



*Universidad de Morón*  
*Facultad de Ingeniería*

*Tesina*

# Determinación de movimientos con GPS en el gasoducto Norandino



*Darío Martín Canosa*

Marzo de 2009

## **Tesina**

### *Determinación de movimientos con GPS en el gasoducto Norandino*



Darío Martín Canosa

**Director: Dr. Claudio A. Brunini**

**Co-director: Gabriel Celentano**

*Marzo de 2009*

*Universidad de Morón*

Facultad de Ingeniería  
Cabildo 134, (B1708JPD) Morón, Buenos Aires, Argentina

E-mail: [dariocanosa@hotmail.com](mailto:dariocanosa@hotmail.com)



**UNIVERSIDAD DE MORÓN.  
Facultad de Ingeniería.  
Carrera de Ingeniero Agrimensor.**

**ASIGNATURA 425 – Práctica Profesional y Tesina**

**TESINA**

*Determinación de movimientos con GPS en el  
gasoducto Norandino*

Año 2009

Prof.: ***Ing. Agrim. Miguel E. Sacco***

Prof.: ***Agrim. Alberto R. Soschín***

Alumno:

▪ ***Canosa, Darío Martín***

Mat.: 3701-2032

Cabildo 134 - B1708JPD MORÓN - Prov. de Buenos Aires  
República Argentina  
Teléfono: (005411) 5627 2000 ((Líneas rotativas))  
Correo electrónico: [ingenieria@unimoron.edu.ar](mailto:ingenieria@unimoron.edu.ar)



**UNIVERSIDAD DE MORÓN.**  
**Rector**  
**Dr. Héctor N. PORTO LEMMA.**

**Facultad de Ingeniería.**  
**Decano**  
Ing. Oscar NUÑEZ.

**Vicedecano**  
Ing. Enrique RUTENBERG.

**Secretario Académico**  
Ing. Elisa MESTORINO BACHOFEN.

**Director de Carrera Ingeniero Agrimensor.**  
Ing. Roberto LENI

## El Zenta

En 1683 el misionero jesuita P. Diego Ruiz escribió:  
“...Trepamos la serranía hasta la cumbre, que por ser de altura desmedida tiene la vista más alegre y hermosa que puede imaginarse...”



“...El Zenta imponente en sus majestuosas alturas, bañando en la luz del mediodía invernal, rasgando con sus cresterías la placidez del cielo casi gris, abre allí su mole pétrea como una inmensa puerta...”

(Coronel Manuel Eduardo Arias, en la guerra de la Independencia).



---

Citados en el libro “Un valle Hijo del Zenta: Retazos de vida” Amancay – Jurita, 1999.

## **Dedicatorias:**

A mis queridos compañeros con quienes viví tantas aventuras, trabajando, esforzándonos por hacer las cosas bien, afrontando las dificultades y los elementos. Estuvieron siempre y "en todas" a mi lado.

Con ellos aprendí muchísimo. Les debo muchísimo. Y por eso no los olvido. Para ellos van mis disculpas también, por mis muchos errores.

Solo nosotros comprendemos la magnitud de las experiencias que afrontamos en innumerables trabajos dependiendo de una empresa que faltó a sus más elementales compromisos de seguridad y justicia laboral.

A todo el aguante que tuvimos, a toda la hombría que pusimos en distintos puntos del país y en particular en el Norandino, va mi homenaje eterno a mis camaradas.

Para mí son mis hermanos y me unen las líneas mismas de la vida. Va entonces esta sentida y profunda dedicatoria dirigida a:

Juan Esteban Núñez



Raúl Oscar Agüero

Héctor Remigio Villalba



Daniel Alfredo Lobo



## Agradecimientos:

Quisiera expresar mi profunda agradecimiento a **Doña Alba de San Andrés** quien nos dio refugio en su casa durante tantas campañas. Nos ilustró con su profundo conocimiento, con la historia, con la geografía, con la cultura del lugar.

Nunca olvido que en los acontecimientos de Febrero de 2006 nos brindó refugio y alimento durante 13 largos días en su cabaña de El Pinal.

Su historia es un ejemplo maravilloso por pocos conocida. Doña Alba impulsó la construcción de la primera escuela de San Andrés. Fue maestra, directora, enfermera, partera, religiosa durante décadas en ese lugar tan aislado por la geografía y la naturaleza.



Tengo además su hermoso libro donde compila la historia, la cultura del pueblo nativo, la botánica y las historias del lugar. Conozco también algunos de sus mapas donde recopiló el nombre ancestral de los parajes y ríos. Y cuantas cosas más no conozco de ella.

Doña Alba me emociona profundamente. Junto a ella sus hermanas: Doña Cuca, Doña Tití y trabajando con ella Ariel Alarcón. Doña Alba vive en mi corazón.

También quiero expresar mi agradecimiento a Luís Apaza, enfermero de San Andrés que atendió a uno de mis compañeros en un accidente penoso sucedido en condiciones de casi total aislamiento a más de 90 Km del hospital más cercano.

Recuerdo con dolor a Abel Lamas, de los Naranjos, maquinista que ayudó en la evacuación de nuestro compañero y falleció pocos días después al derrumbarse el camino bajo el peso de la topadora. Para él también es mi homenaje.

A la gente humilde del pueblo de San Andrés. A Arturo Condorí todavía lo veo cruzando los ríos correntosos con su tractor y le expreso mi agradecimiento por la ayuda que nos brindó.

Como no recordar a toda la gente de los campamentos del gasoducto, trabajadores que tanto apoyo nos dieron y quienes nos ayudaron en algunas situaciones difíciles. Mi recuerdo y homenaje entonces a Gustavo Carrizo, Ricardo Gelati, Juan Sosa, al maquinista Chinchila,



a Ricardo Benítez, a Aníbal Garrido, a Jorge Medina y a Gelucci.

También quiero expresar mi profundo agradecimiento a la gente de las Bases de T.G.N.: Francisco Muñoz, Hugo Narvaja, Daniel Barroso, Cesar Saavedra y de Norandino S.A. a Fabián Ruiz.

Por último quiero agradecer muy especialmente a mis dos directores.

Al **Ing. Gabriel Celentano** que además de codirector fue el Project Manager del proyecto que trata esta tesina. Con Gabriel mantuvimos durante los 4 años que llevó, una excelente interacción y confianza mutua.



Al **Dr. Claudio Brunini** que me honró aceptando ser mi director por su indiscutido nivel científico y su labor en el país en lo que a GNSS se refiere. Además me une a él una valiosa amistad fruto de casi 10 años de trabajo en el Observatorio Astronómico de La Plata.-





## INDICE

<b>El Zenta .....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatorias: .....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimientos:.....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimientos:.....</b>	<b>7</b>
<b>INDICE .....</b>	<b>9</b>
<b>Prefacio .....</b>	<b>11</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>11</b>
<b>Introducción:.....</b>	<b>13</b>
<b>Red Geodésica de Control .....</b>	<b>15</b>
Características principales de la medición de la Red de Control .....	15
<b>Campañas realizadas .....</b>	<b>16</b>
<b>Dificultades operativas .....</b>	<b>17</b>
<b>Recursos Empleados .....</b>	<b>19</b>
Equipamiento utilizado .....	19
Receptores GPS .....	19
Antenas GPS.....	19
Estaciones Totales .....	19
Instrumental Auxiliar .....	19
Vehículos .....	20
Elementos de seguridad .....	20
Repetitividad .....	20
Obstrucciones .....	20
Excentricidades.....	20
Alturas de Antena.....	20
<b>Diagrama de sesiones GPS.....</b>	<b>22</b>
<b>Tareas de Gabinete .....</b>	<b>23</b>
Tolerancia.....	23
Marco de Referencia.....	23
Cálculo GPS .....	23
Cálculo de los vectores.....	23
Ajuste de los vectores .....	24
Transformación de coordenadas .....	24
Cotas Ortométricas.....	25
Medición Clásica de los Extensómetros.....	25
Configuración de los mojones.....	27
Simulación numérica.....	28
Propagación de errores en las soluciones de intersección inversa..	29
Mediciones realizadas.....	29
Calculo de la Posición de la Estación Total.....	30
Calculo de los extensómetros .....	30
Coordenadas de los monolitos para el cálculo de los extensómetros.....	30

<b>Planteo del Problema</b> .....	<b>31</b>
Red de Control .....	31
Diferencias de coordenadas absolutas.....	31
Diferencias en altura .....	32
Incidencia de los errores Troposféricos sobre los resultados GPS .....	34
Incidencia del Error Ionosférico en los resultados GPS.....	35
<b>Detección de movimientos</b> .....	<b>36</b>
Consideraciones preliminares .....	36
Transformaciones de Similaridad .....	36
Estrategia adoptada .....	37
División de la Red en Grupos .....	38
Descripción del Cálculo de movimientos .....	39
Vértices aislados - Monolito M027 .....	39
Inclinómetro M036. ....	40
Planillas de movimientos.....	40
Resultados alcanzados para la medición de Mayo de 2007 .....	41
Diferencias absolutas .....	41
Planillas de movimientos - Resultados .....	45
Calculo de movimientos – Ultima medición versus anteriores .....	45
Gráficos de Movimientos .....	48
Error del método .....	48
<b>Vértices que no reflejan desplazamiento</b> .....	<b>49</b>
<b>Vértices en movimiento</b> .....	<b>51</b>
Extensómetros 2 (M003) y 1(M004) .....	51
Bulón empotrado en roca M032 .....	55
Inclinómetros M039 y M040 (frente a los extensómetros 1 y 2): .....	56
Inclinómetro M037 y monolito M038 .....	57
Extensómetro 3 (M041).....	58
Inclinómetro M014 .....	59
Monolito M015 .....	60
Inclinómetro M016 .....	61
Monolito M018 .....	62
Inclinómetro M019 .....	63
Inclinómetro M022 .....	64
Inclinómetro M023 .....	65
Monolito M030 .....	66
Bulones empotrados M033 y M034.....	67
Inclinómetro M036 .....	68
<b>Conclusiones finales de la campaña de Mayo de 2007</b> .....	<b>69</b>
<b>Conclusiones finales</b> .....	<b>70</b>
<b>Apéndice A: Base de Datos de Medición GPS</b> .....	<b>73</b>
Época media: 02 de Mayo de 2007 .....	73

## **Prefacio**

La presente tesina fue remitida en cumplimiento parcial de los requerimientos para acceder al grado académico de Ingeniero Agrimensor en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Morón en noviembre de 2008.

La misma se desarrolla en el marco de la asignatura "Práctica Profesional y Tesina" desarrolladas por el Ing. Agrimensor Miguel Sacco y el Agrimensor Alberto Soschín.

El trabajo fue supervisado por el Dr. Claudio Brunini, director del grupo de Georreferenciación Satelitaria de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG) de la Universidad Nacional de La Plata.

El desarrollo de esta tesina cuenta con la autorización de Norandino S.A. que es dueña de todos los datos e informes recabados en el transcurso de las campañas de medición efectuadas por terceras empresas bajo contratos de locación de obra.

## **Resumen**

La realización de mediciones microgeodésicas dirigidas a la determinación de movimientos exige una planificación cuidadosa de todos los aspectos de la medición.

En particular, debe prestarse atención a las referencias absolutas desde las cuales esos movimientos van a ser determinados, como así también la geometría, cantidad, tipo de mediciones, equipamiento, etc. en relación a la precisión buscada.

Los métodos y procedimientos de cálculo, el análisis riguroso de los errores, la aplicación de la técnica de compensación y la inspección cuidadosa de los resultados alcanzados son elementos reconocidos del problema a encarar.

En el presente trabajo, se describe la forma en que fue abordado un problema particular de monitoreo de movimientos del terreno utilizando la técnica diferencial GPS en el ámbito del gasoducto Norandino.

La zona de aplicación presenta condiciones particularmente desventajosa para alcanzar elevadas precisiones con GPS, puesto que existen fuertes variaciones altimétricas entre los vértices y las condiciones ambientales y operativas son extremadamente variables. La disposición de los vértices es lineal.

Por supuesto que se reconoce que la técnica GPS puede emplearse bajo cualquier situación climática. Sin embargo, se conoce que el error troposférico constituye un significativo limitante de la precisión cuando existen grandes diferencias altimétricas en los distintos vértices.

Se reconoció en este trabajo **la ausencia de referencias absolutas desde donde medir el movimiento**, como así también la necesidad de realizar este trabajo con técnicas de nivel profesional, no siendo factible ni conveniente emplear metodologías reservadas al ámbito científico y elevados presupuestos.

Se presenta entonces en este documento, una estrategia de determinación de movimientos a partir de mediciones geodésicas diferenciales GPS que surge de un proceso de eliminación de errores sistemáticos mediante la utilización de sencillas transformaciones de similaridad.

Se muestra también que ignorar la presencia de errores sistemáticos degrada la precisión significativamente y que la utilización de la técnica GPS aplicada a la comparación de redes geodésicas en marcos de referencia espaciales o temporales distintos exigen la aplicación de estas técnicas para detectar en los residuos de estas transformaciones, los movimientos.

## **Introducción:**

El gasoducto Norandino se extiende desde la ciudad de Pichanal en Salta, hacia Orán y luego en dirección Oeste, atravesando la Yunga, subiendo las estribaciones de la cordillera del Zenta. Ingresa a la Provincia de Jujuy y continúa su extensión pasando por Humahuaca y luego a Chile completando un recorrido de más de 780 Km.

En la zona de la cordillera del Zenta, el gasoducto trepa de 1800 metros de altura a 4500 m en 20 Km. Esta zona posee propiedades muy especiales que hacen necesario la realización de tareas permanentes para asegurar la integridad del gasoducto.

Orográficamente la zona es abrupta. Montañas elevadas caen a profundos valles donde los ríos han cavado su cauce en la profundidad de imponentes barrancos.

El clima es muy variable. Verano es época de lluvias intensas que varían entre 1000 mm y 3000 mm. Se caracteriza por ríos desbordados, derrumbes, niebla en las alturas, nevadas, deslizamientos de terreno y poderosos aluviones en los ríos que pueden producirse hacia finales del verano.

Invierno por el contrario es época seca. Las precipitaciones se encuentran entre 300 y 900mm al año. En los meses de Julio y Agosto es posible encontrar la cordillera del Zenta nevada, nieve que en ocasiones desaparece en la tarde y se renueva en la mañana.

Estas condiciones orográficas, meteorológicas, sumadas a la de carácter geológico y biológico otorgan a la región una gran vitalidad que se expresa en cambios y en mutaciones fuertemente evidentes en el terreno.

Estas condiciones son cotidianas a los Ingenieros responsables del mantenimiento e integridad del gasoducto que desde su construcción desarrollan numerosas y distintas tareas de monitoreo, mantenimiento y reparación del gasoducto.

Las condiciones operativas de trabajo y mantenimiento del gasoducto son difíciles y los hombres que trabajan en forma permanente o semi-permanente en el gasoducto afrontan grandes desafíos por la magnitud de los elementos.

El trabajo en el ámbito del gasoducto requiere de importantes medidas de seguridad, las cuales son rigurosamente observadas por las empresas que trabajan y vigiladas por los responsables del gasoducto.

En el año 2003, el autor de esta tesina, en el marco de su trabajo en la empresa I.F.T.A. S.A. fue convocado por Ingenieros de Transportadora Gas del Norte S.A. (TGN S.A.) que administra el gasoducto para examinar la factibilidad de realizar determinaciones de movimientos basados en GPS. Del intercambio realizado, el autor comenzó una tarea que se extendió a lo largo de 5 años.

Esta determinación de movimientos estuvo inicialmente limitada a un conjunto de 26 vértices consistentes en 19 monolitos, 5 inclinómetros y 2 extensómetros. Luego, vista la necesidad de expandir el control en virtud

de los desplazamientos hallados y otros elementos de valoración, la cantidad de monolitos creció paulatinamente a 41.

Sobre estos vértices se diseñó la medición de una Red Geodésica GPS. En Abril de 2003 se realizó la primera campaña y en Julio de 2003 se obtuvieron las coordenadas que permitieron desarrollar la metodología que se presenta en este trabajo y la determinación por primera vez de movimientos.

El autor de esta Tesina realizó la medición una Red Geodésica de Control y Monitoreo del Gasoducto Norandino en un total de 20 oportunidades desde Abril de 2003 hasta Mayo de 2007 desempeñándose como jefe de campo. Diseñó e implementó la metodología que se aplica para determinar los movimientos y realizó en todos estos casos los cálculos, análisis e informes correspondientes.

## **Red Geodésica de Control**

La Red de Control consta de 39 vértices numerados desde el M001 hasta el M041. Los vértices M031 y M035 no existen más.

De esta manera los vértices de la Red se componen de:

- 24 Monolitos: M001, M002, M005, M006, M007, M008, M009, M010, M011, M012, M013, M015, M017, M018, M020, M021, M024, M025, M026, M027, M028, M029, M030, M038.
- 3 Bulones empotrados en roca: M032, M033, M034.
- 9 Inclínómetros: M014, M016, M019, M022, M023, M036, M037, M039, M040.
- 3 Extensómetros: M003, M004, M041.

El objetivo de esta Red es la detección y monitoreo de movimientos del terreno que puedan afectar la integridad del gasoducto en dicho lugar. La metodología para alcanzar este objetivo lo constituye su medición periódica.

### **Monolito M029**



### **Características principales de la medición de la Red de Control**

La medición de la Red de Control se realiza con la técnica diferencial GPS estática salvo los extensómetros que se miden con estación total.

Todas las mediciones GPS poseen las siguientes características:

- Empleo del exclusivo del método diferencial estático GPS.
- Medición de una red Geodésica. Lo cual implica:

- Vértices contiguos son unidos por un vector GPS.
  - Medición multiestación: Empleo de múltiples receptores en cada sesión. (Se adoptó un mínimo de cinco receptores).
  - Medición multisesión: un mínimo de dos receptores permanecen fijos entre dos sesiones GPS contiguas.
  - Se rechaza los métodos de medición en forma de radiación o doble radiación.
  - Se utilizaron receptores geodésicos doble frecuencia – código P de altas prestaciones.
- La Red Geodésica de control se extiende a lo largo de 25 Km entre las progresivas 87 a 112. Las distancias entre los mojones inmediatos oscilan entre 50 metros y 8,7 Km.
- Los tiempos de medición de cada sesión se planificaron entre 1 hora y media hasta 3 horas de acuerdo con la geometría satelital disponible y condiciones operativas.
- Se empleó un intervalo de medición de 10 segundos y máscara de elevación de 10 grados compatible con la capacidad de almacenamiento de los receptores empleados.
- El marco de referencia utilizado es Posgar94. La Red al vértice 02-099 (S099) de la Sub-Red Geodésica Minera Pasma de la Provincia de Salta.

## **Campañas realizadas**

La siguiente tabla describe las mediciones de la Red de Control, cuyos resultados se utilizaron para el cálculo y seguimiento de los movimientos en la Red de Control del Gasoducto Norandino.

