

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MÉXICO**



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“Monitoreo vertical en la Terminal Pantitlán del Sistema
de Transporte Colectivo (Metro)”**

T E S I S

Como requisito para obtener el título de

Ingeniero Topógrafo y Geodesta

P r e s e n t a

MARISOL MANCERA CEDILLO

DIRECTOR DE TESIS

ING. BENITO GÓMEZ DAZA



MÉXICO, D. F.

OCTUBRE 2004



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.



FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/192/2001

Señorita
MARISOL MANCERA CEDILLO
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. BENITO GOMEZ DAZA, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO TOPÓGRAFO Y GEODESTA.

"MONITOREO VERTICAL EN LA TERMINAL PANTITLAN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO (METRO)

- I. INTRODUCCIÓN
- II. ANTECEDENTES CONSTRUCTIVOS
- III. CONTROL HORIZONTAL
- IV. CONTROL VERTICAL
- V. ANÁLISIS DE HUNDIMIENTO
- V. CONCLUSIONES

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria a 14 noviembre 2001.
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg.

ÍNDICE	Página
INTRODUCCIÓN	1
1.- ANTECEDENTES CONSTRUCTIVOS	2
1.1 Proyecto preeliminar	3
1.2 Descripción de la cimentación de la línea 9	5
1.2.1 Estación Pantitlán de la línea 9	5
1.2.2 Pasarelas y Distribuidores de transbordo	5
1.2.3 Puentes peatonales	5
1.3 Descripción de la estructura de la línea 9	6
1.4 Descripción metodológica	7
1.4.1 Exploración y muestreo	7
1.4.2 Planimetría	9
1.4.3 Nivelación	10
1.4.4 Banco de Nivel Profundo	10
1.5 Descripción de problemas estructurales y consecuencias	12
1.6 Identificación de problemas en construcciones vecinas	14
2.- CONTROL HORIZONTAL	17
2.1 Reconocimiento general del Conjunto Pantitlán	17
2.2 Método de levantamiento	21
2.2.1 Levantamiento geodésico del Conjunto Pantitlán	21
2.2.2 Planimetría del Conjunto Pantitlán	24
2.3 Cálculo y representación gráfica	27
2.3.1 Posicionamiento con GPS	27
2.3.2 Poligonal	27
2.3.3 Edición y Dibujo	28

ÍNDICE	Página
3.- CONTROL VERTICAL	31
3.1 Reconocimiento General del Conjunto Pantitlán	31
3.2 Método de nivelación	32
3.2.1 Equipo empleado	33
3.3 Banco de Nivel Profundo	35
3.4 Nivelación del tramo de Banco de Nivel Peñón-Banco de Nivel Profundo	35
3.5 Nivelación de los componentes constructivos del Conjunto Pantitlán	36
4.- ANÁLISIS DE HUNDIMIENTO	82
4.1 Análisis de hundimientos para estructuras clave del Conjunto Pantitlán	84
4.2 Análisis de hundimiento regional	87
4.2.1 Antecedentes del hundimiento regional del Valle de México	87
4.2.2 Antecedentes de hundimiento regional del Conjunto Pantitlán	89
5.- CONCLUSIONES	94
BIBLIOGRAFÍA	95

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**; por que cualquier frase de agradecimiento no será suficiente para manifestarle el orgullo de formar parte de la máxima casa de estudios.

A la **Facultad de Ingeniería**; por brindarme no solo las herramientas en mi formación profesional, porque también me enseñaste a ver y sacar la fortaleza, humildad y coraje para enfrentarme a los retos que me presente la vida.

Al **Instituto de Ingeniería**; por su preocupación en formar grandes ingenieros.

A mi Director de Tesis Ing. **Benito Gómez Daza**; por su enorme paciencia y colaboración para la elaboración de este trabajo.

A mis **Abuelitos Don Agustín y Doña Ofelia**; les agradezco infinitamente todo su cariño, paciencia, tiempo, oraciones, preocupación y dedicación que me han tenido siempre; y esta de más decirlo pero han sido los mejores padres y abuelitos.

A mis **Papas Yolanda y Octavio**; por su apoyo siempre incondicional, de no ser por todos los sacrificios que han hecho yo no habría llegado a cumplir este sueño, los quiero muchísimo.

A mis hermanos **Adriana y Octavio**; por su cariño, las peleas, sus preocupaciones, todo lo que hemos compartido y lo que aun falta.

A mis tíos **Alejandro, Alfredo y Jesús**; por que siempre han estado conmigo en las buenas y en las malas, acompañándome en todos los momentos importantes y los menos; gracias porque han sido unos padres para mi.

A mi mentor **Dr. Eddie Aguilar Murguía**; no importa lo lejos o cerca que estés tus siempre atinados y bien intencionados consejos, sin hacer de menos tu preocupación por mi persona, los valoro, atesoro y llevo a la práctica siempre; gracias por ser la persona que eres.

A mi amiga **Rosa**; por todos los momentos divertidos, serios, tristes, pero han sido cada uno de estos parte inolvidable de nuestra vida juntas desde la preparatoria, universidad y lo que falte, mil gracias mugrosa.

A mis amigos de la carrera: **Guadalupe García, Guadalupe Ramírez, Lizbeth Guarneros, Daniel, Fernando, Rolando, Rogelio, Erick, Arturo Cabrera, Arturo Arenas**, por todos los momentos que convivimos en la facultad, por las competencias entre nosotros las cuales hicieron y hacen más estimulante la carrera; sin olvidar el apoyo, consejo, consuelo y regaños que nos brindamos, tanto dentro como fuera de la facultad, gracias.

A mis amigos de la facultad de ingeniería de la carrera de computación: **Edmundo, Ulises, Uriel, Yamil Fahar, y Miguel**, de la carrera de civil: **Mauricio Arellano, Vicente Santin, Ernesto Tovar, Eduardo, Irais, Enrique Osnaya, Miguel Escalante, Arturo B. Michelle, Francisco Carreon, Claudia** (eras más ingeniero civil que administradora), de ciencias de la tierra: **Rodolfo-Guillermo- Gabriel**(por estar siempre conmigo), **Irma** (tus observaciones siempre tan oportunas), y **Claudia**; de mecánica e industrial a: **Gonzalo Gamboa, Ulises Peñuelas, y Ernesto Berrones** (tu apoyo incondicional imborrable). Por que con cada uno de ustedes pase siempre más de un momento inolvidable, y juntos hemos vivido y atravesado eventos agradables y otros no tanto, pero siempre nos hemos demostrado mutuo apoyo, infinitas gracias.

A mis sobrinos **Juan Carlos y Leonardo Isai**; por su nobleza y su carácter que iluminan mi vida desde su llegada.

"Aquello que sale del corazón, lleva el matiz y el calor de su lugar de origen"

MARISOL MANCERA CEDILLO

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que más afecta a las grandes urbes es el de los hundimientos de las pesadas estructuras de los edificios y como tal, la Ciudad de México no ha sido la excepción. Por lo que el Gobierno de México, así como Institutos de Investigación, se han visto en la necesidad de crear planes y/o soluciones para reducir este fenómeno.

La naturaleza de los depósitos del suelo que subyace en esta línea del metro de la Ciudad de México es la razón principal de este comportamiento, ya que la ubicación del Conjunto Pantitlán se encuentra en la zona III o zona del Lago Virgen, la cual ha experimentado una intensa extracción del agua mediante bombeo. Esta explotación ha generado hundimientos en los depósitos lacustres del lago de Texcoco, que ha la fecha se siguen presentando debido a los abatimientos de los niveles piezométricos, generando lo que se conoce como hundimiento regional del Valle.

En el presente trabajo el capítulo uno nos describe la cimentación del conjunto y de las estructuras aledañas a este, así como la metodología empleada para llevar a cabo el trabajo, y algunos de los problemas y consecuencias que provocan la inestabilidad y afectan el buen funcionamiento de la línea 9 del conjunto.

En el capítulo dos se describe el control horizontal, el método de levantamiento planimétrico y geodésico, se hace una breve descripción del equipo empleado, de la edición y dibujo de la poligonal y de todos los elementos constructivos del conjunto.

El capítulo tres es la descripción del control vertical, el método mas adecuado para llevar a cabo las nivelaciones, el equipo necesario, y se presentan las gráficas y tablas de nivelación de los componentes constructivos que se levantaron y quedaron plasmados en el capítulo dos.

El capítulo cuatro se hace un análisis de hundimiento de los elementos nivelados en el capítulo anterior de manera más conjunta, aquí se toma en cuenta las zapatas donde se encuentran cimentadas dichas estructuras, se hace un análisis general de hundimiento del Valle de México y del Conjunto Pantitlán.

En el capítulo final concluimos las consecuencias que tienen los hundimientos de algunas estructuras y como afectan no solo a la línea 9, pues se observa que afecta a todas los elementos aledaños y que de alguna forma están unidos o conectados al conjunto Pantitlán.

1. ANTECEDENTES CONSTRUCTIVOS

La historia del metro se enmarca en la iniciación del proceso de modernización de la ciudad de México; y la idea de construir en la Ciudad un tren subterráneo aparece por primera vez en 1958, a fines de la administración del presidente Adolfo Ruiz Cortines. En ese tiempo fue desechada dicha idea no solo por la magnitud de la inversión que hubiese requerido y las limitaciones financieras por las que atravesaba el país en aquel entonces, sino por las dificultades técnicas de la construcción que dicha obra ocasionaría, ya que estas dificultades estarían pautadas por las características del subsuelo de la ciudad y por el hecho de encontrarse asentada en una zona sísmica.

Sin embargo, el proyecto tuvo un indiscutible apoyo en el Ingeniero Bernardo Quintana, que al frente de la compañía ICA (Ingenieros Civiles Asociados) fue uno de sus principales promotores, junto con el General Alfonso Corona del Rosal, entonces jefe del Departamento del Distrito Federal y sobre todo total respaldo político del Presidente Gustavo Díaz Ordaz; fue así que en 1958, ICA empezó a realizar una serie de estudios que permitirían elaborar un ante proyecto y más tarde el proyecto ejecutivo de construcción de un Metro para la Ciudad de México. Entre estos proyectos destacaron los siguientes: el hundimiento de la ciudad y su forma de contrarrestarlo en las construcciones subterráneas y de superficie, las características y el comportamiento del subsuelo de la Ciudad de México, junto con un análisis crítico de la construcción, instalaciones y operación de los 33 principales metros del mundo, y un estudio de la situación de la red vial de la ciudad de México y de sus perspectivas. Estos estudios junto con obras civiles como el drenaje profundo le permitió a ICA desarrollar una serie de técnicas aplicables a la eventual construcción del metro.

De estos estudios partió el diseño de una red de transporte colectivo, así como el trazo de las líneas que la componen; y que están sujetos a una serie de modificaciones determinadas tales como el tipo de subsuelo por donde han de pasar los túneles, las instalaciones subterráneas de servicios públicos en las inmediaciones, los monumentos históricos cercanos, los restos arqueológicos ocultos, las características demográficas de los puntos que se enlazan, etc.; con base en lo anterior, se estableció el trazo definitivo de la línea, que es el resultado de una serie de etapas sucesivas.

La primera etapa de construcción del Metro se inicia el 19 de Junio de 1967 y concluye el 10 de Junio de 1972. En esta primera etapa la red del Metro consta de tres líneas: la línea 1 que va de Zaragoza-Chapultepec; la línea 2 que va de Tacuba-Taxqueña; y la línea 3 que corre de Tlatelolco-Hospital General.

La segunda etapa se inicia en 1977, en la cual se identifican dos fases, la primera corresponde a las prolongaciones de la línea 3 hacia el norte, de Tlatelolco a la Raza, y hacia el sur, de Hospital General a Zapata. Como segunda fase de esta etapa se inició la construcción de las líneas 4 y 5. Con la conclusión de la segunda etapa, a fines de 1982, la red del metro alcanzó una longitud de 79.5 kilómetros y el número de estaciones aumentó a 80.

La tercera etapa de construcción constó de ampliaciones a las líneas 1, 2, y 3 y se inician dos líneas nuevas, la 6 y 7; por lo que la red del Metro se incrementa en 35.2 kilómetros y el número de estaciones aumenta a 105.

La cuarta etapa de construcción se compone de las prolongaciones de las líneas 6 y 7; junto con el inicio de una nueva línea, la línea 9 de Pantitlán a Tacubaya.

La quinta etapa avanzaba de conformidad con el Plan Maestro del Metro en su revisión de 1985; y que prevenía concluir, la ampliación de la línea 4 de Santa Anita a Santa Ana; junto con la ampliación de la línea 7 de Barranca del Muerto a Ciudad Universitaria, igualmente marcaba el inicio de la línea 8, de Indios Verdes a Ejército Constitucionalista; y finalmente el inicio de la línea 10 de Hipódromo a Villa Aragón; pero dicho programa se revisó nuevamente en 1988, modificándose esta quinta etapa de construcción; y se decidió construir la línea A de Pantitlán a La Paz. La primera extensión de la Red del Metro al Estado de México, aunque ya se había considerado este trazo como una línea de tren subterráneo, pero se optó finalmente para esta línea por una solución de red superficial y trenes de ruedas férreas en lugar de neumáticos, ya que se reducían los costos de construcción y mantenimiento. Por lo tanto se construyó un puesto de control y talleres exclusivos para la línea A. Con su inauguración el 12 de Agosto de 1991, también se agregaron 10 estaciones y 17 kilómetros de longitud a la red; teniendo así correspondencia con las líneas 1, 5 y 9 del Conjunto Pantitlán. Al finalizar esta etapa la longitud del Metro se había incrementado en 37.1 kilómetros añadiendo 2 nuevas líneas y 29 estaciones.

Actualmente se han concluido seis etapas de la Red del Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México; en donde hasta 1998 según el Programa, la red suma 201 kilómetros y 175 estaciones. Entre las cuales forma parte como una de las más importantes por tener uno de los más altos volúmenes de usuarios por día la terminal Pantitlán, la cual se ha denominado Conjunto Pantitlán ya que es terminal de las líneas A, 1, 5 y 9, el cual esta también constituido por tres cuerpos de construcción que alojan las instalaciones de las líneas arriba mencionadas, junto con pasarelas elevadas, puentes peatonales, distribuidores, paraderos de autobuses, pasarelas subterráneas y un estacionamiento subterráneo.

1.1 Proyecto preliminar

Ante las anomalías observadas en las diferentes estructuras y en especial en la estación de la línea 9 del Conjunto Pantitlán, a solicitud de la Dirección General de Construcción y Obras del Sistema de Transporte Colectivo (DGCOSTC), personal académico y estudiantes de la Facultad de Ingeniería realizaron un amplio estudio del subsuelo y del comportamiento de las estructuras que conforman el conjunto, con el fin de proponer una solución al problema que presentan sus cimentaciones; y para que se propongan métodos correctivos a los problemas de hundimientos diferenciales que se han observado en estas estructuras. El estudio que llevo a cabo el Departamento de Topografía y Geodesia, se desarrolló en tres etapas que

fueron: trabajos preliminares (corresponde a trabajos en sitio), trabajos de campo y de gabinete, las cuales se describen en el presente trabajo.

Desde el inicio de la operación de la línea 9 del Sistema de Transporte Colectivo "Metro" en agosto de 1987 se detectaron deformaciones a lo largo de la estación Pantitlán, así como en estructuras adyacentes a estas instalaciones, principalmente en la línea A, provocando una alteración en el alineamiento tanto horizontal como vertical, en las vías del metro, andenes, pérdida en la forma de los puentes peatonales; y en andadores, así como en otras estructuras adyacentes a la línea 9.

El comportamiento que esta línea presenta se debe a la naturaleza de los depósitos del suelo que subyacen al Conjunto Pantitlán, ya que se tienen grandes espesores de materiales altamente deformables típicos de la zona III o zona del Lago. que se caracteriza por la presencia de suelos finos arcillosos de gran deformabilidad y poca resistencia al esfuerzo cortante. En geotecnia esto es un problema para la cimentación de edificios, sin embargo en la Ciudad de México, se tiene que tomar en cuenta para el diseño de grandes obras civiles. De lo anterior se puede anticipar que los problemas que se presentan en la estación Pantitlán de la línea 9 son causados principalmente, por la forma en la que se resolvió su cimentación.

Como se ha mencionado el Conjunto Pantitlán, se encuentra en la zona III o zona del Lago Virgen donde se localizaba un resumidero, que pertenecía al lago de Texcoco, aunado esto a la explotación irracional de los mantos acuíferos, el hundimiento regional de la Ciudad de México, junto con el peso propio de las estructuras que conforman el Conjunto Pantitlán, ha favorecido la "inestabilidad" de las instalaciones que le integran, por lo que presenta fallas y asentamientos en algunas estructuras, tales como la zona sur de la Línea 9, zona del Paradero en las pasarelas, así como en la Línea 1.

De la forma como se presentan las condiciones actuales en el conjunto, se puede asegurar que los asentamientos se han venido presentando de una forma irregular, lo que provoca deformaciones o fallas en la estructura, creando un riesgo que amenaza la seguridad del usuario como lo muestra la figura 1.1, donde se puede apreciar una visible inclinación de la estructura de la línea 9 a la salida de esta estación.

Para determinar la velocidad de hundimiento y con el fin de conocer el futuro comportamiento de la estructura que conforma todo el conjunto Pantitlán se requirió realizar un estudio topográfico que incluyó levantamientos planimétricos, y el establecimiento de un control vertical. Con base en este estudio se proporciono apoyo a las áreas de Geotecnia y Estructuras a fin de que tuvieran bases y elementos para el establecimiento de su propuesta de solución a la problemática, del conjunto Pantitlán.

El poder dar una serie de resultados como apoyo a las demás áreas, fue de una magnitud de elevada responsabilidad, y trajo consigo la planeación adecuada del

control planimétrico y altimétrico; tanto metodológicamente como de equipo, tiempos y personal.

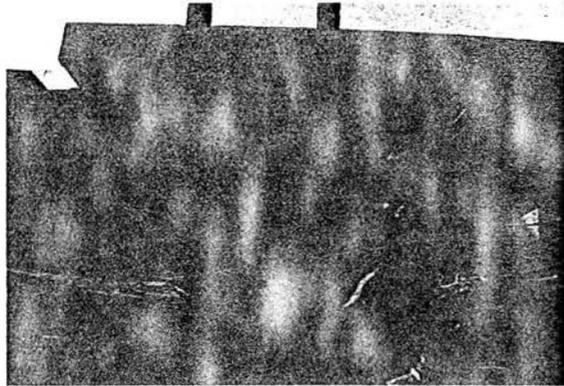


figura 1. 1 salida de línea 9 Pantitlán.

1.2 Descripción de la cimentación de la línea 9

1.2.1 Estación Pantitlán de la Línea 9

La cimentación de la Estación Pantitlán de la Línea 9 está constituida por seis zapatas rectangulares de 35.00 m por 12.00 m y 2.20 m de espesor y una zapata trapezoidal de 34.20 m de base mayor, 22.75 m de base menor, 35.00 m de longitud y 2.20 m de espesor. Ambas zapatas están construidas por losas y contratrabes que forman celdas de diferentes dimensiones. Las zapatas rectangulares cuentan con 99 pilotes de fricción de 34.00 m de longitud cada una y la zapata trapezoidal con 125 pilotes de fricción de 46.00 m de longitud. Algunas celdas tienen registros de acceso. En la zapata trapezoidal existen celdas que están rellenas con concreto ciclópeo que sirve de lastre.

1.2.2 Pasarelas y Distribuidores de transbordo

Dentro del Conjunto Pantitlán existen siete Pasarelas y cuatro Distribuidores de transbordo, cuyas estructuras están cimentadas a base de zapatas tipo cajón con pilotes trabajando a fricción.

Las siete Pasarelas y los cuatro Distribuidores cuentan en total con 37 zapatas de cimentación, de las cuales se han identificado 32, quedando 5 de las que no se encontraron datos según la información proporcionada por la DGCOSTC. De las 32 zapatas identificadas, existen 19 con características diferentes, de las cuales solamente 15 tienen planos de referencia; de las restantes no se tiene dato alguno para poder obtener sus características.

1.2.3 Puentes peatonales

Existen cinco puentes peatonales en las inmediaciones del Conjunto Pantitlán que han sido estudiados para este proyecto. De estos, cuatro son estructuras de

concreto y uno es de acero, identificados con los siguientes nombres: Puente Calle Unión (de concreto), Puente Calle Jaime Torres Bodet (de concreto), Puente Calle Uno (de concreto), Puente Calle Dos (de concreto) y Puente 1-A, 1-B y 1C (de Acero). No se encontró información alguna sobre la cimentación de los puentes.

1.3 Descripción de la estructura de la línea 9

El edificio está constituido por tres niveles: nivel del vestíbulo de línea A, nivel del vestíbulo de la línea 9 y nivel andén de la línea 9. Prácticamente todo el edificio, se constituye a base de elementos prefabricados de concreto; y se considera una estructura sumamente pesada, ya que la presión de contacto al nivel de desplantes, debido a la superestructura y su cimentación, es del orden de 7 t/m² en las zapatas rectangulares y de 12 t/m² para el caso de la zapata trapezoidal.

Describiendo los diferentes niveles de la estación tenemos lo siguiente:

En el nivel del vestíbulo de la línea A figura 1.2, el techo está formado por traves principales tipo "L" de concreto armado coladas en sitio, apoyadas sobre las columnas del entres piso en sentido transversal a la estación y por traves secundarias precoladas de sección tipo "T" con un peralte de 120 cm, colocadas en sentido longitudinal y apoyadas sobre las traves principales.



figura 1.2 nivel de vestíbulo de línea A

En el segundo nivel que es el vestíbulo de la línea 9, el sistema de traves que conforman el techo son elementos de concreto armado y existen dos tipos: las traves centrales precoladas, colocadas en sentido longitudinal a la estación, de sección tipo "T" con peralte constante de 1.7 m; y las traves principales tipo "T", coladas en sitio, dispuestas en forma transversal a la estación, con peralte variable entre 1.7 m y 2.1 m con longitud de 15.7 m. En este nivel se realizan los transbordos con las líneas 1 y 5 a través de las pasarelas peatonales (I, II, y III), siendo estas estructuras de concreto que se apoyan en el edificio, aportando cargas adicionales.

En el nivel del andén el sistema del techo está estructurado con traves principales precoladas apoyadas en sentido longitudinal sobre ménsulas de columnas en ambos lados de la estación, además por vigas secundarias de concreto de sección "TT" de 2.00 m de peralte, colocadas en sentido transversal a la estación, con

algunos claros en donde se han colocado domos o tragaluces, como se aprecia en la figura 1.3. En este nivel, también se localizan las vías, ductos de cableado, las losas de andén y los cuartos de control.

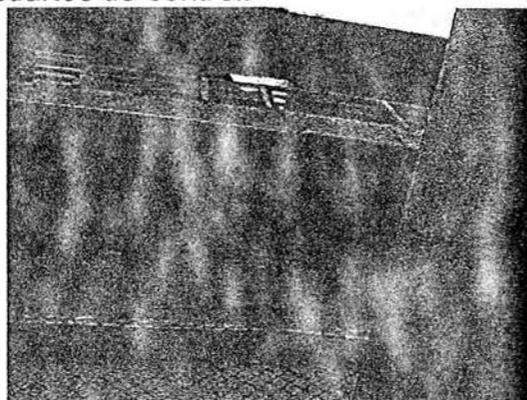


figura 1.3 nivel andén del techo de línea 9

1.4 Descripción Metodológica

Para llevar a cabo el estudio del Conjunto Pantitlán en lo concerniente al área de Topografía, se realizó primeramente un recorrido por toda la zona y el conjunto, seguido del levantamiento planimétrico, para conocer a detalle la zona de trabajo, los elementos estructurales que lo integran y los posibles problemas como de acceso a algunas de las estructuras, visibilidad, etc., que pudiesen crear contra tiempos futuros para efectuar los posteriores estudios; una vez obtenidos los planos del conjunto; el siguiente paso ha realizar fue el control vertical, contando con la ubicación de las zonas con mayor problema, se determinaron las estructuras con mayor prioridad y se dictamino cuales serían las acciones a realizar referentes a las nivelaciones, métodos, tiempos, teniendo así una matriz de acciones ha efectuar. En lo referente al trabajo de gabinete este se fue llevando simultáneamente conforme se iba avanzando en el trabajo de campo, de esta manera si se presentaba alguna inconsistencia en mediciones, o fuera necesario hacer otro trabajo fuera del programa, pudiera efectuarse sin afectar el progreso del monitoreo del conjunto.

1.4.1 Exploración y muestreo

Con el objeto de conocer las condiciones estratigráficas en el subsuelo del Conjunto se efectuaron trabajos de campo consistentes inicialmente en un reconocimiento del sitio, que permitió la programación de cinco sondeos mixtos, de cuatro sondeos de cono eléctrico, estableciendo tanto su posición como su profundidad, y de cuatro estaciones piezométricas, figura 1.4.

figura 1. 4 perforación del sondeo mixto SM-3

Con base en la información recopilada, se determino que el Conjunto Pantitlán se encuentra ubicado en la Zona III o Zona del Lago Virgen, la cual ha experimentado una intensa extracción de agua mediante bombeo. Esta explotación ha generado hundimientos en los depósitos lacustres del lago de Texcoco, que a la fecha se

siguen presentando debido a los abatimientos de los niveles piezométricos, generando lo que se conoce como hundimiento regional del valle. De acuerdo con los datos de la Comisión Nacional del Agua (C.N.A.), publicados en el Boletín de Mecánica de Suelos, los hundimientos regionales en esta zona de la ciudad de México son de 25 cm/año.

El corte estratigráfico de la estación Pantitlán de la Línea 9 que fue elaborado en 1987, permitió identificar la estratigrafía existente bajo el sitio en estudio, las características de resistencia al corte, los contenidos de agua y pesos volumétricos del subsuelo. La información recabada en este corte sirvió de complemento a los resultados obtenidos en la etapa de exploración, muestreo y laboratorio realizados para el proyecto del Conjunto Pantitlán.

Se elaboraron cortes estratigráficos del sitio en estudio, integrado por todos los perfiles geotécnicos de los sondeos realizados tanto en 1999 como en 1987, donde se resume:

- a) la clasificación de los suelos,
- b) el tipo de muestreadores y las profundidades en que se emplearon,
- c) los resultados de los sondeos con cono eléctrico,
- d) las propiedades mecánicas y resultados de laboratorio, indicando la profundidad de la muestra y el tipo de prueba, y
- e) las condiciones piezométricas.

Con base en esta información se hizo una interpretación estratigráfica y se señalaron claramente las fronteras entre los estratos característicos. Los cortes estratigráficos fueron indispensables para realizar la revisión de las diferentes estructuras y para definir las propuestas de recimentación de la estación Pantitlán de la Línea 9 y estructuras adyacentes.

Capa Superficial: constituida por rellenos de arcillas limosas y lentes de arena fina hasta una profundidad de 2.50 m.

Formación arcillosa superior (FAS): constituida por arcilla plástica con intercalaciones de lentes de arena fina, está se localizó a partir de la capa superficial hasta una profundidad promedio de 38.00 m.

Lente de arena fina: esta capa se localizó a una profundidad promedio de 9.50 m, con un espesor variable entre 0.80 m y 1.40 m.

Capa dura (CD): constituida por un estrato de limo arenoso de compacidad variable, se encontró a una profundidad promedio entre 38.00 m hasta 40.50 m; por lo que las resistencias por punta de cono en este estrato superan los 30.00 kg/cm².

Formación arcillosa inferior (FAI): esta constituida por estratos de arcilla limosa, limo arenoso y algunos lentes de arena fina, de la capa dura hasta una profundidad de 56.00 m.

Con base en esta información se hizo una interpretación estratigráfica y se señalaron claramente las fronteras entre los estratos característicos. Los cortes estratigráficos fueron indispensables para realizar la revisión de las diferentes estructuras y para definir las propuestas de recimentación de la estación Pantitlán de la Línea 9 y estructuras adyacentes.

Capa Superficial: constituida por rellenos de arcillas limosas y lentes de arena fina hasta una profundidad de 2.50 m.

Formación arcillosa superior (FAS): constituida por arcilla plástica con intercalaciones de lentes de arena fina, está se localizó a partir de la capa superficial hasta una profundidad promedio de 38.00 m.

Lente de arena fina: esta capa se localizó a una profundidad promedio de 9.50 m, con un espesor variable entre 0.80 m y 1.40 m.

Capa dura (CD): constituida por un estrato de limo arenoso de compacidad variable, se encontró a una profundidad promedio entre 38.00 m hasta 40.50 m; por lo que las resistencias por punta de cono en este estrato superan los 30.00 kg/cm².

Formación arcillosa inferior (FAI): esta constituida por estratos de arcilla limosa, limo arenoso y algunos lentes de arena fina, de la capa dura hasta una profundidad de 56.00 m.

Depósitos profundos(DP): estos depósitos se identificaron a una profundidad de 56.00 m con resistencias mayores a 145.0 kg/cm².

1.4.2 Planimetría

La poligonal fue el método de observación utilizado para la implantación, en la zona de obra, de los puntos de coordenadas conocidas. Desde estos puntos, que forman parte de la red de apoyo, se realizaron levantamientos por radiación, y todas las labores de replanteo; se tomo en cuenta la escala del plano a la que se realizaría el levantamiento de esos puntos, sino también la precisión que se esperaba en el posicionamiento de los puntos replanteados desde esa red de apoyo, que lógicamente sería superior a la de cualquier plano de escala convencional. Para la observación de la poligonal se tomo en cuenta las precauciones propias de un trabajo de este tipo. Al fin y al cabo, la calidad de estas observaciones incide directamente en el resultado final de la obra.

Antes que nada debe hacerse un estudio detallado del proyecto, del cual se extraen las precisiones que se exigen en el replanteo. Con éstas y las condiciones físicas del entorno, se decidieron los aparatos a utilizar y las características de la poligonal.

Las observaciones se hicieron siempre con las máximas garantías; en las lecturas angulares se viso al clavo, o a la señal de puntería sobre el trípode. De este modo

se redujo el error de dirección. Las distancias de ser posible, con el distanciómetro.

Fue un trabajo que requirió de un tiempo, con el cual no siempre se conto para efectuar todas las mediciones necesarias; es frecuente a los inicios de la obra sean momentos de mucho trabajo. Como profesionales responsables de la topografía de una obra debemos exigir tanto el tiempo como los medios necesarios para realizar debidamente la toma de datos de la poligonal.

En muchas ocasiones, las más de las veces se debe contar con un itinerario, antes de empezar cualquier trabajo de replanteo; pensando que cualquier simple error puede tener graves consecuencias; por tal razón se debe detallar los medios empleados, los cálculos realizados y las precisiones obtenidas.

1.4.3 Nivelaciones

El análisis de las nivelaciones permitió determinar las magnitudes y velocidades de hundimiento de cada estructura e identificar y confirmar los sitios de mayor problema y su relación con el Conjunto.

Con base en los resultados de las nivelaciones realizadas se analizó el comportamiento de cada una de las estructuras revisadas en cuanto a movimientos verticales tomando en cuenta el hundimiento regional y local del sitio en estudio, figura 1.5.

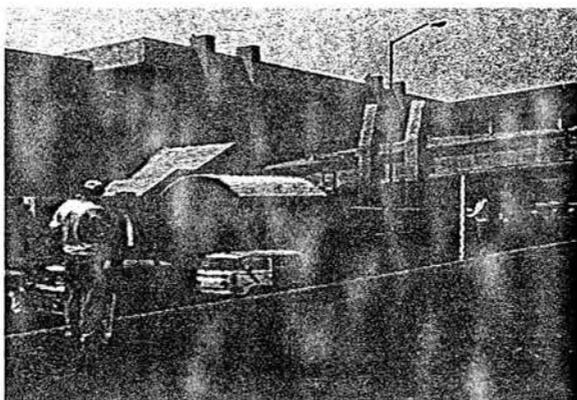


Fig. 1.5 nivelación del cajón y muro de Río Churubusco

1.4.4 Banco de nivel profundo

Se instaló un Banco de Nivel Profundo (B.N.P.) con el objetivo de determinar los desplazamientos verticales que se presentaran, durante la vida útil de las diferentes estructuras del Conjunto, así como las velocidades de hundimiento regional de la zona. El monitoreo constante a través del BNP permitió conocer e identificar los asentamientos absolutos de las estructuras.

Un banco de nivel profundo es un punto fijo que no sufre los asentamientos regionales que ocurren en la superficie del terreno y sirve de referencia confiable para la medición de desplazamientos verticales que las estructuras experimentan durante su vida útil.

El banco se instaló a 70.50 m de profundidad respecto al nivel de terreno natural. Para asegurar que su instalación se hiciera en los depósitos profundos, a partir de 68.80 m de profundidad se hicieron ensayos de penetración estándar, con estos resultados se estima que el banco sí fue instalado en un estrato duro de los depósitos profundos por lo que no tendrá desplazamientos verticales por peso propio y sólo responderá a los hundimientos regionales que sucedan en los estratos que le subyacen.

Profundidad (m)	Descripción del material
68.80 - 69.40	Limo con ceniza volcánica, color gris claro
69.40 - 70.00	Limo con ceniza volcánica, café olivo claro
70.00 - 70.50	Limo con ceniza volcánica, café olivo claro

Después de instalar la longitud completa de la tubería, en el extremo superior del tubo rígido se colocó una punta metálica que servirá como referencia fija. Adicionalmente se colocó otra punta metálica en el fondo del registro que servirá como referencia para los hundimientos superficiales de la zona, figura 1.6.; finalmente se construyó un registro de protección con tapa metálica que quedó por arriba del nivel del terreno natural, figura 1.7. Y el procedimiento de medición que se llevo a cabo fue la nivelación diferencial donde se efectuaron lecturas dobles en cada posición del aparato.

Con estos resultados se estima que el banco sí fue instalado en un estrato duro de los depósitos profundos por lo que no tendrá desplazamientos verticales por peso propio y sólo responderá a los hundimientos regionales que sucedan en los estratos que le subyacen figura 1.8.

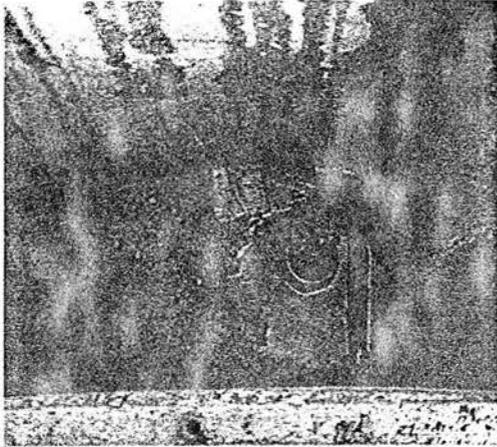


fig. 1.6 Banco de Nivel Profundo y B.N.T.I



fig. 1.7 tapa de la caja del Banco de Nivel Profundo

fig.1.8. Equipo de perforación e instalación del Banco de Nivel Profundo.

1.5 Descripción de problemas estructurales y consecuencias

A continuación se describen los problemas que se han identificado en el Conjunto Pantitlán, tanto de los que ameritan una solución urgente, los de mediano y largo plazo.

En vista de que no se contaba con información de las estructuras existentes en su conjunto, se tuvo que realizar una intensa investigación y visitas al lugar para realizar un levantamiento topográfico del lugar; y lograr desarrollar un plano llave, que contuviera las estructuras reales.

• **Cabecera sur de la estación Pantitlán de la Línea 9**

Se realizaron diversas visitas al Edificio de esta línea, concluyendo lo siguiente: se observa un emergimiento local evidente en la cabecera sur del edificio de la Estación de la Línea 9. Esto ha provocado movimientos diferenciales que han dado lugar a daños en esa zona y que se manifiestan principalmente en la fractura de pisos y muros divisorios, así como agrietamientos en elementos estructurales. En este caso no se contemplan soluciones de emergencia, pues los daños existentes no lo ameritan y algunos de ellos incluso han sido corregidos por parte de personal del S.T.C.

• **Muro de Contención en Eje 1 Norte**

Se observa un gran deterioro en el muro de contención que se ubica entre la avenida Eje 1 Norte y la cabecera sur del edificio de la Estación de la Línea 9, en un tramo de 8 m aproximadamente, quedando expuestos los armados entre las

de pisos y muros divisorios, así como agrietamientos en elementos estructurales. En este caso no se contemplan soluciones de emergencia, pues los daños existentes no lo ameritan y algunos de ellos incluso han sido corregidos por parte de personal del S.T.C.

- ***Muro de Contención en Eje 1 Norte***

Se observa un gran deterioro en el muro de contención que se ubica entre la avenida Eje 1 Norte y la cabecera sur del edificio de la Estación de la Línea 9, en un tramo de 8 m aproximadamente, quedando expuestos los armados entre las grietas de considerable tamaño, tanto en el interior de la estación, como en el exterior de la misma.

- ***Puente Peatonal sobre Eje 1 Norte***

Se visitó este puente en varias ocasiones, para conocer su problemática, como la posible solución a la estructura. Al no contar con ningún plano de referencia, se efectuó un levantamiento completo del mismo desde el punto de vista estructural y topográfico.

El puente peatonal presenta varios daños, el principal en dos columnas de apoyo de concreto, correspondientes a apoyos intermedios, que hacen en el muro del paso vehicular deprimido de la Av. Churubusco, que se observa un giro pronunciado, provocando una separación entre este muro y el cajón del Río Churubusco.

- ***Puente Peatonal Calle Unión***

Se visitó en varias ocasiones y se realizó el levantamiento de esta estructura, al no contar con planos de los mismos.

En este puente, constituido por vigas preesforzadas, se observó principalmente falla en la conexión entre ellas.

- ***Puente Peatonal Calle Uno y Puente Peatonal Calle Dos***

Se visitaron en varias ocasiones y ejecuto el levantamiento de estas estructuras, ya que no se contaba con información original.

Estos puentes están contruidos con elementos prefabricados; y se observa separación en la conexión de elementos del cabezal, con la deformación de su respectivo conector en la conexión.

En el caso de todos los puentes es necesario llevar acabo reparaciones en las conexiones de sus cabezales; en el caso del puente sobre el eje 1 Norte también requiere de reparaciones urgentes en las columnas de apoyo como consecuencia que tiene el muro de Río Churubusco sobre este puente.

- ***Pasarelas I, II y III***

Construidas con elementos prefabricados, se observan movimientos diferenciales de la cimentación, que a su vez han inducido separaciones en las conexiones de los elementos estructurales y pérdida parcial del apoyo, tanto en la zona de comunicación con los distribuidores, como con la propia Estación de la Línea 9.

En particular, en la Pasarela III, ubicada cerca de la cabecera norte de la Estación de la Línea 9, las condiciones de apoyo de las traveses que llegan al distribuidor son alarmantes, ya que se han colocado columnas metálicas tubulares para recibir a estas traveses. Esta medida fue tomada por el personal del S.T.C.

- ***Zapata rectangular***

Analizando transversalmente la estructura de la Estación, se observa que el extremo poniente de las zapatas (en el eje G) presenta un menor hundimiento respecto al lado poniente (en el eje A), lo cual provoca un giro en la Estación.

- ***Zapata romboidal***

Esta zapata ha presentado hundimientos regulares de magnitud importante. Este comportamiento se debe a la magnitud de las cargas que recibe, originando un hundimiento generalizado que desnivela constantemente las vías del metro especialmente en el acceso a la Estación.

- ***Zapata trapezoidal***

Para definir la condición en cuanto a los movimientos diferenciales de la zapata trapezoidal, se ubicaron seis puntos sobre el nivel de azotea y el lecho bajo de la losa del nivel andén; esta nivelación permitió determinar la diferencia vertical entre dichos puntos; y se realizó tomando como base el banco de nivel profundo.

Por otro lado, al perforar la losa de fondo de una de las celdas de la zapata trapezoidal, se encontró una separación de 11 cm entre la losa y el terreno natural. Esta separación confirma que en la zapata, los pilotes trabajan a fricción combinada, además el levantamiento topográfico indica que se han producido asentamientos diferenciales transversales a la estación con una magnitud promedio de 0.0045 m del claro, los cuales son superiores a 0.004 m del claro, valor límite para estructuras de concreto que marcan las normas NTCDCC (Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones). Este levantamiento indicó también que se han producido asentamientos diferenciales con respecto a las zapatas rectangulares, siendo este alrededor de 40 cm entre la zapata trapezoidal y la contigua zapata rectangular, valor que también es excesivo de acuerdo a las NTCDCC, 1995.

En lo referente a los distintos tipos de zapatas con el cual cuenta el Conjunto Pantitlán, podemos decir que las consecuencias que se han presentado en la línea 9 se debe al diseño diferente sobre todo de las zapatas trapezoidal y rectangular, otra es a la profundidad promedio de la primer capa dura (38 m) de la cabecera sur, y a que esta no sigue al hundimiento regional, si no que se queda.

