

UN MARCO DE REFERENCIA GLOBAL PARA LA INDUSTRIA PETROLERA. NEUQUEN-ARGENTINA

M. Virginia Mackern^{1,2,3,5} *Luis E. Lenzano*^{1,2,3}, *Ana María Robin*^{1,2,3}
y *María G. Lenzano*^{1,2,4}

¹Instituto de Geodesia y Geodinámica, Universidad Nacional de Cuyo.

²Unidad de Aplicaciones Geodésicas y Gravimétricas- IANIGLA-CRICYT

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

⁴Secretaría de Ciencia y Técnica de la Nación

⁵Facultad de Ingeniería. Universidad Juan A. Maza

vmackern@lab.cricyt.edu.ar, llenzano@lab.cricyt.edu.ar, amrobin@lab.cricyt.edu.ar,
mleznano@lab.cricyt.edu.ar

RESUMEN

La industria petrolera ha requerido desde sus comienzos la georreferenciación de hechos propios en las instancias de exploración (líneas sísmicas, muestreo, mapeos, etc.) y explotación (pozos, plataformas, etc.). Como respuesta a esta necesidad, las empresas, que inicialmente dependían de cada nación donde se desarrollaban principalmente, definieron sistemas de referencia locales. Estos sistemas les permitían planificar y trabajar sobre la cartografía papel de esa época. Así fue el caso de la Argentina con los sistemas locales Chos Malal, Quini Huao y otros, luego ajustados a Campo Inchauspe'69.

En las últimas décadas las necesidades de georreferenciación han cambiado, producto de los avances en la informática y en las comunicaciones, al igual que la coexistencia de proyectos colindantes pertenecientes a empresas extranjeras en un mismo territorio. Esto exige una mayor precisión y la definición de sistemas internacionales. Es así como, independientemente de las exigencias que se presentan en el marco jurídico de cada país, dichas empresas están comenzando a georreferenciar sus sistemas de información a marcos de referencia globales.

En este trabajo se presenta el diseño y ejecución de una red geodésica desarrollada mayoritariamente en la provincia de Neuquén, para la empresa PETROBRAS S.A y su vinculación al Marco de Referencia Terrestre Internacional, a través del uso de la Red de Estaciones Permanentes GPS Argentina.

Palabras claves: Marco de referencia, Red geodésica, GPS, Topografía.

ABSTRACT

Since its beginning the oil industry has required the georeferencing of their own doings in the exploration instances (seismic lines, sampling, mapping, etc) and in the exploitation ones (wells, platforms, etc). As a response to this demand the companies, which would initially depend of the country where they developed their activities, defined local reference systems. They permitted the companies to plan and work on the paper cartography of the time. Such was the case of Argentina with the Chos Malal, Quini Huao and others local systems, later adjusted to Campo Inchauspe'69.

In the last decades georeferencing demands have changed, because of the advances in computing sciences and communications as well as the coexistence of joint projects belonging to foreign companies in the same territory. This requires more precision and the definition of international systems. Which is why, independently from the juridical exigencies of each country, the companies are starting to georeference their information systems to global reference frames.

This work deals with the design and execution of a geodetic net developed in the province of Neuquen for Petrobras S.A., where the International Terrestrial Reference System is materialized through the use of the GPS Permanent Stations in Argentina.

Key words: Reference Frame, Geodetic Network, GPS, Topography.

INTRODUCCION

En las últimas décadas los avances tecnológicos de la informática y de las comunicaciones han generado cambios sustanciales en lo que respecta a la "Georreferenciación". Se podría decir que no hay limitantes en cuanto a precisión y distancias. La utilización del GPS ofrece hoy un posicionamiento preciso sin límites en cuanto a: distancias a medir y precisiones, si analizamos las posibles aplicaciones que la sociedad demanda. Por otro lado, la cartografía digital ofrece productos muy potentes como los llamados GIS, que permiten integrar y vincular información temática diversa y originaria de mas de una fuente. Todos estos productos dependen ineludiblemente de la coordenada correspondiente a la célula de información. La valoración de un sistema se basa en el grado de integración que la información permite, y esto depende del sistema espacial a que refieren las coordenadas mencionadas. La tendencia actual es a referir las coordenadas a sistemas globales.