<b>N°</b>	<b>Empresa</b>	<b>Fecha media</b>
1	I.F.T.A. S.A.	13 de Abril de 2003
2	I.F.T.A. S.A.	10 de Julio de 2003
3	Conta S.A.	25 de Enero de 2004
4	Geosystems S.A.	20 de Febrero de 2004
5	Conta S.A.	23 de Febrero de 2004
6	Conta S.A.	12 de Marzo de 2004
7	Conta S.A.	27 de Marzo de 2004
8	Conta S.A.	17 de Abril de 2004
9	Conta S.A.	28 de Abril de 2004
10	Geosystems S.A.	11 de Agosto de 2004
11	Geosystems S.A.	04 de Noviembre de 2004
12	Geosystems S.A.	17 de Enero de 2005
13	Geosystems S.A.	19 de Febrero de 2005
14	Geosystems S.A.	16 de Marzo de 2005
15	Geosystems S.A.	21 de Abril de 2005
16	Geosystems S.A.	08 de Junio de 2005
17	Geosystems S.A.	30 de Noviembre de 2005



18	Geosystems S.A.	10 de Enero de 2006
19	Geosystems S.A.	07 de Febrero de 2006
20	Geosystems S.A.	29 de Marzo de 2006
21	Geosystems S.A.	25 de Abril de 2006
22	Geosystems S.A.	22 de Junio de 2006
23	Geosystems S.A.	25 de Octubre de 2006
24	Geosystems S.A.	16 de Enero de 2007
25	Geosystems S.A.	21 de Febrero de 2007
26	Geosystems S.A.	21 de Marzo de 2007
27	Geosystems S.A.	02 de Mayo de 2007

El autor de la presente tesina se desempeñó como jefe de campo y autor de todos los cálculos e informes técnicos de todas las campañas realizadas por el Instituto Foto Topográfico Argentino S.A. (I.F.T.A. S.A) y Geosystems S.A hasta Mayo de 2007, con la sola excepción de la campaña de Abril de 2005.

Los resultados presentados por la empresa CONTA S.A. fueron integrados a los informes presentados de Agosto de 2004 con el objeto de mantener el seguimiento y continuidad histórica de las observaciones.

## **Dificultades operativas**

Las dificultades que plantea la realización del trabajo en el gasoducto Norandino entre las progresivas 87 a 113, no se encuentran en lo específico de la medición.

Medir con GPS es cómodo, automático y preciso. La dificultad se plantea en llegar a los puntos. En el caso del presente trabajo, la mayoría se encuentra al lado del camino, por lo que el lector podría imaginar que el trabajo es de una simpleza absoluta.

Nada más lejos de la realidad. La cordillera del Zenta y el clima de la yunga salteña plantean dificultades extraordinarias que no pueden ser abordadas sin una cuidadosa planificación.

Los ríos se desbordan y se vuelven intransitables por días, los caminos se impregnan tanto de agua y lodo que hasta la maquinaria pesada provista de orugas puede enterrarse. Existen cuevas tan empinadas que ponen los vehículos en un esfuerzo considerable para subir. El barro, la niebla espesa, la lluvia, la nieve, las rocas, los derrumbes, los vientos, el frío ponen permanentes desafíos y dificultades a la tarea. Los ríos se vuelven extremadamente correntosos y llenan de piedras los cruces, las cuales quedan sumergidas y suelen dañar los vehículos. Los caminos se vuelven resbaladizos e intransitables.

En determinadas condiciones operativas acontecidas durante los veranos de 2004 y 2006, gran cantidad de vehículos y maquinaria pesada fue dañada por las condiciones.

Por estas razones es menester poner el énfasis no solo en la seguridad y el equipamiento sino también en el valor del grupo humano que hace la tarea y en el conocimiento y la experiencia para abordar tales desafíos.

Desde este punto de vista, el trabajo aquí presentado contiene múltiples enseñanzas que no están en el centro de lo que se quiere transmitir pero que no son menos importantes.

Algunas de ellas se encuentran contenidas en los manuales de seguridad: la importancia del manejo defensivo, el conocimiento de primeros auxilios, el apego a las normas de trabajo, etc.

Sin embargo aquí se desea rescatar algunos otros aprendizajes que se hizo en esta tarea:

- Priorizar y planificar realizar la tarea principal y no pretender hacer "lo máximo". No ser obsesivo de la tarea.
- No insistir en realizar tareas peligrosas sin tomar medidas de resguardo. Tener presente la posibilidad de "la sorpresa" de lo inesperado y repentino que no tiene vuelta atrás.
- No creer jamás que a alguien no le puede pasar nada porque siempre trabaja bien y se destaca. Valorar la influencia de los preconceptos y los prejuicios en la generación de los accidentes de trabajo.
- Recordar que los accidentes a veces se construyen mediante una suma de una gran cantidad de pequeños acontecimientos que se van encadenando sutilmente y silenciosamente para expresarse todos juntos en una desgracia.
- Alentar un clima de trabajo entre compañeros que afrontan una tarea. Valorar la participación de todos en la solución de los problemas. Construir alegría.
- Respetarse a uno mismo de trabajar en condiciones de dignidad, respeto del contrato de trabajo, respeto de las normas de seguridad, entrenamiento para la tarea, capacitación, remuneración digna, rechazo del trabajo en negro, falta de protección social, ART, seguros, equipamiento de trabajo (borceguíes, abrigo, etc.).
- Defender con fuerza las mismas condiciones de trabajo digno para las personas que están a cargo de uno.
- Cuando se trabaja en una empresa con una cultura de irrespeto a estos valores mejor pensar en emigrar. Recordar que el universo es grande y no existe un único lugar donde desempeñarse

Debo decir que algunas de estos valores solo los aprendí a los golpes.

## **Recursos Empleados**

### **Equipamiento utilizado**

#### **Receptores GPS**

Se utilizaron de 5 a 9 receptores GPS de tipo geodésico marca Topcon modelo GPR1Dy. Estos receptores poseen capacidad de recibir la señal GPS en doble frecuencia y realizar mediciones del código P en ambas frecuencias, utilizando la tecnología Z-tracking para recuperar el mismo en condiciones de Anti-Spoofing (encriptación del código P).

#### **Antenas GPS**

Las antenas GPS utilizadas son de tipo geodésico doble frecuencia dotadas con plano de tierra y radios de antena 0.1737 m (6 antenas).

Estas son conocidas como Ashtech L1/L2 "Whooper" Antenna (ASH700718.B).

El desplazamiento del centro de fase de estas antenas puede hallarse en la página Web del National Geodetic Survey, GPS Antenna Calibration:

<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/index.shtml>

#### **Estaciones Totales**

A lo largo de diferentes campañas fue inevitable utilizar diferente instrumental.

Las estaciones totales utilizadas fueron alternativamente:

1. Para la medición de los extensómetros se utilizó una Estación Total marca Topcon modelo ITS-1 de 1" de precisión.
2. Estación Total marca Topcon modelo GPT7000-W de 7" de precisión y lectura directa de 5".
3. Estación Total marca Topcon modelo GTS303 de 5" de precisión.

#### **Instrumental Auxiliar**

El instrumental involucrado para esta campaña fue el siguiente:

- 2 navegadores satelitales marca GARMIN, modelo E-TREX
- 1 cinta métrica de PVC de 50mts.
- 3 trípodes
- 7 adaptadores de rosca 5/8" a 30 mm.
- Baterías, cargadores, testers, palas, cintas métricas, jalones roscados y demás elementos auxiliares.
- Brújulas y clinómetros
- 1 cámara digital

- 3 radios VHF marca Motorola tipo handy programadas con las frecuencias del gasoducto Norandino
- 1 Notebook y backup.

### **Vehículos**

Para todas las campañas se emplearon dos vehículos tipo pickup 4 X 4, doble cabina, equipadas con radios VHF programadas en las frecuencias utilizadas por el Gasoducto Norandino.

### **Elementos de seguridad**

Se concurrió con todos los elementos de seguridad requeridos por TGN para realizar la tarea en este ámbito. Entre ellos: teléfono satelital, celulares, handys y radios en los vehículos programados en las frecuencias del gasoducto, cascos, guantes, anteojos de seguridad, botiquines de primeros auxilios, mochilas de oxígeno, eslinga, bolsas de residuos, etc.

### **Repetitividad**

No se repitieron sesiones.

### **Obstrucciones**

Las obstrucciones son relevantes en los vértices M007 y M008. Estos mojones se encuentran emplazados sobre una ladera cubierta de vegetación.

El vértice M027 posee una importante obstrucción al Este originada por la ladera de la montaña que alcanza 50 grados de altura.

El inclinómetro M036 de Cuesta Chica se encuentra en una zona rodeada de árboles. Sin embargo, la mayor parte de las obstrucciones se orienta al Sur con lo que su impacto se ve disminuido.

Los extensómetros M003 y M004, se encuentran situados sobre una pared de roca que genera una obstrucción al Este que alcanza hasta 70 grados de altura. Los extensómetros fueron medidos con estación total. Estos extensómetros poseen a muy poca distancia los inclinómetros M039 y M040.

Los bulones empotrados en los pilares del puente del Río Volcán sufren de la interferencia originada por el alambrado olímpico que delimita ese recinto.

### **Excentricidades**

No se realizaron mediciones excéntricas.

### **Alturas de Antena**

La referencia altimétrica de los monolitos, inclinómetros y bulones empotrados es la base metálica del tornillo implantado en el mojón.

Las alturas de antenas son medidas desde el punto ARP (Antenna Reference Point) de la antena hasta la referencia indicada en el párrafo anterior. Este punto ARP se encuentra en la base inferior de la antena. Para referir la

altura de antena del centro de fase L1 a la marca geodésica, se adiciona 0.0636 metros al valor de la altura medida hasta el punto ARP.

En los inclinómetros 14, 19 y 23 se debió agregar un suplemento al adaptador para elevar la antena por encima de la tapa de los pozos que estos mojones contienen. En todos los casos los procedimientos para medir la altura de antena fueron los mismos.

Los archivos de medición producidos, tanto en formato propietario como formato Rinex, y en la base de datos al final del presente informe comunican la altura de antena referida al punto ARP.

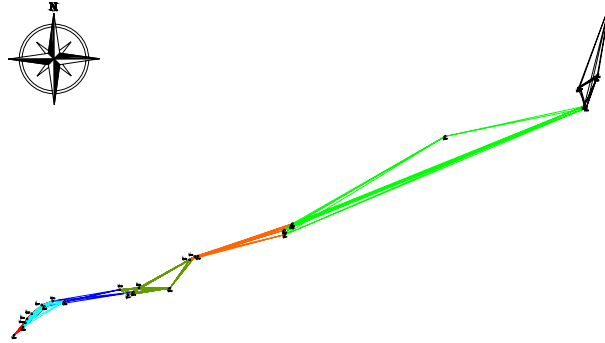
### **Inclinómetro M023**



## Diagrama de sesiones GPS

El siguiente diagrama representa en diferentes colores las sesiones GPS de la Red de Control. Se aprecia su naturaleza lineal por cuanto los vértices acompañan al gasoducto. Esta condición es relevante en la acumulación de los errores.

### GASODUCTO NORANDINO DIAGRAMA DE SESIONES GPS



En el diagrama se aprecia que la Red es cubierta en aproximadamente 7 sesiones GPS medidas con 7 receptores.

Para cubrir 36 vértices (excluimos aquí 3 extensómetros que se miden con estación total y 2 vértices destruidos), puesto que dos receptores son comunes a la sesión anterior, se avanza 5 vértices por sesión. En 6 sesiones se miden un total de 30 vértices, más 7 vértices que se miden en la primera sesión.

En cambio, si se realiza el trabajo con 5 receptores se requieren realizar 12 sesiones GPS.

## **Tareas de Gabinete**

### **Tolerancia**

La tolerancia establecida para este trabajo es de 2 cm en planimetría y en altura respecto de las referencias utilizadas para estimar movimientos.

### **Marco de Referencia**

Se calcularon coordenadas en el marco de referencia Posgar 94.

### **Cálculo GPS**

Inicialmente los cálculos fueron realizados con dos softwares de cálculo GPS diferentes y en forma conjunta con el objeto de controlar los resultados.

Estos softwares son:

1. El software GPPS (Geodetic Post Processing Software) de la firma ASHTECH.
2. El software GPSurvey v2.35 de la firma Trimble.

Los resultados publicados fueron aquellos suministrados por el software GPPS ya que los mismos proveían un acuerdo planimétrico ligeramente superior. Cabe mencionar también, que el software GPSurvey pareció evidenciar menores efectos sistemáticos en altura debido a que agrega una incógnita de retardo troposférico en su modelo matemático.

No obstante, al no ser nulos los efectos sistemáticos en altura y al ser removidos los mismos con la estrategia adoptada, en todas las mediciones se adoptó los resultados producidos por el GPPS como los definitivos de cada campaña.

### **Cálculo de los vectores**

Se calcularon los vectores GPS en la modalidad de "todos contra todos". Esto implica no seleccionar un conjunto independiente de vectores sino calcular todos los vectores que pueden formarse a través de combinar los vértices de cada sesión de a pares.

Se realizaron dos cálculos. El primero de ellos en la opción de cálculo denominada Widelane y el segundo en la opción de simple frecuencia (L1). Estas opciones proveen soluciones con ambigüedades fijas en la combinación libre de ionósfera y L1 respectivamente.

En todos los vectores calculados se obtuvieron soluciones de ambigüedades fijas y alto contraste. Los errores formales de las soluciones obtenidas son de muy pocos centímetros (<2cm) o milimétricos.

Los controles de procesamiento utilizados fueron los automáticos que el software sugiere.

En todos los cálculos se utilizaron coordenadas precisas de arranque derivadas de la vinculación al vértice PASMA S099 que se realizó en las primeras mediciones.

Todas las soluciones de los vectores GPS fueron inspeccionadas. Los residuos de todas las soluciones fueron explorados. No se encontraron saltos de ciclos no corregidos.

Tras cada sesión calculada se realizó un ajuste de cada sesión. Estos ajustes permiten verificar el cierre matemático de los vectores entre sí, ya que como se calcularon todos los vectores, unos son combinaciones matemáticas de otros. Esto permite detectar vectores discordantes y cuando fueron hallados se recalcularon.

Para dar coordenadas finales a la Red, se empleó una metodología de ajustes parciales por grupos que combina las soluciones libres del efecto ionosférico y las soluciones L1 para brindar coordenadas precisas y libres de errores sistemáticos.

### **Ajuste de los vectores**

El ajuste de los vectores GPS se realizó con el software comercial FILLNET versión 3.1 de la firma Ashtech.

Todos los vectores calculados y aceptados se introdujeron en un ajuste, donde la coordenada del vértice M001 de la Red de Control correspondiente a la primera medición fue introducida en forma fija (dato).

Se analizaron los residuos y residuos estandarizados. Cuando se encontró residuos por encima de la tolerancia de 2 cm se eliminaron los vectores.

Se elaboró una tabla en cada informe técnico presentando los resultados más significativos del ajuste:

<b>Estadística del ajuste multisesión L1 (Mayo2007)</b>	
Indicador	Valor
Error cuadrático medio de la unidad de peso	0.354
Valor máximo del error cuadrático medio en las coordenadas ajustadas	0.005 m
Residuos de los vectores observados en la compensación:	
Valor máximo de los residuos en planimetría:	0.007 m
Valor máximo de los residuos en altimetría:	0.014 m
Residuo estandarizado máximo en planimetría:	1,1
Residuo estandarizado máximo en altimetría:	1,3

### **Transformación de coordenadas**

Las coordenadas geográficas finales resultantes de los ajustes finales fueron transformadas a coordenadas planas en la proyección Gauss Krüger correspondiente a la faja 3 la cual corresponde de acuerdo a la longitud geodésica del área de trabajo. Así mismo, las coordenadas UTM se calcularon en la zona 20 Sur.

La transformación de coordenadas se realizó con el programa GEOCALC versión 3.05 de la firma Blue Marble Geographics.



### **Cotas Ortométricas**

Se calcularon cotas ortométricas de los vértices de la Red de Control, con el mismo modelo de geode empleado en las mediciones anteriores.

Este modelo es el adoptado para el gasoducto Norandino en el trabajo de "Inspección Geométrica y Georreferenciamiento (IMU) en Gasoducto Norandino Tramos 501, 502 y 503" (diciembre de 2002) donde se relevaron Placas Metálicas, Mojones y Válvulas del gasoducto.

Este criterio se basa en la aplicación del modelo EGM96 con el agregado de una constante de corrección.

En aquel trabajo, la corrección fue calculada con el objeto de llevar las cotas resultantes de la aplicación del modelo al mismo nivel de referencia en que se encuentran los puntos altimétricos del IGM. La calibración de la constante se obtuvo a través de la vinculación de aquella Red a 4 puntos altimétricos, los cuales se encuentran dos en Humahuaca (PF37N14 y PF39N14) y dos en Saucelito y Pichanal (PF6N314 y Nodal 229).

Cabe mencionar que las cotas oficiales de los puntos de la línea N314 poseían el carácter de "provisorias" al año 2002.

Como resultante de aquel trabajo, la corrección constante fue estimada en 1.72 metros aditivo a la altura geoidal obtenida del modelo EGM96.

Sin embargo, para la Red Geodésica de Puntos de Control, se debe tomar en cuenta la diferencia en la referencia de las alturas elipsoidales GPS entre esta y la Red de Apoyo a la medición de Placas Metálicas, Válvulas y Mojones de noviembre de 2002.

En efecto, la Red Geodésica de Puntos de Control se encuentra vinculada al punto P.A.S.M.A 02-099 (S099). Esto implica que todas las alturas elipsoidales se encuentran referidas al nivel que materializa la altura elipsoidal oficial de dicho punto (1734.638 m).

En cambio, en la compensación de la Red de Apoyo a la medición de Placas Metálicas, Válvulas y Mojones de noviembre de 2002, la altura elipsoidal de dicho punto fue introducida en forma pesada y sufrió un cambio de 4 cm. (1734.598 m).

Luego, la corrección necesaria para referir las cotas ortométricas de la Red Geodésica de Puntos de Control al mismo nivel de las Placas Metálicas del Gasoducto es de  $1.72 \text{ m} + 0.04 \text{ m} = 1.76 \text{ m}$ .

Luego para todos los vértices de la Red Geodésica de Puntos de Control, se calcularon cotas ortométricas mediante la aplicación del modelo EGM96 más una corrección constante de 1.76 metros aditiva a las alturas geoidales.

### **Medición Clásica de los Extensómetros**

En la progresiva 90.5 del gasoducto, en el lugar conocido como "Mal Paso" se encuentran ubicados los extensómetros 1 (M004), 2 (M003) y 3 (M041). Los dos primeros extensómetros se encuentran separados una distancia aproximada de 100 metros entre sí, mediando un derrumbe de la ladera. Esto los hace no intervisibles.

El extensómetro 3 (M041) se encuentra a unos 37 metros del extensómetro 1 (M004) en la dirección del flujo de gas.

**Vista del derrumbe de Mal Paso – Ubicación de los extensómetros desde los monolitos M007 y M008**



Los extensómetros fueron medidos con estación total en forma separada.

La puesta en estación del instrumento se realizó en lugares escogidos a 10 metros de cada extensómetro donde se dispone de buena visibilidad a los monolitos de referencia. Desde allí se visualizan cuatro monolitos simultáneamente para cada extensómetro.

Desde el punto estación X001 escogido para medir el extensómetro 1 (E001) (ver figura mas abajo) se visualizan los mojones M005, M006, M007 y M008.

Desde la ubicación de la estación total X002 escogida para medir el extensómetro 2 (E002) se visualizan los mojones M001, M002, M007 y M008.

Desde la ubicación de la estación total X003 escogida para medir el extensómetro 3 (E003) se visualizan los mojones M005, M006, M007 y M008.

**Visión de los monolitos M008 y M009 desde los extensómetros**



### **Configuración de los mojones**

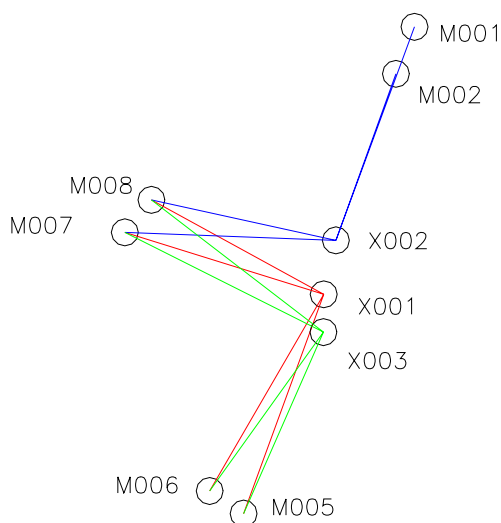
El siguiente diagrama muestra la ubicación relativa de los mojones y los sitios X001, X002 y X003 de emplazamiento de la estación total. Los extensómetros EXT1, EXT2 y EXT3 se encuentran a 10 metros de ese lugar y se grafican fuera de escala.

