predio estaba ocupado por un restaurante que se ubicaba en el extremo poniente del terreno, contaba con estacionamiento al aire libre, ver figura 20. El nivel de piso terminado del restaurante y estacionamiento se encontraba a 1.5 m por debajo del nivel de banquetta existente de la Av. Marina Nacional.



Figura 20. Predio donde se ubica MARINA 385 en el de 1974. Fuente: Memoria descriptiva de Marina 385



**MARINA 385** será un conjunto mixto, habitacional y comercial, la edificación tendrá forma de “T” asimétrica integrada por dos torres con doble orientación, la Torre 1 con orientación Noreste y la Torre 2 con orientación Sureste, ver figura 21.



Figura 21. Orientación de la Torre 1 y Torre 2. Fuente: Cortesía de proyecto Marina 385

El terreno es irregular en planta, sensiblemente plano y tiene una superficie de 4,048.50 m<sup>2</sup>, sobre nivel de banquetta la Torre 1 tiene una superficie de construcción de 28,500.06 m<sup>2</sup>, la Torre 2 tiene una superficie de construcción sobre nivel de banquetta de 8,488.05 m<sup>2</sup>, más un sótano con cinco niveles para estacionamiento bajo nivel de banquetta con una superficie de construcción de 19,326.68 m<sup>2</sup>, teniendo un total de superficie construida de 56,314.79 m<sup>2</sup>.

El proyecto alberga cinco locales comerciales y áreas verdes en el nivel 1, 419 departamentos distribuidos en dos torres; la Torre 1 contará con 312 departamentos en los niveles 2 al 22 que van desde los 42.93 m<sup>2</sup> hasta 111.44 m<sup>2</sup>, la Torre 2 tendrá 107 departamentos que van desde 37.5 m<sup>2</sup> hasta los 99.03 m<sup>2</sup> en los niveles 2 al 20 y contará con 678 cajones de estacionamiento en 5 niveles subterráneos.

En los últimos niveles se encontrarán las amenidades con áreas de recreación, esparcimiento y descanso, como alberca con sistema de calentamiento solar, gimnasio y salones de usos múltiples, ubicados en el nivel 21 y 22 de la Torre 2 y la azotea de la Torre 1 contará con un salón de pilates y Yoga, un Roof Garden que tendrá jardines y pista de Jogging.

## 2.3 Condiciones geotécnicas del sitio

### 2.3.1 Zonificación geotécnica

La CDMX está localizada sobre lo que antiguamente fue un gran lago, tema desarrollado en el capítulo de antecedentes, las tierras de acarreo generadas de las corrientes de agua de las regiones

montañosas, el polvo de las tolvaneras que eran tan frecuentes antes de la actual vegetación y las lavas de las erupciones volcánicas fueron llenando el lago hasta constituir el suelo actual. Por tal motivo el subsuelo de la CDMX tiene un comportamiento y características muy particulares, esto ha dado pauta a innumerables estudios y se ha logrado definir zonas con diferentes características geotécnicas.

El artículo 170 del Capítulo VIII, del Título Sexto del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (actualizado el 24 de agosto de 2018), divide en tres zonas con las siguientes características generales:

- a) **Zona I.** Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta Zona, es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos artificiales no controlados
- b) **Zona II.** Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros
- c) **Zona III.** Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresible, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son de consistencia firme a muy dura y de espesores variables de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m

De acuerdo con la zonificación del Reglamento, podemos concluir que el proyecto **MARINA 385** se localiza en la **Zona II** denominada de **Transición**, ver figura 22. Corresponde a la transición vecina a la zona del lago, aquí se encuentra la serie arcillosa superior con intercalaciones de estratos limo arenosos de origen aluvial que se depositaron durante las regresiones del antiguo lago. Este proceso dio origen a una estratigrafía compleja, donde los espesores y propiedades de los materiales pueden tener variaciones importantes y significativas en distancias cortas, dependiendo de la ubicación del sitio de estudio respecto a las corrientes de antiguos ríos y barrancas.

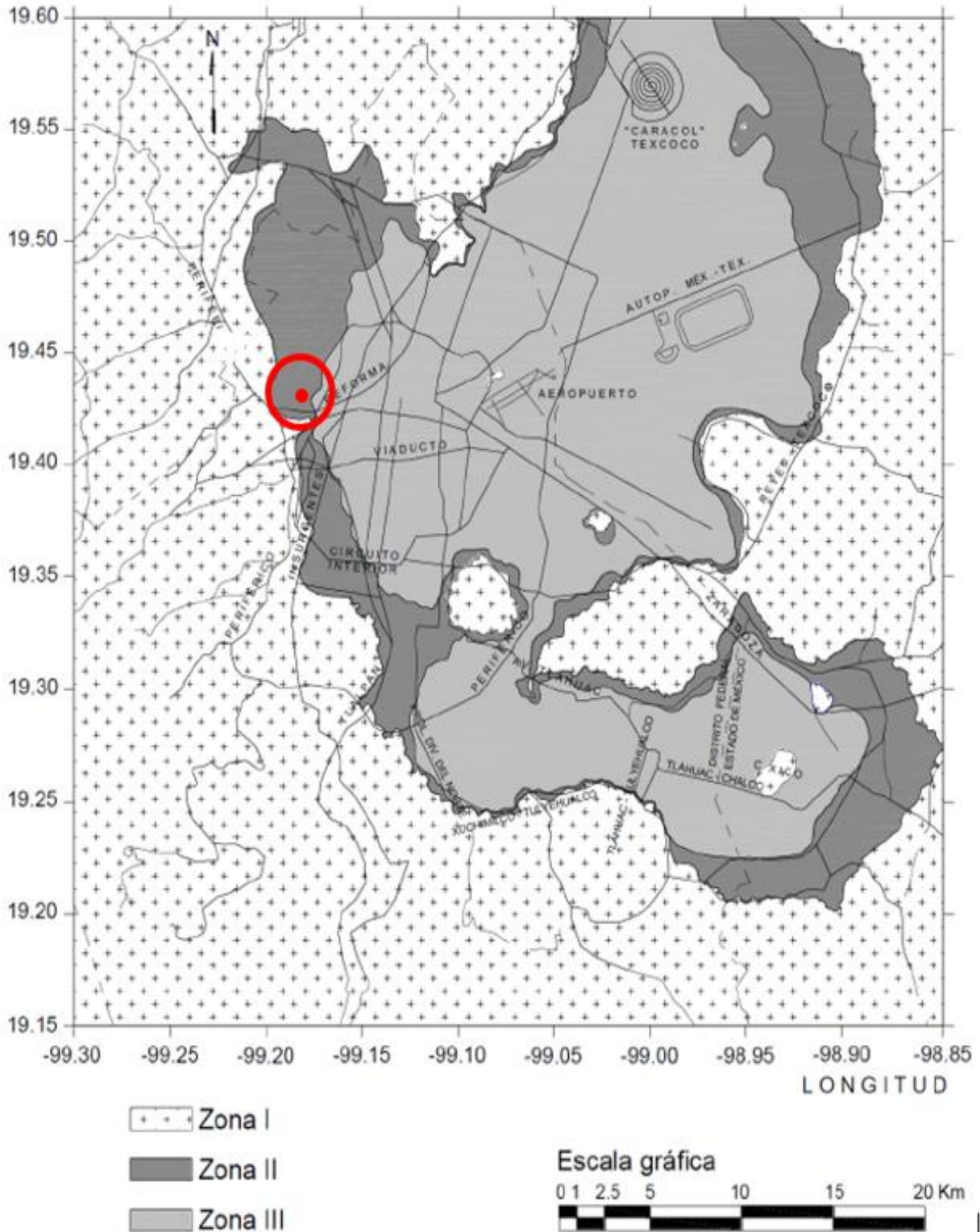


Figura 22. Zonificación geotécnica del Distrito Federal y localización del proyecto MARINA 385. Fuente: <http://cgsestados.df.gob.mx/prontuario/vigente/742.htm>



### 2.3.2 Coeficiente sísmico

De acuerdo a lo establecido en las Normas Técnicas Complementarias para el diseño por sismo, el proyecto se localiza en la Zona IIIa, a la cual le corresponde un coeficiente sísmico de 0.4, pero por las condiciones estratigráficas del lugar se debe considera como Zona II con un coeficiente sísmico de 0.32.

### 2.3.3 Hundimiento regional

El hundimiento regional que ocurre en el Valle de México, inducido principalmente por la extracción de agua subterránea, es producto del fenómeno de consolidación a que están sujetos los depósitos de suelo que constituyen al valle. El incremento de los esfuerzos efectivos provocado por este fenómeno genera un cambio en las propiedades del suelo, reflejándose en una reducción de las deformaciones ante cargas permanentes impuestas y en un aumento de la resistencia al esfuerzo cortante.

Basados en los datos de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (D.G.C.O.H.), se presenta el plano de curvas de hundimiento para el periodo comprendido entre 1983 y 2004. El área donde se localiza el proyecto muestra un hundimiento regional del orden de 4.0 cm por año (cm/año), ver figura 23. Este hundimiento que es el valor de hundimiento que experimenta toda la zona y es independientemente de los propios asentamientos que pueda presentar una estructura por si misma ante las cargas particulares transmitidas al suelo.

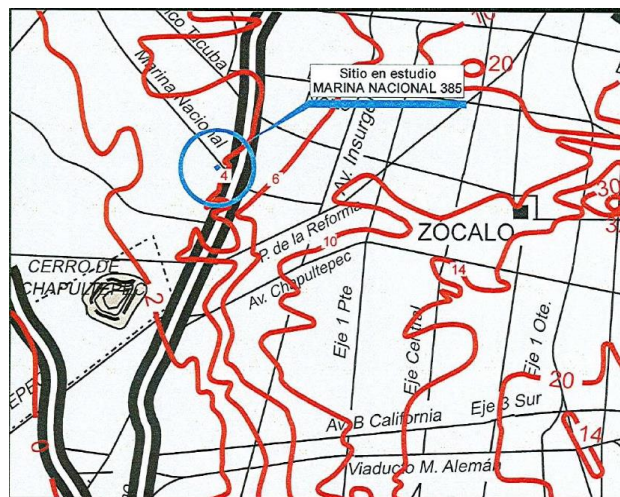


Figura 23. Plano de curvas de hundimiento regional (1983-2004). Fuente: Recomendaciones geotécnicas para la solución de cimentación de Marina 385

## 2.4 Estratigrafía

La finalidad de este subcapítulo es comentar los resultados de las pruebas de campo y ensayos de laboratorio realizados al suelo del proyecto, los cuales hicieron posible conocer con exactitud la estratigrafía del sitio y proponer el tipo de cimentación más favorable para la edificación; así como seleccionar el mejor procedimiento constructivo de la subestructura.

De este análisis se concluyó que el proyecto presenta un suelo blando y arcilloso. Por lo tanto, se decide la utilización de la secuencia de excavación y construcción mediante el sistema “*Top-Down*”, tomando en cuenta que el proyecto consta de una excavación para cinco niveles de sótanos y una cisterna llegando al nivel -18.70 m.

Para obtener la secuencia estratigráfica del sitio del proyecto, se realizaron los siguientes trabajos y ensayos de laboratorio con el fin de obtener un modelo geotécnico.

#### 2.4.1 Trabajos de exploración

Para conocer la secuencia estratigráfica del subsuelo, se realizaron cuatro sondeos de exploratorios (SE1, SE2, SE3 y SE4), cuyas profundidades se indican en la tabla 1, en dichos sondeos se combinaron las técnicas de cono eléctrico y penetración estándar en aquellos estratos en los que el cono no penetra, la figura 24 se muestra la ubicación de los sondeos realizados dentro del predio para conocer la estratigrafía del sitio.

Sondeo	Profundidad (m)	Observación
SE-1	38.70	Se suspendió por fuga de lodo bentónico hacia el sótano del restaurante donde se encuentra el área de mantenimiento
SE-2	50.17	-----
SE-3	60.45	-----
SE-4	60.50	-----
SMS-1	45.80	Se obtuvieron 11 muestras inalteradas

Tabla 1. Sondeos de exploración

De los resultados de los sondeos de exploración se programó un sondeo de muestreo selectivo SMS-1, recuperando muestras inalteradas de los estratos más característicos. Las muestras inalteradas se enviaron a un laboratorio para definir sus propiedades de compresibilidad y resistencia.

Con la finalidad de determinar las condiciones piezométricas en el sitio, se realizó un sondeo con el piezocono, el cual permitió conocer la presión hidrostática a diferentes profundidades, realizándose siete mediciones hasta la profundidad de 46.5 m. Adicionalmente se instaló un tubo de observación del nivel freático a 6.0 m y cuatro piezómetros a diferentes profundidades, con la finalidad de conocer si existe algún cambio en las condiciones piezométricas en temporada de lluvia.

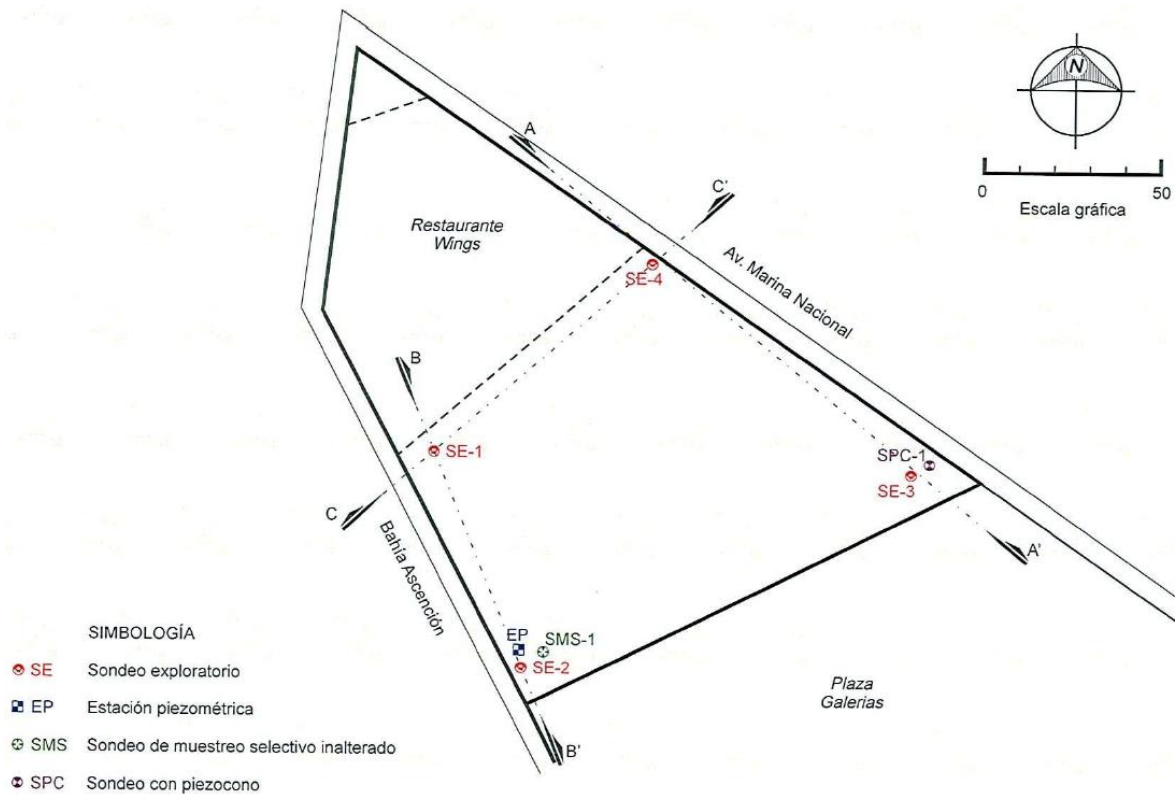


Figura 24. Ubicación de sondeos Exploratorios. Fuente: Exploración geotécnica en el predio Marina Nacional No. 385, Col. Verónica Anzures

## 2.4.2 Resultados de ensayos de laboratorio

Las propiedades índices de las muestras extraídas se determinaron por medio de las siguientes pruebas:

- 1) Clasificación visual y al tacto
- 2) Contenido de agua
- 3) Limite líquido y plástico
- 4) Peso volumétrico
- 5) Relación de vacíos
- 6) Densidad de sólidos
- 7) Grado de saturación

Adicionalmente, para medir los parámetros de resistencia y deformabilidad, se realizaron los siguientes ensayos en muestras inalteradas:

- a) Ensaye triaxial no consolidado no drenado (UU)
- b) Ensaye de consolidación unidimensional

Las propiedades mecánicas obtenidas en los ensayos se resumen en las tablas 2 y 3.

Sondeo	Profundidad (m)	SUCS	$\omega$ (%)	$e_0$	$G_w$ (%)	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	$c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$	$E$ (kg/cm <sup>2</sup> )
SMS-1	4.12	MH	56.00	1.34	98.00	1.61	1.38	---	203.00
	8.70	CH	380.00	7.81	100.00	1.15	0.38	---	43.00
	11.00	CH	189.00	3.46	100.00	1.24	0.59	---	90.00
	14.70	MH	269.00	5.42	100.00	1.19	1.07	---	97.00
	18.90	MH	217.00	4.71	100.00	1.22	1.21	---	127.00
	21.32	MH	65.00	1.42	100.00	1.59	2.42	---	249.00
	28.09	MH	52.00	1.46	89.00	1.55	1.50	18.00	191.00
	31.90	CL	27.00	0.90	81.00	1.83	1.40	26.00	358.00
	37.12	MH	30.00	0.85	93.00	1.88	1.30	22.00	254.00
	40.08	MH	48.00	1.27	97.00	1.68	1.85	11.00	225.00
45.50	MH	35.00	1.00	93.00	1.77	0.60	20.00	255.00	

Tabla 2. Resultados de ensayos triaxiales UU

Sondeo	Profundidad (m)	SUCS	$\omega$ (%)	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	$S_s$	$e_0$	$\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_0$ (kg/cm <sup>2</sup> )	OCR
SMS-1	8.77	CH	302.00	1.14	2.11	6.45	0.75	0.75	1.00
	11.10	CH	260.00	1.17	2.14	5.59	1.30	1.15	1.13
	14.70	MH	271.00	1.15	2.08	5.73	3.10	1.90	1.60
	18.90	MH	212.00	1.20	2.20	4.70	3.15	2.50	1.60
	28.10	MH	47.00	1.63	2.51	1.27	----	----	----

Tabla 3. Resultados de ensayos de consolidación

Nomenclatura:

SUCS: Clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

$\omega$ : Contenido natural de agua

$e_0$ : Relación de Vacíos inicial

$G_w$ : Grado de saturación

$\gamma$ : Peso volumétrico natural

$c$ : Parámetro de cohesión

$\phi$ : Angulo de fricción interno

$E$ : Módulo de Young equivalente

$S_s$ : Densidad de solidos

$\sigma_c$ : Esfuerzo crítico

$\sigma_0$ : Esfuerzo vertical efectivo en sitio

$q_c$ : Resistencia de punta del cono eléctrico

### 2.4.3 Secuencia estratigráfica

La estratigrafía del proyecto se definió a partir de los resultados de los sondeos realizados, a continuación, se describen los estratos característicos:

**Relleno:** De 0 a 1.5 m, constituido por limo arenoso y arena fina, constituye el material de apoyo del pavimento del estacionamiento.

**Costra superficial endurecida:** De 1.5 a 7.5 m, formada por arcillas y limos de consistencia dura en general teniéndose valores de la resistencia de punta del cono eléctrico ( $q_c$ ) mayores a  $50 \text{ kg/cm}^2$ . Se destaca un estrato limo arcilloso de consistencia más blanda entre 3 y 4.5 m de profundidad con  $q_c$  de  $10 \text{ kg/cm}^2$ ; la resistencia al corte no drenada en prueba triaxial UU de este material es de  $1.3 \text{ kg/cm}^2$  y su peso volumétrico natural ( $\gamma$ ) de  $1.61 \text{ t/m}^3$ .

**Serie Arcillosa:** Se extiende hasta los 22.0 m de profundidad; corresponde con la secuencia de arcillas de la zona de lago, cuya consistencia varía de blanda a firme conforme aumenta su profundidad y se encuentra intercalada con estratos limo arenosos y arenosos, la resistencia del cono aumenta con la profundidad entre valores mínimos de  $5 \text{ kg/cm}^2$  hasta alcanzar máximos de  $15 \text{ kg/cm}^2$ . La resistencia al corte no drenada en prueba triaxial (c) varía de  $0.38$  a  $1.21 \text{ kg/cm}^2$  y su peso volumétrico natural ( $\gamma$ ) entre  $1.15$  y  $1.59 \text{ t/m}^3$ .

**Serie Limo arcillosa:** Se encuentra entre 22.0 y 41.0 m de profundidad, siendo un depósito heterogéneo en el que predomina material limoso, con resistencias mayores que la capacidad del cono ( $100 \text{ kg/cm}^2$ ), formado por una secuencia de estratos que a continuación se describen:

- De 22.0 a 32.5 m una secuencia de limos y arcillas grises con número de golpes en la prueba de penetración estándar ( $N_{SPT}$ ) variable entre 10 a más de 50 golpes; con resistencia no drenada (c) promedio de  $1.45 \text{ kg/cm}^2$  y ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) entre  $18^\circ$  y  $26^\circ$  y peso volumétrico natural ( $\gamma$ ) entre  $1.55$  y  $1.83 \text{ t/m}^3$
- De 32.5 a 35.0 m un estrato de arena fina andesítica arcillosa café con  $N_{SPT}$  de 40 a 80 golpes
- De 35.0 a 41.0 m; una serie de arcilla café de consistencia dura con  $N_{SPT}$  variable entre 25 a más de 50 golpes, parcialmente saturada con parámetros de resistencia al corte en condiciones no drenadas de  $c = 1.3 \text{ kg/cm}^2$  y  $\phi = 22^\circ$  y  $\gamma$  de  $1.88 \text{ t/m}^3$

**Serie Arena limosa:** De 41.0 m hasta la profundidad máxima de exploración; se tiene una serie de depósitos de arena fina a media limosas y arcillosas café con  $N_{SPT}$  variable entre 25 a más de 50 golpes; con parámetros de resistencia al corte en condiciones no drenadas de  $c = 0.6$  a  $1.85 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\phi = 11^\circ$  a  $22^\circ$  y  $\gamma$  entre  $1.68$  y  $1.77 \text{ t/m}^3$ . A los 49.5 m de profundidad se encuentra un estrato de arcilla café rojizo de consistencia dura con arena fina sílica, cuyo espesor es del orden de 2.5 m en el sondeo SE-3 y de 1.5 m en el sondeo SE-4.



La figura 25 ilustra de manera esquemática el perfil estratigráfico del proyecto con los resultados obtenidos de los sondeos realizados.

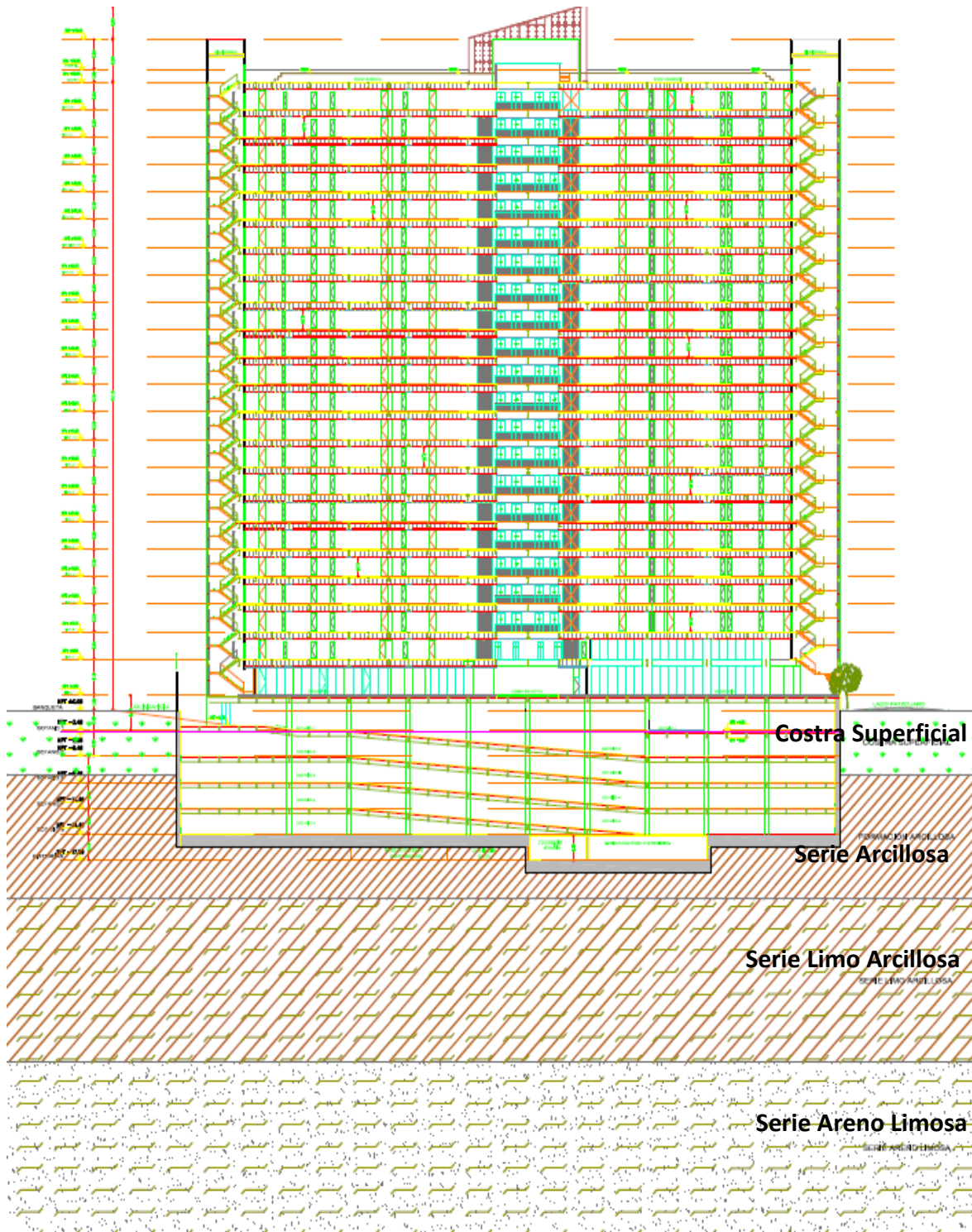


Figura 25. Perfil estratigráfico del proyecto MARINA 385. Fuente: Plano arquitectónico M385-12-ARQ-III-33-0033-P-01



#### 2.4.4 Condiciones piezométricas

Para conocer las condiciones de la presión del agua del subsuelo fue necesario instalar una estación piezométrica con 4 piezómetros abiertos (PA) para medir la presión a diferentes profundidades, adicionalmente se instaló un pozo de observación (PO) para medir directamente el nivel de aguas freáticas (NAF).

Los resultados del monitoreo se presentan en la tabla 4 y posteriormente se procedió a graficar los valores obtenidos, mismos que se ilustran en la figura 26.

Instrumento	Profundidad (m)	Nivel del agua (m)		
		17-mar-08	23-jul-08	15-ago-08
PA-1	49.90	47.30	SECO	SECO
PA-2	33.50	29.10	28.09	27.82
PA-3	19.80	19.00	SECO	SECO
PA-4	13.00	11.40	11.50	11.33
PO	6.00	3.60	3.30	3.22

Tabla 4. Medición de estaciones piezométricas y pozo de observación

Para precisar el valor de las presiones en el sitio, se realizó otro sondeo con un piezocono y los datos obtenidos se presentan en la tabla 5 y la gráfica de resultados se ilustra en la figura 27.

Profundidad (m)	Presión de poro (t/m <sup>2</sup> )
11.60	8.09
13.15	2.15
16.55	1.37
28.20	1.55
32.20	1.11
40.60	2.37
46.50	2.16

Tabla 5. Presión de poro medida con piezocono

Con el pozo de observación se demostró que existe un abatimiento a partir de los 3.6 m de profundidad, debido a la extracción de agua a través de bombeo, en comparación con la presión hidrostática se observa que estos son de gran importancia. En la figura 26 y 27 se considera la medición realizada con el piezocono y la estación piezométrica, se presenta la distribución actual de la presión hidráulica del subsuelo, la línea continua corresponde a la distribución hidrostática y la discontinua la presión piezométrica actual referida al nivel freático a 3.6 m bajo la superficie que corresponde a una condición hidrostática hasta 11.0 m, desde esa profundidad se tiene una disminución hasta mantener una presión de poro del orden de las 2 t/m<sup>2</sup>. Los resultados muestran que en la serie arcillosa se ha formado un manto colgado, debido a la extracción de agua.

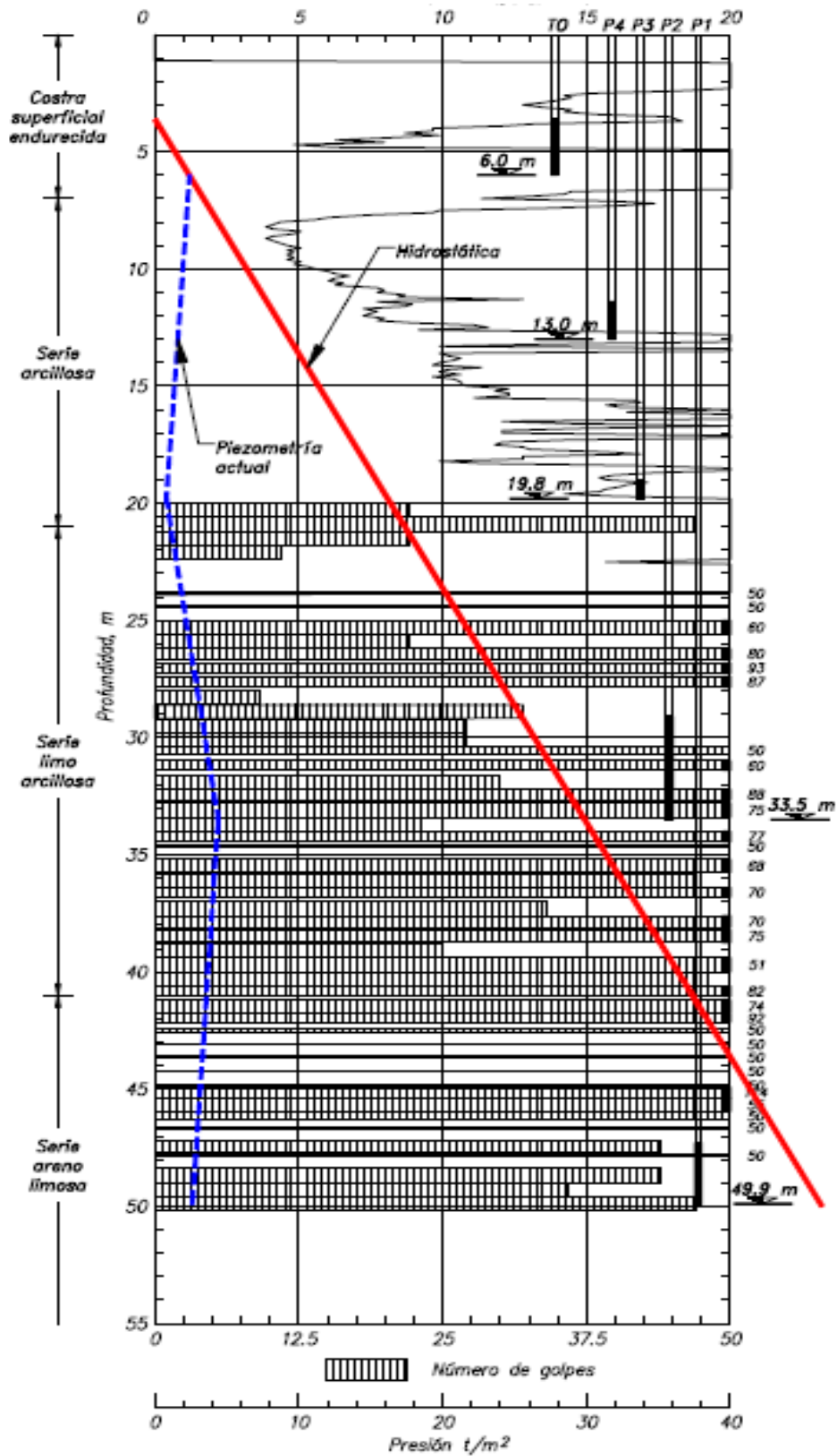


Figura 26. Presión de poro medida en la estación piezométrica. Fuente: Exploración geotécnica en el predio Marina Nacional No. 385, Col. Verónica Anzures

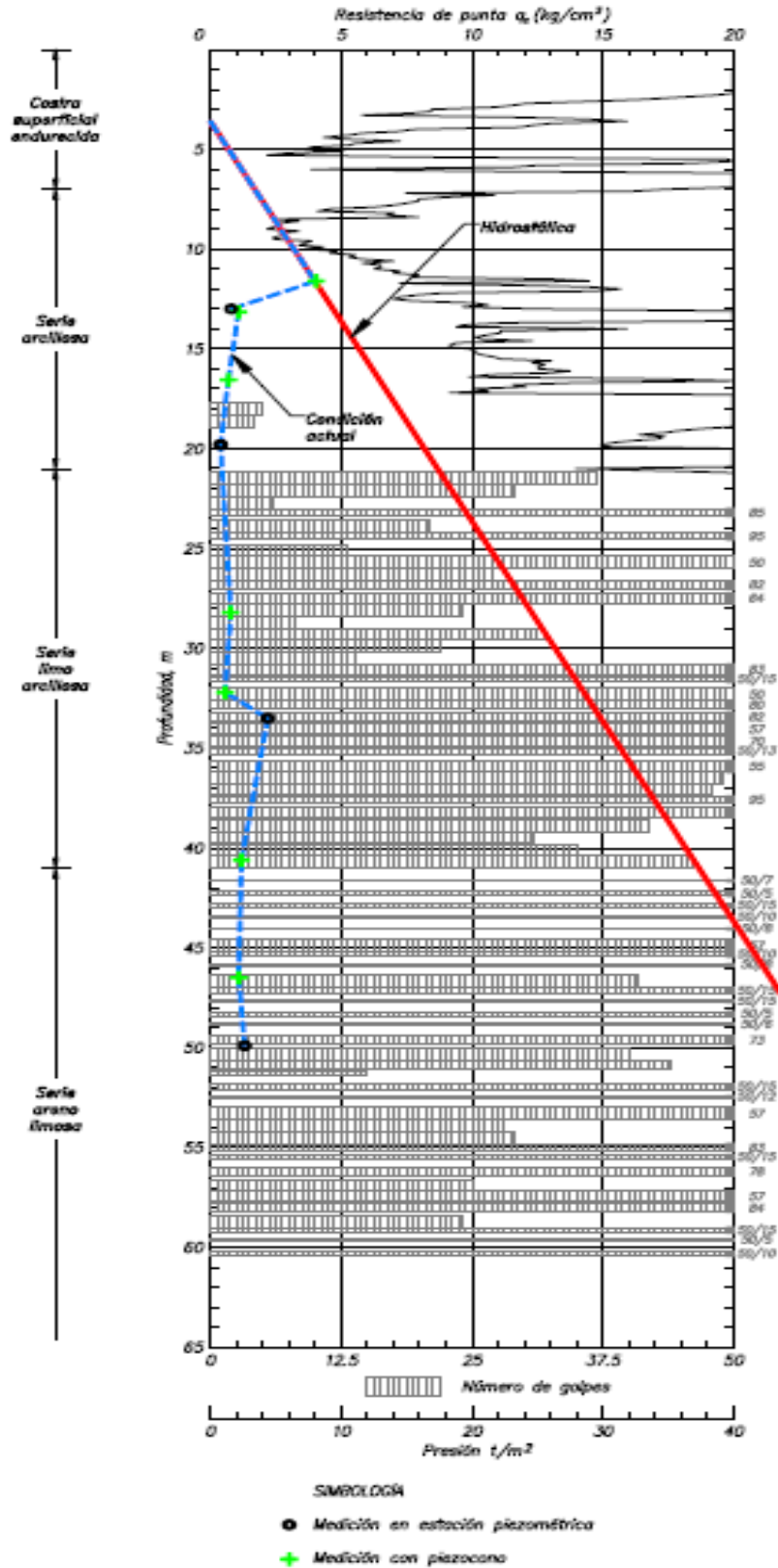


Figura 27. Condiciones piezométricas del sitio, mediciones tomadas con el piezocono. Fuente: Exploración geotécnica en el predio Marina Nacional No. 385, Col. Verónica Anzures

## CAPÍTULO 3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA SUBESTRUCTURA

### 3.1 Análisis y diseño geotécnico de la subestructura

#### 3.1.1 Solución de la cimentación

La subestructura de **MARINA 385**, contempla la construcción de un sótano con cinco niveles de estacionamiento a una profundidad de 15.90 m (nivel máximo de excavación), incluyendo el espesor de 1.5 m de la losa de fondo, cuyo nivel de piso se mantendrá en toda el área del predio, únicamente para la construcción de las cisternas y cuartos de máquinas se excavará hasta llegar a los 18.70 m de profundidad. La separación entre columnas metálicas será de 8.0 y 15.0 m, debido a estos grandes claros se esperan concentraciones de cargas importantes en la cimentación.

Considerando las condiciones estratigráficas del sitio, así como a las grandes concentraciones de cargas previstas en el proyecto, la solución de la cimentación se resuelve con pilas empotradas en la Serie Areno Limosa, desplantadas a 42.0 m de profundidad respecto del nivel de piso del estacionamiento que existía en el predio y con una longitud efectiva de 27.6 m, en caso de referirse al nivel de banqueta de la Av. Marina Nacional deberá adicionarse la diferencia de nivel altura entre el piso de la avenida y el estacionamiento.

#### 3.1.2 Capacidad de carga de las pilas de cimentación

##### 3.1.2.1 Metodología de diseño

La capacidad de carga total de las pilas empotradas en el Serie limo arcillosa, es la suma de las siguientes componentes:

- a) La capacidad por punta debida al desplante de la pila
- b) La capacidad por fricción que se desarrolla en la longitud del fuste

La metodología para determinar cada una de las componentes de la capacidad de carga total, tiene su fundamento en la interpretación del mecanismo de transferencia de carga obtenido en pruebas de carga realizadas en pilas a escala natural; se ha podido definir que de las dos componentes que integran la capacidad de carga total, la primera que se alcanza es la debida a la fricción lateral en el fuste y el desplazamiento requerido para desarrollarla varía de 1 a 2% del diámetro de la pila; por otra parte, para alcanzar la capacidad de carga por punta es necesario que el material de apoyo se deforme una magnitud del orden del 10 % del diámetro de la pila.

##### 3.1.2.2 Capacidad por punta

Capacidad por punta: La capacidad de carga última por punta se estimó a partir del criterio de Berezantzev, con la siguiente ecuación:

$$q_{pu} = \alpha_T \sigma_d N_q \quad (1)$$

Dónde:

$\alpha_T$  Factor de profundidad,  $\alpha_T = 2/3$

$\sigma_d$  Esfuerzo efectivo al nivel de desplante, 28.0 t/m<sup>2</sup>

$N_q$  Factor de capacidad de carga igual a 18, para un  $\phi = 26^\circ$

Por otra parte, basándose en las recomendaciones de O'Neil y Reese, la capacidad de carga (kg/cm<sup>2</sup>) puede estimarse con:

$$q_{pu} = 2N_{SPTcor} \quad (2)$$

Dónde  $N_{SPTcor}$  tiene un valor de 35 ya corregido por efecto de esfuerzo confinante.

La corrección por esfuerzo confinante que se realizó al número de golpes registrados en la prueba de penetración estándar se efectuó con la siguiente expresión:

$$N_{SPTcor} = N_{SPT} \left( \frac{9.576}{\sigma'v} \right)^{1/2}$$

Se tomó el promedio de los  $N_{SPT}$  registrados en el estrato de apoyo con un valor de 77 golpes y con un esfuerzo confinante de 45 t/m<sup>2</sup>, el  $N_{SPTcor}$  que se obtuvo fue de 35.

Con el promedio de los valores de las expresiones (1) y (2) se obtiene  $q_{pu} = 520$  t/m<sup>2</sup>; con este valor se calcularon las capacidades para diferentes diámetros de pilas con la expresión:

$$Q_{pu} = q_{pu} A_p \quad (3)$$

Dónde:

$Q_{pu}$  Capacidad de carga última por punta

$A_p$  Área de la punta de la pila

Estos valores se resumen en la tabla 6.

### 3.1.2.3 Fricción lateral

La fricción lateral sobre las pilas se estima con la siguiente expresión:

$$FP = \pi D \sum h_i f_L \quad (4)$$

Dónde:

$FP$  Fricción lateral sobre la pila (t)

$h_i$  Espesor del estrato  $i$  en que se ha dividido la estratigrafía en toda la longitud de la pila (m)

$f_L$  Fricción lateral unitaria (t/m<sup>2</sup>)

$D$  Diámetro de la pila (m)

Así, se consideró el fuste de la pila empotrado en suelos cohesivos y se obtuvo una resistencia friccionante (fL) última de 13 t/m<sup>2</sup>; en la tabla 6 se resumen los valores de capacidad de carga última por fricción para diferentes diámetros de pila.

### 3.1.2.4 Fricción negativa

La fricción negativa FN que actuará sobre las pilas y el muro del sótano es una consecuencia del hundimiento regional que se presenta en el sitio, provocado por el abatimiento piezométrico generado por la extracción de agua por bombeo profundo para abastecer a la ciudad.

En el sitio se considera que los estratos potenciales de generar fricción negativa, dadas las condiciones piezométricas, son los depósitos arcillosos que se encuentran desde la superficie del terreno hasta 12.0 m de profundidad; por lo que esta acción afectará al muro Milán y sobrecargará las pilas perimetrales; mientras que las pilas interiores al quedar su cabeza por debajo de los 12.0 m se considera que no sufrirán dicho efecto.

La fricción negativa sobre el muro se estimó con la siguiente expresión:

$$FN_m = b_t \sum h_i K_{\phi i} \sigma_i \quad (5)$$

Dónde:

- $FN_m$  Fricción negativa sobre el muro
- $b_t$  Ancho tributario del muro Milán
- $h_i$  Espesor del estrato i que se ha dividido la estratigrafía en toda la profundidad del muro (m)
- $K_{\phi i}$  Coeficiente de empuje a largo plazo del estrato i;  $K_{\phi i} = 0.33$
- $\sigma_i$  Esfuerzo efectivo vertical medido en el estrato i

La fricción negativa que se desarrollará sobre el muro Milán se estimó con la ecuación (5) para toda la profundidad de influencia y para un ancho tributario ( $b_t$ ) que depende de la separación entre ejes de columnas o pilas, llegando a la siguiente expresión:

$$FN_m = 27.56 b_t \quad (6)$$

Diámetro (m)	Perímetro (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Qpu (t)	FP (t)
0.8	2.51	0.5	262	670
1.0	3.14	0.79	409	838
1.2	3.77	1.13	589	1005
1.4	4.4	1.54	802	1173
1.6	5.03	2.01	1048	1340
1.8	5.65	2.54	1326	1508
2.0	6.28	3.14	1637	1675

Tabla 6. Capacidad de carga última de las pilas



Ancho de muro Milán (bt)	FN (t)
4.0	110
6.0	165
8.0	220
10.0	276
12.0	330

Tabla 7. Fricción negativa sobre el muro Milán

### 3.1.2.5 Capacidad de carga admisible a compresión

La capacidad de carga admisible de una pila individual corresponde al valor menor de aplicar dos criterios:

- La resistencia estructural
- La capacidad de carga del suelo de apoyo

Aplicando las expresiones que se detallan a continuación se obtienen las capacidades de carga admisible en condiciones estáticas y sísmicas que se presentan en la tabla 8, para una separación de tres veces el diámetro; dichos valores deberán compararse con las cargas de servicio que transmita la estructura sin aplicar algún factor de carga.

#### **Capacidad de carga por resistencia estructural.**

La carga axial máxima en la pila debe ser menor o igual que la resistencia del concreto, afectada por un factor de dimensionamiento; en el límite:

$$Q_a = \frac{f'_c}{F_{DE}} A_P \quad (7)$$

Dónde:

$Q_a$  Capacidad de carga admisible

$f'_c$  Resistencia del concreto, 300 kg/cm<sup>2</sup>

$F_{DE}$  Factor de dimensionamiento estructural igual a 1.75 en condiciones estáticas

$A_P$  Área de la sección transversal de la pila, m<sup>2</sup>

#### **Capacidad de carga por resistencia del suelo de apoyo.**

La carga máxima en la punta de la pila no debe rebasar la capacidad de carga del suelo afectada por un factor de dimensionamiento en condiciones estáticas,  $F_{DEp} = 3$  por punta y  $F_{DEf} = 1.9$  por fricción.

$$Q_{aSUELO} = \frac{Q_{pu}}{F_{DEp}} + \frac{FP}{F_{DEf}} \quad (8)$$

**Capacidad de carga admisible en compresión en sismo.**

En condiciones sísmicas también deben compararse las capacidades estructural y de resistencia del suelo de apoyo, mediante la aplicación de las siguientes expresiones.

La carga axial máxima de diseño en la pila debe ser menor o igual que la resistencia del concreto afectada por un factor de dimensionamiento:

$$Q_{aESIS} = \frac{f'_c}{F_{DES}} A_P \quad (9)$$

Dónde:

$F_{DES}$  Factor de dimensionamiento estructural igual a 1.4

Por otra parte, la capacidad de carga admisible del suelo se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{aSSIS} = \frac{Q_{pu}}{F_{DPS}} + \frac{FP}{F_{DFS}} \quad (10)$$

Dónde:

$Q_{pu}$  Capacidad de carga última por punta

$FP$  Fricción lateral sobre la pila

$F_{DPS}$  Factor de dimensionamiento por punta en sismo igual a 3

$F_{DFS}$  Factor de dimensionamiento por fricción en sismo igual a 1.8

**3.1.2.6 Capacidad de carga admisible a tensión**

La capacidad a tensión se desarrollará por fricción lateral en la longitud empotrada dividida por un factor de dimensionamiento de 1.8. En la tabla 8 se presentan los valores de la capacidad admisible de las pilas para resistir tensiones.

Diámetro (m)	Compresión		Tensión
	$Q_{adm\ est} (t)$	$Q_{adm\ sis} (t)$	$Q_{adm\ tensión} (t)$
0.8	440	460	372
1.0	577	602	465
1.2	725	755	558
1.4	885	919	651
1.6	1055	1094	744
1.8	1235	1280	838
2.0	1427	1476	931

Tabla 8. Capacidad de carga admisible en pilas

Deberán de compararse con las cargas de servicio que transmita la estructura sin aplicar algún factor de carga.

### 3.1.2.7 Análisis de asentamientos

Se obtuvieron como la suma de la deformación elástica del elemento trabajando como columna corta y el asentamiento originado en el material de apoyo; la expresión empleada es la siguiente:

$$\delta_T = \frac{QL_T}{E_c A_b} + \frac{(3-4\nu)(1+\nu)Q_p}{2\pi E_s D} \quad (11)$$

Dónde:

- $Q$  Carga media en la pila (t)
- $Q_p$  Carga de trabajo por punta (t)
- $L_T$  Longitud total de la pila (m)
- $E_c$  Módulo de Young de la pila (t/m<sup>2</sup>)
- $E_s$  Módulo de Young del suelo apoyado (t/m<sup>2</sup>)
- $A_b$  Sección transversal de la pila (m<sup>2</sup>)
- $\nu$  Relación de Poisson igual a 0.3
- $D$  Diámetro de la pila (m)

En la gráfica de la figura 28, se indican los asentamientos estimados para pilas de diferentes diámetros bajo una carga igual a la admisible; debe aclararse que el valor mínimo necesario para que se desarrolle la capacidad por fricción es del orden del 2 por ciento del diámetro de la pila.

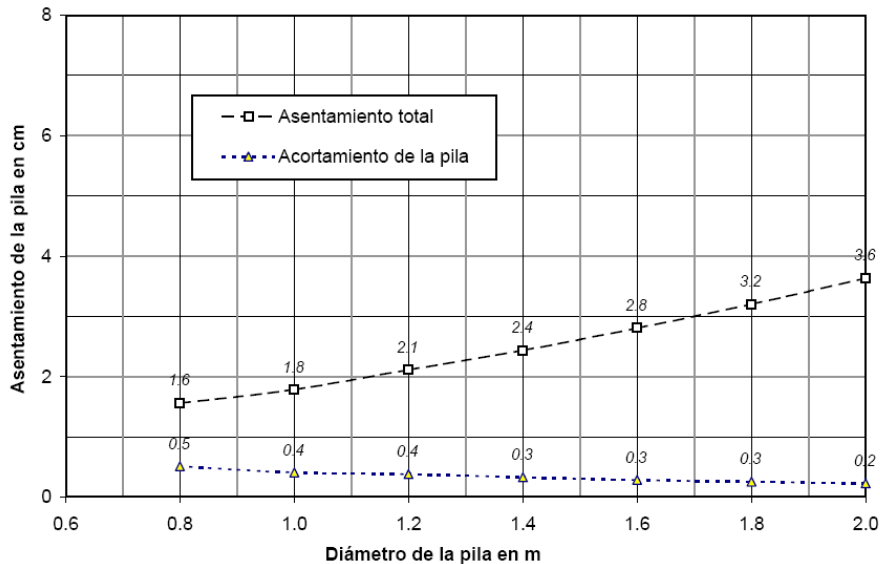


Figura 28. Gráfica Asentamiento VS Diámetro de pila. Fuente: Exploración geotécnica en el predio Marina Nacional No. 385, Col. Verónica Anzures

### 3.1.2.8 Numero de pilas

El número de pilas necesario en condiciones estáticas y sísmicas deberá determinarse de acuerdo con el proyecto estructural definitivo, aplicando la siguiente expresión:

$$N_{pilas} = \frac{W_{est} \pm \Delta Q_{sismo}}{Q_{adm}} \quad (12)$$

Dónde:

$W_{est}$  Carga de la estructura a nivel de cimentación en condiciones estáticas

$\Delta Q_{sismo}$  Incremento o decremento de carga debido a la sismo

$Q_{adm}$  Capacidad de carga admisible de la pila

### 3.1.3 Estabilidad de la excavación

El análisis de la estabilidad de la excavación consistió en la revisión del muro de contención perimetral y de los taludes interiores; para el primer caso se estudiaron los dos mecanismos de falla factibles: empotramiento de la pata del muro y falla general por el fondo para la excavación.

#### 3.1.3.1 Empotramiento de la pata del muro

El factor de seguridad del empotramiento de la pata del muro se evaluó revisando el pateo que ocurre al vencerse la resistencia del suelo frente al muro; considerando que al nivel del último puntal colocado en cada etapa de excavación se genera una articulación plástica; se revisaron varias longitudes de empotramiento de la pata del muro, para la excavación de cinco niveles en sótano y de 17.0 m de profundidad respecto al nivel de la baqueta de Av. Marina Nacional, aplicando la siguiente expresión:

$$FS_p = \frac{cLr + Wl}{p \frac{D^2}{2}} \quad (13)$$

Dónde:

$c$  Valor medio de la resistencia no drenada de la arcilla, 7.5 (t/m<sup>2</sup>)

$L$  Longitud de la superficie de falla

$r$  Radio de la superficie de falla

$W$  Peso saturado del suelo dentro de los límites de la superficie de falla

$p$  Presión promedio sobre el muro, 6.1 (t/m<sup>2</sup>)

Para la longitud de empotramiento de 3.6 m que tendrá el muro a partir del nivel máximo de excavación se contará con un factor de seguridad de 2.8; este análisis consideró que los puntales se colocarán a las profundidades de -3.0, -6.3, -9.1 y -11.9 m, es decir en general a 50 cm por arriba del lecho superior de la losa de entrepiso.

#### 3.1.3.2 Falla general por el fondo

El factor de seguridad se calcula con la siguiente expresión:

$$FS_f = \frac{cN_c}{\gamma D_f + q} \quad (14)$$

Dónde:

- $N_c$  Factor de capacidad de carga, igual a 5.14  
 $c$  Valor medio de la resistencia no drenada de la arcilla, 8.4 (t/m<sup>2</sup>)  
 $\gamma D_f$  Presión total inicial al nivel máximo de excavación, 18.0 (t/m<sup>2</sup>)  
 $q$  Valor de las presiones de sobrecarga en la superficie, 6 (t/m<sup>2</sup>)

Para la máxima profundidad de excavación considerada de 18.70 m el factor de seguridad contra la falla de fondo es de 1.8.

### 3.1.3.3 Análisis de estabilidad de taludes

Para alcanzar el nivel de desplante de la losa de fondo del cajón a 18.70 m de profundidad se requerirá de una excavación a cielo abierto con taludes; se plantea alcanzar el nivel de desplante de la losa de fondo con una excavación por etapas y que consistirá en ir colocando puntales conforme se vaya descendiendo, limitando la altura de los taludes que se dejen. La estabilidad se revisó empleando el método simplificado de Janbú y con parámetros de resistencia no drenados; este método define el factor de seguridad (FS) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$FS = \frac{N_{cf}c}{\gamma H} \quad (15)$$

Dónde:

- $N_{cf}$  Numero de estabilidad, depende del ángulo del talud  
 $c$  Resistencia no drenada representativa del material arriba del fondo de la excavación, 8.4 (t/m<sup>2</sup>)  
 $\gamma H$  Presión total al nivel del pie del talud, 16.3 (t/m<sup>2</sup>)

El efecto del tiempo en la estabilidad del talud en las excavaciones a cielo abierto que se realizan en las arcillas de la *Zona de Lago* y que deben permanecer abiertas largo tiempo, se debe tomar en cuenta la disminución de la resistencia al corte de la arcilla; por ensayos de laboratorio se conoce que esta resistencia se reduce a un 80% de su valor inicial; el factor de seguridad disminuye en esa misma proporción. Por lo que, el talud recomendado que permita alcanzar los diferentes niveles de puntales a largo plazo tendrá un factor de seguridad de 2.1 y con sismo un valor de 1.6.

### 3.1.4 Implicaciones para el diseño estructural

#### **Pilas.**

Las pilas soportarán la totalidad de las cargas transmitidas por el edificio, por lo que deberán diseñarse estructuralmente para las cargas axiales de trabajo en compresión y tensión, incluyendo los incrementos de carga debidos a la fricción negativa más el peso del elemento de cimentación, sin factor de carga. Sin embargo, durante la excavación y construcción de la cimentación, las pilas

estarán sometidas a fuerza de tensión ascendente generados por la descarga de 18.0 t/m<sup>2</sup>, por lo que se deberá disponer de acero de refuerzo para soportar esta condición.

Debe garantizarse la continuidad estructural entre columnas y muros de rigidez y sus pilas de apoyo; la estructura deberá ser capaz de soportar los asentamientos diferenciales entre pilas adyacentes y que ocurrirán principalmente durante la construcción.

**Módulo de reacción estático de las pilas.**

Se define como el esfuerzo aplicado en el cabeza de la pila, necesario para generar un asentamiento unitario, el cual se calculó con la siguiente expresión:

$$k_v = \frac{Q_a}{\delta_T} \quad (16)$$

Dónde:

$k_v$  Módulo de reacción vertical de la pila (t/cm)

$Q_a$  Capacidad de carga admisible en condiciones estáticas

$\delta_T$  Asentamiento total de la pila

Mientras que para calcular el módulo lateral estático para las pilas, se empleó la siguiente expresión:

$$k_l = \frac{67C_u}{1.5} D \quad (17)$$

Dónde:

$k_l$  Módulo de reacción lateral de la pila (t/m)

$C_u$  Resistencia al corte no drenada del suelo, 11 (t/m<sup>2</sup>)

$D$  Diámetro de la pila (m)

El valor de  $k_l$  así determinado presenta un alto grado de incertidumbre y debe usarse con criterio para definir orden de magnitud.

En la tabla 9 se resumen los valores de  $k_v$  y  $k_l$  para diferentes diámetros, se expresan como constantes de resorte para que sean empleados en el modelo estructural.

Díámetro (m)	$k_v$ (t/cm)	$k_l$ (t/cm)
0.8	282.0	3.93
1.0	323.0	4.91
1.2	343.0	5.9
1.4	363.0	6.88
1.6	376.0	7.86
1.8	386.0	8.84
2.0	392.0	9.83

Tabla 9. Módulos de reacción estático



El módulo de reacción horizontal estático  $k_{hc}$  para el cajón se infirió a partir de correlaciones empíricas, las que consideran que el área en planta del cajón es un rectángulo y para aplicarlas se efectuó una equivalencia de áreas; además el parámetro G se infirió a partir de los valores del módulo E de los ensayos triaxiales, por lo que el valor calculado presentan un alto grado de incertidumbre y solamente debe utilizarse para estimar órdenes de magnitud;  $k_{hc}= 97.4 \text{ t/m}^3$ .

#### ***Losa de fondo.***

Las presiones que deberá soportar la losa de fondo, además de las transmitidas por la estructura, será la presión de compensación actuante hacia arriba y uniformemente distribuida de  $18.0 \text{ t/m}^2$ .

#### ***Muros de contención perimetral o muros Milán.***

En el diseño de los muros perimetrales se deben considerar dos condiciones generales de empuje de tierra. La primera, es la condición a corto plazo que se presentará en los muros Milán y soportes durante la excavación y construcción de la cimentación; la segunda condición es la que se desarrollará a largo plazo y que se aplicará a los muros definitivos del sótano.

De acuerdo con la experiencia que se ha tenido en excavaciones además con muro Milán en la CDMX y considerando que los suelos por retener son cohesivos, se calculan las presiones horizontales con los esfuerzos efectivos, se adiciona el empuje del agua y posteriormente se hace la redistribución del diagrama triangular para obtener el trapecial.

En la figura 29 y figura 30 se muestran los diagramas de presiones horizontales sobre los muros del sótano para las condiciones indicadas, se consideró una sobrecarga de  $6 \text{ t/m}^2$  del lado colindante a la plaza comercial y de  $3 \text{ t/m}^2$  en el resto de las colindancias que corresponden a las calles.

A los puntales que se instalaran durante la excavación se les aplicara una precarga que será entre el 10 y el 25% de la fuerza que resulte de considerar el área tributaria que le corresponde a cada nivel de puntales de acuerdo a los diagramas de la figura 29 y 30.