1.6 Identificación de problemas en construcciones vecinas

Como consecuencia de los problemas de diseño de las zapatas, podemos mencionar algunos daños causados tanto en zona de andenes, zona de salida de vías, locales técnicos y pisos; auxiliándonos también de los recorridos hechos a

2. Muro de contención ubicado en zona de cabecera sur del edificio de la Estación Pantitlán de la Línea 9 y la avenida Eje 1 Norte, es una estructura de concreto muy deteriorado con degradación parcial de sus armados y concreto figura 1.11.
3. Puente peatonal que cruza la avenida Eje 1 Norte, conformado por tres cuerpos principales de acero, con algunos daños en su estructura como son: deterioro de sus barandales, placas de piso, y daños en dos de sus columnas de concreto de apoyo ubicadas sobre el cajón del Río Churubusco.
4. Primer puente peatonal al norte de la estación Pantitlán de la Línea 9 (calle Unión), que es una estructura con elementos prefabricados de concreto, siendo su daño el aplastamiento de su conexión entre elementos prefabricados horizontales.
5. Tercer y cuarto puentes peatonales al norte de la Estación Pantitlán de la Línea 9, ubicados en calle Uno y Dos respectivamente, ambas estructuras con elementos prefabricados de concreto que muestran separación en zona de conexión de elementos horizontales.
6. Pasarelas peatonales de acceso a la Estación Pantitlán de la Línea 9, donde principalmente se deben cuidar algunas de sus conexiones y puntales de soporte en la pasarela III (norte) donde ya se ha presentado la pérdida de soporte de algunos de sus elementos prefabricados que conectan con un distribuidor peatonal ("queso" o distribuidor) figura 1.12.

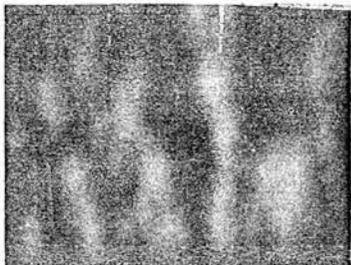


figura 1.10



figura 1.11

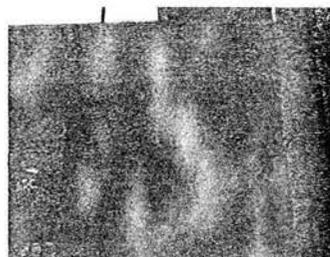


figura 1.12

Sin embargo se tienen otros tipos de daños, que afectan la operación de los trenes que debido a que se presenta un hundimiento diferencial tanto longitudinal como transversal, lo que afecta a los niveles de los andenes y de las vías; y da lugar a renivelaciones.

Por otra parte la nariz de andén vía "Z" (vía central de la estación) del lado oriente, se encuentra por arriba del nivel de la del lado poniente por 35 mm, también se tiene una diferencia de elevaciones de la cabecera norte a la cabecera sur de 341 mm, esto no va de acuerdo a las especificaciones técnicas del STC, por que estas deben proyectarse en tangente sin pendiente ni sobreelevación, esto para evitar que se tengan que aplicar los frenos cuando está un tren estacionado para ascenso y descenso de usuarios figura 1.13; estas diferencias de niveles afectan a los usuarios al ascender y descender, ya que se presenta un peralte mayor a lo normal.

deben proyectarse en tangente sin pendiente ni sobreelevación, esto para evitar que se tengan que aplicar los frenos cuando está un tren estacionado para ascenso y descenso de usuarios figura 1.13; estas diferencias de niveles afectan a los usuarios al ascender y descender, ya que se presenta un peralte mayor a lo normal.

Estas alteraciones de trazo y perfil en las vías, da como resultado bamboleos y golpeteos al paso del tren, originando a su vez los siguientes efectos:

- Desgaste excesivo del material rodante (neumáticos, ruedas de seguridad, suspensión, etc...)
- Desgaste de los elementos de vía al existir rozamiento, entre las cejas de las ruedas metálicas y los rieles, así como sus elementos de fijación
- Se pierde el confort del usuario

Debido a los daños en zona de salida de vías el Sistema de Transporte Colectivo se vio en la necesidad de disminuir la velocidad de arribo a la estación terminal Pantitlán para mantener los rangos de seguridad y confort del usuario.

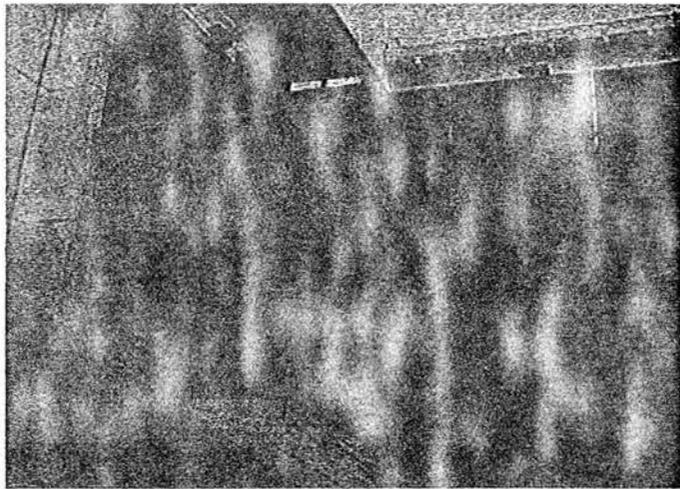


figura 1.13 cabecera de línea 9

De aquí parte la necesidad de un estudio Topográfico minucioso de planimetría y altimetría para conocer el comportamiento de las diferentes estructuras que conforman el conjunto Pantitlán a efecto de que las áreas especialistas propongan las mejores alternativas de solución a la problemática.

2. CONTROL HORIZONTAL

Las observaciones topográficas de uso convencional para planimetría, son la triangulación, la poligonal y la radiación, y se utilizan con frecuencia en la obra. Para el Conjunto Pantitlán se utilizó la poligonal como método de observación para la implantación de puntos de coordenadas conocidas. Desde estos puntos, que formaron la poligonal principal, se realizaron los levantamientos por radiación, y todas las labores de replanteo necesarias. Se tomaron en cuenta otras consideraciones como fue la escala del plano a la que se haría el levantamiento desde los puntos, la precisión que se esperaba en el posicionamiento de los puntos replanteados desde la red de apoyo. Para la observación de la poligonal se tomó en cuenta todas las precauciones; al fin y al cabo la calidad de estas observaciones incidirían directamente en el resultado final de los monitoreos. Junto con las condiciones físicas del entorno y de las precisiones que exigían el replanteo se decidió que aparatos eran los idóneos para este tipo de trabajo.

2.1 Reconocimiento General del Conjunto Pantitlán

El Conjunto Pantitlán, se localiza en la colonia Aviación Civil, Delegación Venustiano Carranza y en la colonia Pantitlán de la Delegación Iztacalco, en la ciudad de México y es una de las Estaciones del Metro más transitadas por peatones y vehículos.

Los trabajos se iniciaron desde mediados del mes de noviembre de 1998, y es hasta el 1º de febrero de 1999 cuando oficialmente se iniciaron los trabajos de campo, comenzando con el reconocimiento de la zona de estudio, en el que participaron personal del Sistema de Transporte Colectivo Metro y personal del Departamento de Topografía de la Facultad de Ingeniería.

El Conjunto Pantitlán está constituido por tres cuerpos de construcción que alojan las instalaciones de las estaciones de las líneas A, 9, 1 y 5, así como por pasarelas elevadas, distribuidores, pasos peatonales, paraderos de autobuses, pasarelas subterráneas y un estacionamiento subterráneo figura 2.1.

La zona en estudio comprende un diámetro aproximado de 1,100 metros, y esta definida hacia el sur por la Avenida Talleres Gráficos, al norte por la calle 2, al oriente por la calle 1 y hacia el poniente por la Av. Adolfo López Mateos. Se hizo un recorrido para determinar los sitios más favorables para el establecimiento de la base y los vértices de la poligonal de apoyo, la cual serviría para el levantamiento de la planimetría. Con este propósito se localizaron dos puntos, el V2 sobre el camellón de la Av. Río Churubusco, en su cruce con la calle Guadalupe y el V3, ubicado sobre el camellón de la Av. Río Churubusco en su intersección con la Avenida Talleres, que conformaron la línea base y en los cuales se efectuarían las observaciones desde los satélites NAVSTAR, para dar posicionamiento y orientación geodésica a la base. También se localizaron 13 puntos para la poligonal de apoyo y 5 puntos de control más para envolver lo más que se pudiera del terreno para el levantamiento topográfico.

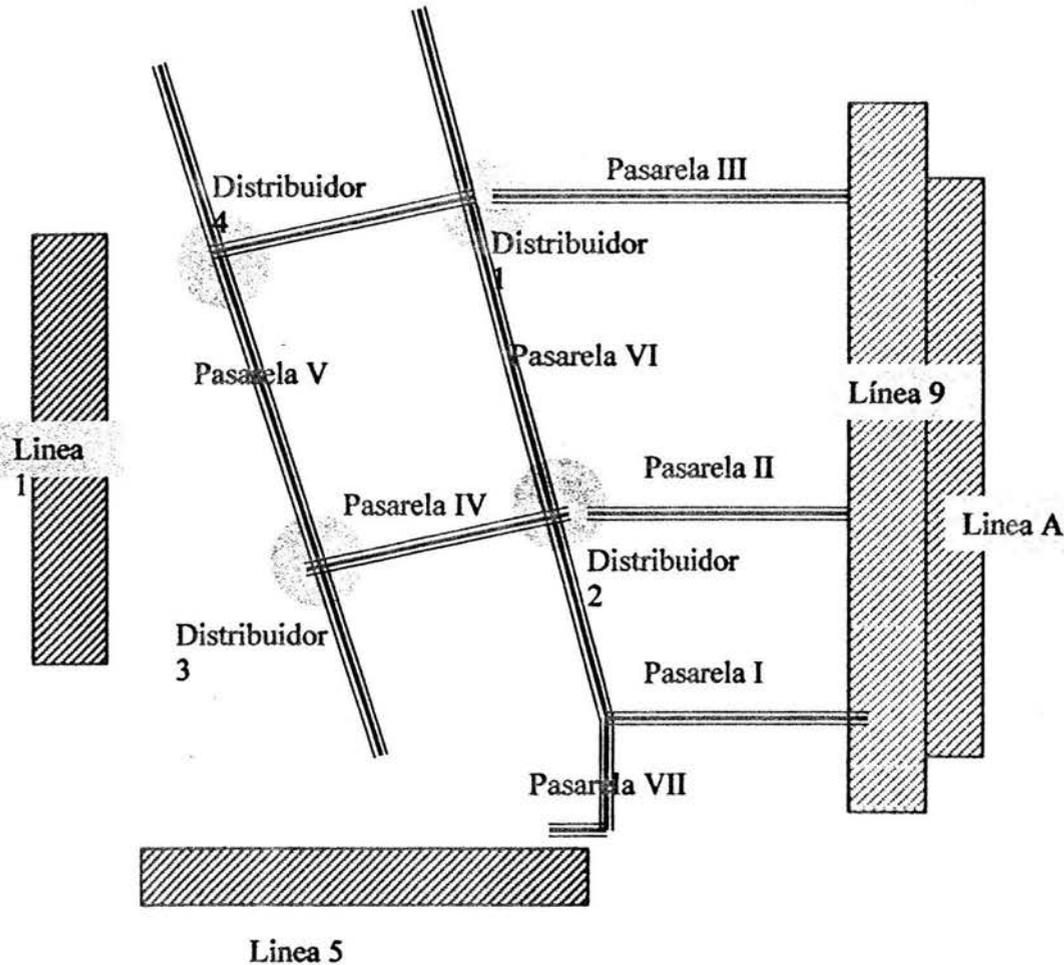


Figura 2.1 Planta general del Conjunto Pantitlán

Para el reconocimiento de la línea 9 se investigó la existencia de puntos de control vertical que son figuras de forma triangular (palomas); estas se ubicaron pintadas sobre las columnas a lo largo de la estructura de la estación de la línea 9 y línea A; los cuales se conocen como eje G a lo largo de la línea 9 y eje A a lo largo de la línea A.

En el reconocimiento de la línea A, no existían puntos anteriores, por lo que tomando las consideraciones antes mencionadas, el Departamento de Topografía de la Facultad de Ingeniería, instaló los puntos utilizando una pistola de municiones dejando un tornillo o clavo incrustado en la estructura de la línea A. En el muro oriente de dicha línea se definió un eje virtual llamado eje Q, el cual contiene los puntos de control que van de Q-1 al Q-19, los cuales incrementan su numeración de sur a norte. En el muro poniente de línea A, los puntos se denominaron AP; y van de AP-1 a AP-19, figura 2.2, igualmente el mismo criterio de numeración del eje Q. igualmente se establecieron dos puntos más de control en el norte y sur de la línea A, que son el AP-A y el AP-B respectivamente.

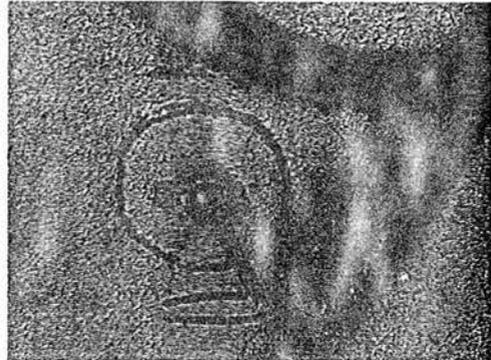


figura 2.2 punto de control en línea A

En el reconocimiento de las pasarelas se observaron las palomas pintadas, en cada uno de los elementos estructurales de dichas pasarelas, como la que se muestra en la figura 2.3, en las cuales se definió la zona donde se harían posteriormente las mediciones, para evitar errores, al hacer mediciones en otros lugares.

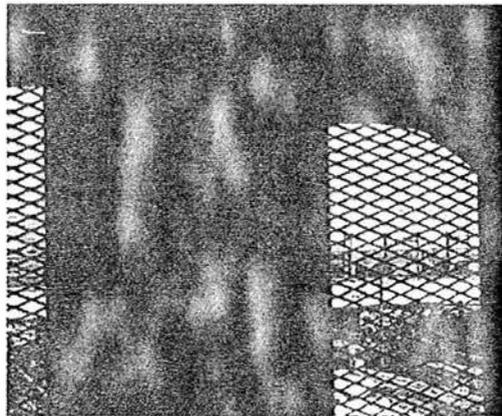


figura 2.3 paloma sobre pasarela VI

Se hizo un recorrido a los puentes peatonales aledaños a la zona del conjunto Pantitlán, pero solo a 5 fueron se les llevo a cabo un control, estos fueron:

- 1) Puente de la Calle Unión
- 2) Puente de la calle 1
- 3) Puente de la calle 2
- 4) Puente de la calle J. Torres Bodet
- 5) Puente No. 1 de Acero

En el recorrido que se realizó se pudo observar que el puente denominado No. 1 de Acero, que se encuentra ubicado en un costado poniente de la cabecera sur de la línea 9; y que es uno de los más utilizados, es el que presenta un mayor daño, debido a que el tramo paralelo a la línea 9 se encuentra torcido a lo largo de su longitud. En cuanto al resto de los puentes no se observo daños de consideración,

En el recorrido que se realizó se pudo observar que el puente denominado No. 1 de Acero, que se encuentra ubicado en un costado poniente de la cabecera sur de la línea 9; y que es uno de los más utilizados, es el que presenta un mayor daño, debido a que el tramo paralelo a la línea 9 se encuentra torcido a lo largo de su longitud. En cuanto al resto de los puentes no se observó daños de consideración, que pudieran poner en riesgo la estabilidad de estos, pero aun así se les hizo un seguimiento de su comportamiento periódicamente.



figura 2.4 puente de Calle Dos

Para el reconocimiento del cajón de Río Churubusco, se utilizaron cadenamientos a lo largo de este, iniciando en lado norte del cajón con el cadenamiento 1+040 al extremo sur del cajón terminando en el 1+380. De igual manera se fue tomando control del muro de contención que se encuentra ubicado a un costado del muro oriente del cajón; aquí se pudo constatar que el muro no ha sufrido de igual manera los movimientos diferenciales verticales al cajón, pues en los cadenamientos entre 1+320 y 1+380 se observa un desnivel considerable entre el cajón y el muro de Río Churubusco; figura 2.4.



figura 2.4 cajón de Río Churubusco

En cuanto al reconocimiento de los Bancos de Nivel, primeramente se ubicaron los que ya tenía el Sistema de Transporte Colectivo para el conocimiento de su existencia, pues se instalaron nuevos Bancos de Nivel tanto Superficiales y de Nivel Profundo; los primeros se colocaron estratégicamente fuera de la zona de

influencia del Conjunto Pantitlán, sobre las aceras norte y sur de la calle Guadalupe, el BN1 (Banco de Nivel norte 1, figura 2.5); y el BN2 (Banco de Nivel sur 2); en cuanto al Banco de Nivel Profundo su ubicación fue cercana al conjunto, para contar con un punto de referencia fijo y confiable en la medición de desplazamientos verticales de las estructuras que conforman el conjunto Pantitlán.

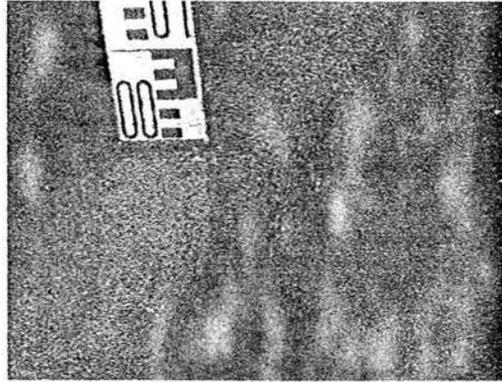


figura 2.5 Banco de Nivel norte 1

2.2 Método de Levantamiento

Los trabajos de gabinete se pueden clasificar en dos grandes grupos, Planimetría y Altimetría y estos a su vez en cálculo y dibujo.

Para el control topográfico horizontal se comprendieron un conjunto de operaciones mediante las cuales se ubicaron vértices fijos con sus coordenadas x , y , z , a los que se refirieron los puntos que conforman las estructuras de las líneas del Metro en sus tres dimensiones, así como las vialidades y otros elementos que constituyen el Conjunto Pantitlán.

La Planimetría requirió para su dibujo, el cálculo previo de las coordenadas de cada punto levantado en campo como son los 18 puntos de la poligonal envolvente, y los demás puntos radiados que dan la forma real a escala de toda la zona de estudio, incluyendo banquetas, paramentos, columnas, escaleras, pasillos, andenes, camellones y obras secundarias a todo el conjunto Pantitlán. Sin embargo para poder calcular las coordenadas se requiere tener una orientación Astronómica, la cual se realizó mediante un posicionamiento satelital mediante el equipo denominado "Garmin", para lo cual se requirió de la elaboración matemática del levantamiento geodésico y de su respectivo cálculo geodésico.

2.2.1 Levantamiento Geodésico del Conjunto Pantitlán

También conocido como sistema de posicionamiento global, se emplea para conocer las coordenadas geográficas de un lugar, es un sistema desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para la radionavegación mediante satélites; y para asignar una posición geográfica de un punto cualquiera

en cualquier parte del mundo, en coordenada geodésica, mediante el apoyo de la constelación de satélites NAVSTAR.

Con el sistema de NAVSTAR, mejor conocido como Sistema de Posicionamiento Global (GPS). El GPS esta constituido por 3 partes esenciales: el espacio, el control, y los usuarios.

- *El segmento espacial:* que comprende la constelación NAVSTAR que está conformada por 18 satélites principales y 7 satélites de repuesto, que orbitan la superficie de la Tierra, a una altura aproximada de 22200 km y un período de recorrido de 12 horas sidéreas. Los 18 satélites se distribuyen en 6 planos orbitales, con una inclinación de 55° respecto al Ecuador, cada plano contiene tres satélites uniformemente espaciados a 120° cada uno. Esta configuración asegura que sobre el horizonte de cualquier lugar de la Tierra serán simultáneamente visibles 4 y 7 satélites, permaneciendo aquellos que sean cenitales más de 5 horas en el horizonte de la estación para permitir la continuidad de la observación, figura 2.6.

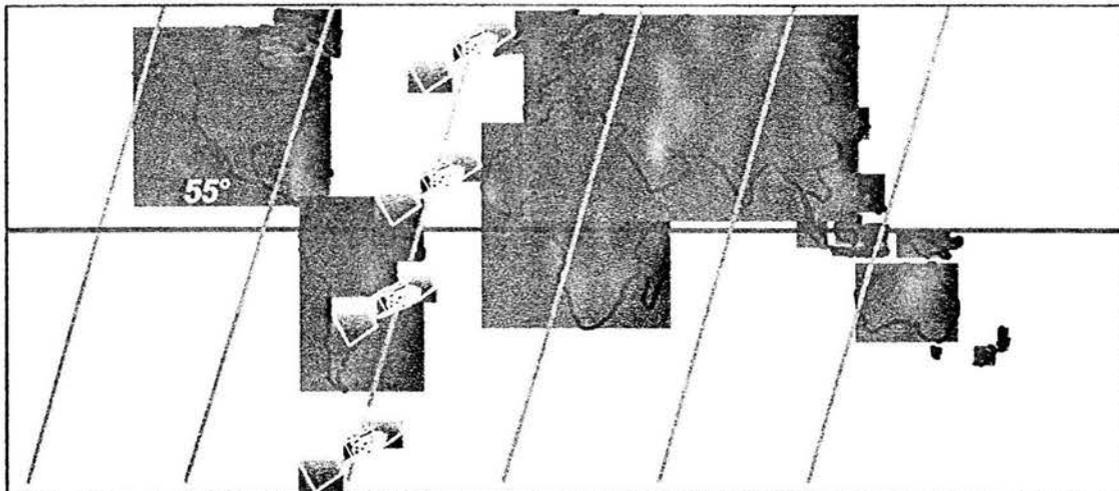


figura 2.6 Constelación de satélites NAVSTAR

- *El segmento utilitario:* esta constituido por todos los equipos permanentes u ocasionales utilizados para la recepción de las señales emitidas por los satélites y que son empleados para el posicionamiento, este consiste en un receptor que está integrado por los elementos físico y lógicos necesarios para el control, seguimiento, registro, almacenamiento, visualización de datos y convierte los datos en posición tridimensional, velocidad y tiempo, basado en un sistema egocéntrico cartesiano determinado, que se transforma para posteriormente pueda ser presentado en coordenadas geográficas.
- *El segmento de control:* es parte del sistema NAVSTAR y se conforma por una estación maestra ubicada en Colorado Springs y 4 estaciones rastreadoras emplazadas en Hawaii, Kwajalein, Ascensión y Diego García, así como una estación inyectora que controla y actualiza la información que constantemente transmiten los satélites, figura 2.7.

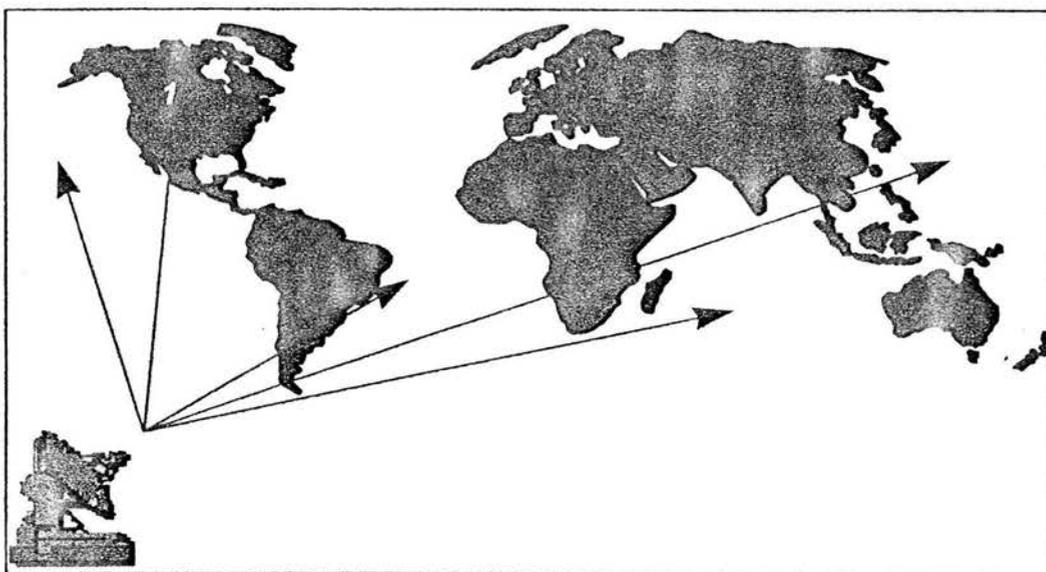


figura 2.7. segmento de control

Estos datos se transmiten a la estación maestra de control y a través de un proceso de estimación se calcula la posición y velocidad del satélite, la deriva del reloj y sus efemérides; los datos obtenidos se utilizan para generar los mensajes de navegación, que son cargados a la memoria de los satélites por la estación inyectora, por lo menos una vez al día.

Básicamente para poder determinar la posición de un punto se puede realizar por dos métodos: el de navegación y el diferencial. El método de navegación utiliza la técnica de pseudo distancias para determinar la posición al instante de puntos independientes, sin correlación entre ellos, con la ventaja de que solo se requiere de un solo receptor y la posición se obtiene al instante.

El método diferencial utiliza la técnica de medición de fase y/o code, registrando los datos en dos estaciones simultáneamente. De esta manera se cancelan muchos de los errores causados por la refracción atmosférica, deriva del reloj, degradación de las órbitas, etc..

El 2 de Junio de 1999, se efectuó el levantamiento con el método de posicionamiento diferencial, aplicando la técnica de medición de fase, registrando los datos en las estaciones GPSV2 y GPSV3, simultáneamente por un periodo de observación de una hora, El resultado se obtuvo posteriormente procesando los datos de ambas estaciones en una PC con el programa TRIMVEC, obteniéndose la latitud y la longitud de los puntos, así como sus respectivas coordenadas UTM.

El equipo que se empleo, fueron dos equipos geodésicos GPS marca ASTECH, modelo, PXII de origen norteamericano, cada uno con un receptor, una antena geodésica y accesorios. El receptor es de doble frecuencia, 12 canales (11 de recepción y uno de referencia), 12 pantallas de consulta, con batería externa de 12 volts, figura 2.8.

La antena Geodésica es modelo L1L2 (diámetro de 0.1318 m.), fabricada en aluminio con circuitos de rastreo satelital y preamplificador integrado. El sistema de comunicación en estos equipos, es una antena receptor, consistente en un cable coaxial de 10 metros de longitud con conectores de rosca. En el modo diferencial, se estima una precisión de 5mm +/- 2ppm en la medida de la línea.

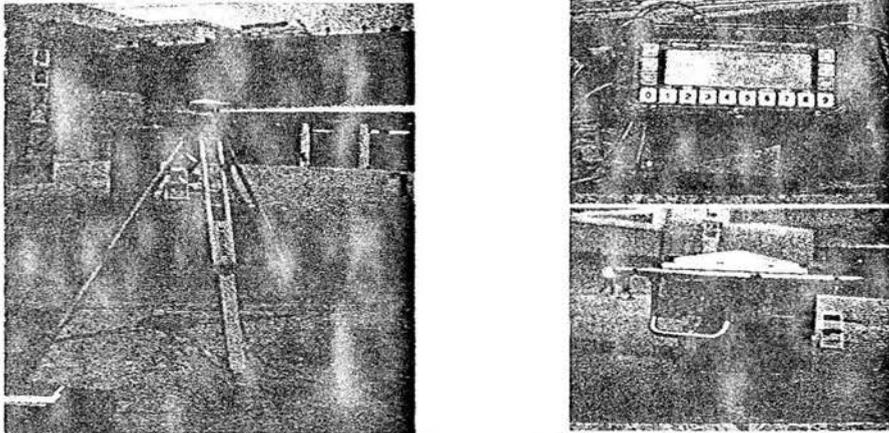


Figura 2.8 equipo geodésico marca Astech, modelo PXII

2.2.2 Planimetría del Conjunto Pantitlán

Con el fin de conocer la ubicación y distribución de las estructuras en el conjunto Pantitlán y tener como marco de referencia para la colocación de los puntos de control vertical, se realizó un levantamiento topográfico, cuya precisión proporcionó la confianza necesaria para poder contar con información para realizar los estudios geotécnicos y estructurales. Este levantamiento comprendió un conjunto de operaciones mediante las cuales se ubicaron vértices fijos con sus coordenadas (x,y,z) a los que se refirieron los puntos que conforman las estructuras de la línea del Metro en sus tres dimensiones, así como las vialidades y otros elementos que constituyen el Conjunto Pantitlán.

Para realizar el control horizontal, primero se localizaron dos vertices, el V2 sobre el camellón de la Av. Río Churubusco, en su cruce con la calle Guadalupe y el V3, ubicado sobre el camellón de la Av. Río Churubusco en su intersección con la Av. Talleres Gráficos, que conformaron la línea base y en los cuales se efectuarían las observaciones desde los satélites NAVSTAR, para dar posicionamiento y orientación geodésica a la base. Además se localizaron 13 puntos para la poligonal de apoyo y 5 puntos de control adicionales.

El trazo de la poligonal permitió ubicar puntos físicos sobre el terreno, a fin de conformar la poligonal envolvente, para que a partir de ésta, propagar el control horizontal en la zona de trabajo. La poligonal que se estableció fue de tipo cerrada, el trazo empezó en la estación V1, con vista atrás a V13 y adelante a la estación V2 y continuando con la estación V3, que es la línea base, continuando con las estaciones V4, V5, V6, V7, V8, V9, V10, V11, V12, y cerrando en la estación V13, viendo atrás a V12 y adelante a V1, figura 2.9.

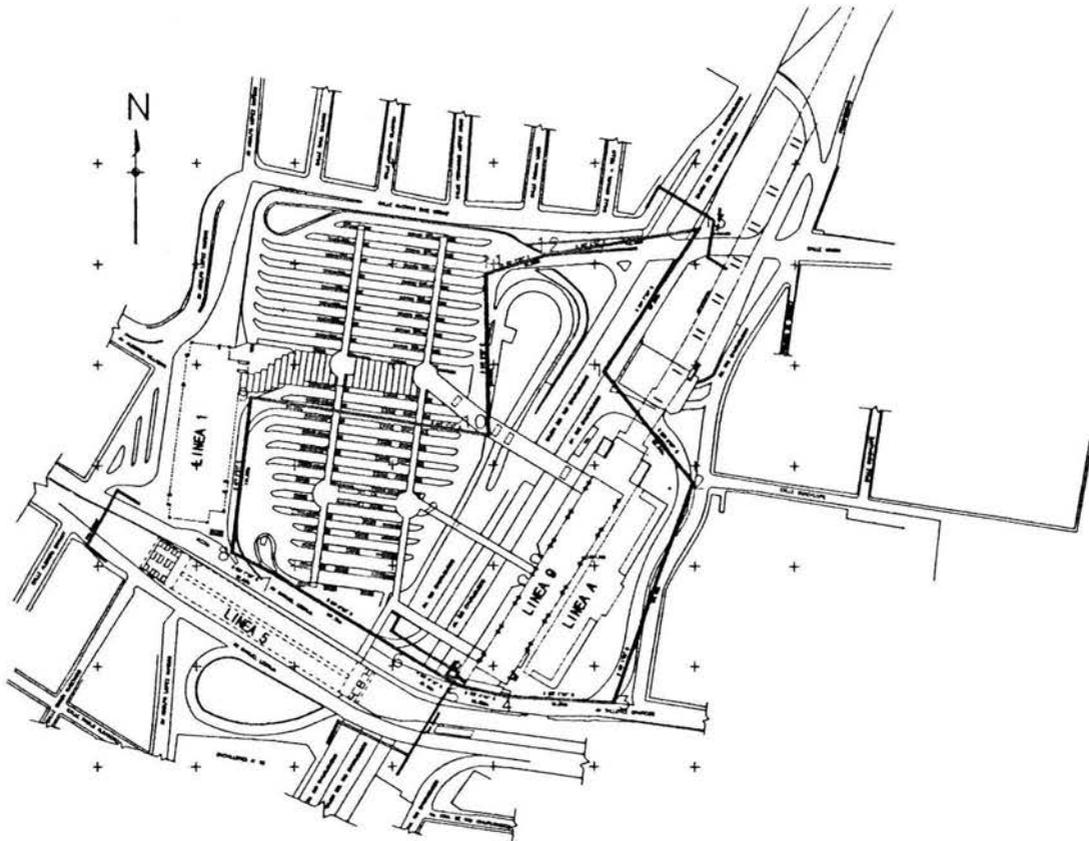


figura 2.9 Ubicación de los vértices de la poligonal de apoyo

Para las observaciones angulares se aplicó el método de direcciones de Bessel, que consiste en registrar en el módulo GRM con solo apretar una tecla (ALL), las direcciones horizontal y vertical, así como la distancia medida con el distanciómetro, primero al punto de atrás y posteriormente al de adelante, en la posición I del taquímetro, después se da vuelta de campana y se vuelve a repetir el proceso en la posición II, esto constituye una serie de observación. Este método garantiza que los errores instrumentales y personales se minimicen. En cada estación de la poligonal de apoyo se observaron al menos dos series de Bessel.

Las radiaciones se midieron con las Estaciones Totales TC600 y el taquímetro electrónico T1600 y el distanciómetro DI1600 y se registraron en el módulo GRM; este registro es el denominado libreta electrónica, el cual sustituyó en buena parte a la libreta tradicional.

Se utilizaron dos teodolitos electrónicos marca Wild, modelo T-1600 de precisión angular de 1.5" con registro en módulo electrónica GRM10 removible, con capacidad para almacenar 2000 bloques de información y accesorios. El teodolito tiene pantalla de cristal líquido de cuatro líneas, teclado multifuncional, programas

y funciones COGO que facilitan y hacen mas seguro el trabajo de campo, figura 2.10.

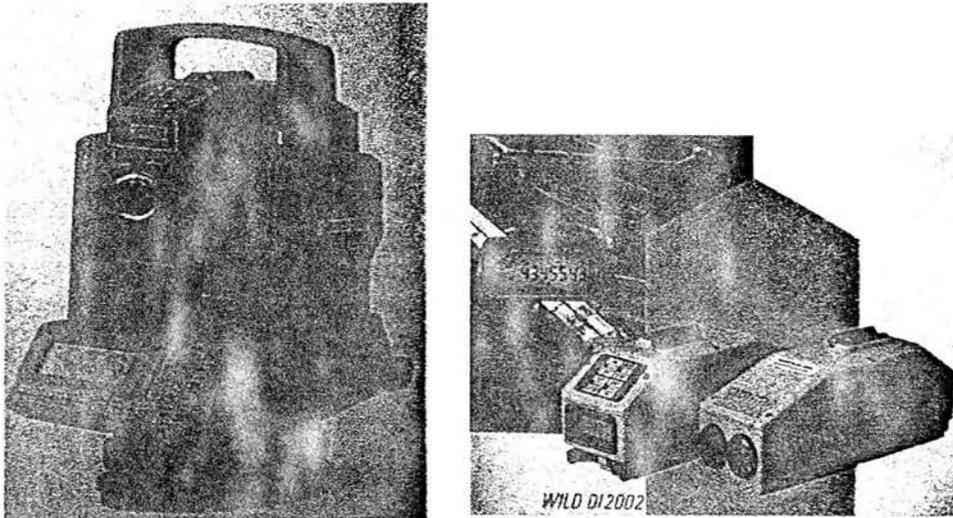


figura 2.10 Teodolito T-1600 y distanci6metro DI-1600

Para la medici6n de distancias se us6 el distanci6metro electr6nico marca Wild modelo DI-1600, que se acopla al teodolito T1600, convirti6ndose 6ste en un taqu6metro electr6nico. La precisi6n que permite en las medidas es de 3mm +/- 3ppm, figura 2.10.

Asimismo, se utilizaron 3 estaciones totales marca Wild, modelo TC-600 de precisi6n angular de 6" con registro en memoria electr6nica interna, con capacidad para almacenar 2000 bloques de medici6n interna. El teodolito tiene pantalla de cristal liquido de cuatro l6neas, teclado multifuncional, programas y funciones COGO que facilitan y hacen mas seguro el trabajo de campo, y que contiene integrado un distanci6metro electr6nico, con precisi6n de las medidas de 3mm +/- 3ppm, figura 2.11.



figura 2.11 Estaci6n Total TC600

2.3 Cálculo y representación gráfica

2.3.1 Posicionamiento con GPS

Dadas las coordenadas geodésicas de V2 y V3 se resolvió el problema geodésico directo, esto es, se calculó el acimut y la distancia geodésica entre los dos puntos.

Con este postproceso se obtuvieron coordenadas de los puntos levantados en el sistema NAD-27, la tabla siguiente muestra las comparaciones que se obtuvieron con los diferentes GPS, en los vértices 2 y 3 respectivamente.

VERTICE NO.	COORDENADAS GEOGRAFICAS		AZIMUT (2-3)	DISTANCIA (m)	COORDENADAS UTM ZONA 14		AZIMUT (2-3)	DISTANCIA (m)
	LATITUD (N)	LONGITUD (W)			NORTE	ESTE		
2 Astech	19° 24' 57".69	99° 04' 16".38	199° 41' 32".30	175.023	2146862.44	492523.28	199° 41' 33".10	175.023
3 Astech	19° 24' 52".33	99° 04' 18".40			2146697.65	492464.30		
2 Garmin	19° 24' 57".73	99° 04' 16".41	199° 54' 12".40	175.811	2146863.70	492522.43	199° 54' 12".10	175.810
3 Garmin	19° 24' 52".35	99° 04' 18".46			2146698.39	492462.58		

Tabla 1 comparación de datos entre los diferentes Receptores GPS

2.3.2 Poligonal

Posteriormente se realizó un levantamiento de detalle, el objetivo de este era conocer con exactitud la zona en que se ubica el Conjunto Pantitlán. Apoyándose en los vértices de la poligonal principal, figura 2.9 (en la tabla 2 se muestra el cuadro de construcción de dicha poligonal); y se procedió al levantamiento por radiaciones de las instalaciones del Conjunto Pantitlán, así como de las esquinas de parámetros, los quiebres de estos mismos y las guarniciones que servirían para conformar la planimetría del Conjunto mencionado.

EST.	P.V.	RUMBO	DISTANCIA	AZIMUT	VERTICE	NORTE (Y)	ESTE (X)
1	2	S 38° 46' 07" E	105.817	141° 13' 53"	1	2,146,944.950	492,457.002
2	3	S 19° 41' 58" W	175.133	199° 41' 52"	2	2,146,862.446	492,523.262
3	4	N 86° 42' 24" W	79.224	273° 17' 36"	3	2,146,697.562	492,464.227
4	5	N 76° 54' 40" W	35.933	283° 05' 20"	4	2,146,702.114	492,385.134
5	6	N 59° 36' 11" W	46.133	300° 23' 49"	5	2,146,710.251	492,350.135
6	7	N 59° 08' 22" W	121.188	300° 51' 38"	6	2,146,733.594	492,310.343
7	8	N 63° 27' 25" W	32.597	296° 32' 35"	7	2,146,795.757	492,206.314
8	9	N 07° 02' 51" E	116.362	07° 02' 51"	8	2,146,810.324	492,177.153
9	10	S 81° 01' 11" E	182.259	98° 58' 49"	9	2,146,925.807	492,191.430
10	11	N 00° 53' 09" W	120.338	359° 06' 51"	10	2,146,897.357	492,371.455
11	12	N 73° 02' 03" E	49.292	73° 02' 03"	11	2,147,017.680	492,369.594
12	13	N 80° 03' 26" E	112.330	80° 03' 26"	12	2,147,032.064	492,416.741
13	1	S 33° 27' 25" W	127.663	213° 27' 25"	13	2,147,051.459	492,527.364

Tabla 2 Cuadro de Construcción de la Poligonal envolvente del Conjunto Pantitlán

En el cierre de la poligonal se obtuvo:

- error angular de 35" obtenido con la formula de $\sum \text{int} = 180^\circ (n-2)$, y que los ángulos interiores de una poligonal cerrada deben cumplir; el resultado con los datos de campo fue de $1980^\circ 00' 35''$, teóricamente el resultado es $1980^\circ 00' 00''$.
- error lineal de 0.048m
- una precisión lineal relativa de 1:27,000

Con el procedimiento anteriormente descrito se realizaron los levantamientos planimétricos que a continuación se enlistan:

- Levantamiento de pasos peatonales
- Levantamiento de pasarelas elevadas
- Localización de sondeos
- Levantamiento de estacionamiento subterráneo
- Levantamiento de columnas de pasarelas elevadas
- Levantamiento interior y exterior de las líneas 9 y A
- Levantamiento de línea de Colimación
- Levantamiento de pasarelas subterráneas
- Levantamiento de conjunto Estación línea 1
- Localización de columnas lado sur de línea 9
- Localización del trazo del eje del hombro derecho del Cajón de Río Churubusco
- Localización del trazo del eje del Muro de la Vialidad adyacente al hombro derecho del Cajón de Río Churubusco
- Localización de 5 puentes peatonales
- Localización del Banco de Nivel Profundo y Superficial
- Localización de Bancos de Nivel línea 9

2.3.3 Edición y Dibujo

La transferencia de los datos de campo de la poligonal principal y de detalle, se procesó con los softwares RODAS y TCTOOLS, la información registrada en el modulo GRM se transfirió a la computadora con la interface GIF10 a través del puerto serial. El calculo, la compensación y el dibujo de la poligonal y del detalle, se llevaron a cabo con ayuda del software CIVILCAD.

En el proceso con el programa Autocad, se generaron los archivos que permitieron dibujar los planos de la poligonal y del detalle.