Como se puede apreciar, los monolitos M001, M002, M005, M006, M007 y M008 se presentan agrupados de a pares.

Así mismo, el derrumbe de la ladera del cerro comprendida entre los dos extensómetros impide la visualización de los mojones ubicados al otro lado.

Luego, en color rojo se visualizan los "tiros" de estación total a los monolitos de los que se tiene visibilidad para la medición del extensómetro 1. De la misma forma, se grafican, en azul, los tiros de medición para el extensómetro 2 y en verde los del extensómetro 3.

### Configuración de los mojones y extensómetros en "Mal Paso"



Como se puede apreciar en el diagrama, cada par de mojones subtende un ángulo muy pequeño visto desde el lugar de medición. En particular, los mojones M001 y M002 están prácticamente alineados desde la posición de la estación total en X002.

Luego la posición de la estación total puede ser determinada por medio del método de intersección inversa (de ángulos y/o distancias) y luego se puede medir la posición del extensómetro.

Esta configuración no es apropiada para emplear el método de intersección inversa de ángulos (Pothénot), siendo más conveniente emplear la intersección inversa de distancias.

La habilidad de obtener resultados precisos con Estación Total bajo la configuración de monolitos intervisibles disponible desde cada uno de los extensómetros fue demostrada para los extensómetros 1 y 2 en una simulación numérica que demostró que el método de intersección inversa de distancias es numéricamente estable para producir resultados en tolerancia de los extensómetros asumiendo errores usuales en la medición con esta clase de instrumentos.

#### **Simulación numérica**

Inicialmente para el cálculo de la posición de la estación total se exploraron ambos métodos de intersección inversa de ángulos y distancias.

Estos cálculos fueron realizados con sendos programas por mínimos cuadrados realizados por el autor de esta tesina.

A fin de verificar el impacto de la geometría de los monolitos y los errores en las coordenadas de los monolitos sobre la solución de coordenadas de la estación total se realizó la siguiente experiencia.

Para cada uno de los métodos de intersección inversa, es decir, de ángulos y distancias, se realizaron 1000 soluciones de la posición planimétrica de la estación total. En cada experiencia, se aplicaron a las coordenadas de cada

uno de los 4 mojones un error calculado al azar comprendido de  $\pm 1$  cm, sobre las coordenadas planas locales de cada uno de los monolitos lo que representa un error aceptable que pueden tener dichas coordenadas. Así mismo, las observaciones fueron también contaminadas con errores aceptables escogidos al azar en cada caso:  $\pm 5$  mm en distancia y hasta  $\pm 5''$  en las direcciones angulares.

De este modo, las diferentes soluciones muestran como varía la solución de la posición de la estación total (y por lo tanto de los extensómetros) debido al impacto de los errores aceptables que podrían tener las coordenadas de los monolitos.

#### Propagación de errores en las soluciones de intersección inversa

ID	Ángulos		Distancias	
	DX	DY	DX	DY
Extensometro1	0.387 m	0.191 m	0.026 m	0.027 m
Extensometro2	>14 m	0.529 m	0.031 m	0.027 m

Como puede verse de la tabla, el método de intersección inversas de ángulos es completamente inestable dada la mala geometría de los mojones. Esto se hace "extremo" en el caso del extensómetro 2 debido a la casi completa alineación de los mojones M001 y M002.

En cambio, el cálculo de la posición de la estación total por intersección inversa de distancias si todos los mojones poseen sus coordenadas erradas en 1 cm y observaciones erradas 5 mm en distancia y  $5''$  en dirección angular, produce una variación máxima sobre las coordenadas de la estación total (y por ende del extensómetro ubicado a solo 10 m) menos de 3,1 cm en cada componente.

Luego, el Pothenot fue desechado y la posición de la estación total fue calculada utilizando las distancias.

En estos cálculos se aplicaron las correcciones meteorológicas y por refracción y curvatura terrestre correspondientes.

#### Mediciones realizadas

Los prismas fueron atornillados a las roscas de los monolitos utilizando para ello los mismos adaptadores empleados para la puesta en estación de las alturas GPS. En el caso de los extensómetros 1 y 2, se utilizó un adaptador tipo bayoneta para perno de encastre de señal de puntería. El extensómetro 3 posee una rosca de 30 mm situada en la parte superior del recinto.

Las alturas de los prismas fueron tomadas respecto de la base del tornillo. En esa misma referencia se calcularon sus coordenadas GPS. En el caso de los extensómetros 1 y 2, la altura del prisma fue tomada respecto de la base metálica horizontal donde se asienta el perno de encastre. El extensómetro 3 fue medido en el tornillo adosado a la parte superior del recinto.

La referencia de la altura del extensómetro 3 lo constituye la base de la rosca metálica.

Se tomaron lecturas en ambos círculos, como así también observaciones meteorológicas de temperatura y presión.

Los prismas fueron enroscados a los soportes correspondientes del lado donde la corrección en distancia es nula.

### **Calculo de la Posición de la Estación Total.**

Las alturas elipsoidales de los monolitos fueron convertidas a ortométricas aplicando el modelo de geoide adoptado para el gasoducto Norandino. Esto es la aplicación del modelo EGM96 con la aplicación de una corrección constante y aditiva al valor de N de 1.76 metros.

El cálculo de la posición de la Estación Total se llevó a cabo con un software propio especialmente diseñado que calcula la intersección inversa de distancias por el método de mínimos cuadrados.

Para ello, debe ingresarse una posición aproximada de la Estación Total que puede ser estimada simplemente con ayuda de un navegador GPS. La solución del cálculo es la corrección a la posición aproximada de la Estación Total.

Luego el método se itera hasta lograr la convergencia. Esto significa que al final del cálculo el valor de la corrección a la posición de la Estación Total es nulo. En este caso, la posición inicial es la solución.

### **Calculo de los extensómetros**

El cálculo de los extensómetros se realizó tomando como acimut cada uno de los monolitos intervisibles a cada extensómetro. Luego se calculó la posición de los extensómetros como un promedio de las soluciones individuales obtenidas desde cada mojón.

La altura del extensómetro se obtiene como un promedio de las obtenidas desde cada mojón.

Las correcciones meteorológicas fueron aplicadas en todos los cálculos.

### **Coordenadas de los monolitos para el cálculo de los extensómetros**

Los extensómetros son calculados a partir de las coordenadas de los monolitos.

Las coordenadas utilizadas de estos monolitos corresponden a las resultantes del cálculo de las mediciones GPS de los mismos **en la misma época o campaña de medición**. Es decir, las coordenadas de los extensómetros en Mayo de 2007 fueron calculadas utilizando las coordenadas de los monolitos resultantes de las mediciones de Mayo de 2007.

Esta metodología tiene pro y contra. La razón fundamental por la cual se procede de esta manera desde las primeras mediciones es que de esta manera se toma en cuenta cualquier posible movimiento que pudieran tener algunos de los monolitos de referencia. La segunda razón es que de esta manera, las coordenadas de los extensómetros poseen los mismos sesgos

que las coordenadas de los monolitos, lo que habilita su inclusión en el mismo procedimiento para calcular movimientos que se aplica a los monolitos.

Un aspecto desventajoso de esta metodología es que los errores casuales de cada medición se propagan a la solución de los extensómetros. Esto podría ser evitable si se asumen coordenadas fijas (o medias) para los mismos, ya que existen elementos suficientes para asegurar que no existen movimientos de los mismos.

Sin embargo, en el Informe correspondiente a la medición de Febrero de 2005 se mostró que la adopción de coordenadas medias conduce a resultados equivalentes que difieren en muy pocos milímetros de los así calculados.

## Planteo del Problema

En julio de 2003, en la segunda campaña se dispuso por primera vez de dos conjuntos de coordenadas relacionadas a épocas distintas que permitieron por diferencia obtener la primera estimación de movimientos.

Como índice temporal se utilizó el día juliano y el año, aunque por simplicidad muchos intervalos de tiempos fueron computados utilizando la fecha juliana modificada (MJD).

La primera medición realizada del 8 al 17 de abril de 2003, tiene una época media correspondiente al día juliano 103. La segunda medición realizada del 9 al 12 de julio de 2003 posee una época media correspondiente al día juliano 191.5. Luego las diferencias se expresan en épocas 191.5 – 103.0.

### Red de Control Diferencias de coordenadas absolutas

10Jul2003 vs. 13/Abr/2003			
ID	DX	DY	DHelips
	[m]	[m]	[m]
M001	-0.001	0.001	-0.003
M002	-0.005	-0.014	0.006
M005	0.002	-0.002	0.008
M006	-0.012	0.002	0.008
M007	-0.004	-0.003	0.008
M008	-0.013	-0.002	-0.024
M009	-0.010	0.000	0.043
M010	-0.003	0.006	0.034
M011	-0.002	0.007	0.036
M012	-0.001	0.010	0.041
M013	-0.004	-0.009	0.053
M014	0.036	0.005	0.062
M015	0.007	-0.004	0.059
M016	-0.011	0.001	0.066
M017	-0.002	-0.002	0.048
M018	0.002	-0.001	0.059
M019	-0.025	-0.001	0.079

M020	0.008	0.004	0.095
M021	0.016	0.009	0.082
M022	0.035	0.009	0.079
M023	0.037	-0.004	0.083
M024	0.008	0.001	0.089
M025	0.005	-0.003	0.098
M026	0.003	0.002	0.096

Como puede verse en la tabla, existe un incremento de las diferencias en altura desde el M001 al M026 hasta alcanzar casi 10 cm. Esta variación es coincidente y proporcional al incremento de la altura elipsoidal de los mojones que en el M001 es de 1855 m y en el M026 alcanza a 4011 metros.

En rojo además, se visualizan las diferencias que superan en planimetría mas de 2 cm.

### Diferencias en altura

Las diferencias en altura fueron investigadas exhaustivamente. Para ello, se tomaron algunos vectores con importantes diferencias en alturas y fueron procesados con distintos software de procesamiento GPS. Entre ellos se utilizaron GPSurvey, WinPrism, PNAV e incluso se realizó un cálculo íntegro de la Red de Control, (segunda medición) con el software científico GEONAP –S de la Universidad de Hannover. Los resultados en todos los casos fueron confirmatorios de estas diferencias.

Sin embargo, estas diferencias no representan un efecto real de deformación de la corteza terrestre sino que están originadas en una deficiencia de los modelos troposféricos conocidos que incorporan los software GPS. Las variaciones observadas en las siguientes campañas fueron confirmatorias.

Esta tesis está apoyada en los siguientes elementos:

1. Las variaciones se expresan solo en la componente de altura y no existe ningún efecto visible en planimetría.
2. El efecto es directamente proporcional al incremento de la altura elipsoidal.
3. La magnitud de las diferencias, alcanzan 10 cm en un período muy exiguo (alrededor de 90 días), lo que sin elementos adicionales no resulta plausible asumir que se trata de una deformación de la corteza.
4. Existen antecedentes en la práctica profesional con GPS donde vértices con grandes diferencias de altura introducen errores diferenciales en la componente vertical de los vectores GPS. Luego, las diferencias podrían representar un efecto residual proveniente de cambios estacionales en la troposfera.

La siguiente tabla a continuación muestra las diferencias absolutas de la campaña de Febrero de 2004 respecto de la medición de julio de 2003.

---

### Diferencias absolutas

---



<b>20Feb2004 vs. 13Abr2003</b>			
<b>ID</b>	<b>DX [m]</b>	<b>DY [m]</b>	<b>DHelips [m]</b>
M001	0.002	0.011	-0.012
M002	0.000	-0.010	0.004
M005	0.007	0.007	0.001
M006	-0.005	0.004	-0.024
M007	0.002	0.002	-0.007
M008	-0.003	0.000	-0.031
M009	0.000	0.019	0.039
M010	-0.008	0.027	0.026
M011	0.000	0.031	0.027
M012	-0.001	0.017	0.031
M013	0.008	0.004	-0.015
M014	0.042	0.001	-0.010
M015	0.028	0.015	-0.031
M016	0.003	0.018	-0.057
M017	0.010	0.009	-0.053
M018	0.018	0.023	-0.074
M019	-0.072	0.047	-0.134
M020	0.007	0.021	-0.096
M021	0.009	0.032	-0.103
M022	0.054	0.001	-0.142
M023	0.097	-0.023	-0.171
M024	0.005	0.018	-0.109
M025	0.005	0.012	-0.109
M026	0.009	0.024	-0.105

En la siguiente tabla se muestra las diferencias absolutas y variación de alturas de la medición de Agosto de 2004 con respecto a Abril de 2003.

<b>Diferencias absolutas</b>			
<b>11-Ago-04 (GPPS) vs. 13-Abr-03 (GPPS)</b>			
<b>ID</b>	<b>DX</b>	<b>DY</b>	<b>DHelips</b>
<b>M001</b>	0.007	0.002	0.003
<b>M002</b>	0.009	-0.010	0.005
<b>M005</b>	0.001	0.003	0.012
<b>M006</b>	-0.007	-0.012	-0.016
<b>M007</b>	-0.003	-0.002	0.007
<b>M008</b>	0.016	-0.007	-0.025
<b>M009</b>	-0.019	0.019	0.068
<b>M010</b>	-0.024	0.009	0.065
<b>M011</b>	-0.019	0.026	0.061
<b>M012</b>	-0.019	0.007	0.070
<b>M013</b>	-0.021	0.002	0.048
<b>M014</b>	0.043	-0.015	0.028
<b>M015</b>	0.039	0.022	0.008
<b>M016</b>	-0.008	0.006	0.029

M017	-0.016	0.006	0.025
M018	0.008	0.008	0.019
M019	-0.156	0.033	-0.082
M020	-0.005	0.004	0.023
M021	-0.003	0.011	0.013
M022	0.081	-0.049	-0.082
M023	0.166	-0.104	-0.120
M024	-0.006	0.003	0.012
M025	0.002	0.007	0.020
M026	-0.008	0.006	0.019

## Incidencia de los errores Troposféricos sobre los resultados GPS

La aparición de errores troposféricos residuales en las coordenadas obtenidas con GPS en mediciones donde existe una gran variación de altura en los mojones se encuentra documentada en la literatura científica.

Por ejemplo, en el paper "MITIGATING DIFFERENTIAL TROPOSPHERE EFFECTS FOR GPS-BASED VOLCANO MONITORING" , Craig Roberts and Chris Rizo, Satellite Navigation & Positioning Group, School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales que puede ser encontrado en el sitio de Internet:

[http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/roberts\\_etal2001a.pdf](http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/roberts_etal2001a.pdf)

En este paper se afirma:

*"Tropospheric delay on the GPS signals is identified as a significant error source in regional volcanic environments by virtue of the large change in height between a stable base station receiver and monitoring receiver(s) situated in the zone of deformation. Gurtner et al. (1989) state that tropospheric modelling is only valid for a flat earth. A large height difference for the baseline points can introduce a bias of the order of **2–5mm per 100m height difference**. This atmosphere-induced error in the vertical component far exceeds the inherent geometric weakness of GPS (Yunck, 1993). The assumption that tropospheric effects for short baselines can be ignored is no longer valid in such cases. This is due mainly to daily variations of temperature and humidity causing the tropospheric effects derived from standard models such as the Saastamoinen, Hopfield, Black, etc., to be in error, particularly with regard to the heights of points (Rührn)bl et al., 1998). "*

*"Time series data from the Southern Alpine Geodetic Network (SAGE) in New Zealand **indicates a variation of up to 20cm** in the height component even after tropospheric modelling... This is clearly not due to the stations moving due to some geological deformation. Despite standard troposphere models using global atmospheric constants, which may not be relevant to the local environment, the introduction of local meteorological measures does not enhance the height repeatabilities...."*

(Aclaración: La letra negrita no figura en el original).

Como puede verse las diferencias reportadas por errores de origen troposférico y asociadas a las grandes diferencias de altura se encuentran en un orden similar aunque ligeramente inferior (hasta 10 cm en 2000 metros) que las halladas en la Red de Control.

Nótese que la Red de Control varía su altura desde los 1830 metros hasta los 4010 metros, es decir, un poco más de 2000 metros.

Debe destacarse que los cálculos efectuados en el trabajo de la referencia fueron realizados con el Bernese Software. Este es un software científico de desarrollado por investigadores de la Universidad de Berna, Suiza cuyos modelos matemáticos son sustancialmente más refinados que los disponibles en un software comercial GPS. También puede decirse que el Bernese es tal vez el software mas avanzado que existe en el mundo.

### **Incidencia del Error Ionosférico en los resultados GPS**

El error de origen ionosférico afecta las soluciones originadas en mediciones de receptores simple frecuencia.

Los cálculos realizados fueron basados en mediciones realizadas con receptores doble frecuencia y sus cálculos corrigen este efecto.

El efecto ionosférico es un error introducido por el retardo que sufre la señal GPS al atravesar esa capa de la atmósfera. Este efecto es inversamente proporcional a la frecuencia de la señal y con la doble frecuencia el efecto puede ser removido.

Este efecto es proporcional al TEC (Contenido Electrónico Total) de la ionósfera, pero además existen variaciones bruscas y rápidas de la ionósfera que pueden incluso ocasionar que un receptor simple frecuencia pierda la captura de la señal.

El efecto de la ionosfera sobre un vector GPS consiste básicamente en una contracción proporcional de la longitud del vector, lo cual afecta fundamentalmente las coordenadas planas en los vectores de mayor longitud. Para vectores cortos, el efecto es despreciable.

Para dar un ejemplo, si se calcula el vector M006 – M012 de 8,8 Km. de longitud medido el 22 de febrero en simple y en doble frecuencia puede obtenerse una idea de la magnitud del efecto. De acuerdo con este cálculo la longitud del vector se contrae en 1,7 cm y la altura disminuye en 1 cm respecto de la solución libre de ionósfera.

Dado que la Red se encuentra vinculada al vértice Pasma S099 situado en el extremo Este de la Red y que la misma posee un despliegue lineal en dirección Oeste-Sudoeste, la contracción de los vectores por efecto ionosférico se acumula en el extremo Oeste (vértice M026) en aproximadamente 4 cm en la componente Norte y 3 cm en la componente Este cuando se compara con las mediciones de febrero y 5 cm en cada componente cuando se compara contra Abril y Julio de 2003.

## **Detección de movimientos**

### **Consideraciones preliminares**

El cálculo de los movimientos de los vértices de la Red es un aspecto del cálculo el cual debe considerarse cuidadosamente.

La primera aproximación se obtiene a partir de las diferencias absolutas entre las coordenadas de la Red en dos épocas diferentes.

Básicamente, las diferencias absolutas de coordenadas por encima de la tolerancia pueden ser interpretadas directamente como movimientos si:

1. Los cálculos son efectuados a partir de un vértice que se conoce con seguridad que se encuentra fijo (sin movimiento).
2. Las coordenadas resultantes se encuentran en tolerancia y libres de cualquier clase de efectos o errores sistemáticos.

En el caso de la Red de Control, un cálculo de movimientos basado exclusivamente en diferencias absolutas de coordenadas adolece de distintos problemas, a saber:

1. Dado que la Red posee una geometría prácticamente lineal y el punto de control S099 se encuentra en un extremo, los errores casuales y sistemáticos en el cálculo de los vectores se van acumulando progresivamente desde el vértice M001 al M026.
2. Los resultados de las mediciones muestran errores de tipo sistemático tanto en planimetría como en altura.
3. Los resultados de las mediciones realizadas muestran diferencias progresivas sistemáticas en la componente de altura cuya única explicación lo constituye como un error troposférico remanente originado en la importante variación en la altura de los vértices de la Red.
4. Las diferencias metodológicas en la medición y cálculo entre dos campañas de medición afectan los resultados introduciendo sesgos en las coordenadas.
5. Los errores varían entre época y época de medición por condiciones ambientales diferentes, geometría satelital, etc. De modo que no cancelan al realizar diferencias entre épocas distintas.