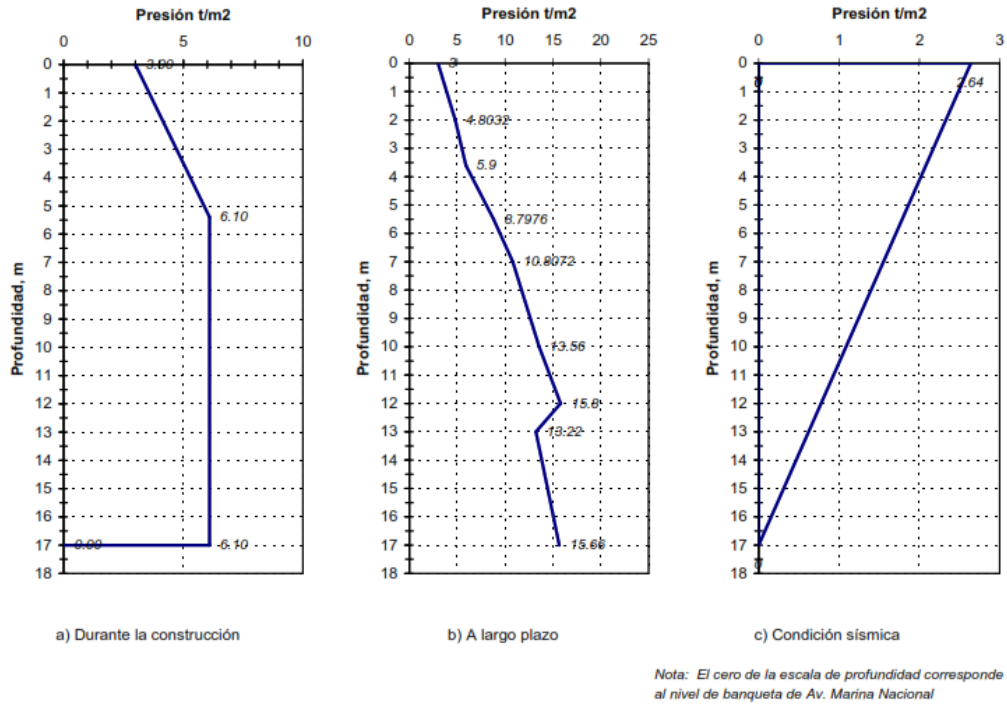


Figura 29. Presiones sobre el muro Milán en la colindancia con la plaza comercial. Fuente: Exploración geotécnica en el predio Marina Nacional No. 385, Col. Verónica Anzures

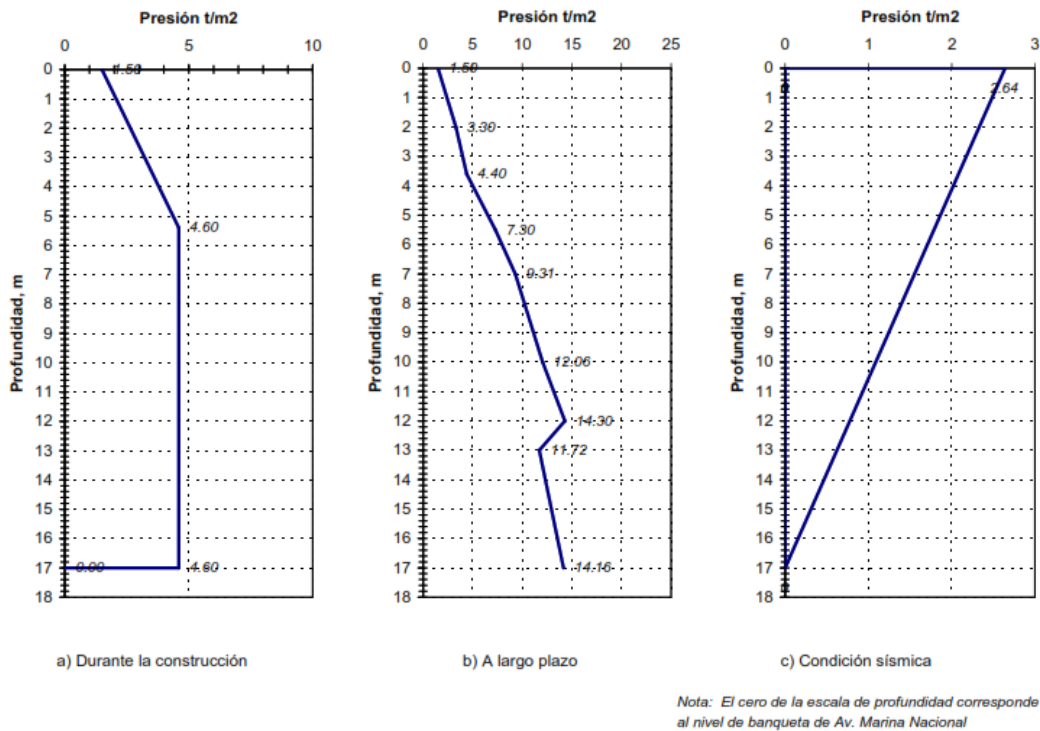


Figura 30. Presiones sobre el muro Milán en la en la periferia donde no hay edificios colindantes. Fuente: Exploración geotécnica en el predio Marina Nacional No. 385, Col. Verónica Anzures

### 3.1.5 Materiales

En todo el proyecto se utilizará concreto estructural clase 1 con peso volumétrico en estado fresco superior a  $2.2 \text{ T/m}^3$ , la resistencia del concreto varía dependiendo del elemento estructural de que se trate, en muros Milán y pilas se usará concreto con una resistencia de  $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$ ; en muros y columnas la resistencia requerida será de  $500 \text{ kg/cm}^2$  a  $400 \text{ kg/cm}^2$  dependiendo del nivel que se esté construyendo. En los firmes de las losas y entrepisos se utilizará concreto con una resistencia de  $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ .

Los módulos de elasticidad empleados en el análisis y en la revisión de los estados límites de servicio, fueron los recomendados por las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto publicados el 6 de octubre de 2004. Para el concreto de  $f'c=400 \text{ kg/cm}^2$   $E= 14000 \sqrt{f'c}$  y para  $f'c=500 \text{ kg/cm}^2$   $E= 8500 \sqrt{f'c} + 110000$  en  $\text{kg/cm}^2$ .

El acero de refuerzo usado en varillas de calibre 3/8" y diámetros mayores, será varilla corrugada grado 42 y tendrá un esfuerzo de fluencia  $f_y= 4,200 \text{ kg/cm}^2$  y para varillas del #2 deberá de ser de  $f_y= 2,530 \text{ kg/cm}^2$ .

## 3.2 Proceso constructivo de la subestructura

### 3.2.1 Sistema constructivo "Top-Down"

En toda obra de edificación existen tres factores que son de suma importancia para la buena ejecución del proyecto y satisfacer las necesidades del cliente, los cuales son: costo del proyecto, calidad de los trabajos entregados y el tiempo de ejecución.

Existe una fuerte competencia de las empresas constructoras por los pequeños márgenes de utilidad y la siempre escasa existencia de recursos, por tanto, se requiere mejorar las técnicas de construcción o innovar presentando nuevas alternativas de construcción, buscando minimizar los costos, ya sea a través de un uso más eficiente de los recursos, minimizando los tiempos de ejecución o el uso de la mano de obra, estandarizando sus procesos de manera que se pueda utilizar equipo y maquinaria común o utilizando nuevos materiales, así, se vuelve cada vez más indispensable incorporar parámetros de diseño más eficientes y nuevos sistemas que deriven en procesos constructivos de menor costo, tanto para el constructor como el cliente.

En la actualidad, la secuencia de excavación Top-Down ha ganado terreno en la edificación de estructuras en la CDMX. Su eficiencia se ha puesto a prueba en diferentes obras, resaltando proyectos como la Torre BBVA-Bancomer, Torre Mayor y Reforma 180. Los resultados obtenidos han sido buenos, ya que se cumplieron los objetivos de optimizar tiempos de ejecución y reducción de costos.

A partir de los análisis de estabilidad realizados al proyecto, a continuación, se describe el procedimiento constructivo Top-Down aplicado a la construcción de la subestructura. En forma

general consistirá en remover las estructuras existentes, conformar una plataforma de trabajo, construcción de las pilas y muro Milán, excavación y construcción por etapas de los entrepisos del sótano, instalación y puesta en funcionamiento del sistema de bombeo y excavación hasta el nivel de desplante de la losa de fondo, cisternas y cuartos de máquinas.

Antes de iniciar los trabajos de la obra civil, primero se realiza el confinamiento del área de trabajo por medio de un tapial y colocación de señalización de los trabajos que se ejecutaran en el predio, posteriormente se procede con la demolición las estructuras y cimentaciones existentes, de tal forma que se tenga una plataforma de trabajo competente, horizontal y drenada al nivel 0.00 m, misma que garantice la estabilidad de los equipos que circulan en ella, ver figura 31.

Una vez conformada la plataforma de trabajo, se procedió a movilizar la maquinaria y equipo menor al sitio, así como al personal que ejecutará la construcción de las pilas de cimentación y del muro Milán.

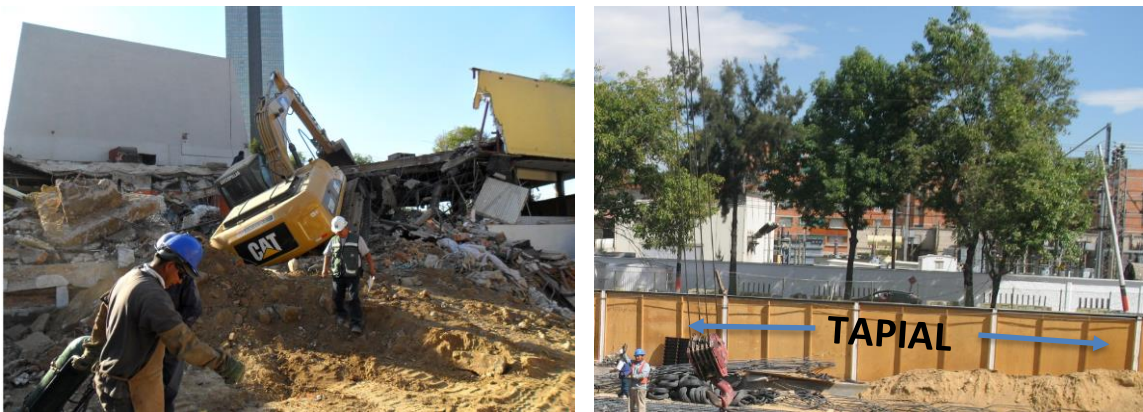


Figura 31. Ejecución de trabajos preliminares dentro del predio. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

A continuación, se describen las etapas del procedimiento constructivo Top-Down aplicado en el proyecto **MARINA 385**:

1. Construcción de las pilas que se desplantaran a 42.0 m de profundidad, empotradas en la Serie Areno Limosas, respecto al nivel actual del estacionamiento existente, para estabilizar la perforación se usará lodo bentonítico y el colado de la pila se suspenderá de acuerdo a lo indicado en los planos estructurales referente a la construcción de las pilas. Antes que el concreto tenga su fraguado inicial, se deberán colocar las columnas metálicas debidamente centradas y ahogadas en el concreto.



Figura 32. Excavación para construcción de brocal e izado de acero de refuerzo para pila. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

2. Una vez instaladas las columnas metálicas se rellenará la excavación con una mezcla de bentonita y cemento fluido que confine la columna, la proporción en peso de esta mezcla es agua 75%, bentonita 10% y cemento 15%.



Figura 33. Posición final de columnas metálicas. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

3. Se realiza el trazo para la excavación de la zanja guía del muro y posteriormente se procede a la construcción de los brocales guía para el muro. La excavación de los tableros se realiza atacando tableros alternados con la idea de que cada tablero excavado quede respaldado por un bloque de suelo sin excavar, después de ser centradas y nivelas las parrillas de acero se procede a introducir la tubería Tremie para el colado de los muros Milán de 21.0 m de longitud y 0.60 m de ancho, ver figura 34.





Figura 34. Excavación, maniobrad de izado de acero y colado de muro Milán. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

4. Armado, cimbrado y colado de la trabe de coronamiento, cuya construcción tiene la finalidad de distribuir las cargas en todo el muro, siendo la interface entre la subestructura y la súperestructura, de igual forma, une todos los paneles del muro Milán para que funcionen en conjunto.

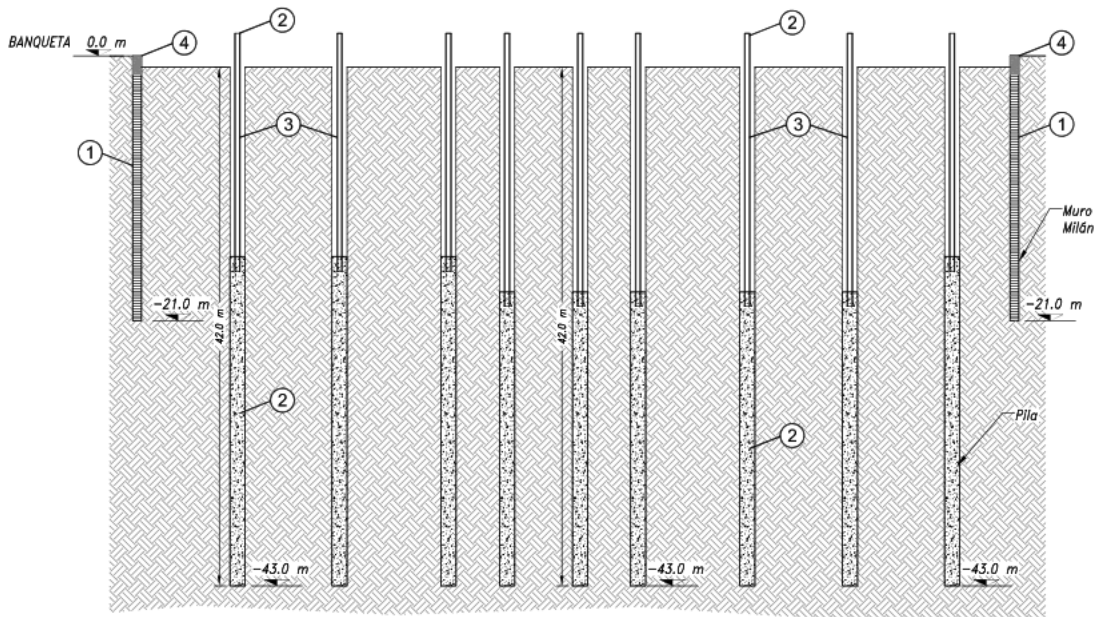


Figura 35. Proceso constructivo Top-Down – Etapas 1 a 4. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

5. Posteriormente se instala el sistema de bombeo para abatir el nivel freático, mismos que está integrado por tubos de observación y pozos de bombeo. La perforación de los pozos de bombeo será de 25 cm de diámetro y perforada con una maquina rotatoria con broca de aletas. El nivel dinámico de los pozos de bombeo deberá permitir un abatimiento de 2.0 m por debajo del nivel máximo de excavación. El tubo de observación consiste en un ducto vertical de PVC instalado



dentro de una perforación, su parte inferior es permeable para permitir la entrada del agua y la parte superior sellada con bentonita para evitar que el agua superficial entre al tubo, el nivel del agua es medido con una sonda piezométrica, ver figura 36.

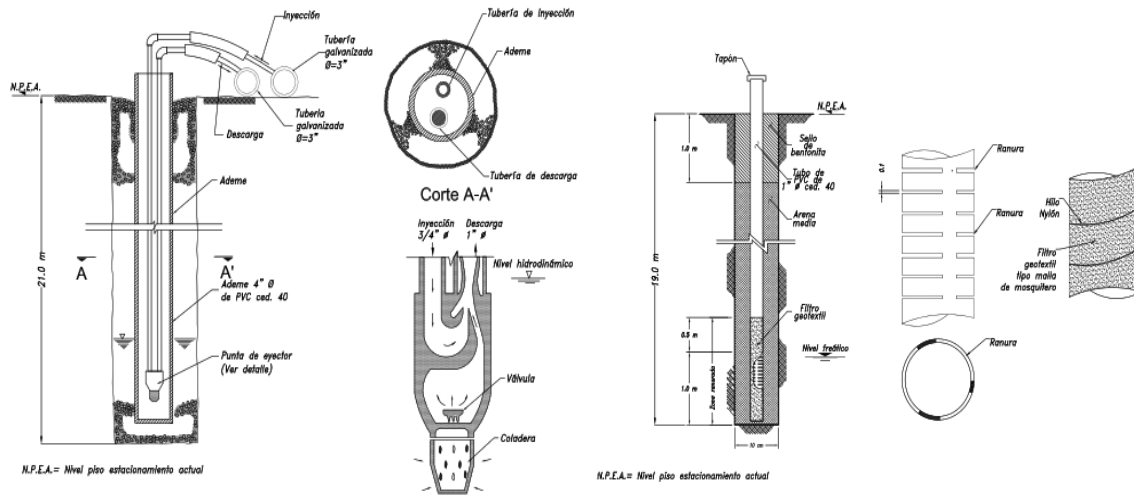


Figura 36. Sistema de bombeo (pozo de bombeo y tubo de observación). Fuente: Plano Sistema de bombeo para el abatimiento del nivel freático - TGC

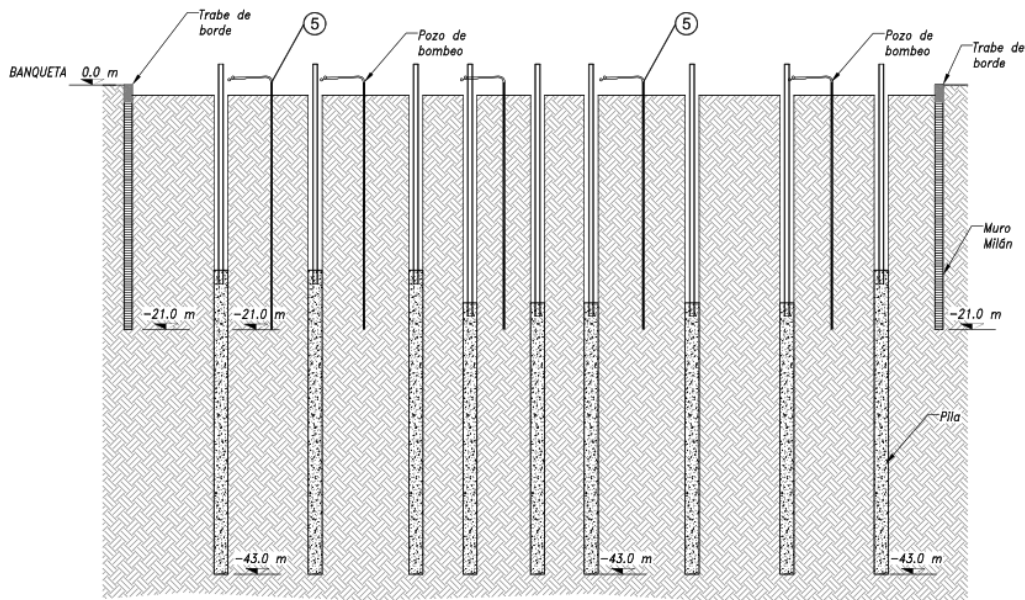


Figura 37. Proceso constructivo Top-Down – Etapa 5. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

6. Instalación de las traves metalicas para el sistema de pisos correspondiente al nivel +1.8 m, se coloca la lámina Romsa, seguida del cimbrado, armado de refuerzo en la losa y finalmente se realiza el colado de la losa, ver figura 38.



Figura 38. Construcción del sistema de pisos en nivel +1.8 m. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

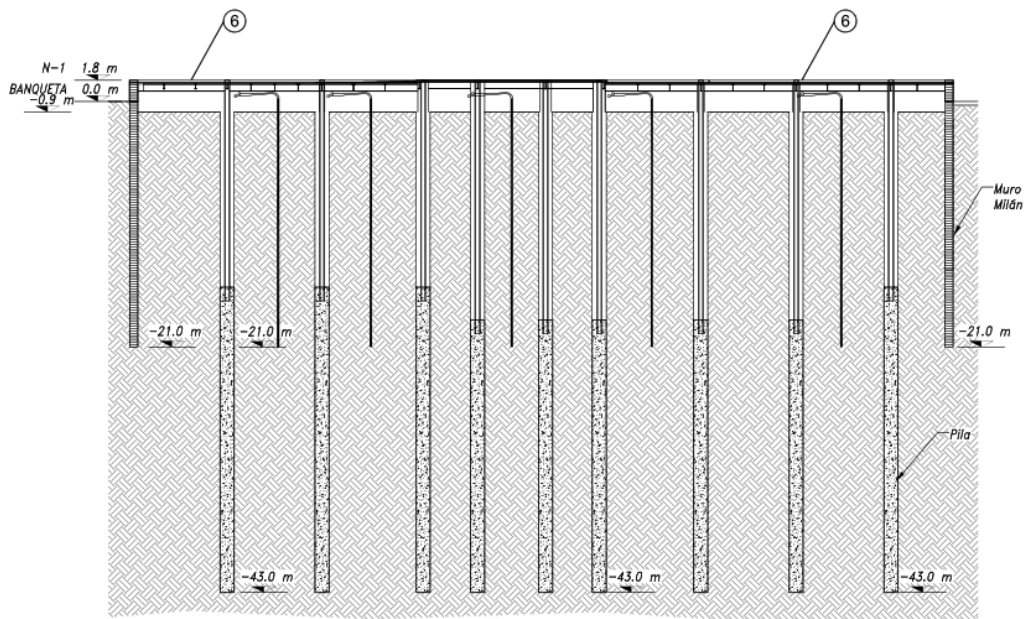


Figura 39. Proceso constructivo Top-Down – Etapa 6. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

7. Para poder iniciar con la excavación de la subestructura se requiere tener instaladas las columnas metálicas y conforme se vaya ejecutando la excavación se irán estructurando las losas de entrepisos hasta alcanzar los niveles de proyecto. Se dejarán tres lumbreras en ubicaciones estratégicas para elevar el material al nivel de banqueta y posteriormente es retirado a un banco de tiro autorizado. Al cumplirse la premisa anterior se procederá a excavar hasta el nivel -3.0 m, el material producto de la excavación será retirado por las lumbreras, ver figura 40.





Figura 40. Retiro de material en lumbrera y carga de material producto de la excavación. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

8. Una vez terminada la excavación se construye el sistema de entrepisos que está conformado por una losa de tipo losacero con firme de concreto, esta losa estará apoyada sobre traveses metálicas principales y secundarias, conectadas entre ellas a través de pernos de cortante. Se realiza el montaje de las traveses metálicas correspondiente al nivel -2.4 m, se procede a colocar la lámina Romsa, apuntalando, armando y finalmente se realiza el colado de la misma, ver figura 41.



Figura 41. Excavación al nivel -3.0 m, apuntalamiento y armado de losacero. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

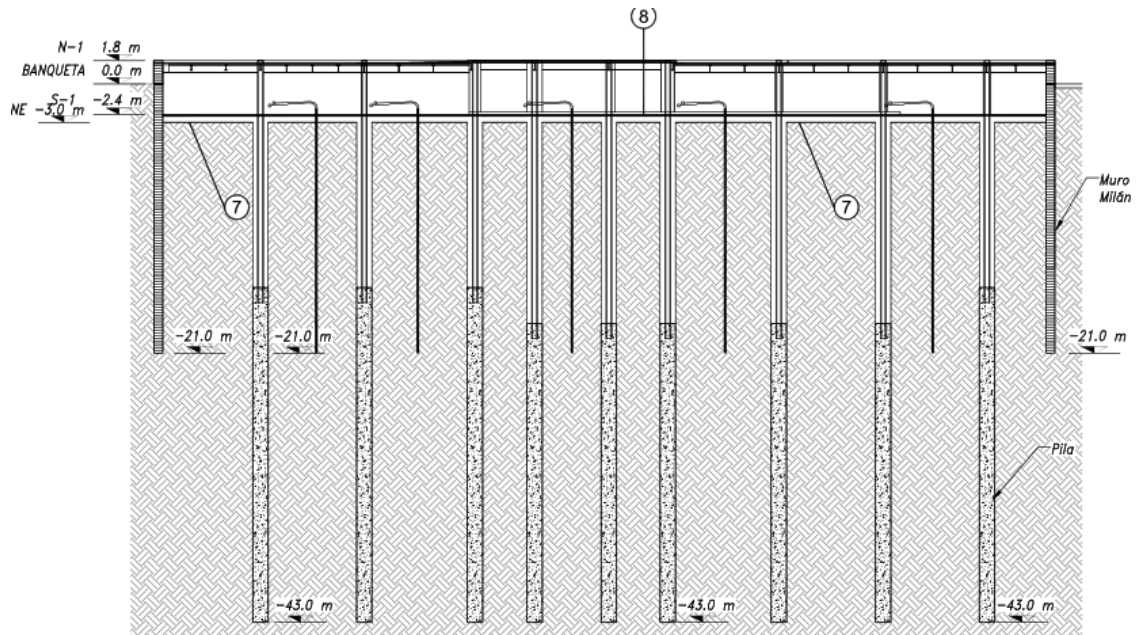


Figura 42. Proceso constructivo Top-Down – Etapas 7 y 8. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

9. Una vez que la losa alcanzó la resistencia adecuada se procederá a excavar debajo de ella hasta llegar al nivel -6.0 m, ver figura 43. El material producto de la excavación se retira por las lumbreras.



Figura 43. Excavación al nivel -6.0 m. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

10. Se realiza el montaje de las traveses metálicas correspondiente al nivel -5.4 m, se procede a colocar la lámina Romsa, apuntalando, armando y finalmente se realiza el colado de la misma, ver figura 44.





Figura 44. Montaje de las traves metálicas (primarias y secundarias) en el nivel -5.4 m. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

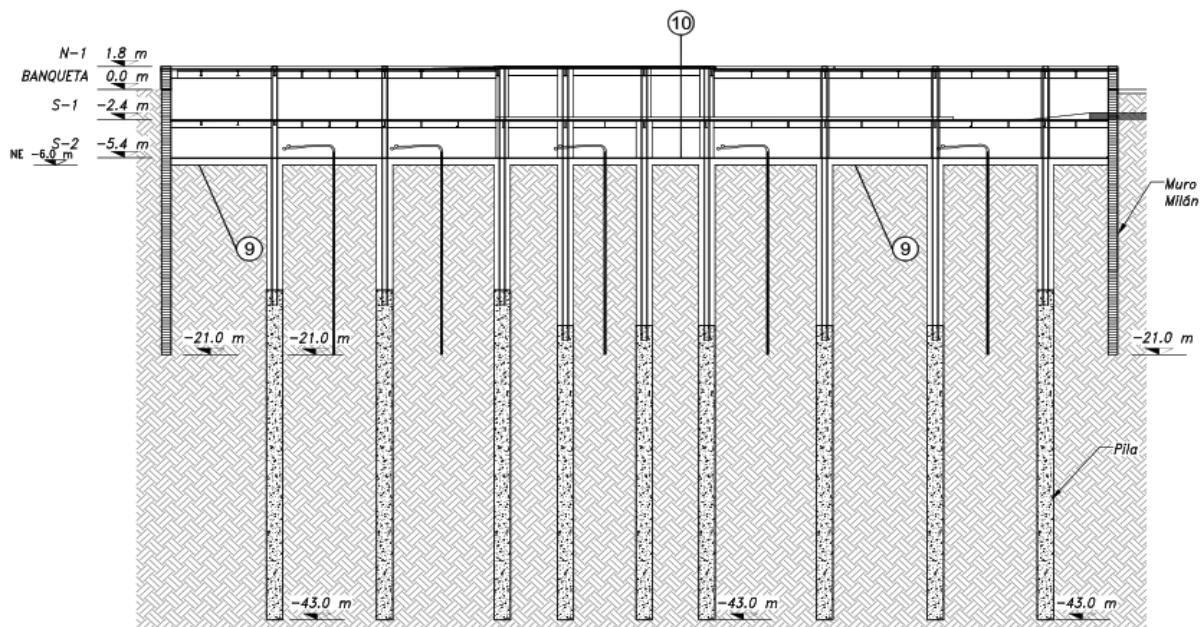


Figura 45. Proceso constructivo Top-Down – Etapas 9 y 10. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

11. Una vez que la losa alcanzó la resistencia adecuada se procederá a excavar debajo de ella hasta llegar al nivel -9.0 m. El material producto de la excavación se retira por las lumbreras.
12. Se realiza el montaje de las traves metálicas correspondiente al nivel -8.4 m, se procede a colocar la lámina Romsa, apuntalando, armando y finalmente se realiza el colado de la misma, ver figura 46.



Figura 46. Colocación de traves metálicas y cimbra en el nivel -8.4 m. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

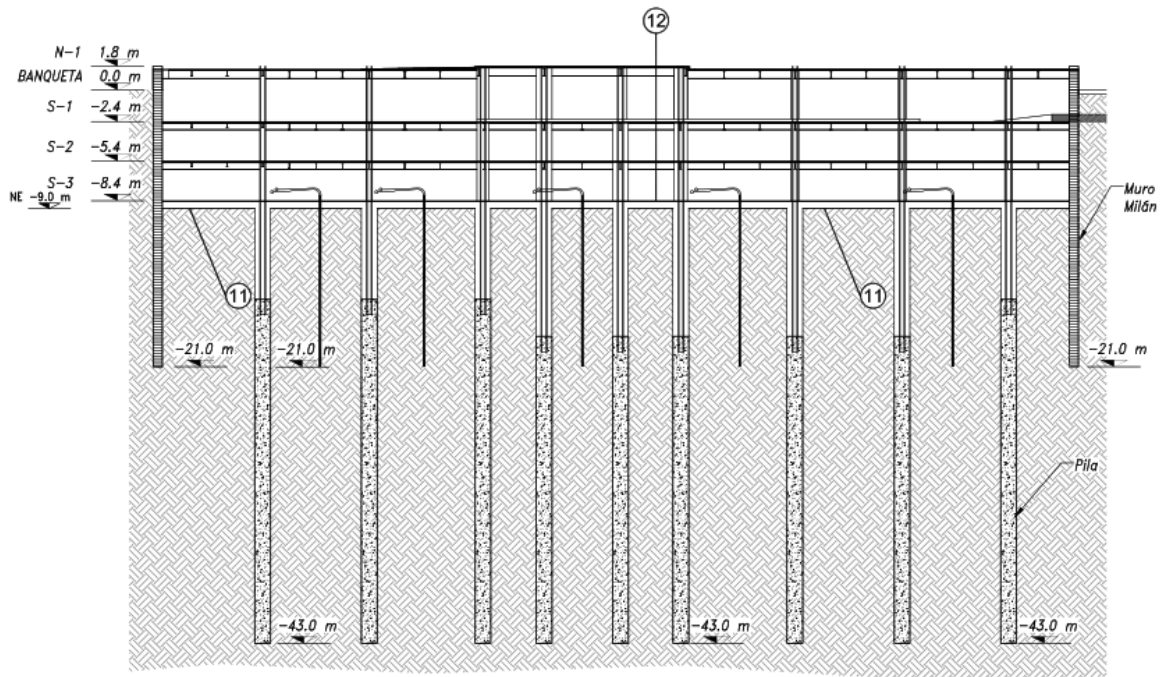


Figura 47. Proceso constructivo Top-Down – Etapas 11 y 12

13. Una vez que la losa alcanzó la resistencia adecuada se procederá a excavar debajo de ella hasta llegar al nivel -12.0 m. El material producto de la excavación se retira por las lumbreras.
14. Se realiza el montaje de las traves metálicas correspondiente al nivel -11.4 m, se procede a colocar la lámina Romsa, apuntalando, armando y finalmente se realiza el colado de la misma.



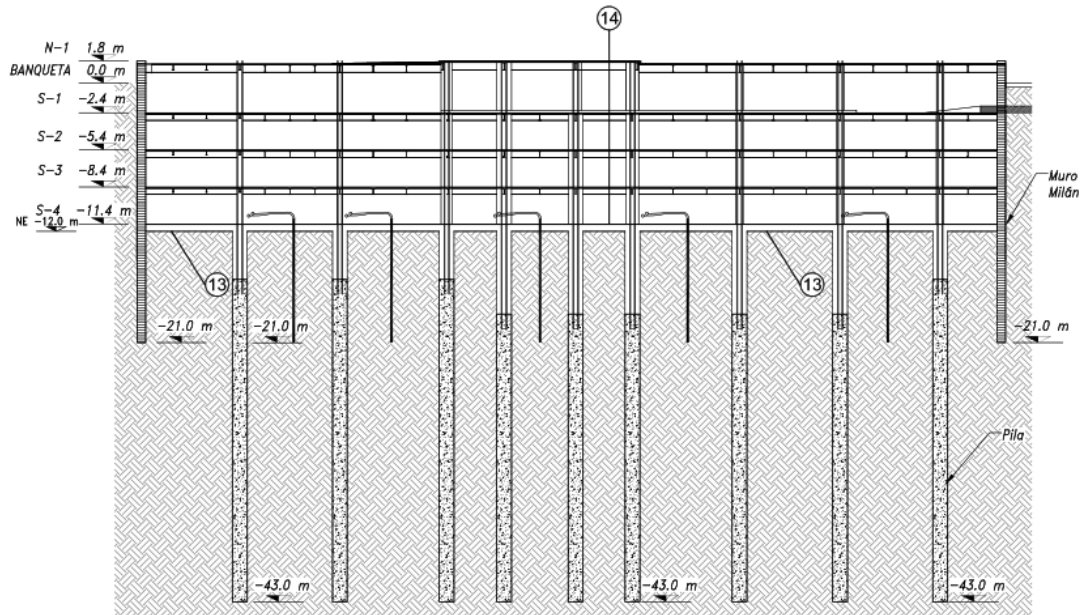


Figura 48. Proceso constructivo Top-Down – Etapas 13 y 14. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

15. Una vez que la losa alcanzó la resistencia adecuada se procederá a excavar debajo de ella hasta llegar al nivel -14.4 m. El material producto de la excavación se retira por las lumbreras.

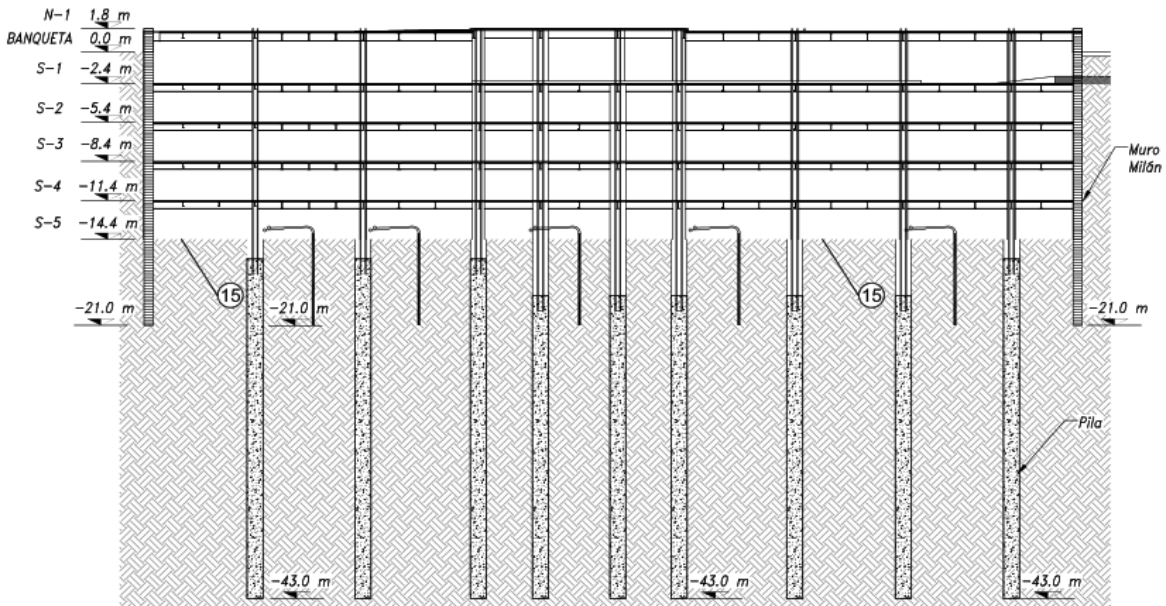


Figura 49. Proceso constructivo Top-Down – Etapa 15. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

16. Se realiza el afine del fondo de la excavación al nivel -15.90 para desplantar la losa de fondo del quinto nivel del estacionamiento, espesor de 1.5 m. Se coloca la plantilla de trabajo, posteriormente se arman las contratraves y la losa de fondo, por último, se procede al colado de las contratraves y losa. Se deja libre la zona de las cisternas, cuartos de máquinas y cubo de elevadores.





Figura 50. Sistema de entrepisos. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

17. Una vez que la losa de fondo tenga la resistencia adecuada se suspende el bombeo, pero se mantendrán operando los pozos de bombeo en las zonas donde se excavarán las cisternas. Una vez que se suspenda el bombeo se procede a recortar el ademe de PVC y se rellenaran los pozos con una mezcla de bentonita-cemento, en la losa de fondo se sellará en el punto del pozo con concreto adicionado expansor de volumen.

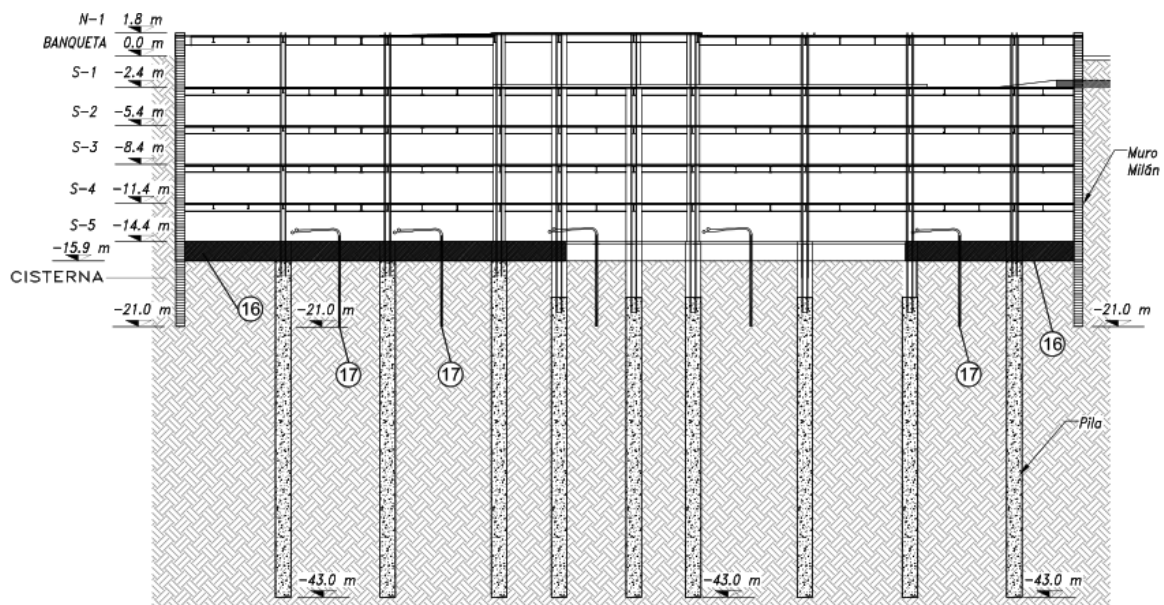


Figura 51. Proceso constructivo Top-Down – Etapas 16 y 17. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

18. Una vez que la losa de fondo del nivel -15.90 m tenga la resistencia adecuada, se procederá a excavar el área de las cisternas en tres fases diferentes.
19. Cuando ya se tenga concluida la construcción de las cisternas se deberá suspender el bombeo y posteriormente se sellarán los pozos de bombeo.

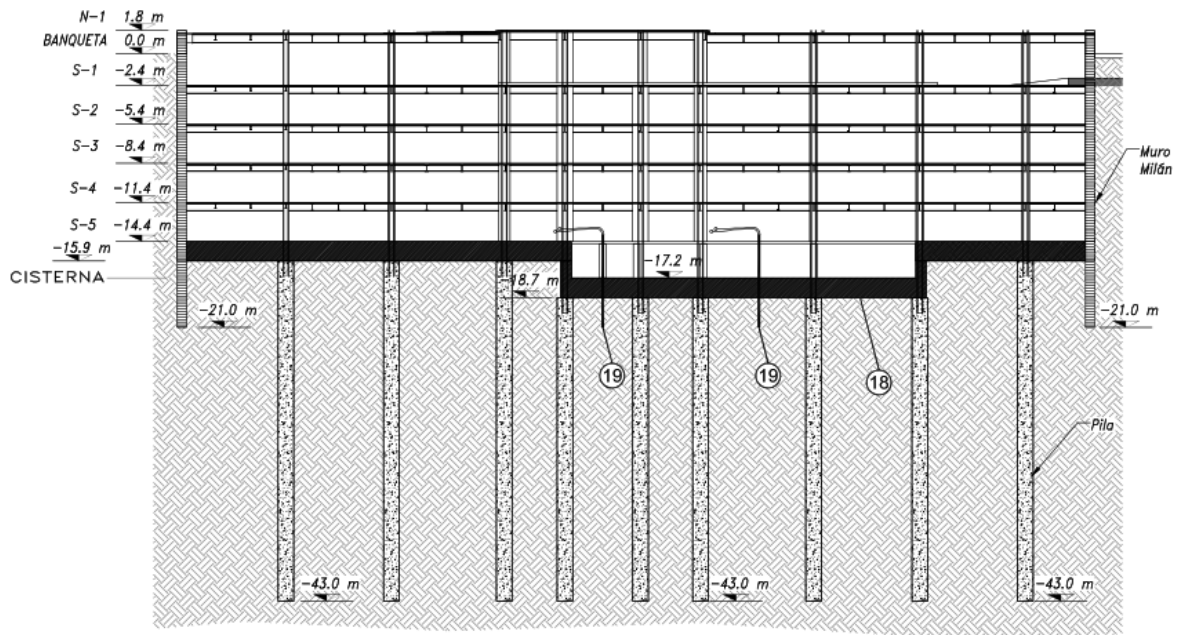


Figura 52. Proceso constructivo Top-Down – Etapas 18 y 19. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

## CAPÍTULO 4. INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA UTILIZADA EN MARINA 385

### 4.1 Proyecto ejecutivo del sistema de instrumentación

Derivado de la autorización para construir el proyecto **MARINA 385**, localizado en la Av. Marina Nacional N°385 esquina con la calle Bahía de la Ascensión en la Colonia Verónica Anzures de la Ciudad de México, VIVEICA S.A. de C.V. solicitó a ICA Ingeniería los trabajos para instalar un sistema de instrumentación a base de inclinómetros verticales instalados en el muro Milán, referencia topográfica superficial en el perímetro de la construcción (muro Milán) y referencias topográficas al interior del estacionamiento.

Ya que es necesario tener un monitoreo del comportamiento de la subestructura que permita dar seguridad a los trabajadores, a la empresa y a los futuros compradores; para lo cual, se debe implementar un sistema de instrumentación que permita detectar oportunamente algún posible riesgo.

Considerando la importancia de los empujes laterales del suelo, no podía permitirse que durante la etapa de construcción de la subestructura se generaran movimientos que pongan en riesgo el proyecto, con base en esta necesidad prioritaria se instaló lo siguiente:

- ✓ Medición de los desplazamientos laterales del muro Milán por medio de once inclinómetros verticales
- ✓ Medición topográfica de los desplazamientos del muro Milán en 3 direcciones, con ayuda de referencias topográficas superficiales
- ✓ Medición de deformaciones de la plantilla para losa de cimentación del nivel 5 del estacionamiento y cisterna

#### 4.1.1 Alcance

ICA Ingeniería instaló un sistema de instrumentación para obtener información cuantitativa del comportamiento de la masa de suelo actuando sobre el muro Milán, dar seguimiento de mediciones durante la excavación y estructuración de la subestructura, informar de actividades que pongan en riesgo a la estabilidad de la subestructura con el fin de corregir oportunamente las anomalías o desviaciones al comportamiento esperado, que permitan tener una estructura segura; así como de conocer y evaluar el comportamiento ante cargas normales o extraordinarias.

#### 4.1.2 Objetivo

El sistema de instrumentación tiene como fin conocer el comportamiento de la subestructura, para verificar hipótesis y criterios de diseño y si es el caso se ajustarán procedimientos de excavación y construcción. Este conocimiento permitirá verificar la estabilidad de la excavación, particularmente después de la ocurrencia de cargas extraordinarias como pueden ser sismos, tormentas intensas y observar las tendencias de los desplazamientos laterales del muro Milán que puedan indicar un comportamiento anormal y/o peligroso.

#### 4.1.3 Metodología de instrumentación

Antes de iniciar los trabajos de obra civil, se entrega al Clientela especificación del sistema instrumentación para la etapa constructiva de la subestructura, incluye procedimientos de instalación, medición, análisis de información y también se especifica la entrega de reportes mensuales de campo de once Inclinómetros verticales y de las referencias topográficas.

El personal técnico de instrumentación, laborará directamente en el sitio de tiempo completo. Las herramientas de trabajo, comunicación, movilidad y software necesario serán suministradas por ICA Ingeniería, el Cliente tendrá la obligación de proporcionar al personal de Instrumentación un lugar seguro para resguardar el equipo y unidad de lectura que serán usados para la medición del sistema de instrumentación.

Por último, la difusión de la información de gráficas de comportamiento de inclinómetros verticales y referencias topográficas se realizará en la obra, entregando un juego en duro al gerente del proyecto cada semana y al personal indicado por él. Los resultados del sistema de instrumentación se compartirán con el diseñador para su conocimiento, adicionalmente se entregará un reporte mensual de instrumentación que incluye el análisis de las gráficas de comportamiento histórico del sistema, en dichas graficas se incluyen los diferentes procesos constructivos que intervienen y afectan a la subestructura.

#### 4.1.4 Información de referencia

Para la elaborar el proyecto ejecutivo del sistema de instrumentación se contó con la siguiente información:

- Estudio de mecánica de suelos
- Programa de excavación de la subestructura
- Planos de la distribución de tres zonas de excavación
- Planos de procedimientos constructivos de la subestructura
- Plantas y cortes arquitectónicos

#### 4.1.5 Recursos humanos

Para atender el proyecto se contará con dos ingenieros, un ingeniero instrumentista y un dibujante, del departamento de instrumentación. El ingeniero instrumentista es el responsable de supervisar los trabajos de campo y gabinete, tendrá a su cargo al siguiente personal:

- Una brigada de instalación integrada por un cabo de oficios, un oficial albañil y un ayudante general. La brigada únicamente participará durante la instalación de los Inclinómetros verticales y referencias topográficas superficiales.
- Dibujante (2D y 3D)

Las funciones principales del personal de instrumentación serán las siguientes:

#### Ingeniero instrumentista

- ✓ Coordinar la brigada de topografía de obra para monitoreo de las referencias topograficas
- ✓ Coordinar las actividades diarias del dibujante
- ✓ Elaborar programa de instalaciones
- ✓ Supervisar instalación del sistema de instrumentación
- ✓ Responsable del monitoreo de instrumentos instalados
- ✓ Revisión de gráficas de comportamiento del sistema de instrumentación
- ✓ Elaboración de especificaciones de Instrumentación
- ✓ Vínculo entre las ingenieras que intervienen en la instrumentación (Geotecnia y Estructuras)
- ✓ Vínculo con el personal de obra
- ✓ Analizar gráficas de comportamiento del sistema de instrumentación
- ✓ Generación de reportes semanal de instrumentación
- ✓ Generación de reportes mensuales de instrumentación
- ✓ Inspecciones periódicas de la subestructura

#### Brigada de Instalación

- ✓ Instalación de tubería ABS de inclinómetros para realizar el monitoreo de muro Milán durante la construcción de la subestructura
- ✓ Instalación de referencias topográficas para monitorear desplazamientos (x, y, z)

#### Dibujante

- ✓ Apoyo en la elaboración de especificaciones de instrumentación, así como de los reportes de instrumentación
- ✓ Elaborar fichas de instalación de instrumentos instalados
- ✓ Generación de croquis de ubicación de los instrumentos instalados
- ✓ Recopilar la información de los avances de obra, mismos que deben incluirse en las gráficas de comportamiento del sistema de instrumentación
- ✓ Apoyar en la medición de los Inclinómetros verticales
- ✓ Encargado de procesar la información que obtiene de la medición de las referencias topográficas
- ✓ Elaboración de gráficas de comportamiento de Inclinómetros y referencias topográficas

## 4.2 Programa de instrumentación

Para que un proyecto tenga el éxito deseado, es indispensable hacer la planeación correcta de todas las actividades que intervienen directamente en el proyecto y se debe tener especial cuidado en las actividades críticas que pudieran retrasar los trabajos en obra y generen sobre costos.

En el Anexo A-00 se muestra el cronograma del sistema de instrumentación aplicado en MARINA 385, este documento se elaboró con base en el programa general de construcción. Las actualizaciones y reprogramaciones a consecuencia de la obra se toman en cuenta para elaborar la versión final del documento.



### 4.3 Instalación del sistema de instrumentación

El proceso de instalación del sistema de instrumentación se rige por el programa general de construcción entregado por el constructor y a partir de este, se elabora el programa de implantación del sistema, ver Anexo A-00.

El procedimiento de instalación del sistema de instrumentación, integrado a base de inclinómetros verticales y referencias topográficas, se realiza de acuerdo con los procedimientos generales indicados por del fabricante del equipo y de acuerdo con los lineamientos que describen a continuación. Una vez concluida la instalación se entregará un informe final de instalación del sistema de instrumentación, el cual deberá incluir la descripción de los trabajos realizados en campo, fichas de instalación de los instrumentos, reporte fotográfico y certificado de calibración de los equipos usados.

#### 4.3.1 Instalación de inclinómetros verticales

Con el objeto de detectar los desplazamientos horizontales en el muro Milán que pudieran presentarse durante la excavación y estructuración del sótano que conforma la subestructura del proyecto, se procedió a instalar estratégicamente once Inclinómetro verticales dentro del muro Milán perimetral, la distribución se muestra en la figura 53.

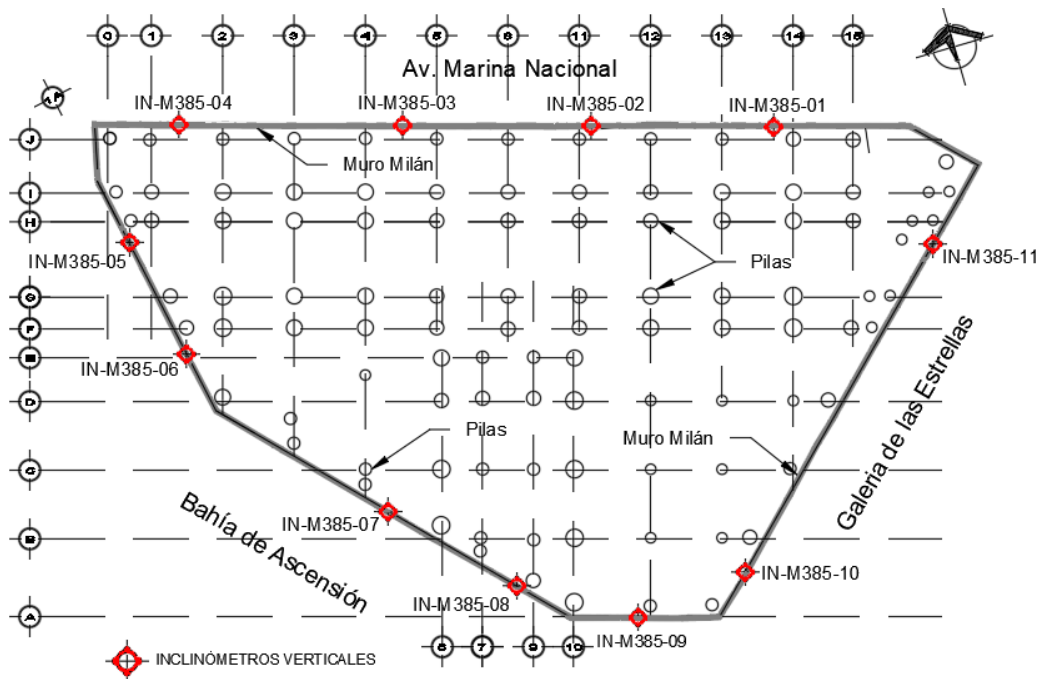


Figura 53. Planta de ubicación de los once inclinómetros verticales. Fuente: Elaboración propia

### CARACTERÍSTICAS DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN MURO MILÁN.

El inclinómetro vertical en muro Milán, es un elemento integrado por tubería para inclinómetro de tipo ABS de 3.05 m de longitud por tramo, la cual se instala dentro de una tubería de PVC 6" previamente instalada antes de colar el muro Milán. La tubería ABS tiene en su cara interior cuatro ranuradas que sirven como guía de la sonda de inclinómetro, esta sonda se conecta a un carrete con un cable de señal graduado a cada 0.5 m que emite los datos vía Bluetooth y para obtener los datos medidos por la sonda se utiliza una unidad de lectura de inclinómetro (Field PC).



Figura 54. Elementos que integran el Inclinómetro vertical. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

### PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DEL INCLINÓMETRO EN MURO MILÁN.

Es importante recalcar que antes de realizar la instalación de cualquier sensor o equipo de monitoreo, es necesario ejecutar una prueba de verificación del buen funcionamiento del mismo cuando llega al sitio del proyecto. Todo sensor debe contar con un certificado de calibración y un manual de instalación, los cuales nos sirven de referencia para corroborar que el sensor está funcionando correctamente desde el instante que fue embarcado hasta llegar al destino final.

Una manera confiable para verificar el buen funcionamiento del sensor, es tomar la medición de la bobina con ayuda de un multímetro, la cual se compara con el rango de medición del manual, de estar dentro del rango y presentar estabilidad, el sensor se considera en buenas condiciones y en caso contrario se avisa al proveedor sobre el mal funcionamiento para que sea reemplazado lo antes posible.

Una vez verificado el buen funcionamiento del sensor o equipo de medición, se tiene que considerar para ser instalado en el proyecto.



## INSTALACIÓN DE INCLINÓMETRO EN MURO MILÁN.

Es necesario contar con los siguientes materiales y equipos para realizar la correcta instalación del inclinómetro vertical:

### Material:

- Tubería para inclinómetro tipo ABS
- Tapón inferior para inclinómetro
- Tapón superior para inclinómetro
- Tubería de PVC de 6" cedula 80
- Coples de PVC de 6" cedula 80
- Tapón capa de PVC de 6" cedula 80
- Tubo de PVC hidráulico de 1"
- Pegamento para tubería de PVC
- Arena
- Cemento
- Agua de pipa
- Agua libre de impurezas
- Aditivo
- Cinta de gris de uso rudo
- Pegamento para tubería ABS
- Manguera negra de uso rudo de 3/4"

### Equipo:

- Perforadora marca Long Year o similar
- Sonda de inclinómetro
- Carrete de cable de señal
- Unidad de lectura de inclinómetro (Field PC)
- Pala cuadrada

Para la correcta instalación de inclinómetros verticales en muro Milán, debe seguirse el procedimiento que se describe a continuación:

1. Como primer paso, se debe instalar la tubería de PVC de 6" cedula 80 dentro de la parrilla del armado del muro Milán, para ello se fija con alambre recocido en el armado del muro, antes del izaje, las uniones de la tubera se realizan con coples de PVC de 6" y pegamento para tubería de PVC a toda la longitud del armado de muro Milán, ver figura 55.



Figura 55. Colocación de tubería de PVC de 6" en armado de parrilla. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

2. Ya fijada perfectamente la tubería de PVC en el armado, se procede a hacer el izaje y colocación del armado en la excavación, es importante asegurarse que durante la maniobra no se mueva o dañe algún tramo de la tubería de PVC de 6", en caso de ser así, se repara inmediatamente para evitar que se presenten filtraciones durante el colado del muro, ver figura 56.



Figura 56. Izaje del armado del muro y colocación dentro de la excavación. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

3. Antes de realizar el colado del muro Milán, se deberá llenar con agua la tubería de PVC de 6" para evitar que la tubería se contraiga debido al aumento de temperatura durante el fraguado del concreto.
4. Una vez colado el muro y antes de instalar la tubería ABS, se procede a verificar que la tubería de PVC de 6" este libre a lo largo de la misma, en caso de que esta no lo este, se usara la perforadora Long Year o similar para limpiar la tubería y dejarla completamente libre, ver figura 57.



Figura 57. Limpieza de tubería de PVC 6". Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

- Se colocan separadores a cada 1.5 m en toda la longitud de la tubería ABS del inclinómetro, estos separadores estarán constituidos por tramos de 5 cm de tubería de PVC hidráulico de 1", con objeto de que la tubería de inclinómetro quede lo más centrada posible en la tubería de PVC de 6", ver figura 58.

Todos los tubos ABS que se utilicen para la instalación deberán estar limpios, por lo que será necesario lavarlos con agua libre de impurezas, secarlos y almacenarlos colocando una lona de protección encima de ellos y tapando los extremos con fundas de plástico hasta que sean utilizados.

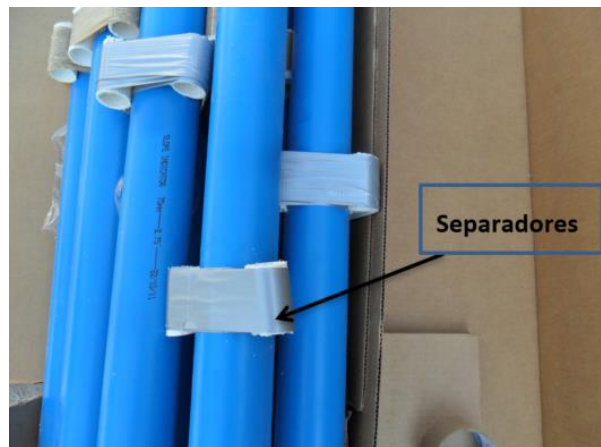


Figura 58. Separadores en la tubería de inclinómetro. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

- Ya que hemos verificado que la tubería de PVC de 6" esté completamente libre, se coloca la tubería de inclinómetro de tipo ABS, acoplado y pegando con el pegamento especial. Como refuerzo de las uniones entre tramos se coloca cinta gris que garantice la conexión, así sucesivamente hasta llegar a la profundidad deseada, el primer tramo de tubería será sujetado con un lazo para asegurar que los tramos subsecuentes ya ensamblados sean asegurados. Es importante verificar que la orientación de las ranuras quede en la dirección con los ejes de referencia definidos para medir los posibles desplazamientos, ver figura 59.