Las radiaciones levantadas en campo fueron procesadas con el mismo software; y las coordenadas obtenidas son UTM también ya que los vértices de la poligonal de apoyo están en el mismo sistema de referencia.

Los programas RODAS Y TCTOOLS proporcionaron como resultado archivos de formato propio de LEICA, que se pueden transformar a archivos con extensión TXT; y posteriormente con el programa CIVILCAD se importan estos archivos TXT de la poligonal y del detalle planimétrico al paquete AutoCad.

En el proceso de edición con AutoCad, se comprendieron varias etapas, entre ellas:

- Editar líneas y curvas
- Separar capas
- Asignar tipos de línea y colores
- Editar textos
- Editar canevas
- Editar pie de plano

El resultado de los trabajos de planimetría dio como resultado el plano de ubicación de estructuras del Conjunto Pantitlán, una panorámica de este conjunto se muestra en la figura 2.11.

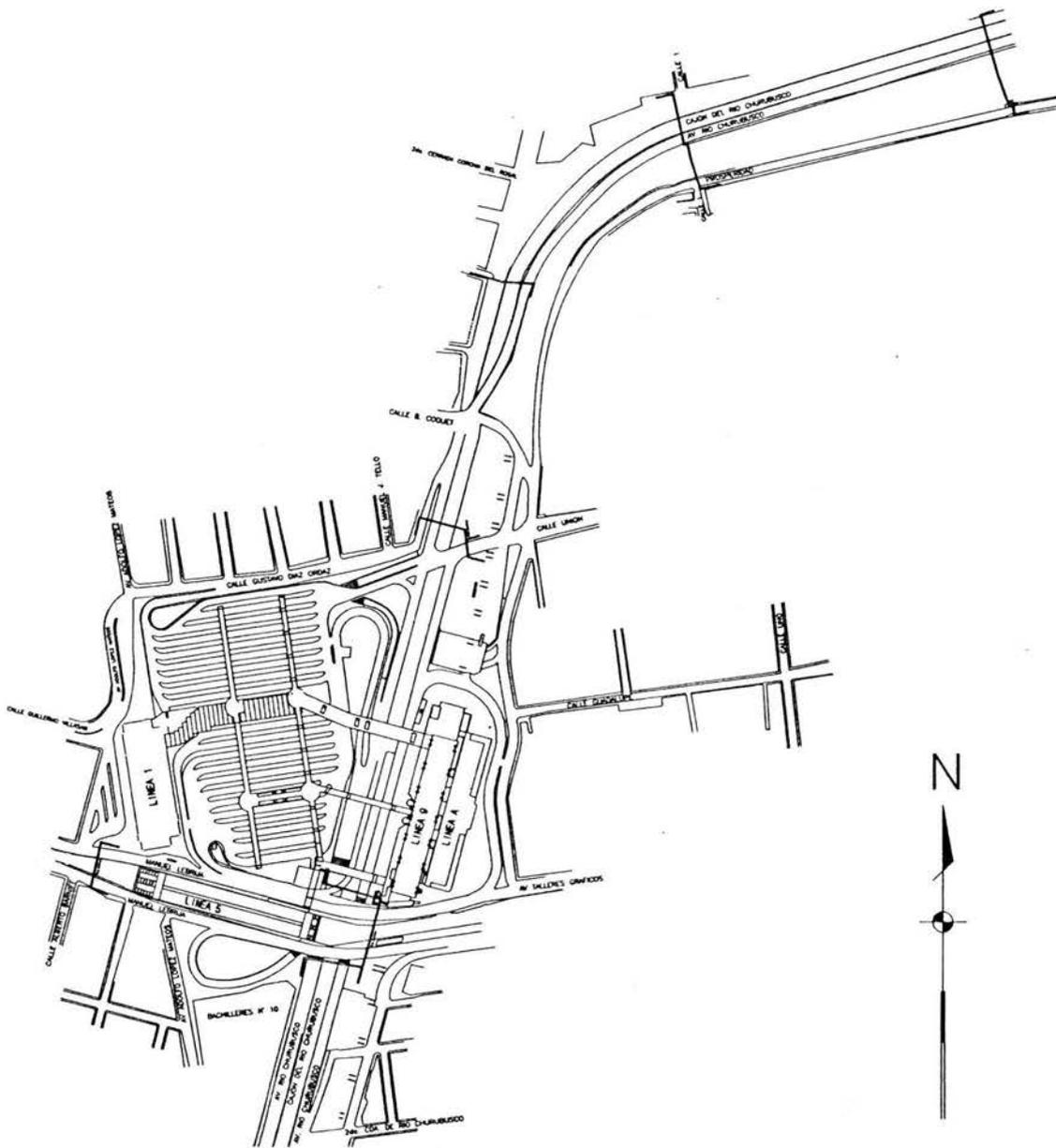


figura 2.12 Plano estructural del Conjunto Pantitlán

3.- CONTROL VERTICAL

Para el caso de obras de ingeniería, el control topográfico vertical es un elemento que permite determinar el comportamiento vertical de elementos estructurales; ya que los movimientos que se pretenden controlar son de pequeña envergadura, y estos pueden variar, según el objeto a controlar, entre la décima de milímetro y algunos centímetros, tales como pueden ser el control de taludes, laderas, y grandes estructuras, como puentes, presas, estructuras metálicas, grandes edificios, como el Conjunto Pantitlán, etc.. Por lo que desplazamientos tan pequeños obligan a trabajar con aparatos muy precisos y con métodos topográficos muy elaborados, es que, debemos tener presente que los métodos no son los únicos que se emplean; sino que son parte de un conjunto de mediciones, realizadas con aparatos específicos para tareas específicas.

El análisis que arrojaron las nivelaciones del Conjunto Pantitlán, permitieron determinar las magnitudes y velocidades de hundimiento de cada estructura que le componen, a fin de identificar y confirmar los sitios de mayor problema y su relación con el Conjunto. Con base en los resultados de las nivelaciones, se analizó el comportamiento de cada una de las estructuras revisadas en cuanto a movimientos verticales tomando en cuenta el hundimiento regional y local del sitio en estudio.

3.1 Reconocimiento General del Conjunto Pantitlán

En este contexto, se realizó un reconocimiento de la zona, mediante un recorrido conjuntamente con personal del Sistema de Transporte Colectivo, para conocer los Bancos de Nivel utilizados hasta esta fecha en el control vertical del edificio terminal, de las columnas, pasarelas y demás estructuras que constituyen el Conjunto Pantitlán y de las terminales alojadas en el.

Para establecer un control vertical permanente y estar en posibilidad de verificar los trabajos futuros del proyecto, y vigilar posteriormente los movimientos diferenciales verticales de las estructuras que componen al Conjunto Pantitlán, que aquí concurren, se propuso el establecimiento de una Red de Bancos de Nivel que sirvieran de apoyo para la propagación del Control Vertical a la línea base. Estos Bancos de la Red, ocuparon los mismos puntos que se utilizaron para la poligonal de apoyo, ver su localización en la figura 2.9.

Así mismo, se colocaron estratégicamente dos Bancos de Nivel, fuera de la zona de influencia del conjunto, sobre las aceras norte y sur de la calle Guadalupe, a los cuales se nombraron BN1 (Banco de Nivel norte 1) y BN2 (Banco de Nivel sur 2), con la función de a partir de ellos realizar las nivelaciones a los elementos constructivos y fungir al mismo tiempo como bancos de nivel superficiales, junto con el B.N.S. Guadalupe ver figura 3.1.

En el caso de las elevaciones estas se refirieron al nivel medio del mar, tomando como base el Banco de Nivel de la entonces Comisión de Aguas del Valle de México, situado en el Cerro del Peñón de los Baños, considerando este Banco,

como un macizo rocoso que llega a profundidades adecuadas para este tipo de obras y que no está sujeto a hundimiento regional!

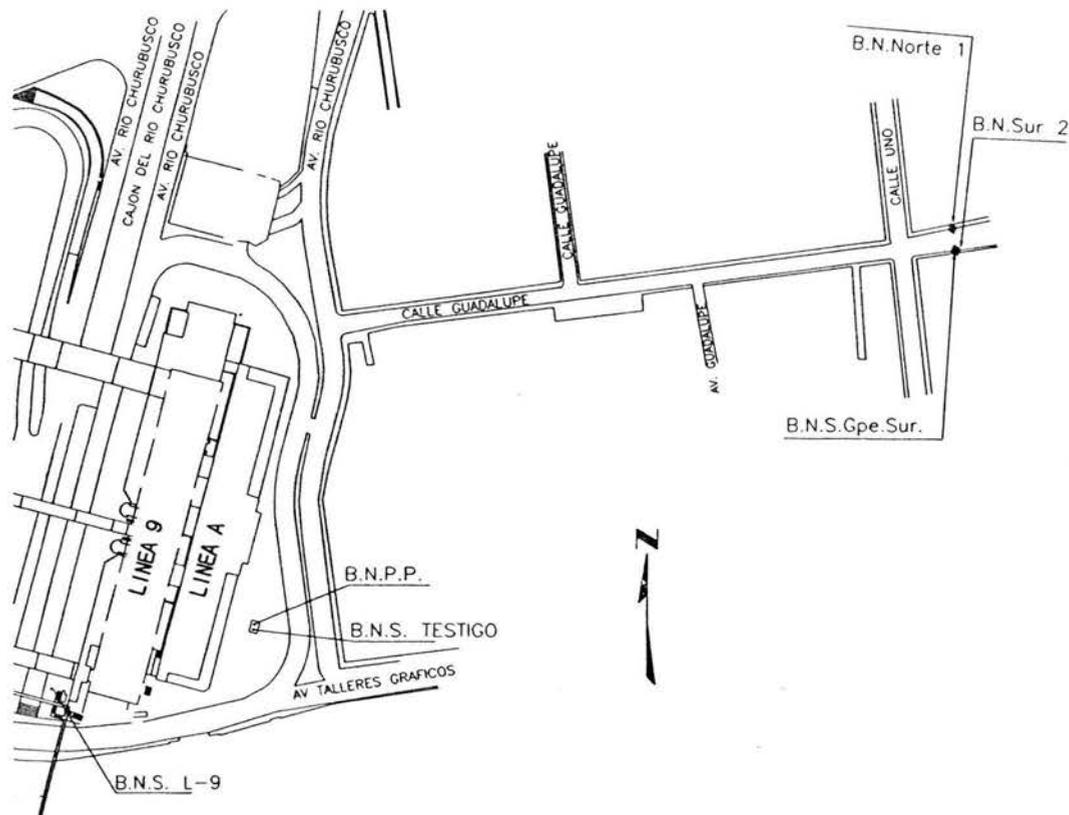


Fig. 3. 1. Plano de ubicación de los Bancos de Niveles Superficiales y Profundo.

3.2 Método de Nivelación

El método que se utilizó es el que hemos denominado método semipreciso de nivelación, este es un método de nivelación diferencial rápido, exacto y de comprobación prácticamente automática, en el que se utiliza, el nivel fijo, una retícula de tres hilos, para poder hacer tres lecturas a la vez sobre el estadal (hilo superior, hilo medio e hilo inferior), lo que nos arroja resultados equivalentes a tres nivelaciones, brindándonos una estimación bastante precisa de la distancia a cada estadal y mayor precisión porque se dispone de estas tres lecturas, lo que nos proporciona el valor probable de la lectura. Pero a la par se llevo a cabo otro método de comprobación, que fue el de doble altura de instrumento, el cual añade precisión, pues finalmente se tienen dos lecturas de un mismo punto, por lo tanto al hacer el promedio de estas dos lecturas aumenta la precisión; y finalmente como medida de control se llevaron a cabo circuitos, en los cuales se cierra dicho circuito de nivelación en el punto de inicio de esta. Por lo tanto se nos permite descubrir cualquier error al instante, es decir, antes de que el estadalero, o el instrumentista cambien de posición, y además de que se obtienen lecturas de estada que nos sirvieron para determinar la longitud de las visuales.

Con el procedimiento de nivelación semipreciso antes descrito, se realizó la nivelación a partir del Banco de nivel ubicado en el Peñón de los Baños, para asignar una elevación al Banco de Nivel Profundo, ubicado en la Av. Río

Churubusco esquina con la Av. Talleres Gráficos, así mismo, con este mismo método, se realizaron las nivelaciones de las estructuras que conforman el Conjunto Pantitlán, que a continuación se mencionan:

- Nivelación de Pasos Peatonales.
- Nivelación de Pasarelas Elevadas.
- Nivelación de Columnas de L-9 y L-A.
- Nivelación de Línea de Colimación.
- Nivelación del BN. Profundo.
- Nivelación de Pasarelas Subterráneas.
- Nivelación para Curvas de Nivel de Planta Baja, Mezanine, Andén y Techumbre de L-9.
- Nivelación de Perfil del Eje del Hombro Derecho del Cajón del Río Churubusco (entre los Cadenamientos 1+040 y 1+380).
- Nivelación de Perfil del Eje del Trazo del Muro de la Vialidad Adyacente al Hombro derecho del Cajón del Río Churubusco (Entre los Cadenamientos 1+040 y 1+380).

Para realizar las nivelaciones anteriores, fue necesario llevar un control de cada una de estas muy puntual, pues no solo es importante la precisión del aparato y del método, también el cuidado en el registro es fundamental.

La tolerancia en las nivelaciones realizadas para este proyecto fue de: $T = 0.002 K$, en la que T resulta en metros y K en kilómetros. Los bancos de nivel que conformaron la Red de Nivelación, estuvieron siendo observados mensualmente en su comportamiento desde el Banco de Nivel norte 1 de la calle Guadalupe, este banco fue colocado aproximadamente a 200 m. fuera de la zona de Pantitlán, en la figura 3.1. se indica la ubicación.

3.2.1 Equipo empleado

El equipo que se utilizó para realizar las nivelaciones de este proyecto, fueron los niveles (equialtímetros) NA20 automáticos de la marca Wild; este nivel fue desarrollado por constructores y geodestas teniendo en cuenta los conocimientos tecnológicos más modernos. Es un nivel con un amplio campo de aplicaciones como son; nivelaciones de precisión y mediciones de hundimientos de edificios, determinación altimétrica en la construcción de carreteras, oleoductos, túneles, vías férreas, trabajos de replanteos y control de obras, mediciones de deformaciones y de control periódico en puentes, estructuras, etc.; igualmente su resistencia a la lluvia, nieve, calor, heladas, polvo y humedad; y la alta calidad de la óptica y la puesta en horizontal automática de la línea de puntería facilitan la lectura precisa, independientemente de las condiciones ambientales y laborales, figura 3.2.



Figura 3.2. Nivel automático Wild NA20

Características Técnicas del Nivel Wild NA20:

• Desviación estándar para 1 Km en nivelación doble	2.5 mm
• Precisión de altitud en 30 m	~ 1.5 mm
• Aumento del anteojo ocular	20 x
• Diámetro del objetivo	30 mm
• Diámetro del campo visual a 100 m	4.2 m
• Distancia mínima de puntería desde el instrumento	0.5 m
• Constante de multiplicación	100
• Constante de adición	0
• Margen de inclinación del compensador	~ 30'
• Precisión de estabilización	0.6"
• Sensibilidad del nivel esférico	8'/2 mm
• Margen de temperaturas en uso	-20°C a +50°C
• Margen de temperaturas en almacén	-40°C a +70°C

Parte del equipo que se utilizó para las mediciones fueron las miras o estadales plegables para nivelación, en madera de 4 m de longitud con graduación mínima de centímetros figura 3.3. También se utilizaron las niveletas que por su forma de "L" les permiten ajustarse a las caras trasera y lateral del estadal; y su nivel esférico de burbuja permite que logre el aplomo rápido y correcto del estadal en ambas direcciones; otro equipo utilizado fueron los clavos para concreto figura 3.4, los cuales nos ayudaron a marcar los bancos de niveles superficiales; y los sapos utilizados nos sirvieron de ayuda para marcar puntos de liga en los circuitos figura 3.5.

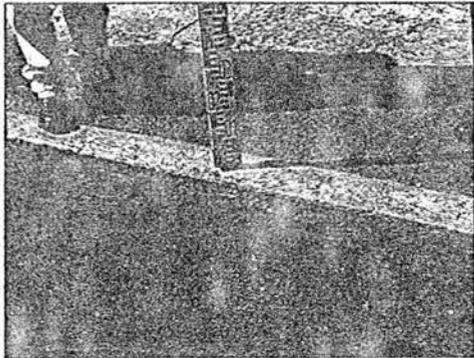


Fig. 3.3. Estadal situado en un B.N. Superficial

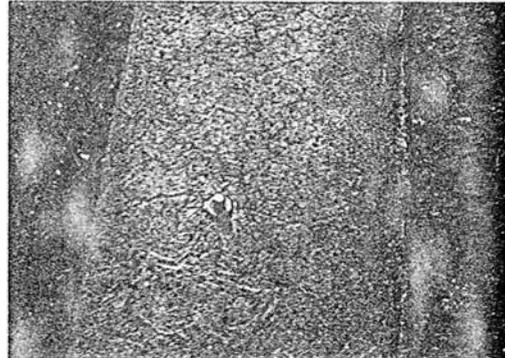


Fig. 3.4. Clavo situado en uno de los B.N. Superficiales

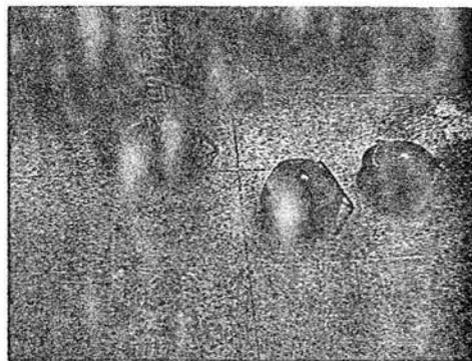


Fig. 3.5. Sapos utilizados en los circuitos

3.3 Banco de Nivel Profundo

El objetivo del Banco de Nivel Profundo es el de ayudar a determinar los desplazamientos verticales que tienen lugar durante la vida útil de las diferentes estructuras del Conjunto Pantitlán y las velocidades de hundimiento regional de la zona. El monitoreo constante que se llevo a cabo través del banco de nivel profundo permitió conocer e identificar los asentamientos absolutos de las estructuras antes mencionadas.

Debido a que el banco de nivel profundo es un punto fijo que no sufre los asentamientos regionales que ocurren en la superficie del terreno y sirve de referencia confiable para la medición de desplazamientos verticales que las estructuras experimentan durante su vida útil; El banco se instaló a 70.50 m de profundidad respecto al nivel de terreno natural; ver apartado 1.4.3 de este trabajo.

3.4 Nivelación del Tramo B. N. Peñón – B. N. Profundo

Debido a que el período de estudio resultó relativamente pequeño, se requirió de una gran precisión para la medición y monitoreo de los movimientos. El control vertical se realizó al conocer como es el movimiento de la zona a partir de un banco de nivel profundo, al mismo tiempo se requirió medir el movimiento de la estructura con respecto a un banco de nivel superficial colocando a una distancia fuera de la influencia del peso de las estructuras.

3.5 Nivelación de los componentes constructivos del Conjunto Pantitlán

La altimetría realizada a cada uno de los componentes y estructuras del Conjunto en los periodos establecidos permitió elaborar las gráficas que muestran claramente el comportamiento, tanto grupal como individual de los puntos de control; estos comportamientos fueron referidos a un Banco de Nivel Superficial denominado Guadalupe y al Banco de Nivel Profundo Pantitlán.

Los puntos de control fueron seleccionados estratégicamente para obtener la información requerida para las áreas de Geotecnia y Estructuras. Sin embargo, por conveniencia del seguimiento de algunos estudios que se llevaron a cabo, se optó por utilizar puntos de control preestablecidos por otras compañías, como fue el caso de las nivelaciones a las pasarelas elevadas, las pasarelas subterráneas y las columnas de L-9; donde se usaron las palomas de la Compañía Colinas de Buen.

A continuación se muestran las gráficas de los elementos monitoreados del Conjunto Pantitlán y que afectan la estructura de la Línea 9 del Conjunto.

- ***Nivelación de la poligonal principal***

En el plano de la figura 3.9. se muestra la ubicación de la poligonal principal dentro del conjunto Pantitlán, en el cual podemos observar algunos de los elementos, que se encuentran alrededor dentro y fuera de la poligonal, así de esta manera es más fácil poder apreciar e interpretar la tabla y gráfica de los movimientos diferenciales verticales, en las seis diferentes fechas en que se llevo a cabo la nivelación de la poligonal.

La tabla de la figura 3.10, nos muestra los puntos de la poligonal, su elevación de estos, y la distancia en metros, cabe señalar que es acumulativa, por lo que entre el punto 1 al 13 el perímetro total recorrido es de 1176.606 m; en los siguientes seis recuadros se muestran las diferencias que se hallaron de las nivelaciones realizadas; la primera nivelación se tomo como referencia, para comparar los resultados de las siguientes y poder apreciar los movimientos verticales de la poligonal.

En la gráfica figura 3.11, observamos como la primera nivelación con fecha del 27 de marzo se uso como referencia, para observar gráficamente los movimientos de los puntos de la poligonal, para subsecuentes nivelaciones, más adelante se puede apreciar como fue siendo la emergencia y el hundimiento de los vértices, donde podemos observar un hundimiento a partir de la segunda nivelación, sin embargo las dos últimas fueron nivelaciones que emergieron.

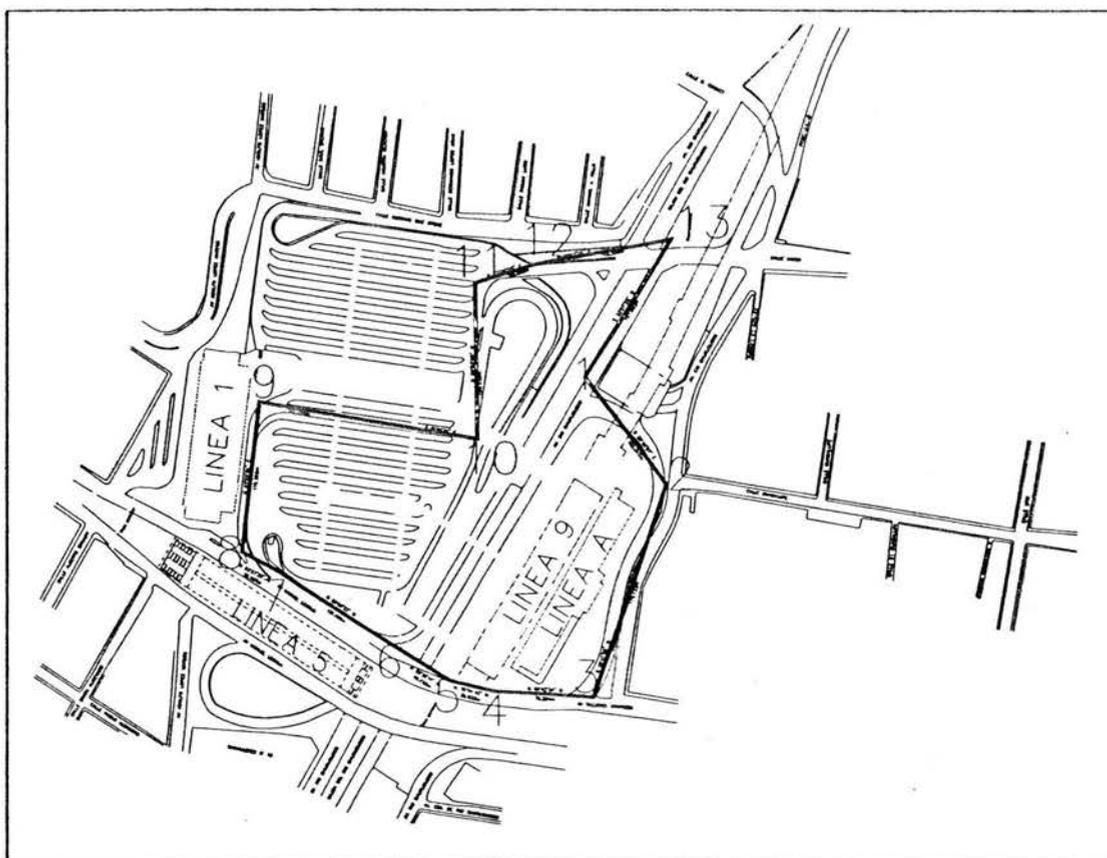
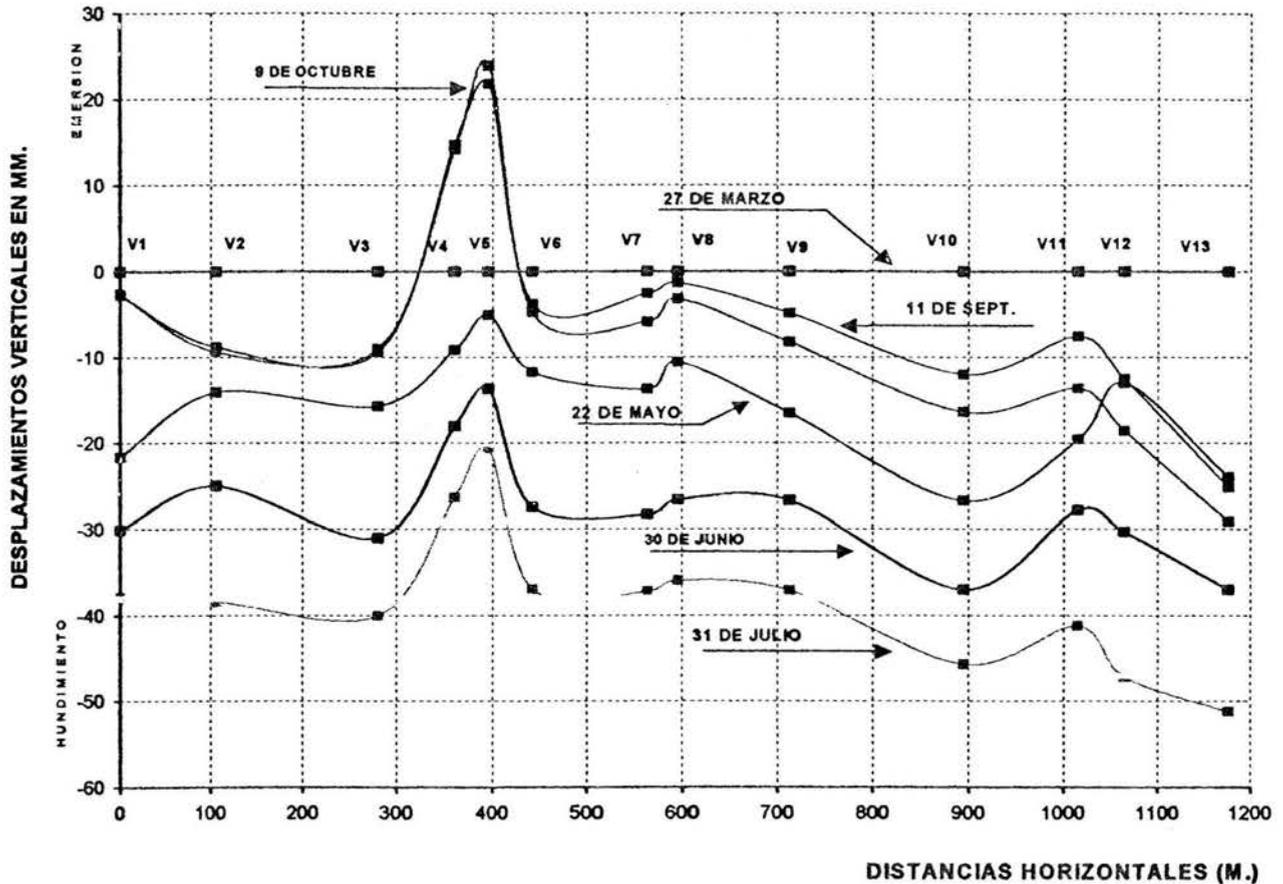


Fig. 3.9. Ubicación de la poligonal principal del Conjunto Pantitlán.

Pto.	Elev.	Dist. M	DIF. AL 27 DE MARZO DE 1999	DIF. AL 22 DE MAYO DE 1999	DIF. AL 30 DE JUNIO DE 1999	DIF. AL 31 DE JULIO DE 1999	DIF. AL 11 DE SEPT. DE 1999	DIF. AL 9 DE OCTUBRE DE 1999
⊕1	2230.3265	0.000	0	-21.6	-30.1	-37.9	-2.8	-2.7
⊕2	2227.8025	105.817	0	-14.1	-25	-38.4	-8.8	-9.4
⊕3	2228.4935	280.950	0	-15.7	-31	-40	-9.4	-9
⊕4	2228.8755	360.174	0	-9.1	-18	-26.3	14.8	14.2
⊕5	2229.2105	396.107	0	-5.1	-13.7	-20.6	21.8	23.9
⊕6	2230.3505	442.240	0	-11.7	-27.4	-36.9	-3.8	-4.8
⊕7	2228.7005	563.428	0	-13.7	-28.3	-37.2	-2.6	-5.9
⊕8	2228.7275	596.025	0	-10.6	-26.6	-35.9	-1.3	-3.2
⊕9	2228.6065	712.387	0	-16.5	-26.7	-37.1	-4.9	-8.3
⊕10	2228.8905	894.646	0	-26.7	-37	-45.7	-12	-16.4
⊕11	2230.1405	1014.984	0	-19.6	-27.8	-41.2	-7.6	-13.6
⊕12	2229.8765	1064.276	0	-13	-30.3	-47.2	-12.5	-18.6
⊕13	2229.1955	1176.606	0	-23.9	-37	-51.2	-25.1	-29.1

Fig. 3.10. Tabla de Movimientos verticales diferenciales de la poligonal principal

MOVIMIENTOS VERTICALES DIFERENCIALES DE LA POLIGONAL PRINCIPA



Gráfica 3.11. Monitoreo de la Poligonal Principal del Conjunto Pantitlán

• Nivelación de bancos de nivel de línea 9

Los bancos de nivel de esta línea, fueron un señalamiento que decidió el departamento de Topografía realizar para compararlo con el eje "A" al cual es paralelo, ya que podría presentarnos otra visión del hundimiento del eje, estos se encuentran ubicados en el exterior de la línea 9, y debajo de las pasarelas elevadas; esto nos proporciona una forma de evaluar superficialmente en un marco general el comportamiento en ese eje del conjunto Pantitlán ya que al encontrarse bastantes cercanos y paralelos se ven afectados por los mismos factores, un ejemplo de este es el banco de nivel BN L-9 el cual esta

prácticamente destruido , ya que su ubicación esta 100% afectada por el hundimiento del conjunto. Con un total de 5 bancos de nivel, se muestra su croquis de ubicación en el plano figura 3.13; un ejemplo de estos bancos es la figura 3. 12, donde se colocó el banco de nivel B.N.51; los monitoreos realizados se muestran en la figura 3.14, donde se puede observar en las primeras columnas el punto y su elevación, consecuentemente se encuentran las diferencias de nivel que se realizaron a estos, durante un periodo aproximado de siete meses, en los cuales se observa su comportamiento de hundimiento y emersión con la grafica figura 3.15.

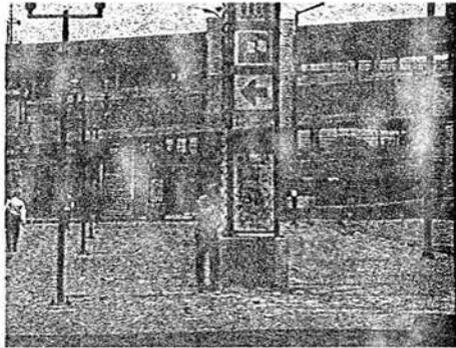


Fig. 3.12. Ubicación del banco de nivel 51

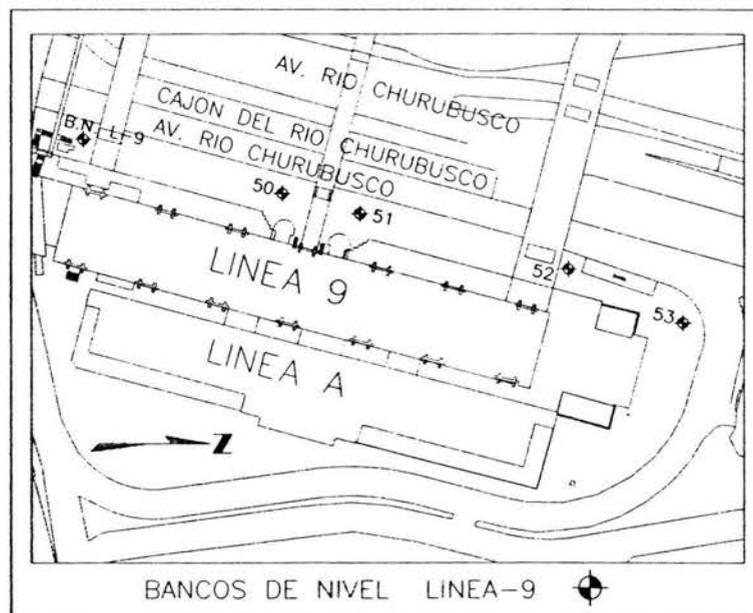


Fig. 3.13 Croquis de ubicación de los bancos de nivel 50's

			1	2
Punto	Elev.	Dist. M	13-Mar-99	27-Mar-99
BN.PL-9	28.7260	10.0000	0.0000	-2.0000
BN.50	28.6260	70.2990	0.0000	-2.0000
BN.51	28.6050	96.9660	0.0000	-2.0000
BN.52	28.8290	169.0390	0.0000	-2.0000
BN.53	28.8340	211.9750	0.0000	2.0000

3	4	5	6	7
07-Abr-99	17-Abr-99	26-Abr-99	01-May-99	05-May-99
-3.0000	-4.0000	-11.0000	-7.0000	-7.0000
0.0000	-3.0000	-11.0000	-5.0000	-5.0000
0.0000	-2.0000	-10.0000	-5.0000	-4.0000
0.0000	-2.0000	-10.0000	-4.0000	-4.0000
7.0000	2.0000	-5.0000	1.0000	1.0000

8	9	10	11	12
05-Jun-99	12-Jun-99	24-Jun-99	26-Jun-99	31-Jul-99
-6.0000	-6.1000	-6.8000	-6.2000	-5.9000
-4.0000	-4.8000	-4.8000	-4.2000	-5.7000
-3.3000	-4.5000	-4.8000	-3.9000	-7.2000
-2.0000	-4.2000	-8.1000	-5.5000	-6.1000
1.3000	1.1000	0.5000	1.8000	-0.7000

13	14	15	16	17
14-Ago-99	28-Ago-99	09-Sep-99	24-Sep-99	02-Oct-99
-6.9000	-6.5000	-7.1000	-6.4000	-6.4000
-8.2000	-8.2000	-7.3000	-8.4000	-10.4000
-10.0000	-10.7000	-8.8000	-10.7000	-13.1000
-7.4000	-7.7000	-6.0000	-7.0000	-8.7000
-2.6000	-3.7000	-2.3000	-3.9000	-5.8000

Fig. 3.14 Monitoreos realizados a los Bancos de Nivel 50's.

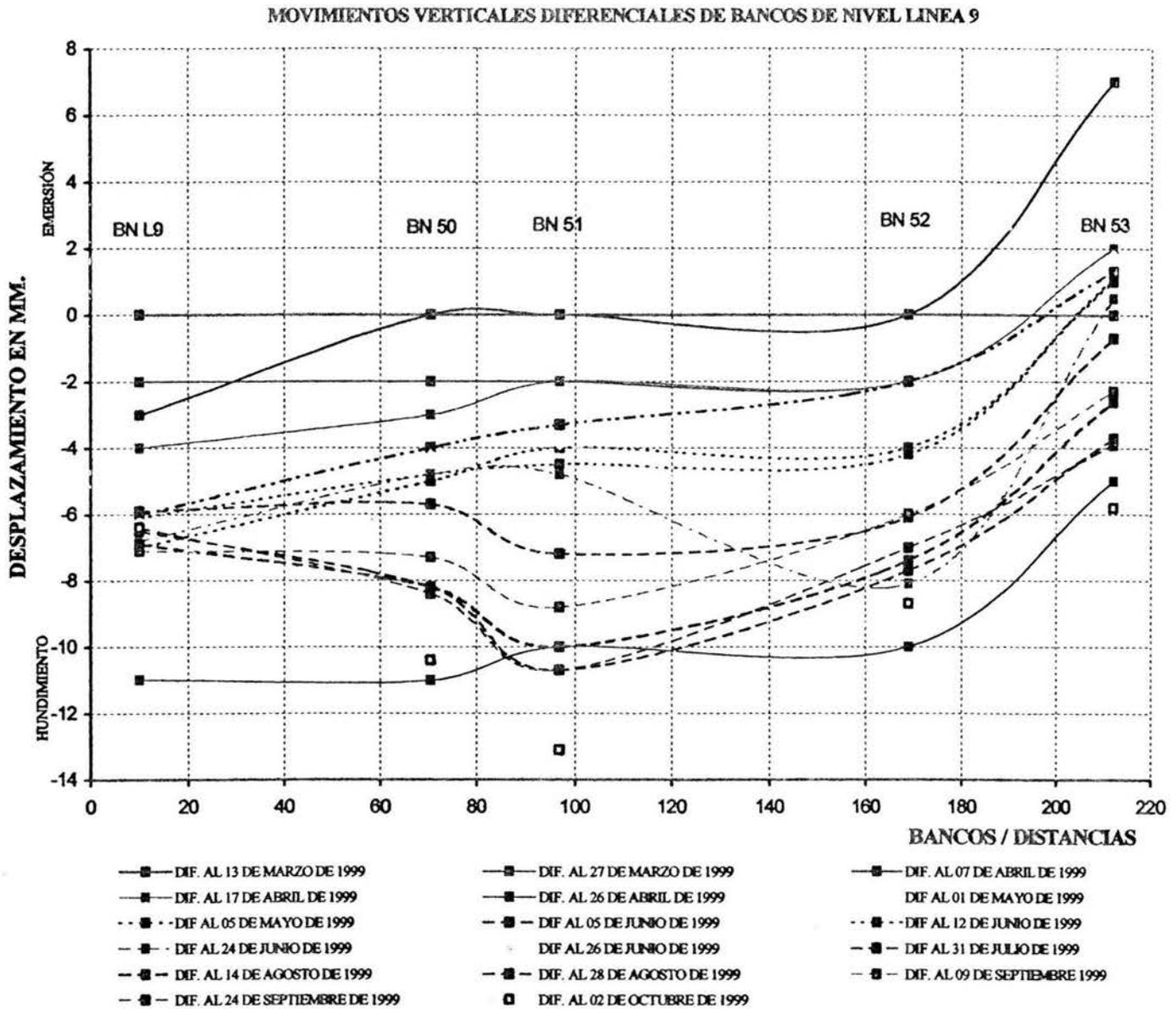


Fig. 3.15. Gráfica del comportamiento de los Bancos de Nivel 50's

• **Nivelación del eje "A" y eje "G" de línea 9**

La necesidad de las nivelaciones a estos ejes se debe, a que las zapatas rectangulares y trapeciales forman parte del soporte de las columnas de línea 9.

La zapata trapecoidal constituye el apoyo del extremo sur de la Estación Pantitlán y su forma obedece a que en ella se integró, dada su cercanía, el apoyo subsiguiente a la cabecera sur de la línea 9, ubicado antes de cruzar la avenida Talleres Gráficos. Por eso la importancia de realizar un análisis a esta parte de la

estructura del conjunto. En seguida se muestra un croquis de localización de los puntos de control en la figura 3.16, donde podemos observar la terminología que se empleo para la ubicación de las columnas y hacer un análisis tanto longitudinal como transversal, aunque para este estudio se realizó un monitoreo transversal, para interpretar el comportamiento y observar los puntos que han tenido movimiento, fue el punto de partida para la creación de los ejes "A y G", los cuales se encuentran uno frente al cajón-muro de Río Churubusco eje "A"; y el otro a un costado de la línea A eje "G", los monitoreos realizados se muestran en las figuras 3.17a y 3.17b eje "G y A" respectivamente, donde se observa la elevación de cada uno, con sus respectivas distancias entre ellos, el primer monitoreo es la base para los subsecuentes análisis por lo que la comparación resulta en ceros al no existir diferencia alguna, también se muestran las gráficas de desplazamientos de los apoyos pertenecientes a la estructura en ambos ejes figuras 3.18a y 3.18b.