De este modo, las diferencias absolutas de coordenadas son un elemento a tomar en cuenta pero de ninguna forma pueden ser interpretadas como desplazamientos sin un análisis adecuado.

Luego, la metodología para determinar movimientos relativos pasa por eliminar los efectos sistemáticos residuales que pudieran permanecer en los datos.

### **Transformaciones de Similitud**

En términos generales, una transformación de similitud es aquella aplicable a un conjunto de coordenadas que preserva los ángulos y las distancias en la misma proporción. La más general de estas

transformaciones aplicable en geodesia, implica una traslación (3 parámetros), una rotación (3 parámetros) y un factor de escala (1 parámetro), es decir una transformación de 7 parámetros.

Estas transformaciones son ampliamente utilizadas para remover efectos sistemáticos introducidos por la metodología de medición, que se expresan en los resultados generando rotaciones, expansiones (o contracciones) y traslaciones.

Un caso particular de esta tipo de transformaciones son las transformaciones de Helmert, las cuales involucran 3 parámetros de traslación y un factor de escala y es utilizada a fin de relacionar dos marcos de referencias que se encuentran materializados por mediciones de distinta naturaleza (por ejemplo: GPS y técnicas clásicas).

En el caso de la Red de Control, dado que todas las mediciones son realizadas con GPS podría suponerse que el factor de escala permanece invariable aunque también este podría ser incorporado con el fin de remover efectos sistemáticos que pudieran permanecer en los resultados.

Sin embargo, la naturaleza lineal de la Red, la falta de un mayor conocimiento de estos efectos remanentes, y el hecho que los vértices se encuentran distribuidos por grupos localizados, nos llevó a concluir que una transformaciones de 3 parámetros puede ser la metodología apropiada para relacionar las mediciones realizadas en diferentes épocas.

### **Estrategia adoptada**

La estrategia adoptada para el cálculo de movimientos estuvo basada en las siguientes consideraciones:

- La Red de Control posee una configuración que permite dividir los monolitos en grupos.
- Cada grupo posee una extensión limitada y sus monolitos no poseen grandes variaciones de altura. De este modo, los efectos sistemáticos que los afectan son pequeños y similares entre sí.
- Estos efectos sistemáticos se expresan al primer orden como una traslación en el espacio, común a todos los integrantes de ese grupo. Luego, los efectos sistemáticos pueden ser removidos calculando la traslación apropiada.
- Luego, la traslación de los vértices de un grupo se obtiene como el resultado de una transformación de 3 parámetros que elimina cualquier efecto sistemático que pudiera existir entre dos conjuntos de coordenadas de la Red calculadas en épocas diferentes.
- Los residuos de esta transformación representan los desplazamientos individuales de cada vértice.
- Los parámetros de traslación muestran los errores sistemáticos y si existiera, un movimiento de grupo.
- En general, es esperable que no existan movimientos de grupo y que los errores sistemáticos sean pequeños y dentro de la tolerancia. Si

estos parámetros son grandes o crecen en el tiempo debe realizarse un análisis apropiado para interpretar su origen.

### **División de la Red en Grupos**

Para calcular los movimientos relativos y eliminar las traslaciones introducidas por los efectos sistemáticos residuales, se dividió la Red en grupos.

La composición en grupos se detalla a continuación:

<b>Grupo</b>	<b>Zona</b>	<b>Vértices integrantes</b>	<b>Progresiva Gasoducto</b>	<b>Observaciones</b>
1	Cuesta Chica	M036	PK87	Vértice aislado Altura: 1500m.
2	San Andrés	M001, M002, M003, M004, M005, M006, M007, M008, M009, M032, M037, M038, M039, M040, M041	PK90-91	Ubicado en los alrededores de la localidad de San Andrés Altura 1900m.
3	Río Queñoal	M027	PK97	Vértice aislado Altura: 2200m
4	Potrerillos	M009, M010, M011, M012	PK101-102	Altura: 2600m
5	Río Volcán	M033, M034	PK104	Puente colgante Río Volcán. Altura: 2700m.
6	Volcán	M013, M014, M015	PK105	Altura: 3000m
7	Bajo Zenta	M028, M029, M016, M017, M018	PK107-109	Altura: 3300 m.
8	Zenta	M031, M019, M020, M021, M022, M023, M024, M025, M026	PK110a113	Altura: 3900 m.

## **Descripción del Cálculo de movimientos**

Metodológicamente el proceso para determinar movimientos es el siguiente:

1. Un promedio de las diferencias absolutas de las coordenadas de todos los vértices de un grupo entre dos épocas distintas, suministra (bajo la hipótesis que todos están en reposo) el desplazamiento espacial promedio de este grupo respecto de otra medición. Este desplazamiento promedio está básicamente originado en la presencia de errores sistemáticos presentes en ambas mediciones. Se asume que la posición de todos los monolitos se determina con la misma precisión, lo cual es una hipótesis aceptable por el carácter homogéneo de las observaciones realizadas.
2. Una vez calculado el desplazamiento promedio de cada grupo, se elimina restando ese desplazamiento a la diferencia absoluta de coordenadas de cada vértice obteniéndose un residuo que puede ser interpretado como un error propio de la medición para ese vértice o un movimiento con respecto a la posición media de cada grupo.
3. Como no es posible asegurar que todos los monolitos están en reposo, el proceso se itera eliminando del cálculo los vértices que evidencian estar en movimiento. Esto es perceptible en principio por la presencia de residuos con magnitud mayor a la tolerancia y por los gráficos de desplazamiento.

Es decir, los parámetros de traslación eliminan la traslación debido a errores sistemáticos en la medición. Estos se estiman tomando en cuenta todos los vértices que no poseen movimientos "evidentes", es decir, que no poseen residuos mayores a la tolerancia y que no permiten observar una dirección privilegiada de desplazamiento.

Los parámetros de traslación pueden ser interpretados como efectos sistemáticos residuales o bien como movimientos del grupo completo, por lo cual deben ser mirados con atención.

### **Vértices aislados - Monolito M027**

Los vértices aislados suponen un problema diferente puesto que no poseen referencias cercanas desde el cual ser medidos. Este es el caso del monolito M036 y M027.

El monolito M027 se encuentra separado a una distancia de alrededor de 4 Km. de los monolitos mas cercanos. Se encuentra situado en las cercanías del Río Chinchuleo aproximadamente en el medio de la posición del grupo de Potrerillos y San Andrés.

De esta manera sus errores sistemáticos son diferentes de los que afectan al Grupo I de San Andrés y al Grupo III de Potrerillos. De este modo, los errores sistemáticos que afectan sus coordenadas no pueden obtenerse a través de un promedio de diferencias de mojones inmóviles dentro de ese grupo (ya que hay uno solo).

De este modo, dado que el monolito M027 se mide en la misma sesión que uno San Andrés con Potrerillos, los errores sistemáticos pueden ser aproximados como la mitad de los errores que afectan los monolitos de

Potreros cuando son determinados desde el M005 y M006 pertenecientes a San Andrés. El concepto detrás de este criterio es que los errores sistemáticos son proporcionales a la longitud del vector, lo cual es razonable pues se expresan como una rotación y cambio en el factor de escala del vector.

### **Inclinómetro M036.**

El inclinómetro M036 de Cuesta Chica plantea una situación también diferente. Se encuentra a 4,3 Km. del vértice de la Red mas cercano (M001) y sus efectos sistemáticos no pueden ser estimados de ninguna manera.

Existen dos maneras de calcular su movimiento. La primera consiste en calcular su posición desde un tornillo auxiliar (o dos) pegado a una roca que se fijó en una roca cercana sobre el río. En la medida que las mediciones de este tornillo auxiliar desde el M001, no muestren evidencias de movimientos, se puede asumir que el mismo se encuentra en reposo y adoptando coordenadas fijas, estimar las del M036.

Ventajas de este método consisten en el aumento de precisión porque el vector GPS al M036 se reduce a 150 metros y el punto auxiliar se encuentra en un lugar despejado libre de obstrucciones lo que permite su determinación precisa desde el M001. No ocurre así con el M036, que se encuentra en una zona obstruida por árboles.

La segunda posibilidad consiste en medir la posición desde el M001 directamente. Para ello, se calcula una solución doble frecuencia para el vector M001-AUX1 (tornillo auxiliar) y luego se estima las coordenadas del M036 a partir del vector AUX1-M036.

## **Planillas de movimientos**

Las planillas de movimiento informan los desplazamientos que sufre cada vértice respecto de una determinada época de referencia.

Siempre se calcula una planilla con el objeto de observar los cambios entre una época de medición y la anterior.

Las otras planillas se calculan tomando como referencia épocas anteriores con el objeto de visualizar desplazamientos acumulados en el tiempo.

En particular interesa la primera época en que fueron medidos los distintos vértices con el objeto de visualizar los desplazamientos acumulados (de la última medición respecto de la primera).

Para ello se considera que:

Los monolitos M001 al M026 fueron medidos por primera vez el 13 de Abril de 2003.

Los monolitos M027 al M030 fueron medidos por primera vez el 20 de Febrero de 2004.

Los monolitos M031 (luego destruido), M032, M033, M034 y M035 (luego destruidos) fueron medidos por primera vez el 10 de Enero de 2006.

Los monolitos M036 al M041 fueron medidos por primera vez en la medición de Octubre de 2006.



Luego se calculan 5 planillas respecto de cada una de las épocas de referencia:

“Calculo de Movimientos Campaña Actual vs. Inmediata anterior.xls”

“Calculo de Movimientos Campaña Actual vs. Época Inicial 1.xls”

“Calculo de Movimientos Campaña Actual vs. Época Inicial 2.xls”

“Calculo de Movimientos Campaña Actual vs. Época Inicial 3.xls”

## Resultados alcanzados para la medición de Mayo de 2007

Esta medición representa la última medición efectuada en la que el autor de esta tesina participó dirigiendo las tareas de campo y efectuando todos los cálculos e informes.

El cálculo de movimientos de los vértices de la Red de Control fue realizado con la misma metodología que se aplicó en mediciones anteriores.

### Diferencias absolutas

Como ya se dijo, las diferencias absolutas es el primer paso en el cálculo de los movimientos. Para una mejor visualización de los resultados, los vértices se presentan ordenados por progresiva creciente.

Las diferencias absolutas respecto de la medición pasada de Marzo de 2007 aparecen muy sesgadas (3-4 cm). Al parecer, en los resultados de Marzo de 2007 podría encontrarse un salto de ciclo no corregido en las observaciones GPS que ha sesgado las coordenadas. Estos resultados no tuvieron luego implicancias en el cálculo de movimiento debido a que fueron absorbidos por los parámetros de traslación. Si bien puede verse aun aquí los movimientos, se observan superpuestos a una traslación lo que es poco conveniente.

Luego, para una mejor visualización si tomamos la diferencia con respecto a Febrero de 2007 tenemos:

Nueva Anterior	Diferencias Absolutas		
	02 de Mayo de 2007 21 de Febrero de 2007		
ID	Norte [m]	Este [m]	Altura [m]
M036	0.007	0.000	-0.024
M001	0.000	0.000	0.000
M002	0.001	0.003	0.007
M037	0.000	0.001	0.006
M038	0.105	-0.100	0.026
M039	0.016	-0.094	-0.058
M003	0.031	-0.092	-0.061
M032	0.022	-0.114	-0.069
M040	0.013	-0.121	-0.041
M004	0.016	-0.122	-0.064
M041	0.036	-0.122	-0.077
M005	0.000	-0.001	0.003
M006	0.002	-0.004	0.002

<b>M007</b>	-0.007	0.014	0.024
<b>M008</b>	-0.003	0.002	-0.013
<b>M027</b>	0.006	-0.007	0.005
<b>M009</b>	0.004	0.002	0.005
<b>M010</b>	0.005	0.008	0.002
<b>M011</b>	0.001	0.006	0.002
<b>M012</b>	0.005	-0.003	0.008
<b>M033</b>	0.006	-0.002	0.001
<b>M034</b>	-0.008	-0.006	0.006
<b>M013</b>	0.013	-0.010	-0.021
<b>M014</b>	0.027	0.000	-0.022
<b>M015</b>	0.044	-0.001	-0.054
<b>M028</b>	0.003	-0.009	-0.008
<b>M029</b>	0.001	-0.007	-0.002
<b>M016</b>	0.334	-0.120	-0.206
<b>M017</b>	0.001	-0.002	0.004
<b>M018</b>	-0.001	-0.003	0.007
<b>M030</b>	-0.008	-0.003	0.038
<b>M019</b>	-0.105	0.034	0.008
<b>M020</b>	-0.009	0.008	0.050
<b>M021</b>	-0.009	0.005	0.053
<b>M022</b>	0.020	-0.017	0.021
<b>M023</b>	0.068	-0.027	0.009
<b>M024</b>	-0.005	0.008	0.045
<b>M025</b>	-0.008	0.007	0.057
<b>M026</b>	-0.009	0.009	0.070

Las diferencias absolutas de coordenadas muestran los siguientes resultados:

1. El mojón M038 aparece con un desplazamiento de 14 cm que es consecuencia de que fue golpeado por una piedra de un derrumbe y claramente desplazado de su lugar.
2. Los vértices ubicados en Mal Paso (M003, M004, M032, M039, M040 y M041), muestran un importante desplazamiento hacia el Oeste de entre 10 y 12 cm en planimetría y un descenso en altura de 6 cm. Si se considera que entre Febrero y Marzo se computaron movimientos de 6 cm en planimetría y descenso en la cota de aproximadamente 3 cm, tenemos que entre Marzo y Mayo hay movimientos muy similares a los observados entre Febrero y Marzo.
3. El inclinómetro M016 que se había movido 25 cm entre Febrero y Marzo aparece ahora con 35 cm en planimetría, lo que representa un desplazamiento de alrededor de 10 cm entre Marzo y Mayo. En forma similar, la cota desciende más de 5 cm.
4. Los vértices M019, M022 y M023 también muestran movimientos como así también el M014 y el M015 en menor medida.
5. Las diferencias exhiben efectos sistemáticos en altura. Las diferencias altimétricas se deben al error troposférico proveniente de la gran diferencia de altura existente entre los monolitos de la Red, el cambio

de las condiciones físicas existentes en la tropósfera y la incapacidad de los modelos matemáticos de remover apropiadamente el efecto.

Si se compara en forma absoluta las coordenadas actuales con las correspondientes a la primera medición de abril de 2003 se obtiene:

Nueva Anterior ID	Diferencias Absolutas		
	Norte [m]	Este [m]	Altura [m]
	02 de Mayo de 2007		
	13 de Abril de 2003		
M001	0.000	0.000	0.000
M002	0.002	-0.016	0.007
M003	0.082	-0.227	-0.123
M004	0.041	-0.313	-0.148
M005	-0.004	-0.005	0.015
M006	-0.011	-0.008	0.007
M007	-0.010	0.009	0.029
M008	-0.006	-0.006	-0.017
M009	-0.011	-0.001	0.051
M010	-0.019	-0.001	0.046
M011	-0.012	0.010	0.042
M012	-0.010	-0.011	0.055
M013	0.002	-0.035	-0.009
M014	0.107	-0.051	-0.016
M015	0.186	0.041	-0.153
M016	0.387	-0.124	-0.118
M017	-0.008	-0.006	0.037
M018	0.019	0.038	0.009
M019	-0.827	0.234	-0.332
M020	-0.017	0.013	0.043
M021	-0.013	0.016	0.040
M022	0.233	-0.202	-0.263
M023	0.554	-0.337	-0.415
M024	-0.001	0.005	0.039
M025	-0.006	0.001	0.044
M026	-0.005	0.006	0.058

Aquí pueden distinguirse con mayor claridad los vértices en movimiento. Los monolitos, M003, M004, M014, M015, M016, M018 M019, M022 y M023 aparecen con movimientos evidentes.

Obsérvese también que el monolito M013 aparece con un desplazamiento de 3,5 cm. Dado que este monolito, se toma como referencia como desplazamiento del M014 y M015, si esto es confirmado (por su gráfico de desplazamiento) esto indica que el cómputo de los movimientos del M014 y M015 puede estar ligeramente sesgado.

No obstante puede apreciarse que el monolito M014 aparece con desplazamientos de 12 cm en planimetría y el M015 de 19 cm siendo que en las diferencias absolutas no existe incidencia de un vértice sobre otro.

Estos valores contrastan con los 11cm y 20cm que se computan en la planilla de movimiento. La razón de tan baja incidencia es que el M013 aparece con un desplazamiento aparente de 3cm en sentido Oeste siendo que el M014 y el M015 se desplazan fundamentalmente hacia el Norte.

Los monolitos M027 al M041 fueron implantados con posterioridad al 13 de Abril de 2003.

Si calculamos las diferencias absolutas con respecto a Febrero de 2004 para los monolitos M027, M028, M029 y M030 tenemos:

Diferencias absolutas			
Nueva:	Época 02 de Mayo de 2007		
Anterior:	Época 20 de Febrero de 2004		
ID	Norte	Este	Altura
	[m]	[m]	[m]
M027	-0.009	-0.020	0.017
M028	-0.018	-0.019	0.094
M029	-0.015	-0.022	0.085
M030	-0.047	-0.043	0.104

Las diferencias no muestran valores concluyentes para estos monolitos con excepción del M030 que se encuentra en movimiento.

Si miramos las diferencias absolutas de los monolitos que fueron medidos por primera vez el 10 de Enero de 2006 respecto de esa medición tenemos:

Diferencias absolutas			
Nueva:	Época 21 de Marzo de 2007		
Anterior:	Época 10 de Enero de 2006		
ID	Norte	Este	Altura
	[m]	[m]	[m]
M032	0.044	-0.174	-0.087
M033	-0.003	-0.035	0.087
M034	-0.012	-0.023	0.100

El monolito M032 se encuentra en movimiento como puede verse de sus diferencias absolutas y su gráfico de movimiento.

Con respecto a los bulones empotrados en los cimientos del Puente del Río Volcán M033 y M034 las diferencias son sistemáticas y muestran que en forma relativa, entre ellos no hay desplazamiento. No obstante, para ver si hay un movimiento de ambos, hay que tomar una referencia más cercana como Potrerillos.

Por último podemos ver las diferencias absolutas para los nuevos vértices implantados a mediados de 2006 y medidos por primera vez el 25 de Octubre de 2006:

Diferencias absolutas			
-----------------------	--	--	--

Nueva:	Época 21 de Marzo de 2007		
Anterior:	Época 25 de Octubre de 2006		
ID	Norte	Este	Altura
	[m]	[m]	[m]
M036	0.023	-0.011	0.017
M037	0.008	-0.003	0.020
M038	0.104	-0.108	0.025
M039	0.028	-0.115	-0.051
M040	0.019	-0.145	-0.044
M041	0.031	-0.142	-0.042

Aquí los inclinómetros M039 y M040 y el extensómetro M041 aparecen con diferencias que los sitúan claramente en movimiento.

El M038 aparece con un desplazamiento producto del golpe de una roca de un derrumbe en el último mes.

En general, los movimientos son distinguibles en la medida que superen la tolerancia de 2 cm y en la medida que se observe una trayectoria sistemática del vértice a lo largo de las distintas mediciones realizadas.

Luego, se procedió a realizar la división en grupos, removiendo los efectos sistemáticos en planimetría y altimetría por medio de transformaciones de 3 parámetros.

### Planillas de movimientos - Resultados

En las tablas siguientes se representa los movimientos de los monolitos en el intervalo de tiempo comprendido entre la última medición y algunas anteriores realizadas por Geosystems S.A. y la empresa I.F.T.A. S.A.