Figura 59. Instalación de tubería y acoplamiento de tubos adicionales. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

7. Una vez posicionada la tubería ABS dentro de la tubería de PVC de 6" por ningún motivo se deberá girar la columna de tubos ya que puede ser susceptible a dañarse por torsión, se procede a llenar el espacio anular entre la tubería de PVC de 6" y la tubería ABS del inclinómetro, para esto se usará una lechada de arena, cemento gris y aditivo, hasta llenar el espacio anular entre ambas tuberías, ver figura 60.



Figura 60. Elaboración de lechada en obra y colocación de lechada en espacio anular. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

8. Una vez llenado el espacio anular, se deja fraguar la lechada mínimo 24 horas antes de tomar la primera lectura de prueba. Se coloca un tapón de PVC de 6" para proteger el instrumento, ver figura 61.





Figura 61. Inclinómetro vertical instalado. Fuente: Cortesía del proyecto Marina 385

9. 24 horas después de haberse realizado la inyección de lechada se verifica la verticalidad de la tubería para tomar la primera lectura del monitoreo.

La tabla 10 resume los trabajos realizados durante la instalación de los Inclinómetros verticales y la figura 53 muestra la ubicación de instalación de cada uno de los inclinómetros.

No. de Inclinómetro	Nomenclatura	Profundidad de instalación (m)	Fecha de instalación	Fecha de primera lectura
1	IN-M385-01	21.00	26-ene.-12	30-ene.-12
2	IN-M385-02	21.00	27-ene.-12	30-ene.-12
3	IN-M385-03	21.00	19-oct.-11	5-nov.-11
4	IN-M385-04	21.00	19-oct.-11	25-oct.-11
5	IN-M385-05	22.00	19-oct.-11	29-oct.-11
6	IN-M385-06	23.00	24-feb.-12	27-feb.-12
7	IN-M385-07	23.00	24-feb.-12	27-feb.-12
8	IN-M385-08	20.50	12-dic.-11	14-dic.-11
9	IN-M385-09	21.00	9-dic.-11	12-dic.-11
10	IN-M385-10	21.00	24-ene.-12	27-ene.-12
11	IN-M385-11	21.00	25-ene.-12	30-ene.-12

Tabla 10. Resumen de la instalación de los once inclinómetros verticales

### **RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACIÓN DE INCLINOMETROS.**

A continuación, se hacen algunas recomendaciones aplicables antes y durante los trabajos de instalación, las cuales complementaran el procedimiento de instalación de inclinómetros verticales.

**Antes de la instalación:**

- ✓ Es importante identificar el lugar donde se instalará el inclinómetro y con ello evitar contratiempos, ya que se instalará dependiendo de los avances de obra y de ser necesario se propondrá cambiará el lugar de instalación
- ✓ En caso de subcontratar alguna empresa para arrendar la perforadora, es necesario solicitar la máquina con anticipación para evitar retazos en obra
- ✓ Es importante tener las medidas de seguridad en el proyecto y solicitar los permisos de trabajos peligrosos con el personal de seguridad
- ✓ Es necesario solicitar al personal de seguridad y medio ambiente que confine el lugar de trabajo de la instalación para evitar que ingresen personal no autorizado

**Durante los trabajos de instalación:**

- ✓ Verificar que el personal que interviene en la instalación use en todo momento el equipo de protección personal y que no realicen alguna actividad ajena al procedimiento de instalación que comprometa la integridad de los trabajos
- ✓ Es importante mantener la orientación de las ranuras de la tubería ABS, ya que el sentido A+ deben estar perpendiculares a la zona donde se esperan los desplazamientos laterales, para asegurar esta condición se debe contar con una brigada de topografía que nos indique si la tubería está bien orientada.

#### 4.3.2 Instalación de referencias topográficas

Durante la excavación y estructuración de la subestructura se instalaron referencias topográficas superficiales sobre el muro Milán y referencias topográficas interiores al nivel de la plantilla para la losa de fondo del nivel 5 del sótano y cisterna. A continuación, se describen los objetivos de su instalación y se muestran los croquis con la localización de cada tipo de referencia topográfica.

**Referencias topográficas superficiales sobre muro Milán**

Con el objeto de detectar los posibles desplazamientos transversales y verticales en superficie durante la excavación y estructuración de la subestructura, se instalaron referencias topográficas superficiales sobre el eje longitudinal del muro Milán.

Estas referencias superficiales están integradas por pijas de acero o clavos para concreto ancladas directamente al concreto del muro Milán, de forma que la cabeza metálica quede al nivel máximo de colado del elemento de concreto y separadas entre sí aproximadamente a cada 5 metros, en algunos casos no fue posible colocar estas referencias debido a las obstrucciones existentes. La figura 62 se muestra la distribución de las referencias topográficas superficiales.

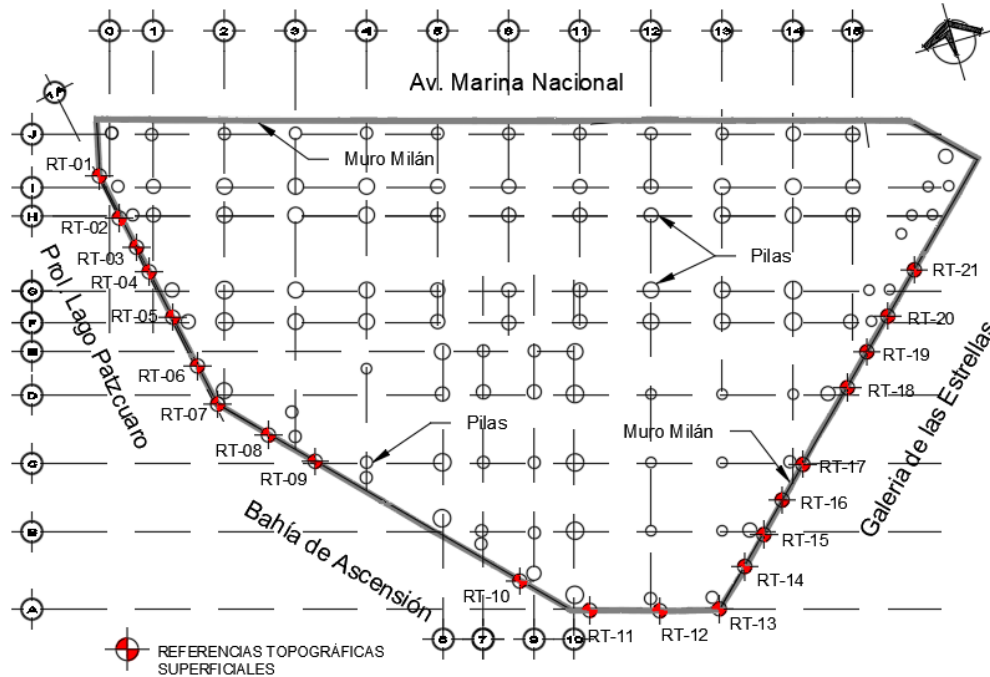


Figura 62. Referencias topográficas superficiales instaladas en muro Milán. Fuente: Elaboración propia

La tabla 11 indica la cantidad y localización de las referencias topográficas superficiales instaladas en el proyecto, la figura 62 muestra la ubicación de instalación de cada una de ellas.

Nomenclatura	Localización	Cantidad (piezas)
RT-01 a RT-07	Eje 1A	7
RT-08 a RT-10	Lindero Sureste	3
RT-11 a RT-13	Eje A	3
RT-14 a RT-21	Lindero Noreste	8

Tabla 11. Resumen de la instalación de las Referencias topográficas superficiales

### Referencias topográficas interiores

Estas referencias permiten medir el control topográfico de las deformaciones del suelo posterior al proceso de excavación de la losa de fondo del nivel 5 del estacionamiento y la losa de fondo de la cisterna. Las referencias se instalan en la plantilla del terreno excavado, integradas por una mojonera y un tramo de 1.0 m de varilla de 3/8" y la punta de la varilla sobresale 5 cm del nivel de la plantilla.

Estas referencias se instalaron para medir las deformaciones, asentamientos y expansiones, del suelo hasta el momento que se inicie el proceso constructivo de las losas de fondo, las referencias topográficas están ligadas a bancos de nivel en la superficie para realizar las mediciones, en la figura 63 y figura 64 se muestra la distribución de las referencias topográficas interiores instaladas en los niveles -15.90 m y -18.70 m, nivel 5 del sótano y cisterna respectivamente.



La tabla 12 indica la cantidad y localización de las referencias topográficas interiores usadas para medir las deformaciones de la plantilla de la losa de cimentación en los niveles -15.90 m y -18.70 m.

Nomenclatura	Localización	Cantidad (piezas)
RT-01 a RT-018	Nivel -15.90 m	18
RT-01 a RT-23	Nivel -18.70 m	23

Tabla 12. Resumen de la instalación de las Referencias topográficas interiores

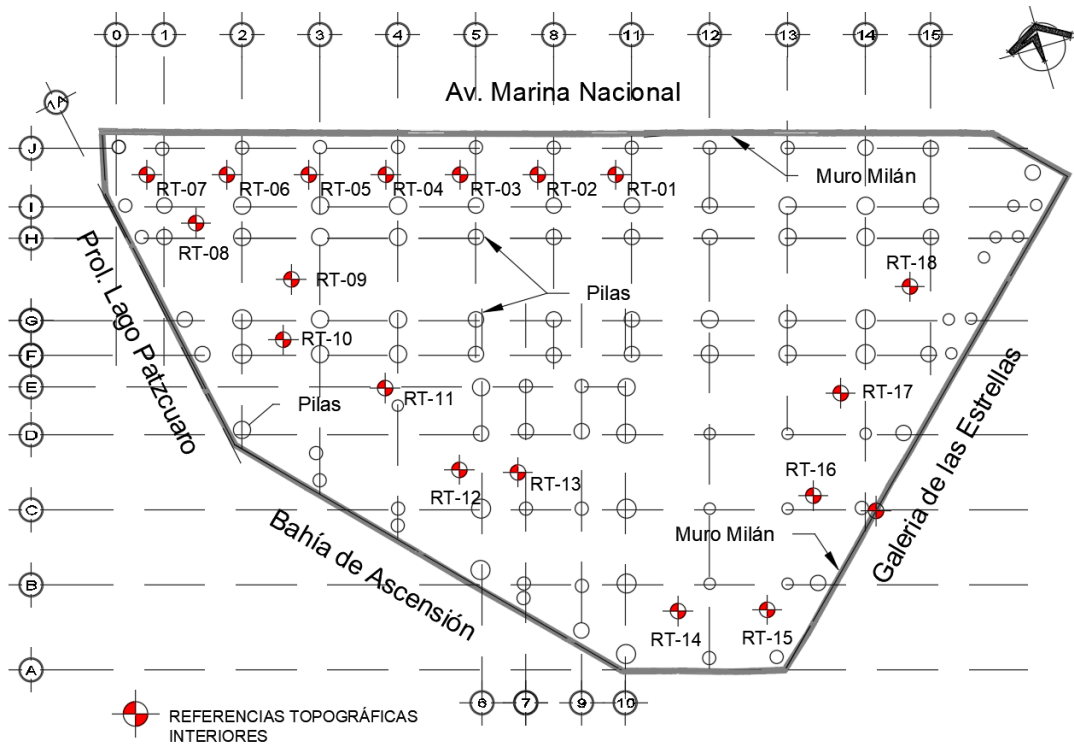


Figura 63. Referencias topográficas interiores instaladas en nivel -15.90 m. Fuente: Elaboración propia

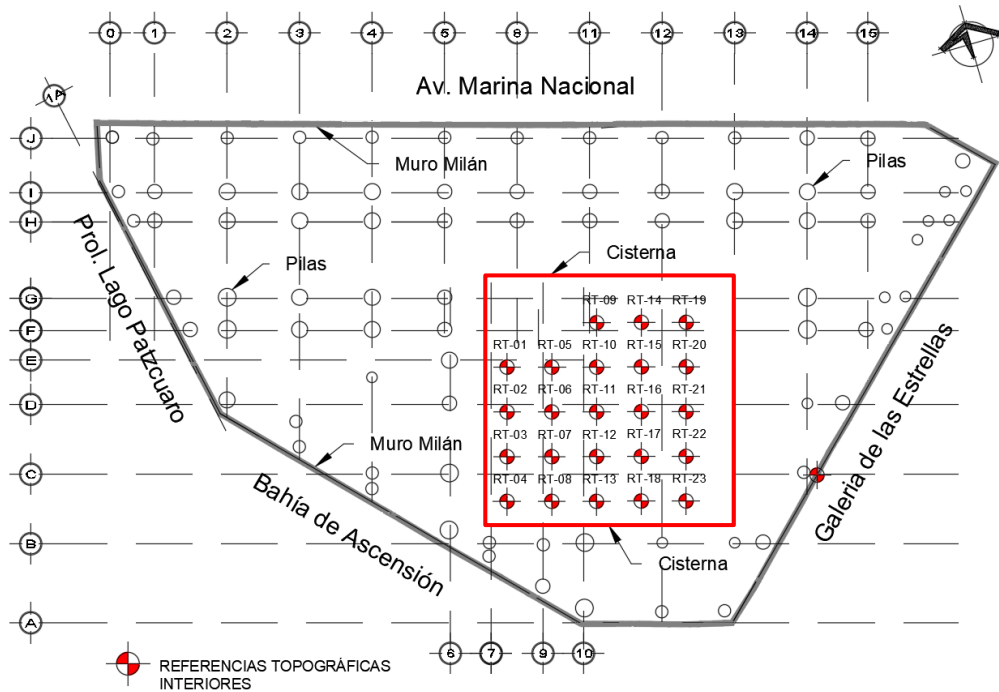


Figura 64. Referencias topográficas interiores instaladas en nivel -18.70 m. Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 Medición del sistema de instrumentación

El proceso de medición se debe regir por el programa de instrumentación establecido, ver anexo A-00, en el cual se define el periodo de las mediciones por instrumento, dependerá de la etapa en que se encuentre la construcción de la subestructura y de las necesidades o anomalías que se presenten en algún momento.

Como principio general de medición, durante el periodo de construcción, se buscará contar con lecturas confiables antes, durante y posteriores a los eventos constructivos críticos como excavación de niveles, colocación de elementos metálicos, colados de losas, entre otros. Estas mediciones serán consistentes conforme el avance de la obra impongá el ritmo.

El proceso de medición debe realizarse de acuerdo con los procedimientos generales de operación recomendados por el fabricante de los equipos y los procedimientos específicos para el sistema de instrumentación.

Las dos premisas fundamentales para tomar correctamente las mediciones son:

1. Los datos tienen que ser confiables y oportunos para anticipar algún peligro o anomalía durante las diferentes etapas constructivas
2. Los datos deben ser obtenidos por personal capacitado, empleando equipos calibrados y verificados

Al no cumplir con estas premisas se corre el riesgo que la información no refleje el comportamiento real del instrumento medido.

La frecuencia de medición podrá ser ajustada debido a los resultados obtenidos en las mediciones y a juicio del ingeniero instrumentista responsable del sistema de instrumentación. La tabla 13 muestra la frecuencia de mediciones del sistema de instrumentación durante la construcción de la subestructura.

Instrumento	Frecuencia	Parámetro a medir	Comentarios
Inclinómetro vertical	2 veces por semana	Desplazamiento horizontal	Si existe evidencia clara de movimientos fuera del rango máximo se deberán tomar lecturas tres veces por semana
Referencias topográficas superficiales	Una vez por semana	Desplazamientos transversales y verticales (X, Y y Z)	
Referencias topográficas interiores	Una vez por semana	Deformaciones (Z)	

Tabla 13. Frecuencia de mediciones para el sistema de instrumentación

#### 4.4.1 Medición de inclinómetros verticales

Para asegurar el buen funcionamiento de los instrumentos y equipos de medición, se realizarán verificaciones cada 6 meses o cada 1,040 horas de uso, basándonos en las recomendaciones del fabricante. Una vez realizada la verificación, si los resultados están dentro de la norma de verificación, se podrá continuar empleando el instrumento o equipo, en caso contrario se deberá enviar a calibración con el fabricante y posteriormente continuar con la toma de lecturas establecida, se recomienda tener en stock por lo menos un equipo de medición adicional por tipo de sensor para dar continuidad a la toma de lecturas.

La función principal de los inclinómetros verticales, es medir el cambio de inclinación de la tubería ABS instalada dentro del muro Milán, lo cual ayuda a calcular la distribución, dirección y magnitud de los desplazamientos laterales a diferentes profundidades.

Después de que el inclinómetro vertical ha sido instalado y la lechada se haya fraguado, se debe verificar que no haya obstrucciones dentro del tubo. Para realizar la verificación, se recomienda utilizar una sonda falsa, ver figura 65, para evitar el riesgo de dañar o que se atore la sonda del inclinómetro, aunque las obstrucciones no son comunes se debe realizar esta verificación por precaución.

Las mediciones iniciales son muy importantes ya que todas las mediciones subsecuentes son referenciadas a las primeras y por esta razón se recomienda tomar inicialmente dos o tres grupos de medición, para comprobar que la medición inicial es correcta y así minimizar errores posteriores.

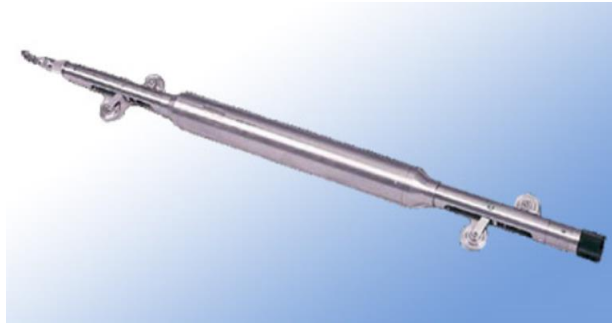


Figura 65. Sonda falsa (dummy), utilizada para verificar acceso libre en tubería ABS. Fuente: <http://www.rstinstruments.com/index>

La sonda del inclinómetro, conectada al cable de señal, se coloca dentro de la tubería ABS, con la rueda superior en la ranura con dirección donde se esperan los desplazamientos laterales (A+) y se baja cuidadosamente hasta el fondo de la tubería ABS. La sonda debe dejarse en el fondo durante 10 minutos aproximadamente para que se normalice con la temperatura del agua dentro de la tubería y así evitar errores por temperatura. Se toma la lectura del fondo y posteriormente se registran lecturas ascendiendo cada 0.50 m hasta llegar a la boca de la tubería, mientras la Field PC registra cada una de las lecturas en las direcciones A+ y B+, ver figura 66.

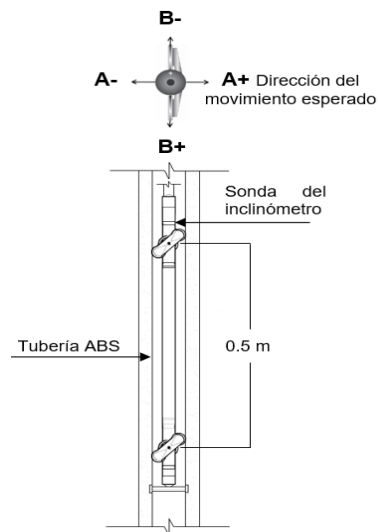


Figura 66. Alineación de la sonda en tubería ABS para toma de lecturas. Fuente: Elaboración propia

Después que la sonda del inclinómetro salga a la superficie se debe mantener en posición vertical y con suavidad girar 180°, se reintroduce en la tubería ABS y se procede a bajar cuidadosamente hasta el fondo de la tubería, se registran lecturas a cada 0.50 m hacia arriba hasta llegar nuevamente a la boca de la tubería, con este procedimiento se obtienen las mediciones en las direcciones A- y B-.

Al concluir el proceso de medición del inclinómetro vertical, de la Fiel PC se deberán descargar los datos a una computadora para realizar el procesamiento de datos y generar las gráficas que muestren el comportamiento del instrumento medido.

A continuación, se mencionan algunas recomendaciones que se deben tener durante el proceso de medición:

- Las mediciones deberán realizarse siempre con la misma sonda, cable de señal, así como el mismo operador, con la finalidad de minimizar los errores de manejo del equipo de medición
- La sonda del inclinómetro no debe golpearse contra superficies duras para evitar que se dañen o descalibren los sensores. Si accidentalmente se golpea, éste deberá verificarse realizando mediciones de comprobación
- No permitir que entre humedad a las conexiones eléctricas y nunca deberán conectarse los cables de la sonda en presencia de lluvias o humedad excesiva
- El cable de señal debe transportarse en su carrete para evitar que se doble
- La sonda del inclinómetro, posterior a su utilización, debe limpiarse, secarse y aceitarse antes de colocarla en el estuche de transporte

La frecuencia de lecturas en los Inclinómetro verticales será la siguiente:

- La primera lectura se tomará 15 días previos al inicio de la excavación, siempre y cuando se tenga instalada la tubería ABS, la segunda lectura se tomará tres días después y si las dos lecturas son similares se toma como lectura inicial, de no ser así se repetirán las lecturas hasta que tengan una diferencia máxima de  $\pm 2$  milímetros.
- Se tomarán dos lecturas por semana durante el bombeo y si existen trabajos de excavación cercanos a la zona donde se encuentra el inclinómetro
- En la zona donde NO se realicen trabajos de excavación, se podrá realizar una lectura por semana
- Una vez estructuradas las losas de entrepisos, si se muestra una clara tendencia de estabilidad se podrán tomar lecturas cada quince días, de continuar la tendencia por dos meses se podrán tomar lecturas trimestrales
- El periodo de monitoreo se establece cumpliendo lo especificado en los términos contractuales de sistema de instrumentación, el constructor puede solicitar la modificación de medición, ya sea para acortar o alargar la frecuencia de los trabajos

#### 4.4.2 Medición de referencias topográficas

Antes de iniciar con el proceso de medición de las referencias topográficas, superficiales e interiores, se debe verificar que los certificados de calibración de la estación total y del nivel estén vigentes. En el proyecto se deben realizar las verificaciones que apliquen a cada uno de los equipos topográficos para asegurarse que durante el traslado al proyecto no se hayan descalibrado o desajustado.

Las recomendaciones del fabricante indican que cada seis meses de uso o cuando las mediciones presenten datos inconsistentes se debe realizar la verificación del funcionamiento de los equipos y en caso requerirse, se realizara los ajuste conforme al manual de operación de cada aparato.

En el caso de las miras invar se debe verificar la verticalidad con apoyo de la estación total y en el caso que el nivel este desnivelado, se deberá calibrar la burbuja con los tornillos de ajuste.

Para las referencias topográficas superficiales e interiores, las mediciones de la posición (X y Y) se realizan por medio de la estación total y la nivelación (Z) se mide con ayuda del nivel y miras invar, ver figura 67.



Figura 67. Equipo topográfico y accesorios usados para medición de las referencias topográficas. Fuente: Proyecto Hidroeléctrico Chicoasén II, año 2016

### **Referencias topográficas superficiales en muro Milán**

Una vez instaladas las referencias superficiales, se procede a realizar el levantamiento de la posición de las mismas, previo al inicio de la excavación se “correrá” una primera nivelación en las 21 referencias colocadas sobre el muro Milán. Posteriormente, se realizan levantamientos topográficos (X, Y y Z) en intervalos semanales al inicio de la excavación y hasta verificar una tendencia de estabilidad en las tres direcciones medidas.

Los levantamientos topográficos deberán referenciarse respecto al banco de nivel profundo BNP-01 de 60 metros de profundidad desplantado en la segunda capa dura, localizado fuera del área de influencia de predio donde se realiza la construcción del proyecto Marina 385, este banco se toma como referencia para los trabajos de construcción.



Figura 68. Medición de referencias superficiales. Fuente: <http://axisima.com/en-que-consiste-la-nivelacion-topografica/>



Para realizar de manera eficiente y rápida el levantamiento topográfico, se colocaron puntos auxiliares o puntos de liga al rededor y dentro del proyecto, con la finalidad que cuando se coloque la estación topográfica o el nivel en alguno de los puntos, se visualice la mayor cantidad de referencias y se haga el menor número de movimientos de los equipos topográficos. Para el caso de la nivelación, la distancia máxima permitida entre un punto auxiliar y una referencia no debe exceder de 25 metros.

Para minimizar errores, es importante que las mediciones sean tomadas por la mañana, que se repitan siempre con el mismo equipo topográfico y con el mismo topógrafo. Adicionalmente, es importante asegurarse que el banco de nivel se encuentre sobre un área estable y en lo posible sobre afloramientos de roca sana o estrato competente.

Se debe tener especial cuidado que las referencias topográficas no se instalen en los caminos de acceso a la obra, tránsito de vehículos y en áreas comprometidas para bodegas o talleres. Cuando alguna referencia sea dañada u obstruida, se deberá replantear el punto y colocarla en la última nivelación medida.

La frecuencia de lecturas de las referencias topográficas superficiales es la siguiente:

- La primera lectura se toma quince días previos al inicio de la excavación de sótano 1, tres días posteriores se toma otra lectura, si la tendencia de las mediciones es similar en su comportamiento y no exceden  $\pm 3$  milímetros de diferencia, se tomará como la lectura inicial del monitoreo.
- Durante la etapa de construcción de la subestructura se realiza una lectura cada semana
- Una vez estructuradas las losas de entresijos, si se muestra una clara tendencia de estabilidad se podrán tomar lecturas cada quince días, de continuar la tendencia por dos meses se podrán tomar lecturas trimestrales.
- Una vez concluida la construcción de la subestructura, si las lecturas muestran estabilidad, se realizará una lectura al mes durante los próximos cuatro meses, si continúa la tendencia de estabilidad se podrá concluir la toma de lecturas
- El periodo de monitoreo se establece cumpliendo lo especificado en los términos contractuales de sistema de instrumentación, el constructor puede solicitar la modificación del monitoreo, ya sea para acortar o alargar la frecuencia de los trabajos

#### **Referencias topográficas interiores colocadas en la plantilla del nivel -15.90 m y -18.70 m**

Posterior a que se llega al nivel máximo de excavación de los niveles -15.90 m y -18.70 m, plantilla para losa de fondo del nivel 5 del sótano y plantilla para losa de fondo de cisterna y cuarto de máquinas respectivamente, se instalan las referencias topográficas interiores para medir las deformaciones (Z) producidas en el terreno excavado. El periodo de monitoreo estará sujeto al tiempo que se demore la construcción de la losa de fondo, ya que la excavación queda abierta durante todo este tiempo. Los levantamientos topográficos se realizarán una vez por semana hasta que sean obstruidas las referencias topográficas a consecuencia de los trabajos de construcción.

Estas referencias interiores, al igual que las superficiales están ligadas al BNP-01, se colocaron puntos de liga en diferentes niveles del estacionamiento para ubicar un punto de referencia en el nivel cinco del sótano e iniciar la medición de estas referencias.

La frecuencia de lecturas para las referencias topográficas interiores es la siguiente:

- La primera lectura se toma posterior a la colocación de la plantilla de los niveles -15.90 m y -18.70 m, un día después se toma otra lectura y si la tendencia de las mediciones es similar en su comportamiento y no exceden  $\pm 3$  milímetros de diferencia, se tomará como la lectura inicial del monitoreo.
- Durante todo el tiempo que se mantenga abierta la excavación, se realiza una lectura por semana
- El monitoreo se suspenderá cuando se reactivan los trabajos de construcción de las losas de fondo de los niveles respectivos
- El periodo de monitoreo se establece cumpliendo lo especificado en los términos contractuales de sistema de instrumentación, el constructor puede solicitar la modificación del monitoreo, ya sea para acortar o alargar la frecuencia del monitoreo

#### 4.5 Procesamiento de datos del sistema de instrumentación

El procesamiento de la información recabada en campo, consiste en realizar todos los cálculos numéricos necesarios para obtener el valor de las variables que se midieron durante un periodo específico, adicionalmente se elaboran las gráficas que representan con claridad los valores y tendencias de comportamiento obtenidos de acuerdo con los procedimientos de medición que se especifiquen y finalmente se elabora un informe, oportuno y confiable, del análisis de los datos históricos del sistema de instrumentación.

Posteriormente, este informe de instrumentación se distribuye como documento informativo y de consulta para los constructores y diseñadores del proyecto.

##### 4.5.1 Procesamiento de inclinómetros verticales

La finalidad es conocer el valor del desplazamiento horizontal de la tubería ABS, colocada en el muro Milán, respecto a su posición original de instalación. Para este principio de procesamiento se usa la siguiente formula.

$$\Delta = \sum_1^n (L \text{ sen } \theta_n)_{\text{actual}} - (L \text{ sen } \theta_n)_{\text{inicial}}$$

Donde:

- $\Delta$ = Desplazamiento horizontal acumulado
- $\Sigma$ = Sumatoria del intervalo de medición actual
- L= Longitud de medición de la sonda de inclinómetro
- $\theta_n$ = Angulo de inclinación

Posteriormente al procesamiento de la información, se elaboran las siguientes graficas de comportamiento, la figura 69 muestra el ejemplo de una **gráfica general** del inclinómetro vertical representada por un perfil vertical, en el eje de las abscisas se grafican los desplazamientos laterales en milímetros y en el eje de las ordenadas se muestra la profundidad de instalación en metros, los intervalos de las profundidades están a cada metro, se incluyen las fechas de medición del instrumento, croquis de localización y se incluyen los niveles importantes de la subestructura.

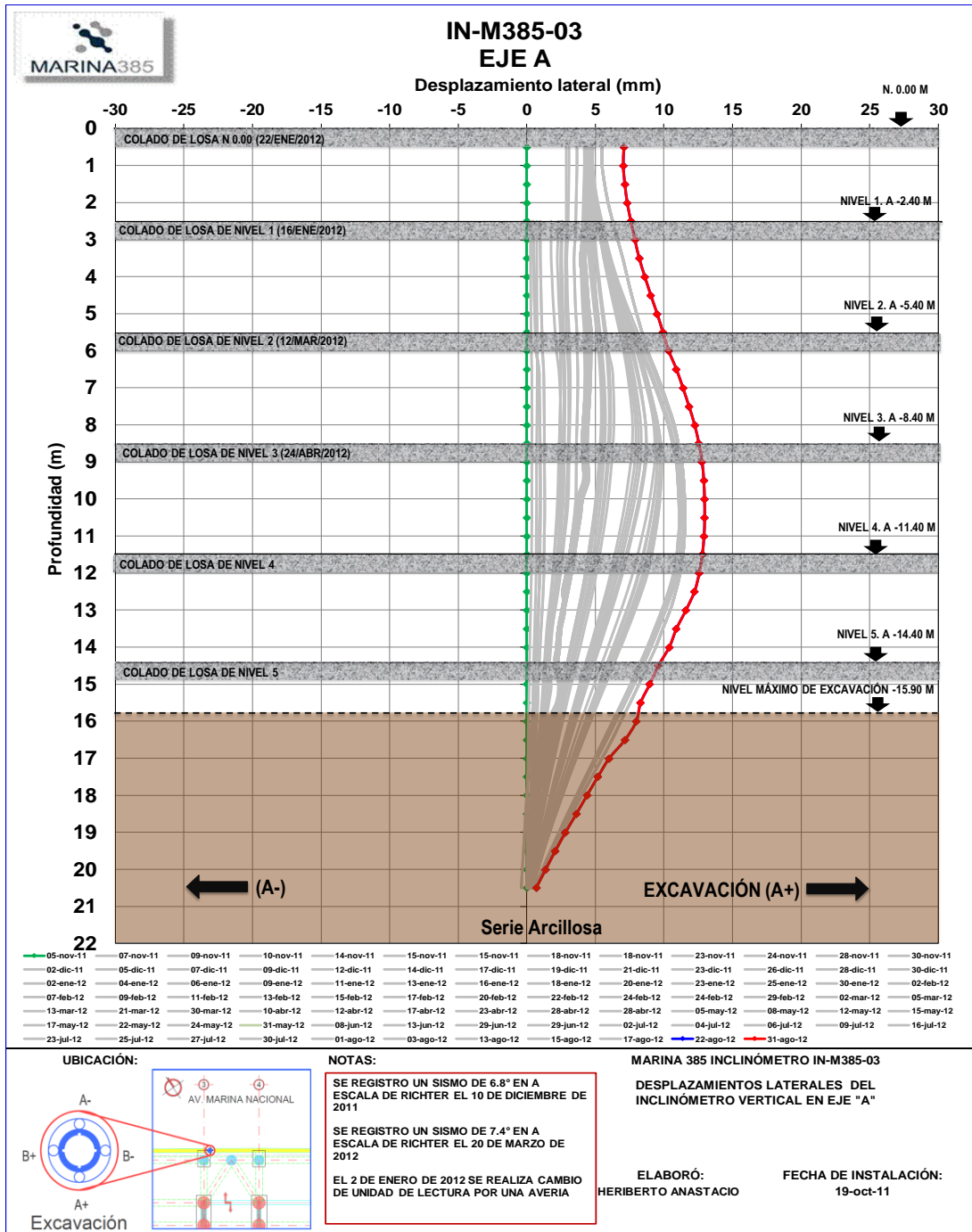


Figura 69. Gráfica general del inclinómetro vertical en eje A (ejemplo). Fuente: Elaboración propia

La figura 70 muestra el ejemplo de la **gráfica Tiempo vs Desplazamiento** del máximo desplazamiento registrado, en el eje de las abscisas se colocan las fechas de las mediciones, en el eje de las ordenadas se muestra el desplazamiento lateral máximo acumulado en milímetros, se muestra el croquis de localización, finalmente se incluyen las etapas constructivas y fenómenos naturales que intervinieron en el instrumento.

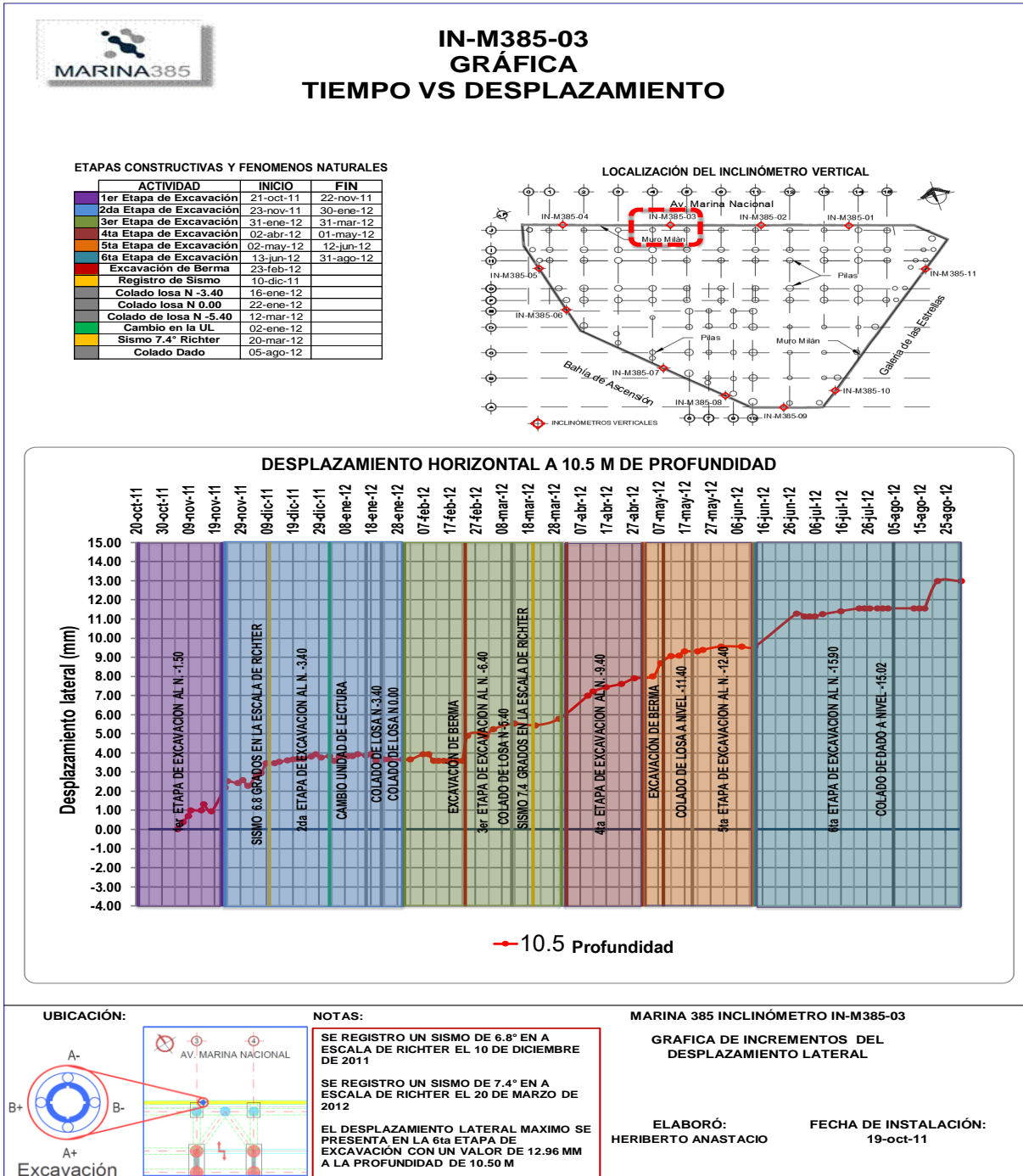


Figura 70. Gráfica Tiempo vs Desplazamiento del máximo desplazamiento registrado (ejemplo) . Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.2 Revisión de resultados

La revisión de los resultados obtenidos de los cálculos numéricos permite asegurar la confiabilidad y validación o desechar las lecturas tomadas en campo. Para ello, es indispensable que los operadores de los equipos de medición conozcan y demuestren dominio completo de los procedimientos de toma de lecturas aprobados, así como las características de los instrumentos de medición (precisión, incertidumbre, resolución, intervalo de medición, etcétera); además deben contar con el conocimiento suficiente del sistema instalado y tener claro los objetivos generales del proyecto.

Un procedimiento inmediato y sencillo de verificación de los datos consiste en comparar los resultados numéricos con los resultados inmediatas anteriores, si las diferencias son mayores a las permitidas sin causa aparente que intervenga, se debe revisar con detalle los datos, iniciando con el registro de campo y si es necesario se debe realizar una nueva medición para corroborar que los datos sean correctos.

Otro procedimiento, consiste en graficar las variables que se miden con respecto al tiempo y observar la evolución de la tendencia de comportamiento, si las variables no siguen una tendencia definida que refleje un cambio físico de la subestructura a causa de las etapas constructivas o si se observan cambios significativos y aislados en los valores, entonces existe una alta probabilidad que los datos sean erróneos. Sin embargo, también pudieran indicar la presencia de anomalías en el proceso de medición de los datos por causa de malas prácticas en la medición.

Cualquier cambio brusco de valores o en la tendencia del comportamiento de alguna variable medida, a la brevedad debe consultarse con el ingeniero asesor del proyecto, quien revisara detalladamente la información obtenida y de ser necesario ordenara las acciones correspondientes para verificar estas anomalías.

Las acciones de validación consisten en realizar nuevas mediciones de campo, inspección visual de la zona donde se instaló en sensor o simplemente realizar un recalcu de resultados para verificar la confiabilidad. Las acciones anteriores deben realizarse como parte del protocolo de validación de los resultados de los datos y antes de emitir un aviso alarmante de la existencia de alguna anomalía en el proyecto.

#### 4.5.3 Informe mensual de resultados del sistema de instrumentación

En el informe mensual de resultados se incluye toda la información disponible de manera que se facilite el análisis de la información procesada numéricamente, se deben incluir las gráficas de comportamiento de todo el sistema de instrumentación instalado y que muestren la evolución de las variables que se controlan con respecto al tiempo o periodos de medición, en las gráficas de comportamiento se incluyen las fechas de los procesos constructivos importantes de la subestructura, anomalías detectadas y fenómenos naturales incidentes en el proyecto.



Los informes deben ser oportunos, confiables y de fácil comprensión, para ser considerados como un elemento de gran valor en la toma de decisiones referentes a la seguridad del proyecto y que salvaguardan la integridad física de todo el personal que labora durante la etapa de construcción de la subestructura.

Al inicio de los trabajos del sistema de instrumentación se emite un informe, donde se menciona el avance actual del proyecto, localización de cada uno de los instrumentos instalados, incidencias durante la instalación del sistema y se incluyen las fichas de instalación de cada instrumento con los datos técnicos de instalación.

Así mismo, se emitirán informes mensuales que incluyen las gráficas, generales e individuales, del comportamiento de los instrumentos instalados y medios durante el periodo asignado en el contrato, estas graficas de comportamiento contienen un croquis de localización y las fechas de eventos importantes durante el periodo de medición, finalmente se enuncian los resultados obtenidos durante el periodo en cuestión y se finaliza el reporte con algunos cometarios puntuales de las variables medidas y de relevancia.

## CAPÍTULO 5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

### 5.1 Desplazamientos permitidos en la subestructura

#### 5.1.1 Alarmas de evaluación de riesgo en las deformaciones de la subestructura

La generación de alarmas nos permitirá predecir el comportamiento real de la subestructura, consiste en conocer la respuesta de la subestructura sometida a un conjunto de cargas aplicadas y condiciones, directas e indirectas, que se espera ocurran durante los procesos constructivos del proyecto.

La metodología que se describe a continuación permite el monitoreo de los desplazamientos que se presentan en la subestructura para tomar decisiones en el caso de ocurrir anomalías que pongan en peligro la seguridad y estabilidad del proyecto.

##### **Primer nivel de evaluación (evaluación rápida)**

En este nivel es necesario que se tenga certeza y confiabilidad de los resultados obtenidos, para lo cual será necesario corroborar los resultados por lo menos con tres lecturas subsecuentes. En este nivel de evaluación se sugiere que los valores de los desplazamientos y deformaciones obtenidos no superen en tres veces la magnitud entre la lectura anterior y lectura inmediata.

##### **Segundo nivel de evaluación (evaluación detallada)**

En este nivel de evaluación se debe realizar una revisión visual que permita detectar cualquier anomalía que ponga en peligro la subestructura. Si después de la evaluación detallada se observara algún mecanismo de riesgo y al mismo tiempo en el primer nivel de evaluación resultará un incremento en los desplazamientos o deformaciones, será necesario analizar a detalle cómo se están realizando los procesos constructivos y los tiempos de ejecución de los trabajos de la subestructura.

##### **Tercer nivel de evaluación (evaluación insegura)**

Posterior a la evaluación de los dos niveles anteriores, si las gráficas de comportamiento Tiempo vs Desplazamiento se observa una clara tendencia de inestabilidad en los desplazamientos medidos en la subestructura, será necesario tomar acciones preventivas y/o correctivas durante los procesos constructivos.

### 5.2 Interpretación de resultados y comentarios finales

El sistema de instrumentación del proyecto **MARINA 385**, está conformado por once inclinómetros verticales instalados dentro del muro perimetral, referencias topográficas superficiales colocadas sobre la corona del muro Milán y referencias topográficas interiores instaladas en la plantilla de la losa de cimentación de los niveles -15.90 m y -18.70 m.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante todo el periodo de medición del sistema de instrumentación.

### 5.2.1 Resultados de Inclínómetros verticales

Considerando la importancia de conocer el comportamiento real del muro Milán durante la construcción y estructuración de la subestructura, se realizó un proceso sistemático y detallado para medir los empujes laterales (desplazamientos) a diferentes profundidades y que pudieran sobrepasar los desplazamientos laterales teóricos, provocando un riesgo a la estabilidad y seguridad del proyecto.

A continuación, se muestran los máximos desplazamientos laterales obtenidos durante todo el periodo de medición, iniciado en octubre de 2011 y finalizando en noviembre de 2012, de los once inclinómetros verticales instalados, ver tabla 14.

Nomenclatura	Profundidad de instalación (m)	Fecha de primera lectura	Fecha de última lectura	Desplazamiento máximo (mm) Eje "A"	Profundidad del desplazamiento máximo (m)	Desplazamiento máximo (mm) Eje "B"	Profundidad del desplazamiento máximo (m)
IN-M385-01	21.00	30-ene.-12	16-nov.-12	17.71	9.50	10.07	9.00
IN-M385-02	21.00	30-ene.-12	16-nov.-12	16.54	8.50	-2.21	0.50
IN-M385-03	21.00	5-nov.-11	31-ago.-12	12.96	10.50	7.00	9.50
IN-M385-04	21.00	25-oct.-11	31-ago.-12	14.48	11.50	-1.66	17.50
IN-M385-05	22.00	29-oct.-11	10-sep.-12	23.47	12.50	-3.40	0.50
IN-M385-06	23.00	27-feb.-12	10-sep.-12	12.99	11.00	-2.79	14.00
IN-M385-07	23.00	27-feb.-12	17-sep.-12	20.22	13.50	-5.30	0.50
IN-M385-08	20.50	14-dic.-11	17-sep.-12	26.53	0.50	-3.24	0.50
IN-M385-09	21.00	12-dic.-11	30-nov.-12	17.56	9.50	5.35	5.00
IN-M385-10	21.00	27-ene.-12	26-nov.-12	15.57	9.00	3.65	9.00
IN-M385-11	21.00	30-ene.-12	30-nov.-12	24.29	10.50	-3.87	0.50

Tabla 14. Desplazamientos máximos en los ejes A y B

De acuerdo a los resultados numéricos y graficas de comportamiento obtenidos al finalizar el procesamiento de la información, se obtienen los siguientes resultados:

**INC-M385-01.** El eje A presenta un desplazamiento máximo de **17.71 mm** a la profundidad de **9.50 m**, la gráfica (tiempo vs desplazamiento) del máximo desplazamiento registrado indica que la tendencia a la estabilidad inicia posterior al colado de la losa del nivel 4 y se mantiene estable hasta la última medición tomada, **ver anexos A-01, A-02 y A-03.**

**INC-M385-02.** El eje A presenta un desplazamiento máximo de **16.54 mm** a la profundidad de **8.50 m**, la gráfica (tiempo vs desplazamiento) del máximo desplazamiento registrado indica que la tendencia a la estabilidad inicia posterior al colado de la losa del nivel 4, manteniendo estabilidad con un incremento de 2 mm sin presentar anomalías significativas, **ver anexos A-04, A-05 y A-06.**

**INC-M385-03.** El eje A presenta un desplazamiento máximo de **12.96 mm** a la profundidad de **10.50 m**, la gráfica (tiempo vs desplazamiento) del máximo desplazamiento registrado indica que la tendencia a la estabilidad inicia en el mes de julio de 2012 y se mantiene hasta la última medición tomada, este comportamiento se conservó durante los últimos 2 meses con un aligera variación de 1.5 mm de incremento, **ver anexos A-07, A-08 y A-09.**

**INC-M385-04.** El eje A presenta un desplazamiento máximo de **14.48 mm** a la profundidad de **11.50 m**, la gráfica (tiempo vs desplazamiento) del máximo desplazamiento registrado indica que la tendencia a la estabilidad inicia en el mes de junio de 2012 y se mantiene hasta la última medición tomada, este comportamiento se conservó durante los últimos 3 meses y presento una aligera variación de  $\pm 1.0$  mm, **ver anexos A-10, A-11 y A-12.**

**INC-M385-05.** El eje A presenta un desplazamiento máximo de **23.47 mm** a la profundidad de **12.50 m**, la gráfica (tiempo vs desplazamiento) del máximo desplazamiento registrado indica que la tendencia a la estabilidad inicia posterior al colado de las trabes en el nivel -18.70 m y se mantiene este comportamiento durante el último mes de mediciones, **ver anexos A-13, A-14 y A-15.**

**INC-M385-06.** El eje A presenta un desplazamiento máximo de **12.99 mm** a la profundidad de **11.00 m**, la gráfica (tiempo vs desplazamiento) del máximo desplazamiento registrado indica que la estabilidad inicia en el mes de julio de 2012 y se mantiene hasta la última medición tomada, este comportamiento se conservó durante los últimos 3 meses con un aligera variación de  $\pm 1.0$  mm, **ver anexos A-16, A-17 y A-18.**

**INC-M385-07.** El eje A presenta un desplazamiento máximo de **20.22 mm** a la profundidad de **13.50 m**, la gráfica (tiempo vs desplazamiento) del máximo desplazamiento registrado indica que la tendencia a la estabilidad inicia en el mes de julio de 2012 y se mantiene hasta el inicio de la excavación de la cisterna, posteriormente se presenta un incremento de un milímetro en los desplazamientos hasta la última toma de lecturas, **ver anexos A-19, A-20 y A-21.**

**INC-M385-08.** El eje A presenta un desplazamiento máximo de **26.53 mm** a la profundidad de **0.50 m**, la gráfica (tiempo vs desplazamiento) del máximo desplazamiento indica que la tendencia es de incremento en los desplazamientos, iniciando julio de 2012 y hasta la última toma de lecturas, con un valor de 5 mm en este periodo. Se recomendó al constructor continuar con las mediciones para saber cuándo se estabilizan las lecturas o si continua la tendencia de incremento en los desplazamientos, **ver anexos A-22, A-23 y A-24.**

**INC-M385-09.** El eje A presenta un desplazamiento máximo de **17.56 mm** a la profundidad de **9.50 m**, la gráfica (tiempo vs desplazamiento) del máximo desplazamiento registrado indica estabilidad de junio a mediados de octubre de 2012 en un rango de 14 a 15 mm, posterior a esta fecha se

presenta una tendencia de incremento en los desplazamientos llegando al valor máximo antes mencionado, en este caso se recomendó al constructor continuar con las mediciones para saber cuándo se estabilizan las lecturas o si continúa la tendencia de incremento en los desplazamientos, **ver anexos A-25, A-26 y A-27.**

**INC-M385-10.** El eje A presenta un desplazamiento máximo de **15.57 mm** a la profundidad de **9.00 m**, la gráfica (tiempo vs desplazamiento) del máximo desplazamiento indica que la tendencia de estabilidad inicia en el mes de julio de 2012 y se mantiene hasta la última medición tomada, este comportamiento se conservó durante los últimos 5 meses con un ligero incremento de + 1.5 mm, **ver anexos A-28, A-29 y A-30.**

**INC-M385-11.** El eje A presenta un desplazamiento máximo de **24.29 mm** a la profundidad de **10.50 m**, la gráfica (tiempo vs desplazamiento) del máximo desplazamiento indica una tendencia de incremento en los desplazamientos de junio a octubre de 2012 en un rango de 19 a 24 mm, posteriormente al colado de las trabes y dados del nivel -18.70 m y hasta la última lectura se presenta estabilidad en las lecturas con un valor de 24.29 mm, **ver anexos A-31, A-32 y A-33.**

## 5.2.2 Referencias Topográficas

### REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS SUPERFICIALES

Se han instalado referencias topográficas superficiales sobre la corona del muro Milán, esto con la finalidad de verificar los posibles desplazamientos que se pudiesen generar hacia la excavación y verticalmente.

Debido a la ubicación de instalación de las referencias superficiales en el muro Milán, ver figura 62, y para obtener el mejor análisis de la información generada, se decidió distribuir las referencias superficiales en 4 segmentos principales: Lago Pátzcuaro, Bahía de la Ascensión 1, Bahía de la Ascensión 2 y Galería de las Estrellas; ver tabla 15.

Nomenclatura	Localización	Cantidad (piezas)	Segmento (ubicación)
RT-01 a RT-07	Eje 1A	7	Lago Pátzcuaro
RT-08 a RT-10	Lindero Sureste	3	Bahía de la Ascensión 1
RT-11 a RT-13	Eje A	3	Bahía de la Ascensión 2
RT-14 a RT-21	Lindero Noreste	8	Galería de las Estrellas

Tabla 15. Distribución de referencias topográficas superficiales

A lo largo del periodo de medición de estas referencias superficiales, comprendido del 01 de diciembre de 2011 al 31 de mayo de 2012, se pudieron apreciar desplazamientos en los tres sentidos del muro Milán, los cuales se resumen a continuación:



**Lago Pátzcuaro:**

En el **Eje X**, perpendicular al eje del de trazo del muro, se presentan desplazamientos hacia el Este (excavación) en un rango comprendido entre 0 cm a 1.5 cm, manteniéndose estable hasta la última toma de lecturas, **ver anexo A-34**.

En el **Eje Y**, paralelo al eje del de trazo del muro, de la referencia RT-01 a RT-03 se presentan desplazamientos hacia el Norte en un rango de 0 cm a 0.7 cm, mientras que en las referencias restantes RT-04 a RT-07 se manifiestan desplazamientos hacia Sur en un rango de 0 cm a -0.5 cm, estos rangos se mantienen hasta última toma de lecturas, **ver anexo A-34**.

En el **Eje Z** se presentan desplazamientos (expansiones) en todas las referencias instaladas, con expansiones máximas de 0.9 cm, pero con magnitudes estables en un rango de 0 cm a 0.7 cm hasta la última toma de lecturas en mayo de 2012, **ver anexo A-34**.

**Bahía de la Ascensión 1:**

En el **Eje X**, perpendicular al eje del de trazo del muro, se presentan desplazamientos hacia el Noreste (excavación) en un rango comprendido de 0 cm a 1.0 cm, manteniéndose estable hasta la última toma de lecturas, **ver anexo A-35**.

En el **Eje Y**, paralelo al eje del de trazo del muro, la mayoría de los desplazamientos se presentan hacia el Noroeste en un rango de -0.2 cm a 0.5 cm, manteniéndose el rango estable hasta la última toma de lecturas, **ver anexo A-35**.

En el **Eje Z** se presentan desplazamientos (expansiones y asentamientos) en un rango de -0.2 cm a 0.4 cm, manteniéndose el rango estable hasta la última toma de lecturas en mayo de 2012, **ver anexo A-35**.

**Bahía de la Ascensión 2:**

En el **Eje X**, perpendicular al eje del de trazo del muro, se presentan desplazamientos hacia el Noreste (excavación) en un rango de 0 cm a 0.5 cm, manteniéndose estable hasta la última toma de lecturas, **ver anexo A-36**.

En el **Eje Y**, paralelo al eje del de trazo del muro, la mayoría de los desplazamientos se presentan hacia el Noroeste en un rango de 0 cm a 0.3 cm, manteniéndose el rango estable hasta la última toma de lecturas, **ver anexo A-36**.

En el **Eje Z** se presentan desplazamientos (expansiones y asentamientos) en un rango de -0.2 cm a 0.3 cm, manteniéndose el rango estable hasta la última toma de lecturas en mayo de 2012, **ver anexo A-36**.

**Galería de las Estrellas:**

En el **Eje X**, perpendicular al eje del de trazo del muro, se presentan desplazamientos hacia el Noroeste (excavación) en un rango de 0 cm a 0.7 cm, manteniéndose estable hasta la última toma de lecturas, **ver anexo A-37**.

En el **Eje Y**, paralelo al eje del de trazo del muro, la mayoría de los desplazamientos se presentan hacia el Noreste en un rango de -0.1 cm a 0.7 cm, manteniéndose el rango estable hasta la última toma de lecturas, **ver anexo A-37**.

En el **Eje Z** se presentan desplazamientos (expansiones) en un rango de 0 cm a 0.7 cm, manteniéndose el rango estable hasta la última toma de lecturas en mayo de 2012, **ver anexo A-37**.

**REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS INTERIORES**

Se instalaron referencias topográficas en la plantilla de los niveles -15.90 m y -18.70 m, ver ubicación en las figuras 63 y 64, la función principal es medir las deformaciones del suelo posterior al proceso de excavación para la construcción de losa de fondo del nivel 5 del estacionamiento y la losa de fondo de la cisterna. La distribución de las referencias se indica en la tabla 12.

A lo largo del periodo de monitoreo de las referencias interiores nivel -15.90 m inicio el 21 de julio de 2012 hasta el mes de octubre de 2012, mientras que el monitoreo para el nivel -18.70 m inicio el 20 de agosto de 2012 y finalizando el 5 de octubre de 2012. El monitoreo fue continuo durante los periodos antes mencionados y las deformaciones del terreno excavado se resumen a continuación:

**Plantilla Nivel -15.90 m:**

En este nivel se detectaron deformaciones en un rango de 0 a 1.3 cm (expansiones) registrados del inicio de las mediciones a octubre de 2012, se identificaron las máximas expansiones en las referencias RT-04, RT-13, RT-14 y RT-18. Las referencias restantes presentan expansiones moderadas, **ver anexo A-38**.

En la gráfica 71 (tiempo vs deformación) se incluyen todas las lecturas tomadas durante la el periodo de medición de cada referencia instalada, se aprecia que la tendencia de estabilidad inicio en el mes de septiembre y se conserva hasta la última fecha de lectura tomada.

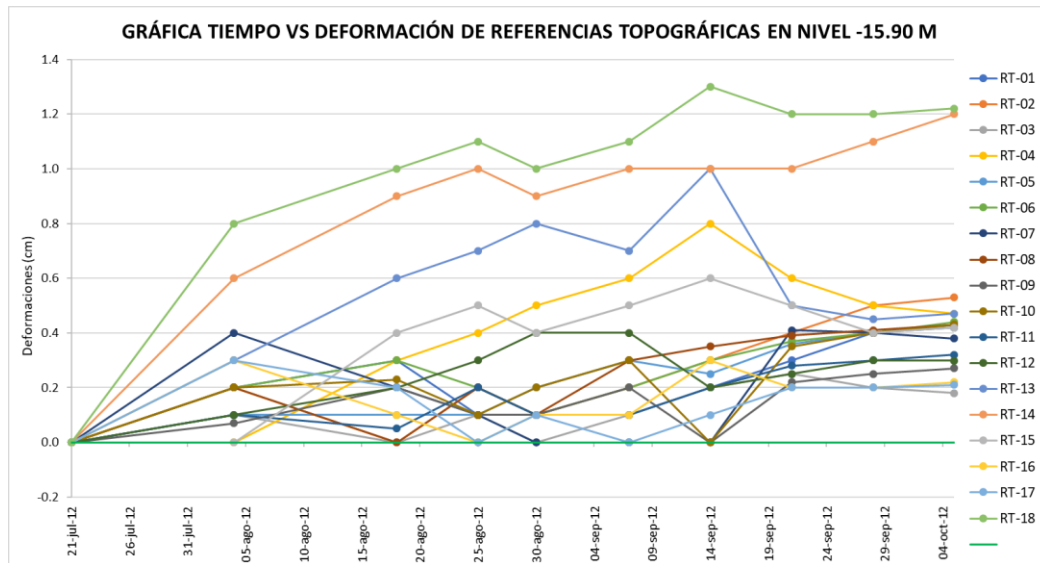


Figura 71. Gráfica Tiempo vs Deformación de las referencias topográficas Nivel -15.90 m. Fuente: Elaboración propia

**Plantilla Nivel -18.70 m:**

En este nivel se detectaron deformaciones en un rango de 0 a 0.6 cm (expansiones) registrados del inicio de las mediciones a octubre de 2012, se identificaron las máximas expansiones en la referencia RT-22, las referencias restantes presentan expansiones moderadas y menores a las presentadas en el nivel -15.90 m, **ver anexos A-39 y A-40.**

En la gráfica 72 (tiempo vs deformación) se incluyen todas las lecturas tomadas durante la el periodo de medición de cada referencia instalada, se aprecia que la tendencia de estabilidad inicio en el mes de septiembre y se conserva hasta la última fecha de lectura tomada.