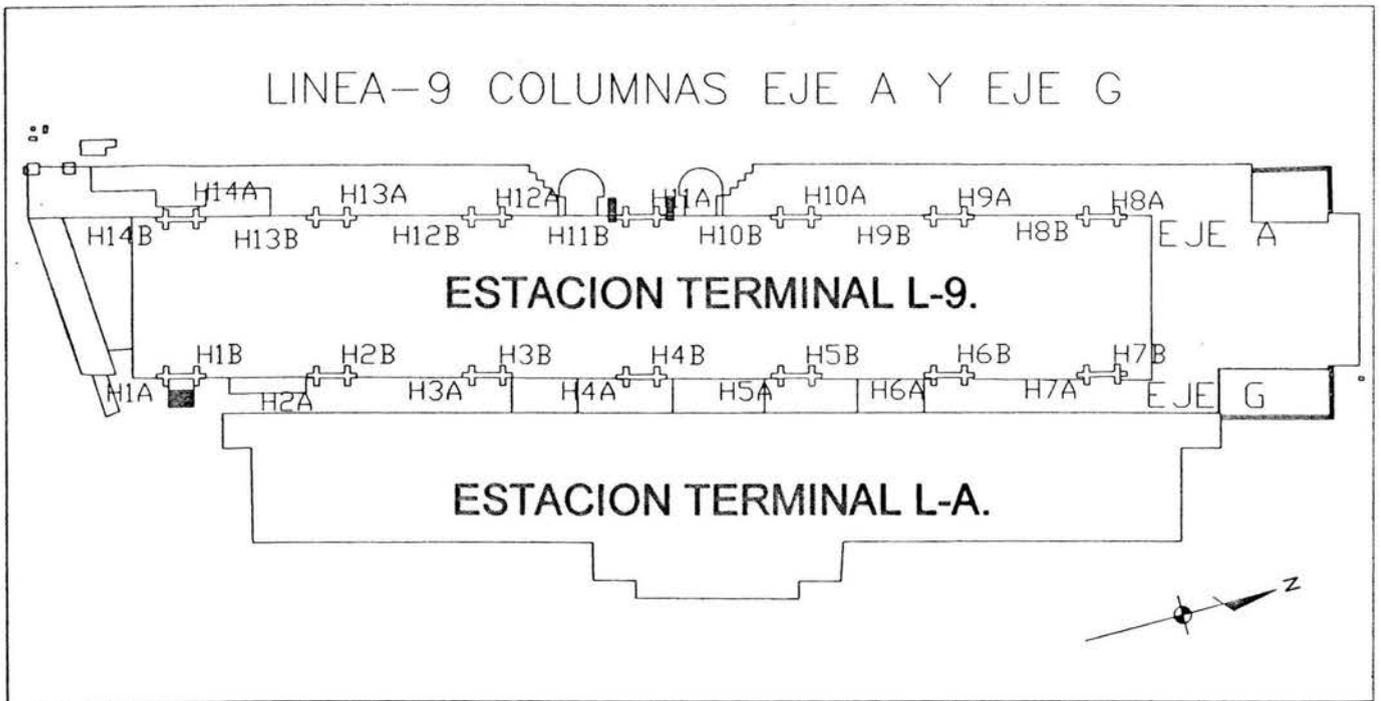


Figura 3.16 croquis de localización de las columnas de línea 9 eje "A" y eje "G"

Paloma	Elevación	Dist. M	DIF. AL 17 DE ABRIL DE 1999	DIF. AL 12 DE JUNIO DE 1999	DIF. AL 19 DE JUNIO DE 1999	DIF. AL 02 DE AGOSTO DE 1999	DIF. AL 11 DE SEP. DE 1999	DIF. AL 24 DE SEPT. DE 1999	DIF. AL 02 DE OCT. DE 1999
H 1A E	2230.3607	5.000	0.0000	4.9	2.0	3.1	7.3	8.6	7.6
H 1B E	2230.3467	10.000	0.0000	5.2	1.8	1.1	5.8	8.1	5.9
H 2A E	2229.0849	30.000	0.0000	3.6	-3.4	-4.8	-2.3	1.3	-5.2
H 2B E	2229.0682	35.000	0.0000	3.6	-4.3	-5.9	-4.1	0.0	-6.8
H 3A E	2228.9919	55.000	0.0000	1.4	-7.2	-7.5	-6.4	-4.8	-9.9
H 3B E	2228.9804	60.000	0.0000	0.6	-8.2	-7.6	-6.7	-5.0	-10.1
H 4A E	2228.9705	80.000	0.0000	-5.0	-11.6	-10.5	-9.8	-6.3	-11.8
H 4B E	2228.9627	85.000	0.0000	-5.9	-11.1	-10.4	-10.4	-6.8	-11.8
H 5B E	2228.8985	110.000	0.0000	-3.3	-9.9	-12.5	-8.8	-4.1	-11.4
H 6A E	2228.8534	130.000	0.0000	-2.7	-6.7	-9.6	-7.2	-5.1	-10.6
H 6B E	2228.8509	135.000	0.0000	-2.8	-6.0	-9.6	-7.0	-5.4	-11.5
H 7A E	2228.8177	155.000	0.0000	-1.7	-6.8	-6.1	-4.0	-4.4	-11.5
H 7B E	2228.8186	160.000	0.0000	-2.5	-5.4	-5.8	-5.3	-3.9	-10.6

Figura 3.17a monitoreos realizados al eje "G"

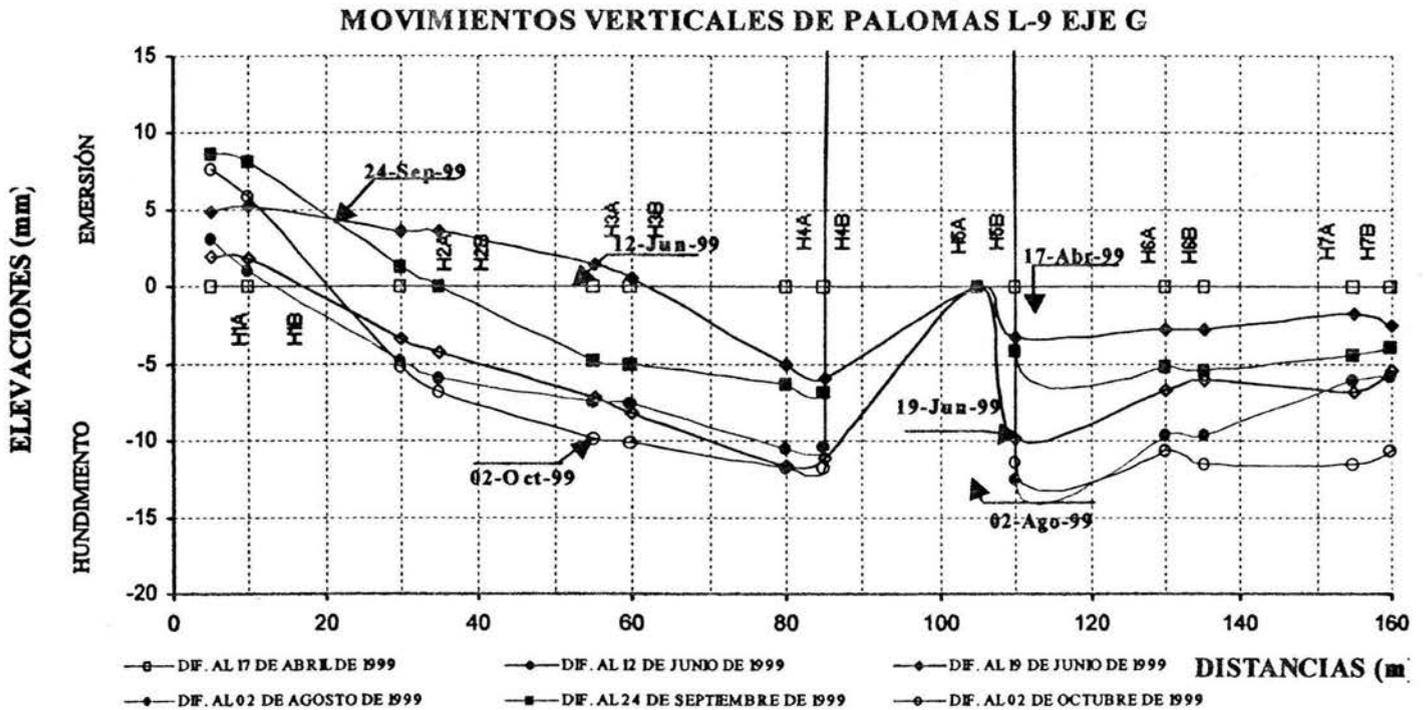


figura 3.18a gráfica de los monitoreos realizados al eje "G"

Paloma	Elevación	Dist. M	DIF.							
			DIF. AL 13/03/1999	DIF. AL 17/04/1999	DIF. AL 12/06/1999	DIF. AL 19/06/1999	DIF. AL 11/09/1999	DIF. AL 24/09/1999	DIF. AL 2/10/1999	
▽ H 14B W	2228.5032	5.000	0.0000	0.8000	4.200	5.300	9.5	13.5000	10.1000	
▽ H 14A W	2228.493	10.000	0.0000	0.8000	2.300	5.500	9.8	12.4000	9.7000	
▽ H 13B W	2229.2998	30.000	0.0000	-2.8000	-1.200	-4.300	-3.6	-1.4000	-6.7000	
▽ H 13A W	2229.283	35.000	0.0000	-1.8000	-1.500	-4.400	-3.1	-2.3000	-6.4000	
▽ H 12B W	2229.2239	55.000	0.0000	-0.8000	-1.800	-5.900	-4.6	-4.8000	-11.1000	
▽ H 12 A W	2229.2129	60.000	0.0000	-2.7000	-3.400	-7.500	-6.9	-6.2000	-11.4000	
▽ H 11B W	2228.1816	80.000	0.0000	-0.6000	-2.300	-8.500	-7.9	-6.8000	-12.5000	
▽ H 11A W	2228.174	85.000	0.0000	-1.0000	-3.000	-8.400	-8.5	-13.4000	-14.0000	
▽ H 10B W	2229.198	105.000	0.0000	0.5000	-0.800	-9.500	-10	-11.1000	-14.8000	
▽ H 10A W	2229.1909	110.000	0.0000	1.1000	-0.300	-9.000	-10.3	-11.2000	-12.5000	
▽ H 9B W	2229.1896	130.000	0.0000	1.2000	-1.600	-8.600	-9.3	-11.1000	-15.0000	
▽ H 9A W	2229.1841	135.000	0.0000	1.9000	-0.900	-7.100	-8	-9.6000	-14.4000	
▽ H 8B W	2228.2015	155.000	0.0000	0.3000	-1.900	-10.200	-6.6	-8.3000	-11.4000	
▽ H 8A W	2228.2048	160.000	0.0000	-1.1000	-0.300	-10.700	-7	-8.6000	-11.3700	

Figura 3.17b monitoreos realizados al eje "A"

MOVIMIENTOS VERTICALES DE PALOMAS L-9 EJE A

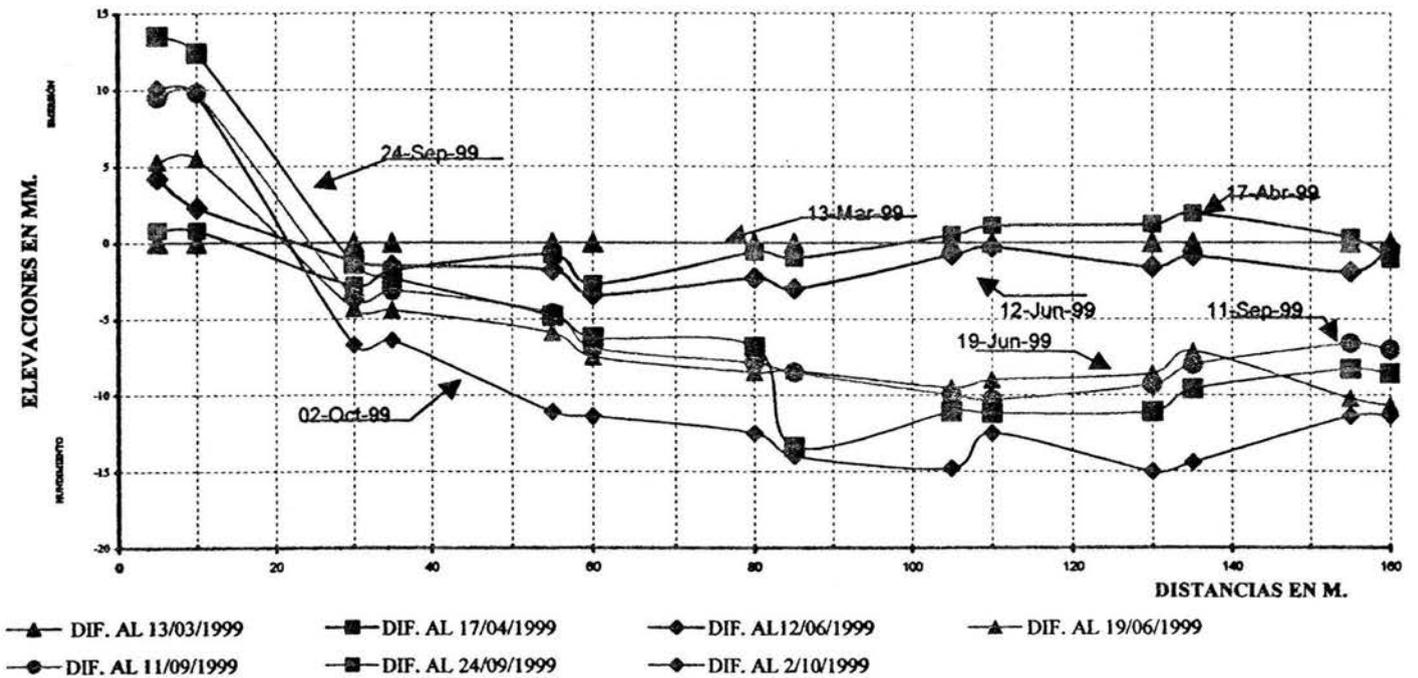


Figura 3.18b gráficas de los monitoreos realizados al eje "A"

• **Nivelación cajón y muro de Río Churubusco**

La necesidad de llevar a cabo un registro de nivelaciones a esta estructura, se debió a que tres puentes peatonales pertenecientes al Conjunto Pantitlán, se encuentran apoyados sobre el muro del cajón de Río Churubusco, también por presentar problemas de hundimiento y emersión, como puede observarse a continuación con la tabla de movimientos verticales, y su gráfica de desplazamiento vertical figuras 3.21 y 3.23 respectivamente.

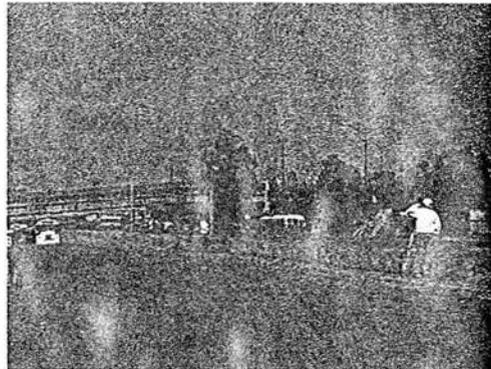
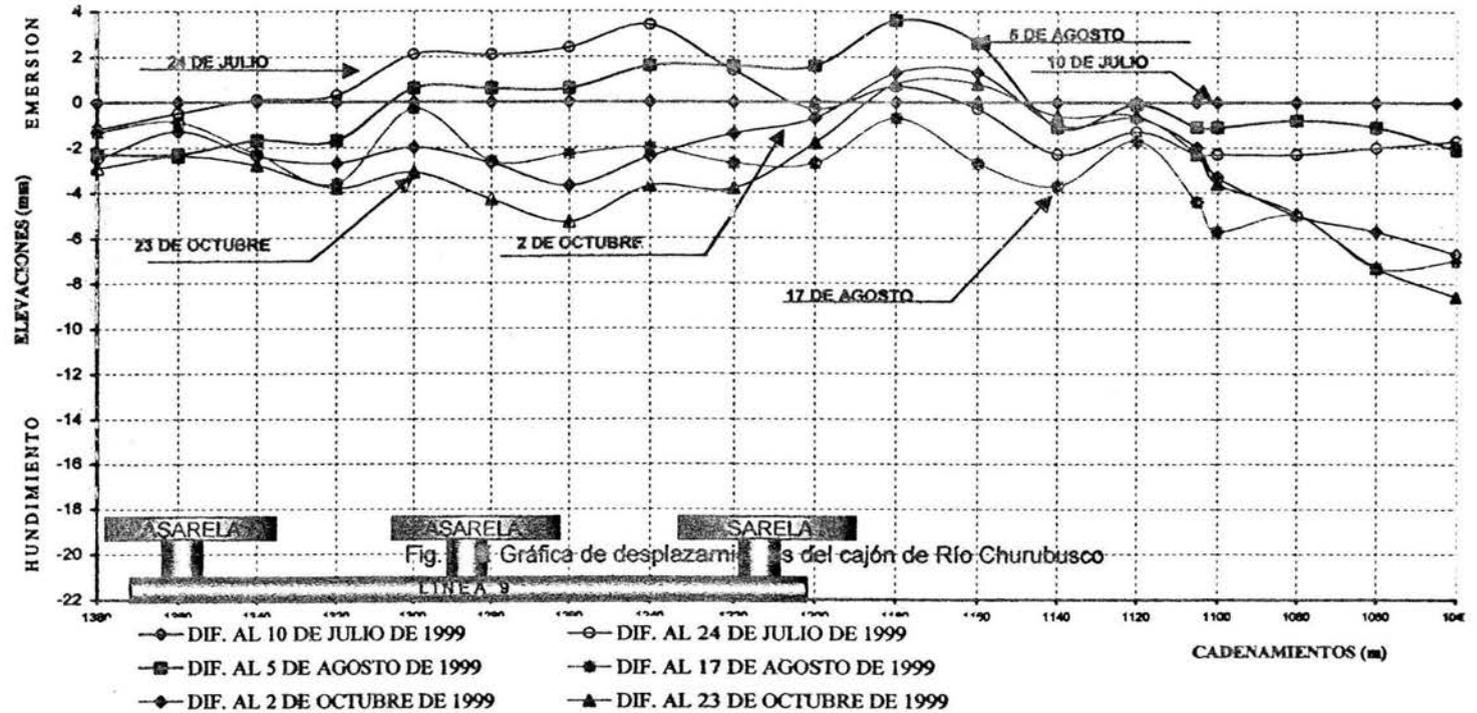


Fig. 3.19 foto del cajón y muro de Río Churubusco

PUNTO	Elevación	DIF. AL 10 DE JULIO DE 1999	DIF. AL 24 DE JULIO DE 1999	DIF. AL 5 DE AGOSTO DE 1999	DIF. AL 17 DE AGOSTO DE 1999	DIF. AL 2 DE OCTUBRE DE 1999	DIF. AL 23 DE OCTUBRE DE 1999
1+040	2229.8030	0.00	-1.70	-2.10	-7.00	-6.70	-8.60
1+060	2229.9400	0.00	-2.00	-1.10	-7.30	-5.70	-7.30
1+080	2230.1220	0.00	-2.30	-0.80	-5.00	-5.00	-4.90
1+100	2230.3420	0.00	-2.30	-1.10	-5.70	-3.30	-3.60
1+105	2230.3320	0.00	-2.30	-1.10	-4.40	-2.00	-2.30
1+120	2230.3290	0.00	-1.30	-0.10	-1.70	-0.70	-0.60
1+140	2230.2790	0.00	-2.30	-1.10	-3.70	-1.00	-0.60
1+160	2230.1960	0.00	-0.30	2.60	-2.70	1.30	0.80
1+180	2230.0740	0.00	0.70	3.60	-0.70	1.30	0.80
1+200	2230.0230	0.00	-0.30	1.60	-2.70	-0.70	-1.80
1+220	2230.0180	0.00	1.40	1.60	-2.70	-1.40	-3.80
1+240	2229.8910	0.00	3.40	1.60	-2.00	-2.40	-3.70
1+260	2229.8830	0.00	2.40	0.60	-2.30	-3.70	-5.30
1+280	2229.9750	0.00	2.10	0.60	-2.60	-2.70	-4.30
1+300	2230.0120	0.00	2.10	0.60	-0.30	-2.00	-3.10
1+320	2230.0023	0.00	0.30	-1.70	-3.60	-2.70	-3.80
1+340	2229.8870	0.00	0.10	-1.70	-2.30	-2.40	-2.80
1+360	2229.7386	0.00	-0.50	-2.30	-0.90	-1.30	-2.40
1+380	2229.5783	0.00	-1.20	-2.30	-1.30	-2.50	-2.90

Fig. 3.20 Monitoreo realizado al cajón de Río Churubusco

DESPLAZAMIENTOS VERTICALES DIFERENCIALES DEL CAJÓN DE RIO CHURUBUSCO
(CORRESPONDIENTES A 6 NIVELACIONES DE DIFERENTES EPOCAS DEL CONJUNTO PANTITLAN)



PUNTO	Elevación	DIF. AL 30 DE JUNIO DE 1999	DIF. AL 24 DE JULIO DE 1999	DIF. AL 5 DE AGOSTO DE 1999	DIF. AL 1 DE SEPT. DE 1999	DIF. AL 2 DE OCTUBRE DE 1999	DIF. AL 23 DE OCTUBRE DE 1999
1+040	2229.6138	0.0000	-0.0028	-0.0029	-0.0118	-0.0158	-0.0154
1+060	2229.6719	0.0000	-0.0029	-0.008	-0.0146	-0.0183	-0.0202
1+080	2229.7411	0.0000	-0.0024	-0.0002	-0.0061	-0.0071	-0.0084
1+100	2229.6411	0.0000	-0.0017	-0.0018	-0.0051	-0.0038	-0.0047
1+105	2230.284	0.0000	-0.0033	-0.0031	-0.0064	-0.007	-0.0056
1+105	2229.562	0.0000	-0.0023	-0.0021	-0.0057	-0.004	-0.0049
1+120	2230.2731	0.0000	-0.0034	-0.0022	-0.0045	-0.0038	-0.0047
1+140	2230.2261	0.0000	-0.0027	-0.0005	-0.0038	-0.0018	-0.0015
1+160	2230.1471	0.0000	-0.0024	0.0005	-0.0048	-0.0021	-0.0017
1+180	2230.0031	0.0000	-0.0024	0.0005	-0.0038	-0.0025	-0.003
1+200	2229.9198	0.0000	-0.0018	-0.0002	-0.0052	-0.0022	-0.004
1+220	2229.8811	0.0000	-0.0074	-0.0075	-0.0101	-0.0085	-0.0106
1+240	2229.7171	0.0000	-0.0047	-0.0075	-0.0118	-0.0095	-0.0106
1+260	2229.6591	0.0000	-0.0047	-0.0075	-0.0114	-0.0105	-0.0131
1+280	2229.7781	0.0000	-0.0037	-0.0055	-0.0101	-0.0081	-0.0098
1+300	2229.9141	0.0000	-0.0017	-0.0035	-0.0054	-0.0028	-0.0061
1+320	2230.1981	0.0000	0.0017	-0.0005	-0.0024	-0.0008	-0.0012
1+340	2230.1521	0.0000	0.001	-0.0008	-0.0024	-0.0008	-0.0019
1+360	2229.9848	0.0000	0.0013	0.0005	0.0009	-0.0005	-0.0003
1+380	2229.6701	0.0000	0.002	0.0009	0.0029	0.0007	-0.0002

Fig. 3.22 Monitoreos realizados al muro de Río Churubusco

DESPLAZAMIENTOS VERTICALES DIFERENCIALES DEL MURO DE RIO CHURUBUSCO
(CORRESPONDIENTES A 6 NIVELACIONES DE DIFERENTES EPOCAS DEL CONJUNTO PANTITLAN)

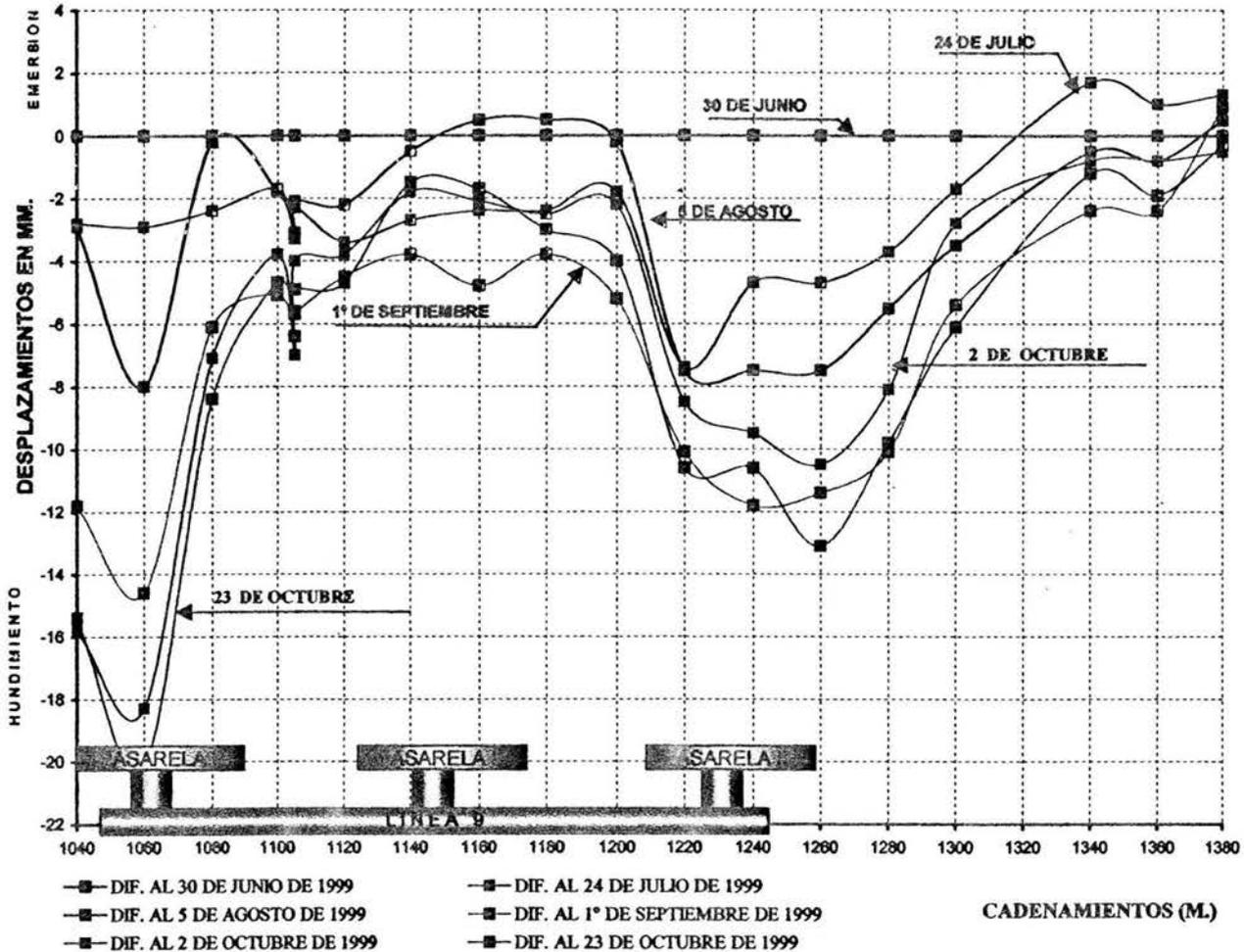


Fig. 3.23 Gráfica de desplazamientos del muro de Río Churubusco

• **Pasarelas de trasbordo del Conjunto Pantitlán**

Dentro del Conjunto Pantitlán se encuentran siete pasarelas y cuatro distribuidores de trasbordo cuyas estructuras están cimentadas a base de zapatas tipo cajón, información proporcionada por la DGCOSTC, y debido precisamente a su tipo de cimentación que poseen y que es una de las razones de análisis por las cuales se pidió llevar a cabo este proyecto se realizaron las nivelaciones; a continuación se muestra una vista de la planta general del Conjunto, para identificar las pasarelas y distribuidores, también sus monitoreos para analizar su comportamiento y gráficas para visualizar los resultados producto de las nivelaciones. En seguida se presentan las pasarelas de la pasarela I a pasarela VII, con sus respectivos

controles y gráficas llevados a cabo, ver ubicación de estas en figura 2.1 planta general del Conjunto Pantitlán.

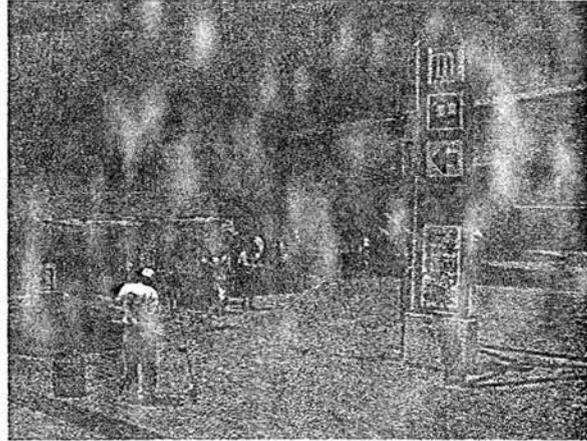


Fig. 3.24 Fotografía de la Pasarela II y su distribuidor

Pasarela I

PALOMA	Elevación	Diferencia al 24 de Abril de 1999	Diferencia al 05 de Junio de 1999	Diferencia al 01 de Julio de 1999	Diferencia al 04 de Sept. de 1999
JI-N-1S	2233.3435	0.0	-0.3	-0.5	0.5
JI-N-2S	2235.0052	0.0	1.4	-2.9	-1.9
JII-N-1S	2235.0224	0.0	1.4	-3.1	-1.6
JII-N-2S	2237.8081	0.0	0.7	-5.8	-5.8
JIII-N-1S	2237.8131	0.0	0.8	-4.8	-5.4
JI-N-1N	2233.3460	0.0	1.5	0.0	2.8
JI-N-2N	2233.3681	0.0	-0.3	-0.8	1.8
JII-N-1N	2235.0008	0.0	1.9	-2.4	-1.5
JII-N-2N	2235.0219	0.0	2.7	-1.7	1.0
JIII-N-1N	2237.7640	0.0	0.8	-6.0	-6.0
JIII-N-2N	2237.7599	0.0	1.3	-6.4	-5.0

Fig. 3.26 Control de nivelación de la Pasarela I

DESPLAZAMIENTOS VERTICALES DIFERENCIALES EN PASARELA I
LADO SUR Y LADO NORTE

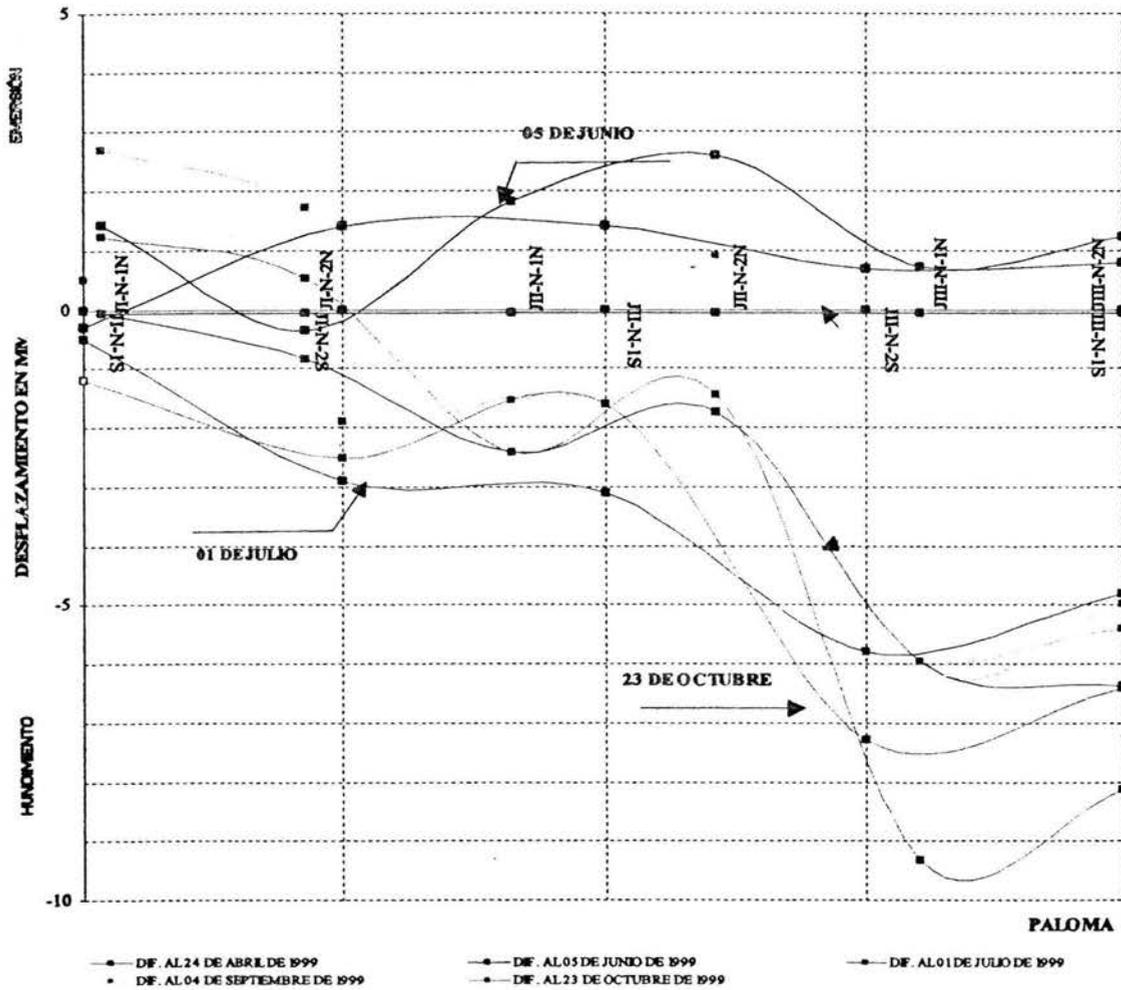


Fig. 3.27 Gráfica de desplazamiento vertical de Pasarela I

En lo concerniente a la **Pasarela II** esta se dividió en lado norte y lado sur, para un mejor análisis del hundimiento que presenta; a continuación se muestra tanto sus monitoreos y gráficas como quedaron,.

PALOMA LADO SUR	ELEVACION	Diferencia al 10 Abril de 1999	Diferencia al 26 de Mayo de 1999	Diferencia al 01 de Julio de 1999	Diferencia al 18 de Agosto de 1999	Diferencia al 21 de Oct. de 1999
JI-N-1	2232.2331	0.0	-0.4	-4.4	-7.2	-11.3
JI-N-2	2232.2514	0.0	-0.2	-3.9	-6.7	-11.0
JII-N-1	2233.0579	0.0	-3.5	-3.8	-8.6	-12.6
JII-N-2	2233.069	0.0	-4.6	-2.9	-8.5	-12.8
JIII-N-1	2234.8388	0.0	4.0	0.8	-4.5	-8.3
JIII-N-2	2234.8685	0.0	4.3	1.1	-4.3	-8.6
JIV-N-1	2237.6645	0.0	0.4	-1.9	-5.3	-7.7
JIV-N-2	2237.6702	0.0	0.4	-2.6	-4.9	-8.0
JV-N-1	2237.6353	0.0	0.4	-3.4	-7.6	-8.6
JV-N-2	2237.621	0.0	-0.6	-2.5	-7.6	-8.7
JVI-N-1	2236.1165	0.0	0.6	-3.0	-8.2	-5.3

Fig. 3.28a Control de nivelación de Pasarela II lado sur

PALOMA LADO NORTE	ELEVACION	Diferencia al 10 Abril de 1999	Diferencia al 26 de Mayo de 1999	Diferencia al 01 de Julio de 1999	Diferencia al 18 de Agosto de 1999	Diferencia al 21 de Oct. de 1999
JI-N-1	2232.2819	0.0	-1.2	-6.0	-8.1	-11.4
JI-N-2	2232.3019	0.0	-1.2	-6.4	-9.3	-12.0
JII-N-1	2233.0619	0.0	-2.7	-2.5	-8.7	-12.6
JII-N-2	2233.0681	0.0	-3.1	-2.2	-8.1	-12.8
JIII-N-1	2234.8727	0.0	4.3	1.9	-5.1	-7.9
JIII-N-2	2234.8996	0.0	6.0	0.7	-2.3	-5.0
JIV-N-1	2237.6329	0.0	0.0	-1.3	-4.9	-8.4
JIV-N-2	2237.6381	0.0	0.8	-1.5	-5.5	-8.6
JV-N-1	2237.6713	0.0	0.4	-3.4	-7.9	-9.0
JV-N-2	2237.6694	0.0	0.1	-4.0	-8.4	-9.5
JVI-N-1	2236.0711	0.0	-0.3	-3.3	-7.6	-6.6

Fig. 3.29a Control de nivelación de Pasarela II lado norte

DESPLAZAMIENTOS VERTICALES DIFERENCIALES DE PALOMAS EN PASARELA II LADO SUR

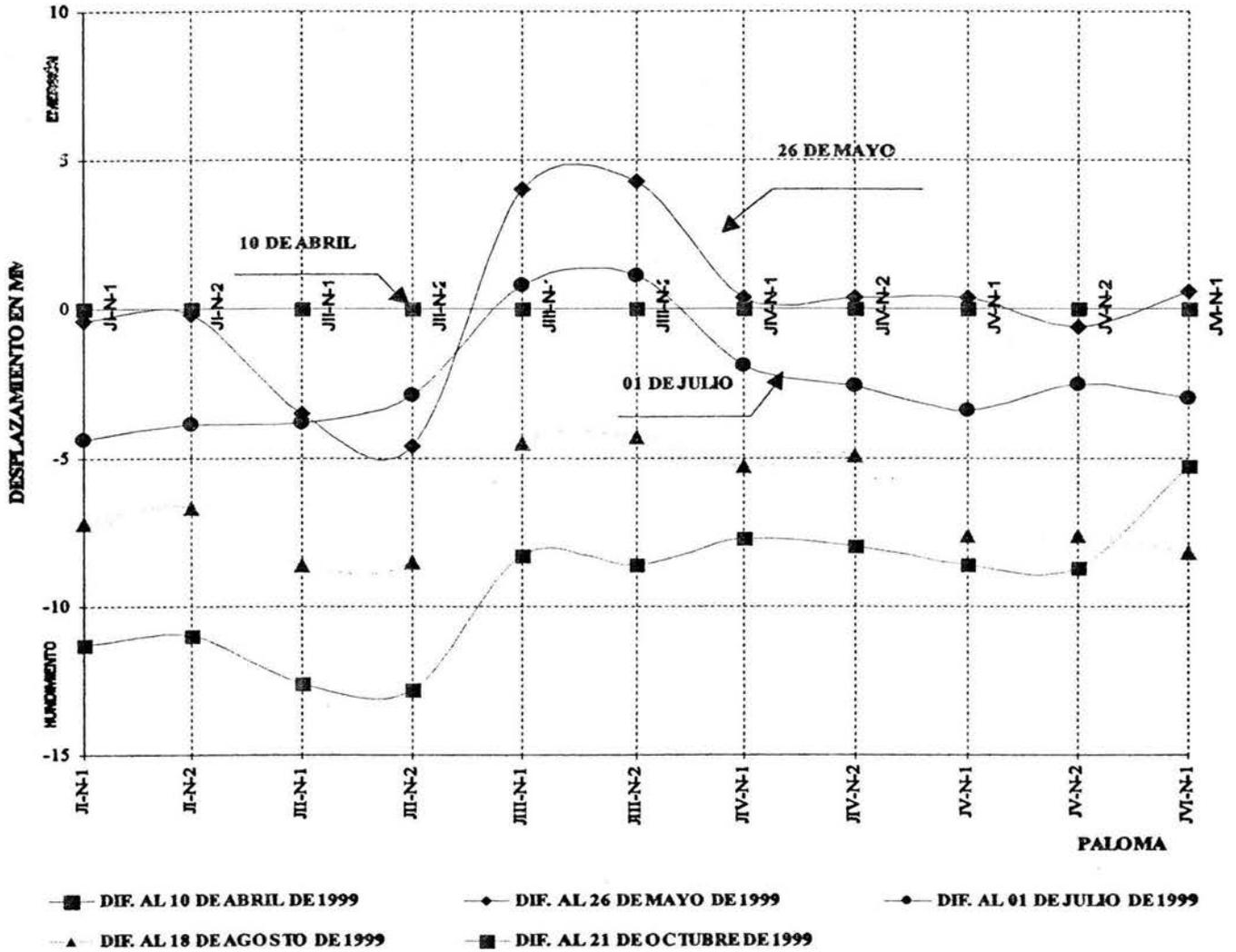


Fig. 3.28b Gráfica de desplazamiento continua Pasarela II lado sur

DESPLAZAMIENTOS VERTICALES DIFERENCIALES DE PALOMAS EN PASARELA II LADO NORTE

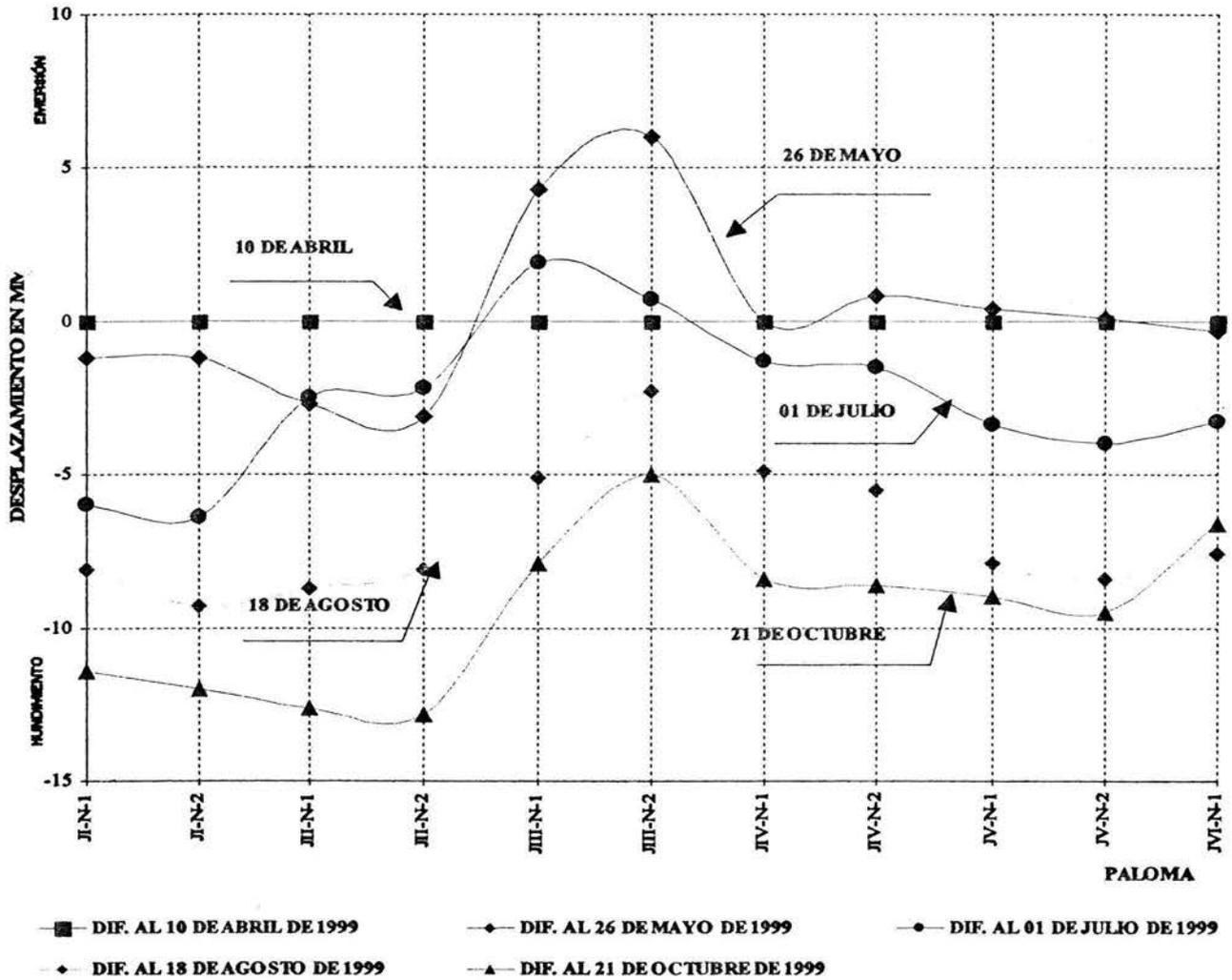


Fig. 3.29 b Gráfica de desplazamiento continua de Pasarela II lado norte

La **Pasarela III**; esta conformada por dos pasillos razón por la cual sus monitoreos son; pasillo norte lados norte y sur; y pasillo sur lados norte y sur; por lo tanto se manejaron dos monitoreos y gráficas del pasillo norte de la pasarela III y dos monitoreos y gráficas del pasillo sur de la pasarela III respectivamente, como se muestra a continuación.