Estas planillas se encuentran dentro del CDROM que acompaña la presente entrega dentro del directorio "Movimientos".

En las tablas siguientes, la componente X representa la dirección Norte, la componente Y representa la dirección Este y la Z es la vertical. Esta convención es la utilizada en el sistema de proyección cartográfica nacional Gauss Krüger.

El sentido de los signos es: positivo cuando el movimiento ocurre hacia el Norte o Este o arriba según la componente, y negativo a la inversa. Todas las magnitudes están expresadas en metros.

Los residuos que se encuentran debajo de la tolerancia (2 cm) no deben ser entendidos como desplazamientos reales sino que expresan los errores naturales (ruido) de la medición.

### Calculo de movimientos – Ultima medición versus anteriores

Desplazamientos por grupos				Desplazamientos por grupos				Desplazamientos por grupos			
Día 02/Mayo/07 - Día 21/Mar/07				Día 02/Mayo/07 – Día 25/Oct/06				Día 02/Mayo/07 – Día 10/Ene/06			
ID	DX	DY	DZ	ID	DX	DY	DZ	ID	DX	DY	DZ
Grupo Cuesta Chica				Grupo Cuesta Chica				Grupo Cuesta Chica			
M036	-0.002	0.009	-0.045	M036	0.023	-0.011	0.017	M036			
Grupo San Andrés				Grupo San Andrés				Grupo San Andrés			

Determinación de movimientos con GPS en el gasoducto Norandino  
*Darío M. Canosa*

M001	0.004	-0.004	-0.001	M001	-0.002	0.003	-0.009	M001	-0.003	0.002	-0.003
M002	0.000	0.000	-0.009	M002	0.004	-0.002	-0.001	M002	0.001	-0.002	-0.003
M037	0.002	-0.003	0.016	M037	0.007	0.000	0.011	M037			
M038	0.109	-0.104	0.015	M038	0.103	-0.105	0.016	M038			
M039	0.017	-0.055	-0.026	M039	0.026	-0.112	-0.060	M039			
M003	0.017	-0.046	-0.039	M003	0.040	-0.112	-0.064	M003	0.053	-0.155	-0.097
M032	0.018	-0.068	-0.047	M032	0.034	-0.140	-0.076	M032	0.041	-0.172	-0.090
M040	0.008	-0.063	-0.039	M040	0.018	-0.142	-0.053	M040			
M004	0.005	-0.062	-0.037	M004	0.014	-0.146	-0.075	M004	0.027	-0.208	-0.103
M041	0.025	-0.066	-0.031	M041	0.030	-0.139	-0.051	M041			
M005	-0.001	-0.002	0.003	M005	-0.004	-0.006	-0.005	M005	-0.002	-0.005	0.005
M006	0.001	-0.004	0.000	M006	0.000	-0.003	-0.004	M006	0.001	-0.004	0.006
M007	-0.003	0.007	0.006	M007	-0.005	0.012	0.016	M007	-0.006	0.015	0.006
M008	0.000	0.003	-0.001	M008	0.007	-0.003	0.003	M008	0.009	-0.007	-0.012
Grupo Chumchuleo				Grupo Chumchuleo				Grupo Chumchuleo			
M027	0.011	-0.017	-0.003	M027	0.005	0.003	0.019	M027	0.000	0.005	0.016
Grupo Potrerillos				Grupo Potrerillos				Grupo Potrerillos			
M009				M009	-0.002	0.000	0.001	M009	0.002	0.000	-0.003
M010				M010	-0.001	0.003	0.002	M010	-0.001	-0.002	-0.003
M011	-0.001	0.001	-0.003	M011	0.000	0.003	-0.004	M011	-0.001	0.005	0.003
M012	0.001	-0.001	0.003	M012	0.003	-0.005	0.001	M012	0.000	-0.004	0.003
Grupo Puente Volcán				Grupo Puente Volcán				Grupo Puente Volcán			
M033	-0.003	-0.012	-0.002	M033	0.008	-0.017	0.023	M033	0.004	-0.003	0.030
M034	0.002	-0.010	0.010	M034	-0.001	-0.015	-0.003	M034	-0.005	0.009	0.043
Grupo Volcán				Grupo Volcán				Grupo Volcán			
M013	0.000	0.000	0.000	M013	0.000	0.000	0.000	M013	0.000	0.000	0.000
M014	0.003	0.004	-0.008	M014	0.017	0.000	0.003	M014	0.037	0.001	-0.006
M015	0.021	0.009	-0.022	M015	0.041	0.012	-0.025	M015	0.096	0.038	-0.087
Grupo Zenta medio				Grupo Zenta medio				Grupo Zenta medio			
M028	0.004	0.000	0.012	M028	0.001	0.008	-0.012	M028	-0.003	0.002	-0.006
M029	-0.001	-0.003	-0.011	M029	0.000	-0.006	-0.002	M029	0.001	-0.007	-0.002
M016	0.119	-0.037	-0.075	M016	0.373	-0.136	-0.224	M016	0.395	-0.113	-0.142
M017	-0.004	0.002	-0.002	M017	-0.002	-0.002	0.015	M017	0.001	0.005	0.007
M018	-0.001	0.005	-0.001	M018	-0.002	0.007	0.012	M018	0.011	0.024	0.010
Grupo Zenta				Grupo Zenta				Grupo Zenta			
M030	0.008	0.003	0.008	M030	-0.005	-0.008	-0.018	M030	-0.018	-0.023	-0.029
M019	-0.033	0.012	-0.012	M019	-0.232	0.069	-0.112	M019	-0.462	0.149	-0.177
M020	0.003	0.003	0.001	M020	-0.002	-0.001	-0.001	M020	-0.006	0.004	0.002
M021	-0.001	-0.002	0.000	M021	-0.005	-0.003	-0.002	M021	-0.003	0.001	0.002
M022	0.007	-0.015	-0.017	M022	0.039	-0.043	-0.051	M022	0.103	-0.102	-0.150
M023	0.051	-0.021	-0.023	M023	0.121	-0.056	-0.122	M023	0.264	-0.144	-0.196
M024	0.000	0.000	-0.015	M024	0.002	0.000	-0.006	M024	0.005	-0.001	-0.011
M025	-0.003	0.001	0.003	M025	0.003	0.000	0.001	M025	0.001	-0.003	-0.005
M026	-0.001	-0.002	0.011	M026	0.000	0.002	0.009	M026	0.002	-0.001	0.011
Desv. Est	0.003	0.005	0.007	Desv. Est	0.003	0.004	0.008	Desv. Est	0.003	0.005	0.007

Desplazamientos por grupos

Desplazamientos por grupos

Determinación de movimientos con GPS en el gasoducto Norandino  
*Darío M. Canosa*

Día 02/Mayo/07 - Día 20/Feb/04				Día 02/Mayo/07 – Día 13/Abr/03			
ID	DX	DY	DZ	ID	DX	DY	DZ
<b>Grupo Cuesta Chica</b>				<b>Grupo Cuesta Chica</b>			
M036				M036			
<b>Grupo San Andrés</b>				<b>Grupo San Andrés</b>			
M001	0.003	-0.004	-0.006	M001	0.005	0.004	-0.007
M002	0.007	0.001	-0.015	M002	0.007	-0.012	0.000
M037				M037			
M038				M038			
M039				M039			
M003	0.080	-0.202	-0.123	M003	0.087	-0.223	-0.130
M032				M032			
M040				M040			
M004	0.040	-0.290	-0.145	M004	0.046	-0.309	-0.155
M041				M041			
M005	-0.006	-0.005	-0.004	M005	0.001	-0.001	0.008
M006	-0.001	-0.005	0.013	M006	-0.006	-0.004	0.000
M007	-0.007	0.014	0.018	M007	-0.005	0.013	0.022
M008	0.002	0.001	-0.004	M008	-0.001	-0.002	-0.024
<b>Grupo Chumchuleo</b>				<b>Grupo Chumchuleo</b>			
M027	-0.004	-0.008	0.008	M027			
<b>Grupo Potrerillos</b>				<b>Grupo Potrerillos</b>			
M009	0.000	0.004	-0.006	M009	0.002	0.000	0.002
M010	0.000	-0.004	0.002	M010	-0.006	0.000	-0.002
M011	-0.001	0.003	-0.003	M011	0.001	0.011	-0.007
M012	0.002	-0.004	0.006	M012	0.003	-0.010	0.006
<b>Grupo Puente Volcán</b>				<b>Grupo Puente Volcán</b>			
M033				M033			
M034				M034			
<b>Grupo Volcán</b>				<b>Grupo Volcán</b>			
M013	0.000	0.000	0.000	M013	0.000	0.000	0.000
M014	0.071	-0.013	-0.012	M014	0.105	-0.016	-0.007
M015	0.164	0.065	-0.128	M015	0.184	0.076	-0.144
<b>Grupo Zenta medio</b>				<b>Grupo Zenta medio</b>			
M028	-0.001	0.000	0.004	M028			
M029	0.002	-0.003	-0.005	M029			
M016	0.401	-0.123	-0.151	M016	0.390	-0.122	-0.130
M017	-0.001	0.004	0.000	M017	-0.005	-0.004	0.025
M018	0.018	0.034	-0.007	M018	0.022	0.040	-0.003
<b>Grupo Zenta</b>				<b>Grupo Zenta</b>			
M030	-0.032	-0.030	-0.045	M030			
M019	-0.740	0.200	-0.347	M019	-0.819	0.226	-0.377
M020	-0.009	0.005	-0.010	M020	-0.009	0.005	-0.002
M021	-0.007	-0.003	-0.006	M021	-0.005	0.008	-0.005
M022	0.194	-0.190	-0.270	M022	0.241	-0.210	-0.308
M023	0.472	-0.301	-0.393	M023	0.562	-0.345	-0.460
M024	0.009	0.000	-0.001	M024	0.007	-0.003	-0.006
M025	0.004	0.002	0.004	M025	0.002	-0.007	-0.001

M026	0.001	-0.005	0.014	M026	0.003	-0.002	0.013
Desv. Est	0.005	0.005	0.008	Desv. Est	0.007	0.006	0.009

Básicamente, estas planillas permiten apreciar que los vértices M003, M004, M032, M014, M015, M016, M018, M019, M030, M022 y M023 poseen movimientos. Todos ellos fueron reportados en informes anteriores.

El M038 como ya se dijo está desplazado por el golpe de una roca de un derrumbe que sacó de lugar el monumento.

La desviación estándar cuantifica la precisión y no incluye los monolitos en movimiento.

## Gráficos de Movimientos

Para cada uno de los vértices de la Red de Control se realizaron gráficos de movimientos de acuerdo con las especificaciones brindadas por TGN.

Se confeccionaron dos clases de gráficos de movimientos.

El denominado ANEXO II, contiene un gráfico que representa en el plano horizontal (Norte / Este) el desplazamiento 2D de cada vértice. Además con un segmento adicional se incorpora la variación total (final – inicial) en la componente de altura.

El denominado ANEXO III contiene un gráfico de tipo XY que representa el desplazamiento tridimensional de cada vértice con respecto a su posición inicial, en función del tiempo.

Estos anexos se representaron en formato dwg de AutoCad.

En el informe de Junio de 2005 se eliminaron de las planillas y anexos las mediciones correspondientes al 23 de Febrero de 2004, 12 de marzo de 2004 y 17 de Abril de 2004 todas ellas realizadas por la empresa CONTA S.A. De esta manera, se obtiene una representación donde el verano de 2004 queda representado por una sola medición por mes, lo cual, es más que suficiente.

## Error del método

La incorporación de nuevos monolitos a partir de enero de 2004 (M027 al M030), la destrucción de otros (M016, M024, M035) y la eliminación de unos pocos resultados de algunas mediciones fuera de tolerancia hacen que el desplazamiento neto (es decir, de la última medición respecto de la primera) sea ligeramente diferente si se lo computa como una suma de desplazamientos sucesivos o si se lo computa como un movimiento final – inicial.

Esta diferencia se encuentra originada en el diferente número de vértices involucrado en cada procedimiento, en el cálculo de la transformación de 3 parámetros. Es de pocos milímetros y se encuentra bien dentro de la tolerancia.



## Vértices que no reflejan desplazamiento

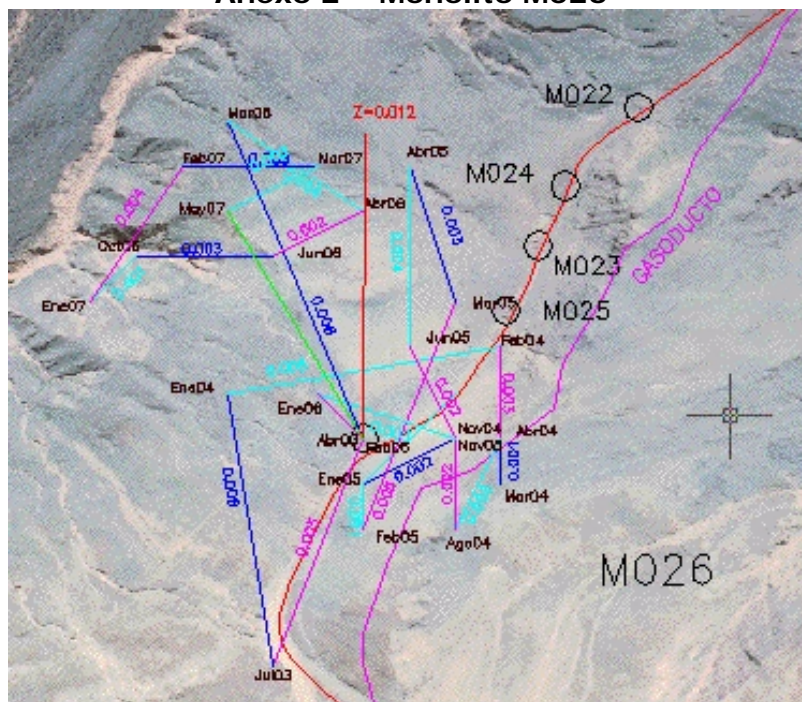
Los vértices que no reflejan desplazamiento muestran variaciones en su posición que son debidas a los naturales errores de medición. A lo largo del tiempo las posiciones observadas se apartan varios milímetros de una "posición media".

De la misma manera los gráficos de desplazamiento tridimensional acumulado no muestran ninguna evolución de la diferencia espacial entre la última medición y la primera.

Los monolitos que no han reflejado movimiento son: M001, M002, M005, M006, M007, M008, M009, M010, M011, M012, M017, M020, M021, M024, M025, M026, M027, M028, M029 (a Mayo de 2007, luego no), M033, M034, M036, M037, M038 (desplazado de su lugar por el impacto de una roca).

A efectos ilustrativos insertamos el diagrama de movimiento del monolito

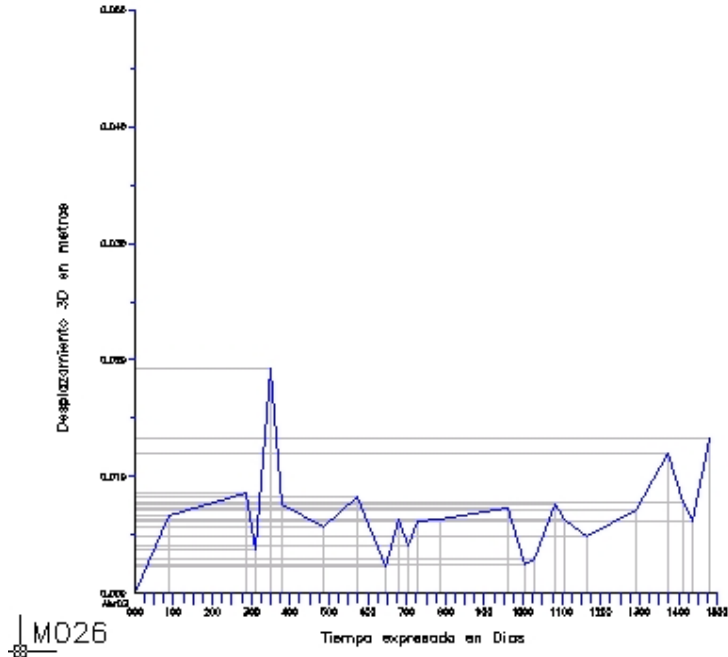
**Anexo 2 – Monolito M026**



El gráfico representa en forma sumamente exagerada la variación de la posición observada del monolito M026. La línea verde une la posición inicial de Abril de 2003 con la de Mayo de 2007. Su longitud es de 4 mm en planimetría. La variación altimétrica total es de +1,3 cm. Especialmente es de 1,4 cm.

El anexo 3 representa la variación del "desplazamiento acumulado". Esto es el cambio en la posición espacial desde Abril de 2003 hasta Mayo de 2007.

El gráfico es el siguiente:



Puede verse que a lo largo del tiempo no hay una tendencia creciente significativa sino que en general, las diferencias se mantienen en el orden de 1 cm. En la medición realizada 250 días después de la fecha 0 (13 de Abril de 2003) se observa un pico. Estos picos generalmente están originados en variaciones de la altura un poco mayores de lo esperado.

En tal sentido debe recordarse que la altura GPS es la componente peor determinada. Esta condición si bien podría estar originada en deficiente tiempo de observación no es el caso ya que el mismo fue siempre extenso.

## Vértices en movimiento

En la presente sección se comunican los desplazamientos sufridos por los vértices en movimiento en cada medición respecto de la inmediata anterior. Recuérdese que este trabajo consiste en un monitoreo de los mismos.

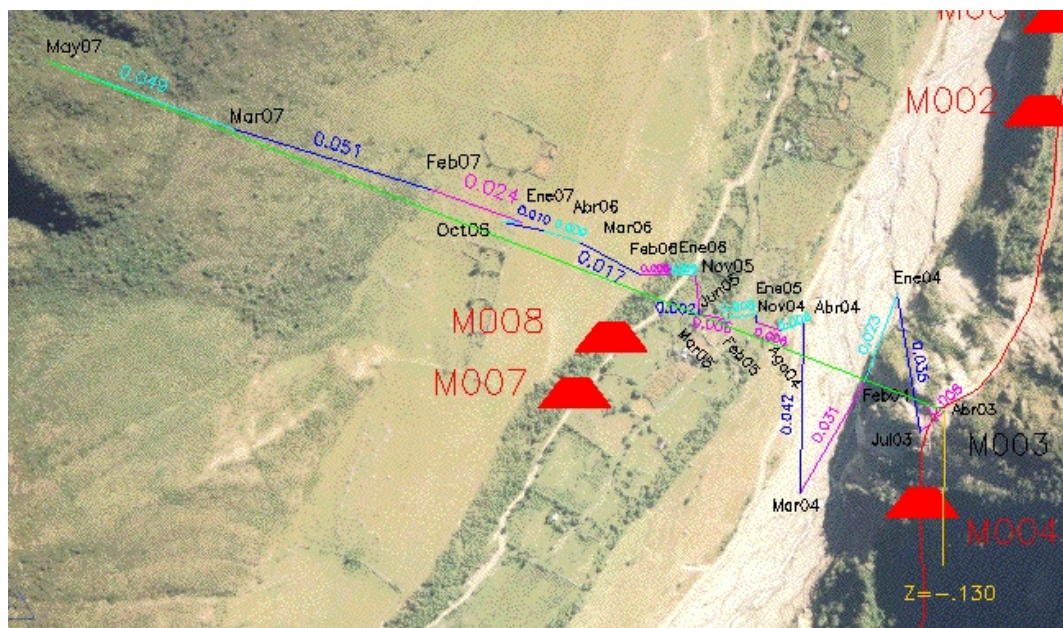
Se presentan los gráficos de desplazamiento acumulado en el tiempo (Anexo 2) y se reporta los desplazamientos totales desde la primera medición de dicho vértice, como también su velocidad y dirección.