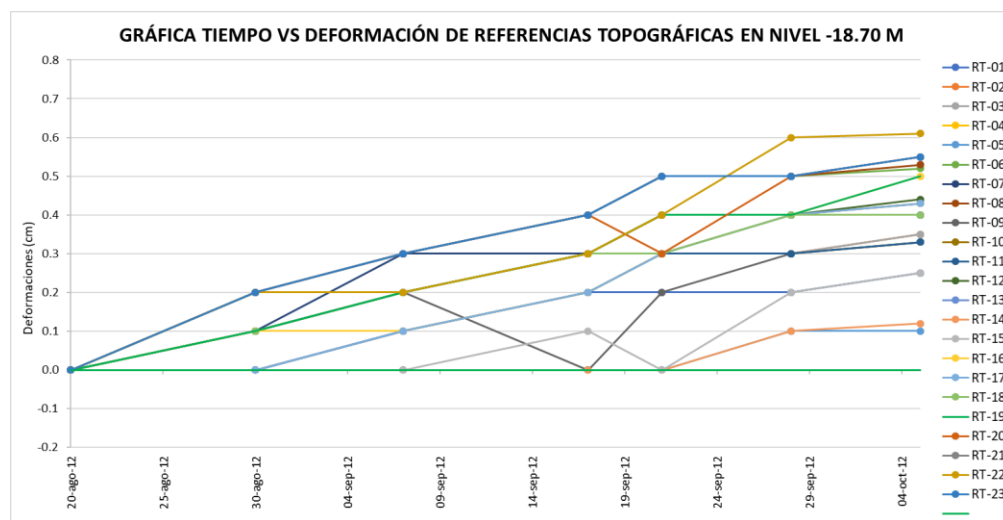


Figura 72. Gráfica Tiempo vs Deformación de referencias topográficas Nivel -18.70 m. Fuente: Elaboración propia

### 5.3 Comparativa de resultados: desplazamiento teórico vs máximos desplazamientos medidos en inclinómetros verticales

Posterior a tener el historial de los desplazamientos laterales de cada uno de los inclinómetros, se procedió a elaborar la gráfica del desplazamiento teórico del sistema de contención versus el máximo desplazamiento lateral de cada inclinómetro vertical, **ver figura 73**. Claramente se aprecia que los máximos desplazamientos medidos son menores al desplazamiento lateral determinado en el modelo numérico.

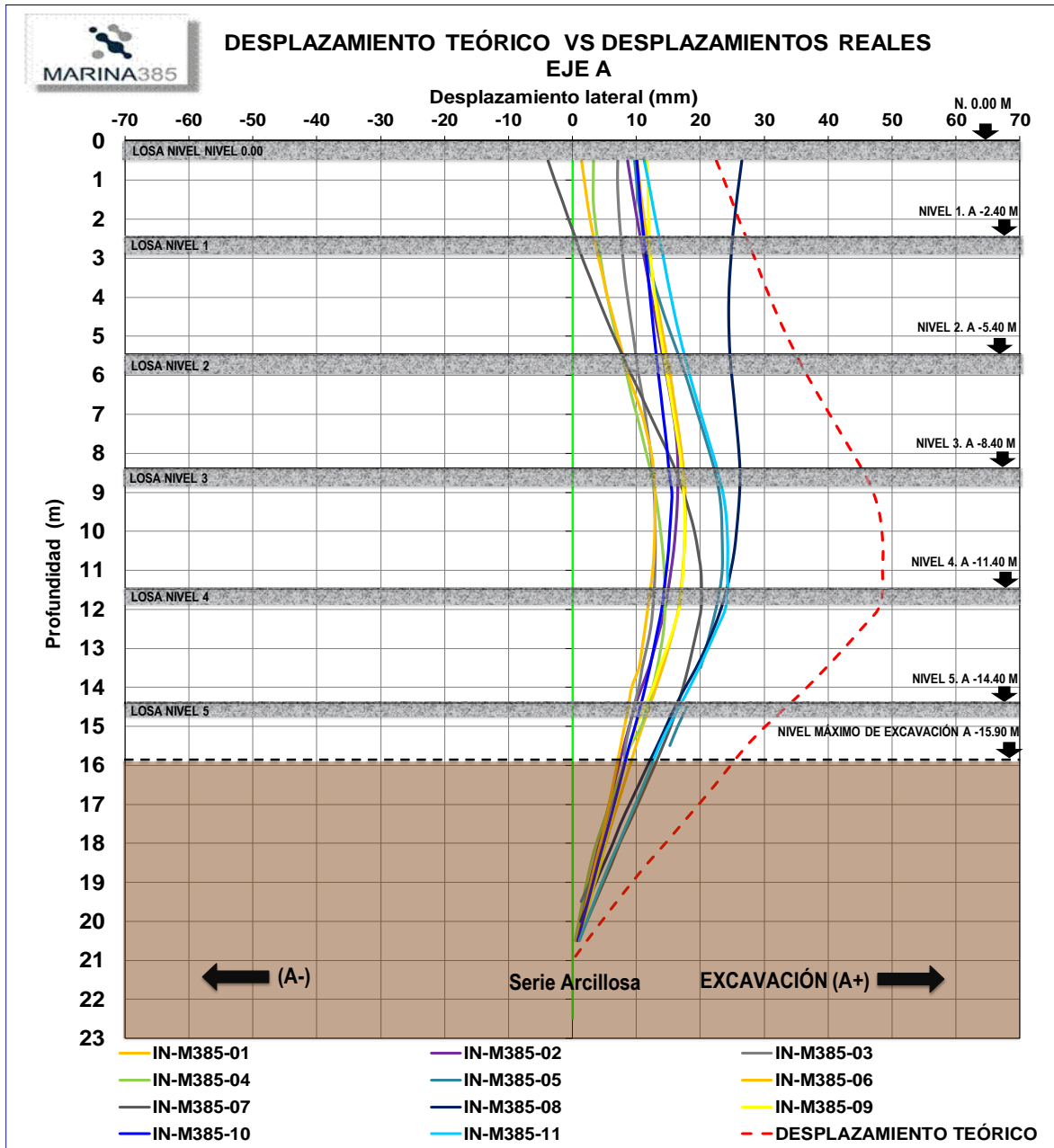


Figura 73. Desplazamiento teórico vs desplazamientos medidos de los inclinómetros verticales. Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

La instalación del sistema de instrumentación geotécnica en el proyecto **MARINA 385** permite la detección oportuna de anomalías que se desarrollen o tengan tendencia a desarrollarse durante la excavación y estructuración de la subestructura. La instrumentación instalada es el medio más eficiente para que el ingeniero constructor vigile detalladamente el comportamiento durante la ejecución de las diversas etapas constructivas y evalúen la seguridad del proyecto para salvaguardar la integridad física del personal involucrado en la obra.

Con base en los resultados analíticos obtenidos por los inclinómetros y a la interpretación de los mismos, durante el proceso de excavación y estructuración de la subestructura se presentaron desplazamientos laterales esperados y que no rebasaron significativamente los límites establecidos como desplazamientos teóricos, **ver figura 73**, esto gracias a que los procesos y etapas constructivas fueron ejecutadas con apego a lo establecido en los documentos aprobados para construcción.

Como se muestra en la figura 73, el desplazamiento teórico (máximo) es de 48.60 mm a la profundidad de 10.5 m, mientras que el valor máximo de desplazamiento lateral registrado se presentó en el inclinómetro **IN-M385-08** con un valor de 26.26 mm a una profundidad de 8.5 m. Por lo cual, se considera que los valores obtenidos durante el periodo de monitoreo están dentro del rango del diseño.

En las gráficas de tiempo vs desplazamiento se puede observar que la tendencia y comportamiento de los desplazamientos laterales están estrechamente ligadas a las etapas constructivas y fenómenos naturales, ya que una vez colocadas las trabes metálicas y coladas las losas de entrepiso, los desplazamientos presentaban disminución en su velocidad de deformación y manifestaban tendencia a la estabilidad, **ver anexos A-03, A-06, A-09, A-12, A-15, A-18, A-21, A-24, A-27, A-30 y A-33**. Gracias a los resultados de las gráficas antes mencionadas, podemos corroborar que la construcción se realizó con apego a las buenas prácticas constructivas y que validan el modelo teórico de los desplazamientos laterales.

Cabe resaltar que el inclinómetro **IN-M385-08** tuvo una serie de anomalías que afectaron el comportamiento esperado, como se muestra en la figura 73, ya que durante excavación y estructuración de las losas cercanas al instrumento, los constructores decidieron no colar las losas de los niveles 0.00 y -2.40 m para tratar de mitigar los atrasos en la zona, fue hasta que llegaron al nivel -5.40 m que realizaron el colado de la losa de entrepiso, además se detectó una fuga de agua que ayudó a que los empujes fueran mayores, **ver anexo A-24**. Estas anomalías provocaron que el muro Milán, al ser un elemento rígido, no tuviera el soporte necesario para resistir los empujes generados a consecuencia de la excavación de más de cinco metros.

La intervención de la instrumentación, en este caso, fue vital para modificar el proceso constructivo, ya que se demostró que los desplazamientos laterales del **IN-M385-08** eran casi del doble en comparación con los otros diez inclinómetros verticales, ver figura 73.

Respecto a las referencias topográficas superficiales, se puede concluir que los desplazamientos generados hacia la excavación, eje X, están en un rango de estabilidad de 0 a 15 mm, mientras que los desplazamientos (asentamientos y expansiones) en el eje Z se encuentran en un rango de -2.0 a 7.0 mm. En el caso de las referencias interiores se pudieron apreciar expansiones en la plantilla con un rango de 0 a 13.0 mm y que al final del periodo de medición presentan una clara tendencia a la estabilización, **ver gráficas 71 y 72.**

El sistema de instrumentación instalado fue de vital importancia en el proyecto, debido a la constante interacción con las distintas áreas (ingeniería y campo) que intervinieron durante los trabajos de diseño y construcción de la subestructura, ya que gracias a la difusión de reportes quincenales y mensuales se pudieron tomar decisiones para corregir oportunamente las anomalías o deficiencias que se presentaron.

Este documento tiene la finalidad de evidenciar la importancia de instalar, medir y procesar los datos de un sistema de instrumentación, ya que verifican las hipótesis de diseño, se obtienen conocimientos y experiencia que permiten hacer más eficiente los diseños, mejoran los procesos constructivos al reducir tiempos de ejecución y por consecuencia inmediata se reflejan en la disminución de los costos en la obra.

Por último, no se debe demeritar o comprometer la seguridad del proyecto para alcanzar las metas de tiempos y costos, ya que al comprometer la seguridad podría ser contraproducente y afectar significativamente el proyecto.



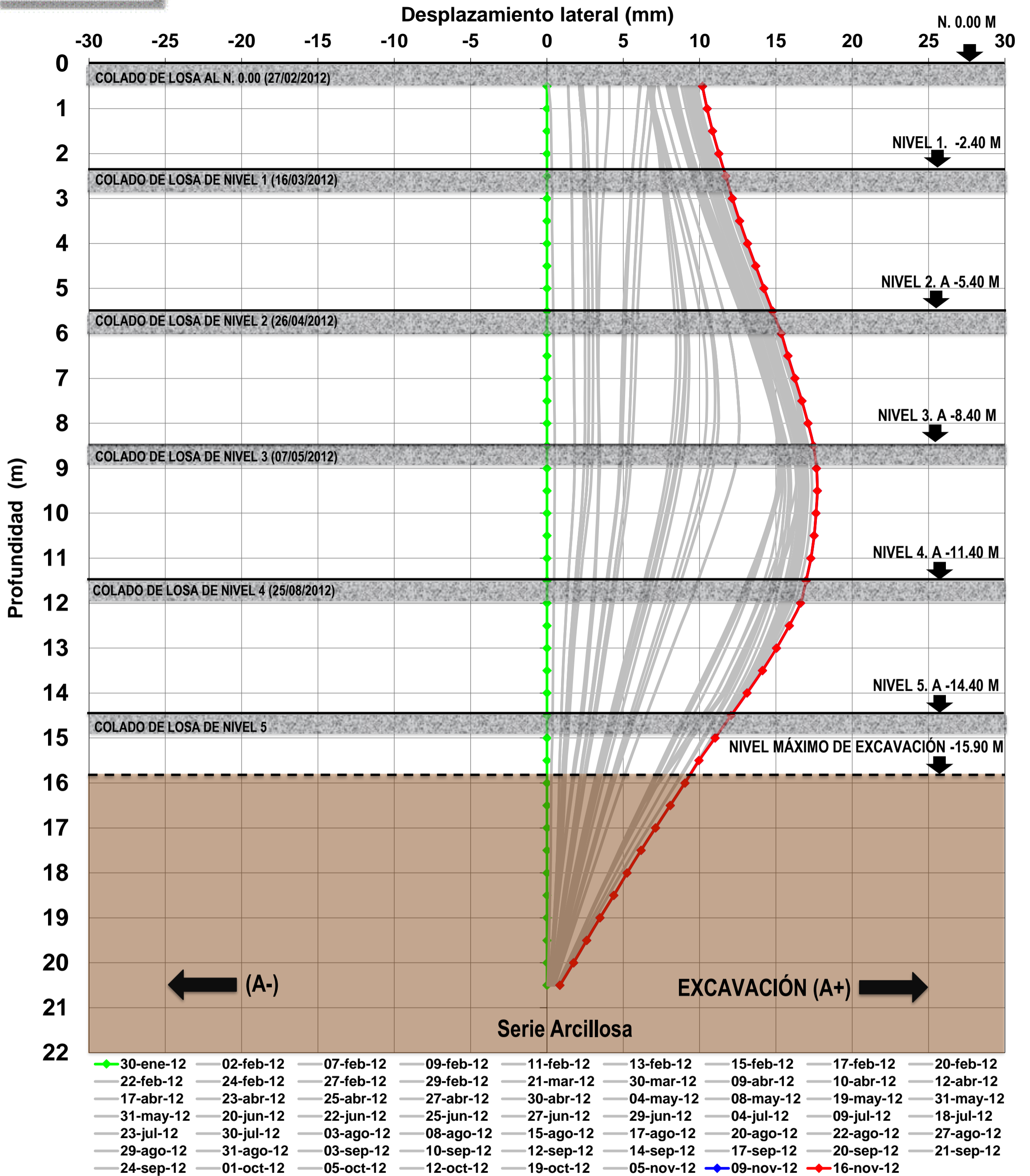
## BIBLIOGRAFIA

- ✓ DÍAZ RODRÍGUEZ, J. A. (2006): *Los suelos lacustres de la ciudad de México*. México D.F., 12 p.
- ✓ PANIAGUA, W. I.; RANGEL, J. L.; IBARRA, E. (2010): *En 20 años de construcción de cimentaciones profundas ¿hemos aprendido algo?* México D.F.
- ✓ SANTOYO E. (2010): *Historia y actualidad del hundimiento regional de la ciudad de México*. Ediciones TGC Geotecnia, México.
- ✓ GONZÁLEZ VALENCIA, J. F. (2001): Instrumentación de presas de materiales térreos. *Geotecnia en ingeniería de presa*. IMTA, México.
- ✓ CONAGUA (2012): Instrumentación y Monitoreo del comportamiento de Obras Hidráulicas. Manual de Mecánica de Suelos. Comisión Nacional del Agua, México.
- ✓ OSORIO SALAS, Juan Pablo, Título: Diseño de cimentación para un edificio de 12 pisos en un sitio con pilotes existentes, México, 2006, 343h. Trabajo de grado de Maestro en Ingeniería (Geotecnia), UNAM Ciudad Universitaria, 2006.
- ✓ Santoyo E. y Segovia J. (1995): Recimentación y renivelación de estructuras y monumentos. Ediciones TGC Geotecnia, México.
- ✓ <http://coiex.es/comunicacion/actividades/estaciontot.html> , consultado el 20/04/2015
- ✓ <http://cuerdavibrante.blogspot.mx/> , consultado el 20/04/2015
- ✓ <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4966/fichero/e.+Tecnologia+MEMS.pdf> , consultado el 20/04/2015
- ✓ <http://www.definicionabc.com/tecnologia/fibra-optica.php> , consultado el 22/04/2015
- ✓ <http://ciencia.unam.mx/leer/652/-que-ocurrio-el-19-de-septiembre-de-2017-en-mexico->

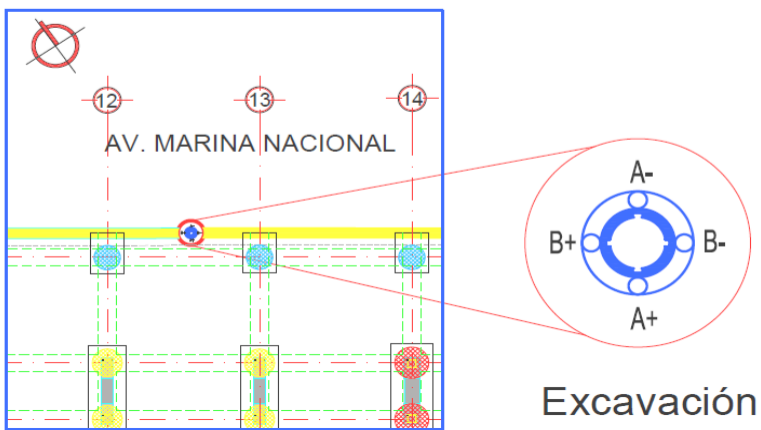
## **ANEXOS**

Los documentos presentados a continuación sirven para validar la totalidad de esta tesis y son de suma importancia ya que en ellos se plasman los resultados numéricos, obtenidos durante el periodo de medición, en graficas de comportamiento.

# IN-M385-01 EJE A



**UBICACIÓN:**



**NOTAS:**

COLADO DE LOSA EN NIVEL N 0.00 EL 27-FEB-2012

EXCAVACIÓN DE BERMA EL 25-FEB-2012

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-01**

**DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "A"**

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN:  
26-ene-12



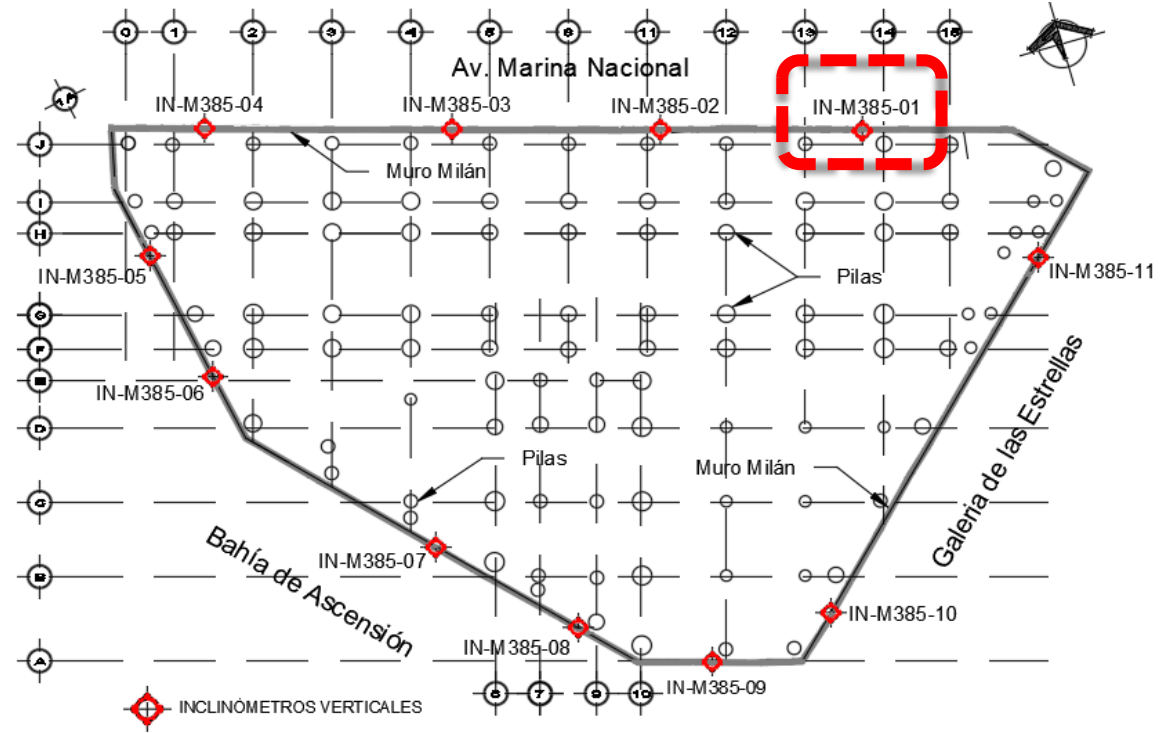


# IN-M385-01 GRÁFICA TIEMPO VS DESPLAZAMIENTO

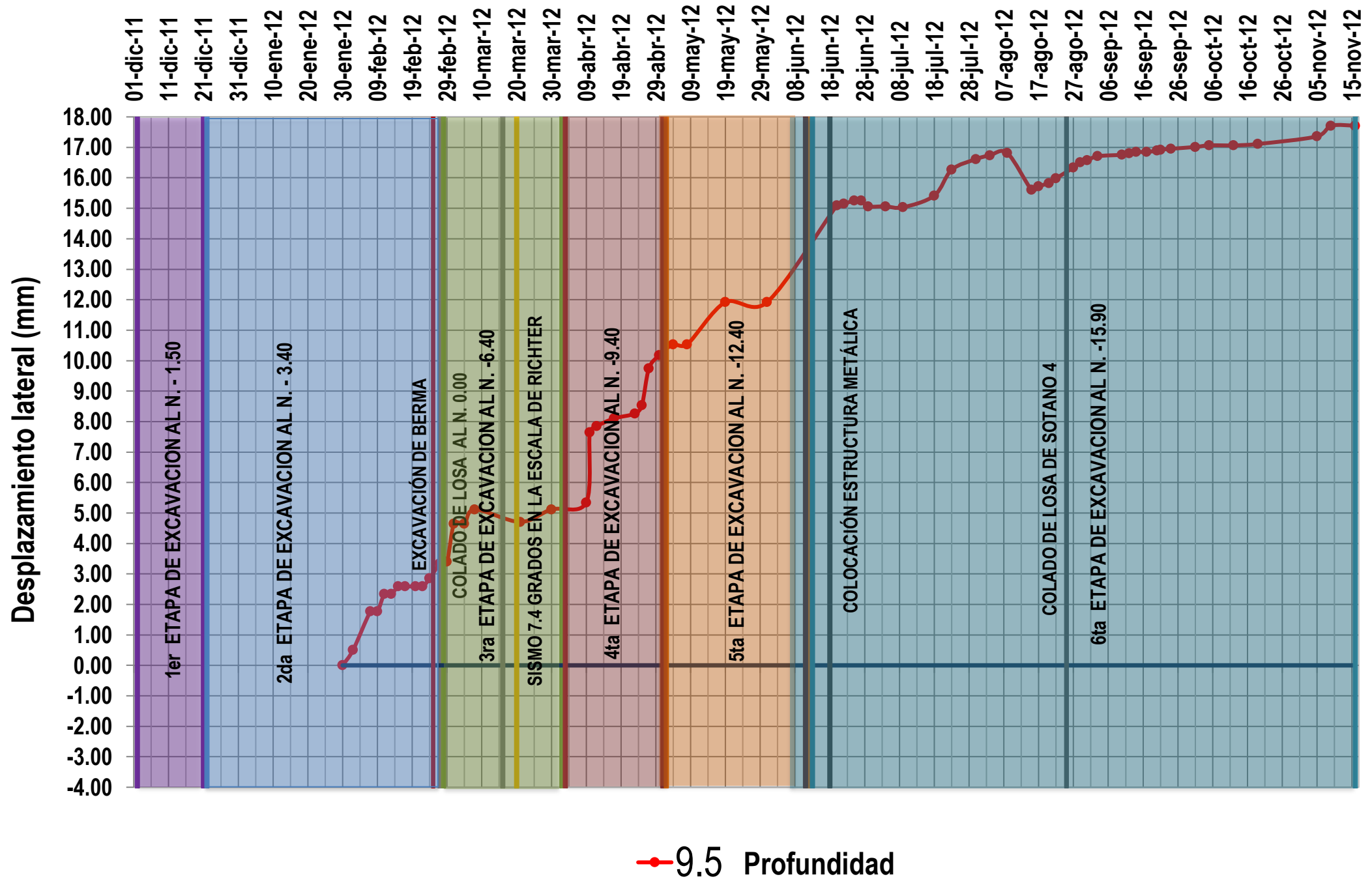
## ETAPAS CONSTRUCTIVAS Y FENOMENOS NATURALES

ACTIVIDAD	INICIO	FIN
1er Etapa de Excavación	02-dic-11	21-dic-11
2da Etapa de Excavación	22-dic-11	27-feb-12
3ra Etapa de Excavación	28-feb-12	02-abr-12
4ta Etapa de Excavación	03-abr-12	01-may-12
5ta Etapa de Excavación	02-may-12	12-jun-12
6ta Etapa de Excavación	13-jun-12	16-nov-12
Excavación de Berma	25-feb-12	
Colado de Losa N 0.00	27-feb-12	
Colado de Rampa	16-mar-12	
Sismo 7.4° Richter	20-mar-12	
Colado de losa sotano 4	25-ago-12	

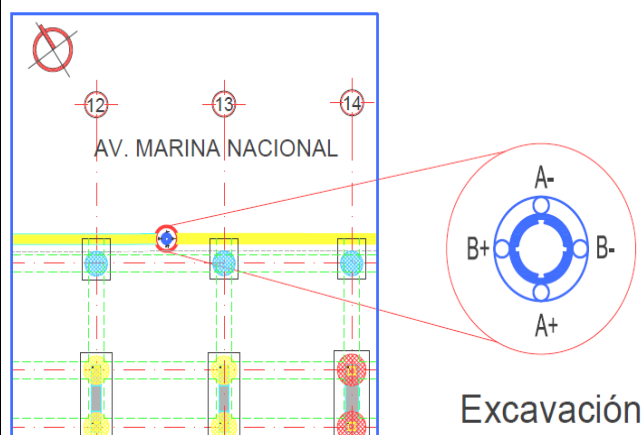
## LOCALIZACIÓN DEL INCLINÓMETRO VERTICAL



## DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL A 9.5 M DE PROFUNDIDAD



### UBICACIÓN:



### NOTAS:

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

EL DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO SE PRESENTA EN LA 6ta ETAPA DE EXCAVACION CON UN VALOR DE 17.71 MM A LA PROFUNDIDAD DE 9.5 M

POSTERIOR AL COLADO DE LA LOSA DEL SOTANO 4 SE APRECIA UNA CLARA ESTABILIDAD DE LOS DESPLAZAMIENTOS

### MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-01

### GRAFICA DE INCREMENTOS DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

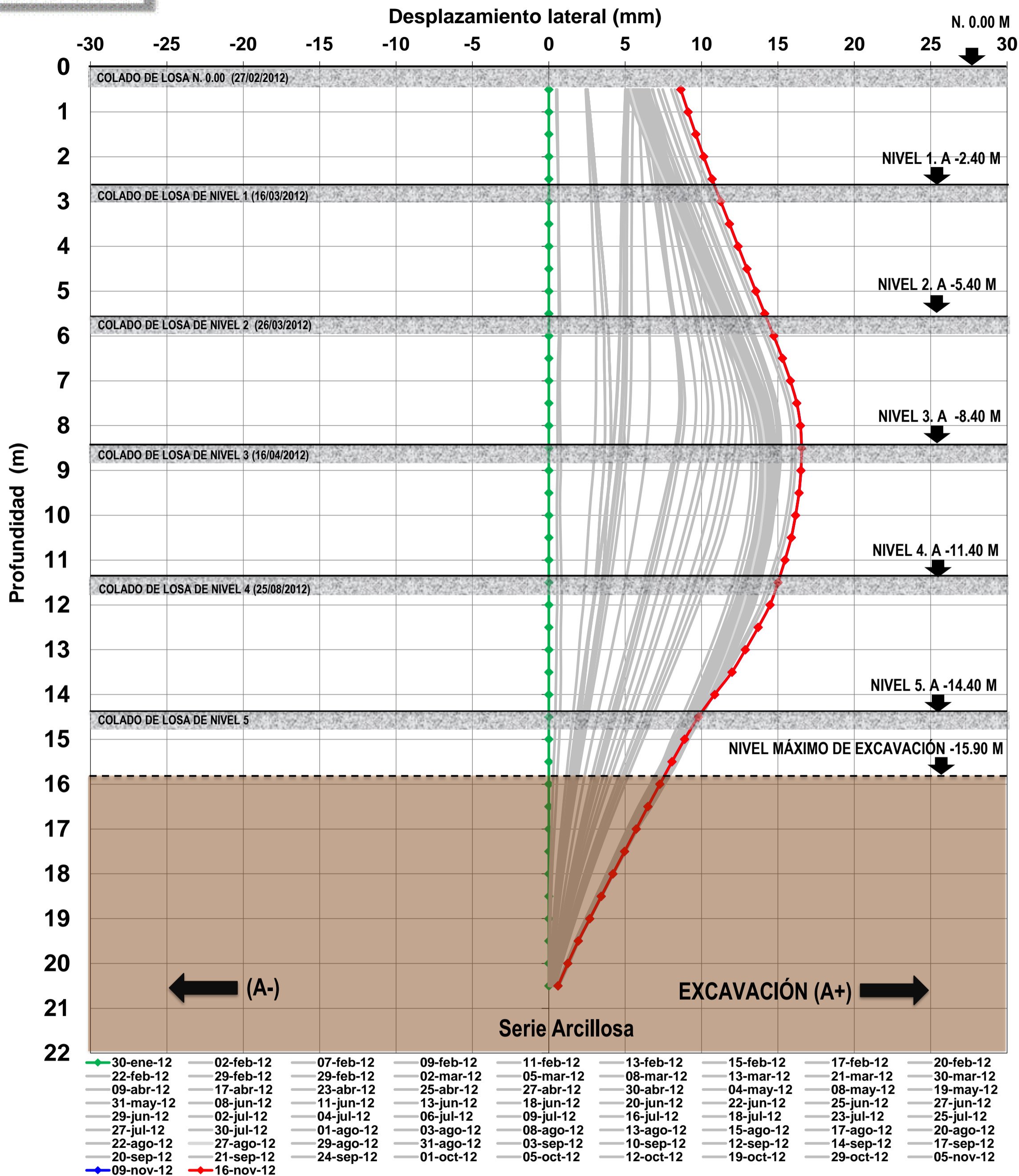
FECHA DE INSTALACIÓN:  
26-ene-12

**ANEXO A-03**

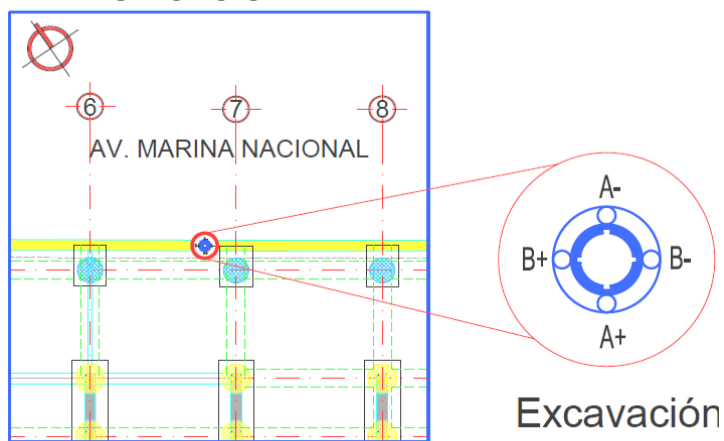


# IN-M385-02 EJE A

Desplazamiento lateral (mm)



UBICACIÓN:



NOTAS:

SE REALIZO EL COLADO DE LA RAMPA DE ACCESO EL DÍA 16 DE MARZO DE 2016

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-02

DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "A"

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

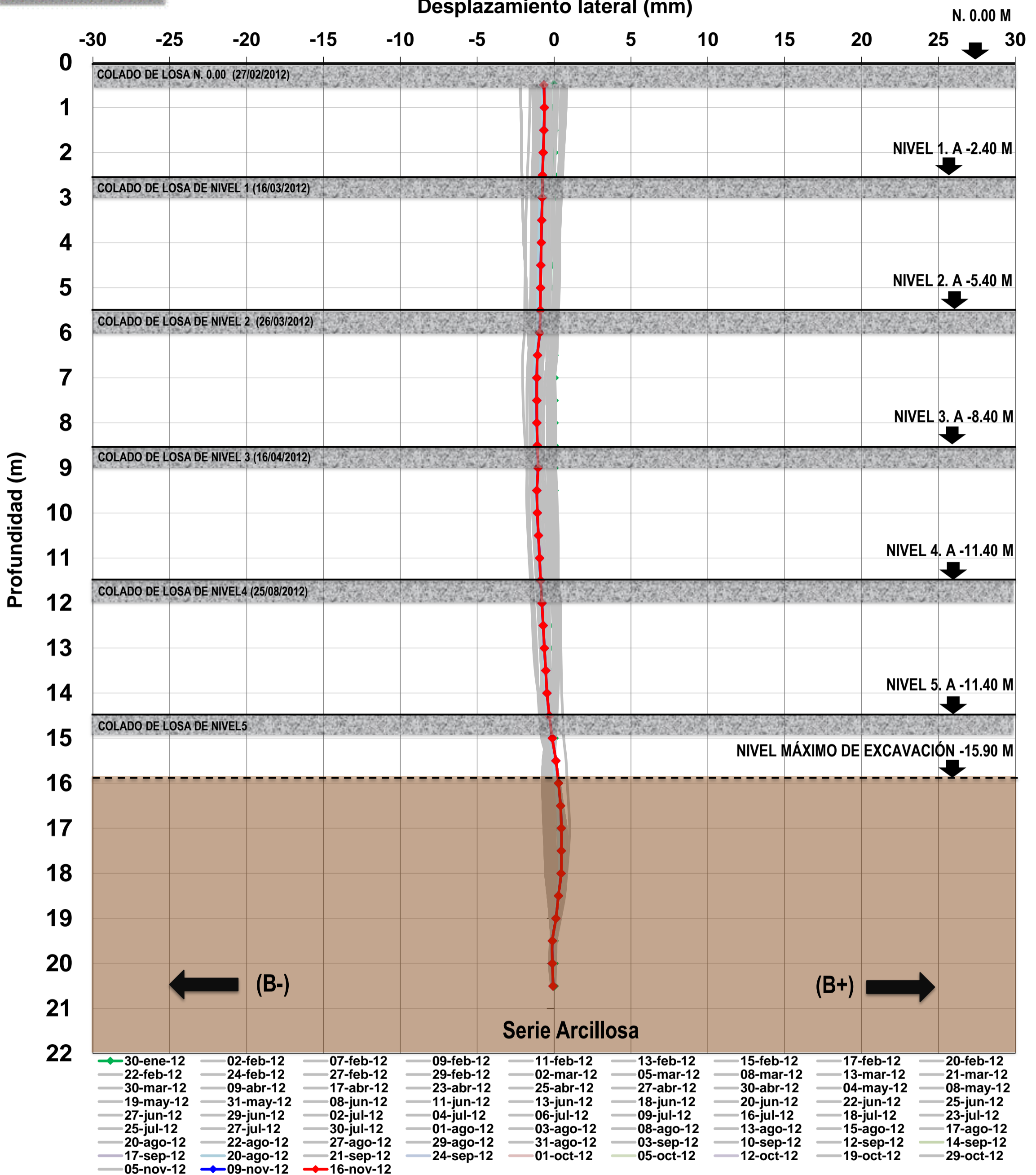
FECHA DE INSTALACIÓN:  
27-ene-12

**ANEXO A-04**

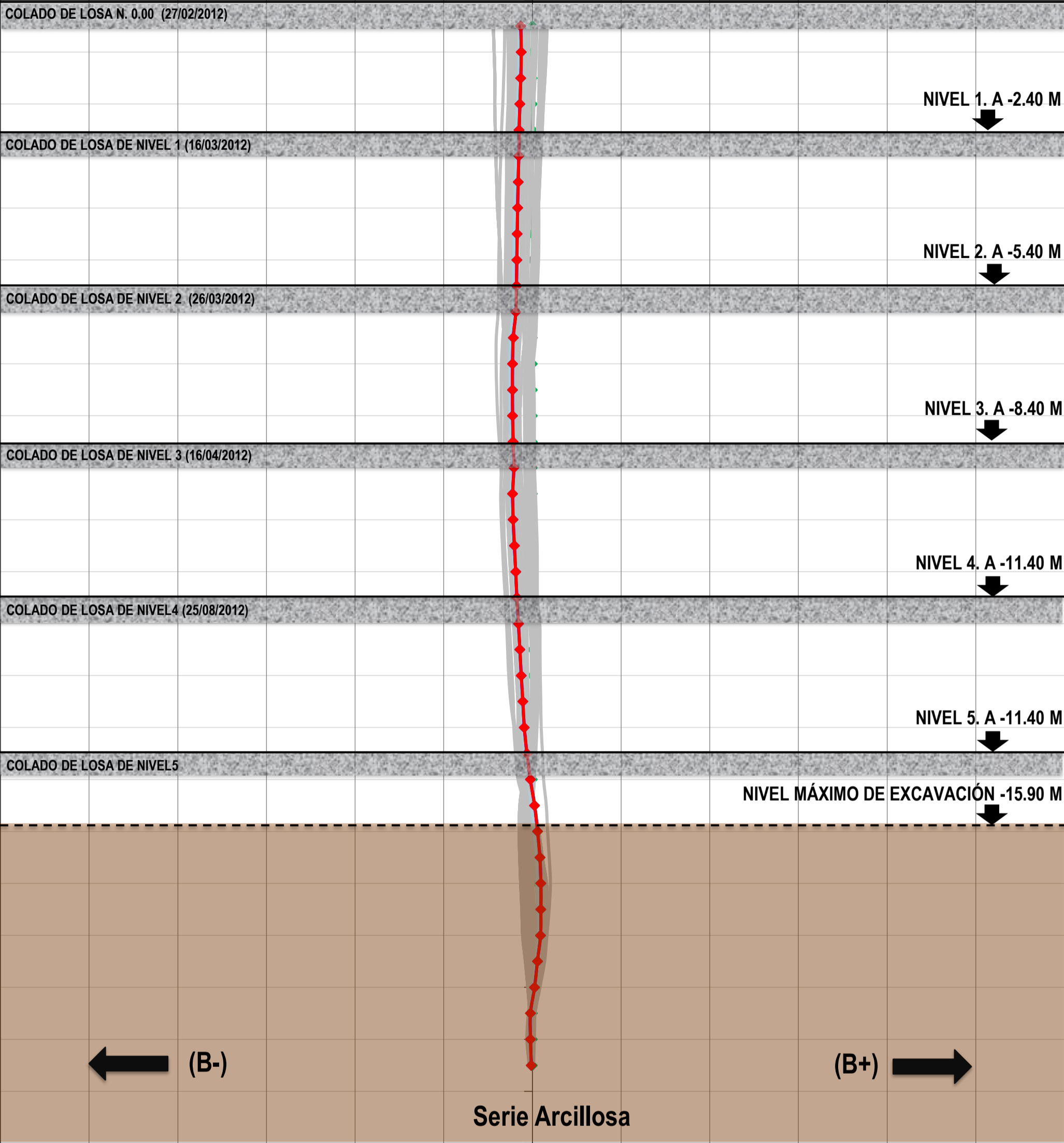


# IN-M385-02 EJE B

Desplazamiento lateral (mm)

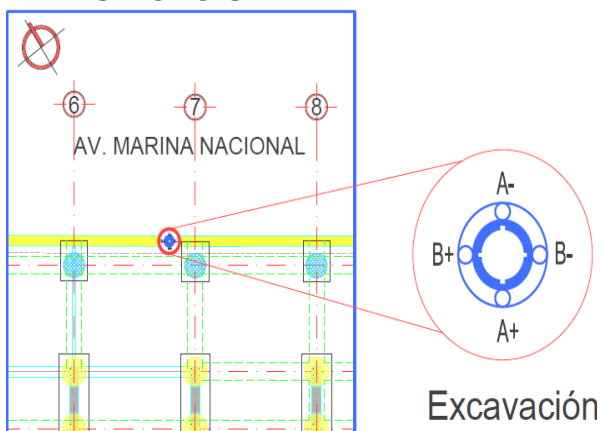


Profundidad (m)



Serie Arcillosa

**UBICACIÓN:**



**NOTAS:**

SE REALIZO EL COLADO DE LA RAMPA DE ACCESO EL DÍA 16 DE MARZO DE 2016  
SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-02**

DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "B"

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN:  
27-ene-12

**ANEXO A-05**

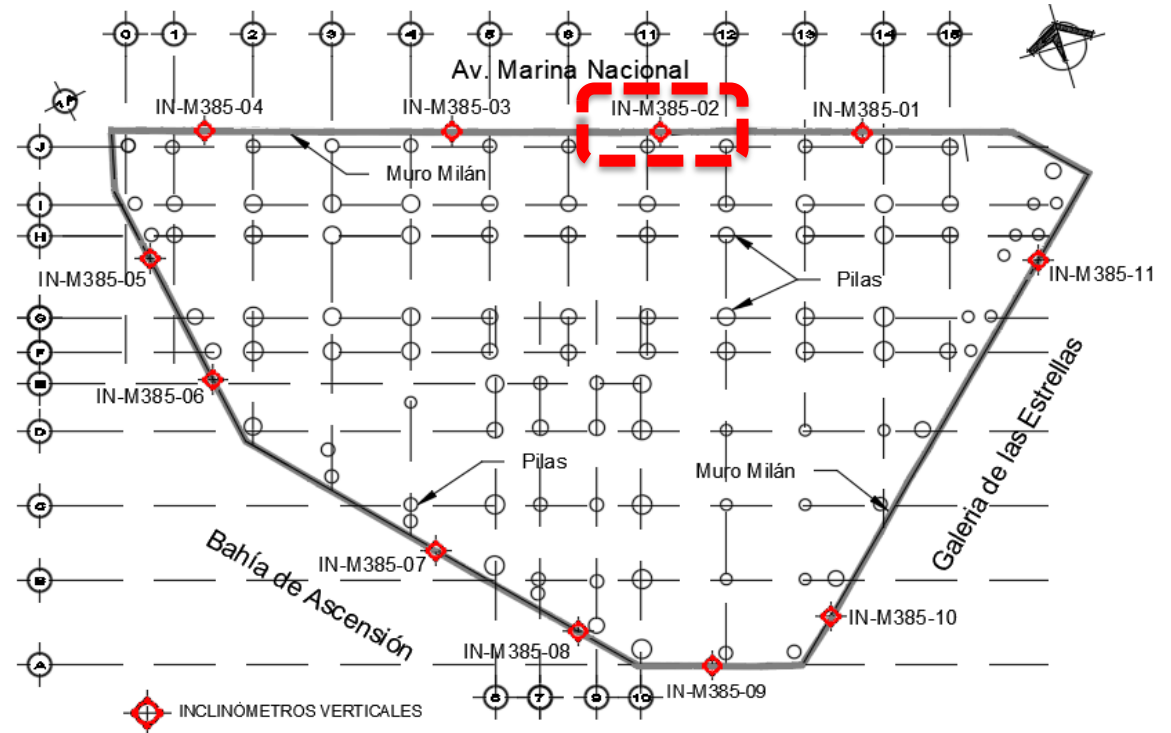


# IN-M385-02 GRÁFICA TIEMPO VS DESPLAZAMIENTO

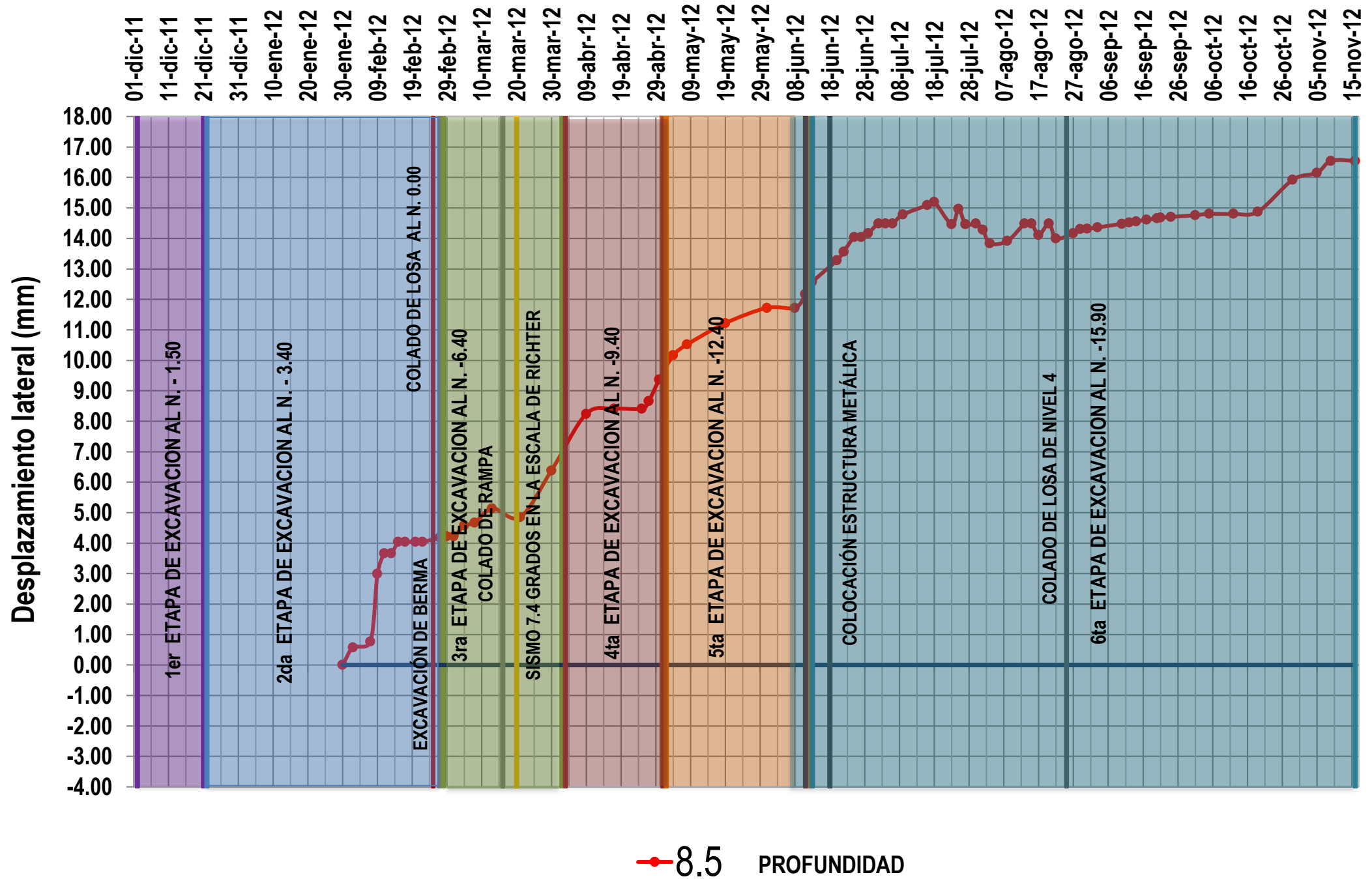
## ETAPAS CONSTRUCTIVAS Y FENOMENOS NATURALES

ACTIVIDAD	INICIO	FIN
1er Etapa de Excavación	02-dic-11	21-dic-11
2da Etapa de Excavación	22-dic-11	27-feb-12
3ra Etapa de Excavación	28-feb-12	02-abr-12
4ta Etapa de Excavación	03-abr-12	01-may-12
5ta Etapa de Excavación	02-may-12	12-jun-12
6ta Etapa de Excavación	13-jun-12	16-nov-12
Excavación de Berma	25-feb-12	
Colado de Losa N 0.00	27-feb-12	
Colado de Rampa	16-mar-12	
Sismo 7.4° Richter	20-mar-12	
Colado de losa nivel 4	25-ago-12	

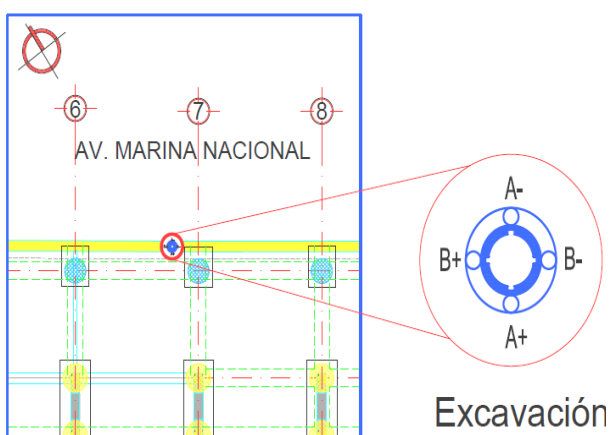
## LOCALIZACIÓN DEL INCLINÓMETRO VERTICAL



## DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL A 8.5 M DE PROFUNDIDAD



### UBICACIÓN:



### NOTAS:

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

EL DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO SE PRESENTA EN LA 6ta ETAPA DE EXCAVACIÓN CON UN VALOR DE 16.54 MM A LA PROFUNDIDAD DE 8.5 M

### MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-02

### GRÁFICA DE INCREMENTOS DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL

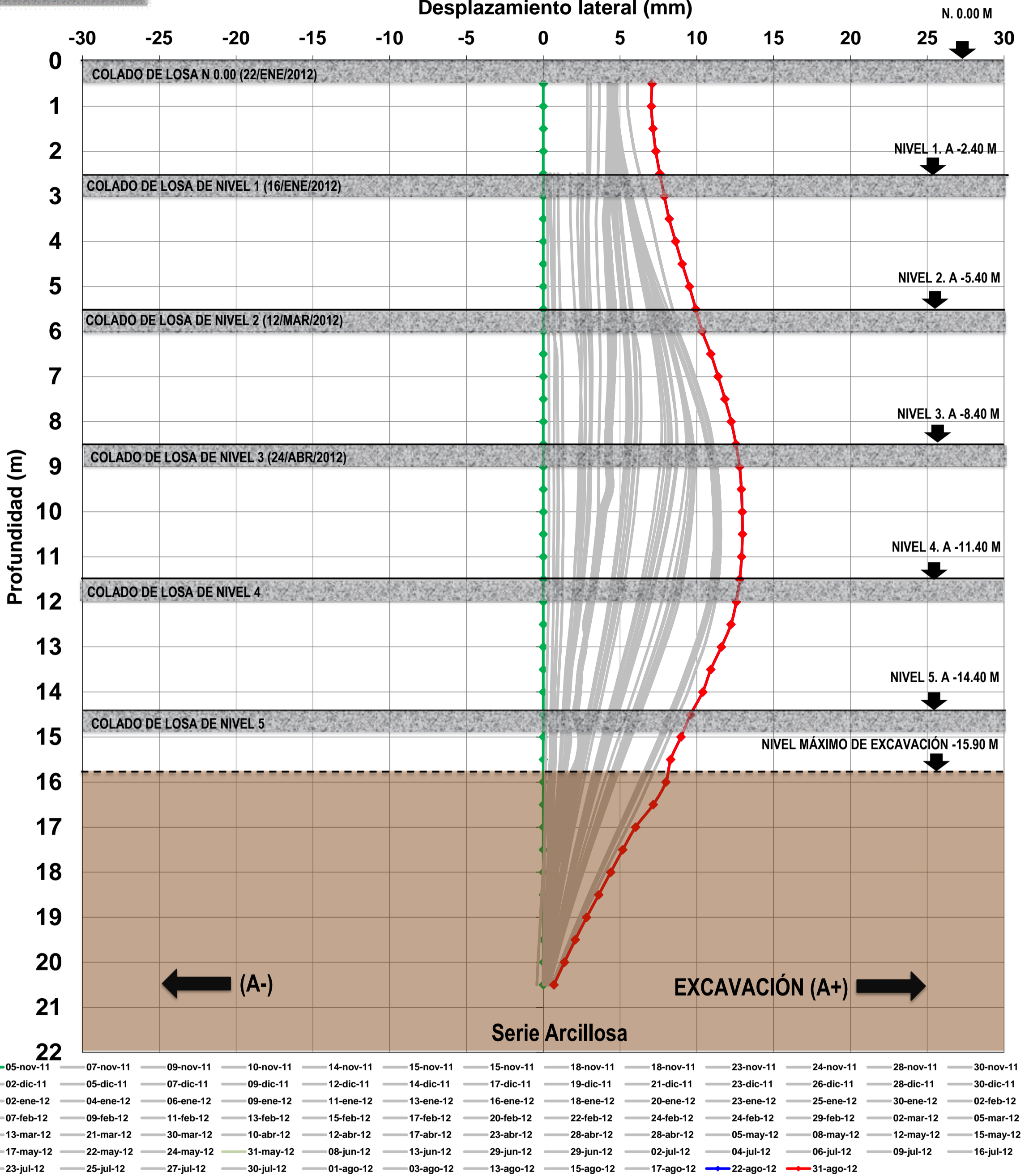
ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN:  
27-ene-12

**ANEXO A-06**

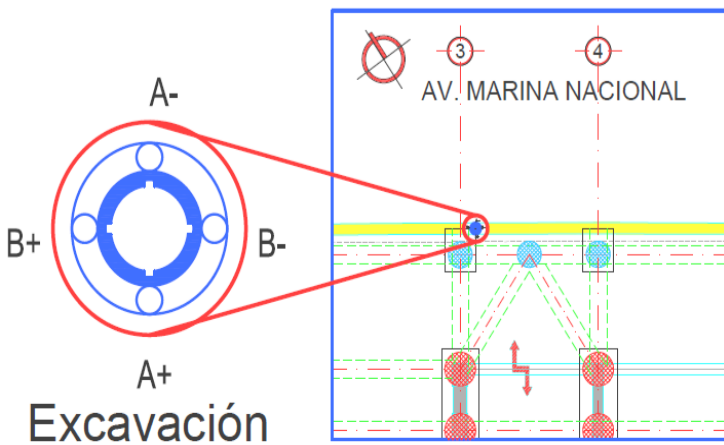
# IN-M385-03 EJE A

Desplazamiento lateral (mm)



05-nov-11	07-nov-11	09-nov-11	10-nov-11	14-nov-11	15-nov-11	15-nov-11	18-nov-11	18-nov-11	23-nov-11	24-nov-11	28-nov-11	30-nov-11
02-dic-11	05-dic-11	07-dic-11	09-dic-11	12-dic-11	14-dic-11	17-dic-11	19-dic-11	21-dic-11	23-dic-11	26-dic-11	28-dic-11	30-dic-11
02-ene-12	04-ene-12	06-ene-12	09-ene-12	11-ene-12	13-ene-12	16-ene-12	18-ene-12	20-ene-12	23-ene-12	25-ene-12	30-ene-12	02-feb-12
07-feb-12	09-feb-12	11-feb-12	13-feb-12	15-feb-12	17-feb-12	20-feb-12	22-feb-12	24-feb-12	24-feb-12	29-feb-12	02-mar-12	05-mar-12
13-mar-12	21-mar-12	30-mar-12	10-abr-12	12-abr-12	17-abr-12	23-abr-12	28-abr-12	28-abr-12	05-may-12	08-may-12	12-may-12	15-may-12
17-may-12	22-may-12	24-may-12	31-may-12	08-jun-12	13-jun-12	29-jun-12	29-jun-12	02-jul-12	04-jul-12	06-jul-12	09-jul-12	16-jul-12
23-jul-12	25-jul-12	27-jul-12	30-jul-12	01-ago-12	03-ago-12	13-ago-12	15-ago-12	17-ago-12	22-ago-12	31-ago-12		