Palomas lado norte	Elevación	Diferencia al 10 de Abril de 1999	Diferencia al 22 de Mayo de 1999	Diferencia al 01 de Julio de 1999	Diferencia al 18 de Agosto de 1999	Diferencia al 16 de Oct. de 1999
JI-N-1	2233.1036	0.00	-0.0016	-0.004	-0.0083	-0.0114
JI-N-2	2233.1334	0.00	-0.0014	-0.0037	-0.0085	-0.0096
JII-N-1	2234.9969	0.00	0.0014	0.0028	-0.004	-0.0047
JII-N-2	2235.0156	0.00	0.0007	0.0031	-0.0032	-0.0056
JIII-N-1	2237.5849	0.00	-0.0093	-0.0144	-0.0181	-0.0188
JIII-N-2	2237.5988	0.00	-0.0127	-0.0143	-0.0176	-0.0186
JIV-N-1	2237.7704	0.00	-0.0101	-0.0111	-0.0163	-0.0176
JIV-N-2	2237.7863	0.00	-0.0104	-0.0118	-0.0167	-0.0176
JV-N-1	2237.7695	0.00	-0.0089	-0.0081	-0.0128	-0.0142
JV-N-2	2237.783	0.00	-0.0079	-0.0069	-0.0111	-0.0129
JVI-N-1	2237.8937	0.00	-0.008	-0.0061	-0.0112	-0.01
JVI-N-2	2237.902	0.00	-0.0093	-0.0069	-0.0123	-0.011
JVII-N-1	2237.967	0.00	-0.0075	-0.0058	-0.0099	-0.0088

Fig. 3.30a Control de desplazamiento vertical de Pasarela III pasillo norte lado norte

Palomas lado sur	Elevación	Diferencia al 10 de Abril de 1999	Diferencia al 22 de Mayo de 1999	Diferencia al 01 de Julio de 1999	Diferencia al 18 de Agosto de 1999	Diferencia al 16 de Oct. de 1999
JI-N-1	2233.0598	0.0	0.5	-0.4	-7.2	-9.6
JI-N-2	2233.115	0.0	-1.7	-3.7	-8.3	-10.2
JII-N-1	2235.0241	0.0	1.5	2.7	-2.7	-2.8
JII-N-2	2235.046	0.0	1.6	2.8	-3.2	-3.4
JIII-N-1	2237.609	0.0	-10.6	-14.6	-18.0	-18.7
JIII-N-2	2237.6177	0.0	-11.1	-14.8	-17.8	-18.9
JIV-N-1	2237.7867	0.0	-10.4	-11.5	-16.3	-17.4
JIV-N-2	2237.7899	0.0	-10.5	-11.6	-16.6	-16.9
JV-N-1	2237.845	0.0	-8.9	-8.3	-12.5	-13.8
JV-N-2	2237.8493	0.0	-7.7	-7.3	-11.6	-12.7
JVI-N-1	2237.9215	0.0	-9.3	-7.9	-12.1	-11.3
JVI-N-2	2237.9167	0.0	-9.0	-7.4	-11.6	-10.7
JVII-N-1	2237.9898	0.0	-8.3	-5.6	-9.3	-8.8

Fig. 3.30 b Control de desplazamiento vertical de Pasarela III pasillo sur lado sur

DESPLAZAMIENTOS VERTICALES DIFERENCIALES EN PASARELA III
PASILLO NORTE LADO SUR Y LADO NORTE

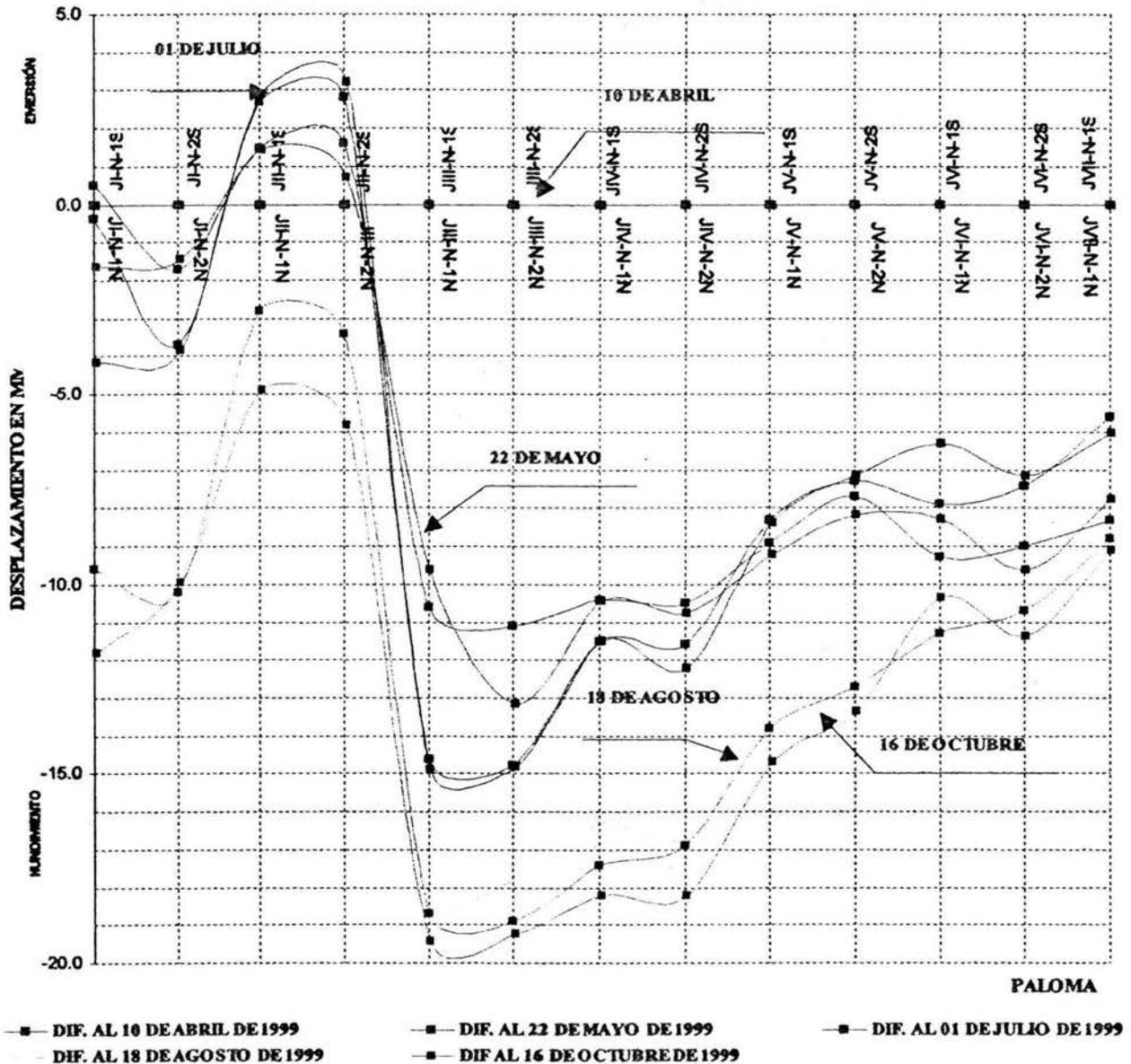


Fig. 3.30 Gráfica de desplazamientos verticales Pasarela III pasillo norte lado sur y lado norte

Pasarela III continuación pasillo sur.

Paloma lado sur pasillo S	Elevación	Diferencia al 10 de Abril de 1999	Diferencia al 22 de Mayo de 1999	Diferencia al 01 de Julio de 1999	Diferencia al 18 de Agosto de 1999	Diferencia al 21 de Oct. de 1999
JI-N-1	2233.0652	0.0	-1.0	-4.7	-8.7	-12.5
JI-N-2	2233.1137	0.0	-2.0	-5.9	-9.9	-14.9
JII-N-1	2234.9692	0.0	-1.7	-6.0	-5.7	-8.2
JII-N-2	2234.9954	0.0	-2.1	-5.4	-5.7	-9.0
JIII-N-1	2237.605	0.0	-0.7	-5.8	-9.9	-10.0
JIII-N-2	2237.6085	0.0	-1.0	-5.6	-9.5	-10.1
JIV-N-1	2237.8155	0.0	0.8	-2.3	-5.1	-7.1
JIV-N-2	2237.8183	0.0	1.0	-1.8	-5.5	-6.8
JV-N-1	2237.8025	0.0	0.2	-0.8	-4.7	-4.7
JV-N-2	2237.8093	0.0	-0.3	-1.4	-4.9	-6.4
JVI-N-1	2237.9304	0.0	-0.1	-0.3	-4.6	-5.2
JVI-N-2	2237.928	0.0	0.3	0.5	-4.0	-3.9
JVII-N-1	2238.0025	0.0	0.1	1.6	-3.4	-1.3

Fig. 3.31 a Control de desplazamiento vertical Pasarela III pasillo sur lado sur

Paloma lado norte pasillo S	Elevación	Diferencia al 10 de Abril de 1999	Diferencia al 22 de Mayo de 1999	Diferencia al 01 de Julio de 1999	Diferencia al 18 de Agosto de 1999	Diferencia al 21 de Oct. de 1999
JI-N-1	2233.0576	0.0	-0.8	-4.3	-7.4	-11.1
JI-N-2	2233.0525	0.0	-0.7	-4.2	-7.6	-11.7
JII-N-1	2234.9754	0.0	-1.4	-5.6	-4.9	-6.7
JII-N-2	2234.9854	0.0	-1.6	-5.5	-4.9	-6.4
JIII-N-1	2237.588	0.0	-0.5	-4.7	-8.9	-10.3
JIII-N-2	2237.5976	0.0	-1.1	-4.9	-9.5	-10.9
JIV-N-1	2237.7806	0.0	0.9	-2.7	-6.2	-7.3
JIV-N-2	2237.7955	0.0	0.4	-2.8	-6.6	-9.2
JV-N-1	2237.853	0.0	1.0	-0.4	-4.2	-5.2
JV-N-2	2237.8585	0.0	0.0	-1.0	-4.5	-5.3
JVI-N-1	2237.8984	0.0	-0.1	0.1	-5.8	-6.0
JVI-N-2	2237.904	0.0	0.3	-0.4	-4.3	-4.5
JVII-N-1	2237.9755	0.0	0.4	1.9	-2.2	-0.1

Fig. 3.31 b Control de desplazamiento vertical Pasarela III pasillo sur lado norte

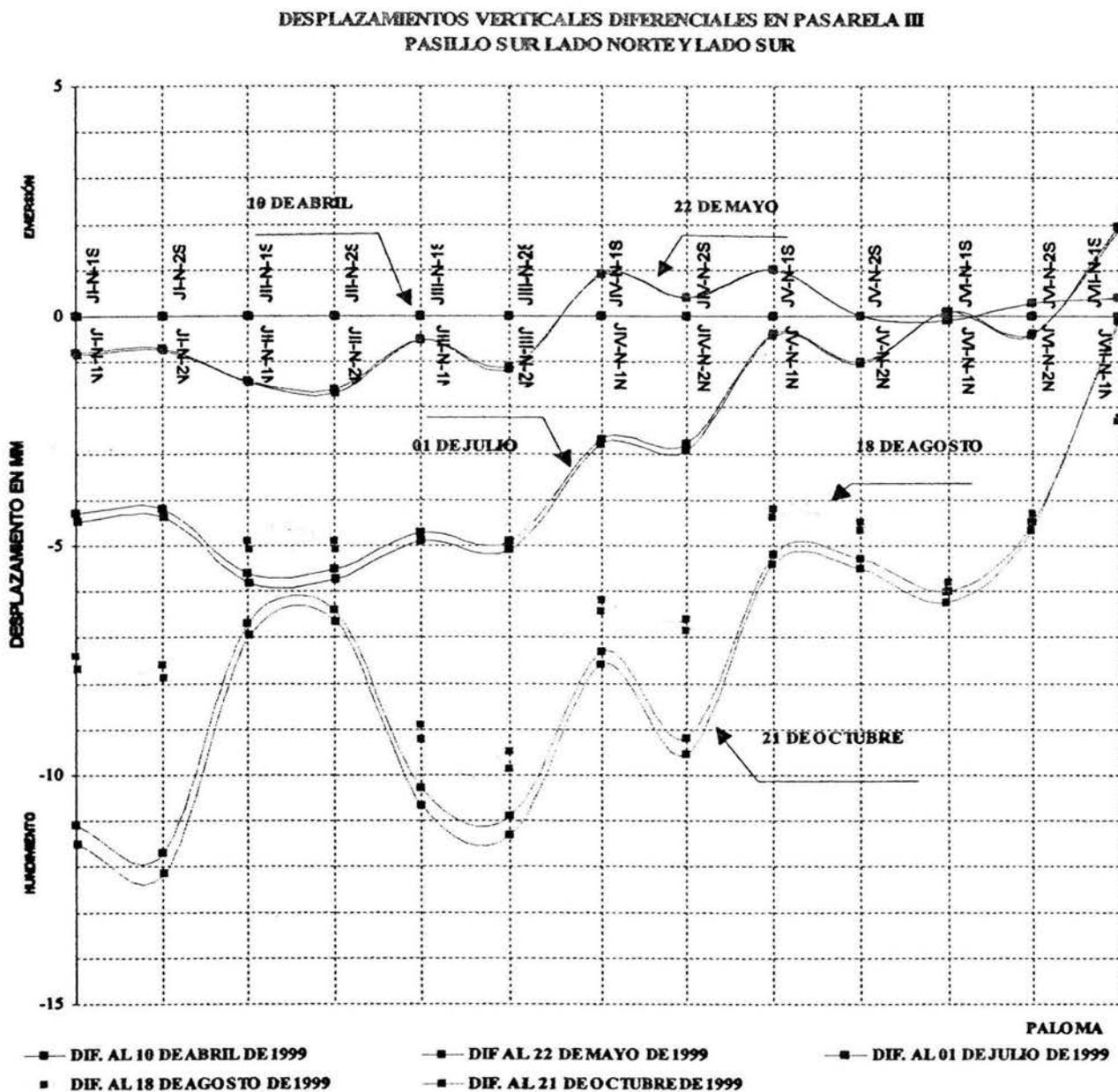


Fig. 3.31 Gráfica de desplazamientos verticales Pasarela III pasillo sur lado norte y lado sur

A continuación se muestran los monitoreos de la *Pasarela IV* y su gráfica correspondiente, se integraron los dos controles tanto el lado norte como el lado sur de la pasarela, dada su facilidad para visualizar la información.

Palomas lado sur	Elevación	Diferencia al 17 de Abril de 1999	Diferencia al 05 de Junio de 1999	Diferencia al 24 de Julio de 1999	Diferencia al 14 de Agosto de 1999	Diferencia al 30 de Sept. de 1999
SJ1-T2	2236.2385	0.0	1.1	-13.0	-11.8	-14.5
SJ2-T3	2236.3095	0.0	-0.2	-13.5	-11.5	-16.4
SJ2-T4	2236.1785	0.0	-0.2	-13.0	-11.5	-16.9
SJ3-T3	2236.2425	0.0	-1.2	-13.0	-12.0	-16.8
SJ3-T4	2236.2440	0.0	-1.2	-14.0	-12.0	-16.4
SJ4-T3	2236.3355	0.0	-0.2	-13.0	-14.0	-14.0
SJ4-T4	2236.3570	0.0	-2.2	-14.5	-15.6	-15.6

Fig. 3.32 a Control de desplazamiento vertical de Pasarela IV lado sur

Palomas lado norte	Elevación	Diferencia al 17 de Abril de 1999	Diferencia al 05 de Junio de 1999	Diferencia al 24 de Julio de 1999	Diferencia al 14 de Agosto de 1999	Diferencia al 30 de Sept. de 1999
NJ1-T1	2236.2315	0.0	1.6	-12.5	-10.8	-14.0
NJ2-T1	2236.3035	0.0	-0.7	-14.5	-13.5	-18.4
NJ2-T2	2236.2530	0.0	-0.7	-14.0	-12.5	-17.9
NJ3-T1	2236.2650	0.0	-0.7	-14.0	-11.8	-18.1
NJ3-T2	2236.2595	0.0	-0.7	-14.0	-12.5	-18.6
NJ4-T1	2236.3175	0.0	0.3	-13.5	0.0	-14.9
NJ4-T2	2236.3215	0.0	0.3	-14.0	0.0	-15.4

Fig. 3.32 b Control de desplazamiento vertical Pasarela IV lado norte

DESPLAZAMIENTOS VERTICALES DIFERENCIALES DEL PASARELA IV LADO NORTE Y LADO SUR

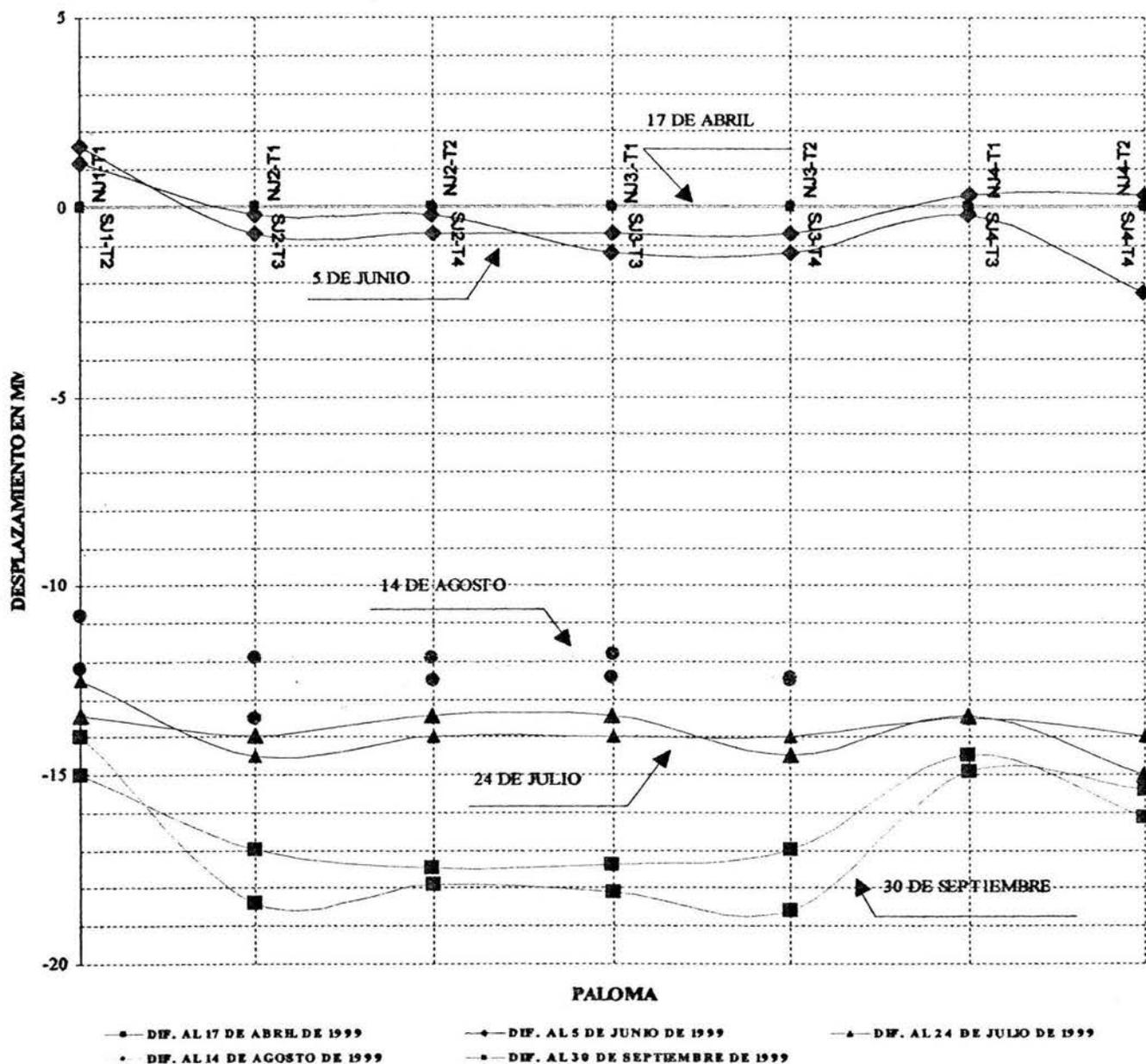


Fig. 3.32 Gráfica de desplazamiento vertical Pasarela IV lado norte y lado sur

En la *Pasarela V* se separaron sus monitoreos y las gráficas tanto el lado este como el lado oeste de la pasarela; en cuanto a sus controles se dividieron en dos las tablas debido a la cantidad de palomas existentes a lo largo de esta Pasarela, la manera en que se manejaron fue darles el señalamiento de palomas sur, centro y norte tanto de pasillo este y pasillo oeste, como se puede observar a continuación.

Monitoreo vertical en la terminal Pantitlán del Sistema de Transporte Colectivo (Metro)

Palomas Este	Elevación	Diferencia al 22 de Abril de 1999	Diferencia al 05 de Junio de 1999	Diferencia al 24 de Julio de 1999	Diferencia al 14 de Agosto de 1999	Diferencia al 30 de Sept. de 1999
SJ0-T1	2236.352	0.0	1.5	-12.0	-12.0	-17.7
SJ1-T1	2236.376	0.0	-5.0	-18.0	-18.0	-24.7
SJ1-T2	2236.3625	0.0	2.0	-11.5	-11.0	-17.2
SJ2-T1	2236.38	0.0	2.5	-9.0	-8.5	-14.2
SJ2-T2	2236.378	0.0	2.0	-9.0	-8.5	-13.7
SJ3.-T1	2236.384	0.0	2.0	-10.5	-11.5	-14.2
SJ3-T2	2236.374	0.0	2.0	-10.5	-11.5	-16.0
SJ4-T1	2236.434	0.0	2.0	-11.0	-12.0	-13.9
SJ4-T2	2236.422	0.0	2.5	-11.0	-12.0	-14.0
SJ5-T1	2236.425	0.0	2.5	-14.0	-12.0	-14.9
SJ5-T2	2236.428	0.0	2.5	-14.0	-12.0	-15.4
SJ6-T1	2236.4015	0.0	2.5	-14.0	-12.0	-14.9
SJ6-T2	2236.4045	0.0	2.5	-13.5	-11.5	-14.7
CJ1-T1	2236.3865	0.0	4.5	-14.5	-12.0	-15.9
CJ1-T2	2236.387	0.0	4.0	-14.5	-12.0	-16.4
CJ2-T1	2236.3665	0.0	3.5	-14.5	-12.0	-16.9
CJ2-T2	2236.3755	0.0	3.9	-14.5	-12.0	-16.9
CJ3-T1	2236.37	0.0	4.0	-14.0	-12.3	-17.4
CJ3-T2	2236.37	0.0	3.5	-15.0	-12.8	-17.9
CJ4-T1	2236.3205	0.0	2.5	-14.5	-13.3	-20.1
CJ4-T2	2236.318	0.0	2.5	-15.0	-13.3	-20.1
CJ5-T1	2236.3	0.0	2.5	-16.0	-16.0	-22.6
CJ5-T2	2236.294	0.0	4.0	-14.0	-14.0	-20.6

Fig. 3.33 a Control de desplazamiento vertical Pasarela V pasillo este palomas sur a centro.

Palomas Este	Elevación	Diferencia al 22 de Abril de 1999	Diferencia al 05 de Junio de 1999	Diferencia al 24 de Julio de 1999	Diferencia al 14 de Agosto de 1999	Diferencia al 30 de Sept. de 1999
CJ6-T1	2236.2150	0.0	2.0	-17.5	-16.0	-24.2
CJ6-T2	2236.2125	0.0	1.5	-17.5	-16.5	-24.7
CJ7-T1	2236.1490	0.0	2.0	-17.0	-16.5	-24.1
CJ7-T2	2236.1680	0.0	0.5	-18.0	-17.0	-25.1
CJ8-T1	2236.1440	0.0	1.5	-19.0	-16.5	-24.4
CJ8-T2	2236.1445	0.0	1.5	-18.5	-16.5	-23.4
NJ1-T1	2236.1355	0.0	0.5	-19.0	-17.0	-23.9
NJ1-T2	2236.1350	0.0	0.5	-19.0	-17.5	-24.4
NJ2-T1	2236.1130	0.0	1.0	-17.5	-16.5	-23.4
NJ2-T2	2236.1200	0.0	1.0	-17.5	-16.5	-23.4
NJ3-T1	2236.0850	0.0	1.0	-17.0	-16.3	-23.2
NJ3-T2	2236.0845	0.0	1.0	-17.0	-16.8	-23.2
NJ4-T1	2236.1480	0.0	3.0	-15.5	-14.3	-20.7
NJ4-T2	2236.1470	0.0	2.0	-16.5	-15.3	-21.5
NJ5-T1	2236.1530	0.0	3.5	-15.0	-14.8	-20.6
NJ5-T2	2236.1515	0.0	3.0	-15.0	-15.3	-20.9
NJ6-T1	2236.1415	0.0	2.0	-15.2	-13.8	-18.9
NJ6-T2	2236.1535	0.0	2.5	-15.2	-13.3	-19.4
NJ7-T1	2236.1660	0.0	2.5	-15.2	-14.0	-19.5
NJ7-T2	2236.1590	0.0	2.5	-15.2	-14.0	-19.5
NJ8-T1	2236.1945	0.0	2.0	-15.2	-14.0	-18.9
NJ8-T2	2236.1975	0.0	0.5	-17.2	-15.0	-20.1
NJ8'-T1	2236.2145	0.0	1.5	-15.2	-13.2	-19.0
NJ8'-T2	2236.2195	0.0	1.5	-15.2	-13.9	-19.7
NJ9-T1	2236.2625	0.0	1.5	-14.2	-13.7	-19.0

Fig. 3.33b Control de desplazamiento vertical Pasarela V pasillo este palomas centro a norte.

Monitoreo vertical en la terminal Pantitlán del Sistema de Transporte Colectivo (Metro)

Palomas Oeste	Elevación	Diferencia al 22 de Abril de 1999	Diferencia al 05 de Junio de 1999	Diferencia al 24 de Julio de 1999	Diferencia al 14 de Agosto de 1999	Diferencia al 30 de Sept. de 1999
SJ0-T2	2236.3755	0.0	1.5	-12.5	-12.5	-17.7
SJ1-T3	2236.359	0.0	2.0	-11.5	-12.0	-17.2
SJ1-T4	2236.37	0.0	2.0	-11.0	-11.5	-16.7
SJ2-T3	2236.425	0.0	2.0	-10.0	-9.0	-13.7
SJ2-T4	2236.429	0.0	2.0	-10.0	-9.5	-13.7
SJ3-T3	2236.491	0.0	1.5	-10.0	-11.5	-13.7
SJ3-T4	2236.493	0.0	2.0	-10.0	-11.0	-13.7
SJ4-T3	2236.535	0.0	3.0	-11.0	-11.0	-13.7
SJ4-T4	2236.5415	0.0	2.5	-11.0	-11.5	-13.4
SJ5-T3	2236.4975	0.0	2.0	-13.5	-11.5	-14.9
SJ5-T4	2236.503	0.0	3.0	-13.0	-11.0	-13.4
SJ6-T3	2236.5175	0.0	2.5	-13.5	-11.5	-13.9
SJ6-T4	2236.505	0.0	2.0	-13.5	-11.5	-14.3
CJ1-T3	2236.5155	0.0	4.0	-14.5	-12.0	-15.9
CJ1-T4	2236.516	0.0	4.5	-14.5	-12.0	-16.3
CJ2-T3	2236.5	0.0	4.0	-14.0	-12.0	-15.9
CJ2-T4	2236.493	0.0	4.0	-14.0	-12.0	-16.4
CJ3-T3	2236.4075	0.0	4.0	-14.5	-11.5	-16.9
CJ3-T4	2236.414	0.0	4.0	-14.0	-11.5	-16.4
CJ4-T3	2236.407	0.0	2.0	-14.0	-13.3	-21.6
CJ4-T4	2236.4125	0.0	2.0	-14.5	-13.8	-19.6
CJ5-T3	2236.412	0.0	2.0	-15.5	-15.0	-21.3
CJ5-T4	2236.4165	0.0	2.0	-15.5	-15.0	-20.8

Fig. 3.34a Control de desplazamiento vertical Pasarela V pasillo oeste palomas sur a centro.

Palomas Oeste	Elevación	Diferencia al 22 de Abril de 1999	Diferencia al 05 de Junio de 1999	Diferencia al 24 de Julio de 1999	Diferencia al 14 de Agosto de 1999	Diferencia al 30 de Sept. de 1999
CJ6-T3	2236.3095	0.0	2.0	-18.0	-17.0	-24.8
CJ6-T4	2236.3115	0.0	2.0	-17.5	-16.5	-24.1
CJ7-T3	2236.2205	0.0	2.0	-17.5	-16.0	-23.6
CJ7-T4	2236.2165	0.0	2.5	-17.5	-16.0	-23.6
CJ8-T3	2236.1805	0.0	1.0	-18.5	-17.0	-23.9
CJ8-T4	2236.192	0.0	2.0	-18.0	-16.5	-23.2
NJ1-T3	2236.1865	0.0	0.5	-19.0	-17.0	-22.9
NJ1-T4	2236.1895	0.0	0.5	-19.0	-17.5	-24.9
NJ2-T3	2236.1795	0.0	0.5	-17.0	-16.0	-23.4
NJ2-T4	2236.193	0.0	0.0	-17.5	-16.5	-23.4
NJ3-T3	2236.149	0.0	1.0	-17.5	-16.3	-22.7
NJ3-T4	2236.1545	0.0	1.0	-17.0	-16.3	-22.7
NJ4-T3	2236.181	0.0	3.0	-15.0	-14.3	-20.5
NJ4-T4	2236.189	0.0	2.5	-16.0	-15.0	-20.7
NJ5-T3	2236.1995	0.0	3.0	-15.0	-14.3	-20.2
NJ5-T4	2236.1935	0.0	2.5	-15.5	-14.3	-20.1
NJ6-T3	2236.23	0.0	3.0	-13.7	-13.3	-17.9
NJ6-T4	2236.238	0.0	2.0	-14.7	-13.8	-19.9
NJ7-T3	2236.259	0.0	2.5	-14.7	-14.0	-19.3
NJ7-T4	2236.265	0.0	3.0	-14.2	-13.5	-18.9
NJ8-T3	2236.2575	0.0	1.5	-14.7	-13.7	-19.4
NJ8-T4	2236.2615	0.0	1.5	-14.7	-14.0	-19.4
NJ8-T3	2236.266	0.0	2.0	-13.7	-13.0	-19.2
NJ8-T4	2236.2665	0.0	1.5	-14.7	-13.5	-17.7
NJ9-T2	2236.313	0.0	1.0	-14.2	-13.7	-20.4

Fig. 3.34b Control de desplazamiento vertical Pasarela V pasillo oeste palomas centro a norte.

DESPLAZAMIENTOS VERTICALES DIFERENCIALES DE PASARELA V LADO ESTE

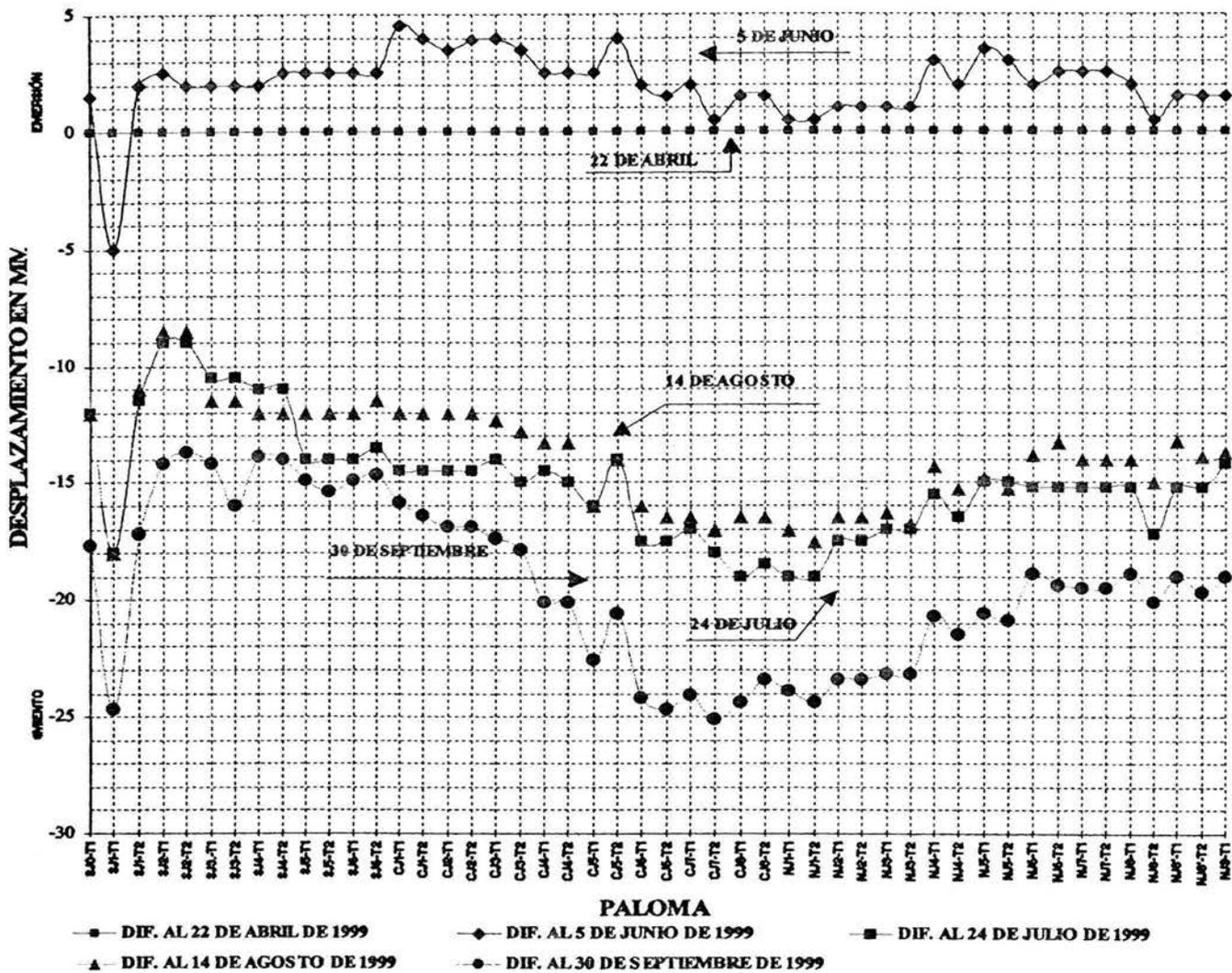


Fig. 3.33 Gráfica de desplazamientos verticales Pasarela V pasillo este.

DESPLAZAMIENTOS VERTICALES DIFERENCIALES DE PASARELA V LADO OESTE

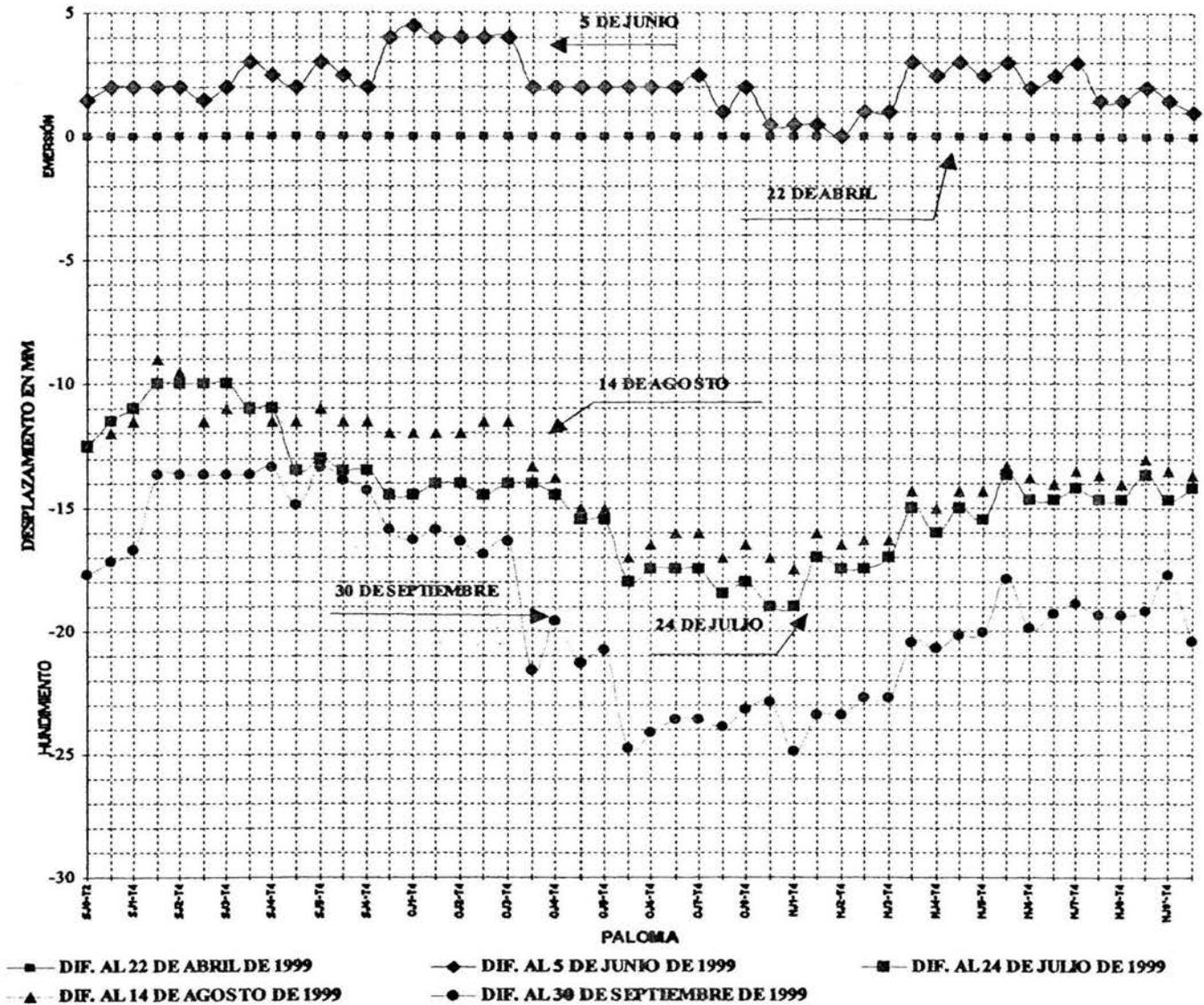


Fig. 3.34 Gráfica de desplazamiento vertical Pasarela V pasillo oeste.