### **Extensómetros 2 (M003) y 1(M004)**

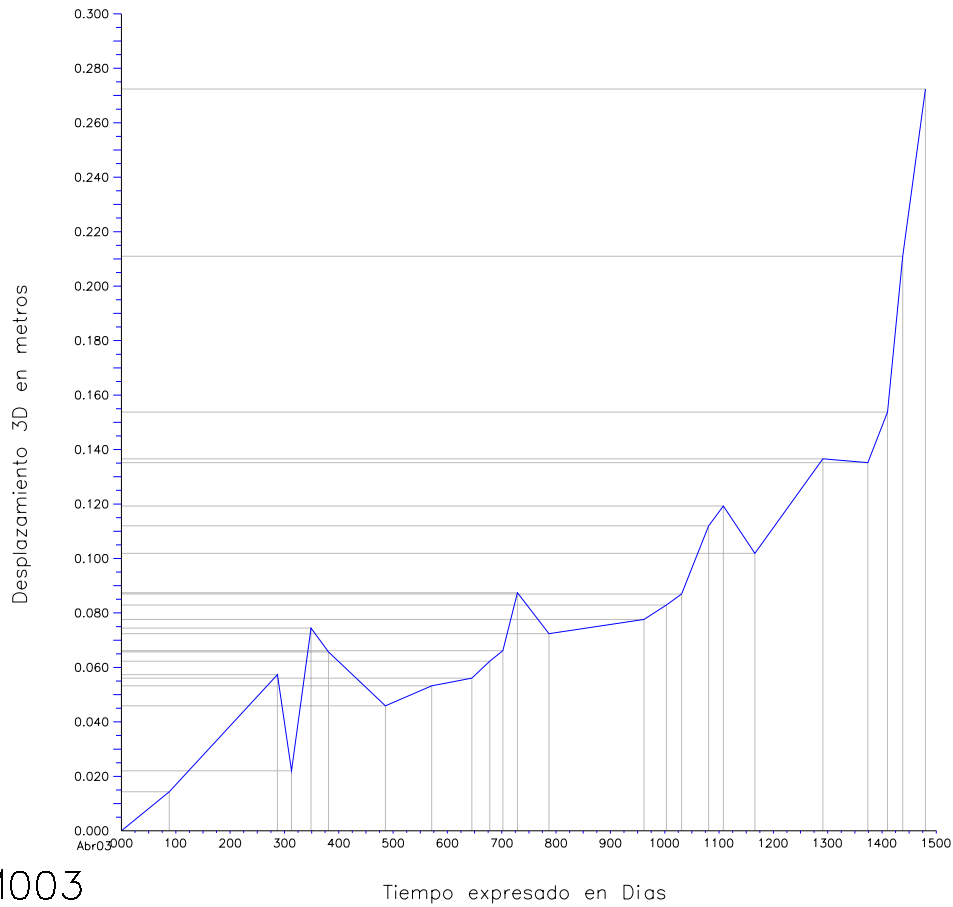
Entre fines Marzo y comienzos de Mayo, los extensómetros 1 y 2 avanzan 6,2 cm y 4,9 cm en planimetría. En altura descienden 3,7 cm y 3,9 cm.

El gráfico de desplazamiento para el Extensómetro 2 (M003) es:

**Anexo II – M003**



### Anexo 3 – Extensómetro M003



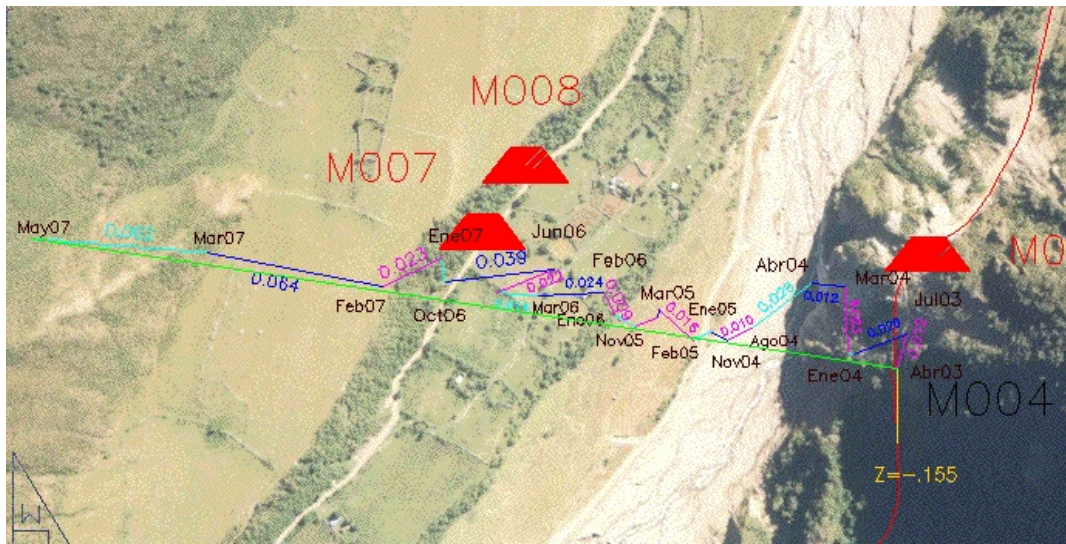
M003

Con este resultado el extensómetro 2 alcanza un desplazamiento planimétrico de 24 cm y espacial de 27 cm respecto de su posición determinada en Abril de 2003. En altura ha descendido 13 cm.

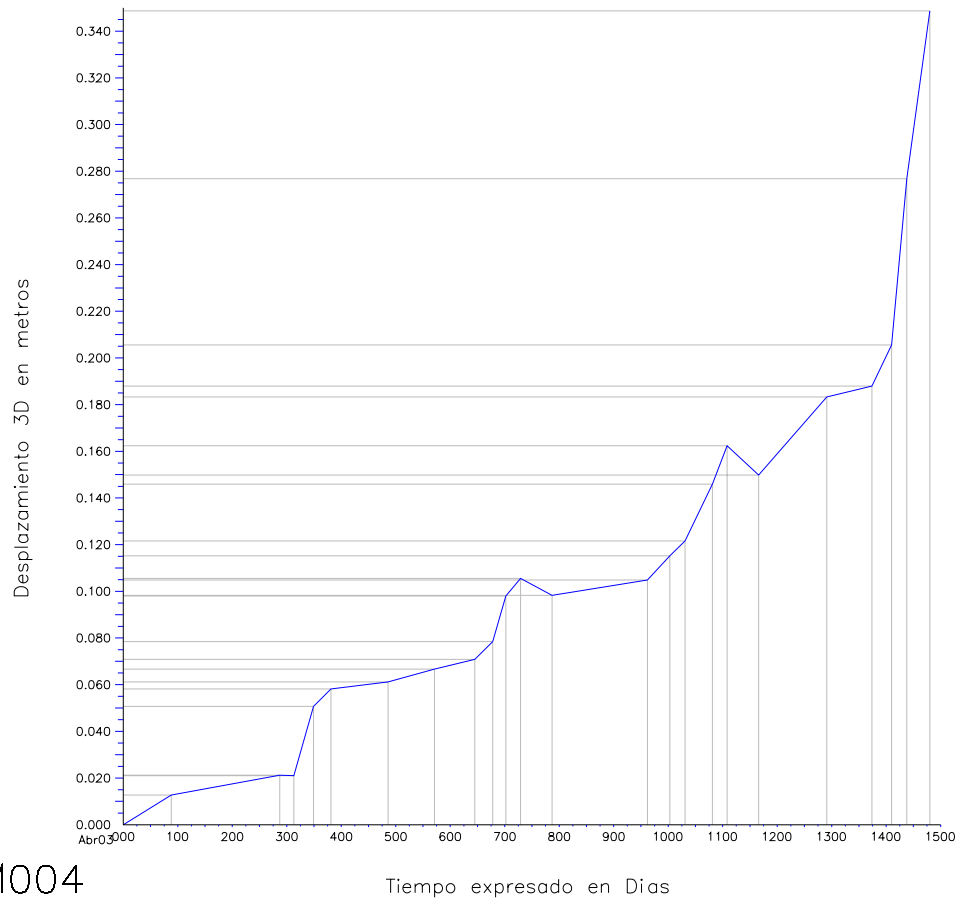
La velocidad media 2D es de 5,9 cm/año y la velocidad media 3D es de 6,7 cm/año. El acimut del movimiento es de 291°.

El gráfico de desplazamiento para el extensómetro 1 (M004) es el siguiente:

**Anexo II – M004**



### Anexo 3 – Extensómetro M004



M004

Respecto de abril de 2003, el extensómetro 1 acumula un desplazamiento de 31 cm en planimetría y de 35 cm en forma espacial (3D). En altura descendió 15,5 cm.

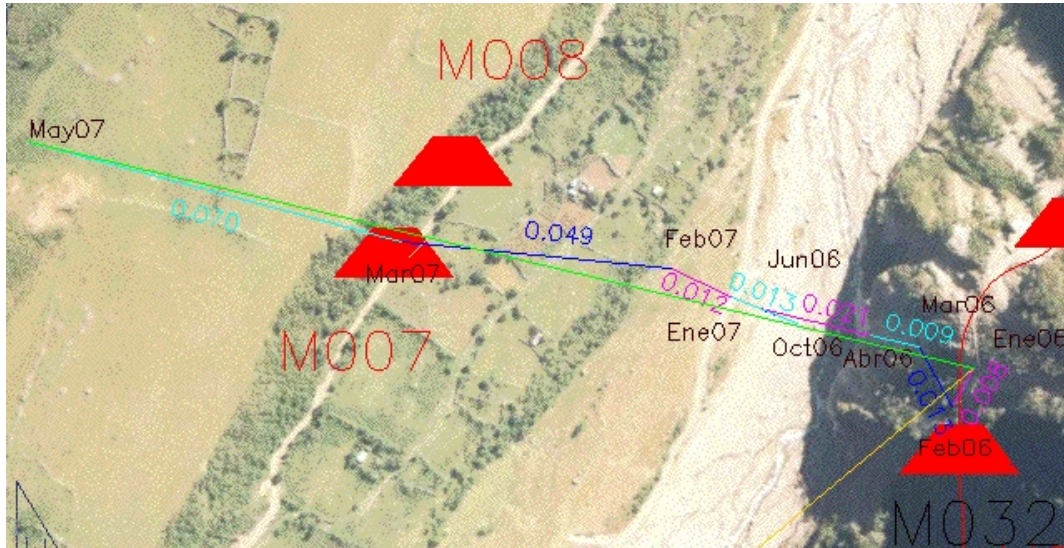
El sentido del movimiento posee un acimut aproximado de 278°. La velocidad media 2D es de 7,7 cm/año y en forma tridimensional alcanza 8,6 cm/año.

### **Bulón empotrado en roca M032**

Entre fines de Marzo y comienzos de Mayo, el bulón empotrado en roca M032 avanza 7,0 cm en el último mes. En cota desciende 4,7 cm.

El gráfico de desplazamiento es el siguiente:

#### **Anexo II – M032**



Desde su primera medición en Enero de 2006 el desplazamiento planimétrico es de 18 cm y el desplazamiento tridimensional es de 20 cm. En cota descendió 9 cm.

La dirección del movimiento posee un acimut de 283°. La velocidad media 2D se estima en 13,5 cm/año y la velocidad media 3D es de 15,2 cm/año.

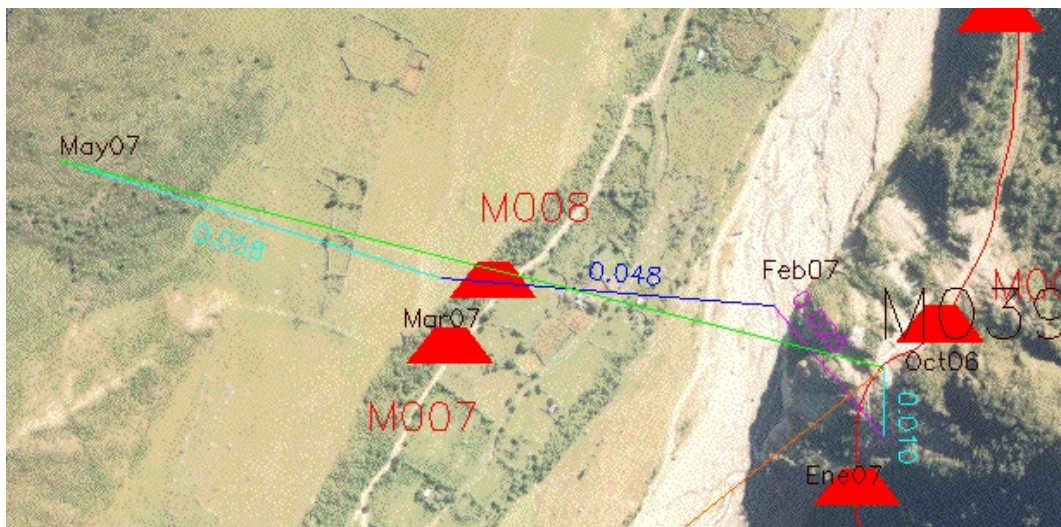
**Inclinómetros M039 y M040 (frente a los extensómetros 1 y 2):**

Entre fines de Marzo y comienzos de Mayo, los inclinómetros M039 y M040 se desplazaron en forma planimétrica 5,8 cm y 6,3 cm respectivamente. El desplazamiento espacial alcanza 6,3 cm y 7,4 cm para ambos vértices. El descenso en cota es de 2,6 cm y 3,7 cm respectivamente.

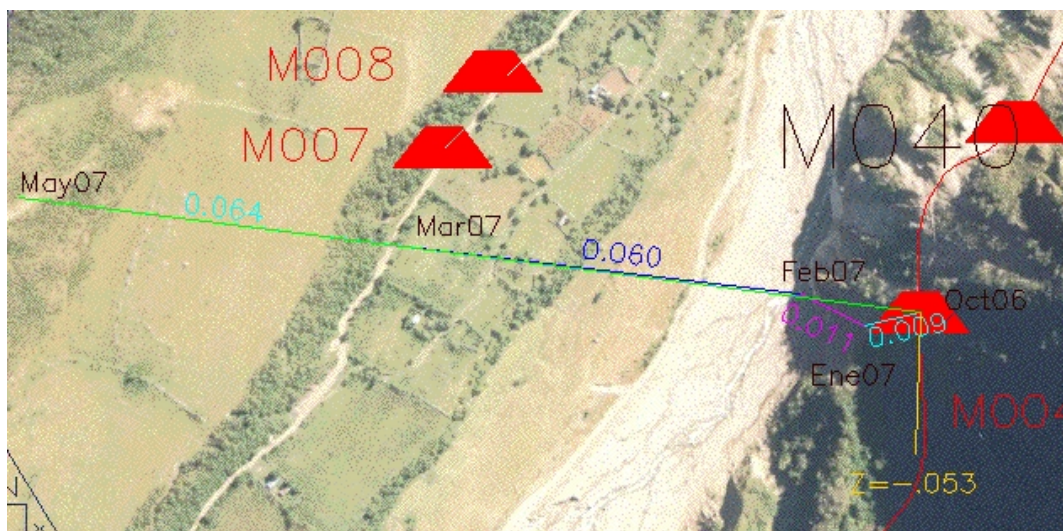
El sentido del desplazamiento es completamente consistente con el observado para los extensómetros 1 y 2.

Los gráficos de movimiento son los siguientes:

**Anexo II- M039**



**Anexo II-M040**



Desde Octubre de 2006, fecha de su primera medición, estos vértices acumulan un desplazamiento planimétrico de 11,5 cm y 14,3 cm. En forma tridimensional el desplazamiento neto alcanza a 13 cm y 15 cm.



Los acimutes de movimiento son  $283^\circ$  para el M039 y de  $277^\circ$  para el M040.

Las velocidades medias espaciales (3D) son 25,1 cm/año y 29,5 cm/año respectivamente para ambos vértices.

### ***Inclinómetro M037 y monolito M038***

EL monolito M038 sufrió el golpe de una roca de gran tamaño proveniente de un derrumbe que lo desplazó de lugar. Por ello, en esta medición aparecen movimientos de 14 cm pero que no responden a un desplazamiento real del terreno. Por esta razón, no se realizó en esta época un grafico de desplazamiento.

No obstante, no existen evidencias al momento de que ninguno de estos dos vértices pudiesen estar en movimiento.

### **M038 golpeado por un derrumbe**

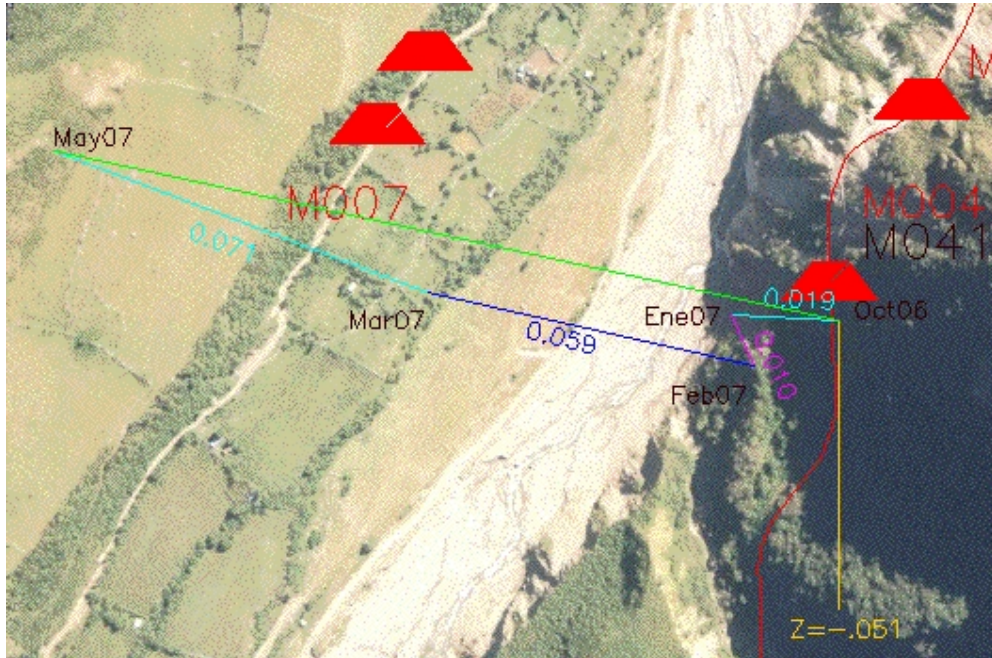


### **Extensómetro 3 (M041)**

Entre fines de Marzo y comienzos de Mayo (42 días), el extensómetro 3 se desplazó 7,1 cm en planimetría. En cota descendió 3 cm.

El gráfico de desplazamiento planimétrico (Anexo 2) es el siguiente:

**Anexo II – M041**



Desde Octubre de 2006, fecha en que se midió por primera vez el extensómetro 3, el desplazamiento neto espacial alcanza 15,1 cm (14,2 cm en planimetría). La cota desciende 5,1 cm.

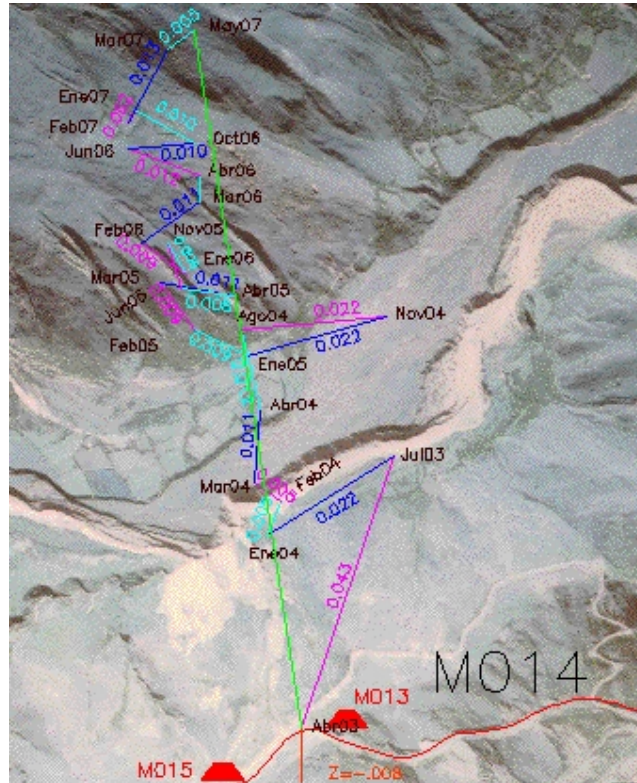
El movimiento se produce con un acimut de 282° y con una velocidad media espacial de 29,2 cm/año.