**UBICACIÓN:**



**NOTAS:**

SE REGISTRO UN SISMO DE 6.8° EN A ESCALA DE RICHTER EL 10 DE DICIEMBRE DE 2011

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

EL 2 DE ENERO DE 2012 SE REALIZA CAMBIO DE UNIDAD DE LECTURA POR UNA AVERIA

**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-03**

**DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "A"**

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

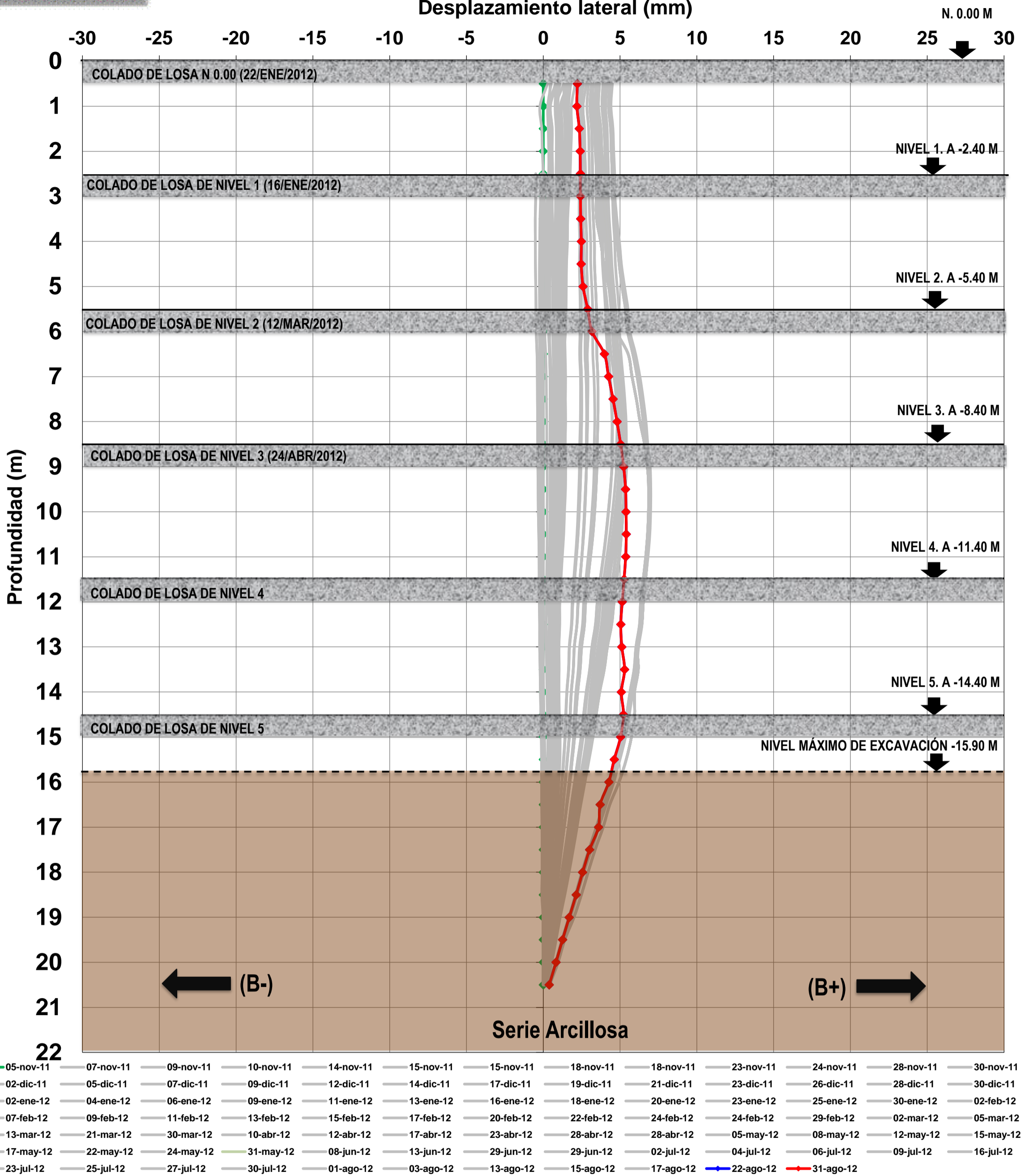
FECHA DE INSTALACIÓN:  
19-oct-11

**ANEXO A-07**

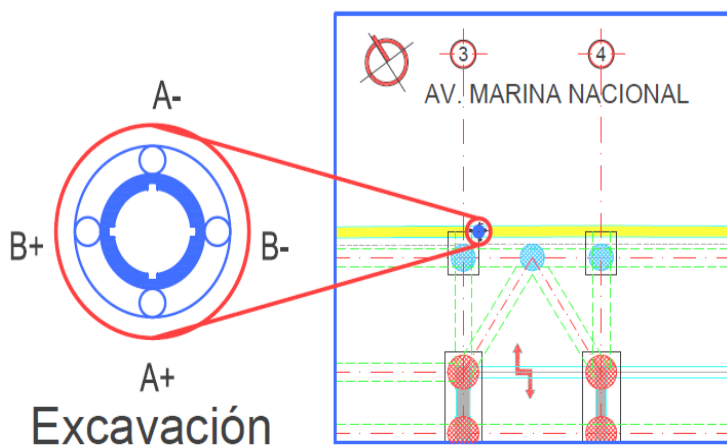


# IN-M385-03 EJE B

Desplazamiento lateral (mm)



**UBICACIÓN:**



**NOTAS:**

SE REGISTRO UN SISMO DE 6.8° EN A ESCALA DE RICHTER EL 10 DE DICIEMBRE DE 2011

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

EL 2 DE ENERO DE 2012 SE REALIZA CAMBIO DE UNIDAD DE LECTURA POR UNA AVERIA

**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-03**

**DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "B"**

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN:  
19-oct-11

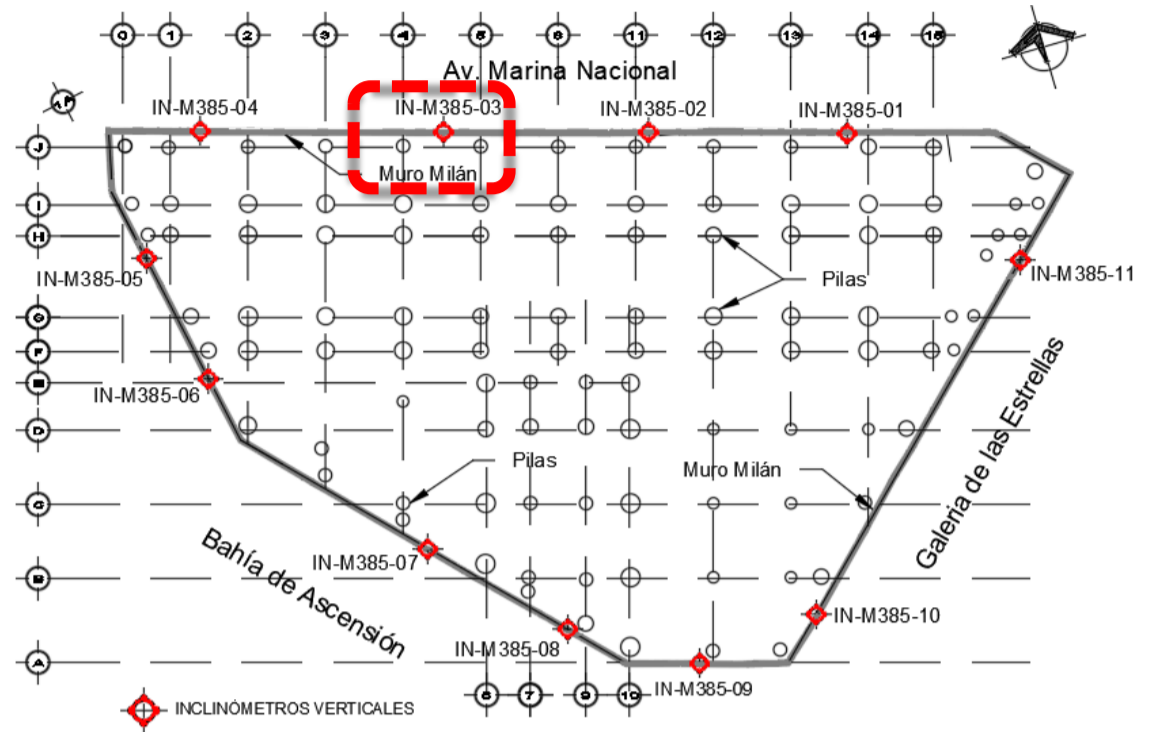
**ANEXO A-08**

# IN-M385-03 GRÁFICA TIEMPO VS DESPLAZAMIENTO

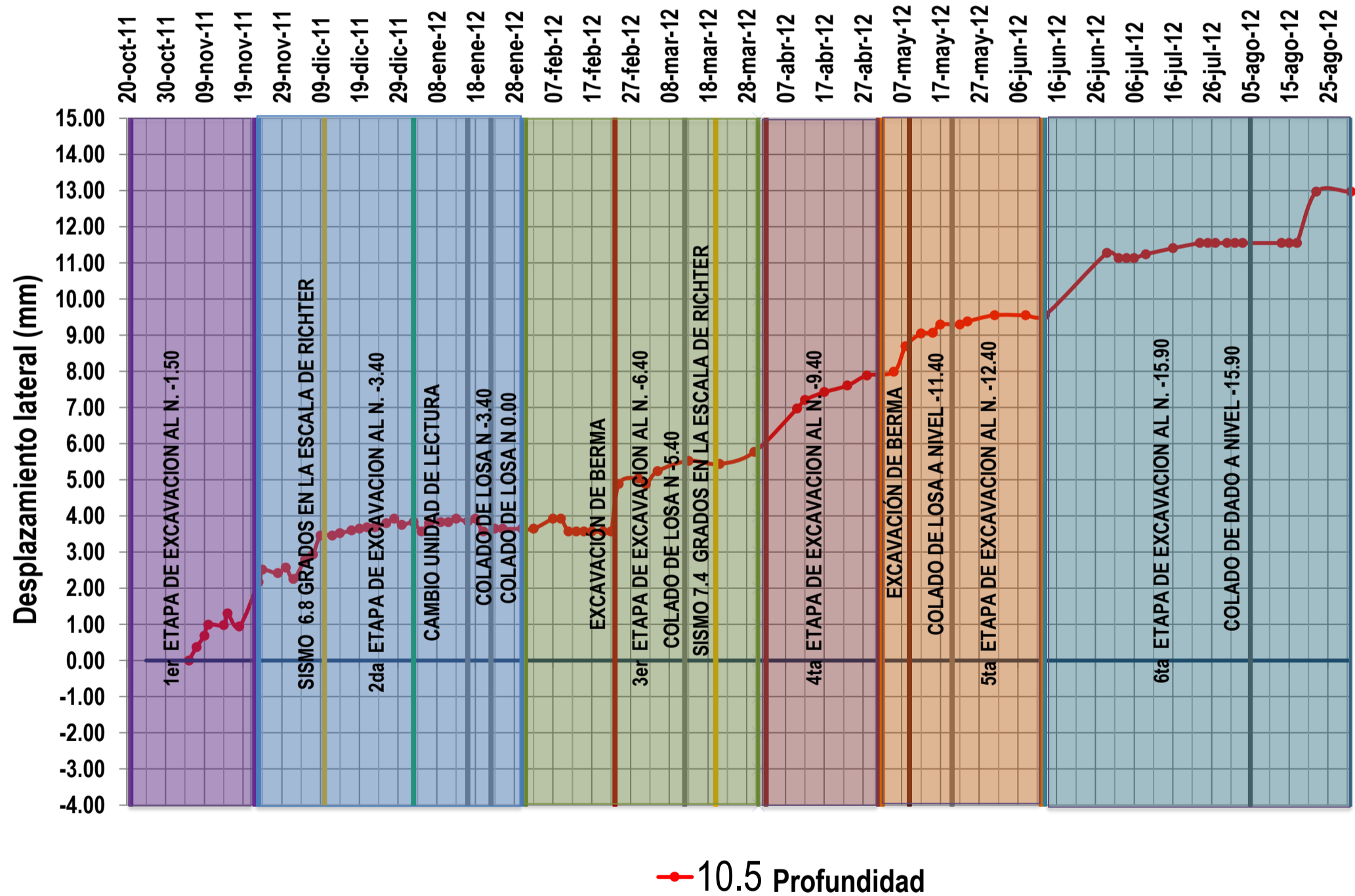
### ETAPAS CONSTRUCTIVAS Y FENOMENOS NATURALES

ACTIVIDAD	INICIO	FIN
1er Etapa de Excavación	21-oct-11	22-nov-11
2da Etapa de Excavación	23-nov-11	30-ene-12
3er Etapa de Excavación	31-ene-12	31-mar-12
4ta Etapa de Excavación	02-abr-12	01-may-12
5ta Etapa de Excavación	02-may-12	12-jun-12
6ta Etapa de Excavación	13-jun-12	31-ago-12
Excavación de Berma	23-feb-12	
Registro de Sismo	10-dic-11	
Colado losa N -3.40	16-ene-12	
Colado losa N 0.00	22-ene-12	
Colado de losa N -5.40	12-mar-12	
Cambio en la UL	02-ene-12	
Sismo 7.4° Richter	20-mar-12	
Colado Dado	05-ago-12	

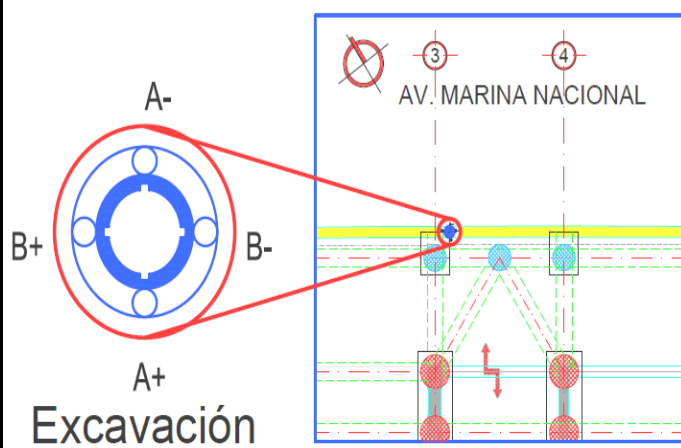
### LOCALIZACIÓN DEL INCLINÓMETRO VERTICAL



### DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL A 10.5 M DE PROFUNDIDAD



#### UBICACIÓN:



#### NOTAS:

SE REGISTRO UN SISMO DE 6.8° EN A ESCALA DE RICHTER EL 10 DE DICIEMBRE DE 2011

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

EL DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO SE PRESENTA EN LA 6ta ETAPA DE EXCAVACIÓN CON UN VALOR DE 12.96 MM A LA PROFUNDIDAD DE 10.50 M

#### MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-03

#### GRÁFICA DE INCREMENTOS DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL

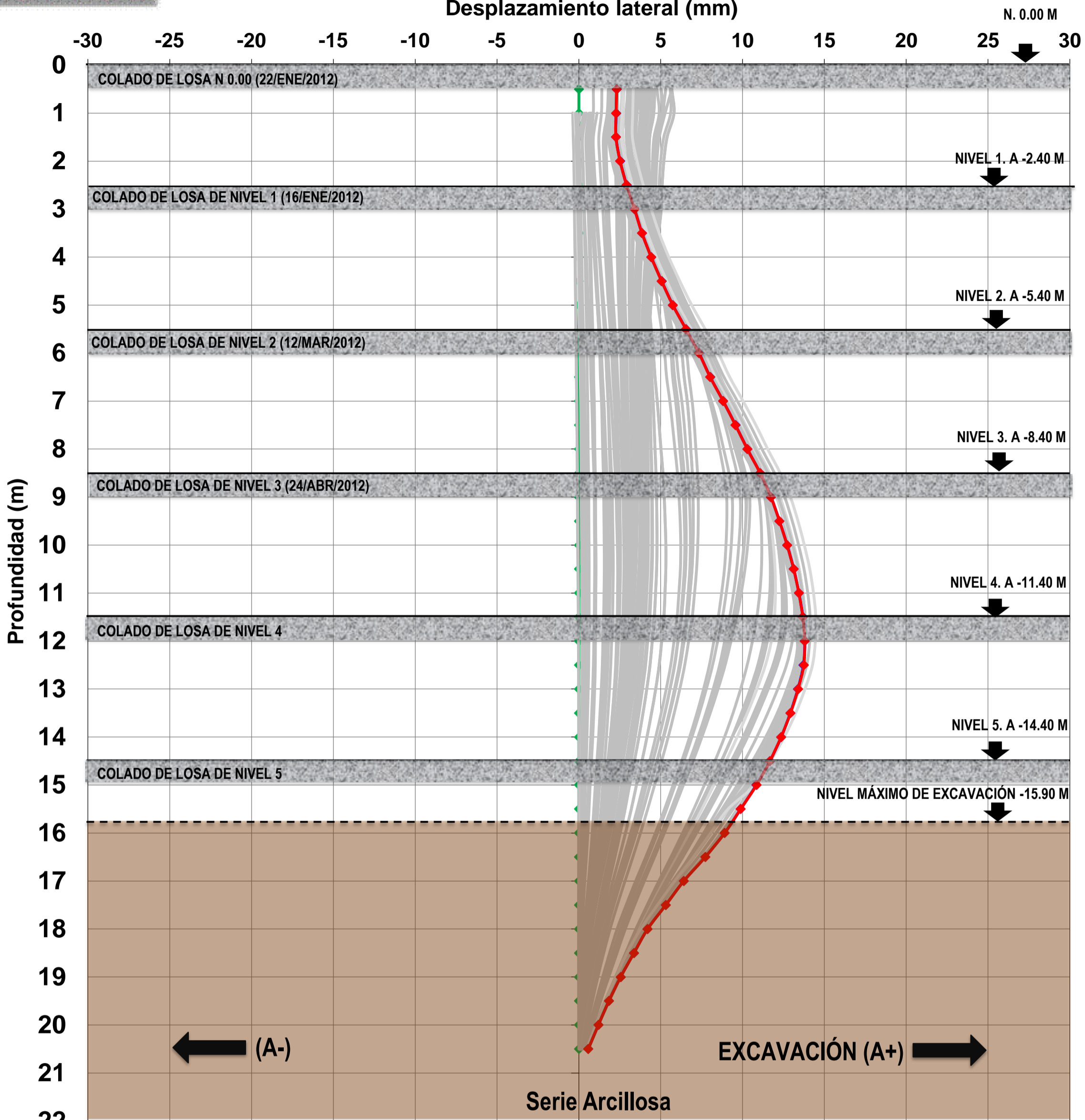
ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN:  
19-oct-11

**ANEXO A-09**

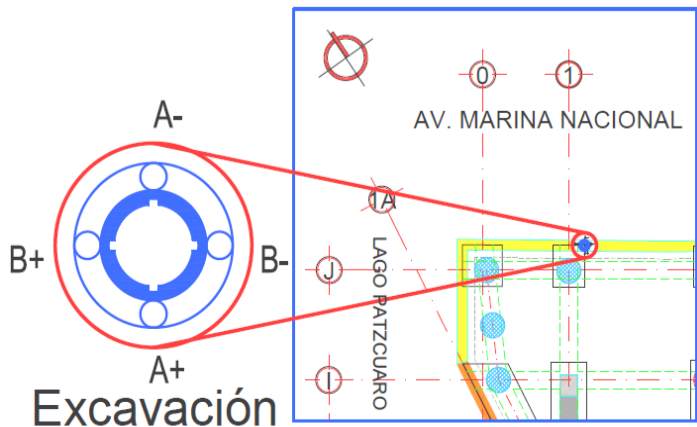
# IN-M385-04 EJE A

Desplazamiento lateral (mm)



25-oct-11	26-oct-11	29-oct-11	31-oct-11	01-nov-11	03-nov-11	05-nov-11	07-nov-11	09-nov-11	14-nov-11	15-nov-11	18-nov-11
23-nov-11	25-nov-11	28-nov-11	30-nov-11	02-dic-11	05-dic-11	07-dic-11	09-dic-11	12-dic-11	14-dic-11	17-dic-11	19-dic-11
21-dic-11	23-dic-11	26-dic-11	28-dic-11	30-dic-11	02-ene-12	04-ene-12	06-ene-12	09-ene-12	11-ene-12	13-ene-12	16-ene-12
18-ene-12	20-ene-12	23-ene-12	25-ene-12	30-ene-12	02-feb-12	07-feb-12	09-feb-12	11-feb-12	13-feb-12	15-feb-12	17-feb-12
20-feb-12	22-feb-12	24-feb-12	27-feb-12	29-feb-12	02-mar-12	05-mar-12	13-mar-12	21-mar-12	30-mar-12	12-abr-12	17-abr-12
23-abr-12	27-abr-12	05-may-12	08-may-12	12-may-12	15-may-12	17-may-12	22-may-12	24-may-12	31-may-12	08-jun-12	11-jun-12
13-jun-12	18-jun-12	20-jun-12	22-jun-12	25-jun-12	27-jun-12	29-jun-12	02-jul-12	04-jul-12	06-jul-12	09-jul-12	16-jul-12
18-jul-12	20-jul-12	25-jul-12	27-jul-12	30-jul-12	08-ago-12	13-ago-12	15-ago-12	17-ago-12	22-ago-12	29-ago-12	31-ago-12

**UBICACIÓN:**



**NOTAS:**

SE REGISTRO UN SISMO DE 6.8° EN A ESCALA DE RICHTER EL 10 DE DICIEMBRE DE 2011

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

EL 2 DE ENERO DE 2012 SE REALIZA CAMBIO DE UNIDAD DE LECTURA POR UNA AVERIA

**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-04**

DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "A"

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

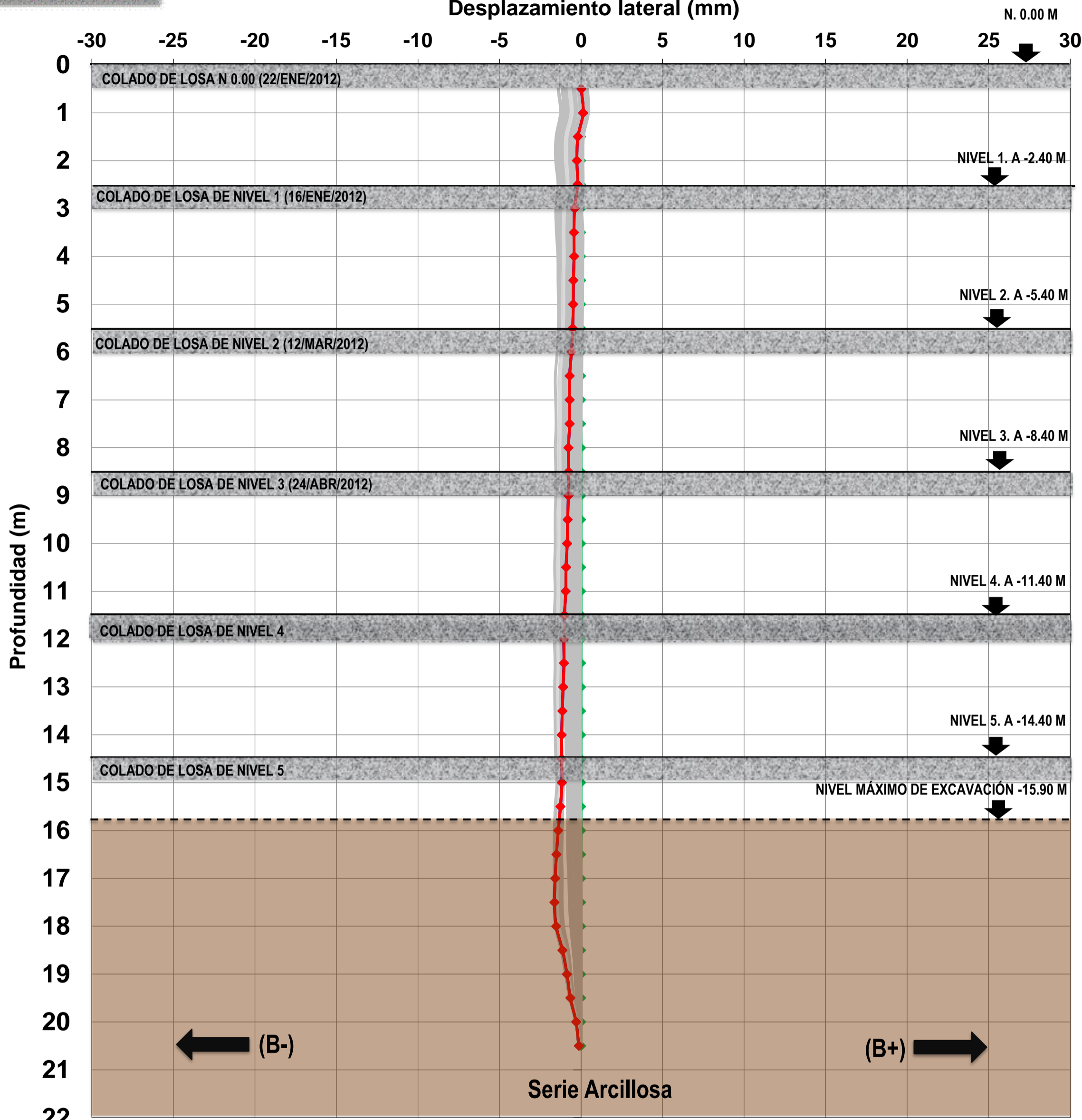
FECHA DE INSTALACIÓN:  
19-oct-11

**ANEXO A-10**

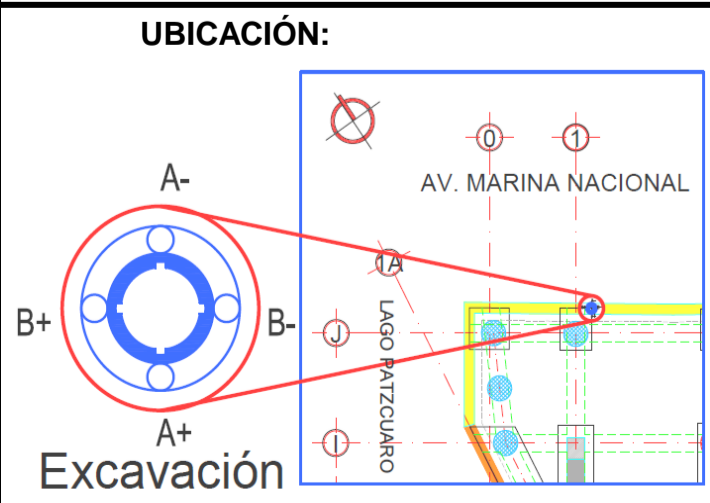


# IN-M385-04 EJE B

Desplazamiento lateral (mm)



25-oct-11	26-oct-11	29-oct-11	31-oct-11	01-nov-11	03-nov-11	05-nov-11	07-nov-11	09-nov-11	14-nov-11	15-nov-11	18-nov-11
23-nov-11	25-nov-11	28-nov-11	30-nov-11	02-dic-11	05-dic-11	07-dic-11	09-dic-11	12-dic-11	14-dic-11	17-dic-11	19-dic-11
21-dic-11	23-dic-11	26-dic-11	28-dic-11	30-dic-11	02-ene-12	04-ene-12	06-ene-12	09-ene-12	11-ene-12	13-ene-12	16-ene-12
18-ene-12	20-ene-12	23-ene-12	25-ene-12	30-ene-12	02-feb-12	07-feb-12	09-feb-12	11-feb-12	13-feb-12	15-feb-12	17-feb-12
20-feb-12	22-feb-12	24-feb-12	27-feb-12	29-feb-12	02-mar-12	05-mar-12	13-mar-12	21-mar-12	30-mar-12	12-abr-12	17-abr-12
23-abr-12	27-abr-12	05-may-12	08-may-12	12-may-12	15-may-12	17-may-12	22-may-12	24-may-12	31-may-12	08-jun-12	11-jun-12
13-jun-12	18-jun-12	20-jun-12	22-jun-12	25-jun-12	27-jun-12	29-jun-12	02-jul-12	04-jul-12	06-jul-12	09-jul-12	16-jul-12
18-jul-12	20-jul-12	25-jul-12	27-jul-12	30-jul-12	08-ago-12	13-ago-12	15-ago-12	17-ago-12	22-ago-12	29-ago-12	31-ago-12



**NOTAS:**

SE REGISTRO UN SISMO DE 6.8° EN A ESCALA DE RICHTER EL 10 DE DICIEMBRE DE 2011

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

EL 2 DE ENERO DE 2012 SE REALIZA CAMBIO DE UNIDAD DE LECTURA POR UNA AVERIA

**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-04**

**DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "B"**

ELABORÓ: HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN: 19-oct-11

**ANEXO A-11**

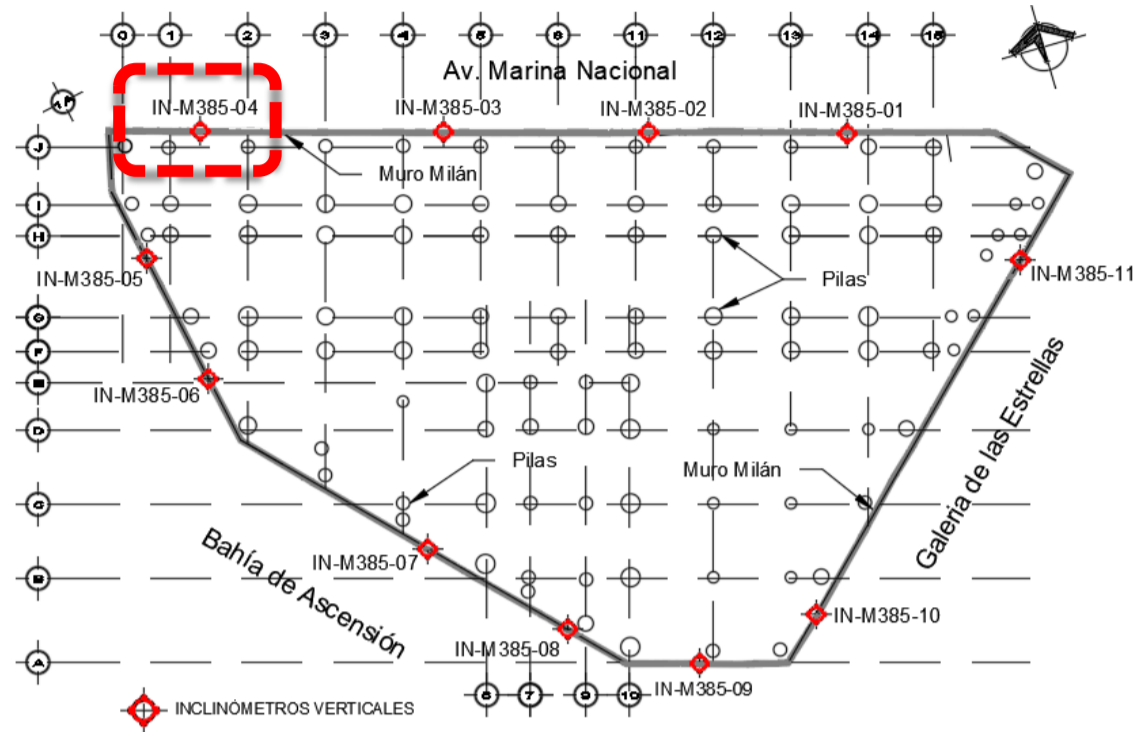


# IN-M385-04 GRÁFICA TIEMPO VS DESPLAZAMIENTO

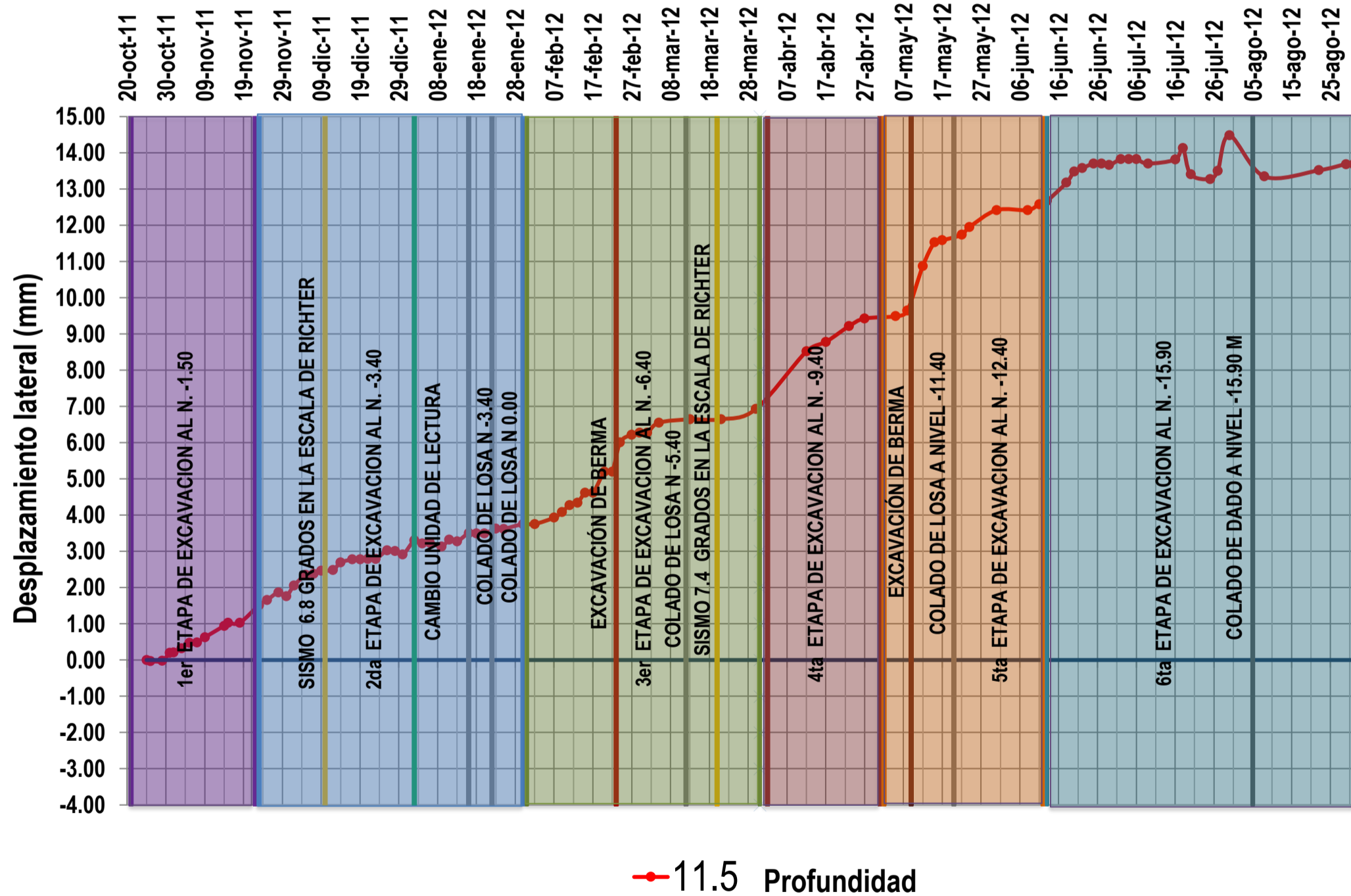
## ETAPAS CONSTRUCTIVAS Y FENOMENOS NATURALES

ACTIVIDAD	INICIO	FIN
1er Etapa de Excavación	21-oct-11	22-nov-11
2da Etapa de Excavación	23-nov-11	30-ene-12
3er Etapa de Excavación	31-ene-12	31-mar-12
4ta Etapa de Excavación	02-abr-12	01-may-12
5ta Etapa de Excavación	02-may-12	12-jun-12
6ta Etapa de Excavación	13-jun-12	31-ago-12
Excavación de Berma	23-feb-12	
Registro de Sismo	10-dic-11	
Colado losa N -3.40	16-ene-12	
Colado losa N 0.00	22-ene-12	
Colado de losa N -5.40	12-mar-12	
Cambio en la UL	02-ene-12	
Sismo 7.4° Richter	20-mar-12	
Colado Dado	05-ago-12	

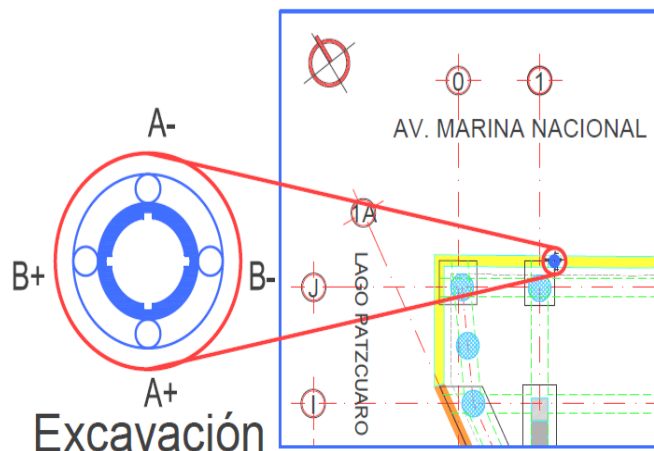
## LOCALIZACIÓN DEL INCLINÓMETRO VERTICAL



## DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL A 11.5 M DE PROFUNDIDAD



### UBICACIÓN:



### NOTAS:

SE REGISTRO UN SISMO DE 6.8° EN A ESCALA DE RICHTER EL 10 DE DICIEMBRE DE 2011

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

EL DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO SE PRESENTA EN LA 6ta ETAPA DE EXCAVACIÓN CON UN VALOR DE 14.48 MM A LA PROFUNDIDAD DE 11.50 M

### MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-04

### GRÁFICA DE INCREMENTOS DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL

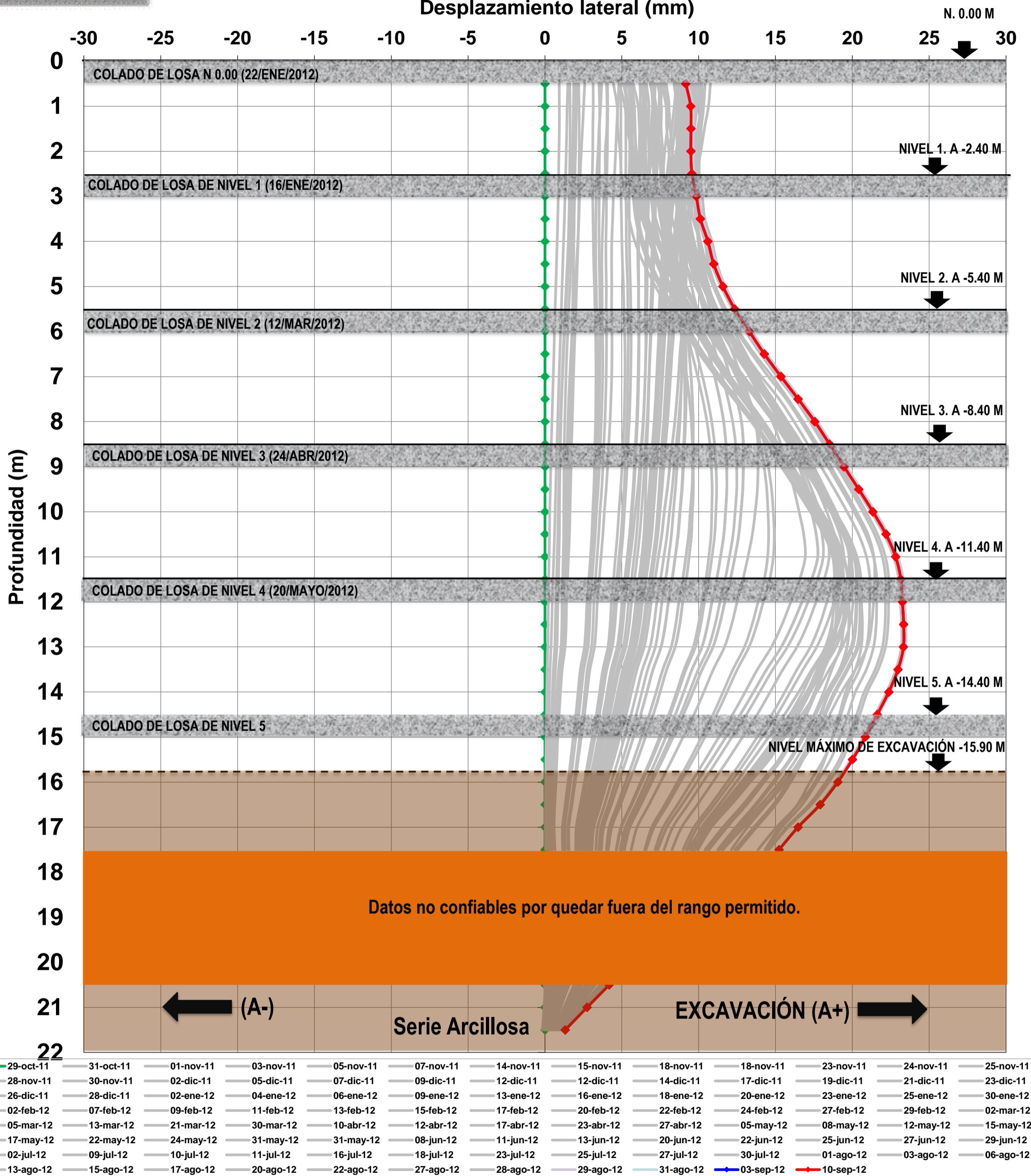
ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN:  
19-oct-11

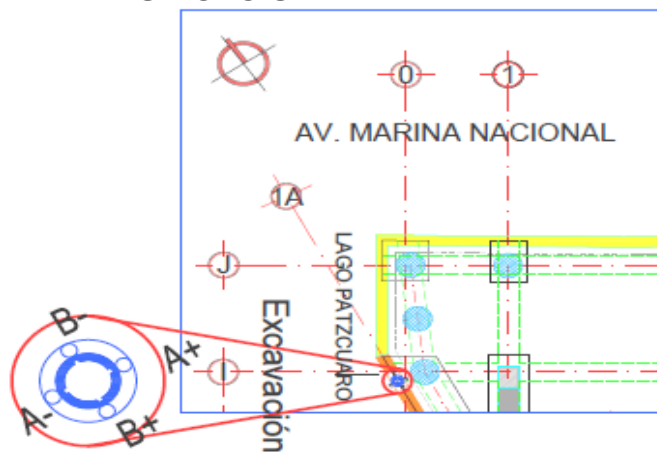
**ANEXO A-12**

# IN-M385-05 EJE A

Desplazamiento lateral (mm)



**UBICACIÓN:**



**NOTAS:**

SE REGISTRO UN SISMO DE 6.8° EN A ESCALA DE RICHTER EL 10 DE DICIEMBRE DE 2011

EL 2 DE ENERO DE 2012 SE REALIZA CAMBIO DE UNIDAD DE LECTURA POR UNA AVERIA

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

SE REALIZÓ LA IV ETAPA DE EXCAVACIÓN AL NIVEL -9.40 M EL 2 DE ABRIL DE 2012

**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-05**

**DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "A"**

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

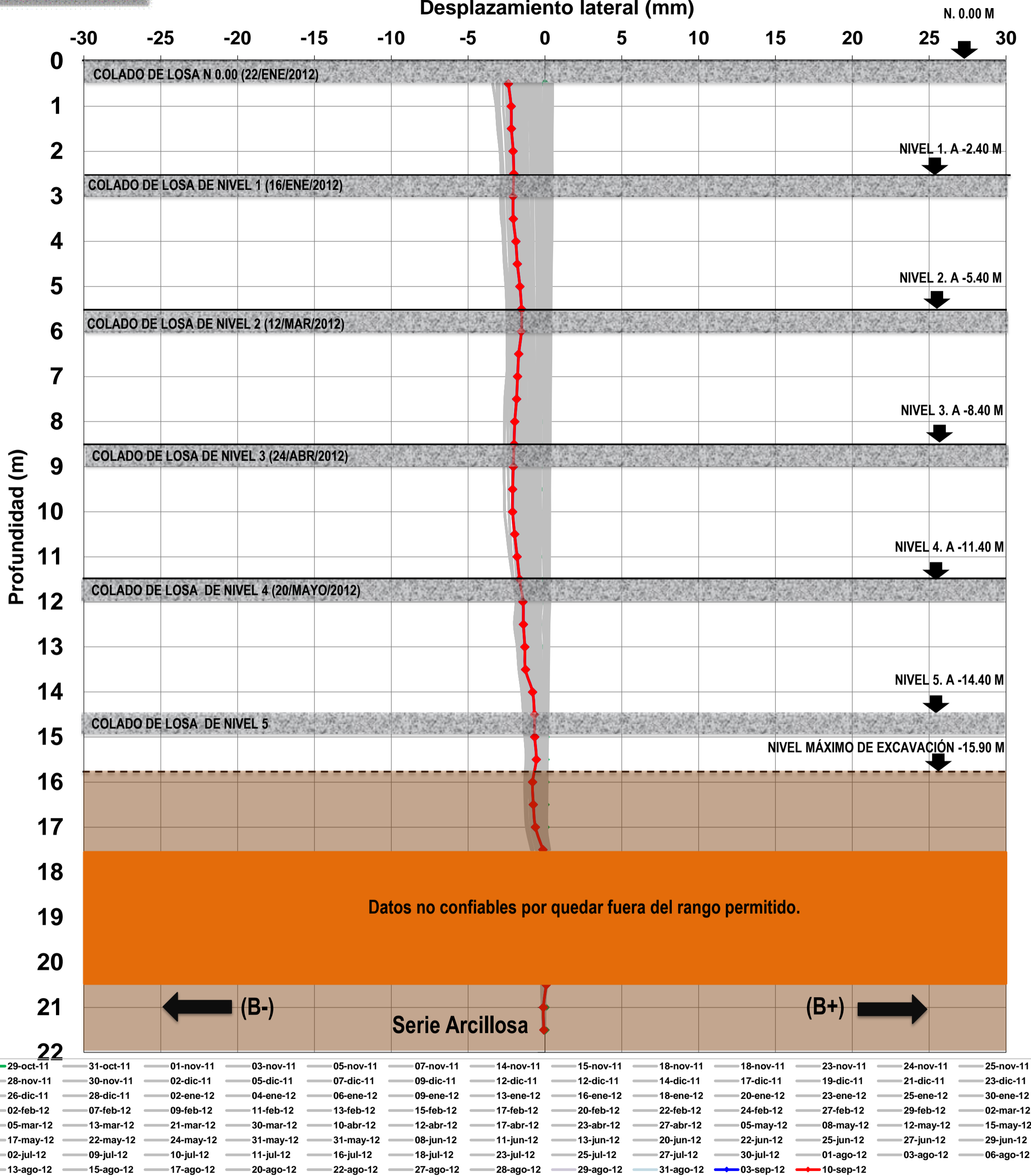
FECHA DE INSTALACIÓN:  
19-oct-11

**ANEXO A-13**



# IN-M385-05 EJE B

Desplazamiento lateral (mm)



29-oct-11	31-oct-11	01-nov-11	03-nov-11	05-nov-11	07-nov-11	14-nov-11	15-nov-11	18-nov-11	18-nov-11	23-nov-11	24-nov-11	25-nov-11
28-nov-11	30-nov-11	02-dic-11	05-dic-11	07-dic-11	09-dic-11	12-dic-11	12-dic-11	14-dic-11	17-dic-11	19-dic-11	21-dic-11	23-dic-11
26-dic-11	28-dic-11	02-ene-12	04-ene-12	06-ene-12	09-ene-12	13-ene-12	16-ene-12	18-ene-12	20-ene-12	23-ene-12	25-ene-12	30-ene-12
02-feb-12	07-feb-12	09-feb-12	11-feb-12	13-feb-12	15-feb-12	17-feb-12	20-feb-12	22-feb-12	24-feb-12	27-feb-12	29-feb-12	02-mar-12
05-mar-12	13-mar-12	21-mar-12	30-mar-12	10-abr-12	12-abr-12	17-abr-12	23-abr-12	27-abr-12	05-may-12	08-may-12	12-may-12	15-may-12
17-may-12	22-may-12	24-may-12	31-may-12	31-may-12	08-jun-12	11-jun-12	13-jun-12	20-jun-12	22-jun-12	25-jun-12	27-jun-12	29-jun-12
02-jul-12	09-jul-12	10-jul-12	11-jul-12	16-jul-12	18-jul-12	23-jul-12	25-jul-12	27-jul-12	30-jul-12	01-ago-12	03-ago-12	06-ago-12
13-ago-12	15-ago-12	17-ago-12	20-ago-12	22-ago-12	27-ago-12	28-ago-12	29-ago-12	31-ago-12	03-sep-12	10-sep-12		

**UBICACIÓN:**



**NOTAS:**

SE REGISTRO UN SISMO DE 6.8° EN A ESCALA DE RICHTER EL 10 DE DICIEMBRE DE 2011

EL 2 DE ENERO DE 2012 SE REALIZA CAMBIO DE UNIDAD DE LECTURA POR UNA AVERIA

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

SE REALIZÓ LA IV ETAPA DE EXCAVACIÓN AL NIVEL -9.40 M EL 2 DE ABRIL DE 2012

**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-05**

**DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "B"**

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN:  
19-oct-11

**ANEXO A-14**

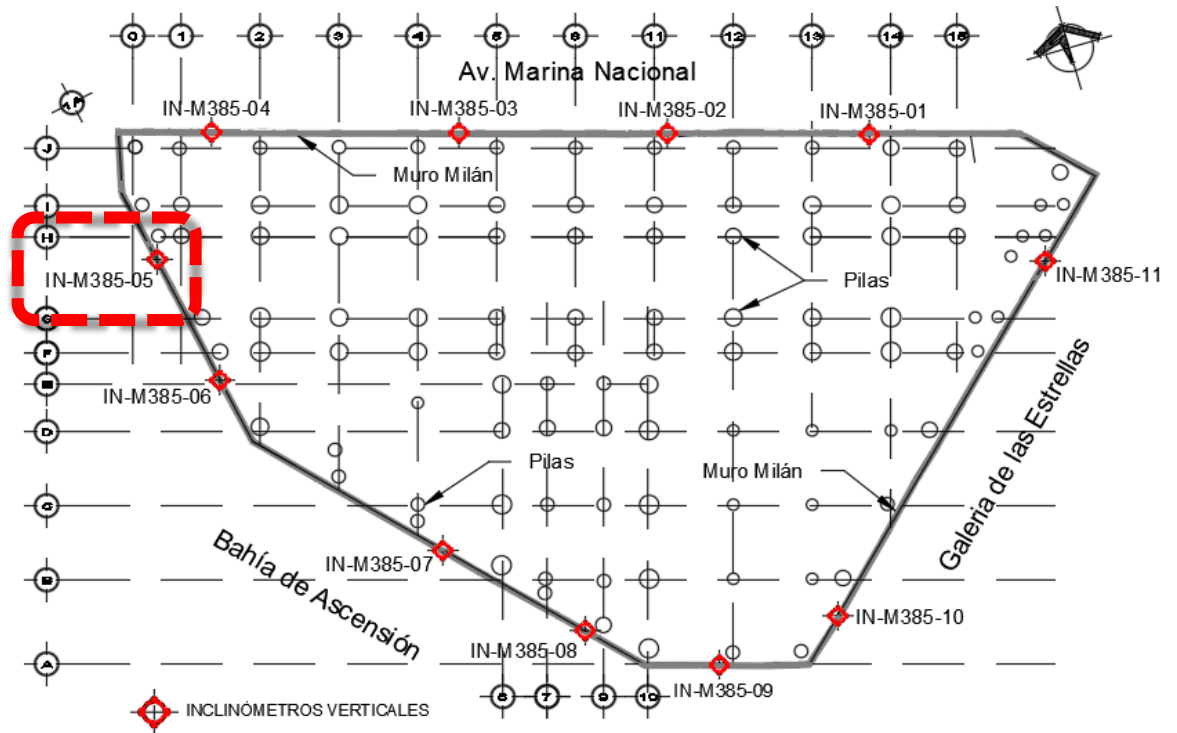


# IN-M385-05 GRÁFICA TIEMPO VS DESPLAZAMIENTO

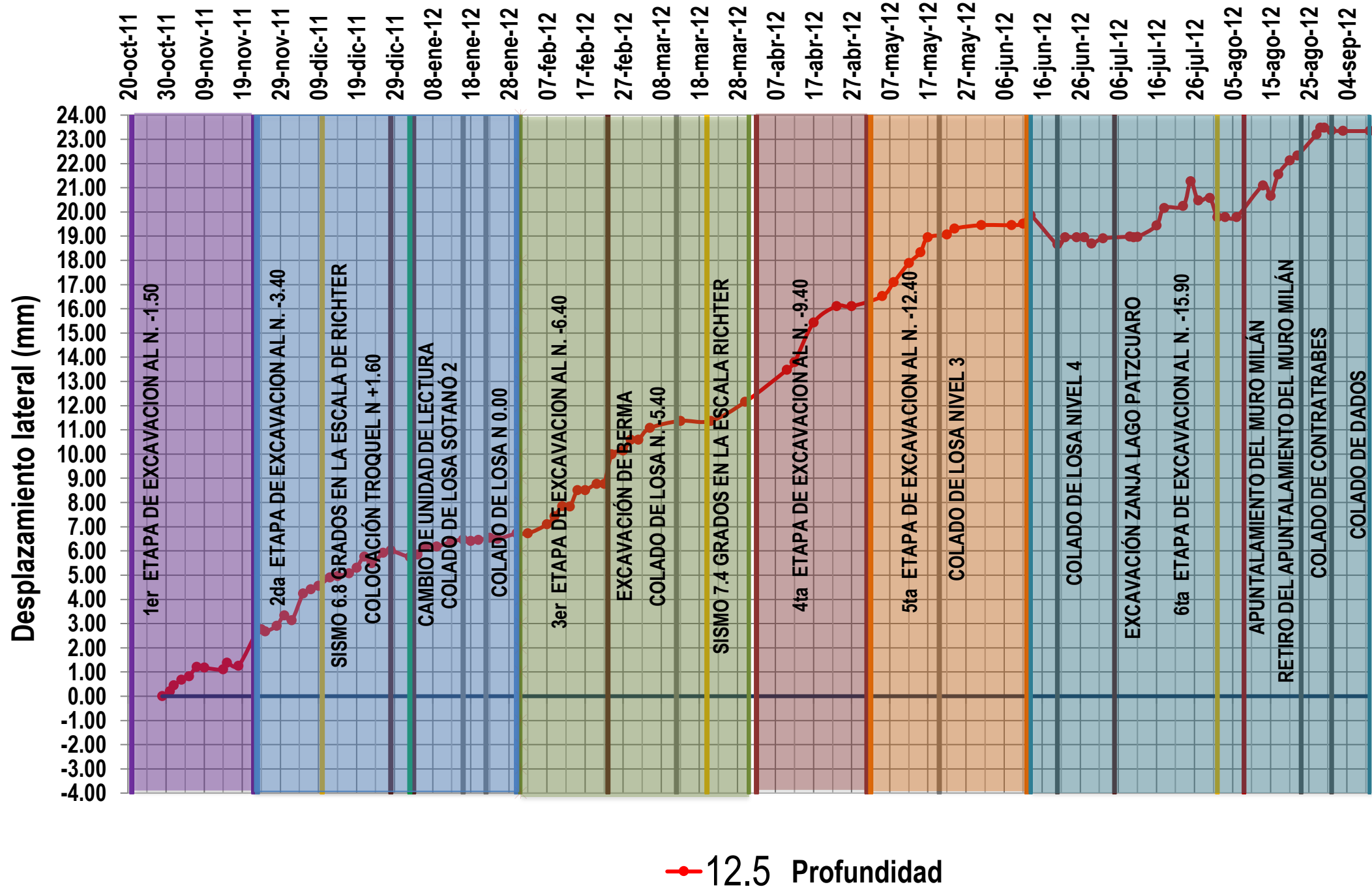
## ETAPAS CONSTRUCTIVAS Y FENOMENOS NATURALES

ACTIVIDAD	INICIO	FIN
1er Etapa de Excavación	21-oct-11	22-nov-11
2da Etapa de Excavación	23-nov-11	30-ene-12
3er Etapa de Excavación	31-ene-12	31-mar-12
4ta Etapa de Excavación	02-abr-12	01-may-12
5ta Etapa de Excavación	02-may-12	12-jun-12
6ta Etapa de Excavación	13-jun-12	10-sep-12
Excavación de Berma	19-feb-12	
Registro de Sismo	10-dic-11	
Colado de Losa N -3.40	16-ene-12	
Colado de Losa N 0.00	22-ene-12	
Colado de Losa N -5.40	12-mar-12	
Colado de Losa N -11.40	20-jul-12	
Colocación Troquel	29-dic-11	
Cambio de UL	02-ene-12	
Sismo 7.8 grados	20-mar-12	
Excavación Zanja	05-jul-12	
Apuntalamiento	01-ago-12	
Retiro Apuntalamiento	08-ago-12	
Colado de Contratraves	22-ago-12	
Colado de Dados	31-ago-12	

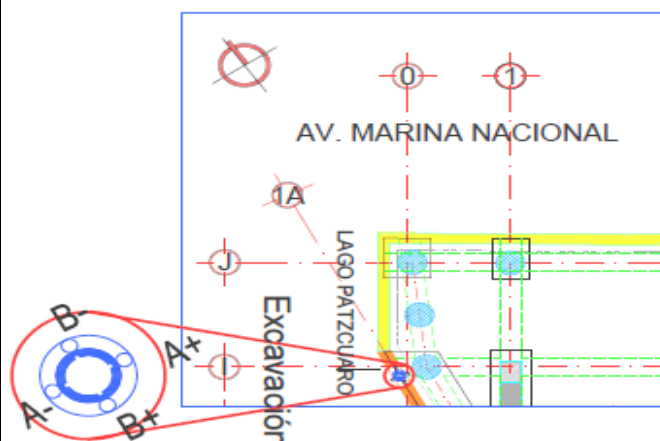
## LOCALIZACIÓN DEL INCLINÓMETRO VERTICAL



## DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL A 12.5 M DE PROFUNDIDAD



### UBICACIÓN:



### NOTAS:

SE REGISTRO UN SISMO DE 6.8° EN A ESCALA DE RICHTER EL 10 DE DICIEMBRE DE 2011

EL 2 DE ENERO DE 2012 SE REALIZA CAMBIO DE UNIDAD DE LECTURA POR UNA AVERIA

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

EL DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO SE PRESENTA EN LA 6ta ETAPA DE EXCAVACIÓN CON UN VALOR DE 23.47 MM A LA PROFUNDIDAD DE 12.5 M

### MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-05

### GRAFICA DE INCREMENTOS DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

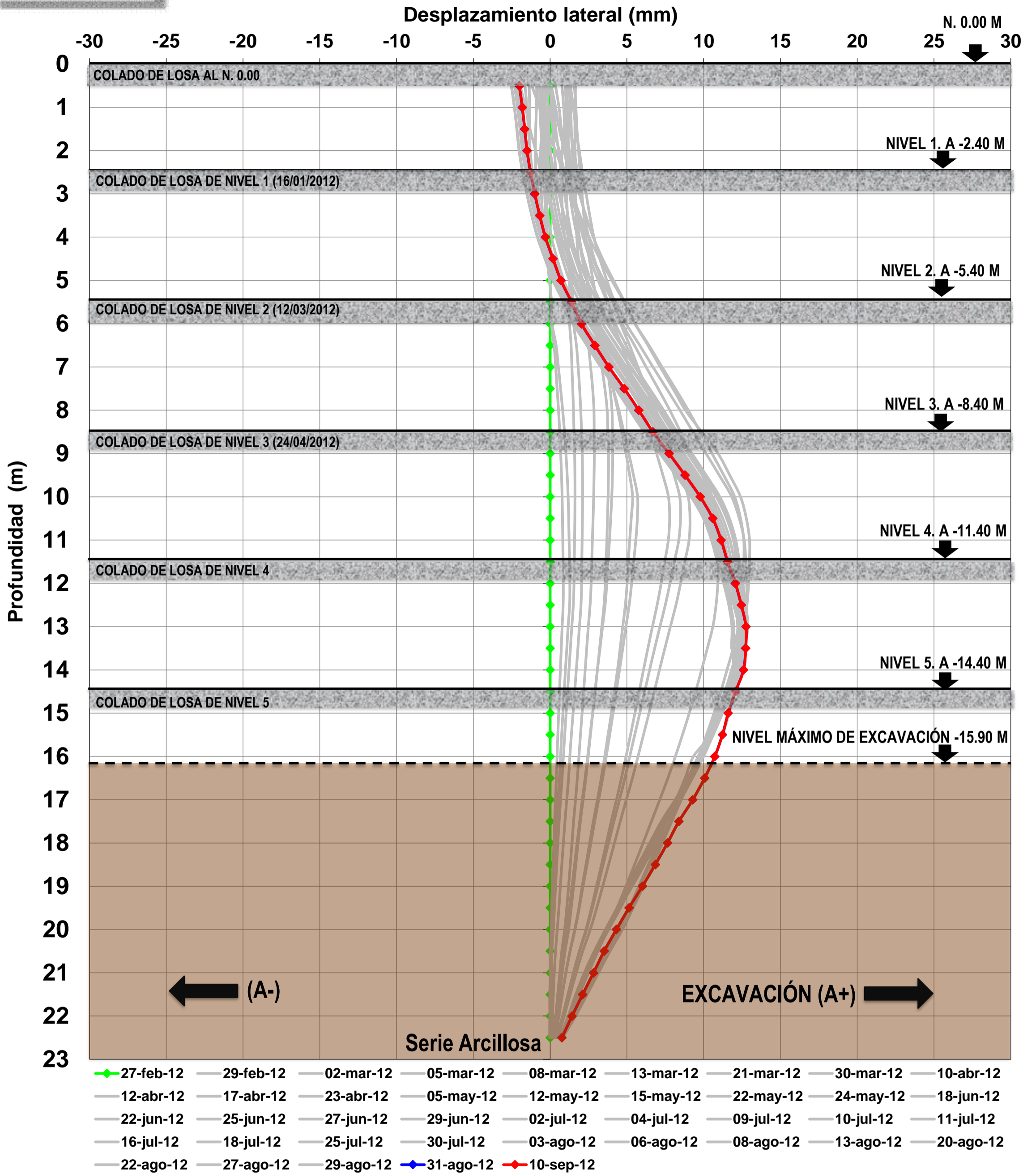
FECHA DE INSTALACIÓN:  
19-oct-11

**ANEXO A-15**

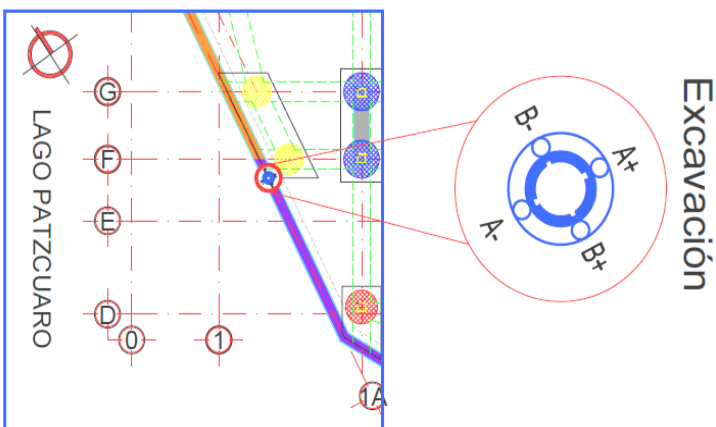




# IN-M385-06 EJE A



**UBICACIÓN:**



**NOTAS:**

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

SE REALIZÓ LA IV ETAPA DE EXCAVACIÓN AL NIVEL -9.40 M EL 02 DE ABRIL DE 2012

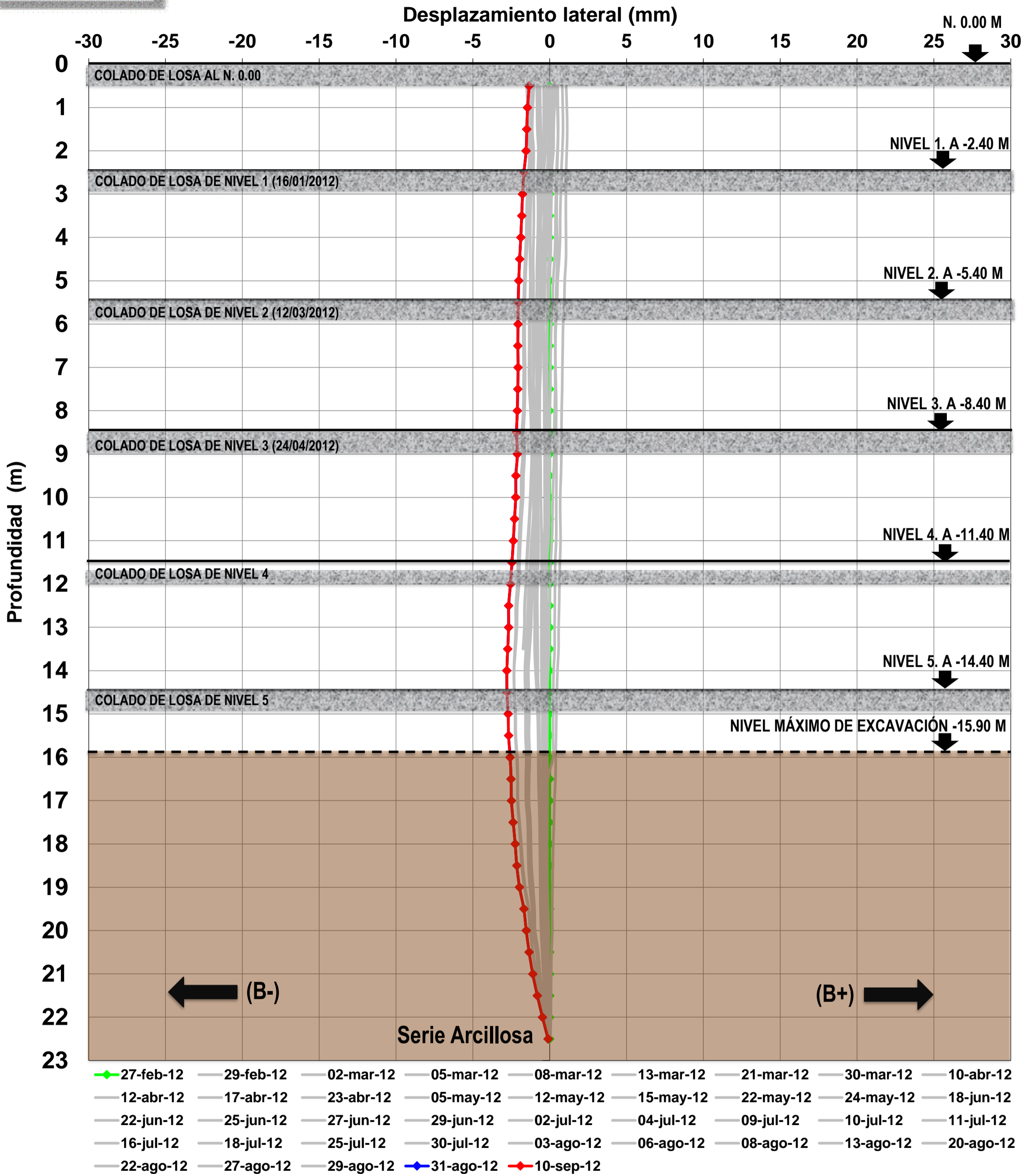
**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-06**

DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "A"

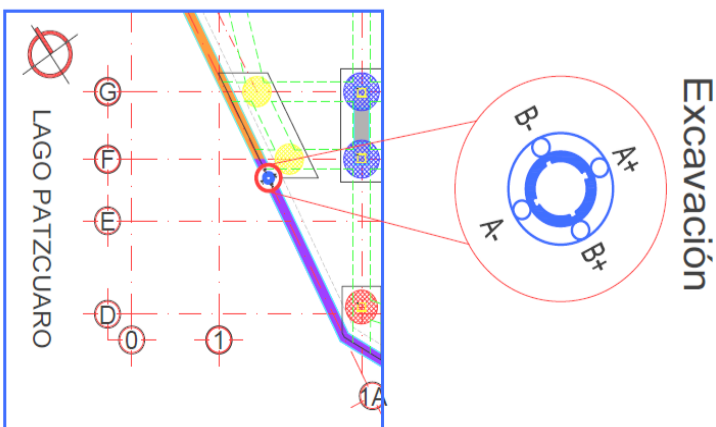
ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN:  
24-feb-12

# IN-M385-06 EJE B



**UBICACIÓN:**



**NOTAS:**

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

SE REALIZÓ LA IV ETAPA DE EXCAVACIÓN AL NIVEL -9.40 M EL 02 DE ABRIL DE 2012

**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-06**

DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "B"

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN:  
24-feb-12

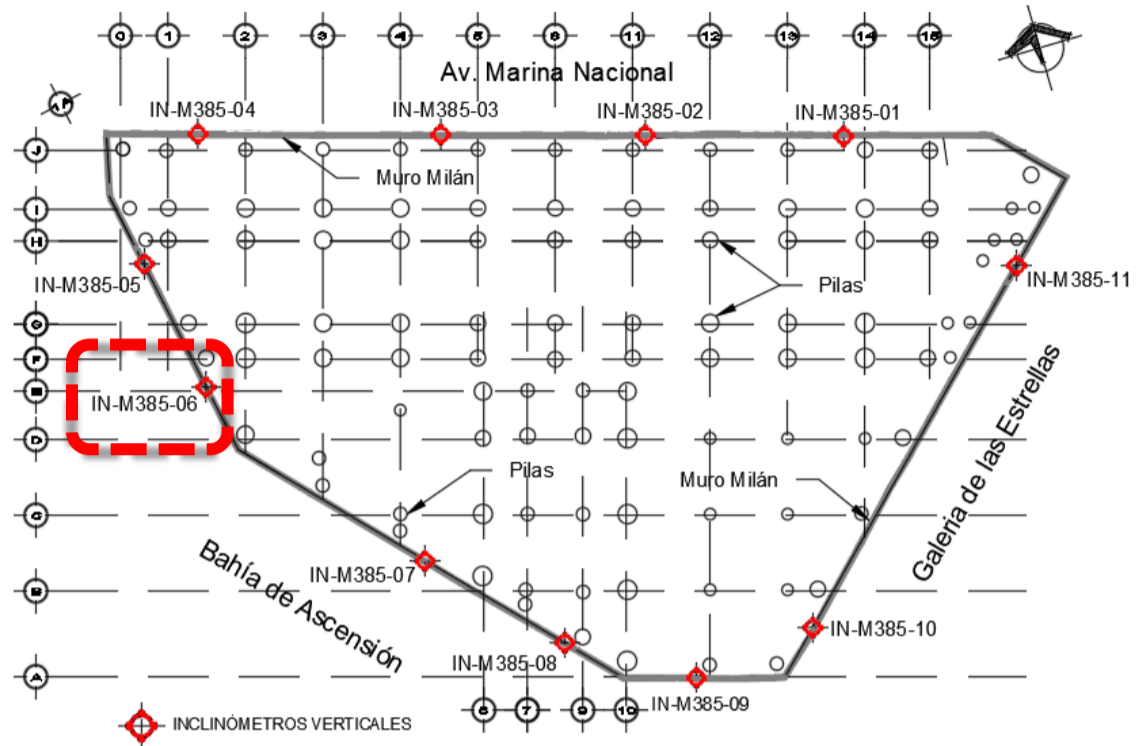


# IN-M385-06 GRÁFICA TIEMPO VS DESPLAZAMIENTO

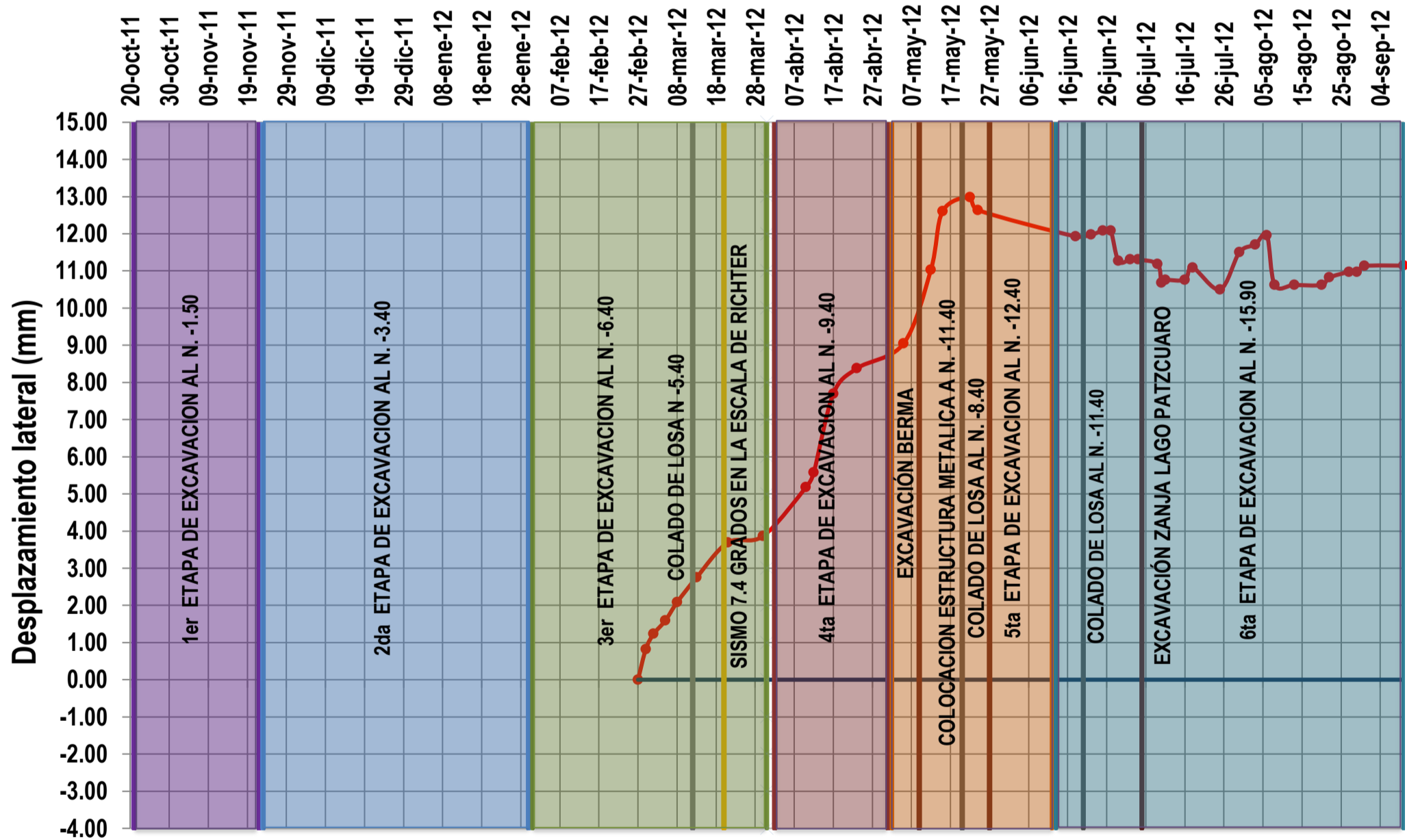
## ETAPAS CONSTRUCTIVAS Y FENOMENOS NATURALES

ACTIVIDAD	INICIO	FIN
1er Etapa de Excavación	21-oct-11	22-nov-11
2da Etapa de Excavación	23-nov-11	30-ene-12
3er Etapa de Excavación	31-ene-12	31-mar-12
4ta Etapa de Excavación	2-abr-12	1-may-12
5ta Etapa de Excavación	2-may-12	12-jun-12
6ta Etapa de Excavación	13-jun-12	10-sep-12
Excavación Berma	9-may-12	
Colado de Losa N -5.40	12-mar-12	
Colado de Losa N -11.40	20-jun-12	
Sismo 7.4° Richter	20-mar-12	
Excavación Zanja	5-ago-12	

## LOCALIZACIÓN DEL INCLINÓMETRO VERTICAL

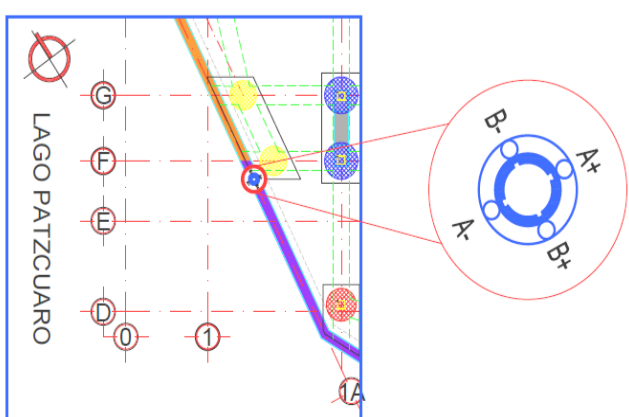


## DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL A 11.0 M DE PROFUNDIDAD



—●— 11.0 Profundidad

### UBICACIÓN:



### NOTAS:

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

EL DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO SE PRESENTA EN LA 5ta ETAPA DE EXCAVACION CON UN VALOR DE 12.99 MM A LA PROFUNDIDAD DE 11.0 M

### MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-06

### GRAFICA DE INCREMENTOS DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

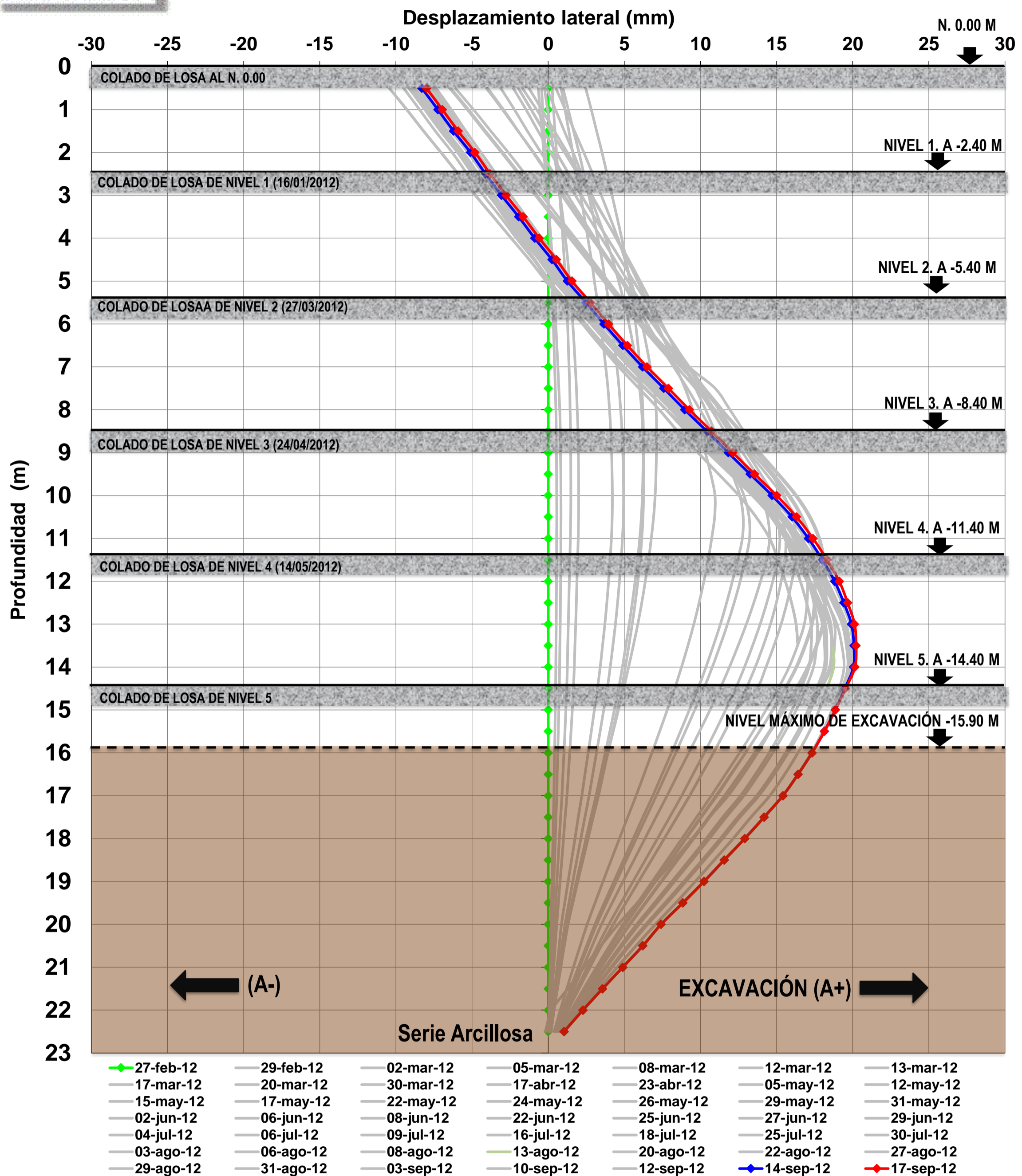
FECHA DE INSTALACIÓN:  
24-feb-12

**ANEXO A-18**

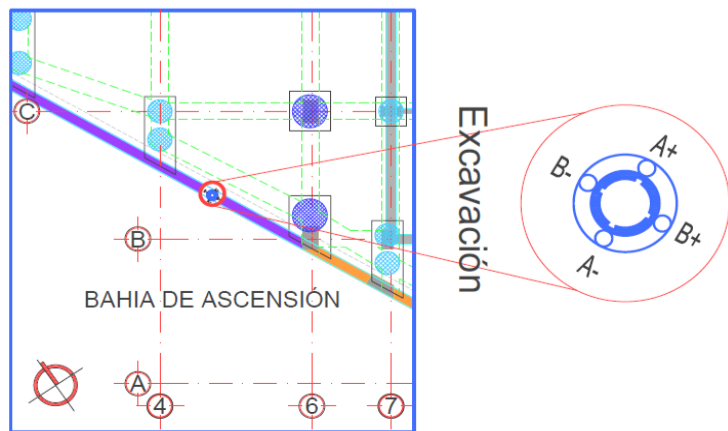




# IN-M385-07 EJE A



**UBICACIÓN:**



**NOTAS:**

SE EXCAVÓ LA BERMA QUE SE ENCONTRABA ENTRE LOS EJES 5-9 COTAS A-B EL 12 DE MARZO DE 2012

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

SE REALIZÓ LA IV ETAPA DE EXCAVACIÓN AL NIVEL -9.40 M EL 12 DE ABRIL DE 2012

**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-07**

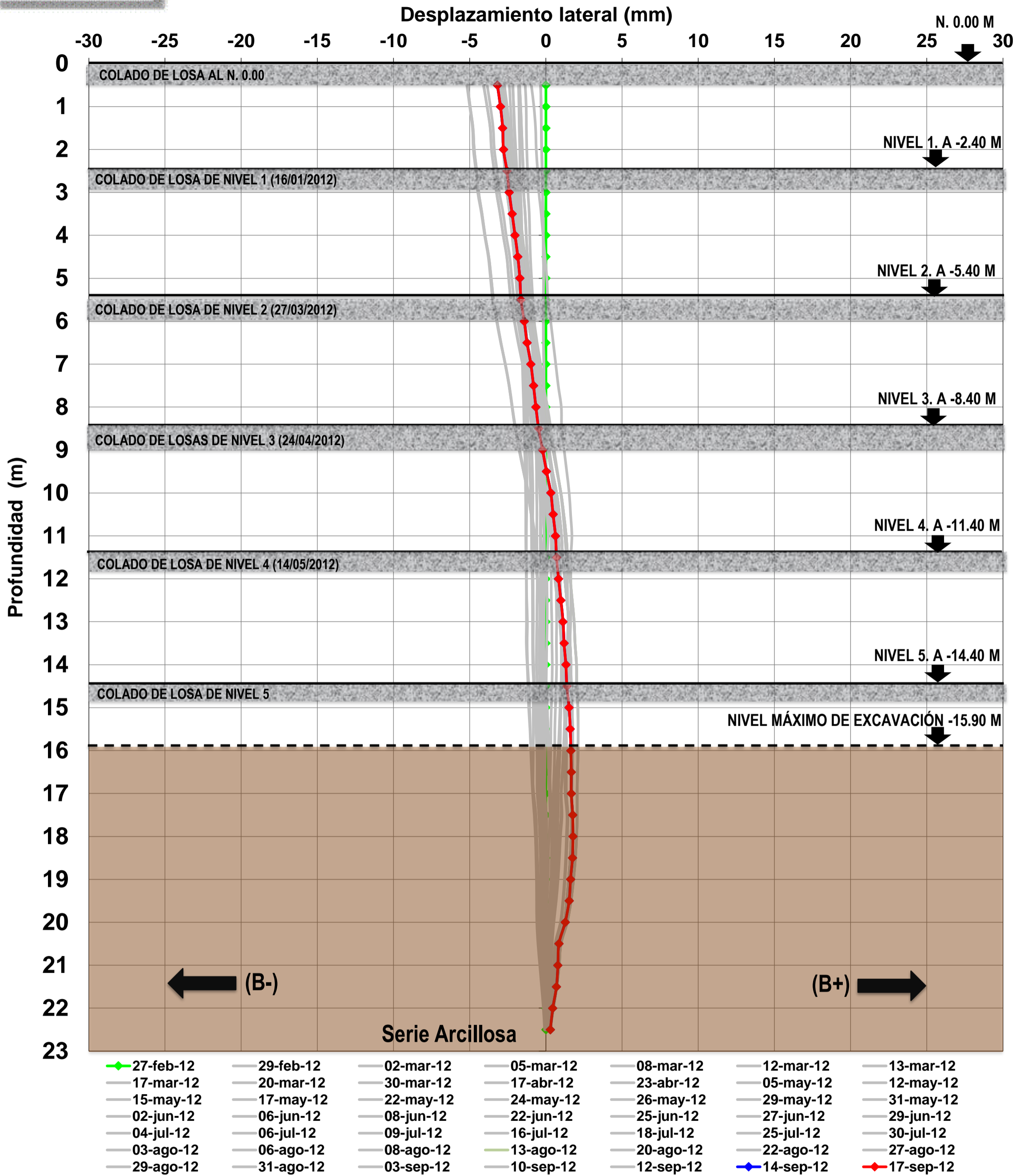
DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "A"

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

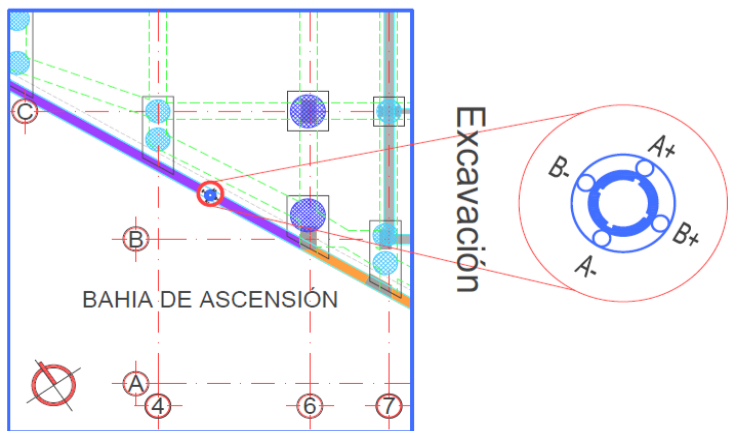
FECHA DE INSTALACIÓN:  
24-feb-12



# IN-M385-07 EJE B



**UBICACIÓN:**



**NOTAS:**

SE EXCAVÓ LA BERMA QUE SE ENCONTRABA ENTRE LOS EJES 5-9 COTAS A-B EL 12 DE MARZO DE 2012

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

SE REALIZÓ LA IV ETAPA DE EXCAVACIÓN AL NIVEL -9.40 M EL 12 DE ABRIL DE 2012

**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-07**

DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "B"

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN:  
24-feb-12

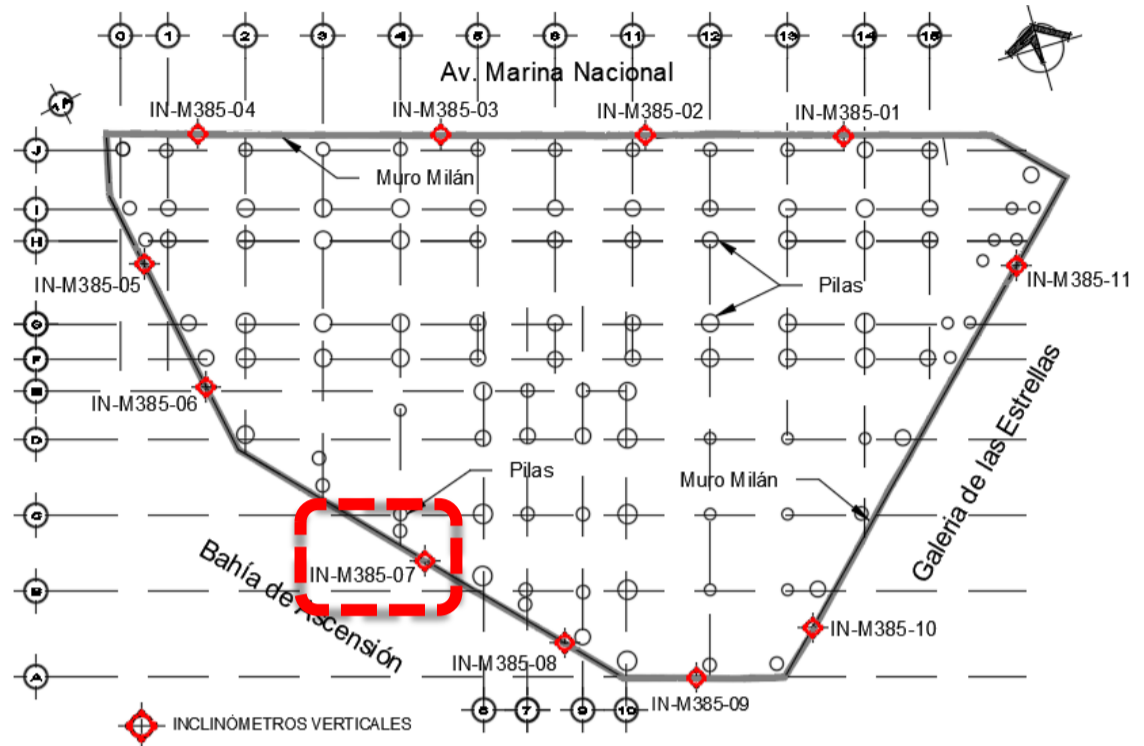


# IN-M385-07 GRÁFICA TIEMPO VS DESPLAZAMIENTO

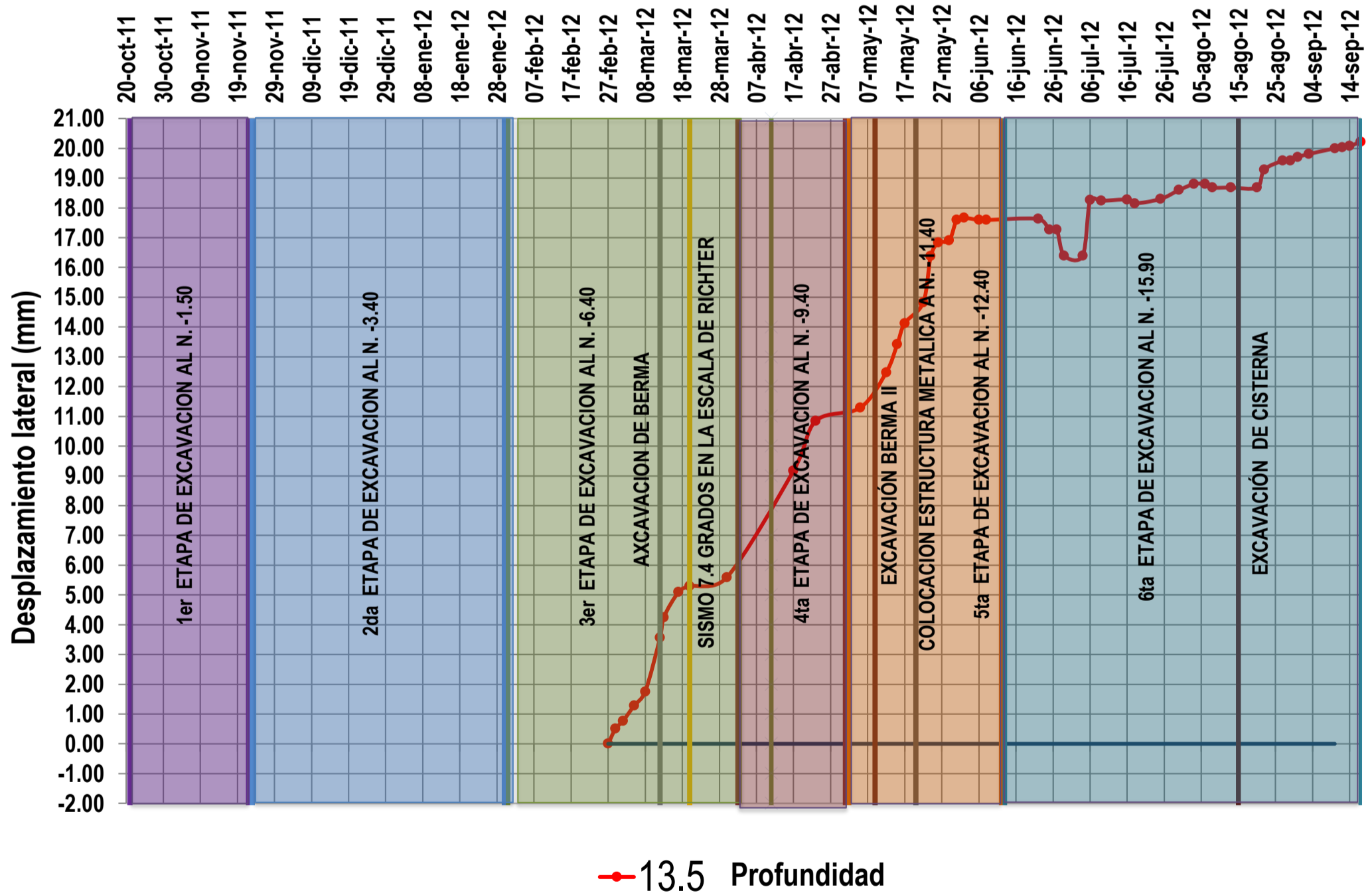
## ETAPAS CONSTRUCTIVAS Y FENOMENOS NATURALES

ACTIVIDAD	INICIO	FIN
1er Etapa de Excavación	21-oct-11	22-nov-11
2da Etapa de Excavación	23-nov-11	30-ene-12
3er Etapa de Excavación	31-ene-12	11-abr-12
4ta Etapa de Excavación	13-abr-12	1-may-12
5ta Etapa de Excavación	2-may-12	12-jun-12
6ta Etapa de Excavación	12-jun-12	17-sep-12
Excavación Berma	12-mar-12	
Excavación Berma II	9-may-12	
Colocación de estructura	24-may-12	
Sismo 7.4° Richter	20-mar-12	
Excavación cisterna	15-ago-12	

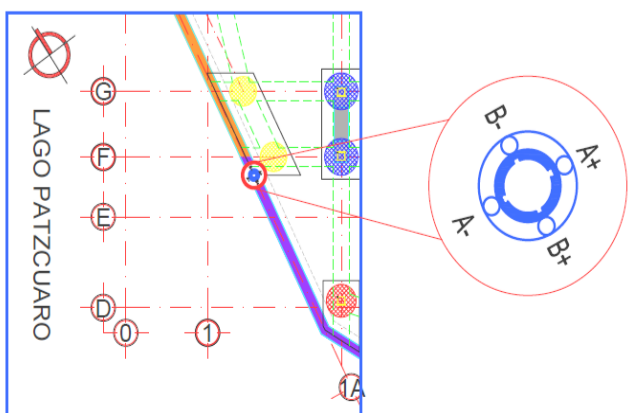
## LOCALIZACIÓN DEL INCLINÓMETRO VERTICAL



## DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL A 13.5 M DE PROFUNDIDAD



### UBICACIÓN:



### NOTAS:

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

EL DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO SE PRESENTA EN LA 6ta ETAPA DE EXCAVACION CON UN VALOR DE 20.22 MM A LA PROFUNDIDAD DE 13.5 M

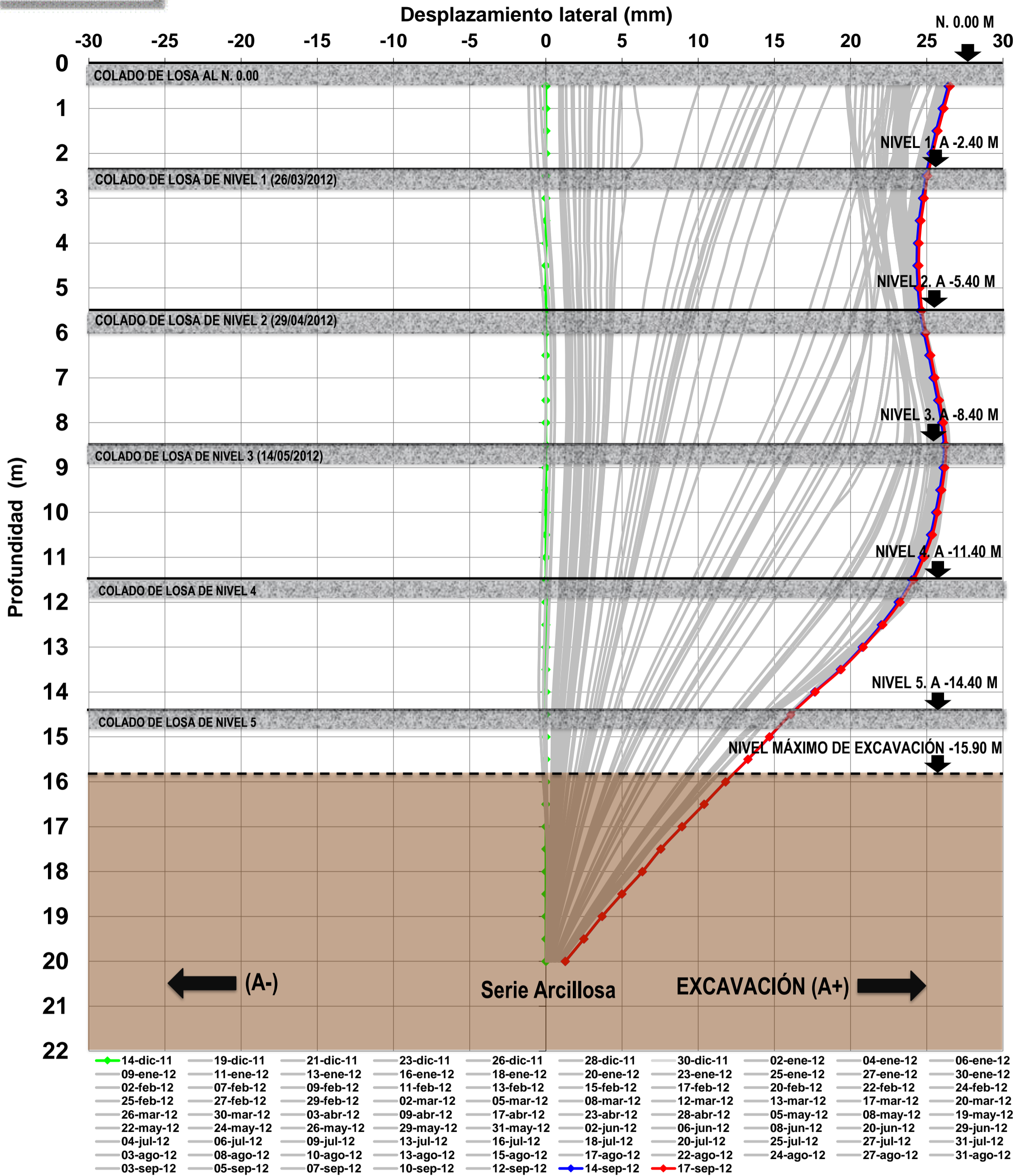
### MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-07

### GRAFICA DE INCREMENTOS DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL

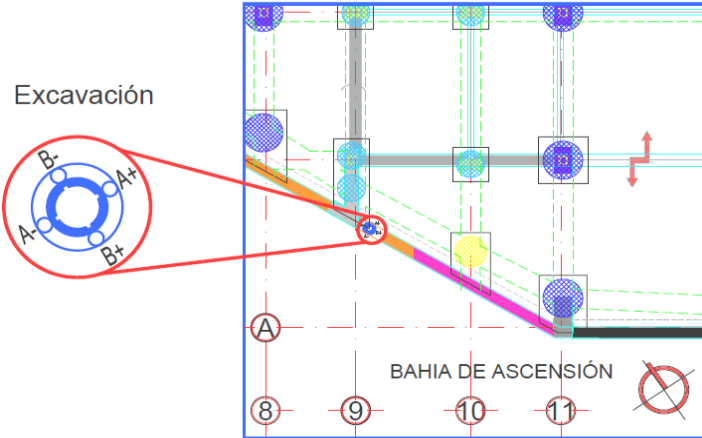
ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN:  
24-feb-12

# IN-M385-08 EJE A



**UBICACIÓN:**



**NOTAS:**

EL 2 DE ENERO DE 2012 SE REALIZA CAMBIO DE UNIDAD DE LECTURA POR UNA AVERIA

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

SE EXCAVO LA BERMA QUE SE ENCONTRABA ENTRE LOS EJES 5-9 COTAS A-B EL 12 DE MARZO DE 2012

**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-08**

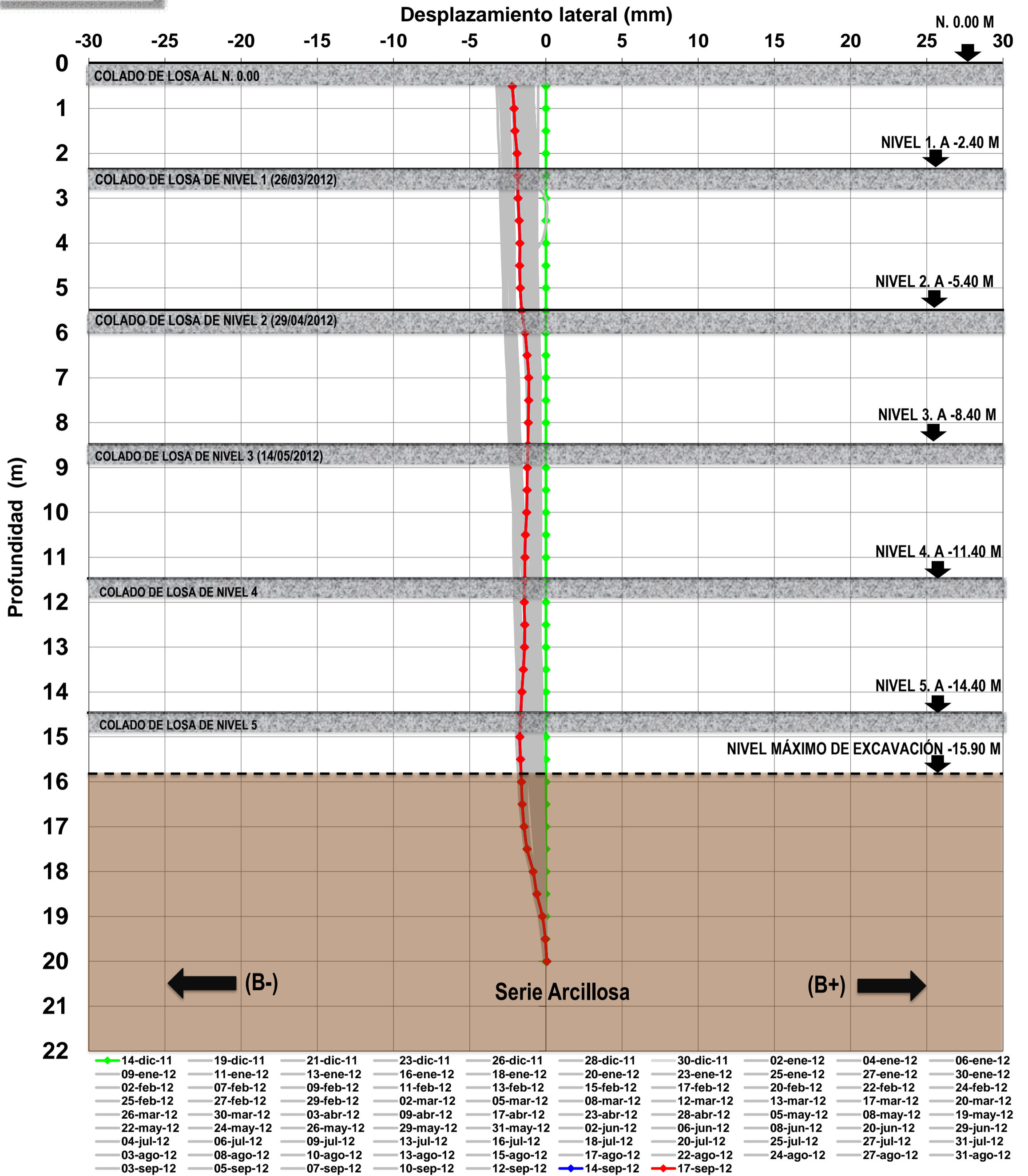
DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "A"

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

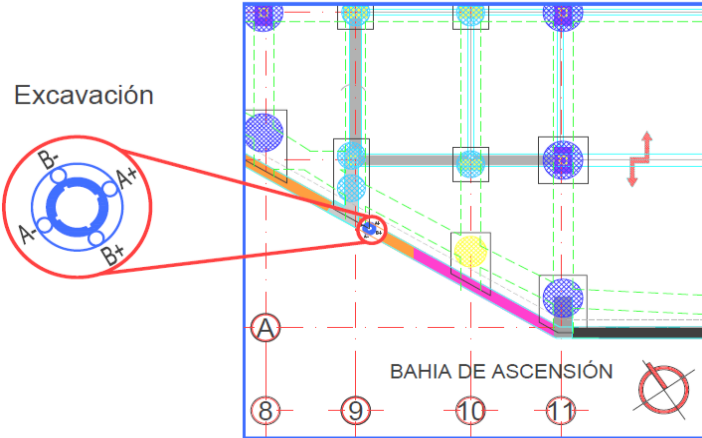
FECHA DE INSTALACIÓN:  
12-dic-11



# IN-M385-08 EJE B



**UBICACIÓN:**



**NOTAS:**

EL 2 DE ENERO DE 2012 SE REALIZA CAMBIO DE UNIDAD DE LECTURA POR UNA AVERIA

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

SE EXCAVO LA BERMA QUE SE ENCONTRABA ENTRE LOS EJES 5-9 COTAS A-B EL 12 DE MARZO DE 2012

**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-08**

**DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "B"**

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN:  
12-dic-11

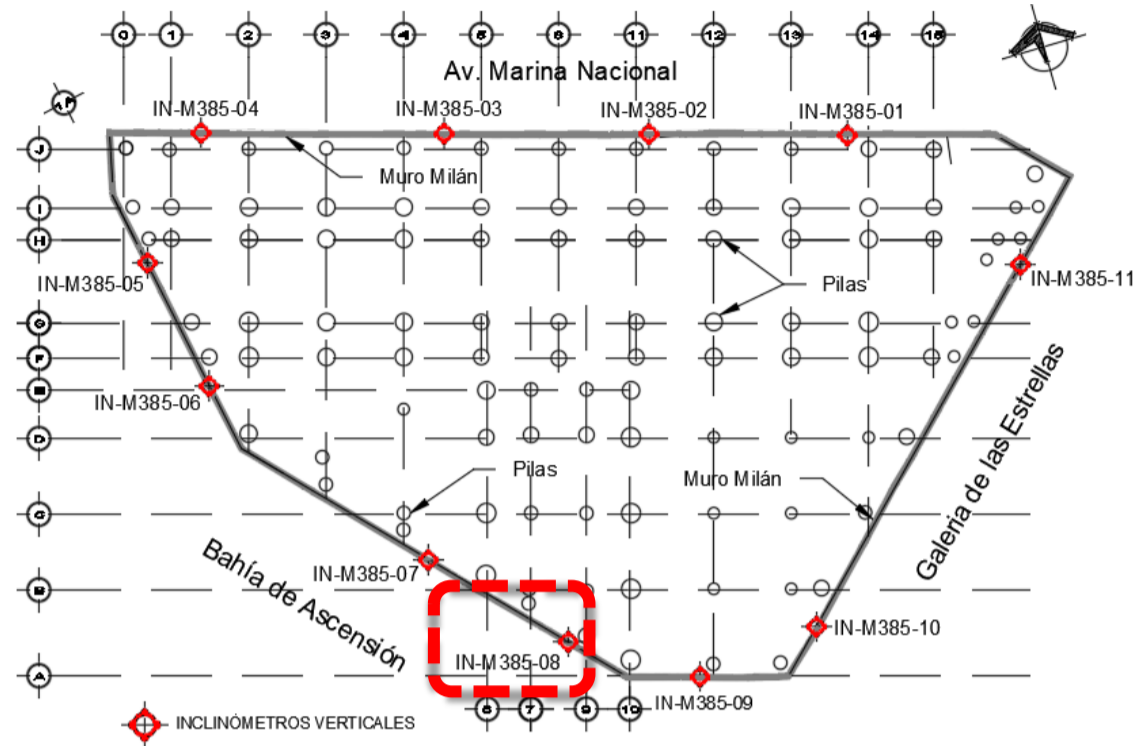


# IN-M385-08 GRÁFICA TIEMPO VS DESPLAZAMIENTO

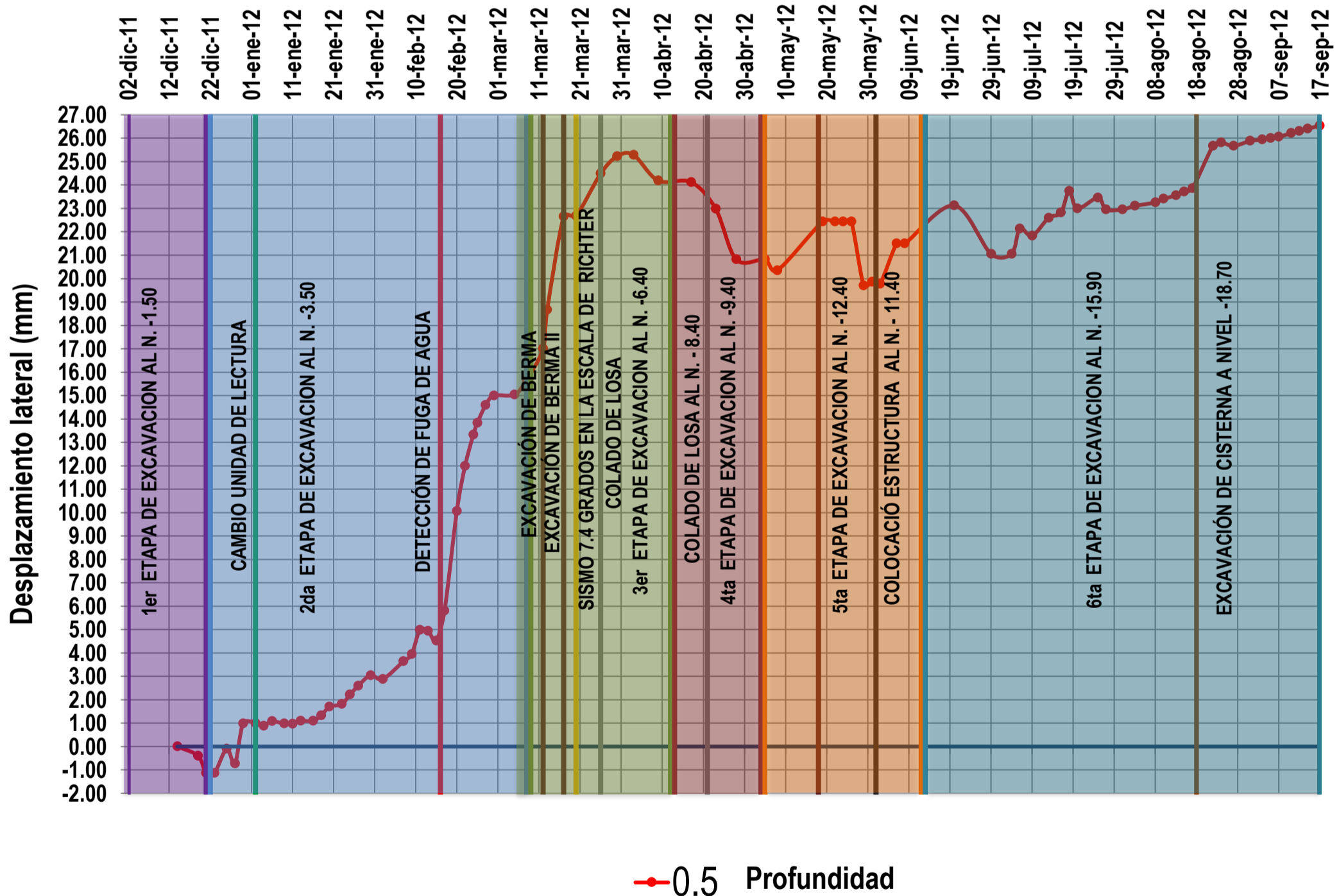
## ETAPAS CONSTRUCTIVAS Y FENOMENOS NATURALES

ACTIVIDAD	INICIO	FIN
1er Etapa de Excavación	02-dic-11	21-dic-11
2da Etapa de Excavación	22-dic-11	08-mar-12
3ra Etapa de Excavación	09-mar-12	12-abr-12
4ta Etapa de Excavación	13-abr-12	04-may-12
5ta Etapa de Excavación	05-may-12	12-jun-12
6ta Etapa de Excavación	13-jun-12	17-sep-12
Cambio de Unidad de Lectura	02-ene-12	
Excavación de Berma	12-mar-12	
Excavación de Berma II	17-mar-12	
Excavación de Berma III	18-may-12	
Fuga de Agua	16-feb-12	
Sismo 7.4° Richter	20-mar-12	
Colado de Losa	26-mar-12	
Colado de Losa N. - 8.40	21-abr-12	
Colocación Estructura	01-jun-12	
Excavación Cisterna	18-ago-12	

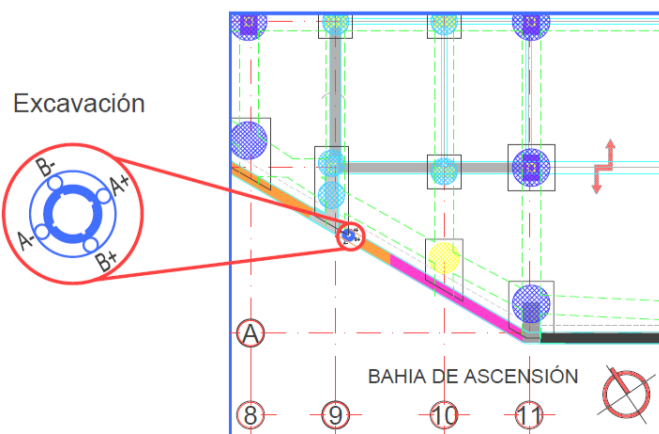
## LOCALIZACIÓN DEL INCLINÓMETRO VERTICAL



## DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL A 0.5 M DE PROFUNDIDAD



### UBICACIÓN:



### NOTAS:

EL 2 DE ENERO DE 2012 SE REALIZA CAMBIO DE UNIDAD DE LECTURA POR UNA AVERIA

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

EL DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO SE PRESENTA EN LA 6ta ETAPA DE EXCAVACIÓN CON UN VALOR DE 26.53 MM A LA PROFUNDIDAD DE 0.5 M

### MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-08

GRÁFICA DE INCREMENTOS DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL

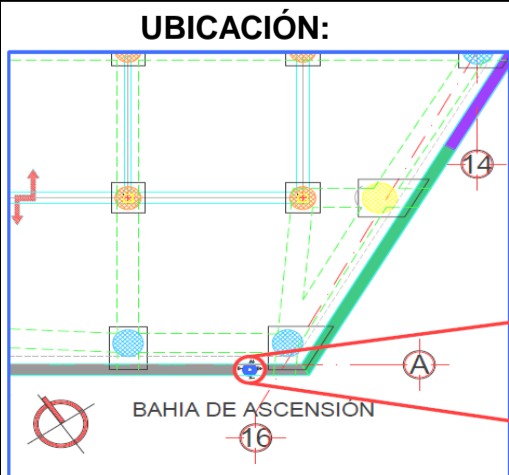
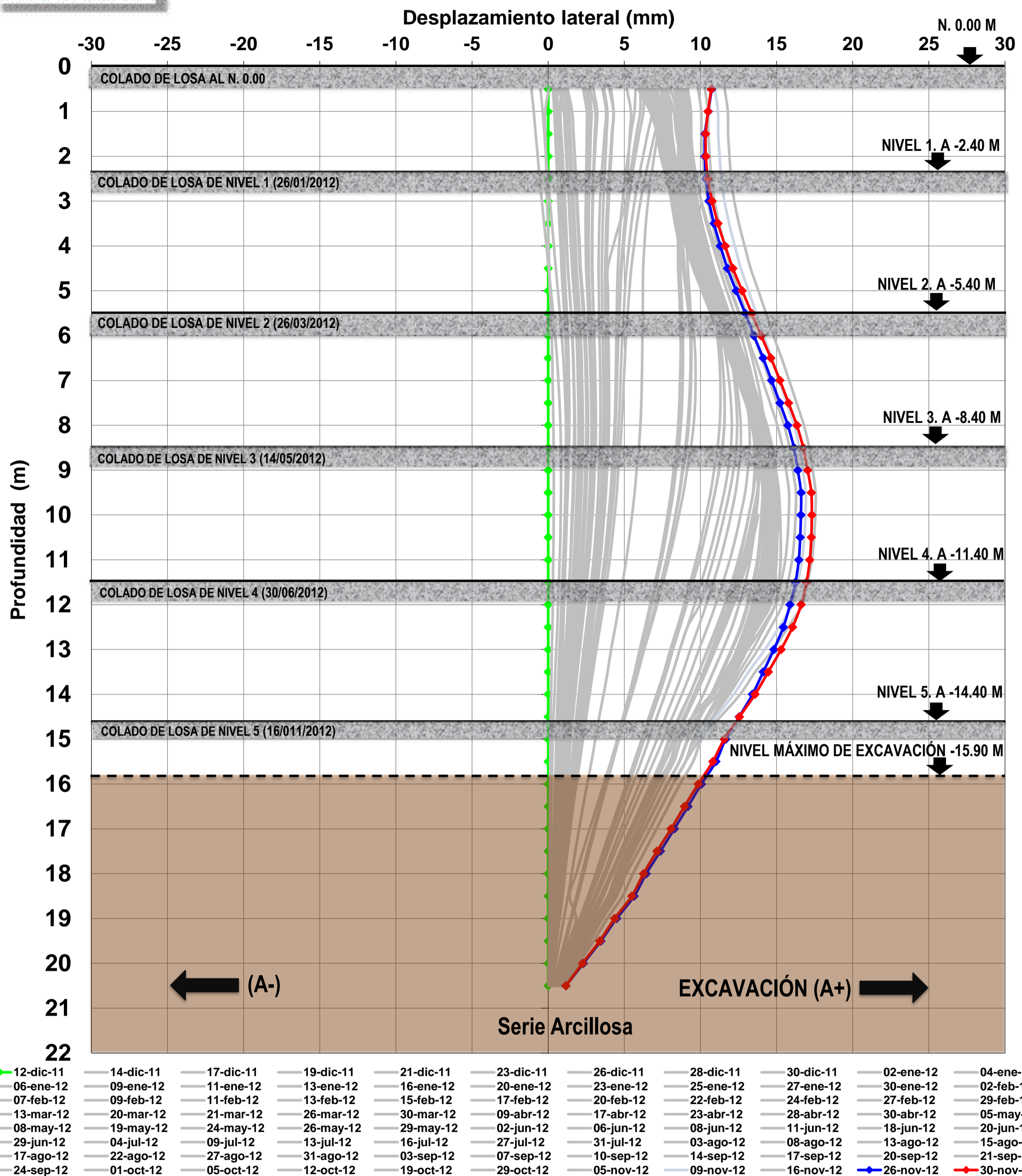
ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN:  
12-dic-11