La Pasarela VI la cual también debido a su longitud quedó dividida en pasillo lado oeste y pasillo lado este; de manera similar sus palomas en sur, centro y norte para una mejor identificación de las mismas; así mismo se dividió su gráfica en pasillo este y oeste, como se muestra a continuación.

Monitoreo vertical en la terminal Pantitlán del Sistema de Transporte Colectivo (Metro)

Palomas pasillo oeste	Elevación	Diferencia al 15 de Abril de 1999	Diferencia al 21 de Julio de 1999	Diferencia al 05 de Agosto de 1999	Diferencia al 04 de Sept. de 1999	Diferencia al 7 de Oct. de 1999
SJ0-T2	2236.1740	0.0	-1.30	-1.41	-1.28	-1.57
SJ1-T3	2236.2700	0.0	-1.15	-1.31	-1.20	-1.56
SJ1-T4	2236.2705	0.0	-1.00	-1.11	-0.95	-1.33
SJ2-T3	2236.2790	0.0	-1.20	-1.31	-1.25	-1.55
SJ2-T4	2236.2680	0.0	-1.20	-1.31	-1.20	-1.57
SJ3-T3	2236.2400	0.0	-1.10	-1.29	-1.07	-1.37
SJ3-T4	2236.2470	0.0	-1.10	-1.24	-1.02	-1.35
SJ4-T3	2236.2845	0.0	-1.10	-1.29	-1.12	-1.33
SJ4-T4	2236.2880	0.0	-1.10	-1.29	-1.12	-1.33
SJ5-T3	2236.3690	0.0	-1.30	-1.51	-1.30	-1.54
SJ5-T4	2236.3850	0.0	-1.30	-1.56	-1.20	-1.52
CJ1-T3	2236.3595	0.0	-1.03	-1.38	-1.20	-1.55
CJ1-T4	2236.3615	0.0	-1.08	-1.33	-1.20	-1.46
CJ2-T3	2236.3550	0.0	-1.10	-1.21	-1.11	-1.45
CJ2-T4	2236.3640	0.0	-1.10	-1.21	-1.20	-1.50
CJ3-T3	2236.3565	0.0	-1.15	-1.16	-1.10	-1.57
CJ3-T4	2236.3485	0.0	-1.05	-1.16	-1.10	-1.56
CJ4-T3	2236.3290	0.0	-1.00	-1.26	-1.17	-1.54
CJ4-T4	2236.3260	0.0	-1.05	-1.21	-1.22	-1.53
CJ5-T3	2236.2920	0.0	-1.15	-1.21	-1.22	-1.64
CJ5-T4	2236.2930	0.0	-1.10	-1.20	-1.19	-1.59
CJ6-T3	2236.2530	0.0	-1.50	-1.66	-1.62	-2.01
CJ6-T4	2236.2530	0.0	-1.45	-1.51	-1.52	-1.88

Fig. 3.35a Control de desplazamiento vertical Pasarela VI pasillo oeste palomas sur a centro.

Palomas pasillo oeste	Elevación	Diferencia al 15 de Abril de 1999	Diferencia al 21 de Julio de 1999	Diferencia al 05 de Agosto de 1999	Diferencia al 04 de Sept. de 1999	Diferencia al 7 de Oct. de 1999
CJ7-T3	2236.2615	0.0	-1.55	-1.66	-1.72	-2.14
CJ7-T4	2236.2885	0.0	-1.60	-1.51	-1.72	-2.14
CJ8-T3	2237.1697	0.0	-1.47	-1.68	-1.64	-2.06
CJ8-T4	2237.1677	0.0	-1.47	-1.53	-1.74	-1.96
NJ1-T3	2236.9657	0.0	-1.37	-1.38	-1.53	-1.96
NJ1-T4	2236.9582	0.0	-1.42	-1.43	-1.58	-1.94
NJ2-T3	2236.9567	0.0	-1.34	-1.31	-1.58	-1.91
NJ2-T4	2236.9652	0.0	-1.29	-1.31	-1.53	-1.84
NJ3-T3	2236.9732	0.0	-1.14	-1.21	-1.45	-1.72
NJ3-T4	2236.9747	0.0	-1.09	-1.21	-1.42	-1.74
NJ4-T3	2236.8987	0.0	-1.20	-1.35	-1.53	-1.87
NJ4-T4	2236.9012	0.0	-1.20	-1.30	-1.53	-1.87
NJ5-T3	2236.9782	0.0	-1.25	-1.30	-1.48	-1.73
NJ5-T4	2236.9897	0.0	-1.20	-1.30	-1.52	-1.74
NJ6-T3	2237.0057	0.0	-1.30	-1.25	-1.48	-1.75
NJ6-T4	2237.0297	0.0	-1.25	-1.25	-1.43	-1.67
NJ7-T3	2237.0007	0.0	-1.25	-1.25	-1.48	-1.76
NJ7-T4	2237.0102	0.0	-1.25	-1.25	-1.56	-1.78
NJ8-T3	2237.0107	0.0	-1.33	-1.35	-1.66	-1.89
NJ8-T4	2237.0147	0.0	-1.23	-1.35	-1.53	-1.85
NJ8-T3	2237.0577	0.0	-1.33	-1.50	-1.58	-1.96
NJ8-T4	2237.0567	0.0	-1.33	-1.45	-1.55	-1.96
NJ9-T2	2237.0637	0.0	-1.33	-1.50	-1.53	-1.96

Fig. 3.34b Control de desplazamiento vertical Pasarela VI pasillo oeste palomas sur a norte.

Monitoreo vertical en la terminal Pantitlán del Sistema de Transporte Colectivo (Metro)

Palomas pasillo este	Elevación	Diferencia al 15 de Abril de 1999	Diferencia al 21 de Julio de 1999	Diferencia al 05 de Agosto de 1999	Diferencia al 04 de Sept. de 1999	Diferencia al 7 de Oct. de 1999
CJ7-T1	2236.2390	0.0	-1.55	-1.61	-1.62	-2.05
CJ7-T2	2236.2630	0.0	-1.5	-1.61	-1.57	-2.08
CJ8-T1	2237.1987	0.0	-1.42	-1.43	-1.59	-1.79
CJ8-T2	2237.2007	0.0	-1.47	-1.48	-1.79	-1.87
NJ1-T1	2236.9627	0.0	-1.47	-1.53	-1.73	-1.99
NJ1-T2	2236.9687	0.0	-1.27	-1.83	-1.53	-1.77
NJ2-T1	2237.0162	0.0	-1.19	-1.26	-1.43	-1.74
NJ2-T2	2237.0207	0.0	-1.19	-1.21	-1.33	-1.71
NJ3-T1	2237.0417	0.0	-1.14	-1.16	-1.46	-1.71
NJ3-T2	2237.0397	0.0	-1.09	-1.11	-1.42	-1.69
NJ4-T1	2237.0187	0.0	-1.35	-1.15	-1.38	-1.64
NJ4-T2	2237.0202	0.0	-1.3	-1.3	-1.48	-1.71
NJ5-T1	2237.0357	0.0	-1.1	-1.15	-1.43	-1.55
NJ5-T2	2237.0487	0.0	-1.5	-1.45	-1.74	-1.9
NJ6-T1	2237.0672	0.0	-1.25	-1.2	-1.38	-1.61
NJ6-T2	2237.0622	0.0	-1.25	-1.2	-1.41	-1.61
NJ7-T1	2237.0707	0.0	-1.1	-1.25	-1.37	-1.62
NJ7-T2	2237.0707	0.0	-1.2	-1.25	-1.44	-1.64
NJ8-T1	2237.0407	0.0	-1.28	-1.37	-1.43	-1.84
NJ8-T2	2237.0482	0.0	-1.33	-1.4	-1.53	-1.88
NJ8'-T1	2237.0552	0.0	-1.23	-1.35	-1.53	-1.81
NJ8'-T2	2237.0547	0.0	-1.23	-1.31	-1.52	-1.76
NJ9-T1	2237.0447	0.0	-1.33	-1.45	-1.61	-1.88

Fig. 3.35a Control de desplazamiento vertical Pasarela VI pasillo este palomas centro a norte.

Palomas pasillo este	Elevación	Diferencia al 15 de Abril de 1999	Diferencia al 21 de Julio de 1999	Diferencia al 05 de Agosto de 1999	Diferencia al 04 de Sept. de 1999	Diferencia al 7 de Oct. de 1999
SJ0-T1	2236.2220	0.0	-1.35	-1.35	-1.29	-1.67
SJ1-T1	2236.2914	0.0	-1.34	-1.34	-1.29	-1.68
SJ1-T2	2236.2685	0.0	-1.3	-1.3	-1.2	-1.61
SJ2-T1	2236.2620	0.0	-0.6	-0.6	-0.55	-0.93
SJ2-T2	2236.2640	0.0	-1.25	-1.25	-1.2	-1.61
SJ3.-T1	2236.2420	0.0	-1.2	-1.2	-1.02	-1.32
SJ3-T2	2236.2380	0.0	-1.2	-1.2	-1.17	-1.45
SJ4-T1	2236.2910	0.0	-1.2	-1.2	-1.09	-1.35
SJ4-T2	2236.2810	0.0	-1.2	-1.2	-1.12	-1.39
SJ5-T1	2236.3740	0.0	-1.25	-1.25	-1.25	-1.56
SJ5-T2	2236.3610	0.0	-1.4	-1.4	-1.25	-1.51
CJ1-T1	2236.3510	0.0	-1.03	-1.04	-1.05	-1.47
CJ1-T2	2236.3750	0.0	-1.22	-1.43	-1.3	-1.54
CJ2-T1	2236.3420	0.0	-1.1	-1.11	-1.1	-1.42
CJ2-T2	2236.3390	0.0	-1.1	-1.11	-1.15	-1.44
CJ3-T1	2236.3300	0.0	-1	-1.01	-1	-1.43
CJ3-T2	2236.3250	0.0	-1.1	-1.11	-1.05	-1.51
CJ4-T1	2236.3305	0.0	-1.05	-1.11	-1.12	-1.5
CJ4-T2	2236.3330	0.0	-1.15	-1.21	-1.22	-1.61
CJ5-T1	2236.3030	0.0	-1.2	-1.39	-1.32	-1.79
CJ5-T2	2236.2910	0.0	-1.1	-1.31	-1.22	-1.69
CJ6-T1	2236.2430	0.0	-1.55	-1.56	-1.67	-2
CJ6-T2	2236.2360	0.0	-1.5	-1.56	-1.57	-1.91

Fig. 3.35b Control de desplazamiento vertical Pasarela VI pasillo este palomas sur a centro.

DESPLAZAMIENTOS VERTICALES DIFERENCIALES DE PASARELA VI LADO ESTE

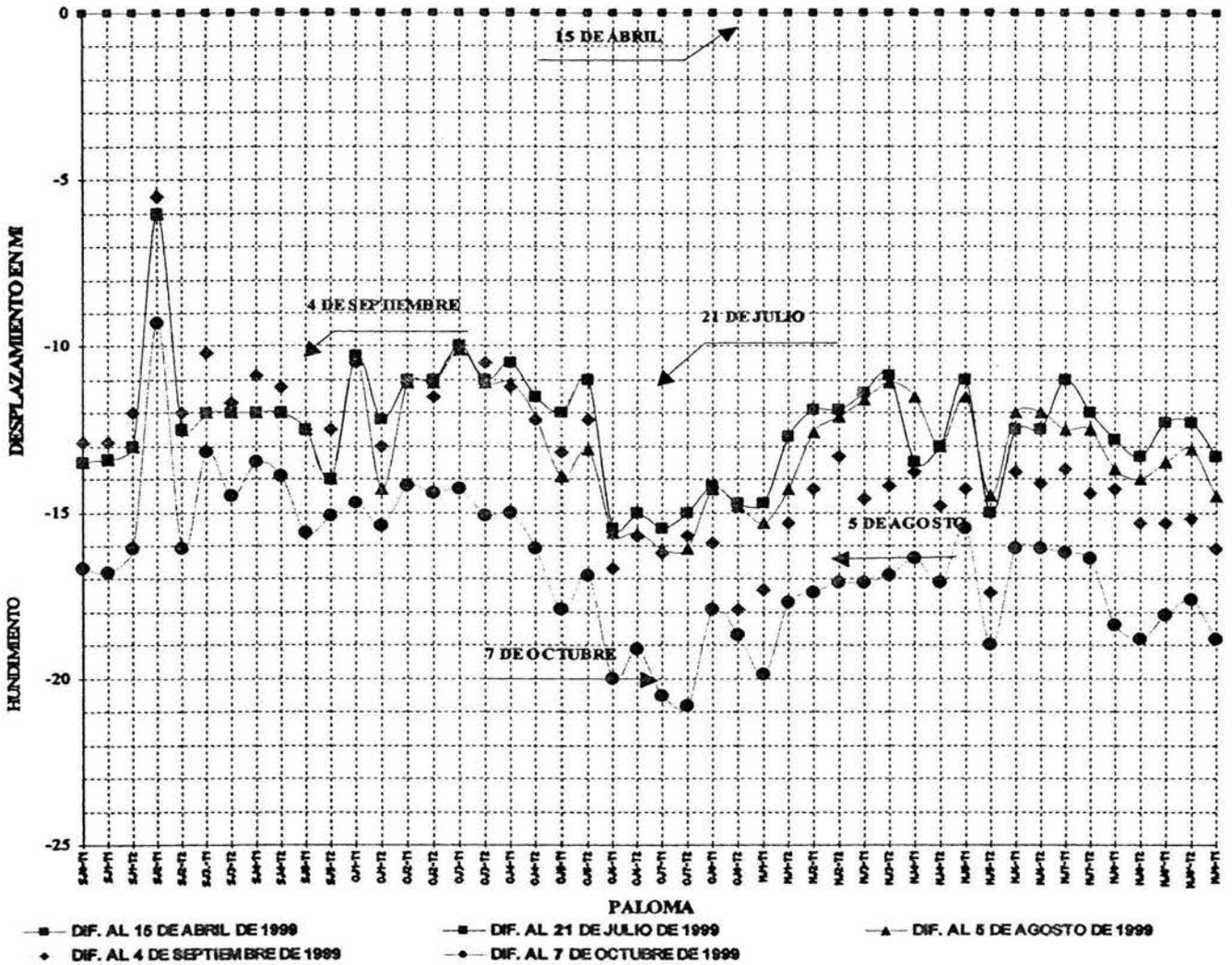


Fig. 3.35 Gráfica de desplazamientos verticales Pasarela VI pasillo este.

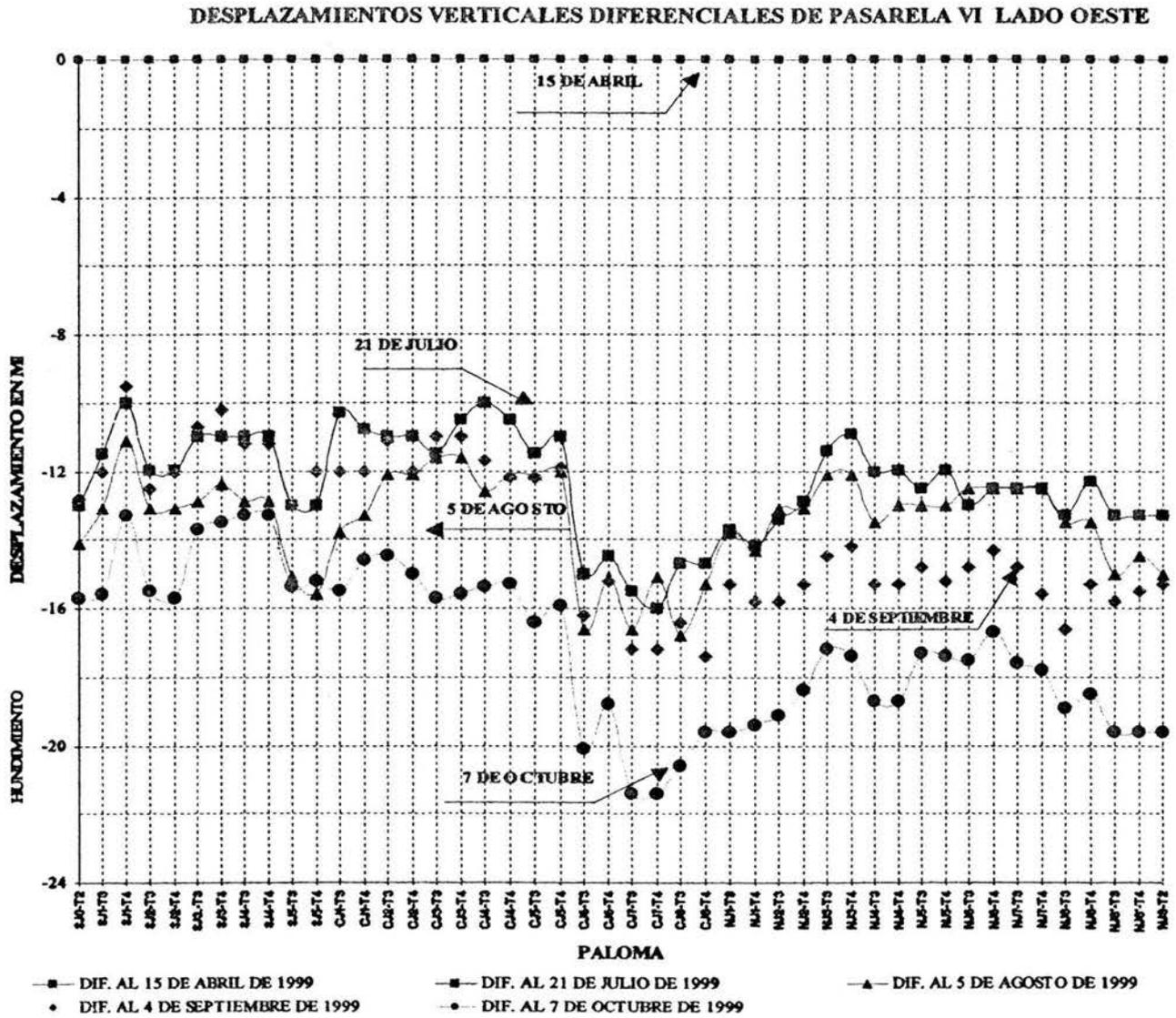


Fig. 3.34 Gráfica de desplazamientos verticales Pasarela VI pasillo oeste.

La **Pasarela VII** la última por mostrar tuvo los siguientes desplazamientos:

Palomas lado oeste	Elevación	Diferencia al 24 de Abril de 1999	Diferencia al 5 de Junio de 1999	Diferencia al 1 de Julio de 1999	Diferencia al 4 de Sept. de 1999	Diferencia al 23 de Oct. de 1999
JI-N-1	2238.0205	0.0	1.30	-6.20	-5.60	-5.60
JI-N-2	2237.8211	0.0	-1.80	-7.00	-8.60	-8.60
JII-N-1	2237.775	0.0	-1.30	-8.00	-9.80	-12.60
JII-N-2	2238.1988	0.0	-0.10	-6.20	-8.70	-15.30

Palomas lado este	Elevación	Diferencia al 24 de Abril de 1999	Diferencia al 5 de Junio de 1999	Diferencia al 1 de Julio de 1999	Diferencia al 4 de Sept. de 1999	Diferencia al 23 de Oct. de 1999
JI-N-1	2237.9944	0.0	1.30	-6.40	-6.10	-134.70
JI-N-2	2237.7816	0.0	-0.50	-7.50	-10.00	-13.50
JII-N-1	2237.7799	0.0	-0.30	-7.20	-9.20	-13.90
JII-N-2	2238.1928	0.0	-0.30	-6.10	-8.20	-9.30

Fig. 3.36 a Control de desplazamientos verticales Pasarela VII palomas lado oeste y lado este en ese orden.

**DESPLAZAMIENTOS VERTICALES DIFERENCIALES EN PASARELA VII
LADO ESTE**

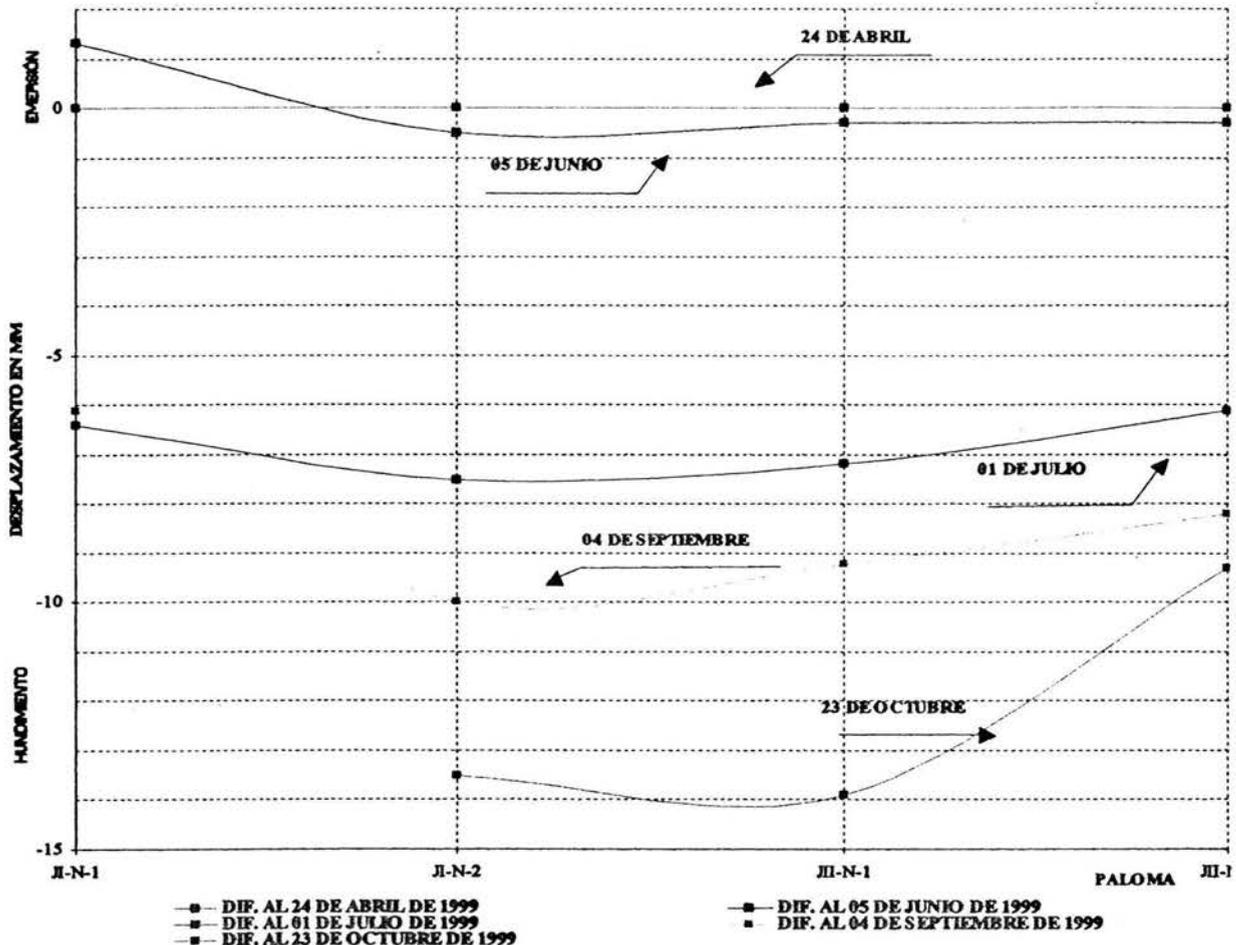


Fig. 3.36b Gráfica de desplazamientos verticales Pasarela VII pasillo este.

DESPLAZAMIENTOS VERTICALES DIFERENCIALES EN PASARELA VII
LADO OESTE

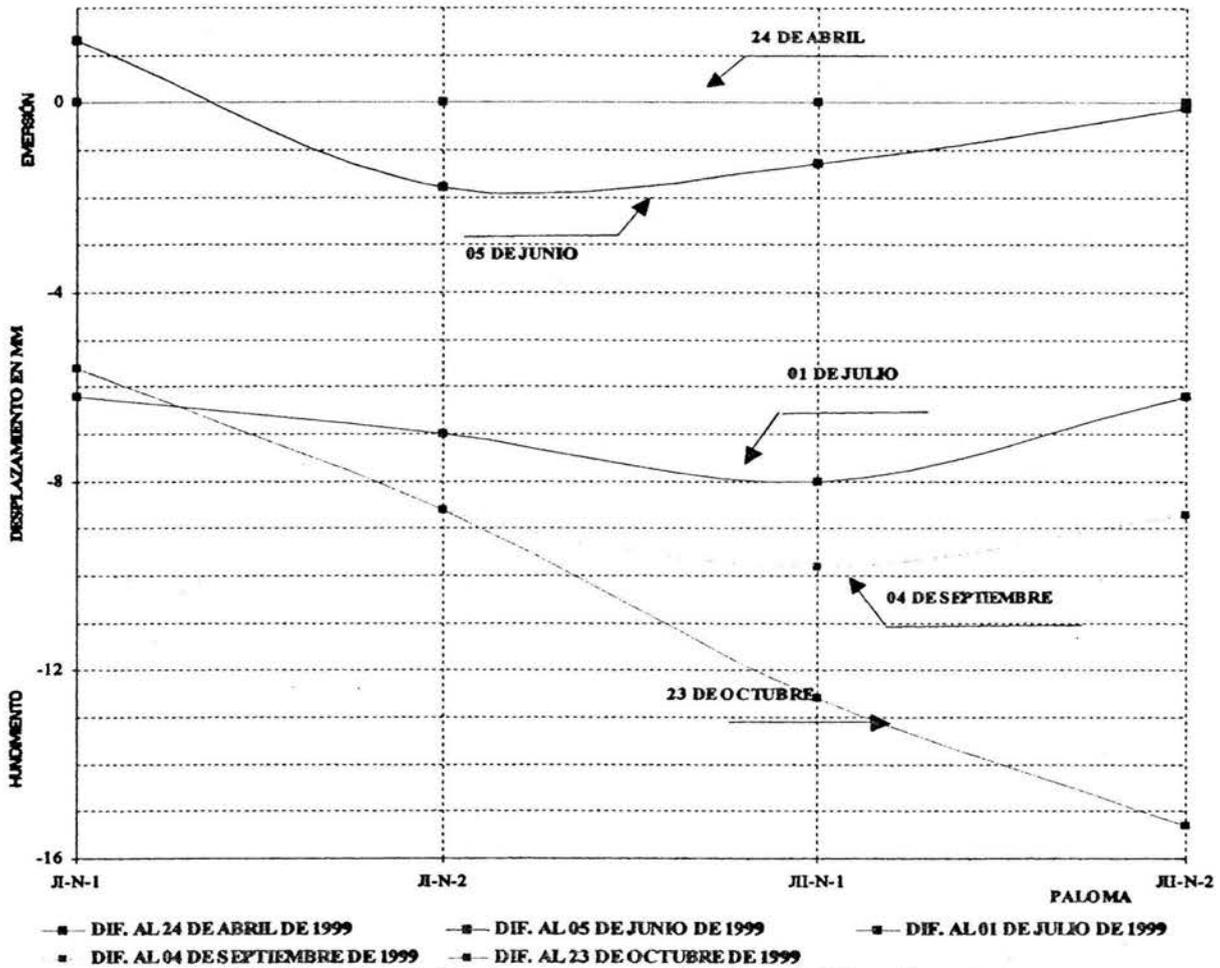
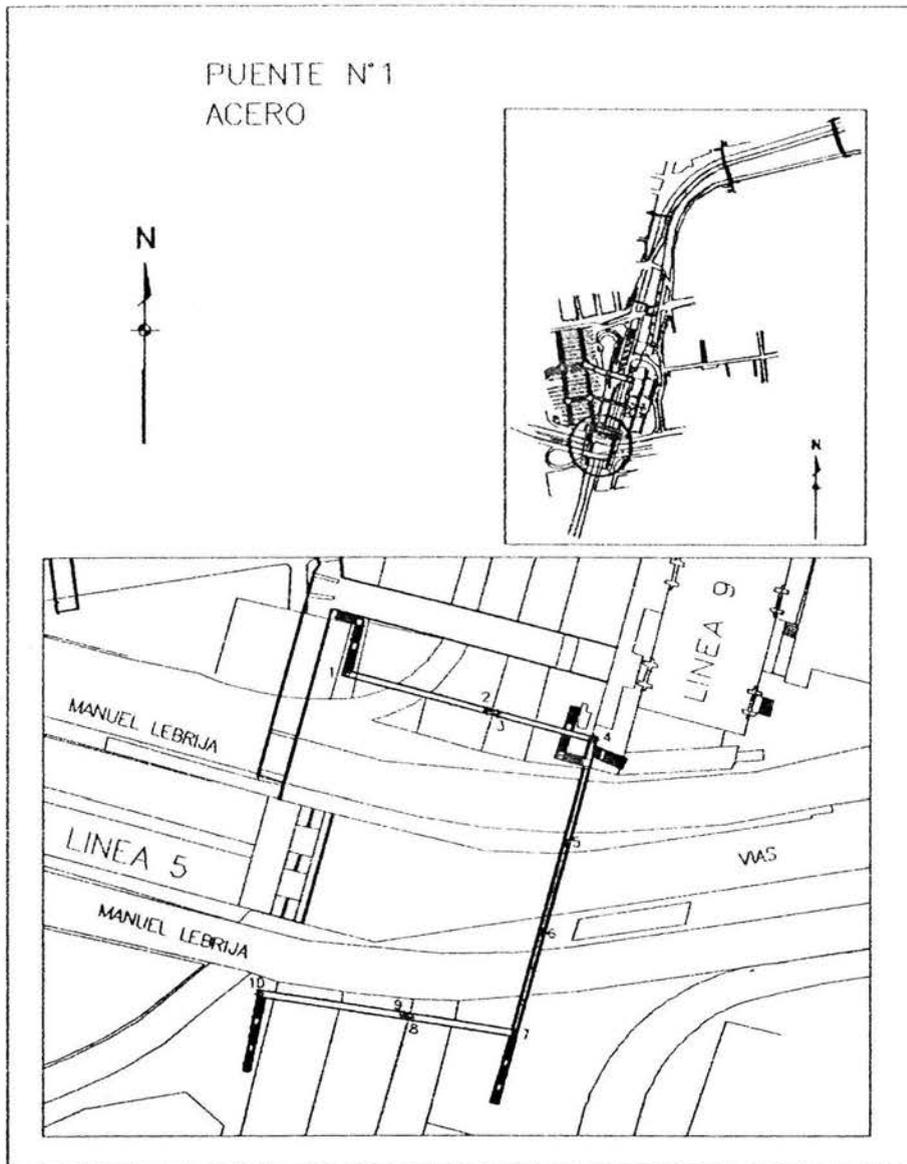


Fig. 3.36c Gráfica de desplazamientos verticales Pasarela VII pasillo oeste.

• **Puentes del Conjunto Pantitlán**

Existen cinco puentes peatonales en las inmediaciones del Conjunto Pantitlán que han sido estudiados en este proyecto. De estos puentes, cuatro son estructuras de concreto y uno es de acero, identificados con los siguientes nombres: Puente calle Unión (de concreto), Puente calle Jaime Torres Bodet (de concreto), Puente calle Uno (de concreto), Puente calle Dos (de concreto) y Puente 1-A, 1-B y 1-C (de acero).

A continuación se presenta el **puente 1**, al cual se le ha dividido en 1-A, 1-B y 1-C, debido a la forma de desarrollo que presenta, tal como se muestra en el croquis de ubicación, también se muestra la gráfica de desplazamiento y sus controles correspondientes.



Vertices	Elevación	Distancia entre vertices en M.	DIF. AL 6 DE MARZO DE 1999	DIF. AL 10 DE JULIO DE 1999	DIF. AL 28 DE AGOSTO DE 1999
V-1	2236.4170	0	0	-0.2	-4.1
V-2	2236.4450	29.788	0	-1.5	-2.1
V-3	2236.0830	31.533	0	-0.8	-3.5
V-4	2236.1990	59.862	0	1.2	-1.5
V-5	2235.6700	84.968	0	-0.2	-7.5
V-6	2235.3970	107.624	0	-4.8	-10.8
V-7	2235.4400	131.93	0	-3.5	-9.1
V-8	2236.5650	156.414	0	6.8	0.8
V-9	2236.5540	157.31	0	3.1	-1.2
V-10	2236.6540	191.527	0	7.8	2.4

Fig. 3.37 Croquis de localización de Puente 1 y su gráfica de desplazamientos respectivamente.

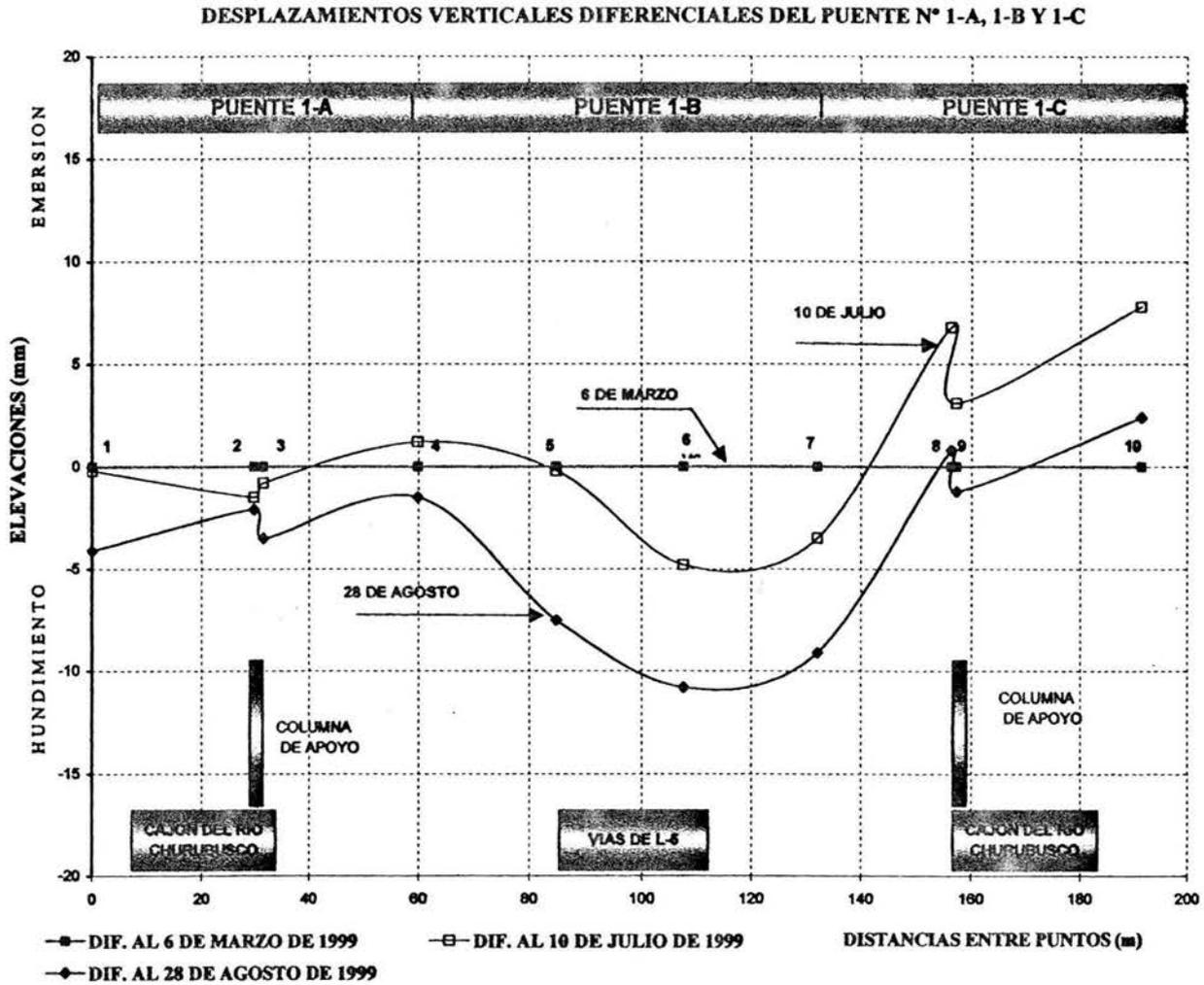
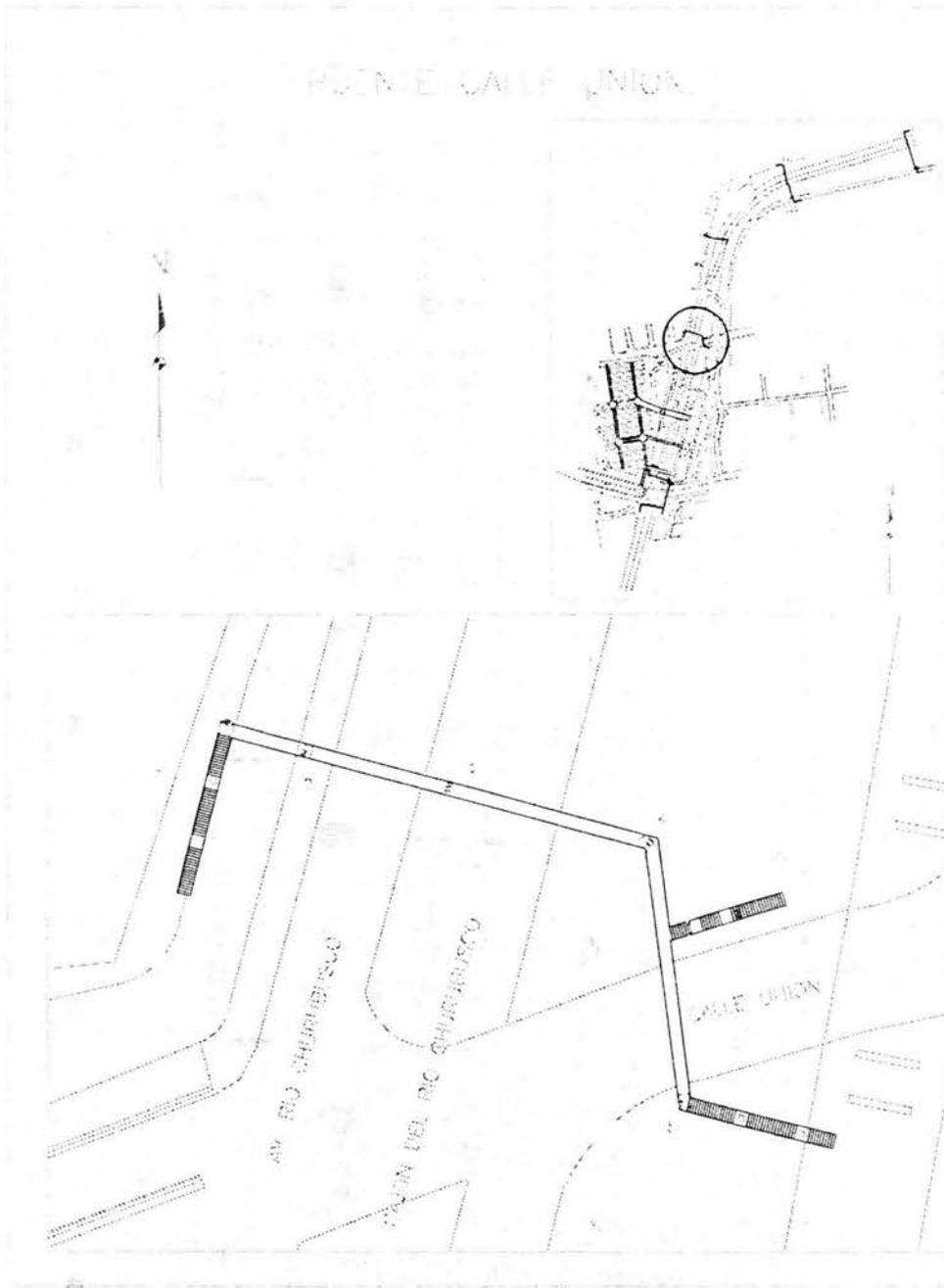


Fig. 3.37a Gráfica de desplazamientos verticales de Puente 1-A, 1-B y 1-C.

El *puente calle Unión* es el que a continuación se presenta, junto con un croquis general y particular de su ubicación dentro del Conjunto Pantitlán, también se presenta su control de desplazamientos y su gráfica correspondiente.