### **Inclinómetro M014**

Entre fines de Marzo y comienzos de Mayo, el inclinómetro M014 avanza 5 mm tomando como es usual, la referencia la posición del monolito M013. El desplazamiento representa un avance en el sentido de movimiento.

Los gráficos de movimiento muestran para el monolito M014 la siguiente trayectoria planimétrica a lo largo del tiempo (Anexo II):

**Anexo II – M014**



Debe hacerse notar que es posible que el monolito M013 se halle desplazado 3 cm hacia el Oeste desde Abril de 2003, según surge de las diferencias absolutas. Dado que el movimiento del M013 es hacia el Oeste, tal desplazamiento modificaría el rumbo del M014 hacia el Norte, no así su magnitud que variaría 1 cm.

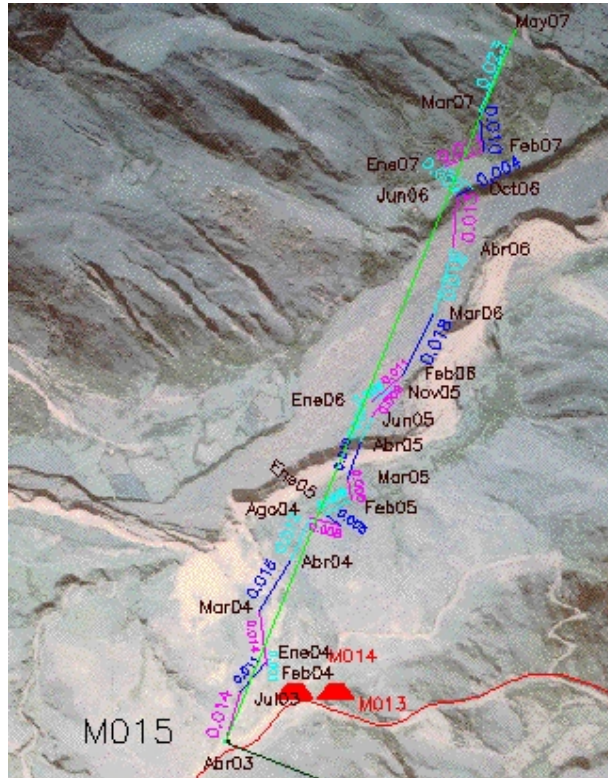
Respecto de Febrero de 2004, el avance planimétrico es de 7,2 cm. El descenso en la cota es de 1,2 cm. El sentido de movimiento posee un acimut de 350 grados y la velocidad media 2D es de 2,3 cm/año.

### **Monolito M015**

El monolito M015 muestra un cambio de su posición de 2,3 cm y continúa en movimiento.

El gráfico de desplazamiento es el siguiente:

#### **Anexo II – M015**



Respecto de abril de 2003, el monolito M015 muestra un movimiento de 20 cm en planimetría y de 25 cm en forma espacial. En altura observa un descenso de 14,4 cm.

El movimiento posee un acimut aproximado de 22°, una velocidad media planimétrica es de 4,9 cm/año y una velocidad media espacial de 6,1 cm/año.

El movimiento de este monolito se calcula tomando como referencia el M013. Si se comprueba que el monolito M013 se ha desplazado 3 cm al Oeste desde Abril de 2003, el gráfico de desplazamiento variará ligeramente y el efecto sobre la magnitud de desplazamiento será del orden de 1 cm.

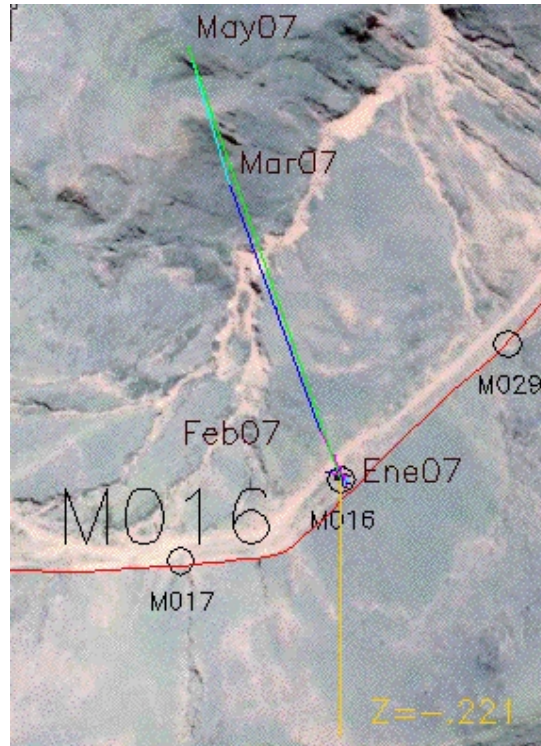
### **Inclinómetro M016**

Desde fines de Marzo a comienzos de Mayo, el inclinómetro M016 se desplazó 12,5 cm en planimetría. En forma espacial el desplazamiento alcanza los 14,5 cm ya que en altura este vértice desciende 7,5 cm.

Este desplazamiento tan significativo confirma y continúa el desplazamiento que fuera observado desde Febrero pasado ya que ocurre en la misma dirección.

El gráfico de desplazamiento es el siguiente:

**Anexo II - M016**



Por razones de escala, todos los movimientos previos han quedado reducidos a una pequeña mancha en torno a la posición original del mojón.

Desde Enero de 2007, el inclinómetro M016 se desplazó espacialmente una longitud de 45,6 cm (40 cm en planimetría) en una dirección determinada por un acimut de 340 °. El descenso neto de la cota ha sido de 22 cm.

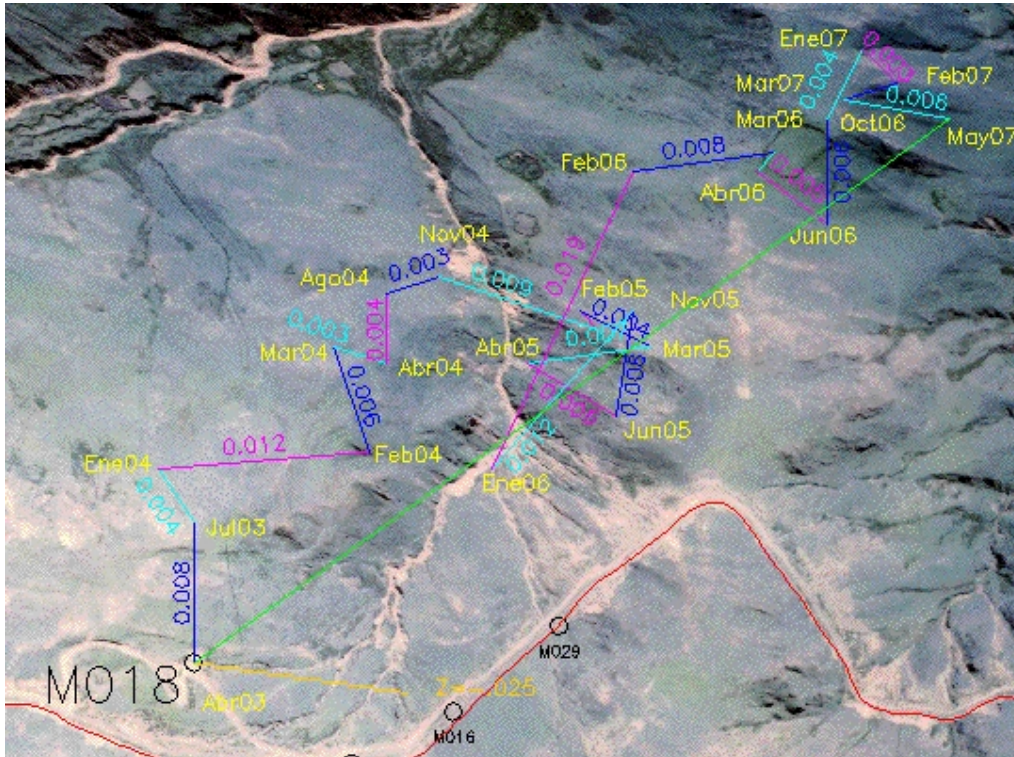
La velocidad media espacial de movimiento es de 0,88 metros/año.

### Monolito M018

El monolito M018 mantiene su posición de Abril a Mayo de 2007. El desplazamiento es de 5mm y su dirección no representa un avance. Este desplazamiento esta comprendido dentro del ruido de medición.

El gráfico de desplazamiento es el siguiente:

Anexo II - M018



Respecto a Abril de 2003, el monolito M018 muestra un desplazamiento acumulado de 4,5 cm y la cota no descende. En forma espacial el desplazamiento neto es de 4,6 cm.

El movimiento posee un acimut aproximado de 62° y una velocidad media planimétrica (2D) es de 1,1 cm/año.

### **Inclinómetro M019**

El inclinómetro M019 avanzó 3,5 cm en 42 días. En cota descendió 1,2 cm.

Estos desplazamientos continúan la dirección previa observada de movimiento.

El gráfico de desplazamiento planimétrico a lo largo del tiempo (Anexo II) es el siguiente:

**Anexo II – M019**



De este modo el inclinómetro M019 acumula respecto de Abril de 2003 un movimiento neto planimétrico de 85 cm y un descenso en altura de 38 cm. El desplazamiento neto espacial ha sido de 93 cm.

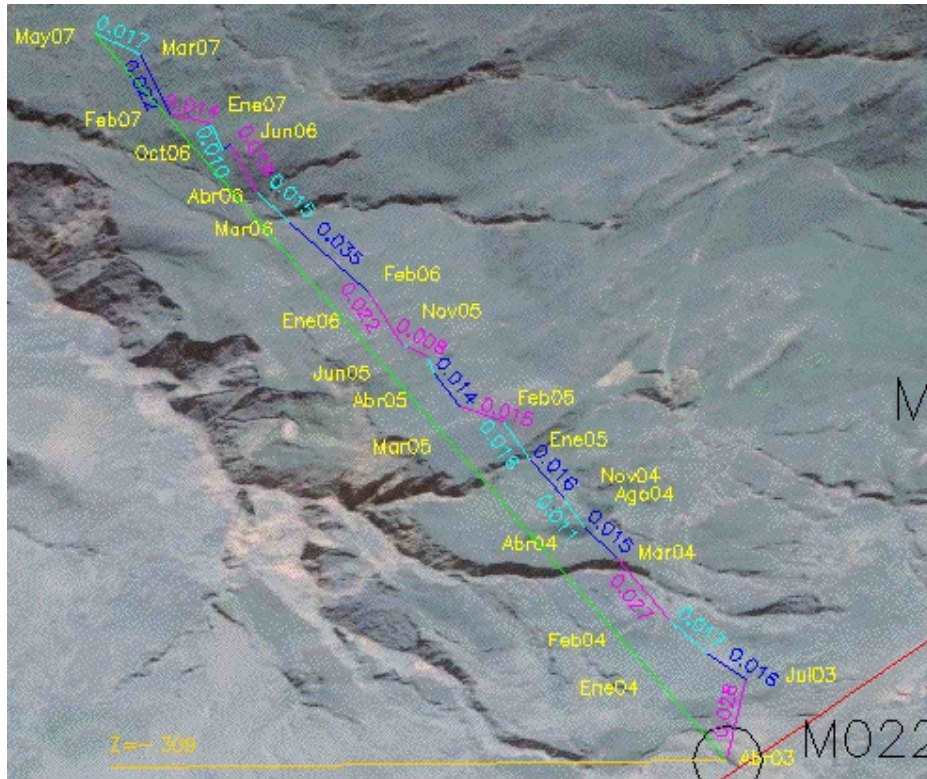
El movimiento posee un acimut aproximado de  $165^\circ$  y una velocidad media planimétrica es de 21 cm/año y espacial (3D) de 22,9 cm/año.

### **Inclinómetro M022**

Entre fines de Marzo y comienzos de Mayo, en 42 días, el inclinómetro M022 avanzó 1,7 cm en planimetría. La cota desciende 1,7 cm.

El gráfico de desplazamiento planimétrico a lo largo del tiempo (Anexo II) es el siguiente:

**Anexo II – M022**



Respecto de abril de 2003, el inclinómetro M022 acumula un desplazamiento neto de 32 cm en planimetría y un descenso de 31 cm en altura. El desplazamiento neto espacial fue de 44 cm.

El movimiento posee un acimut aproximado de 319°. La velocidad media planimétrica de avance es de 7,9 cm/año. La velocidad media espacial (3D) es de 11,0 cm/año.

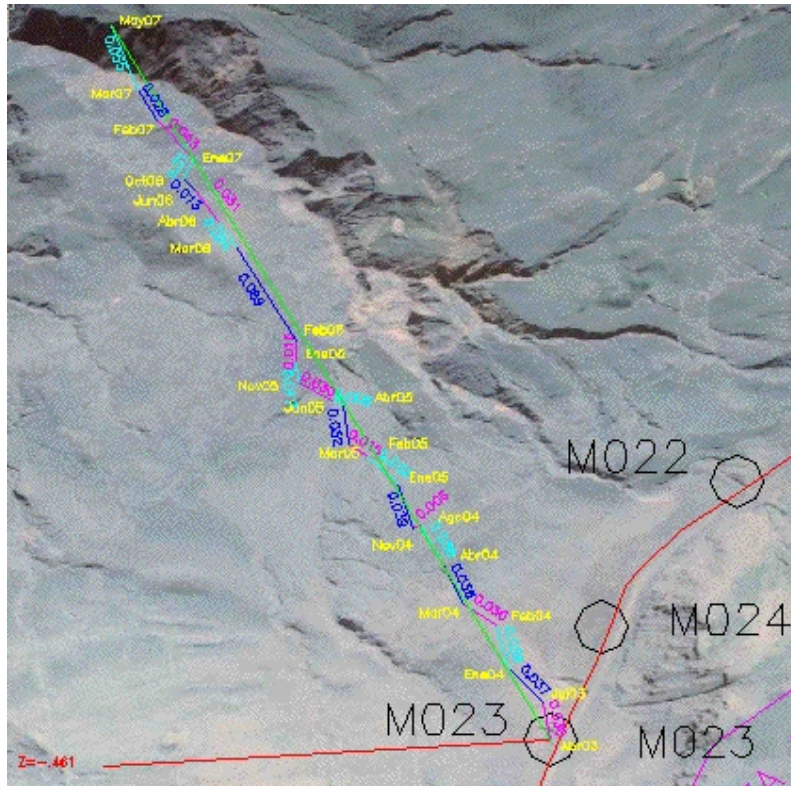


### **Inclinómetro M023**

Desde fines de Marzo a comienzos de Mayo, el inclinómetro M023 avanza 5,6 cm en planimetría. La cota descende 2,3 cm.

El gráfico de desplazamiento planimétrico a lo largo del tiempo (Anexo II) es el siguiente:

**Anexo II – M023**



Respecto de Abril de 2003, el movimiento neto es de 66 cm en planimetría y un descenso de 46 cm en altura. El desplazamiento neto espacial es de 80 cm.

El sentido del movimiento posee un acimut aproximado de 329°.

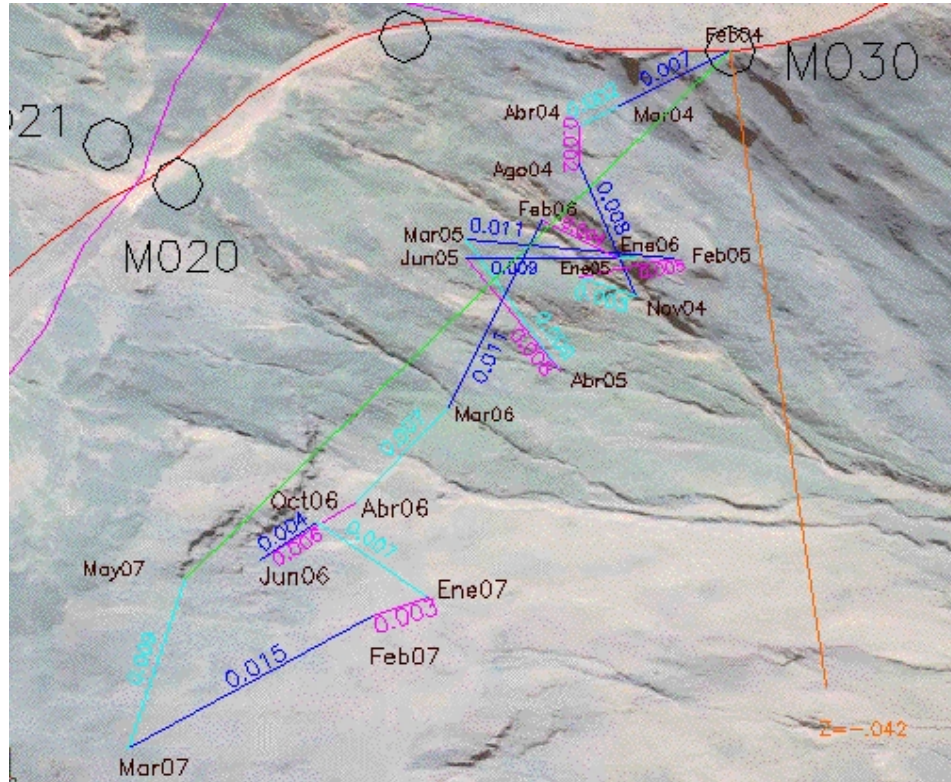
La velocidad media planimétrica (2D) de avance es de 16,3 cm/año. La velocidad media espacial (3D) es de 19,8 cm/año.

### Monolito M030

En 42 días, el monolito M030 muestra en el último mes un retroceso de 9 mm. La cota varía +8mm.

El gráfico de desplazamiento es el siguiente.

**Anexo II – M030**



Respecto de la época de su primera medición, Febrero de 2004, el desplazamiento planimétrico acumulado es de 4,3 cm y la cota desciende 4,5 cm. En forma espacial, el desplazamiento total fue de 6,3 cm.

El sentido del movimiento se realiza con un acimut de  $223^\circ$  respecto al Norte.