**ANEXO A-24**



# IN-M385-09 EJE A



**NOTAS:**

EL 2 DE ENERO DE 2012 SE REALIZA CAMBIO DE UNIDAD DE LECTURA POR UNA AVERIA

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-09**

**DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "A"**

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

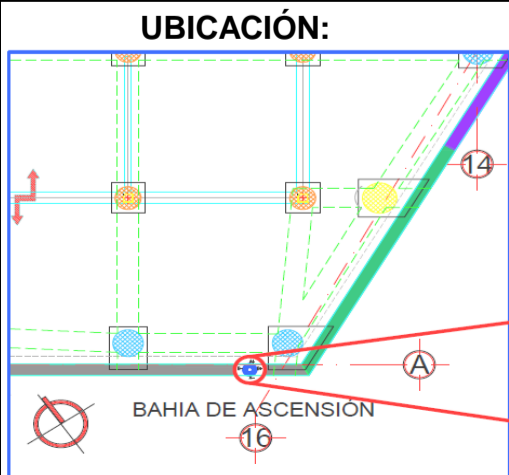
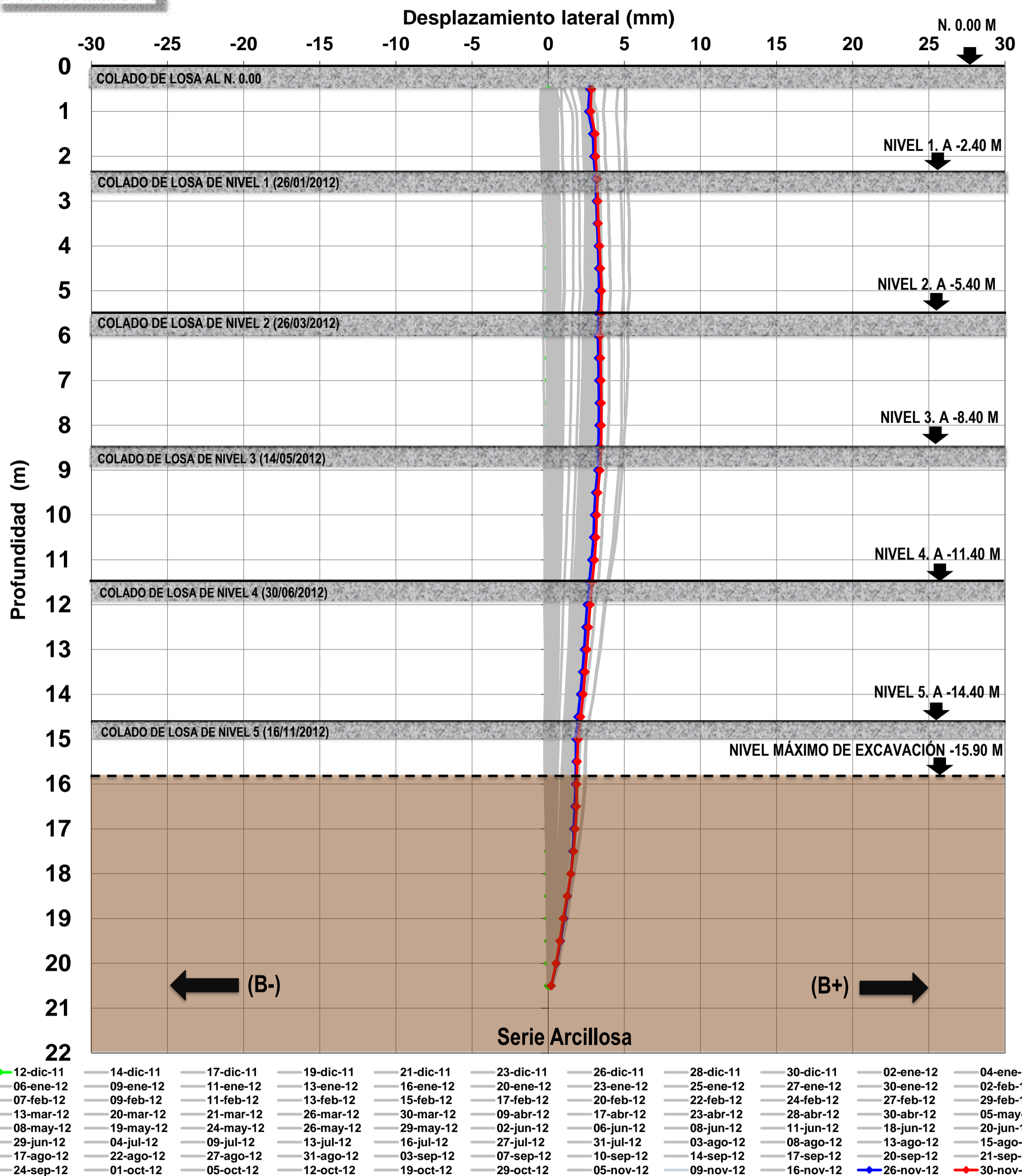
FECHA DE INSTALACIÓN:  
09-dic-11

**ANEXO A-25**





# IN-M385-09 EJE B



**NOTAS:**

EL 2 DE ENERO DE 2012 SE REALIZA CAMBIO DE UNIDAD DE LECTURA POR UNA AVERIA

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-09**

**DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "B"**

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN:  
09-dic-11

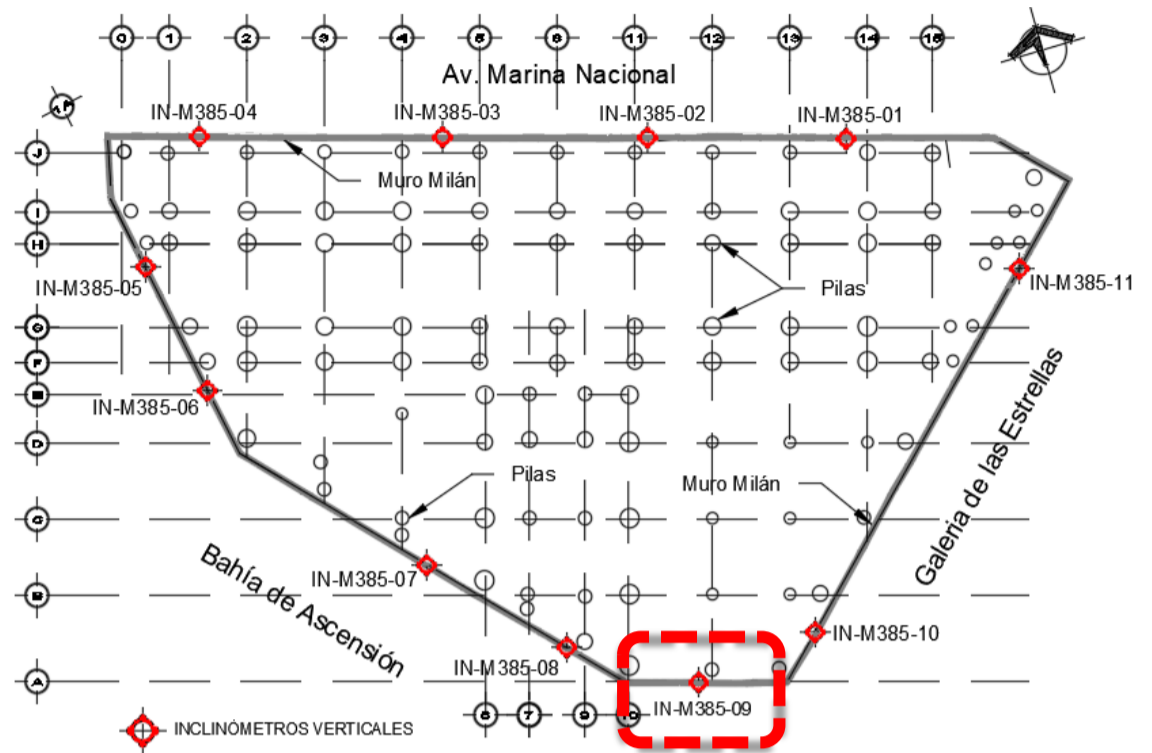
**ANEXO A-26**

# IN-M385-09 GRÁFICA TIEMPO VS DESPLAZAMIENTO

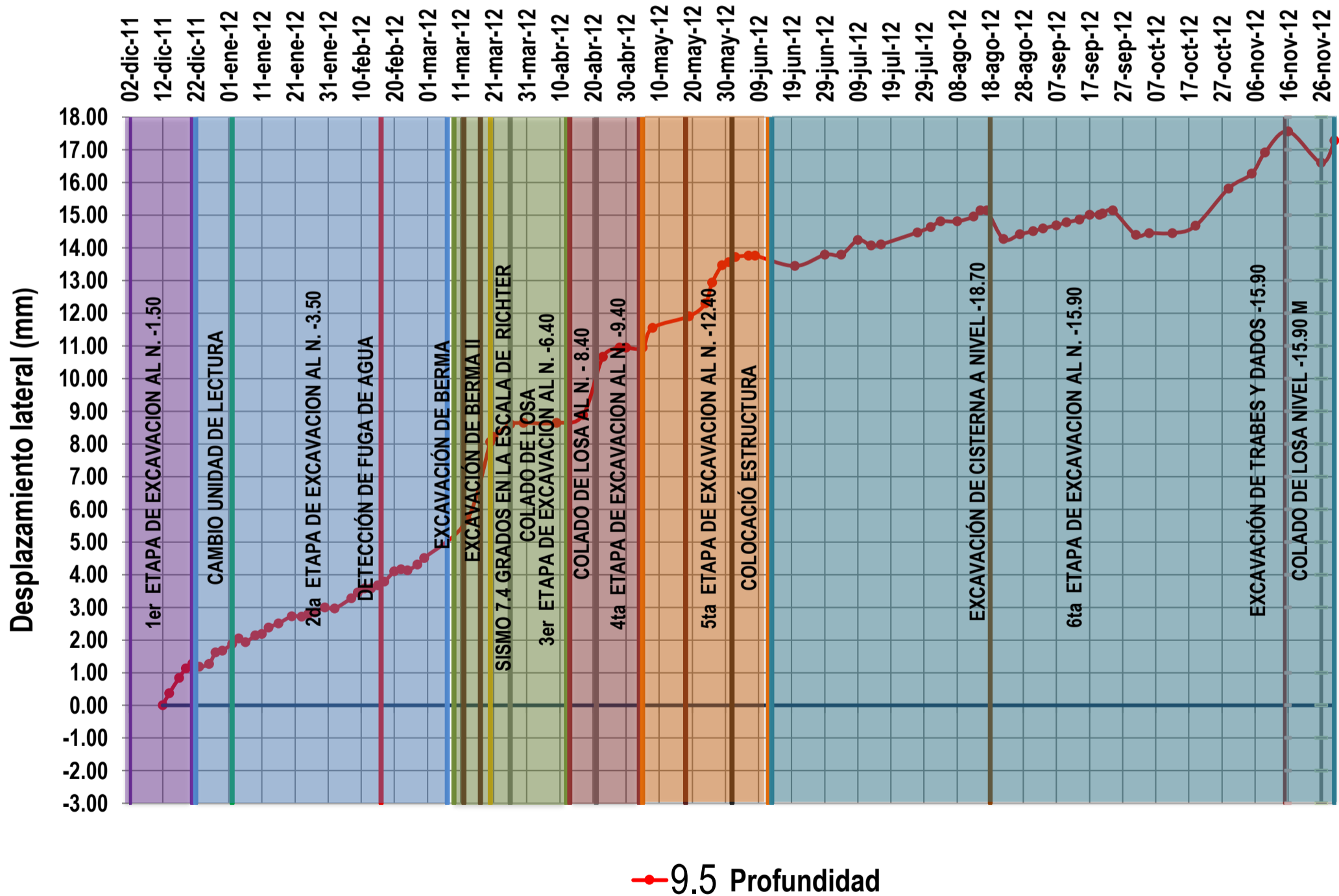
## ETAPAS CONSTRUCTIVAS Y FENOMENOS NATURALES

ACTIVIDAD	INICIO	FIN
1er Etapa de Excavación	02-dic-11	21-dic-11
2da Etapa de Excavación	22-dic-11	07-mar-12
3ra Etapa de Excavación	08-mar-12	12-abr-12
4ta Etapa de Excavación	13-abr-12	04-may-12
5ta Etapa de Excavación	05-may-12	12-jun-12
6ta Etapa de Excavación	13-jun-12	30-nov-12
Cambio de Unidad de Lectura	02-ene-12	
Excavación de Berma	17-mar-12	
Excavación de Berma II	18-mar-12	
Fuga de Agua	16-feb-12	
Sismo 7.4° Richter	20-mar-12	
Colado de Losa	26-mar-12	
Colado de Losa N. - 8.40	21-abr-12	
Colocación Estructura	01-jun-12	
Excavación Cisterna	18-ago-12	
Exc. Trabes y Dados -15.90	15-nov-12	
Colado de Losa N -15.90	26-nov-12	

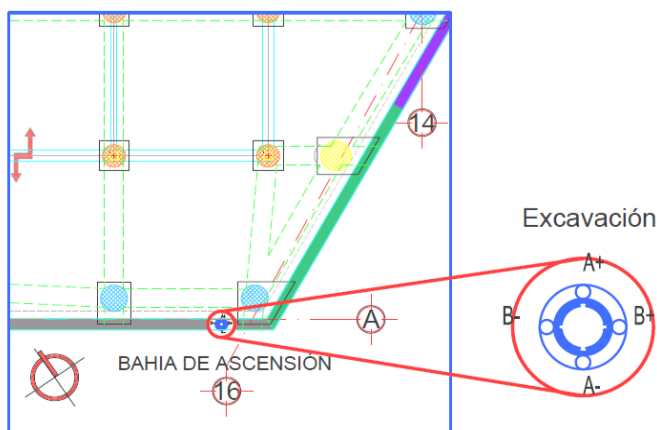
## LOCALIZACIÓN DEL INCLINÓMETRO VERTICAL



## DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL A 9.5 M DE PROFUNDIDAD



### UBICACIÓN:



### NOTAS:

EL 2 DE ENERO DE 2012 SE REALIZA CAMBIO DE UNIDAD DE LECTURA POR UNA AVERIA

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

EL DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO SE PRESENTA EN LA 6ta ETAPA DE EXCAVACION CON UN VALOR DE 17.56 MM A LA PROFUNDIDAD DE 9.5 M

### MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-09

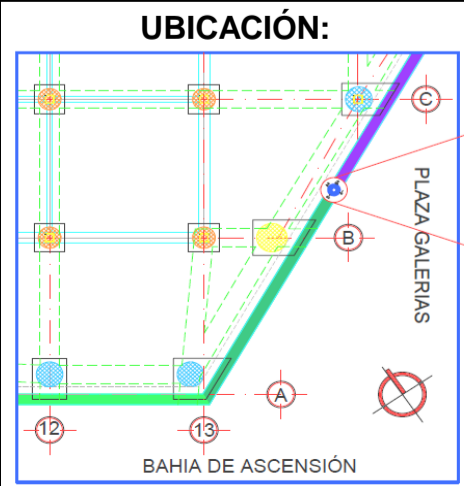
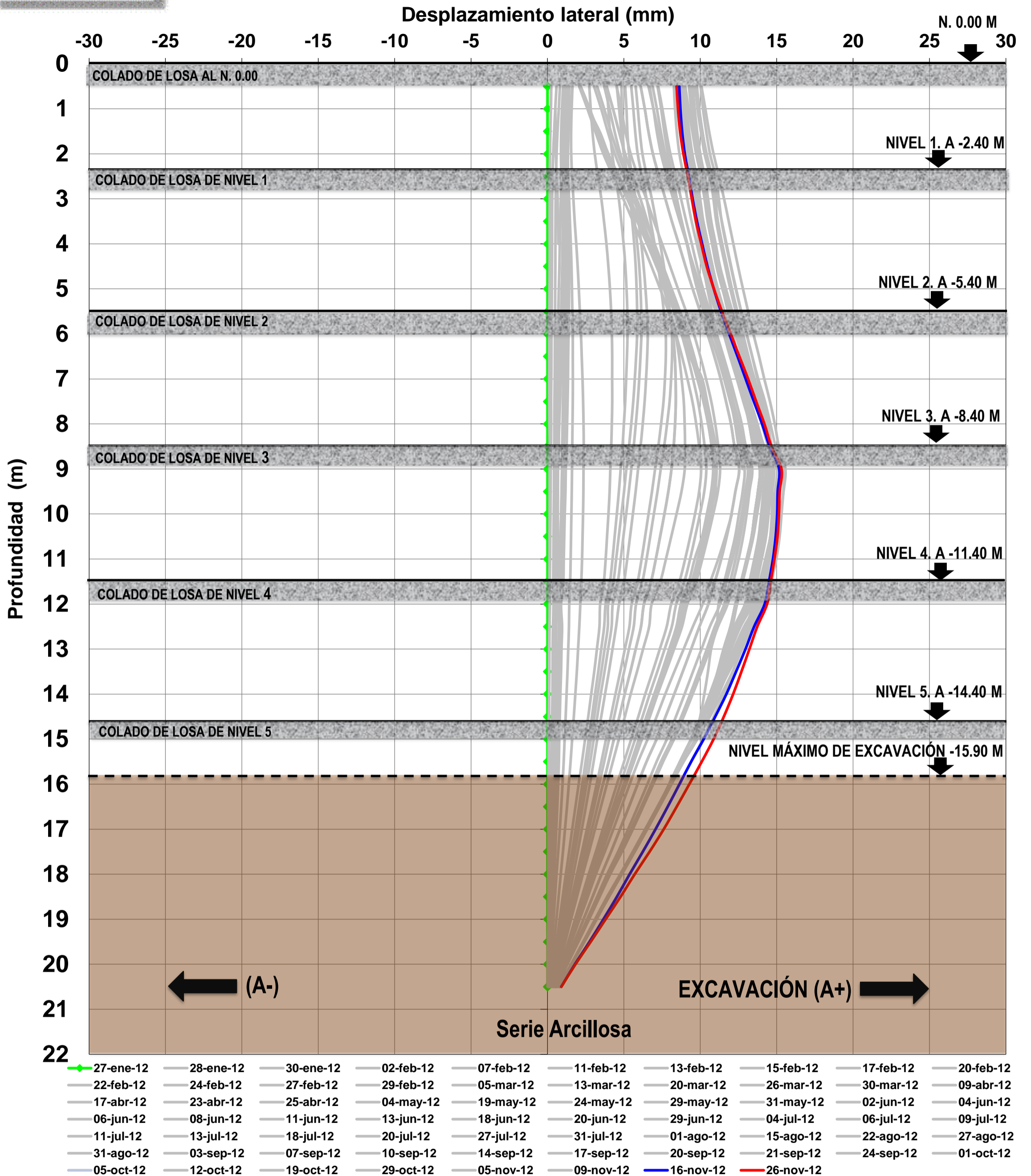
GRAFICA DE INCREMENTOS DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN:  
09-dic-11



# IN-M385-10 EJE A



**NOTAS:**

EXCAVACIÓN DE BERMA EL 17 DE MARZO DE 2012

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

COLADO DE LOSA EN EL NIVEL -3.40 A PARTIR DEL 26 DE MARZO DE 2012

SE REALIZÓ LA IV ETAPA DE EXC. AL NIVEL -9.40 M EL 12 DE ABRIL DE 2012

MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-10

DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "A"

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

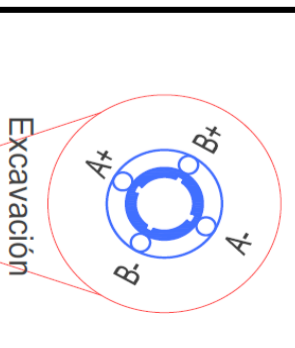
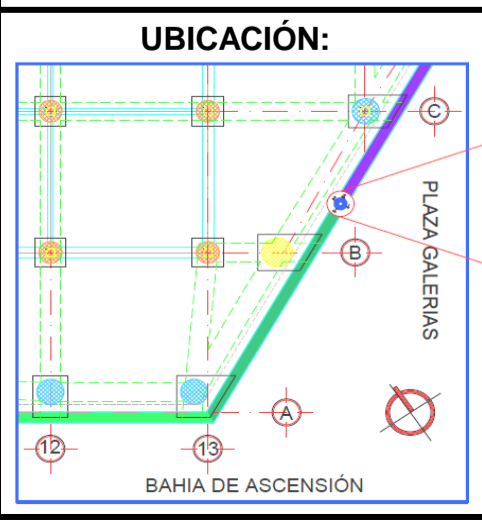
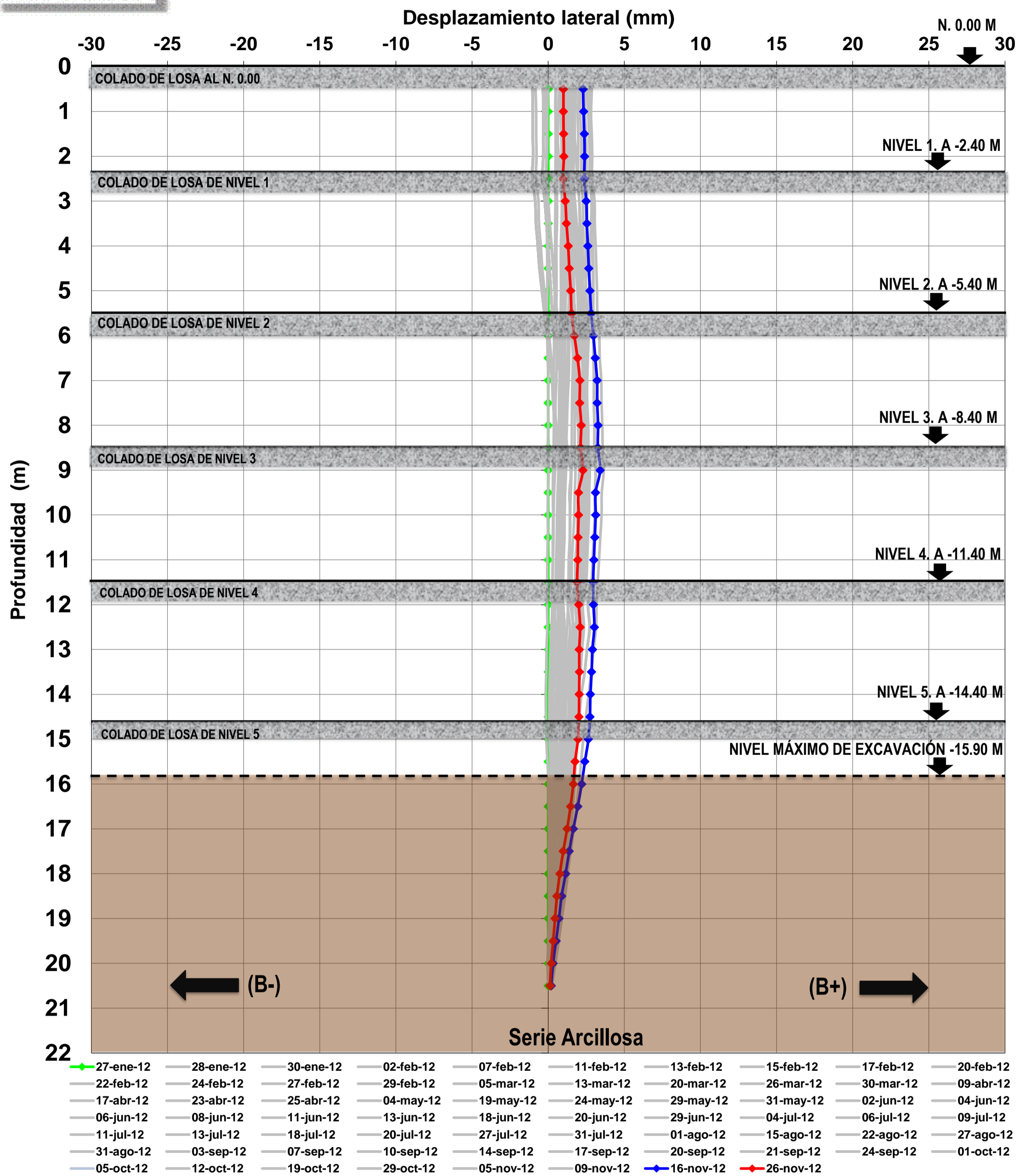
FECHA DE INSTALACIÓN:  
24-ene-12

**ANEXO A-28**





# IN-M385-10 EJE B



**NOTAS:**

EXCAVACIÓN DE BERMA EL 17 DE MARZO DE 2012

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

COLADO DE LOSA EN EL NIVEL -3.40 A PARTIR DEL 26 DE MARZO DE 2012

SE REALIZÓ LA IV ETAPA DE EXC. AL NIVEL -9.40 M EL 12 DE ABRIL DE 2012

**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-10**

**DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "B"**

ELABORÓ: HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN: 24-ene-12

**ANEXO A-29**

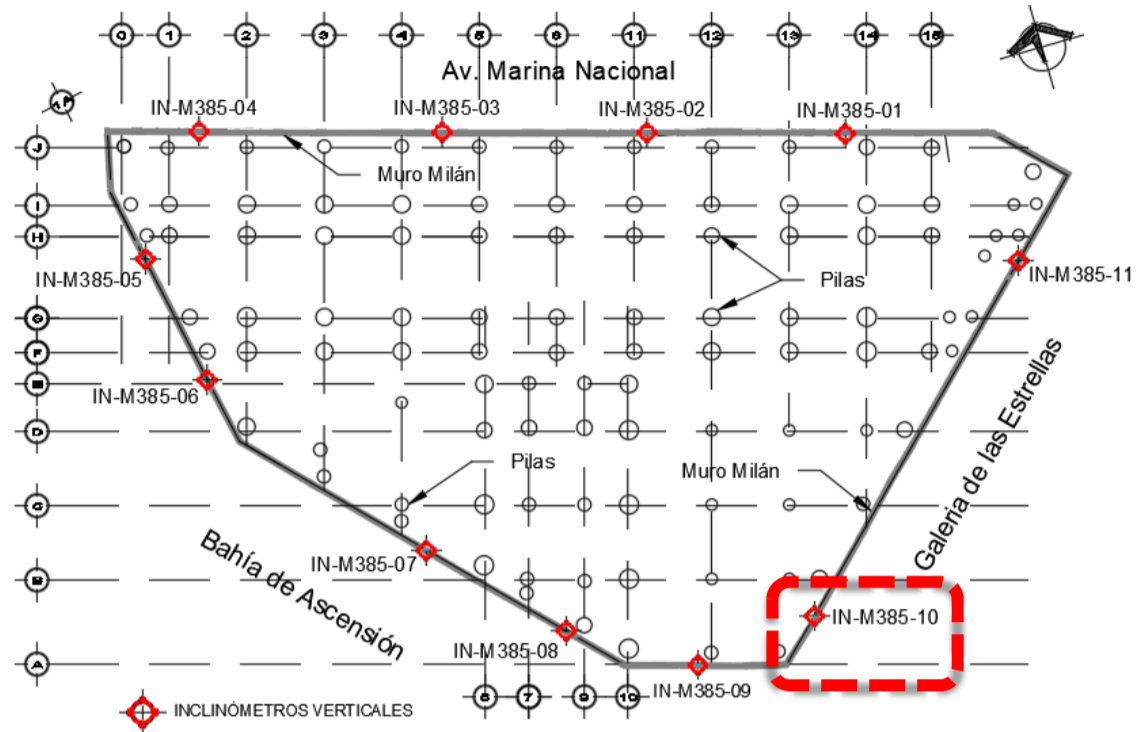


# IN-M385-10 GRÁFICA TIEMPO VS DESPLAZAMIENTO

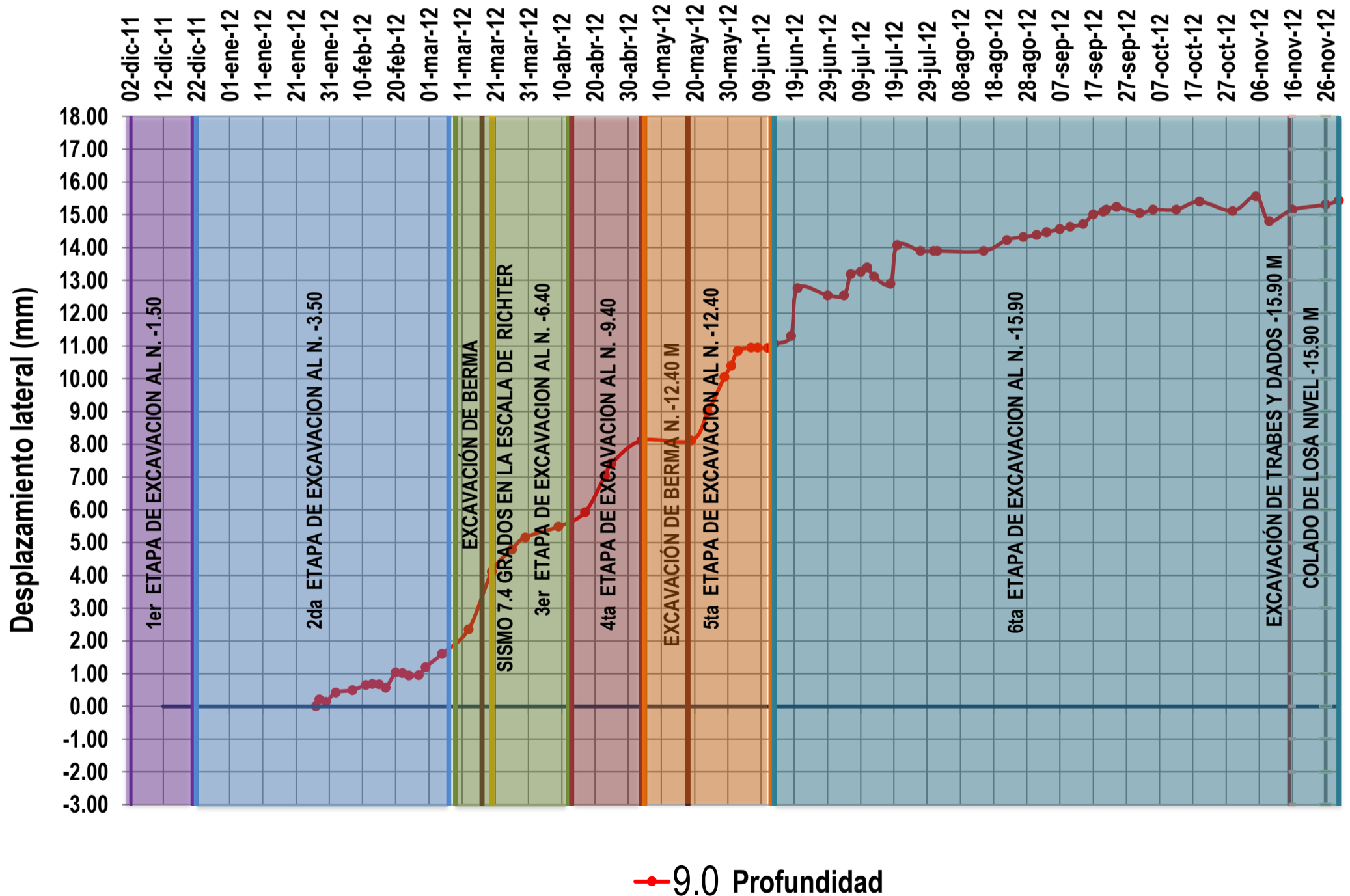
## ETAPAS CONSTRUCTIVAS Y FENOMENOS NATURALES

ACTIVIDAD	INICIO	FIN
1er Etapa de Excavación	02-dic-11	21-dic-11
2da Etapa de Excavación	22-dic-11	07-mar-12
3ra Etapa de Excavación	08-mar-12	10-abr-12
4ta Etapa de Excavación	13-abr-12	04-may-12
5ta Etapa de Excavación	05-may-12	12-jun-12
6ta Etapa de Excavación	13-jun-12	30-nov-12
Excavación de Berma	17-mar-12	
Excavación de Berma N.-12.40	18-may-12	
Sismo 7.4° Richter	20-mar-12	
Exc. Trabes y Dados -15.90	15-nov-12	
Colado de Losa N -15.90	26-nov-12	

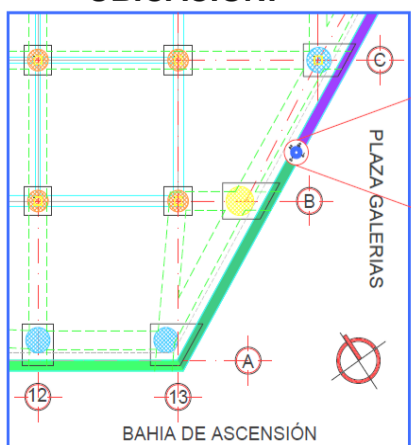
## LOCALIZACIÓN DEL INCLINÓMETRO VERTICAL



## DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL A 9.0 M DE PROFUNDIDAD



### UBICACIÓN:



### NOTAS:

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

EL DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO SE PRESENTA EN LA 6ta ETAPA DE EXCAVACIÓN CON UN VALOR DE 15.57 MM A LA PROFUNDIDAD DE 9.0 M

### MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-10

### GRÁFICA DE INCREMENTOS DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

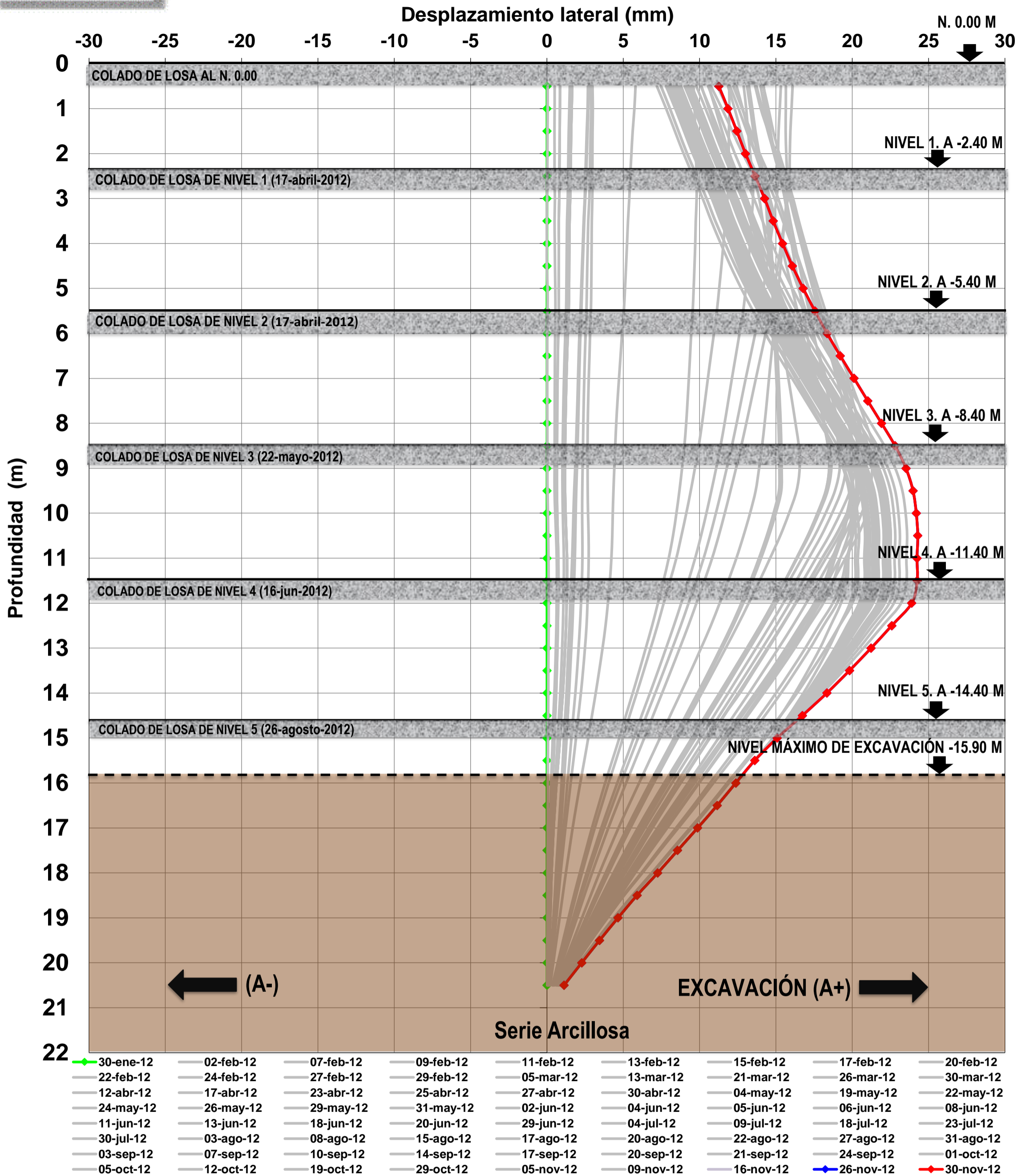
FECHA DE INSTALACIÓN:  
24-ene-12

**ANEXO A-30**

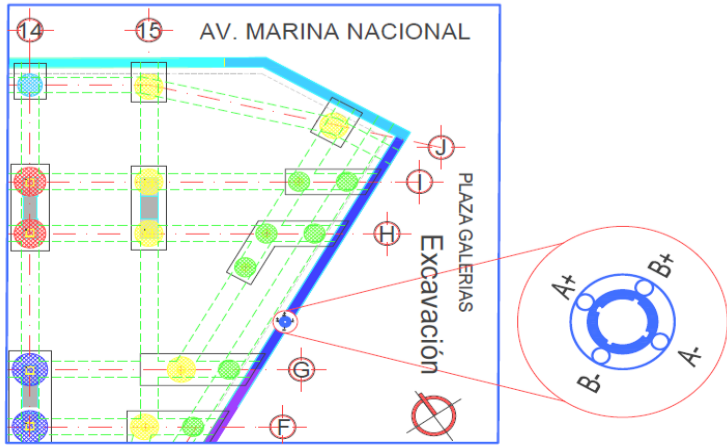




# IN-M385-11 EJE A



**UBICACIÓN:**



**NOTAS:**

EXCAVACIÓN DE BERMA EL 19 DE MARZO DE 2012

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

SE REALIZÓ LA EXCAVACIÓN AL NIVEL - 9.40 M EL 23 DE ABRIL DE 2012

**MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-11**

DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL INCLINÓMETRO VERTICAL EN EJE "A"

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

FECHA DE INSTALACIÓN:  
25-ene-12



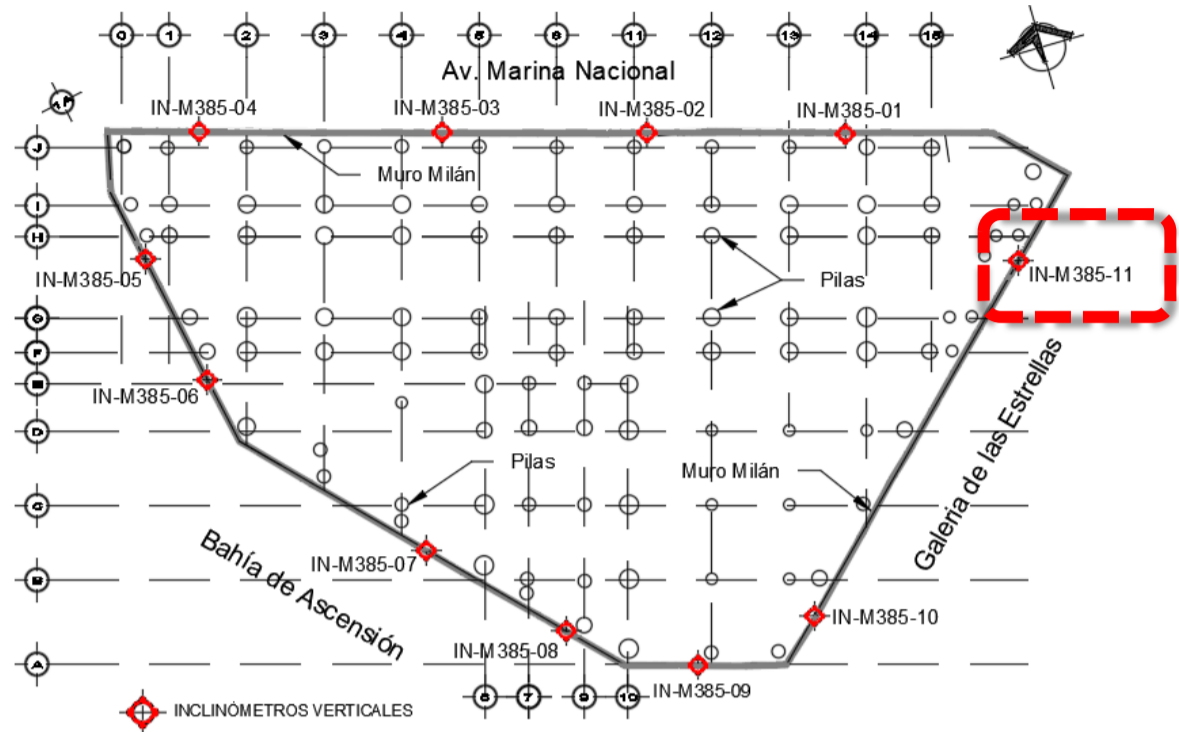


# IN-M385-11 GRÁFICA TIEMPO VS DESPLAZAMIENTO

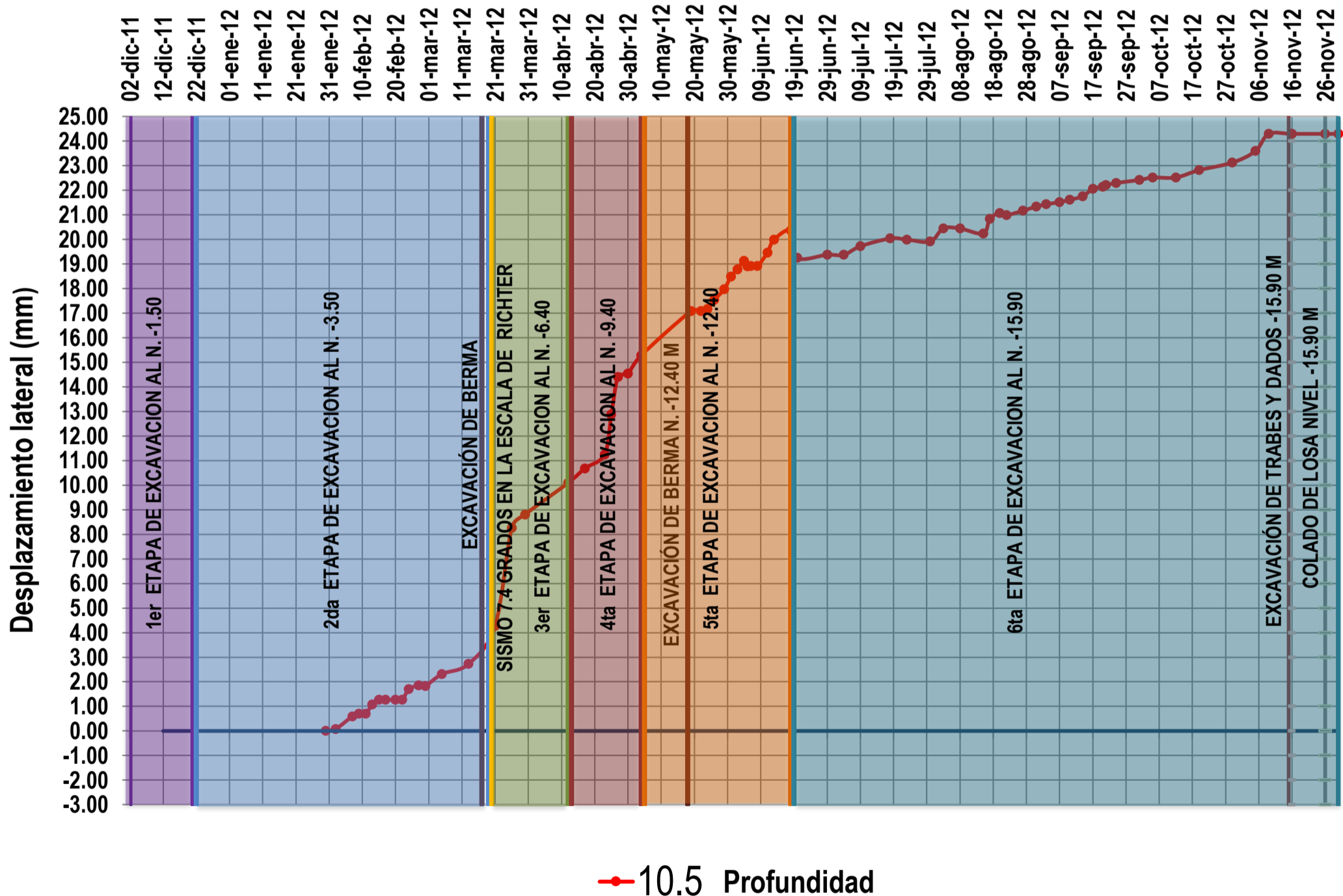
## ETAPAS CONSTRUCTIVAS Y FENOMENOS NATURALES

ACTIVIDAD	INICIO	FIN
1er Etapa de Excavación	02-dic-11	21-dic-11
2da Etapa de Excavación	22-dic-11	19-mar-12
3ra Etapa de Excavación	20-mar-12	12-abr-12
4ta Etapa de Excavación	13-abr-12	04-may-12
5ta Etapa de Excavación	05-may-12	18-jun-12
6ta Etapa de Excavación	19-jun-12	30-nov-12
Excavación de Berma	19-mar-12	
Excavación de Berma N. -12.40	22-may-12	
Sismo 7.4° Richter	20-mar-12	
Exc. Traves y Dados -15.90	15-nov-12	
Colado de Losa N -15.90	26-nov-12	

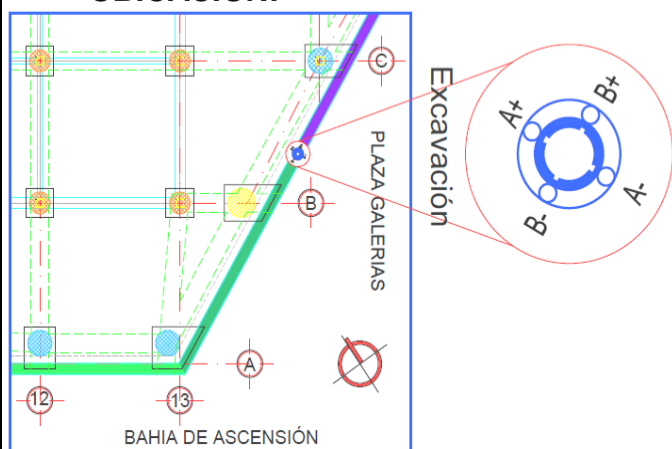
## LOCALIZACIÓN DEL INCLINÓMETRO VERTICAL



## DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL A 10.5 M DE PROFUNDIDAD



### UBICACIÓN:



### NOTAS:

SE REGISTRO UN SISMO DE 7.4° EN A ESCALA DE RICHTER EL 20 DE MARZO DE 2012

EL DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO SE PRESENTA EN LA 6ta ETAPA DE EXCAVACIÓN CON UN VALOR DE 24.29 MM A LA PROFUNDIDAD DE 10.5 M

### MARINA 385 INCLINÓMETRO IN-M385-11

### GRÁFICA DE INCREMENTOS DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL

ELABORÓ:  
HERIBERTO ANASTACIO

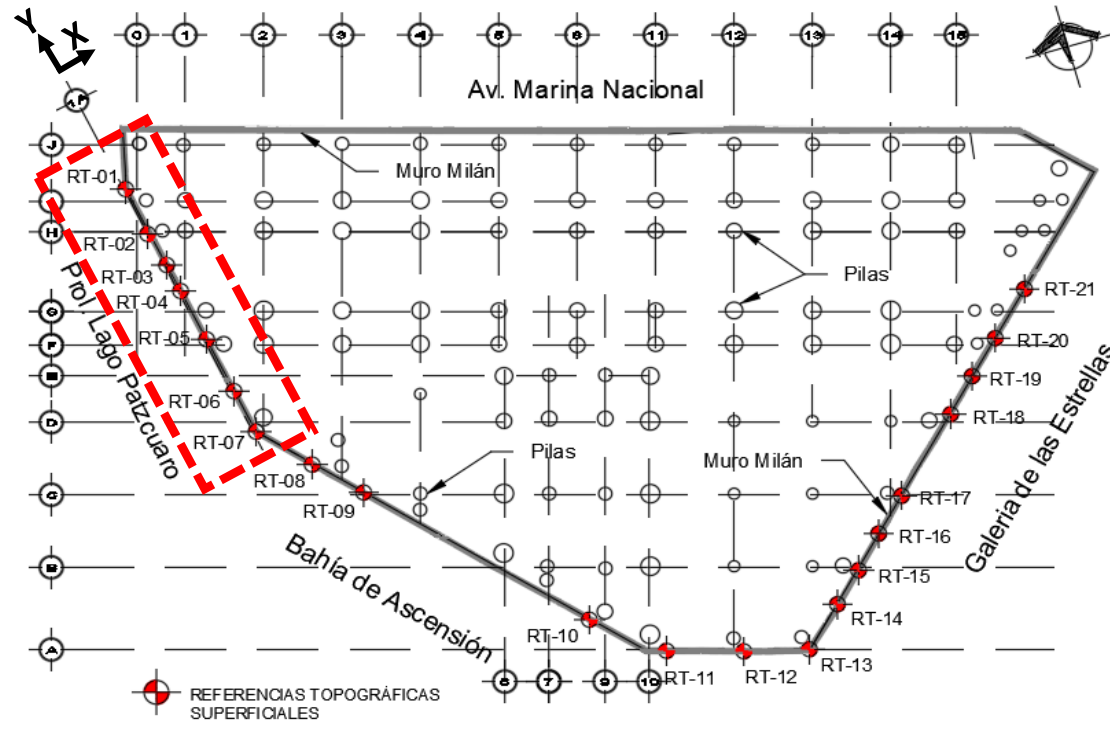
FECHA DE INSTALACIÓN:  
25-ene-12



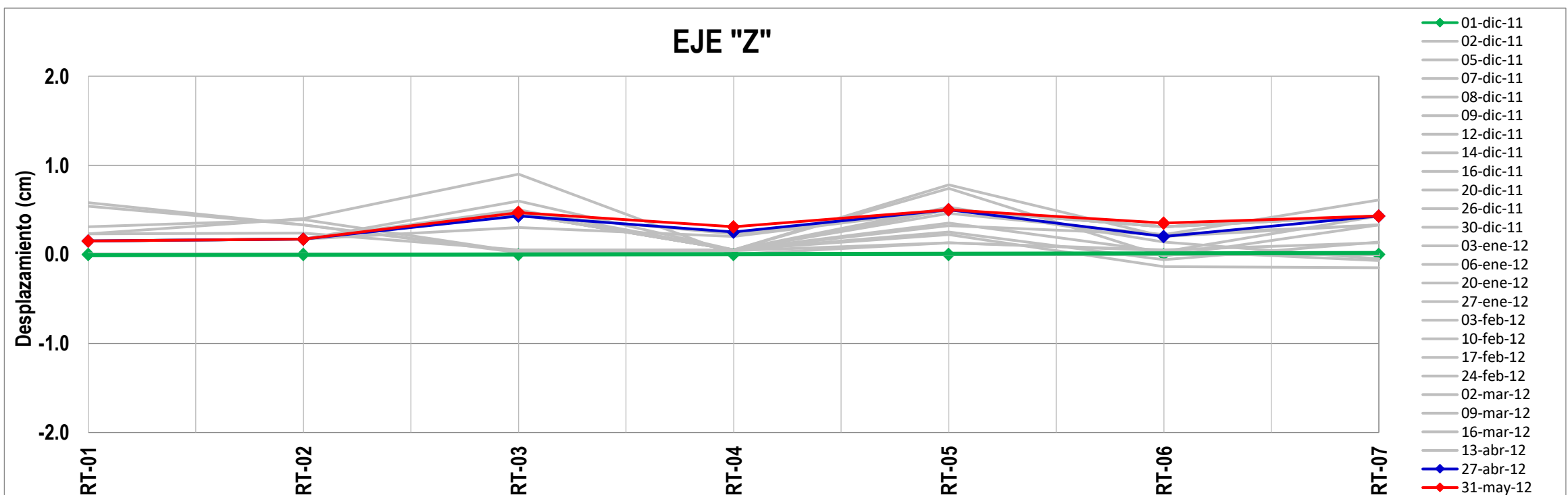
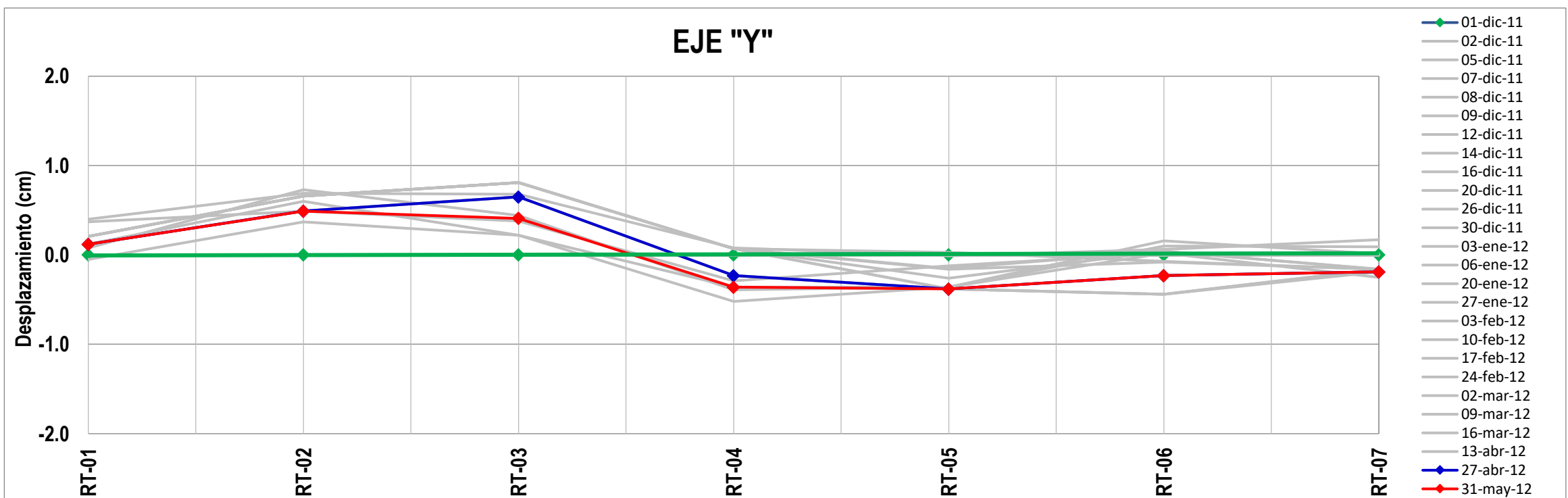
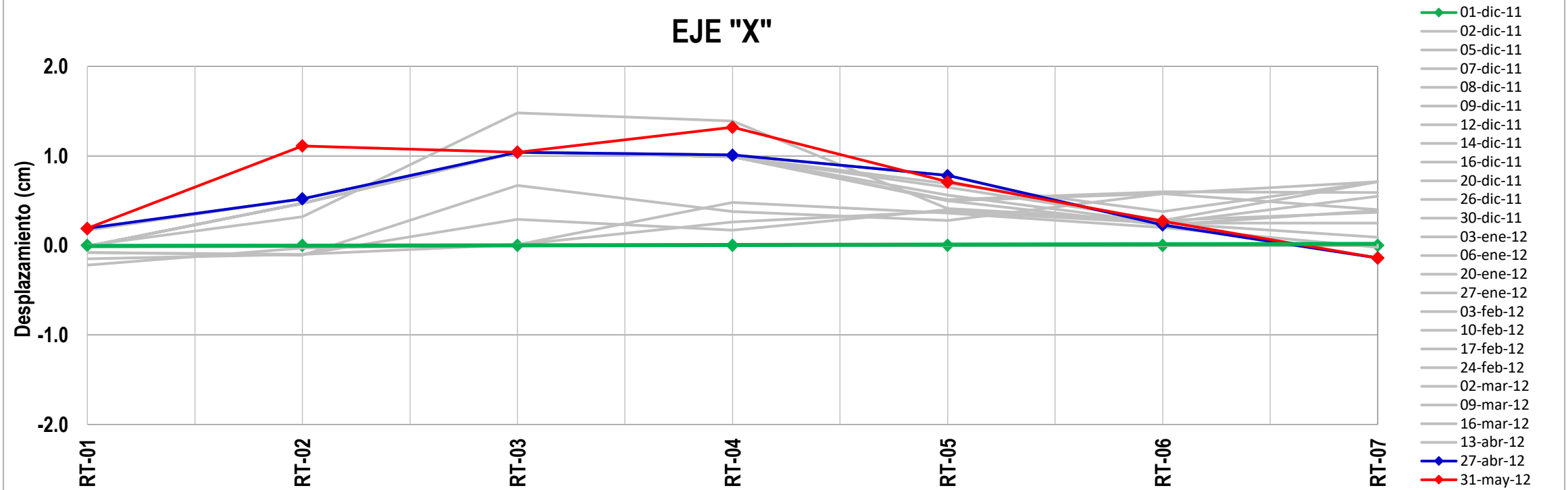


# REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS SUPERFICIALES SOBRE MURO MILÁN

LOCALIZACIÓN DE REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS SUPERFICIALES