Monitoreo vertical en la terminal Pantitlán del Sistema de Transporte Colectivo (Metro)



Vertices	Elevación	Distancia entre vertices en M.	Diferencia al 10 de Abril de 1999	Diferencia al 10 de Julio de 1999	Diferencia al 4 de Sept. de 1999	Diferencia al 13 de Oct. de 1999
V-1	2235.8075	0	0	-15.5	-26.4	-26.8
V-2	2235.9105	8.828	0	-14.8	-29.7	-38.1
V-3	2236.2795	25.114	0	-14.8	-26.1	-31.8
V-4	2236.4885	47.702	0	-16.1	-27.4	-32.5
V-5	2236.5175	75.921	0	-17.1	-26.4	-33.1

Fig. 3.38 Croquis de localización de Puente calle Unión y cuadro de desplazamientos.

DESPLAZAMIENTOS VERTICALES DEL PUENTE CALLE UNION

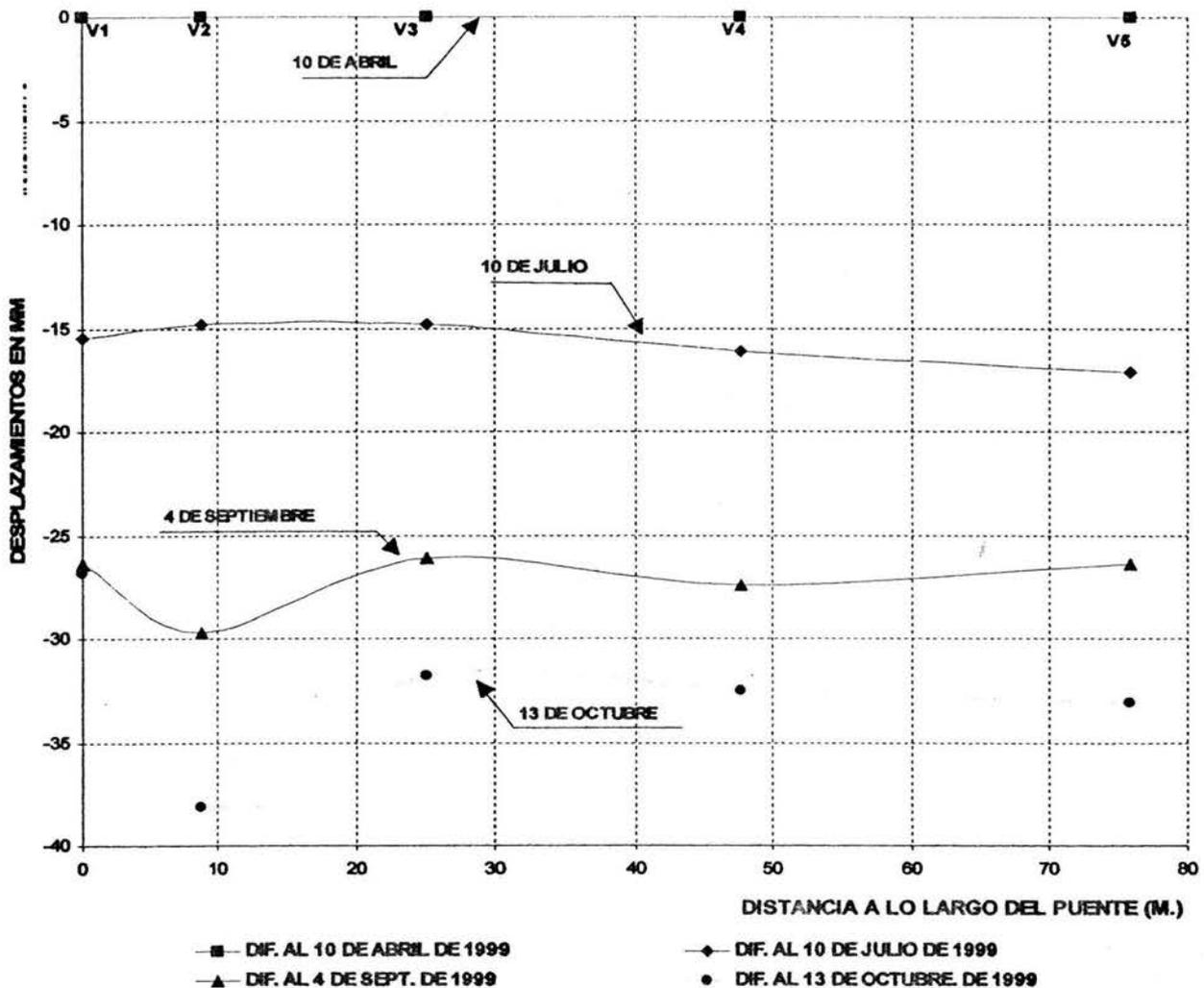
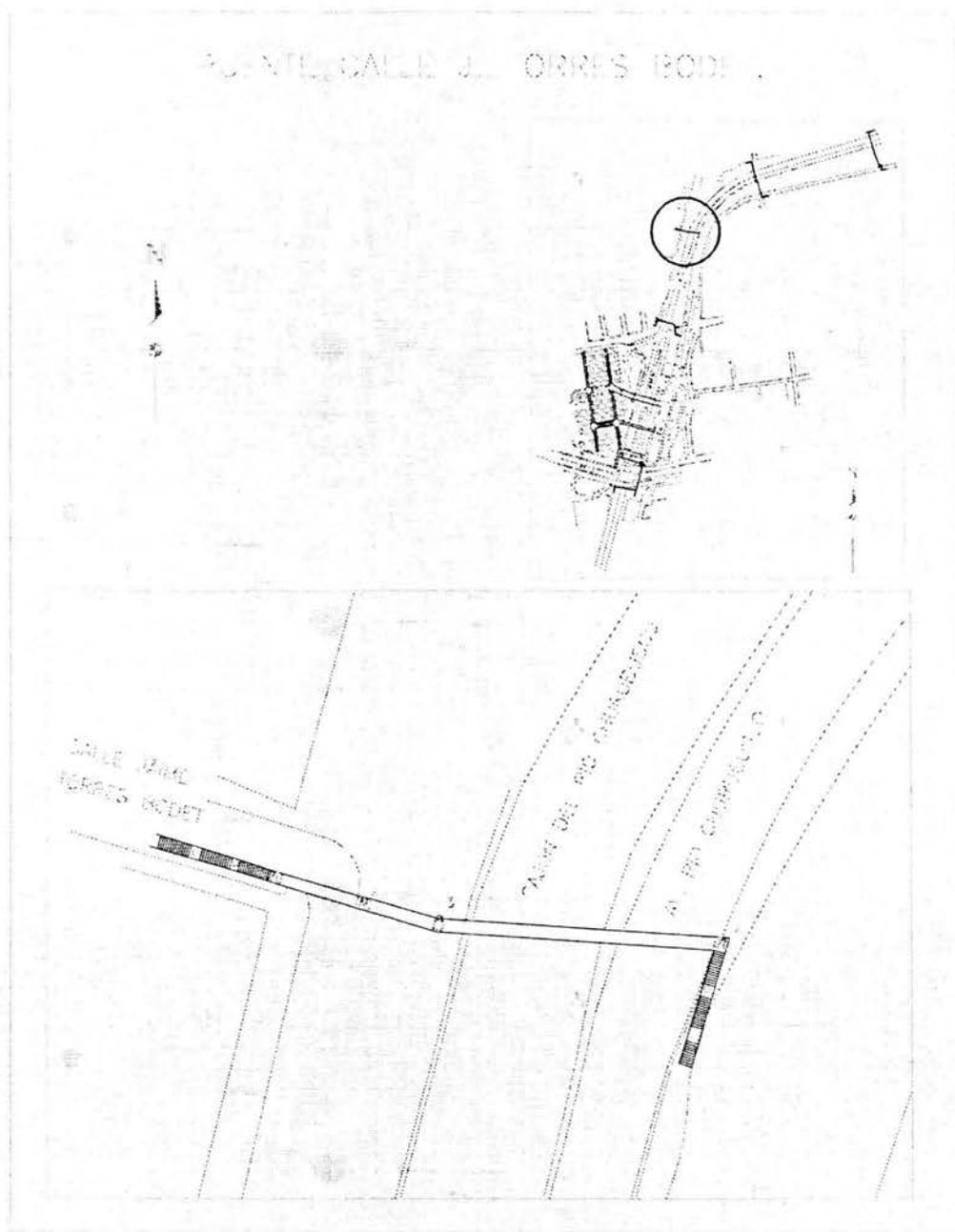


Fig. 3.38a Gráfica de desplazamientos verticales de Puente calle Unión.

El siguiente *puente* es el de la *calle Jaime Torres Bodet*, de igual manera se muestra un croquis general y particular de su ubicación dentro del conjunto, para poder apreciar de que manera el conjunto ha influido en su desplazamiento vertical, con la ayuda del croquis; también se muestra su control y su gráfica correspondiente.



Vertices	Elevación	Distancia entre vertices en M.	Diferencia al 10 de Abril de 1999	Diferencia al 10 de Julio de 1999	Diferencia al 8 de Sept. de 1999	Diferencia al 13 de Oct. de 1999
V-1	2235.5415	0.0	0	-12.5	-13.8	-13.3
V-2	2235.6265	10.5	0	-9.8	-9.7	-9.6
V-3	2235.6775	19.3	0	-7.8	-9.5	-7.3
V-4	2235.5145	51.7	0	-13.1	-16.8	-17

Fig. 3.39 Croquis de localización de Puente Jaime Torres Bodet y cuadro de desplazamientos.

DESPLAZAMIENTOS VERTICALES DIFERENCIALES DEL PUENTE CALLE J. TORRES BODET

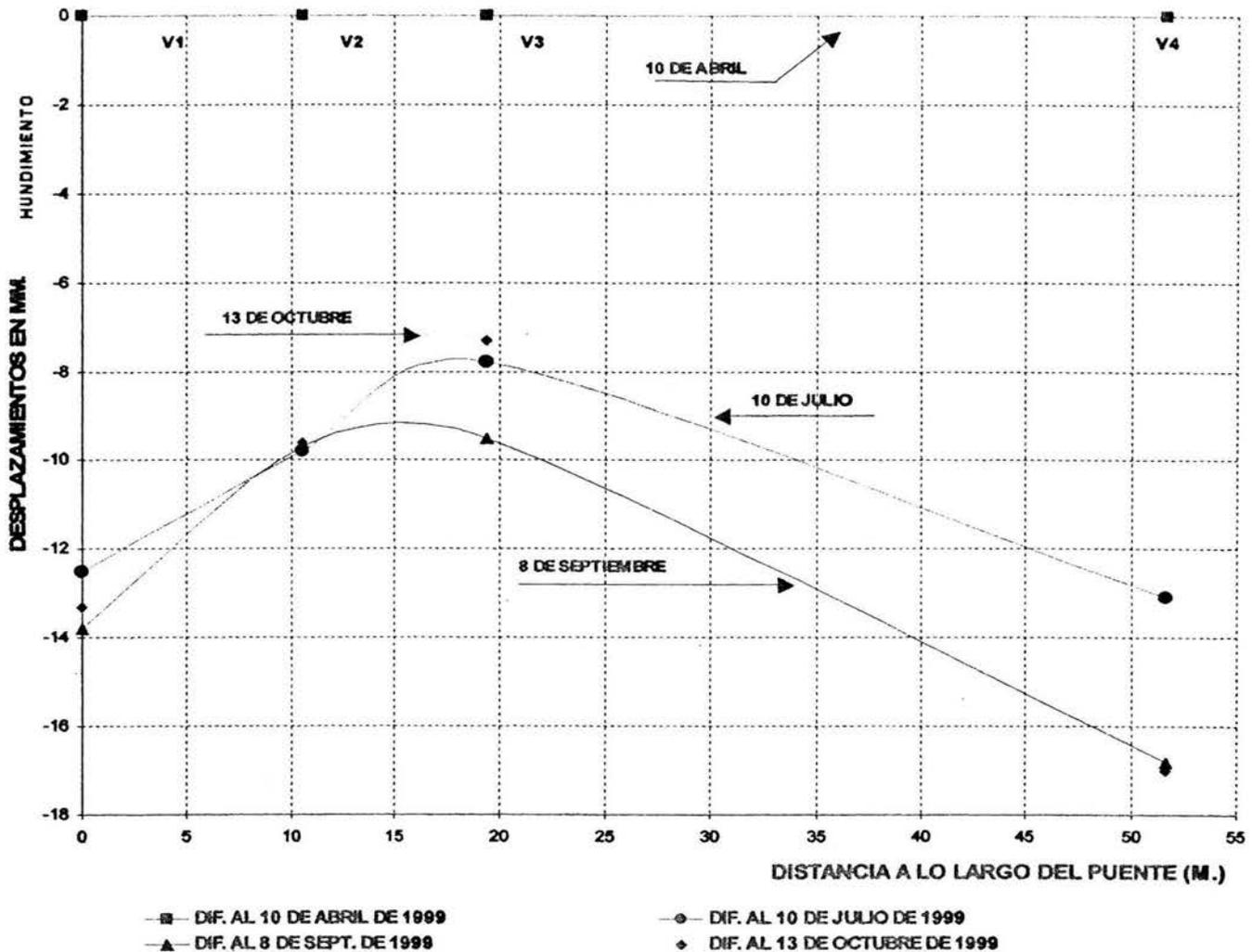


Fig. 3.39a Gráfica de desplazamientos verticales Puente Jaime Torres Bodet.

A continuación se presenta el **puente calle Uno**, con su croquis de localización, su control de desplazamientos y su gráfica correspondiente.

Vertice	Elevación	Distancia entre puntos en M.	Diferencia al 10 de Abril de 1999	Diferencia al 10 de Julio de 1999	Diferencia al 28 de Julio de 1999	Diferencia al 8 de Sept. de 1999	Diferencia al 13 de Oct. de 1999
V-1	2236.7475	0.000	0.0	11.80	14.30	11.80	15.70
V-2	2236.7105	38.991	0.0	3.80	4.90		14.00
V-3	2236.5795	55.149	0.0	1.50	2.10	6.70	1.30
V-4	2237.9385	91.709	0.0	1.20	3.10	6.70	1.00
V-5	2237.9135	97.041	0.0	0.20	1.80	6.70	0.70
V-6	2237.8975	111.777	0.0	0.80	0.50	32.30	1.70

Fig. 3.40 Cuadro de desplazamientos verticales de Puente calle Uno.

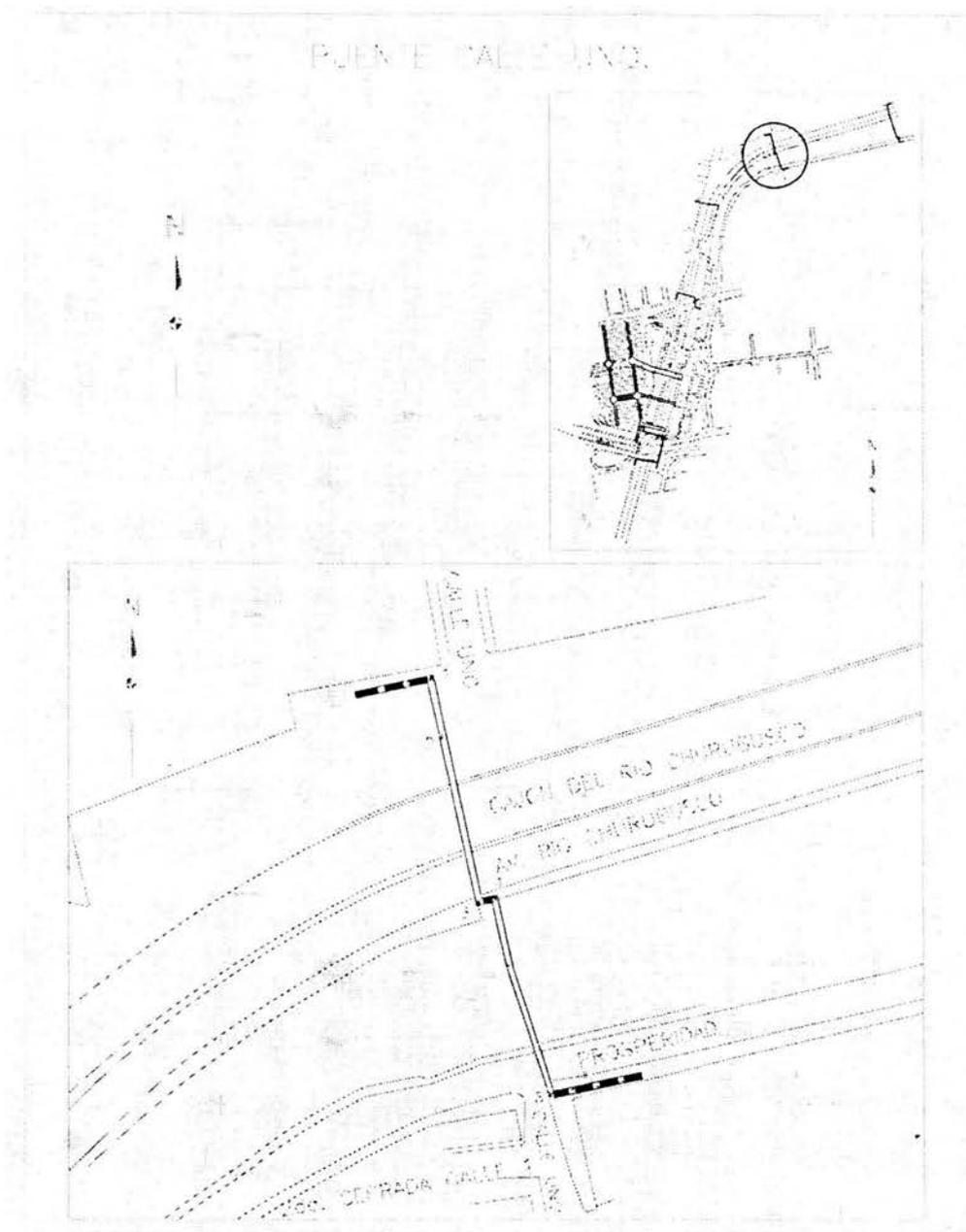


Fig. 3.40a Croquis de localización de Puente calle Uno.

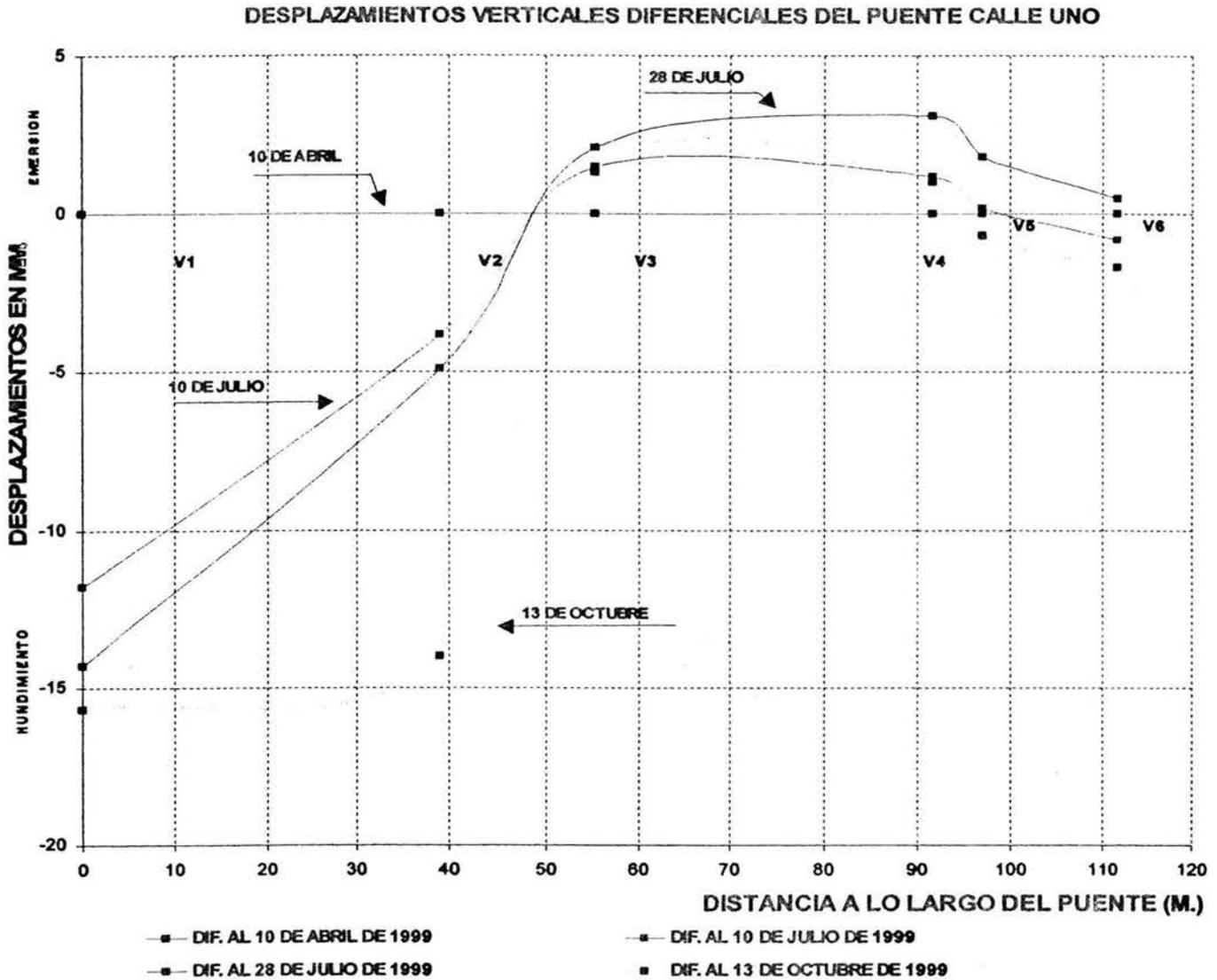
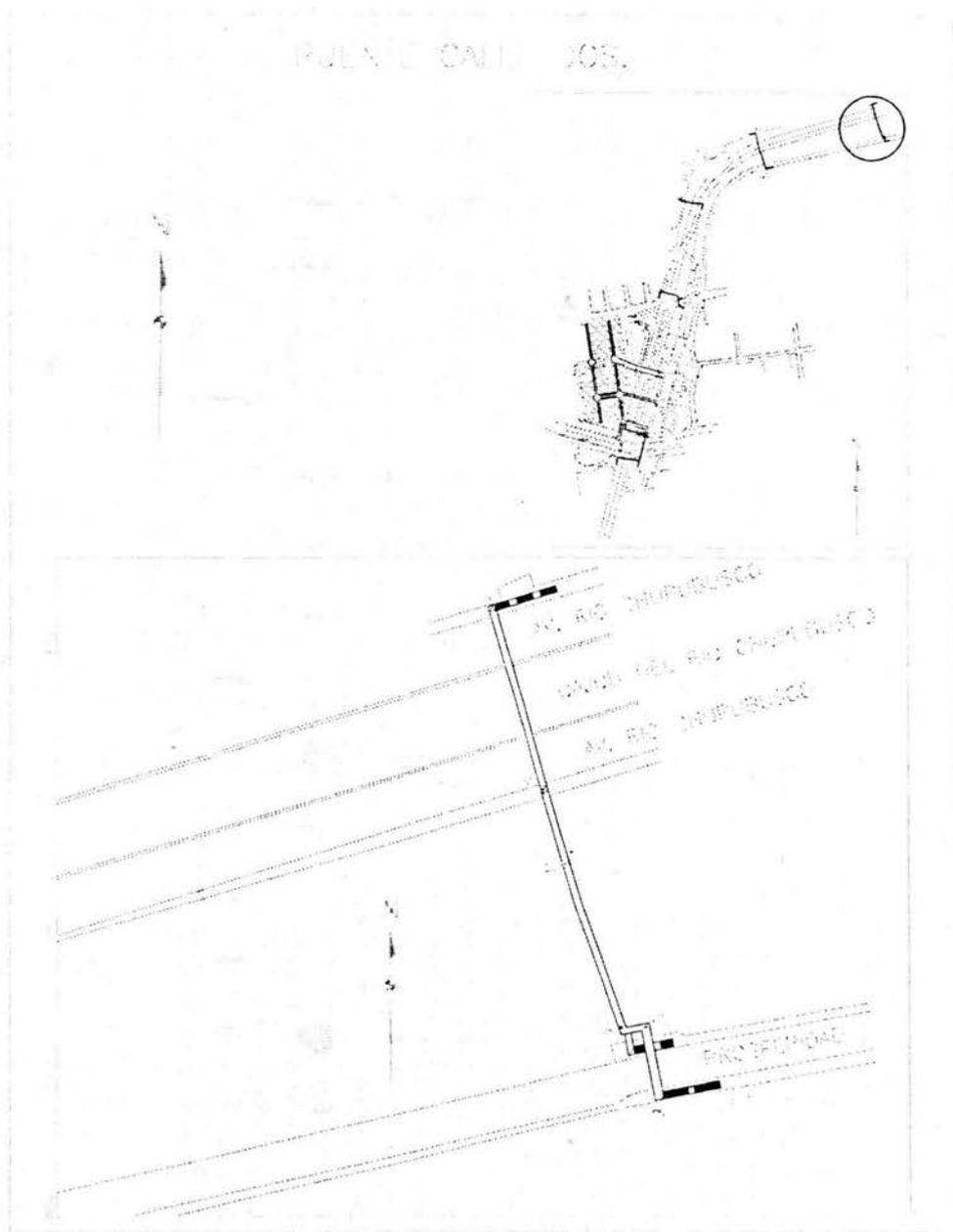


Fig. 3.40b Gráfica de desplazamientos verticales Puente calle Uno.

Por último presentamos el **puente calle Dos**, de igual manera que los anteriores se muestra el croquis de localización general y particular; también su respectivo control y gráfica. Es necesario indicar que este puente pese a que no se encuentra muy cercano al Conjunto Pantitlán como los anteriores, si se encuentra afectado por la zona en que se ubica. En este como en los puentes anteriores se llevo un control un tanto escueto, para conocer en que medida les afectaba el hundimiento de la zona, así como de que manera influía el conjunto en estos.



Vertices	Elevación	Distancia entre vertices en M.	Diferencia al 10 de Abril de 1999	Diferencia al 10 de Julio de 1999	Diferencia al 28 de Julio de 1999	Diferencia al 8 de Sept. de 1999	Diferencia al 13 de Oct. de 1999
V-1	2235.3735	0	0	-11	-14	-13	-18
V-2	2235.4995	39	0	-6	-8	-10	-11
V-3	2235.3082	55	0	-10	-12	436	-16
V-4	2235.3458	92	0	-4	-7	-7	-10
V-5	2234.7375	97	0	-6	-9	-8	-11
V-6	2234.7022	112	0	-4	-7	25	-8

Fig. 3.41 Croquis de localización y cuadro de desplazamientos verticales Puente calle Dos.

DESPLAZAMIENTOS VERTICALES DIFERENCIALES DEL PUENTE CALLE DOS

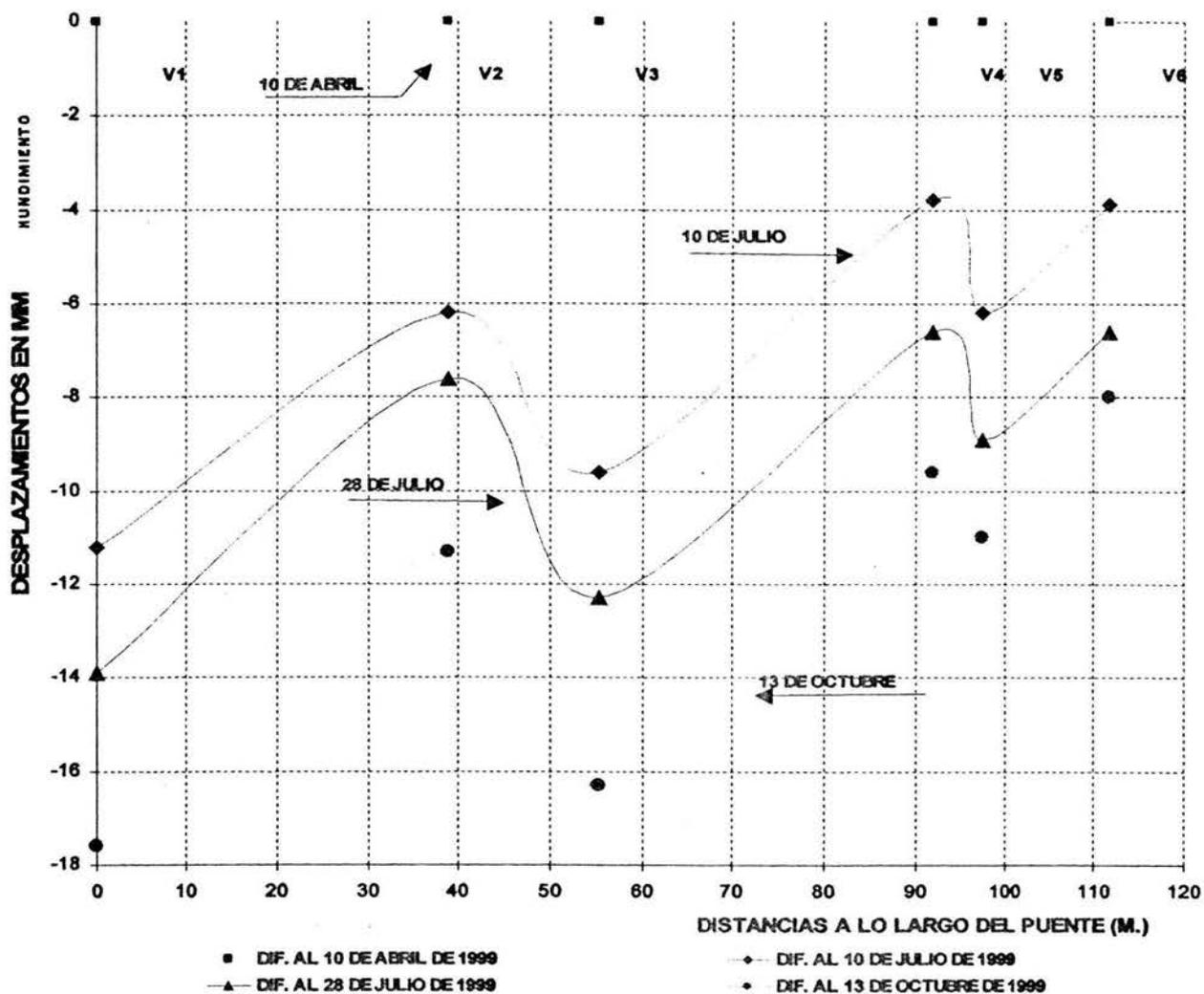


Fig. 3.41a Gráfica de desplazamientos verticales Puente calle Dos.

• **Columnas cabecera norte de línea 9**

Las nivelaciones que se llevaron a cabo en estas columnas, fueron para analizar si su comportamiento era similar, si se desplazaban equitativamente o cada una tenía un comportamiento diferente, esto debido también al lugar donde se encontraban cimentadas, pese a que es la misma zapata, se requería un control de estas para cotejar con la información de lo que son los ejes "A y G" de la línea 9. A continuación se muestra un croquis de su ubicación dentro del conjunto, así como sus controles y gráfica correspondiente.

ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

Vértice	Elevación	Diferencia al 28 de Julio de 1999	Diferencia al 28 de Agosto de 1999	Diferencia al 24 de Sept. De 1999	Diferencia al 2 de Oct. De 1999
CN-1	2229.7278	0.0	0.4	-0.7	-11.4
CN-3	2229.7910	0.0	-1.8	-1.0	-11.7
CN-5	2230.1118	0.0	-2.3	-0.3	-10.4
CN-7	2230.1598	0.0	-1.5	-0.4	-10.2
CN-2	2229.3908	0.0	-3.4	-0.3	-10.3
CN-4	2229.4763	0.0	-3.8	-0.4	-10.5
CN-6	2230.0253	0.0	-2.1	-0.3	-9.9
CN-8	2230.0843	0.0	-3.1	-1.4	-10.8

DESPLAZAMIENTOS VERTICALES DIFERENCIALES DE COLUMNAS CABECERA NORTE LINEA 9

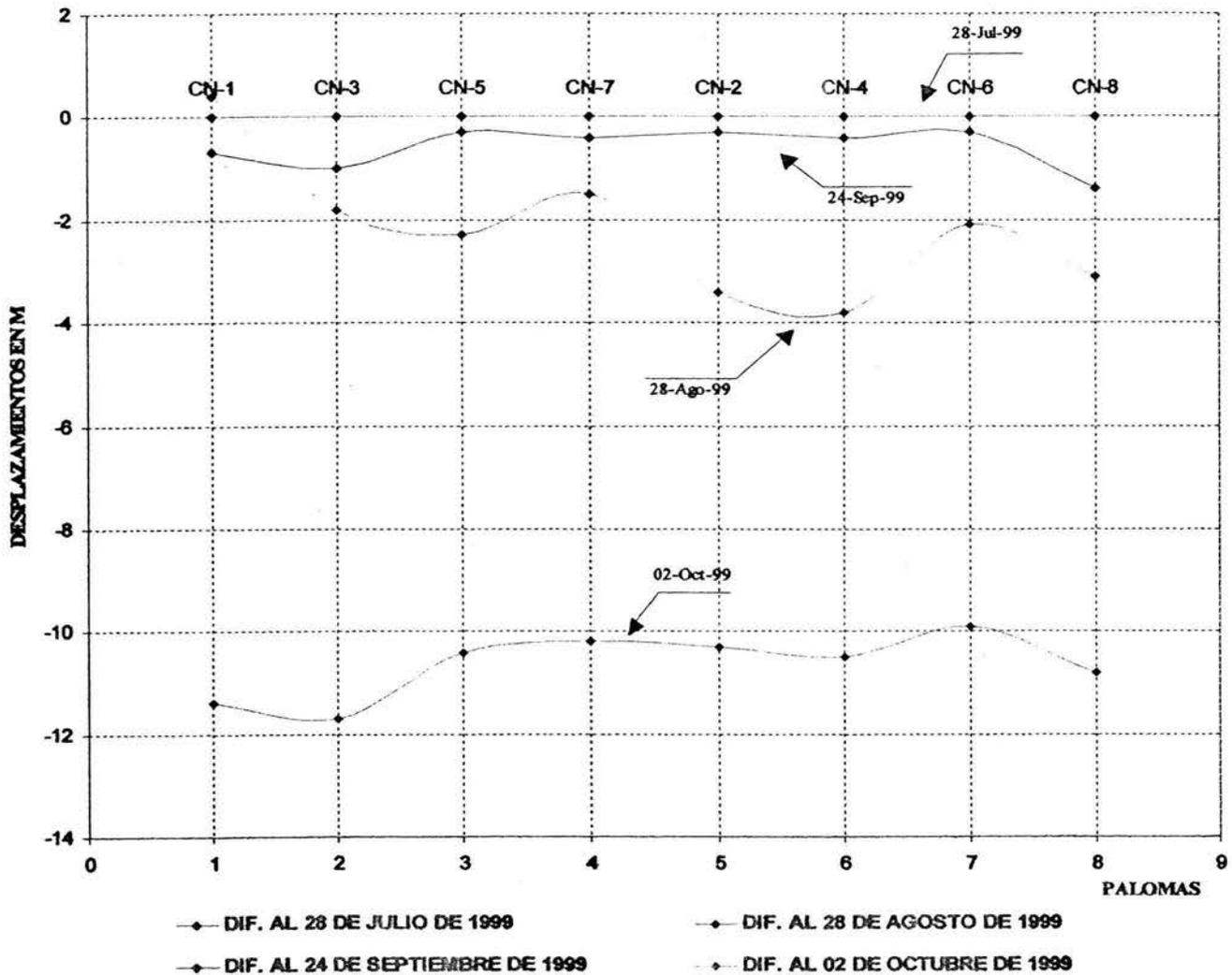


Fig. 3.42 Cuadro de desplazamientos verticales de la Cabeceza Norte línea 9 y su gráfica correspondiente.

A continuación se presenta el control realizado a las columnas denominadas cabecera sur eje este y eje oeste respectivamente; dicha columna se encuentra sobre Av. Talleres Gráficos y es la columna que en general presenta un comportamiento de mayor hundimiento visiblemente comparado con la cabecera norte, como se muestra.

Vértice	Elevación	Diferencia al 24 de Julio de 1999	Diferencia al 28 de Agosto de 1999	Diferencia al 24 de Sept. De 1999	Diferencia al 2 de Oct. De 1999	Diferencia al 30 de Oct. De 1999
-1NE	2229.8470	0.0	-1.40	-4.90	-15.00	-12.40
-1SE	2230.0245	0.0	-1.10	-4.40	-13.90	-11.00
-2E	2229.8194	0.0	-0.80	-2.40	-10.70	-8.90
-3E	2230.0154	0.0	-0.70	-2.20	-10.50	-7.70
-4E	2230.0148	0.0	-1.10	-5.00	-11.90	-7.50
-5E	2230.0161	0.0	-1.50	-5.00	-10.70	-7.10
-8E	2230.0166	0.0	-1.90	-3.00	-14.60	-9.70
-9E	2230.0168	0.0	-1.80	-2.90	-15.60	-10.30
-10E	2230.0159	0.0	-1.00	-4.70	-13.00	-9.30
-11E	2230.0142	0.0	-0.60	-4.40	-15.00	-9.40

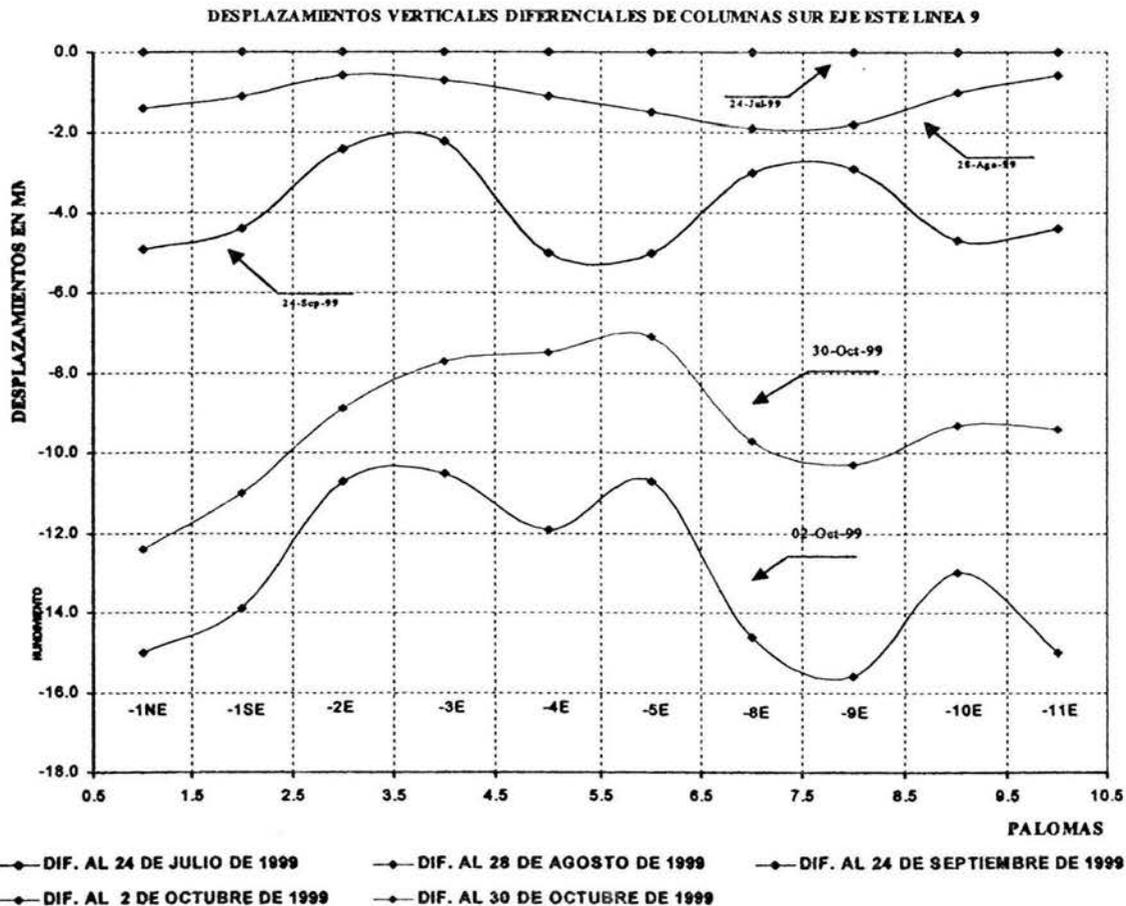


Fig. 3.43 Cuadro de desplazamientos verticales columnas sur eje este línea 9 y su gráfica.