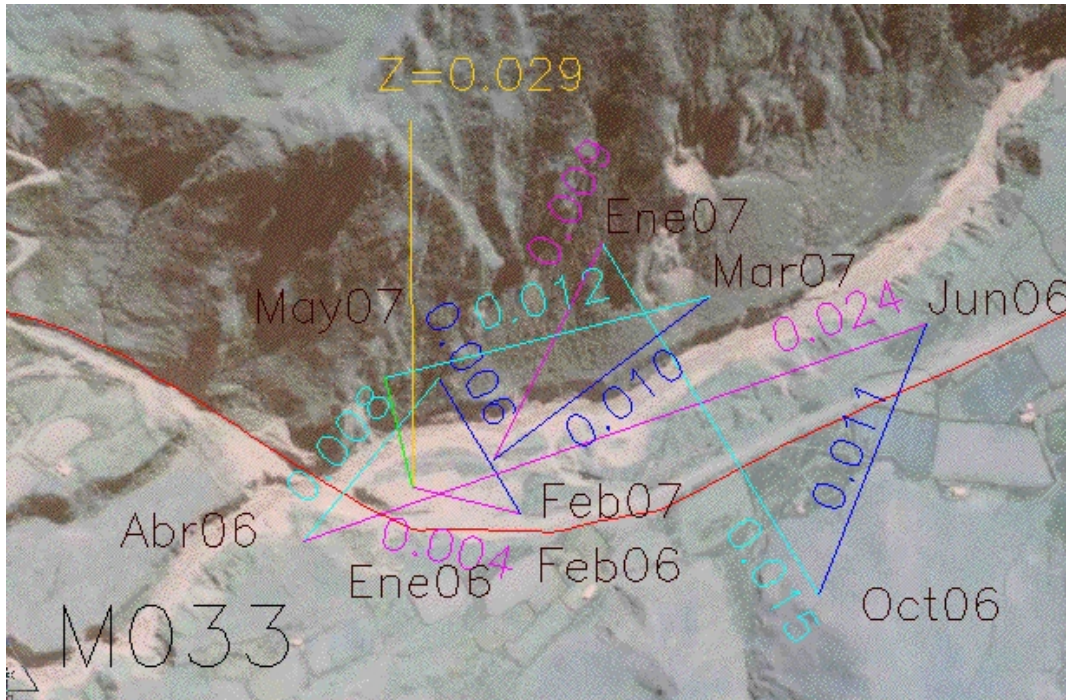
La velocidad media planimétrica es de 1,4 cm/año y espacial 2,0 cm/año.

### Bulones empotrados M033 y M034

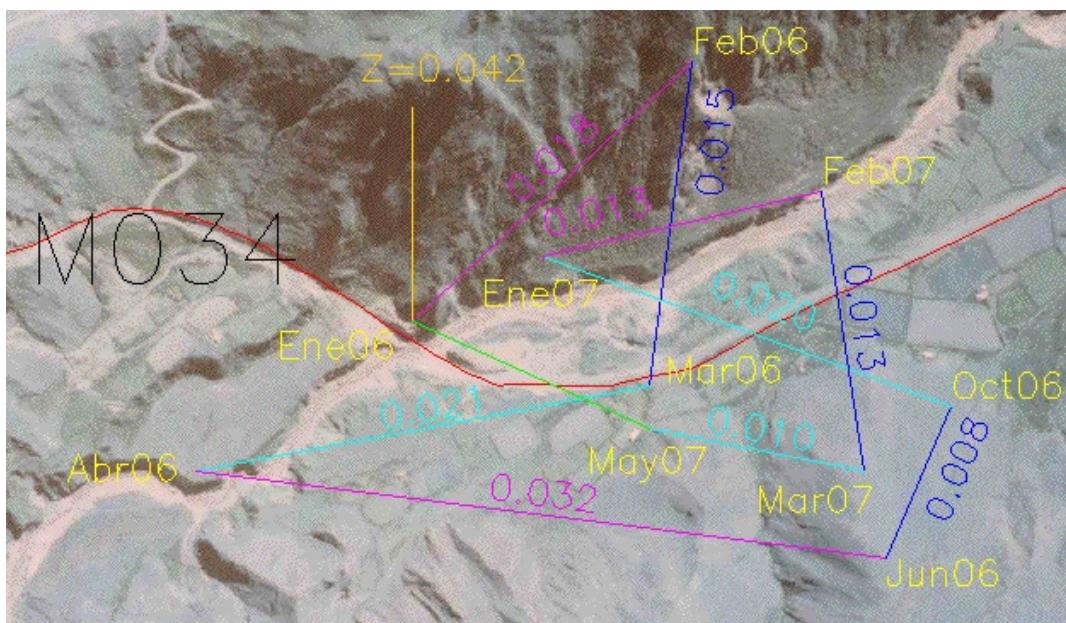
Los bulones empotrados en las bases del Puente aéreo del Río Volcán no muestran signos de movimiento. La variación de sus coordenadas se mantiene dentro del nivel de ruido usual de las mediciones.

El gráfico de desplazamiento es el siguiente:

Anexo II – M033



Anexo II - M034



Los desplazamientos netos planimétricos desde la primera medición de estos bulones en Enero de 2006, son de 4 mm y 1,1 cm.

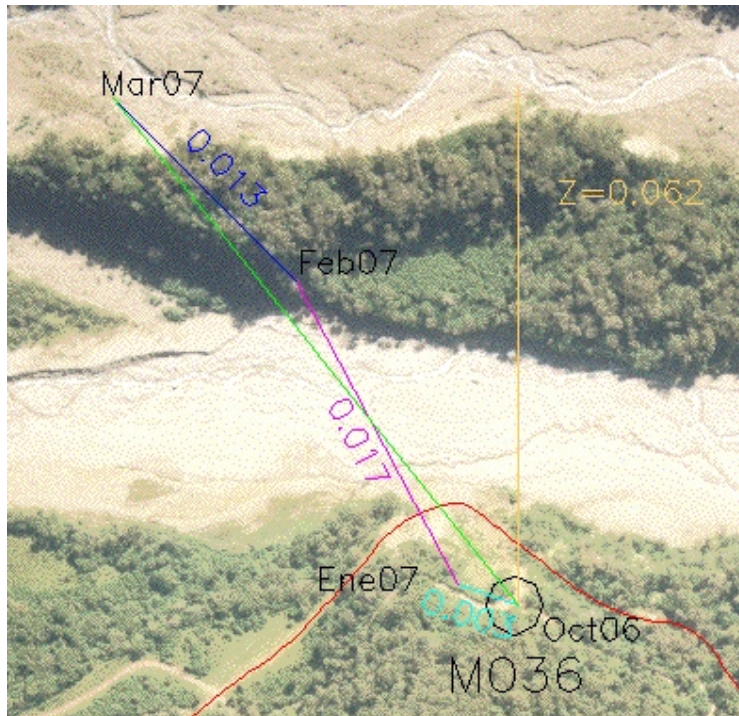
### **Inclinómetro M036**

El inclinómetro M036 no muestra cambios significativos en su posición desde la última medición de Marzo de 2007. El cambio en la posición es de 9 mm aunque la cota desciende fuertemente 4,5cm.

Este descenso de la cota contrarresta el ascenso observado en Marzo, de forma tal que la variación neta en cota desde Octubre de 2006 es de 1,7 cm. De este modo, se observa que no hay variaciones significativas de la altura de este inclinómetro como hacía presumir los resultados de Marzo. Las variaciones observadas eran producto de la gran distancia (4,1km) con sus monolitos de referencia (M001 y M002).

Desde su primera medición en Octubre de 2006, el desplazamiento planimétrico alcanza 2,5 cm.

**Anexo 2 – M036**



El acimut del desplazamiento es de 334°. La velocidad media planimétrica es de 4,9 cm/año.

## **Conclusiones finales de la campaña de Mayo de 2007**

En el transcurso de 42 días, desde fines de Marzo hasta comienzos de Mayo de 2007, se registran los siguientes movimientos y novedades:

1. todos los vértices ubicados en Mal Paso, esto es, los extensómetros 1 (M004), 2 (M003) y 3 (M041), los inclinómetros M039 y M040, y el bulón empotrado en roca M032 han experimentado desplazamientos espaciales comprendidos entre 6,2 cm y 8,4 cm. Los descensos en cota oscilan entre 2,6 cm y 5,0 cm.

Todos estos desplazamientos se realizan en la dirección del derrumbe y todos los vectores de movimiento son consistentes entre distintos vértices.

2. El monolito M038 fue golpeado por una roca de un derrumbe que lo sacó de su posición. Luego no es posible en esta oportunidad determinar su desplazamiento. No obstante, tanto este como el M037 no han exhibido evidencias de estar en movimiento.
3. El inclinómetro M016 se desplazó 15 cm en la dirección del derrumbe. Este desplazamiento acumuló en los tres últimos meses 45 cm de movimiento.
4. Existen indicios que el M013 pudo haberse desplazado 3 cm desde Abril de 2003. Dado que este monolito es la referencia para calcular el M014 y el M015 se observa que el impacto sobre la estimación de las magnitudes de los desplazamientos del M014 y el M015 es del orden de 1 cm.
5. Los inclinómetros M019, M022 y M023 continúan desplazándose a lo largo de las mismas trayectorias de derrumbe. Los desplazamientos espaciales han sido de 3,7 cm, 2,4 cm, y 6 cm respectivamente
6. El inclinómetro M014 y el monolito M015 se desplazan en la dirección de movimiento. El inclinómetro M014 avanza espacialmente 1 cm y el monolito M015 avanza 2,3 cm. El monolito M030 muestra un avance de 1,5 cm en la dirección de movimiento. En cota desciende 2,2 cm.
7. El monolito M018 conserva su posición en el último mes.
8. El inclinómetro M036 de Cuesta Chica no cambia significativamente su posición desde la última medición.
9. Los bulones empotrados en las bases del Puente del Río Volcán no muestran señales de movimiento.
10. No existen evidencias sólidas de que existan otros monolitos o inclinómetros en movimiento.

## Conclusiones finales

Las determinaciones de movimiento en el gasoducto Norandino analizadas en la presente tesina se extienden a lo largo de casi 4 años que van desde Abril de 2003 hasta Mayo de 2007.

A lo largo de este período pudo detectarse:

1. Vértices que poseen un movimiento rápido y su desplazamiento pudo ser detectado en la segunda medición o inmediatas subsiguientes. Entre ellos están:
  - a. En la zona del Abra de Zenta, desde PK110.2 a PK111.2: Inclinómetros M023, M022.
  - b. En la zona del Abra de Zenta, Progresiva 110: Inclinómetros M019.
  - c. En la zona de Mal Paso, PK90.5: extensómetros M003, M004 y M041, inclinómetros M039 y M040, bulón empotrado en roca M032.
  - d. En la zona del Río Volcán, PK105: monolito M015.
2. Vértices que poseen un movimiento lento y su desplazamiento es detectado en períodos largos. Caso típico: monolito M018.
3. Vértices que permanecen en reposo hasta una época determinada y luego inician un brusco desplazamiento. Ejemplo: inclinómetro M016 que inicia un brusco movimiento a partir de Febrero de 2007.
4. Vértices en reposo: M001, M002, M005, M006, M009, M010, M011, M012, M017, M020, M021, M024, M025, M026, M027, M028, M029, M031, M033, M034, M035, M036, M037, M038.

En todos los casos, las autoridades del gasoducto fueron notificadas. Se correlacionaron satisfactoriamente estos resultados con otras técnicas de medición (inclinómetros, extensómetros, geopig, strain gauges, etc.) y se tomaron importantísimas medidas de ingeniería, de cambio de traza, contención y prevención en las zonas afectadas.

Esta aparente superabundancia de vértices quietos contrasta con que determinados grupos de vértices (de acuerdo con la división efectuada) ya no poseen referencias quietas en su interior o solo queda 1 vértice. Tal es el caso del grupo de Río Volcán donde al término de la medición de Mayo de 2007 el monolito M013 muestra diferentes absolutas de alrededor de 3 cm, lo que excede la tolerancia. Los otros dos monolitos M014 y M015 poseen desplazamientos sustancialmente mayores con direcciones de movimiento bien determinadas. El paso del tiempo hace suponer que progresivamente todos los monolitos entrarán en movimiento.

El cambio de la referencia adonde medir el movimiento supone determinar desde sitios más lejanos y con mayores diferencias de altura, lo que incrementa los errores sistemáticos. Esto lleva a pensar que la metodología deberá actualizarse apropiadamente tomando en consideración que la velocidad de movimiento de los monolitos exhibe no solo variaciones eventuales bruscas sino que como surge claramente de los gráficos de

desplazamiento, poseen variaciones estacionales. La velocidad aumenta en el verano con las lluvias y el aumento de la carga del suelo que se impregna profundamente por las fuertes precipitaciones.

La utilización de softwares de mejores prestaciones (universitarios) supone una ganancia importante pero requiere costo y capacitación.

No obstante, en el período estudiado, la metodología presentada en esta tesina ha permitido eliminar claramente los errores sistemáticos.

Esta claro que una estrategia elemental hubiera sido adoptar como fijo un vértice y observar los desplazamientos en los otros vértices. Esta metodología tiene el inconveniente de asignar un error cero a la posición del vértice de referencia. En rigor, todos los vértices son observados y en GPS se miden tanto "vectores" como puntos, siendo los primeros una condición derivada del proceso de diferenciación.

La utilización de sencillas transformaciones de 3 parámetros es en cambio un método mucho más apropiado. Es equivalente a comparar figuras, desplazarlas para hacerlas coincidir y desde ese lugar analizar la deformación. Implica tomar como referencia múltiples vértices que conservan una determinada disposición geométrica y observar el movimiento de los que se apartan.

Un aspecto a estudiar en el futuro es la utilización de transformaciones de similitud más complejas. Son preguntas válidas: ¿es aceptable incorporar un factor de escala en la transformación? ¿Es conveniente estimar alguna rotación?

En opinión del autor de esta tesina, un factor de escala solo puede ser relevante en vectores largos y debería de casi nula influencia en vectores de cientos de metros. La otra posibilidad en que puede ser útil es para tomar en cuenta diferencias metodológicas de cálculo. Por ejemplo, para comparar soluciones basadas en la combinación libre de ionósfera y L1 separadamente.

La aplicación de rotaciones puede ser peligrosa, pues puede absorber pequeños cambios en altura y desplazamientos en determinadas zonas por lo que esta posibilidad fue descartada.

El autor de esta tesina, al inicio de sus tareas en Abril de 2003, observó con preocupación la necesidad de tener el menor nivel de diferencias sistemáticas posibles y por ello, conciente del precio de incrementar el ruido de medición optó por producir soluciones libres de ionósfera.

La utilización de un procesamiento de vectores basado únicamente en las fases (software GPPS – opción Widelane) obligó posteriormente en algunas campañas a adoptar soluciones basadas en simple frecuencia (más robustas) debido a que se observó cierta debilidad geométrica en las soluciones (más específicamente en la resolución de ambigüedades).

La metodología de cálculo de movimientos, no obstante, no fue alterada puesto que se estimó a pesar de todo que la diferencia residual remanente del cambio de metodología es de muy pocos milímetros y bien dentro de la tolerancia.

No obstante, estas experiencias permitieron comprobar que la ganancia de adoptar un observable con menor nivel de ruido, era importante a la hora de esclarecer la condición de los monolitos de movimiento lento que fueron surgiendo. Es por ello, que durante el 2005 se adoptaron soluciones exclusivamente basadas en simple frecuencia y a partir de octubre del año 2006 comenzó a emplearse la metodología de ajustes (de mínima condición) de vectores simple frecuencia por sectores, tomando como fijas las coordenadas logradas por una compensación "libre de ionósfera".

Esta solución reúne lo mejor de ambos mundos: mínimo nivel de ruido y menores errores sistemáticos a condición de que las coordenadas no salgan formalmente de un único proceso de compensación.

Por último, cabe mencionar que los elementos de análisis no son exclusivamente las planillas de movimiento y sus gráficos anexos derivados. Es menester prestar atención a las diferencias absolutas de coordenadas y a los parámetros de traslación computados.

La consistencia de las trayectorias de movimiento en consonancia con las pendientes y el descenso de cota fueron otros elementos tomados en cuenta.



## Apéndice A: Base de Datos de Medición GPS

Las horas están expresadas en TU. Debe restarse 3 horas para obtener tiempo local.

Las alturas de antena se encuentran referidas al punto ARP (Antenna Reference Point = Base inferior de la antena).

### Época media: 02 de Mayo de 2007

Fecha	Sesión	Vértice	Altura de Antena	Inicio	Final	Duración
			[m]	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]	[hh:mm:ss]
30/Abril	A	M022	0.220	12:29:20	16:58:00	04:28:40
		M023	0.370	12:10:50	14:36:30	02:25:40
		M024	0.070	13:41:20	15:23:00	01:41:40
		M025	0.060	12:03:10	14:34:30	02:31:20
		M026	0.058	11:47:50	14:31:20	02:43:30
	B	M019	0.365	15:03:50	17:06:10	02:02:20
		M020	0.058	14:55:10	20:32:20	05:37:10
		M021	0.061	14:48:40	18:42:00	03:53:20
		M022	0.220	12:29:20	16:58:00	04:28:40
	C	M024	0.070	13:41:20	15:23:00	01:41:40
		M017	0.060	17:35:50	20:13:10	02:37:20
		M018	0.068	17:26:50	19:23:20	01:56:30
		M020	0.058	14:55:10	20:32:20	05:37:10
M021		0.061	14:48:40	18:42:00	03:53:20	
1/Mayo	A	M030	0.059	17:11:10	17:17:30	00:06:20
		M016	0.060	12:51:40	16:45:50	03:54:10
		M017	0.060	12:45:10	16:43:40	03:58:30
		M021	0.060	12:15:00	14:14:50	01:59:50
		M029	0.059	13:01:10	19:09:40	06:08:30
	B	M030	0.062	12:27:10	14:19:20	01:52:10
		M016	0.060	12:51:40	16:45:50	03:54:10
		M017	0.060	12:45:10	16:43:40	03:58:30
		M018	0.066	14:34:00	16:40:30	02:06:30
	C	M028	0.063	14:53:40	19:15:30	04:21:50
		M029	0.059	13:01:10	19:09:40	06:08:30
		M013	0.066	17:09:40	19:24:20	02:14:40
		M014	0.224	17:06:40	19:23:20	02:16:40
M015		0.060	16:58:40	18:54:20	01:55:40	
2/Mayo	A	M028	0.063	14:53:40	19:15:30	04:21:50
		M029	0.059	13:01:10	19:09:40	06:08:30
		M002	0.062	13:59:40	14:47:40	00:47:60
		M002	0.062	15:37:00	16:54:40	01:17:40
		M005	0.058	14:06:20	17:14:30	03:08:10
		M006	0.060	14:04:20	17:15:30	03:11:10
	B	M007	0.062	14:03:10	16:54:40	02:51:30
		M008	0.057	14:10:40	16:58:40	02:48:00
		M001	0.061	17:51:00	19:58:50	02:07:50
		M002	0.062	17:50:50	19:58:30	02:07:40
M006	0.060	17:35:40	20:06:20	02:30:40		
	M032	0.072	17:51:20	19:51:30	02:00:10	
M037	0.062	17:50:20	19:55:20	02:04:60		
	M011	0.070	11:34:40	16:19:40	04:44:60	
3/Mayo	A	M012	0.066	11:35:10	16:23:10	04:48:00

Determinación de movimientos con GPS en el gasoducto Norandino  
*Darío M. Canosa*

		M013	0.061	12:14:40	14:28:00	02:13:20
		M033	0.062	11:50:10	14:35:40	02:45:30
		M034	0.074	11:54:20	14:28:50	02:34:30
	B	M005	0.059	17:39:20	20:16:40	02:37:20
		M006	0.060	17:40:20	20:16:30	02:36:10
		M011	0.070	17:32:10	20:17:50	02:45:40
		M012	0.066	17:37:30	19:51:20	02:13:50
		M027	0.058	17:07:10	20:51:30	03:44:20
	C	M009	0.066	14:58:40	16:19:30	01:20:50
		M010	0.059	15:03:50	16:21:50	01:18:00
		M011	0.070	11:34:40	16:19:40	04:44:60
		M012	0.066	11:35:10	16:23:10	04:48:00
4/Mayo	A	M001	0.060	12:15:10	15:46:10	03:31:00
		M002	0.056	12:08:00	15:46:00	03:37:60
		M036	0.057	12:59:50	15:31:10	02:31:20
		M038	0.064	11:58:50	15:40:10	03:41:20
		M0A1	0.047	12:48:30	15:38:50	02:50:20
	B	M033	0.062	17:43:20	19:04:30	01:21:10
		M034	0.062	18:00:30	19:15:20	01:14:50
		V001	1.688	17:51:50	19:06:50	01:15:00
		V002	1.462	17:49:20	19:03:30	01:14:10
		V003	1.645	18:03:50	19:15:00	01:11:10