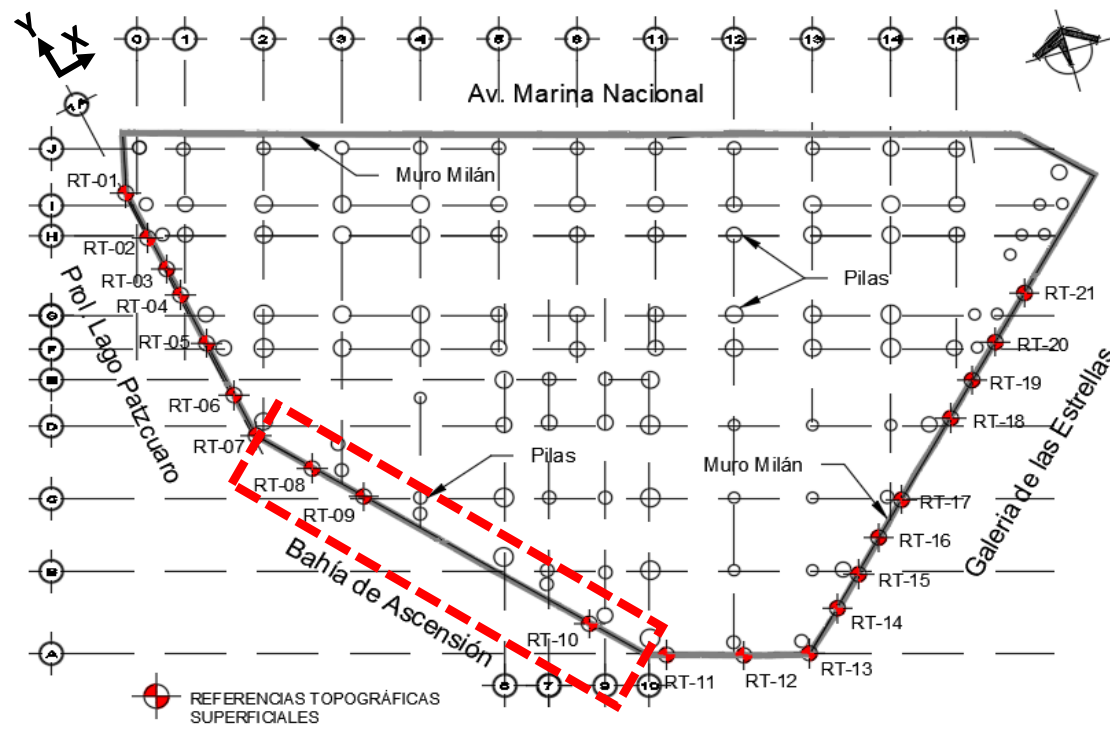
ORIENTACIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS



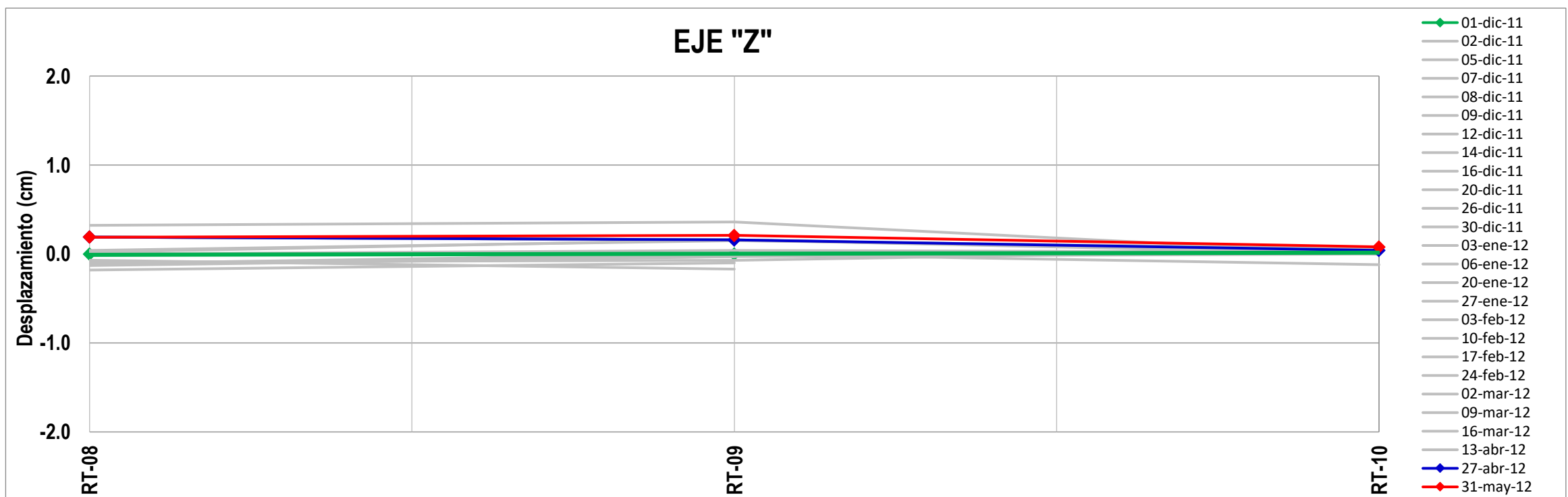
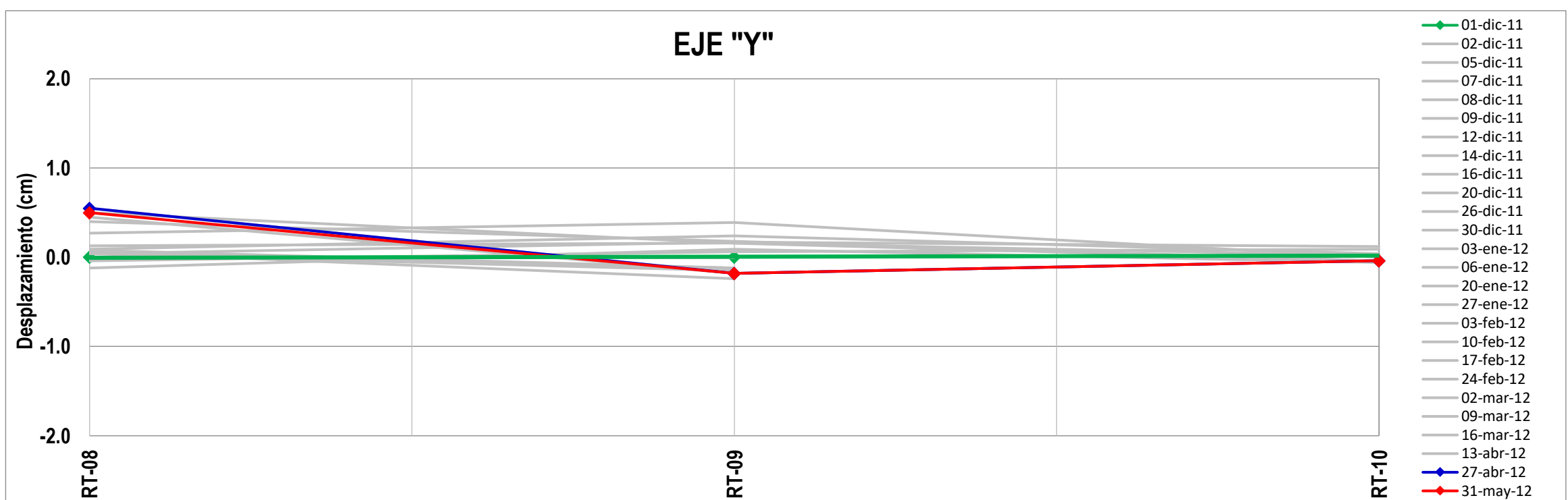
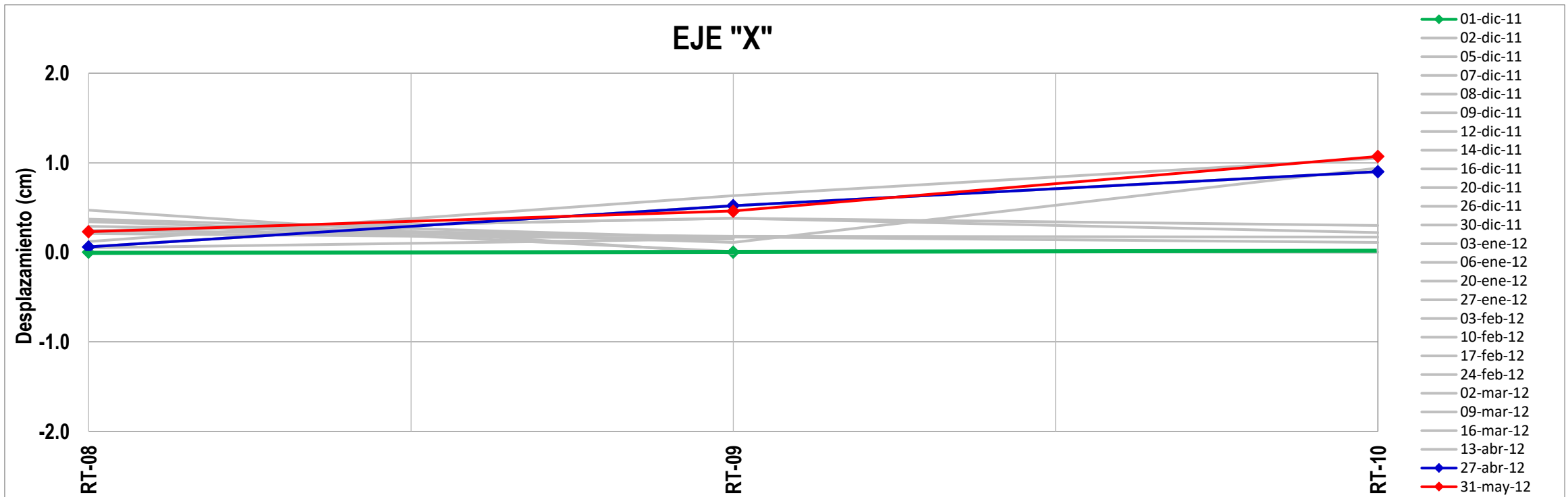


# REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS SUPERFICIALES SOBRE MURO MILÁN

LOCALIZACIÓN DE REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS SUPERFICIALES



ORIENTACIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS

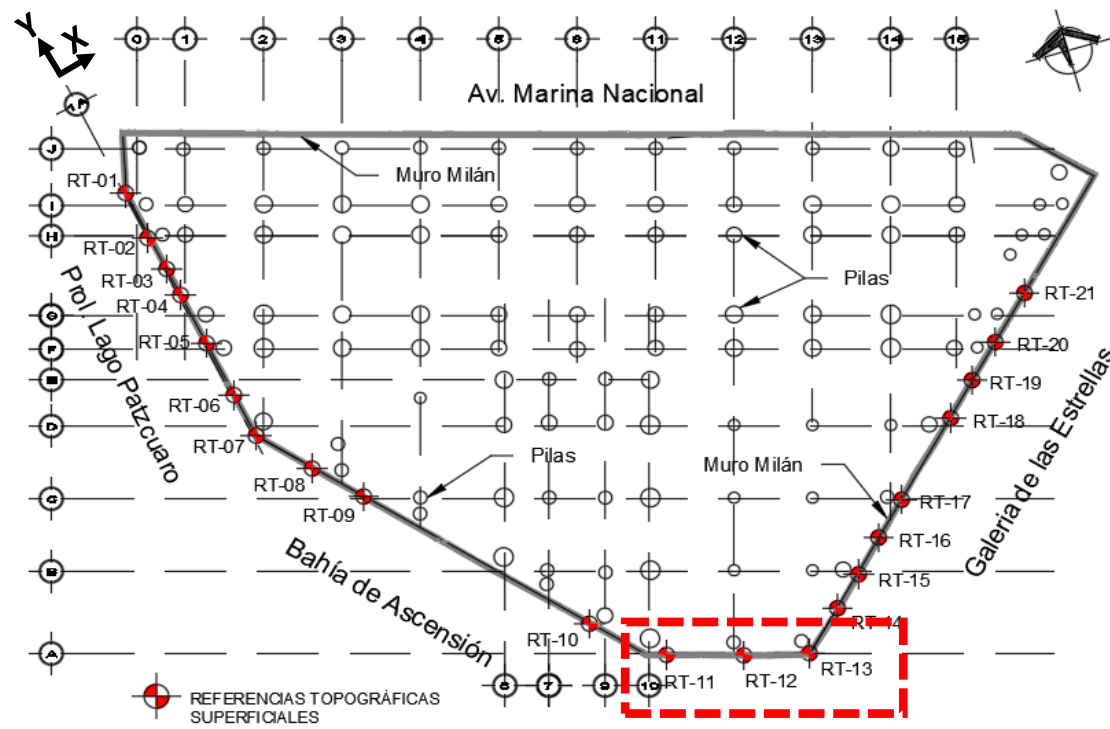




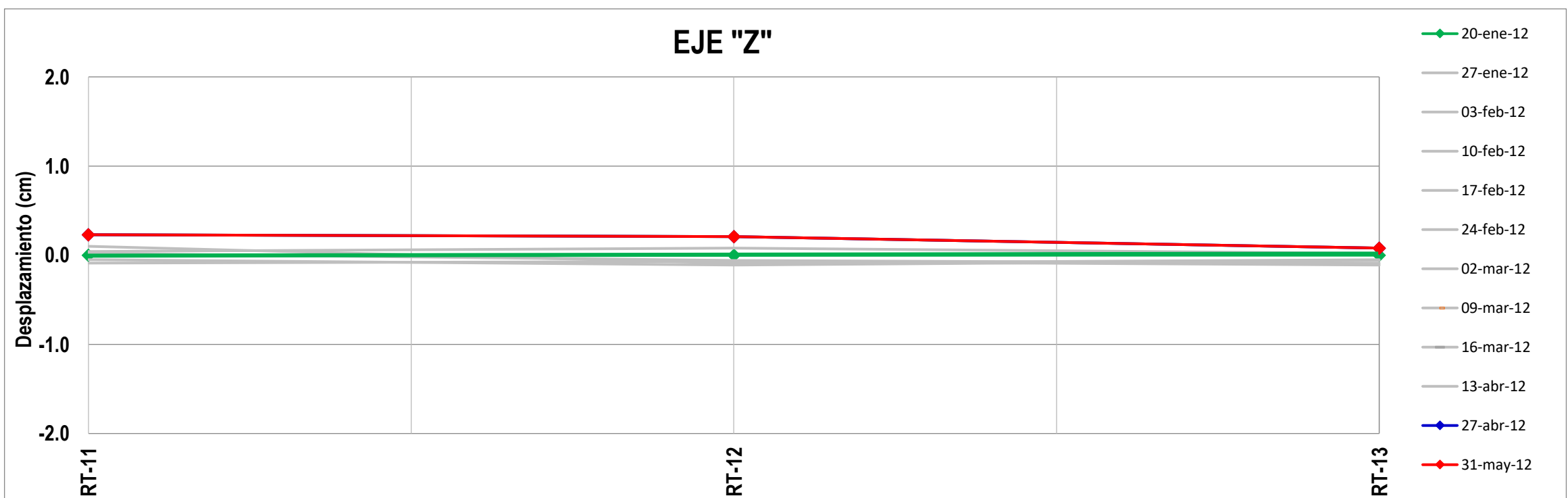
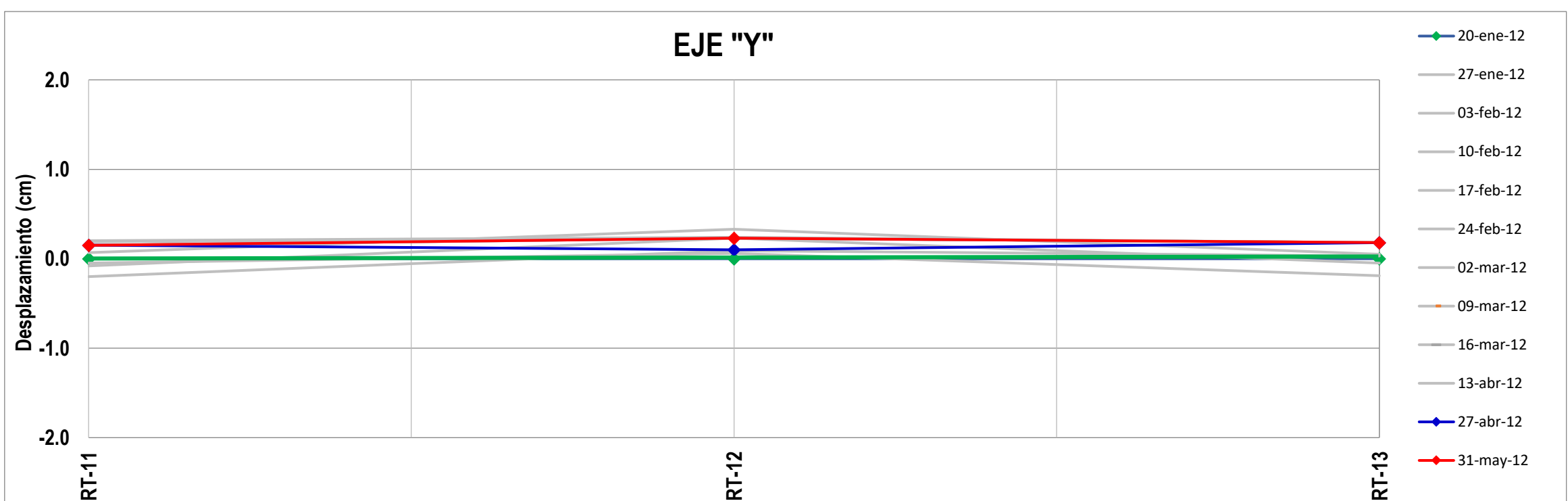
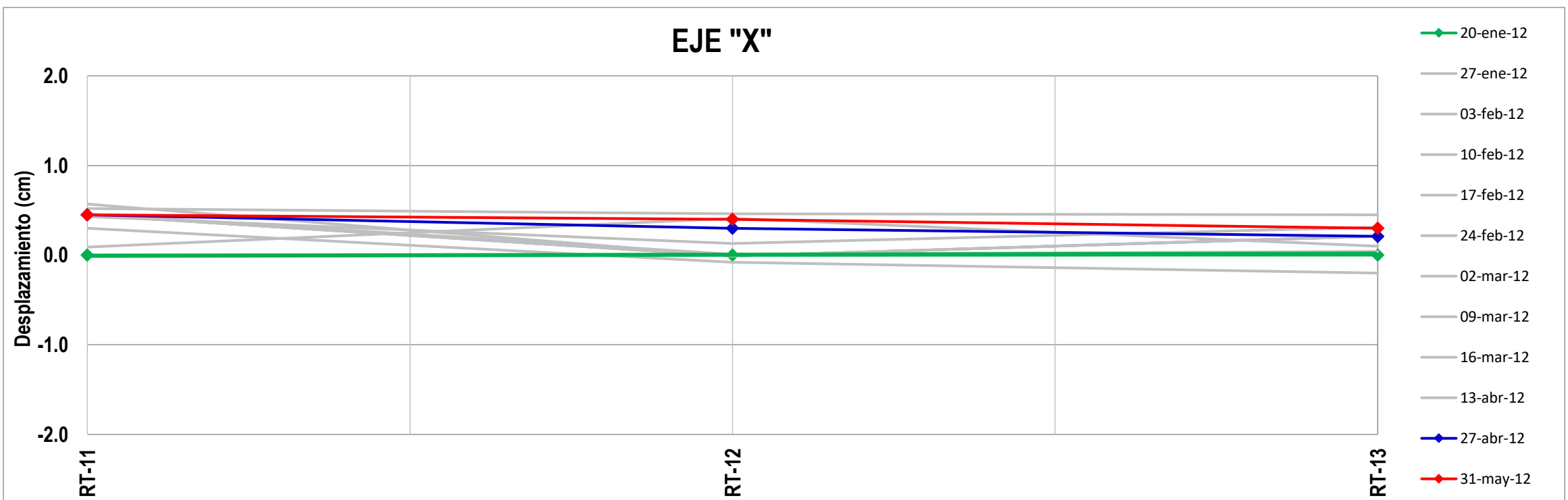
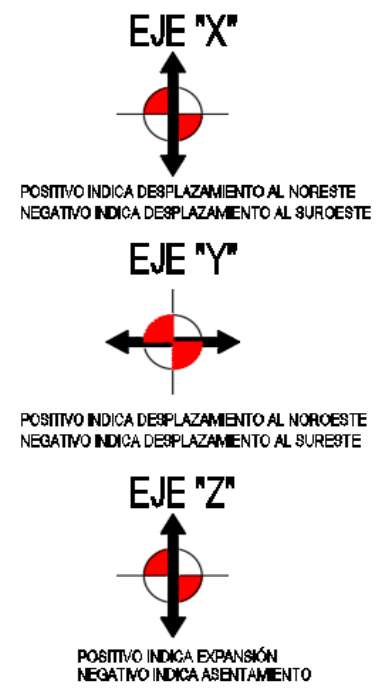


# REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS SUPERFICIALES SOBRE MURO MILÁN

LOCALIZACIÓN DE REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS SUPERFICIALES



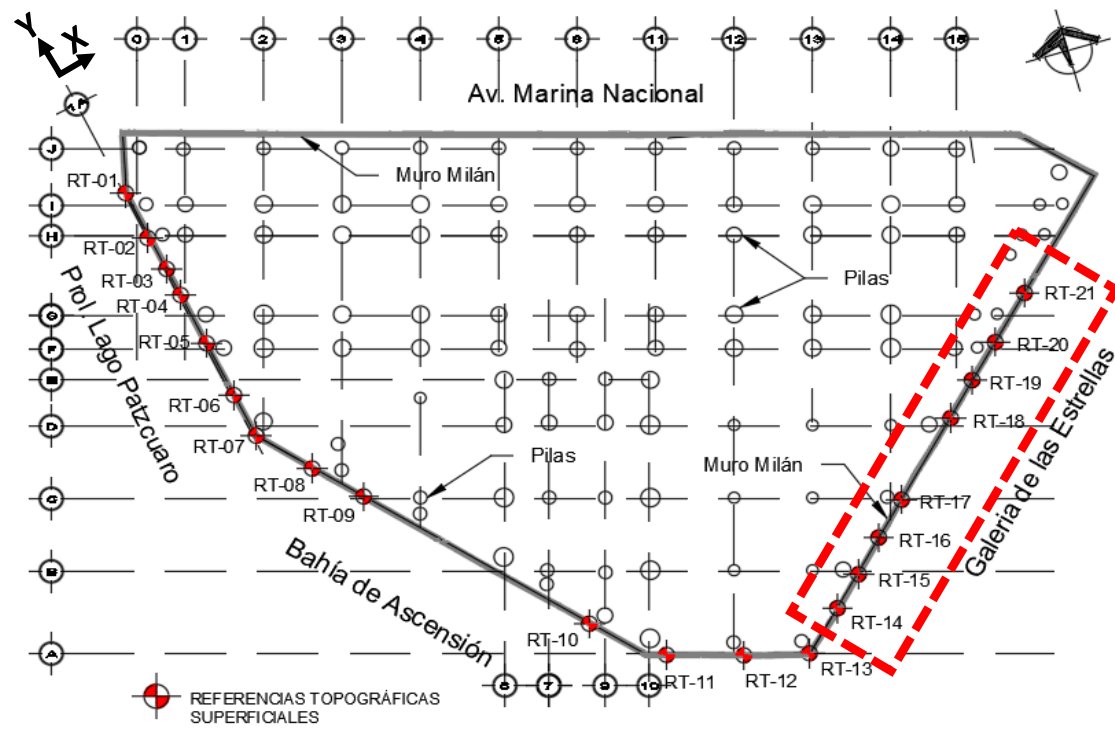
ORIENTACIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS



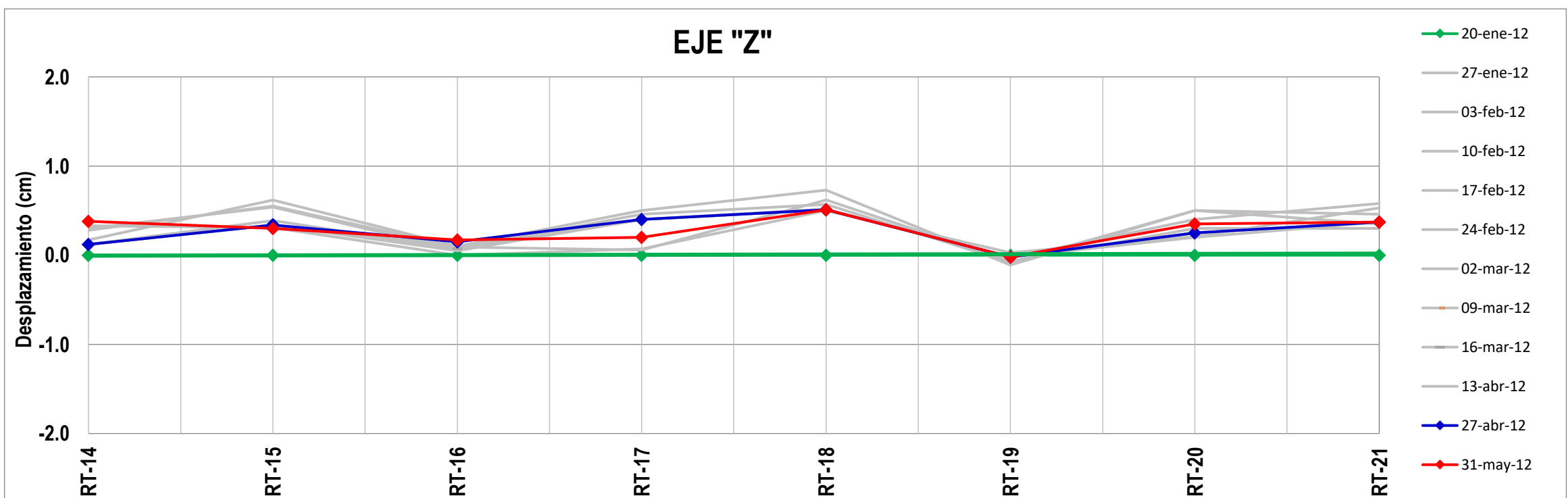
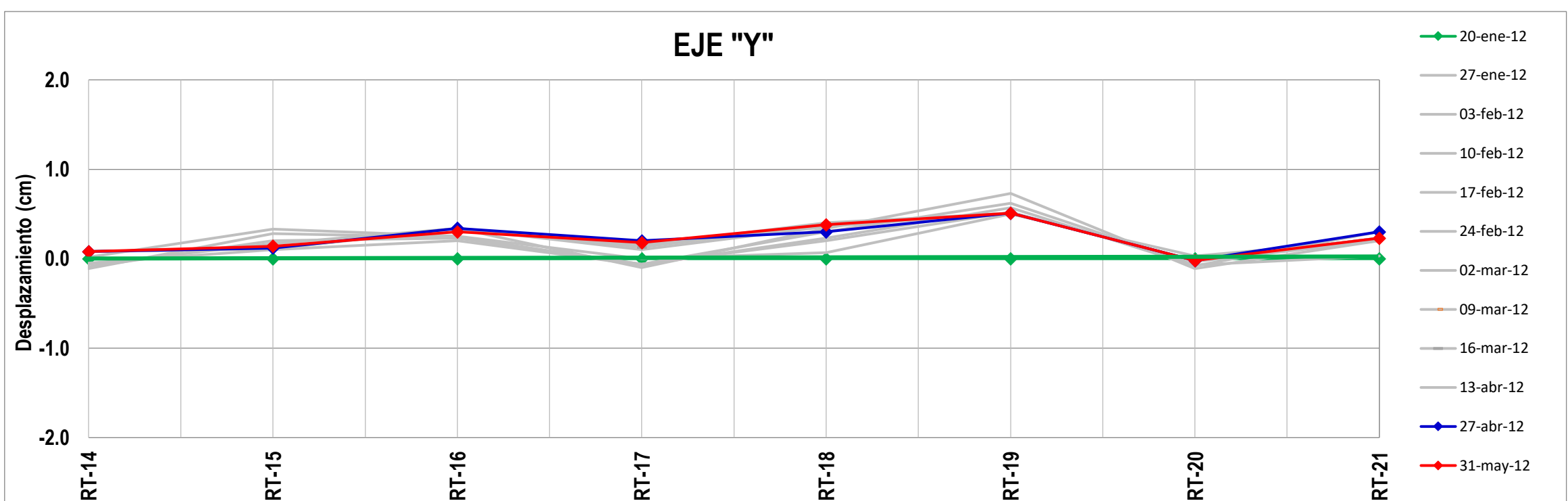
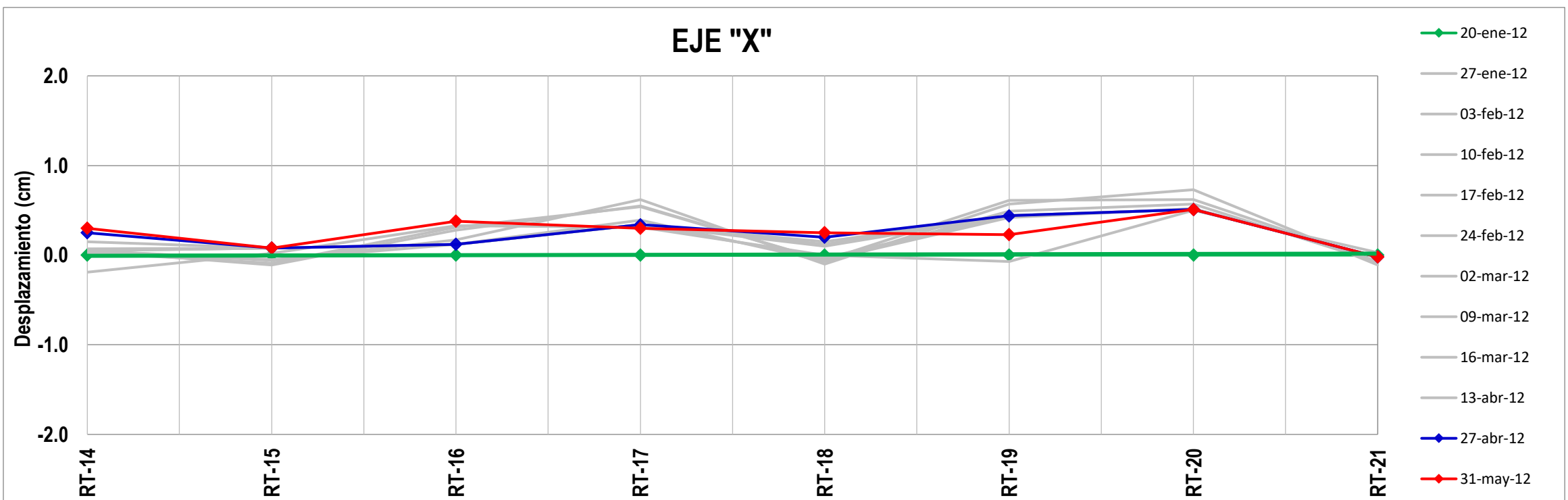
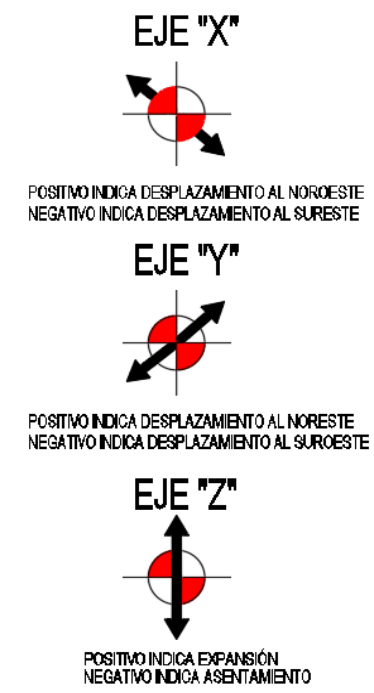


# REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS SUPERFICIALES SOBRE MURO MILÁN

LOCALIZACIÓN DE REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS SUPERFICIALES



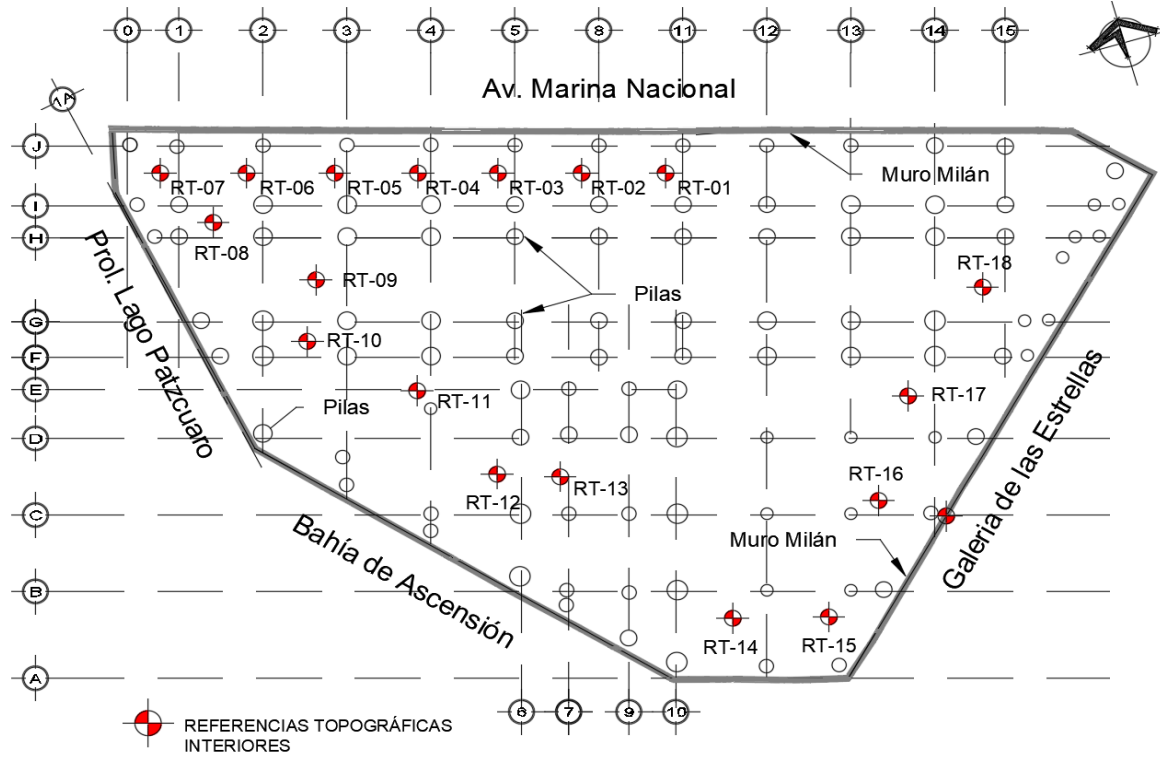
ORIENTACIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS





# REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS INTERIORES EN PLANTILLA DE NIVEL -15.90 M

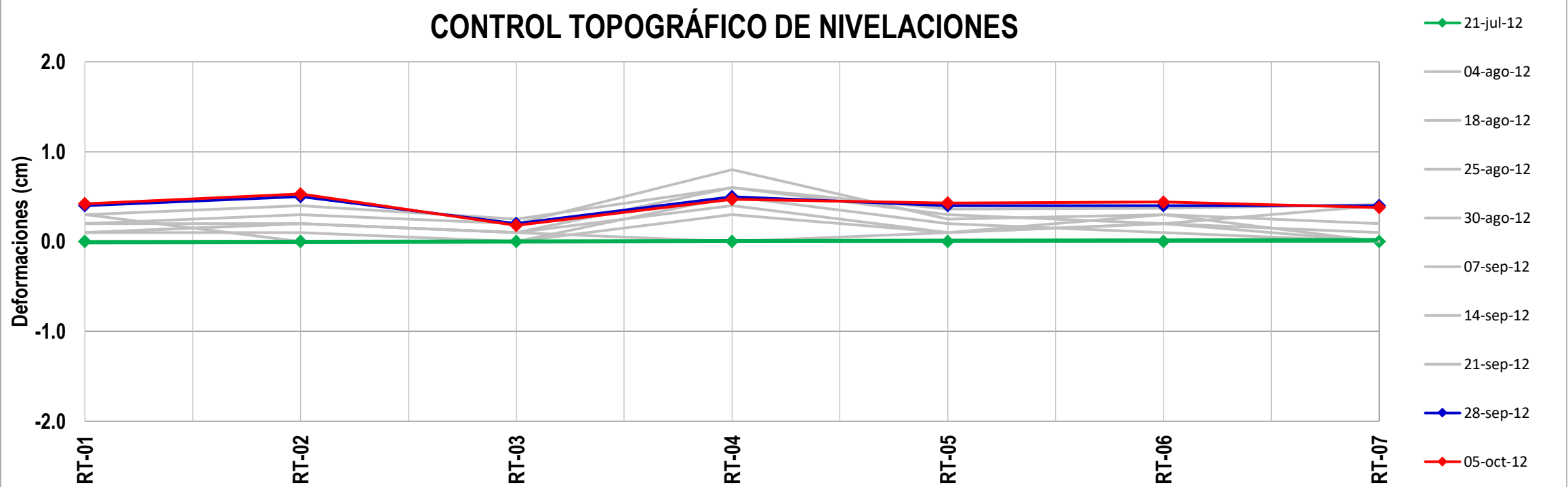
LOCALIZACIÓN DE REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS INTERIORES



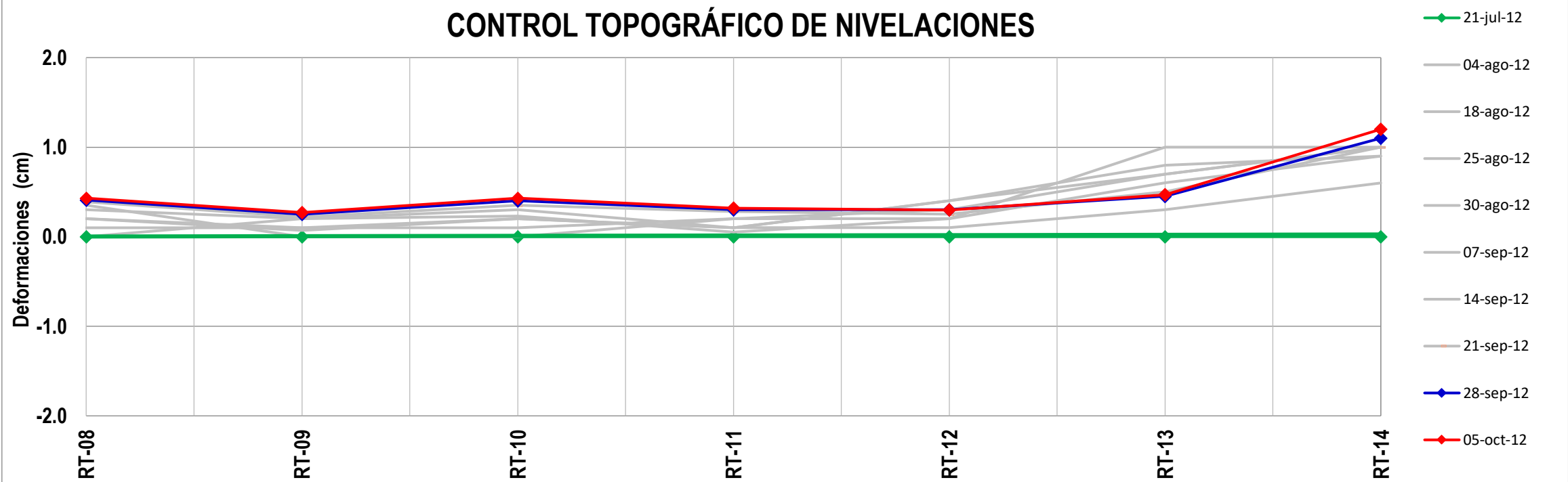
ORIENTACIÓN DE LAS DEFORMACIONES



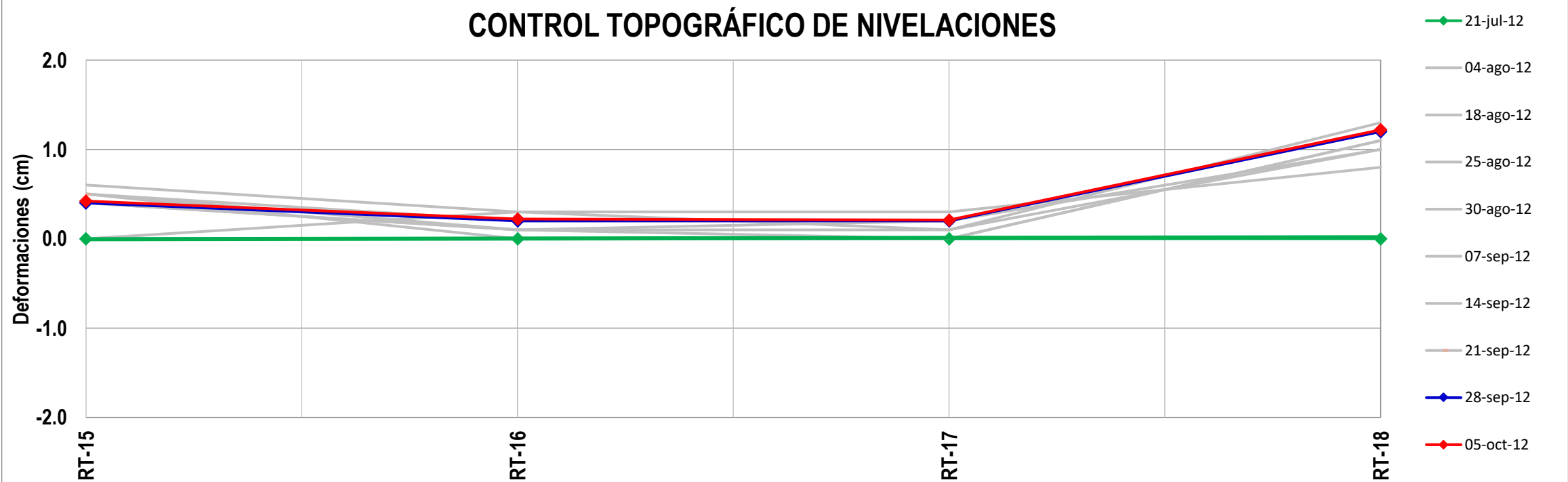
CONTROL TOPOGRÁFICO DE NIVELACIONES



CONTROL TOPOGRÁFICO DE NIVELACIONES



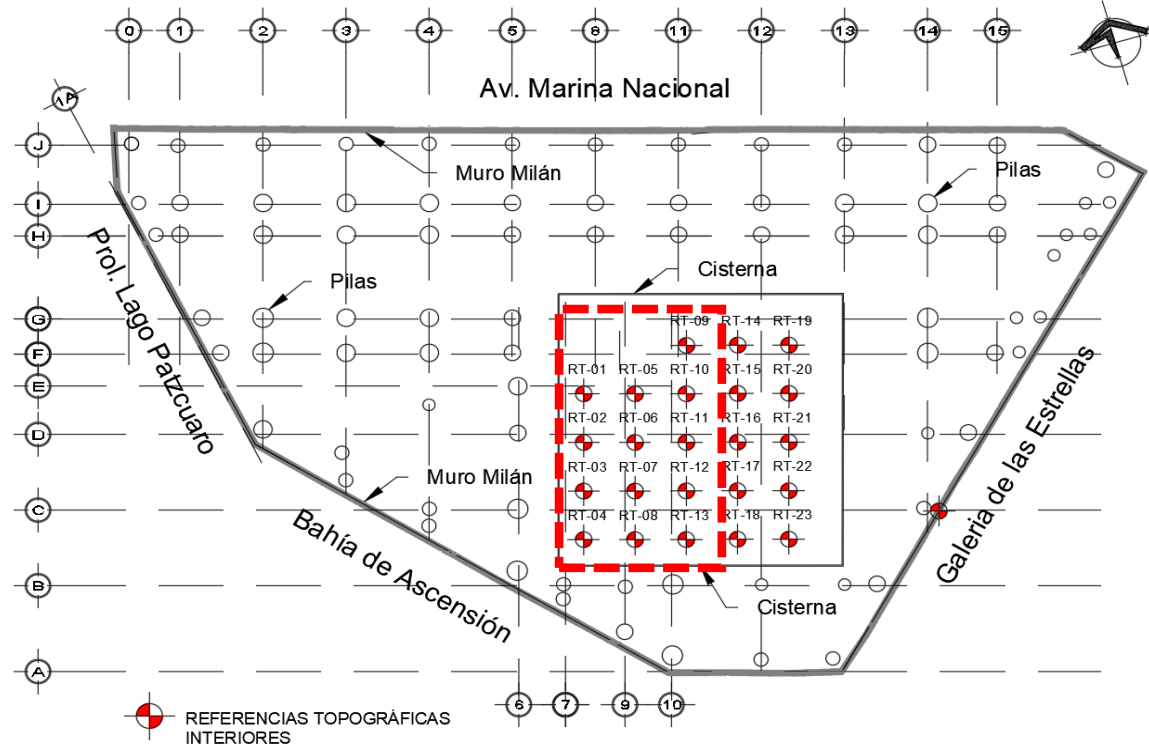
CONTROL TOPOGRÁFICO DE NIVELACIONES





# REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS INTERIORES EN PLANTILLA DE NIVEL -18.70 M

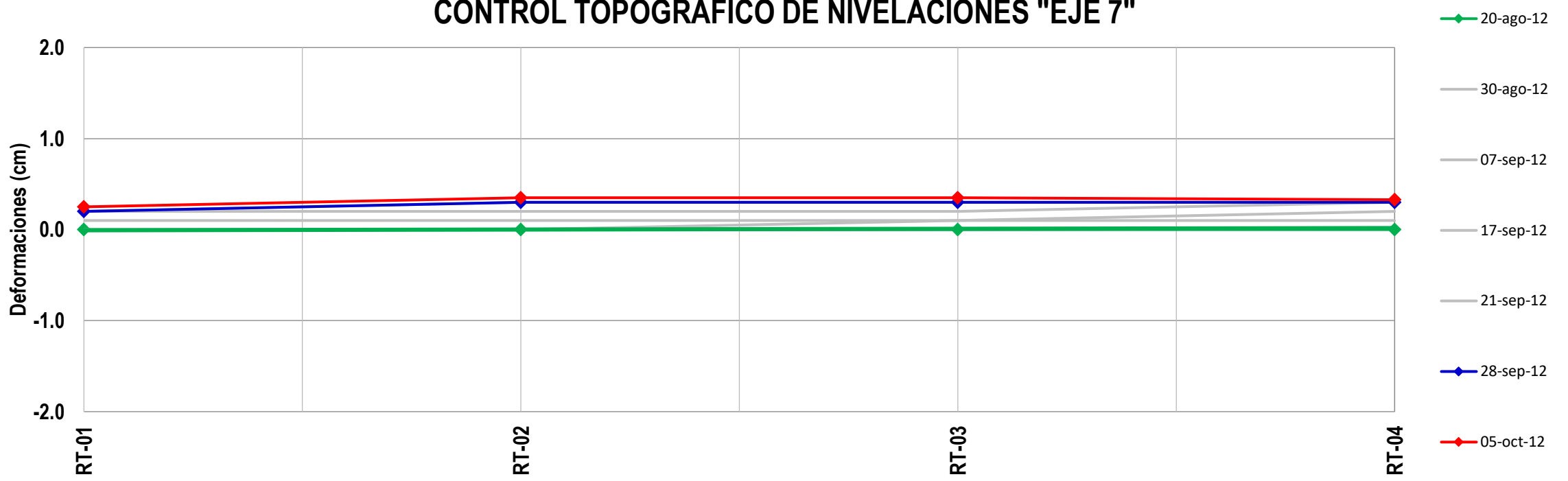
LOCALIZACIÓN DE REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS INTERIORES



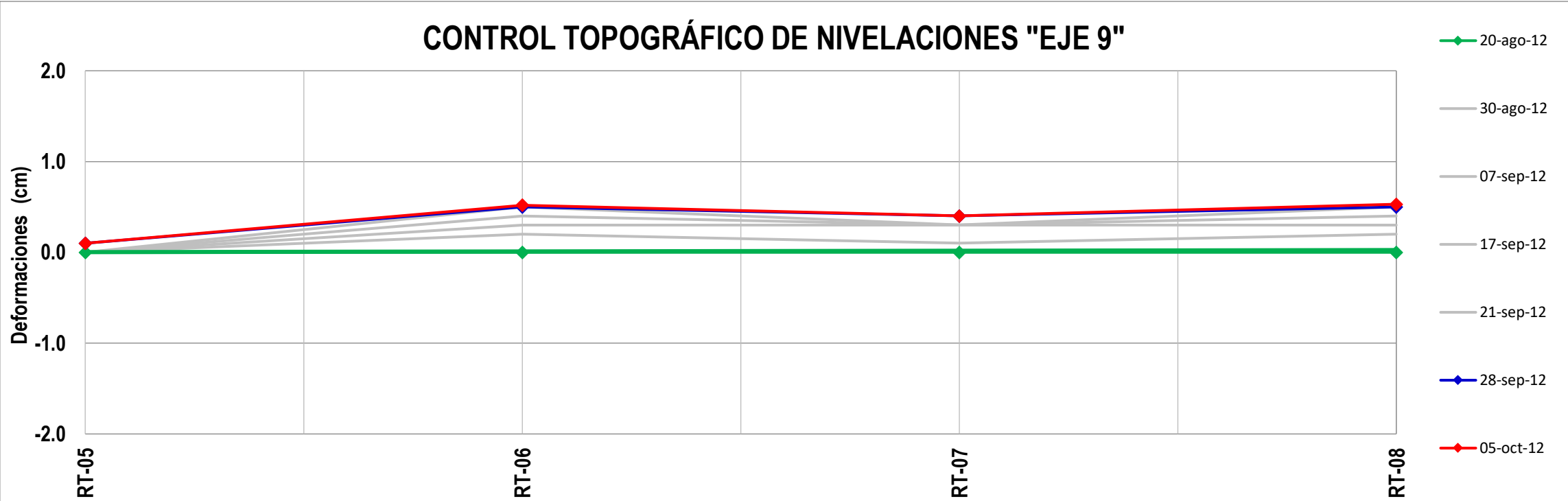
ORIENTACIÓN DE LAS DEFORMACIONES



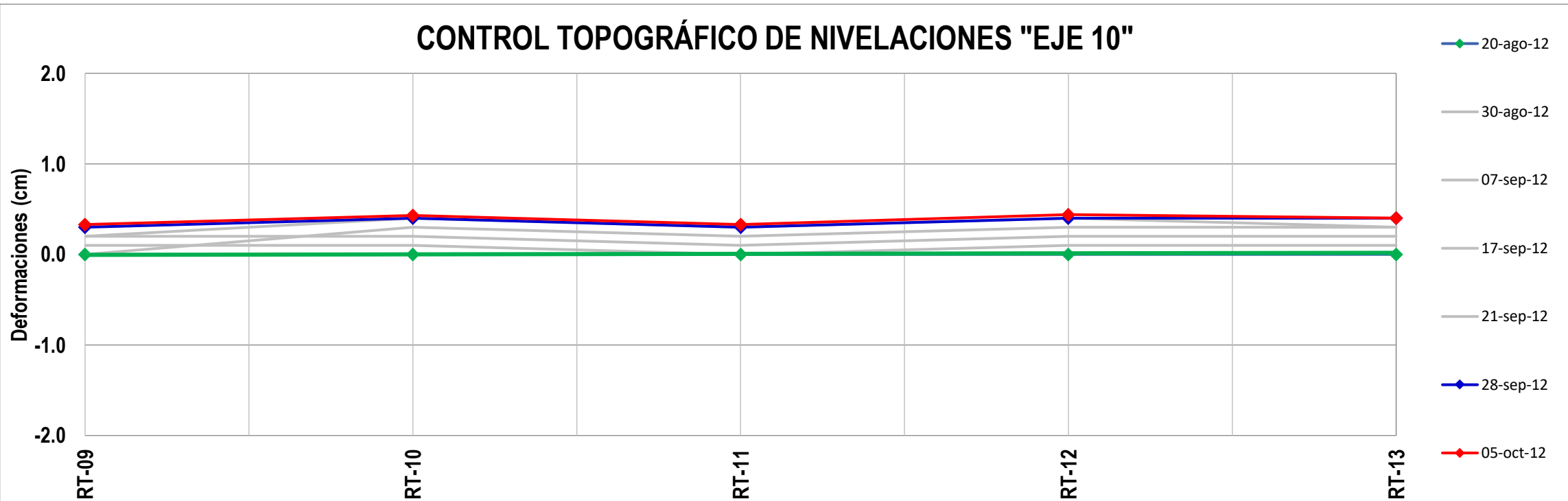
CONTROL TOPOGRÁFICO DE NIVELACIONES "EJE 7"



CONTROL TOPOGRÁFICO DE NIVELACIONES "EJE 9"



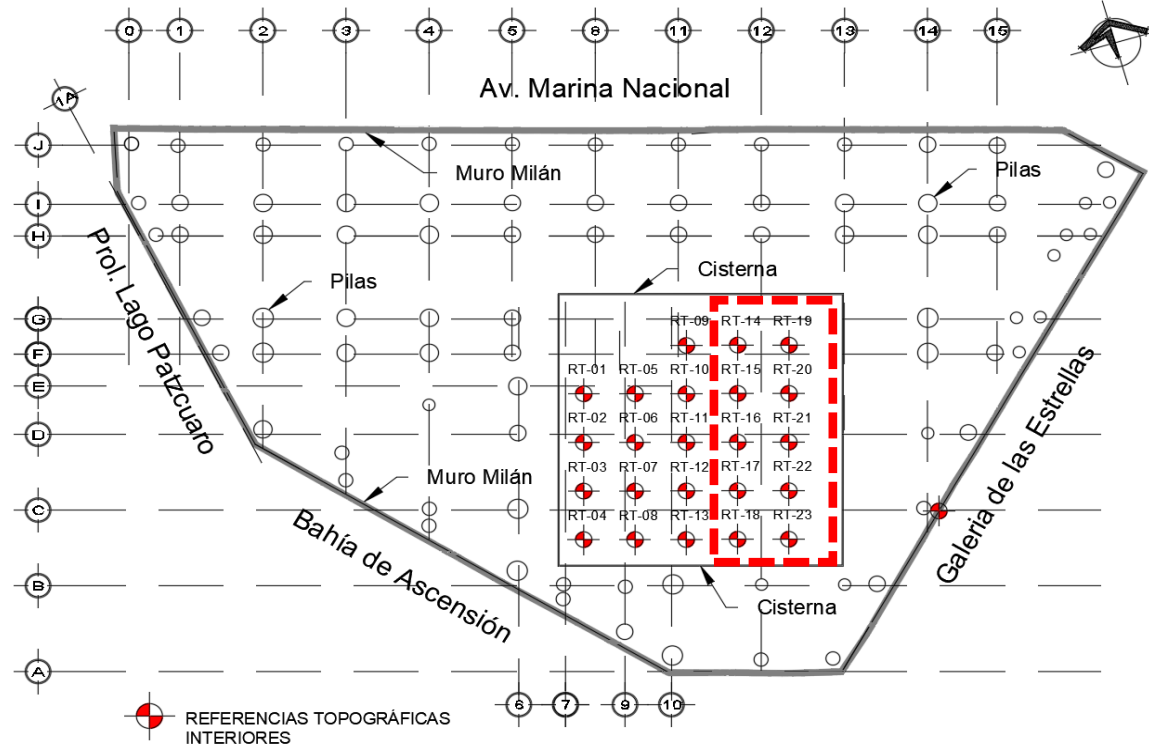
CONTROL TOPOGRÁFICO DE NIVELACIONES "EJE 10"





# REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS INTERIORES EN PLANTILLA DE NIVEL -18.70 M

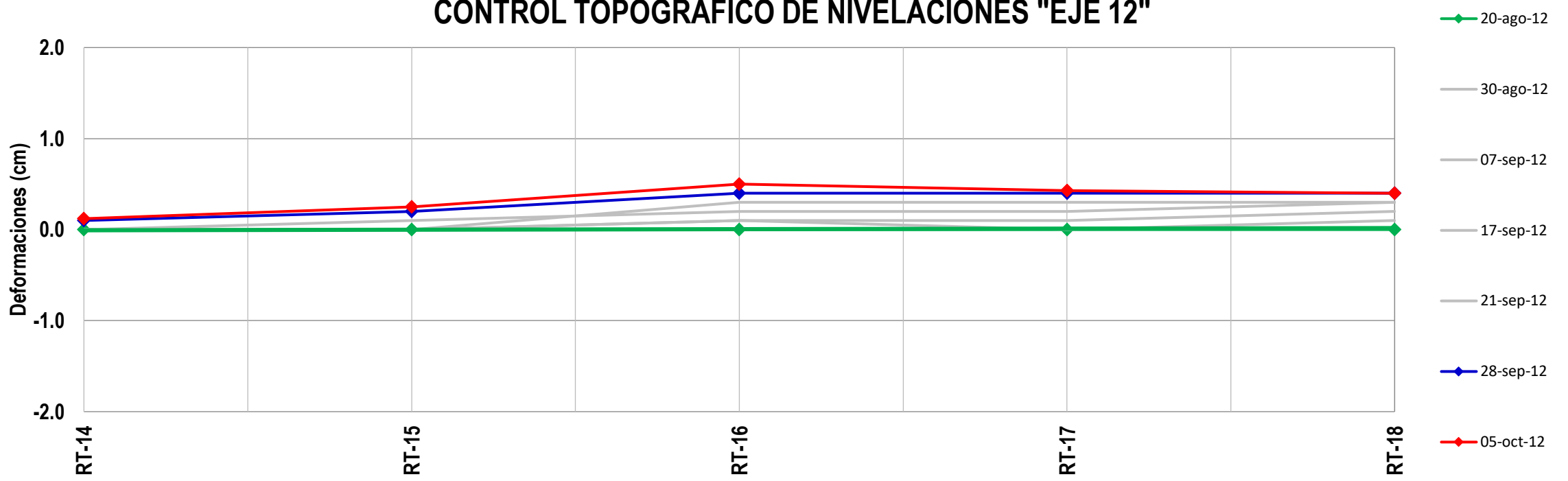
LOCALIZACIÓN DE REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS INTERIORES



ORIENTACIÓN DE LAS DEFORMACIONES



CONTROL TOPOGRÁFICO DE NIVELACIONES "EJE 12"



CONTROL TOPOGRÁFICO DE NIVELACIONES "EJE 13"