Monitoreo vertical en la terminal Pantitlán del Sistema de Transporte Colectivo (Metro)

Vértices	Elevación	Diferencia al 24 de Julio de 1999	Diferencia al 28 de Agosto de 1999	Diferencia al 24 de Sept. De 1999	Diferencia al 2 de Oct. De 1999	Diferencia al 30 de Oct. De 1999
-1NW	2230.0296	0	-0.0013	-0.0038	-0.0151	-0.0125
-1SW	2230.1349	0	-0.0017	-0.005	-0.0145	-0.0111
-2W	2229.821	0	-0.0008	-0.0027	-0.0108	-0.0086
-3W	2230.0144	0	-0.0009	-0.0028	-0.011	-0.0085
-4W	2230.0145	0	-0.0018	-0.0053	-0.0116	-0.008
-8W	2230.0163	0	-0.0019	-0.0024	-0.0159	-0.0108
-9W	2230.0163	0	-0.0018	-0.0029	-0.0159	-0.0114
-10W	2230.0146	0	-0.0014	-0.0049	-0.0136	-0.0101
-11W	2230.0146	0	-0.0008	-0.0046	-0.014	-0.0102

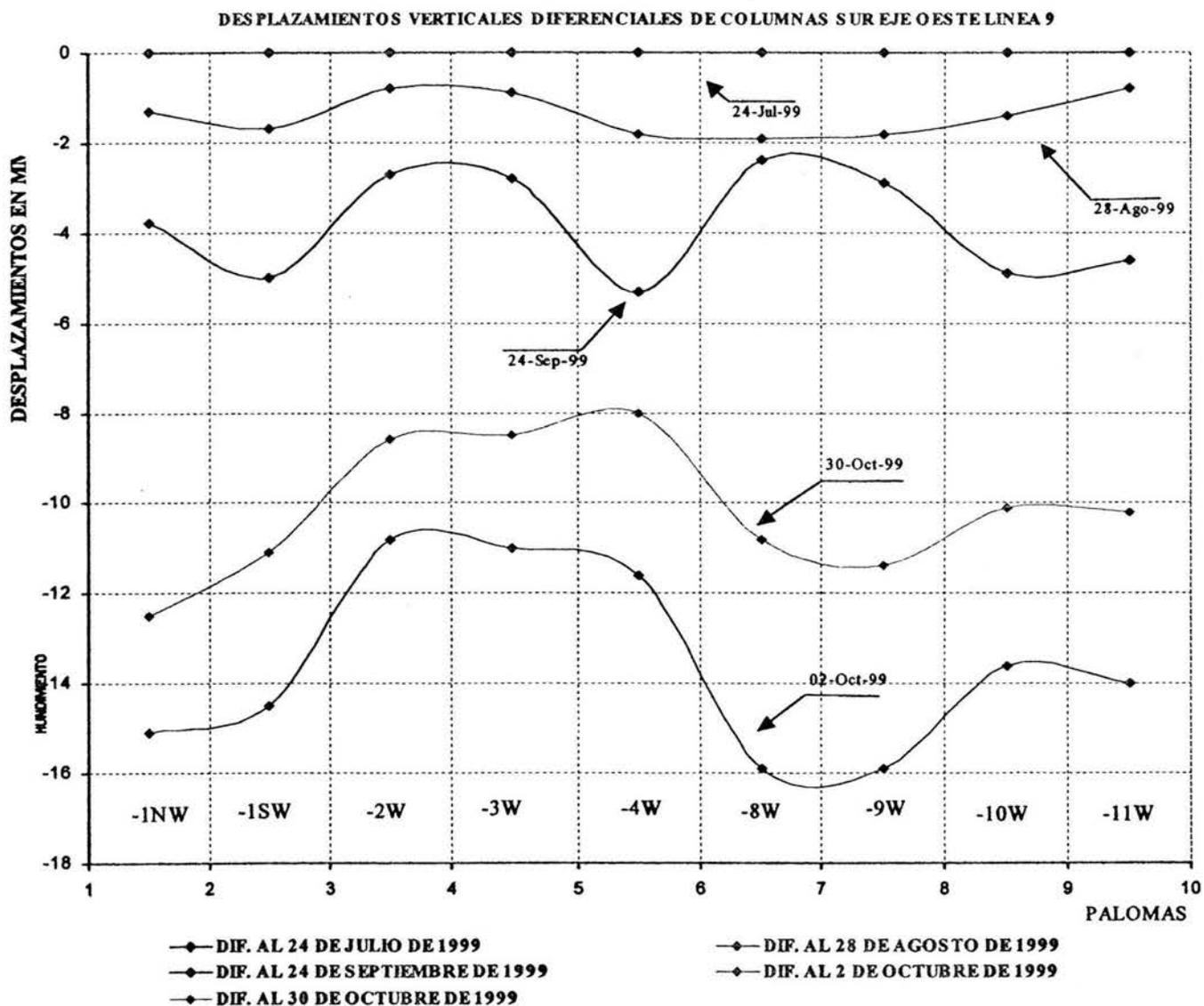


Fig. 3.44 Cuadro de desplazamientos verticales columnas sur eje oeste línea 9 y su gráfica correspondiente.

4.- ANÁLISIS DE HUNDIMIENTO

Como se ha comentado la mayor parte del área metropolitana de la Ciudad de México presenta hundimientos del terreno los cuales varían de una zona a otra de acuerdo a la constitución del suelo. La presencia de antiguos lagos en el Valle de México, originó la acumulación de sedimentos arcillosos que actualmente cubren la parte plana de la zona metropolitana de la Ciudad de México.

Las características propias de los suelos y los efectos a los que se encuentran sujetos, han sido la causa principal que ha ocasionado los hundimientos.

En otras palabras la extracción de agua de dichos estratos abate las presiones de poro lo que, en las arcillas, genera un efecto de consolidación que se manifiesta mediante la pérdida gradual de su espesor. Este fenómeno se traduce en hundimientos diferenciales en la superficie del terreno, que afectan el comportamiento de las estructuras desplantadas en él.

Para el caso del Conjunto Pantitlán, la velocidad de hundimiento, se determinó con base en el análisis de nivelaciones en un período aproximado de 6 meses, para cuantificar el hundimiento en la zona se utilizaron dos bancos de nivel uno superficial y otro profundo.

La cuantificación de hundimiento regional resultó de vital importancia ya que de ésta depende el tiempo en que la punta de los pilotes toquen la primera capa dura, en el caso de las zapatas rectangulares; de acuerdo con el corte estratigráfico longitudinal de la línea 9, a continuación se muestra un ejemplo figura 4.1, y también se describen las capas que se identificaron de este corte.

Para llevar a cabo estos perfiles se utilizaron los sondeos SM-1, SM-2 y SM-3. Con los resultados de campo y la información obtenida en laboratorio de los sondeos, se elaboraron los perfiles estratigráficos; y se identificó la siguiente estratigrafía:

- Capa superficial: constituida por rellenos de arcillas limosas y lentes de arena fina hasta una profundidad de 2.50 m.
- Formación arcillosa superior (FAS): constituida por arcilla plástica con intercalaciones de lentes de arena fina. Se localizó a partir de la capa superficial hasta una profundidad promedio de 38 m.
- Lente de arena fina: se localizó a una profundidad promedio de 9.50 m, con un espesor variable entre 0.80 m y 1.40m.
- Capa dura (CD): constituida por un estrato de limo arenoso de compacidad variable, se encontró a una profundidad promedio entre 38.0m hasta los 40.50 m.

- Formación arcillosa inferior (FAI): constituida por estratos de arcilla limosa, limo arenoso y algunos lentes de arena fina, de la capa dura hasta una profundidad de 56.0 m.
- Depósitos profundos (DP): se identificaron a una profundidad de los 56.0 m.

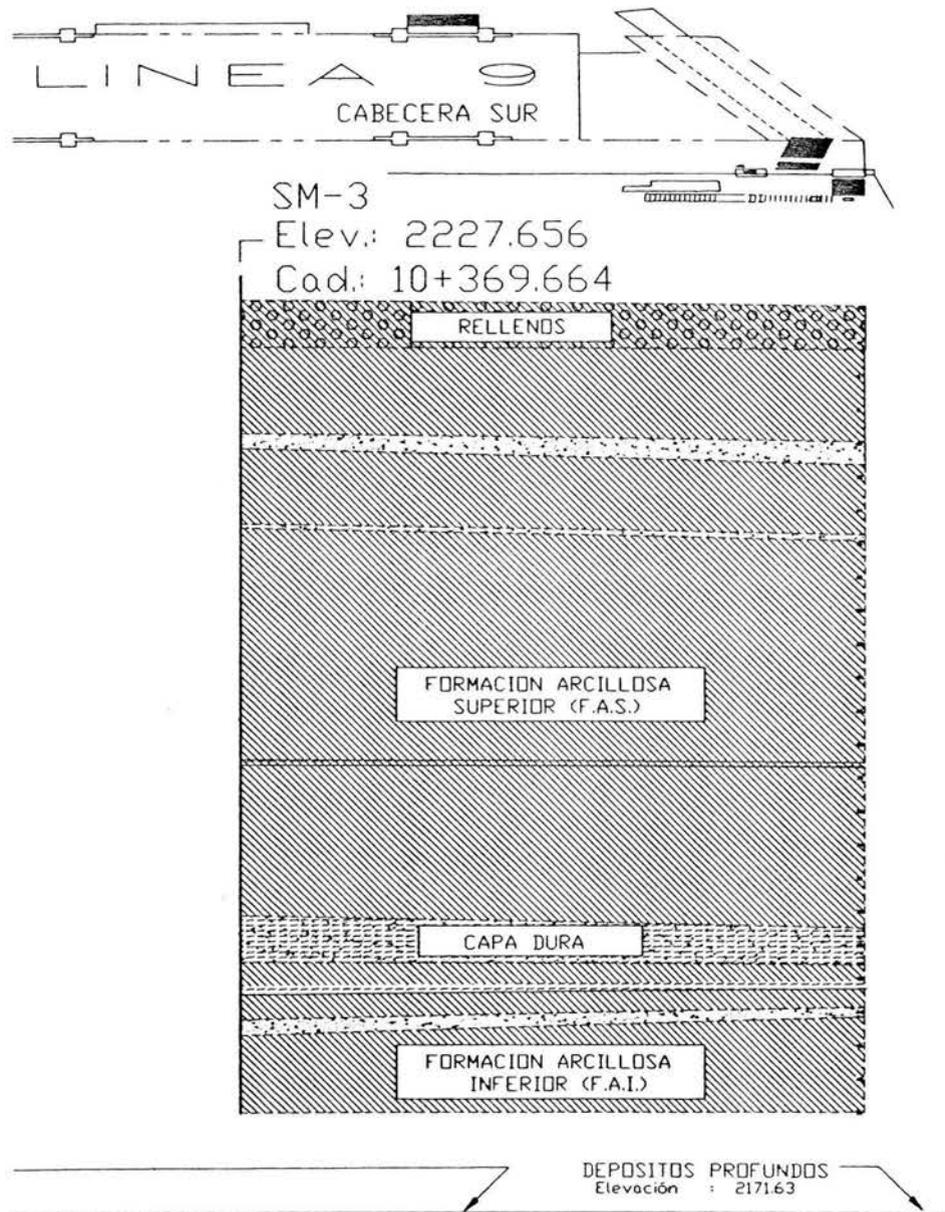


Fig. 4.1. Corte estratigráfico de la línea 9 SM-3.

La cuantificación de los hundimientos de la Ciudad de México se ha basado, principalmente, en las nivelaciones efectuadas a principios de este siglo (realizadas para diseñar la red de agua potable y alcantarillado), y en las mediciones hechas durante el lapso 1937-1980. Estas revelan hundimientos excesivos en algunas estructuras, como la Catedral y el Palacio de Minería (7 a 8 m). Por lo que las nivelaciones son sin duda, un elemento primordial de ayuda

para comprender el comportamiento real de las estructuras, porque cuantifican los desplazamientos ocurridos en un intervalo de tiempo.

4.1 Análisis de hundimientos para estructuras clave del Conjunto Pantitlán

Para el estudio del Conjunto Pantitlán, se realizaron nivelaciones periódicas de algunas de las estructuras que forman parte del Conjunto mostradas en el capítulo 3 del presente trabajo.

Los datos analizados y procesados, para llevar a cabo un análisis de hundimiento, así como del comportamiento que manifiestan a la fecha, en que se llevaron a cabo las nivelaciones, las cuales permitieron establecer un diagnóstico de su situación actual, para llevar y plantear una alternativa o alternativas para su rehabilitación, propuestas que fueron realizadas por los departamentos de Geotecnia, Estructuras y Sísmica de la Facultad de Ingeniería; se conjunta en los siguientes elementos estructurales:

- Estación terminal de la línea 9.
- Pasarelas elevadas y Distribuidores sobre el paradero.
- Pasarelas de correspondencia entre la línea 5 y la 9 y entre la línea 1 y la A.
- Tres puentes peatonales apoyados sobre el muro del cajón del Río Churubusco.
- Puente peatonal que cruza el eje 1 norte.
- Cajón y Muro de Río Churubusco.

De estos análisis se puede concluir, para cada una de dichos elementos lo siguiente:

- ***Estación Pantitlán de la Línea 9***

En esta estructura de manera generalizada se observó un hundimiento en la zona central y norte, aunque en esta última es menos acentuada; además en la cabecera Sur de la estación se observa una emersión muy marcada; causa principal de los problemas estructurales en la Estación. Este análisis es una generalización del conjunto de todos los monitoreos realizados aledaños a la línea 9, a continuación se hace un detalle particular a cada uno de ellos.

- ***Zapatas Rectangulares***

Analizando transversalmente la estructura de la Estación, se observa que el extremo poniente de las zapatas (en el eje G) presenta un menor hundimiento respecto al lado poniente (en el eje A), lo cual provoca un giro en la Estación. En las figuras 3.18a y 3.18b se muestran las gráficas de desplazamientos de los apoyos de la estructura en ambos ejes.

- **Zapata trapezoidal**

En la cabecera Sur (zapata trapezoidal) de la Estación se observa una emersión que alcanza los 10 mm en un periodo de abril a septiembre de 1999, y que aparentemente provoca un menor hundimiento al siguiente apoyo de la Estación (puntos de control H2A, H2B, H13A, H13B del eje G y eje A respectivamente), este fenómeno es el causante principal de los problemas estructurales en la Estación.

- **Zapata romboidal**

Esta zapata ha presentado hundimientos regulares de magnitud importante, este comportamiento se debe a la magnitud de las cargas que recibe, originando un hundimiento generalizado que desnivela constantemente las vías del metro especialmente en el acceso a la Estación.

- **Pasarelas y Distribuidores**

A continuación se muestra un cuadro donde se identifican las zapatas, la forma de estas y la estructura que se encuentra encima de ella figura 4.2; para auxiliarse en el análisis se recomienda observar de igual manera la figura 3.24 del croquis de localización de las pasarelas y distribuidores.

Identificación de la zapata	Sección	Ubicación
ZP-1	Rectangular	Pasarela I
ZP-3	Rectangular	Pasarela III
ZP-6	Rectangular	Pasarela III
ZP-7	Rectangular	Pasarela III
Z-3	Rectangular	Pasarela V y VI
Z-3 ^a	Cuadrada	Pasarela V y VI
Z-4 ^a	Cuadrada	Pasarela VI
Z-5 ^a	Cuadrada	Pasarela V y VI
Z-6 ^a	Rectangular	Pasarela V
Z-7	Cuadrada	Pasarela V y VI
Z-8	Cuadrada	Pasarela V y VI
Z-17	Cuadrada	Pasarela V y VI
Z-11 ^a	Rectangular	Distribuidor 2
Z-15	Rectangular	Distribuidor 1
Z-15 ^a	Rectangular	Distribuidor 4
Z-5	No se proporcionó plano de referencia	Pasarela V
Z-6	No se proporcionó plano de referencia	Pasarela VI
Z-10 ^a	No se proporcionó plano de referencia	Pasarela V y VI
Z-11	No se proporcionó plano de referencia	Distribuidor 3

Fig. 4.2 Cuadro de Identificación de zapatas y su forma.

Las **Pasarelas I y II**, antes del sismo del pasado 15 de junio, presentaban una ligera emersión, en algunas secciones más notoria que en otras, sin embargo después del sismo la tendencia en las dos estructuras fue de hundimiento con algunas excepciones, por ejemplo en la Pasarela I el hundimiento es mayor al alejarse de la línea 9 y por lo contrario presenta una ligera emersión de 3 mm de abril a septiembre de 1999, al acercarse a las estructuras de la Estación. Las nivelaciones en la Pasarela II reflejan hundimientos de 10 mm en el mismo periodo a todo lo largo, excepto en la parte situada por encima del cajón del Río Churubusco, en la cual prevalece la emersión.

En cuanto a la **Pasarela III**, a lo largo de su eje longitudinal presenta un asentamiento mayor en el apoyo cercano a la Estación de la Línea 9 con respecto a los otros apoyos, lo cual da la tendencia de presentar menores hundimientos en esta zona mientras que al acercarse al Distribuidor los movimientos son de emersión.

Para la **Pasarela IV**, los movimientos diferenciales que se presentan en los primeros meses de este análisis son casi nulos, pero para las mediciones posteriores a los sismos de junio se presenta un hundimiento que además es constante, siendo un poco mayor en la parte central.

En el comportamiento de la **Pasarela V** se presenta una emersión en los primeros 2 meses (abril a junio), pero al igual que en las demás estructuras los movimientos que presenta posteriormente a los sismos son de hundimiento siendo mayormente acentuados en la zona central, alcanzando un valor de 25 mm acumulados desde abril a octubre.

La **Pasarela VI** presenta un movimiento constante de hundimiento, pero se observa un pequeño incremento para la medición de octubre, debido probablemente al sismo ocurrido el 30 de septiembre, presentando su mayor magnitud en la zona del Distribuidor 1.

En la **Pasarela VII**, el comportamiento que se presenta es de asentamiento acentuándose ligeramente conforme se acerca al lado oriente. Por otra parte en el lado poniente los hundimientos son mayores al acercarse a la estructura de la línea 9.

Respecto a los Distribuidores, durante los tres meses de monitoreo, de julio a octubre se observó un hundimiento generalizado a lo largo de toda la estructura, de aproximadamente 14 mm, por lo cual no se han presentado problemas importantes de hundimientos diferenciales, aunque conviene señalar que para llegar a una conclusión definitiva es necesario ampliar el periodo de mediciones.

- **Puentes peatonales**

El puente de acero 1-A, 1-B y 1-C presenta una estructura en forma de "U", en el que dos de sus brazos son casi perpendiculares a la Estación de Línea 9 y el otro paralelo, el croquis en planta puede observarse en la figura 3.37. En esta estructura se ha observado un comportamiento irregular, ya que en una sección se presentan emersiones y en otras partes lo que prevalece son los asentamientos, por ejemplo; en el Puente 1-A se observa un hundimiento y después una emersión que se prolonga hasta la intersección con el Puente 1-B; para el Puente 1-B, existe un hundimiento que se acentúa hacia el centro; el Puente 1-C presenta una emersión que se mantiene hasta el final del puente.

Los Puentes Peatonales calle Unión, calle J. Torres Bodet, calle Uno y calle Dos; han presentado desde el inicio de la medición, un hundimiento regular en toda su longitud: en el puente de calle Unión se presenta un asentamiento de aproximadamente 32 mm, de abril a octubre de 1999; el Puente calle J. Torres Bodet presenta un comportamiento de mayor hundimiento en los extremos dando una aparente emersión en los puntos de control 2 y 3; el puente de la Calle Uno presenta hundimientos al norte y emersión al sur, aunque de magnitud menor (alrededor de 3 mm) con relación al hundimiento de alrededor de 15 mm medidos de abril a octubre; para el puente de Calle Dos el hundimiento, es total ya que entre apoyos no existen hundimientos diferenciales de magnitudes importantes.

- **Nivelación cajón y muro de Río Churubusco**

Esta estructura presenta un comportamiento muy ambiguo ya que en la zona sur del cajón la estructura se hunde mientras que en la zona norte (todo referido a la línea 9) la estructura se esta "quedando", en los cadenamientos que se hicieron pasando esta Línea, hacia el norte, la tendencia es de hundimiento, aunque cabe aclarar que las magnitudes en todos los desplazamientos antes mencionados son muy pequeños.

4.2 Análisis de Hundimiento Regional

4.2.1 Antecedentes del hundimiento Regional en el Valle de México

Desde la fundación de México-Tenochtitlán (1325) se realizaron obras de protección contra las inundaciones a que estaba sujeta la zona del altiplano, tales como el albaradón de Netzahualcoyotl (1449). Posteriormente, en la colonia y con el mismo propósito de protección, se construyeron varios diques y el túnel de Nochistongo (1608), convirtiéndose este último en tajo (1879). Años después, en 1895 y 1952, se realizaron los túneles de Tequisquiác. Recientemente, en 1975, se construyó el sistema de Drenaje Profundo (Murillo, 1990). Fundamentalmente con este tipo de obras, el objetivo ha sido contener el agua y conducirla fuera del valle.

La canalización del agua fuera de la cuenca, paulatinamente ha generado un desequilibrio hidrológico al disminuir los niveles hidráulicos. Este desequilibrio se ha incrementado dramáticamente con la extracción de agua del subsuelo. Esta actividad se inició en 1847, cuando Pane y Molteni empezaron la apertura de pozos. Desde los primeros años, la extracción se practicó en forma desmedida, ya que se buscaba el abastecimiento barato de agua potable para la población. Para continuar con la extracción se requirió del bombeo. Ello indujo una enorme pérdida de la presión piezométrica del agua intersiticial y con ello, el hundimiento regional del valle de México.

Roberto Gayol, en 1925, es el primero que advierte del hundimiento de la ciudad de México, atribuyendo el efecto al abatimiento del nivel freático provocado por la red de colectores que no garantizaba tener buena impermeabilización.

Al incrementar el bombeo paralelamente al crecimiento demográfico de la ciudad, se observaron manifestaciones de asentamientos diferenciales en edificios y obras municipales. Estas manifestaciones se acentuaron notoriamente en la década de los años cuarenta.

En la Ciudad de México la cuantificación de los hundimientos, se ha basado principalmente, en las nivelaciones efectuadas a principios de este siglo (realizadas para diseñar la red de agua potable y alcantarillado), y en las mediciones hechas durante el lapso 1937-1980. Estas revelan hundimientos excesivos en algunas estructuras, como la Catedral y el Palacio de Minería (7 a 8 m). Particularmente, Nabor Carrillo explicó que la causa principal del hundimiento, es el abatimiento de la presión hidráulica en los acuíferos del subsuelo ocasionado por el bombeo dentro de la zona urbana. La realización de estudios de mecánica de suelo y mediciones piezométricas han confirmado esta hipótesis.

Las mediciones piezométricas realizadas durante el periodo 1953-1956, obligaron a decretar la veda de explotaciones futuras de agua mediante pozos en el centro de la ciudad. A partir de 1954, con esta medida comienza a disminuir la velocidad del hundimiento. La veda de explotación se modificó en los 60's para promover la clausura de pozos municipales de agua cercanos a las líneas del Sistema de Transporte Colectivo (Metro). El propósito fue evitar la desnivelación de las vías por asentamientos diferenciales. Sin embargo, para responder a la demanda de agua potable de la Ciudad, se autorizó perforar pozos en las zonas menos pobladas, especialmente hacia el este y sureste del Distrito Federal.

De acuerdo con las mediciones históricas en la Catedral, Palacio de Minería y Alameda Central (Marsal y Masari, 1990) en el periodo comprendido de 1900 a 1985, se observa una velocidad de hundimiento medio de 3.3 cm/año hasta 1935, posteriormente y hasta 1946 la velocidad cambia a 16 cm/año, incrementándose hasta 29 cm/año durante los 10 años siguientes. Finalmente, y hasta nuestros días la velocidad de hundimiento se ha mantenido en aproximadamente 5 cm/año y con tendencia a reducirse. Las fuertes velocidades de hundimiento registradas obedecen al notable incremento de pozos, obligado por el crecimiento y demandas de la población. En la última etapa, la velocidad de hundimiento se ve disminuida por la clausura y reubicación de pozos hacia fuera de la Ciudad, disminuyendo considerablemente la reducción de los niveles piezométricos.

De acuerdo con los registros obtenidos en distintos puntos del valle de México (ONU, 1988), la velocidad de hundimiento esta directamente relacionada con el espesor del depósito compresible (NTC, 1995), tal como lo indicó Nabor Carrillo al estudiar, mediante un modelo, el fenómeno de consolidación en la cuenca (de esta forma, entre mayor sea el espesor de la arcilla, se acusará un hundimiento más pronunciado).

4.2.2 Análisis de hundimiento Regional del Conjunto Pantitlán

El Conjunto Pantitlán se encuentra en la superficie de una secuencia estratigráfica de arcillas de origen lacustre que se extiende a una profundidad cercana a los 60 m. Se trata de un sitio virgen de la zona del lago, extremadamente blando, en que se ha iniciado recientemente el proceso de consolidación y en que la explotación de agua del subsuelo ha favorecido el hundimiento del terreno en años recientes. Razón por la cual da inicio a este análisis de hundimiento regional de la zona en la que se encuentra ubicada la estación Pantitlán del Sistema de Transporte Colectivo (Metro); para llevar a cabo este se requirió de nivelaciones efectuadas desde un Banco de Nivel Profundo Peñón al Banco de Nivel Profundo ubicado cerca de la línea 9 del Conjunto, pero también se llevo a cabo dicha nivelación hacia un Banco de Nivel Superficial ubicado en las cercanías del Conjunto; como se muestra en el croquis de localización figura 3.1 de este trabajo.

A continuación se muestran los cuadros de control y las gráficas correspondientes de los monitoreos realizados al Banco de Nivel Profundo con respecto del Banco de Nivel Superficial Guadalupe, figura 4.4; la razón de indicarlos en este capítulo ha sido para una mejor observación de los hundimientos del Conjunto, las diferencias con respecto a las gráficas anteriores son:

- Presenta la diferencia entre los días en que fueron realizadas las lecturas;
- La elevación que presento cada una de estas lecturas;
- La diferencia existente con la lectura anteriormente tomada;
- La columna de años se refiere a la diferencia de días entre cada lectura dividida en 365 para obtener una referencia en años;
- Finalmente la columna de velocidad con las unidades cm/año.

No. de lecturas realizadas	Fecha inicio de lecturas	Dif. entre días de cada lectura	Elevación	Dif. Parciales entre las elevaciones (distancia)	Días entre 365 (tiempo)	%Vel. = Distancia/tiempo
Lecturas	19-Jun-99	0	28.2270	dif	años	cm/año
1	24-Jun-99	5.00	28.2263	0.0007	0.01	5.11
2	26-Jun-99	2.00	28.2258	0.0005	0.01	9.12
3	30-Jun-99	4.00	28.2246	0.0012	0.01	10.95
4	10-Jul-99	10.00	28.2208	0.0038	0.03	13.87
5	21-Jul-99	11.00	28.2200	0.0008	0.03	2.65
6	24-Jul-99	3.00	28.2181	0.0019	0.01	23.12
7	31-Jul-99	7.00	28.2161	0.0020	0.02	10.43
8	14-Ago-99	14.00	28.2123	0.0038	0.04	9.91
9	28-Ago-99	14.00	28.2069	0.0054	0.04	14.08
10	09-Sep-99	12.00	28.2025	0.0044	0.03	13.38
11	23-Sep-99	14.00	28.1962	0.0063	0.04	16.42
12	02-Oct-99	9.00	28.1946	0.0016	0.02	6.49
13	09-Oct-99	7.00	28.1904	0.0042	0.02	21.90
14	16-Oct-99	7.00	28.1889	0.0015	0.02	7.82
15	23-Oct-99	7.00	28.1886	0.0003	0.02	1.56
16	30-Oct-99	7.00	28.1832	0.0054	0.02	28.16
17	06-Nov-99	7.00	28.1825	0.0007	0.02	3.65
18	16-Nov-99	11.00	28.1821	0.0004	0.03	1.33
velocidad promedio de hundimiento						11.11

Fig. 4.4 Cuadro de velocidades de hundimiento entre el BNS con respecto al BNP.

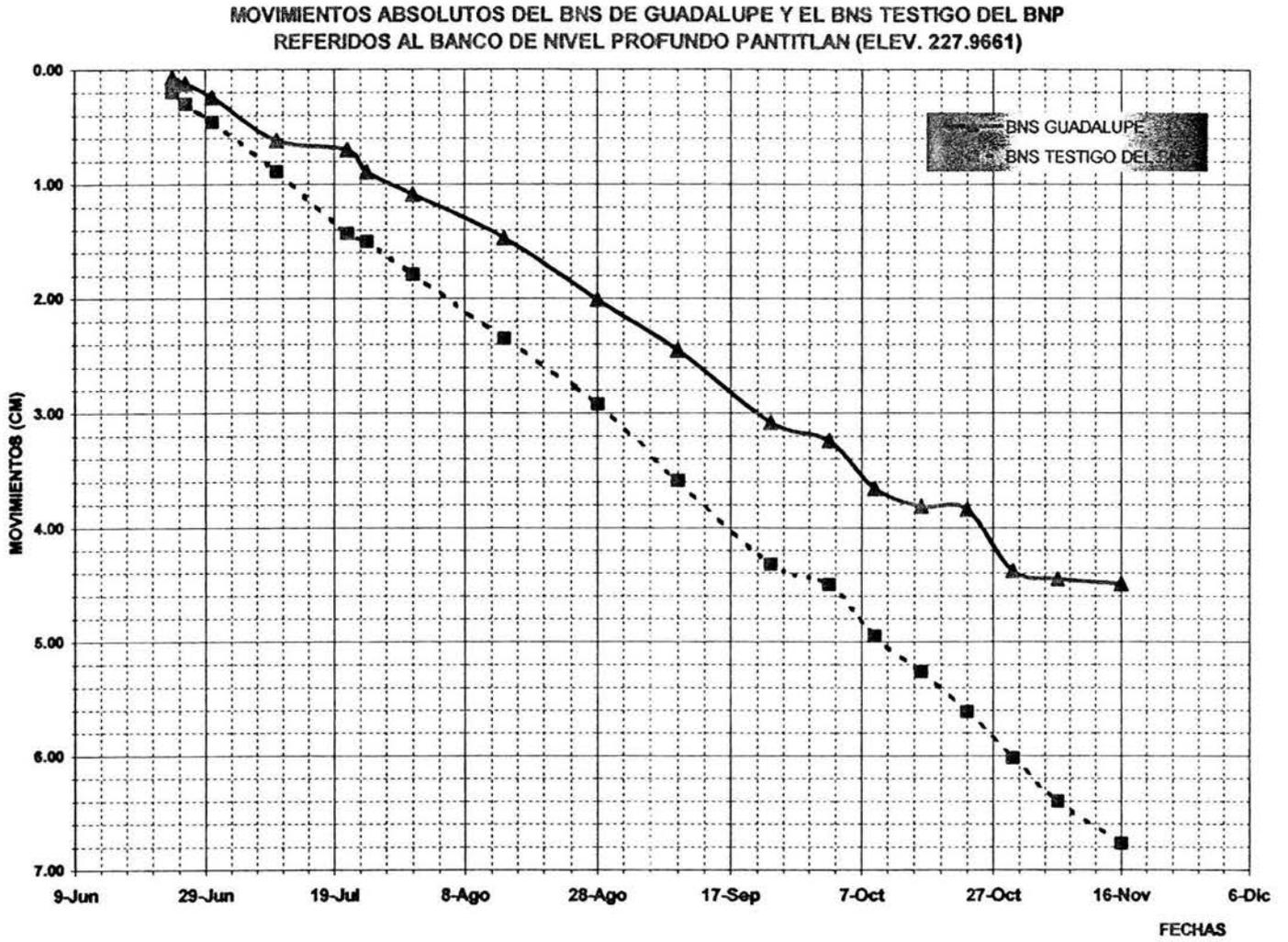


Fig. 4.5 Cuadro de velocidad de hundimiento regional del BNS Guadalupe y del BN Testigo referidos al BNP.

No. de lecturas realizadas	Fecha inicio de lecturas	Dif. entre días de cada lectura	Elevación	Dif. Parciales entre las elevaciones (distancia)	Días entre 365 (tiempo)	%Vel. = Distancia/tiempo
Lecturas	19-Jun-99	0	27.7614	dif	años	cm/año
1	24-Jun-99	5.00	27.7594	0.0020	0.01	14.60
2	26-Jun-99	2.00	27.7584	0.0010	0.01	18.25
3	30-Jun-99	4.00	27.7568	0.0016	0.01	14.60
4	10-Jul-99	10.00	27.7525	0.0043	0.03	15.69
5	21-Jul-99	11.00	27.7471	0.0054	0.03	17.92
6	24-Jul-99	3.00	27.7464	0.0007	0.01	8.52
7	31-Jul-99	7.00	27.7435	0.0029	0.02	15.12
8	14-Ago-99	14.00	27.7379	0.0056	0.04	14.60
9	28-Ago-99	14.00	27.7322	0.0057	0.04	14.86
10	09-Sep-99	12.00	27.7255	0.0067	0.03	20.38
11	23-Sep-99	14.00	27.7182	0.0073	0.04	19.03
12	02-Oct-99	9.00	27.7164	0.0018	0.02	7.30
13	09-Oct-99	7.00	27.7119	0.0045	0.02	23.46
14	16-Oct-99	7.00	27.7088	0.0031	0.02	16.16
15	23-Oct-99	7.00	27.7053	0.0035	0.02	18.25
16	30-Oct-99	7.00	27.7012	0.0041	0.02	21.38
17	06-Nov-99	7.00	27.6974	0.0038	0.02	19.81
18	16-Nov-99	11.00	27.6937	0.0037	0.03	12.28
velocidad promedio de hundimiento						16.23

Fig. 4.6 Cuadro de velocidad de hundimiento del BN Testigo del BNP.

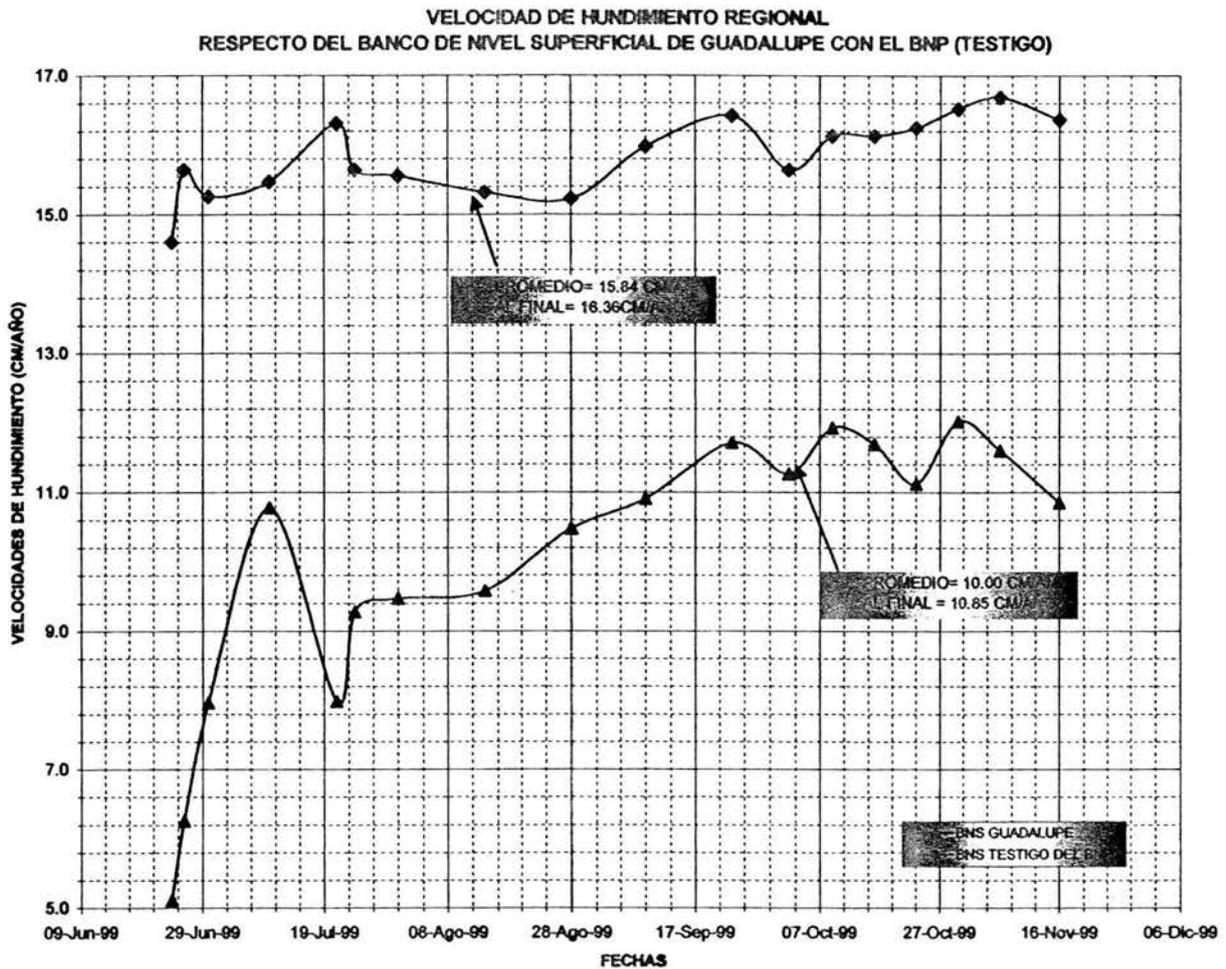


Fig. 4.7 Cuadro de velocidad de hundimiento regional del BNS Guadalupe con respecto al Testigo del BNP.

Las diferentes configuraciones estratigráficas que presenta el subsuelo del valle de México, que han sido estudiadas destaca en todas ellas, la directa relación que existe entre el hundimiento generado y el espesor del estrato compresible, situación que igualmente se observa en las mediciones recogidas y compiladas en el presente trabajo.

5.- CONCLUSIONES

El presente trabajo recopila y sintetiza la evaluación del Conjunto Pantitlán, que llevo a cabo el Departamento de Topografía y Geodesia de la Facultad de Ingeniería. A través de diversas condiciones de trabajo

De la forma como se observan las condiciones actuales del Conjunto Pantitlán, se puede asegurar que los asentamientos se han venido presentando de una forma irregular, lo que ha provocado deformaciones o fallas en la estructura, creando un riesgo que amenaza la seguridad de la operación del sistema.

Para determinar el comportamiento de las estructuras que forma todo el Conjunto se requirió realizar un estudio topográfico que incluyó un levantamiento planimétrico y el control vertical mediante nivelaciones de precisión.

Con este estudio topográfico se dio apoyo a las coordinaciones de Geotecnia y Estructuras con el fin de que contar con las bases para la realización de la propuesta para la solución de la problemática.

Debido a que el período de estudio resultó relativamente pequeño, se requirió de una gran precisión para la medición y monitoreo de los movimientos. El control vertical se realizó para conocer como es el movimiento de la zona a partir de un banco de nivel profundo, al mismo tiempo se requirió medir el movimiento de la estructura con respecto a un banco de nivel superficial colocado a una distancia fuera de la influencia del peso de las estructuras.

Los puntos de control fueron seleccionados estratégicamente para obtener la información requerida por las áreas de Geotecnia y Estructuras. Sin embargo, por conveniencia del seguimiento de algunos estudios realizados, se optó por utilizar puntos de control preestablecidos por otras compañías.

Con base en la información topográfica recabada en campo se realizaron trabajos de gabinete consistentes en realización de cálculos y planos. El control planimétrico se apoyó en una orientación Astronómica, la cual se realizó mediante un posicionamiento satelital mediante el equipo denominado "Garmin", para lo cual se requirió de la elaboración matemática del cálculo geodésico.

La altimetría realizada a cada uno de los bancos de nivel y estructuras del Conjunto en los periodos establecidos permitió elaborar las gráficas que muestran claramente el comportamiento, tanto grupal como individual de los puntos de control. Los comportamientos individuales con respecto al tiempo, permiten conocer la velocidad de hundimiento de cada punto de control, que a su vez comparado con otras velocidades de hundimiento dan a conocer las deformaciones diferenciales de la zona de estudio. Los comportamientos grupales e individuales fueron referidos al Banco de Nivel Superficial Guadalupe o al Banco de Nivel Profundo Pantitlán.

BIBLIOGRAFÍA

- Murillo R (1990). Sobreexplotación del acuífero de la cuenca del Valle de México: Efectos y Alternativas. El Subsuelo de la Cuenca del Valle de México y su relación con la Ingeniería de Cimentaciones a Cinco años del sismo, Memorias. México, D.F.
- Núñez C (1996). Hundimiento del subsuelo de la ciudad de México. XVIII Reunión de Mecánica de Suelos, Morelia, Michoacán.
- Santoyo E y Gutiérrez C (1990). Estratigrafía y Muestreo Inalterado de los Suelos Lacustres del Valle de México. El Subsuelo de la Cuenca del Valle de México y su relación con la Ingeniería de Cimentaciones a Cinco años del sismo, Memorias. México, D.F.
- Marsal, R J y M Mazari (1959). El subsuelo de la Ciudad de México. UNAM, segunda edición.
- Informe Técnico (1999). Trabajos de Campo y Laboratorio en la Estación del Conjunto Pantitlán del Sistema de Transporte Colectivo "Metro". Departamento de Geotecnia, Facultad de Ingeniería. México D.F.
- Informe Técnico (1999). Trabajos de Campo y Laboratorio en la Estación del Conjunto Pantitlán del Sistema de Transporte Colectivo "Metro". Departamento de Topografía, Facultad de Ingeniería. México D.F.
- Informe Técnico (1999). Estimación del Peligro Sísmico en la Estación del Conjunto Pantitlán del Sistema de Transporte Colectivo "Metro". Fundación Barros Sierra. México D.F.