La comunidad geodésica internacional define los sistemas de referencia geocéntricos globales y su materialización a través de los llamados marcos de referencia terrestres internacionales, ITRF, (Boucher *et al.*, 1999). Estos marcos de referencia tienen densificaciones regionales como por ejemplo la red SIRGAS, Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, (SIRGAS, 1995) y a nivel nacional la red POSGAR98, Posiciones Geodésicas Argentinas (Moirano, 2000)

Las Estaciones Permanentes GPS, EP GPS, materializan también los ITRF, son ejemplo

de esto la red internacional del IGS, Internacional GNSS Service (IGS, 2006), la red IGS RNAAC SIR (IGS Regional Network Associate Analysis Center) en América del Sur (DGFI, 2000) y la red nacional de EP GPS (Mackern, 2005).

Para la densificación del marco de referencia, regionalmente, la tendencia actual, resulta en implementar como puntos de control las EP GPS. Dicha metodología se basa en que tales puntos resultan ser la mejor materialización de los correspondientes marcos de referencia; por tratarse de estaciones que tienen coordenadas, determinadas con la mejor precisión posible para la época y principalmente porque las mismas pueden actualizarse en función de las velocidades geodésicas, que resultan estimadas con muy buena precisión, para las mismas.

En este trabajo se presenta el diseño y ejecución de una Red Geodésica desarrollada, para la empresa PETROBRAS S.A. La misma se ubica parte en la provincia de Río Negro y parte en la provincia del Neuquén, entre los 37° y 39° Sur y 67° y 70° Oeste. (Fig. 1)

Dicha red materializa el sistema de referencia terrestre internacional, a través del uso de la red de estaciones permanentes GPS Argentina y de la EP GPS Santiago, de Chile (Fig. 2).

En el diseño, se consideró que los puntos de la misma se encontrasen dentro de las áreas petroleras de la empresa y que su distribución fuese tal que, cualquier relevamiento a realizar a futuro en dichas áreas, pudiese vincularse a la red mediante vectores cuyas distancias no superasen los 40 km facilitando la medición con equipos GPS mono frecuencia.

DISEÑO Y PLANIFICACION

El diseño de la Red se dividió en tres etapas.

Primera: Búsqueda de antecedentes.

Se analizaron los antecedentes conjuntamente con técnicos de PETROBRAS. A partir de éste se comprendieron los problemas planteados. En función de estas necesidades se elaboraron los objetivos y se propuso un diseño teórico de la Red Geodésica.

Segunda: Definición del Diseño de la red.

Consistió en la selección de puntos que conformarían la red. Se seleccionaron puntos existentes pertenecientes a otras redes geodésicas y se definieron los emplazamientos geográficos de los nuevos puntos a materializar. Los mismos debieron cumplimentar los siguientes parámetros de homogeneidad preestablecidos:

Ubicación. Debían encontrarse dentro de las áreas de PETROBRAS o en su defecto muy cercanos a ellas.

Longitud de los vectores. Las distancias entre puntos debían tener entre 10 y 80 km.

Vínculos. Cada punto debía vincularse, como mínimo por dos vectores a la red, en lo posible tres o más.

El diseño quedó conformado por 23 puntos, 9 existentes y 14 nuevos a monumentar. El promedio general de vectores vinculantes por punto fue de tres, marco que dio por resultado una figura consistente que permitiría lograr las precisiones preestablecidas.

Definido el diseño geométrico se establecieron los parámetros de precisión "a priori". Se estableció una tolerancia máxima en el error estándar de las coordenadas de $\pm 0,050$ m.

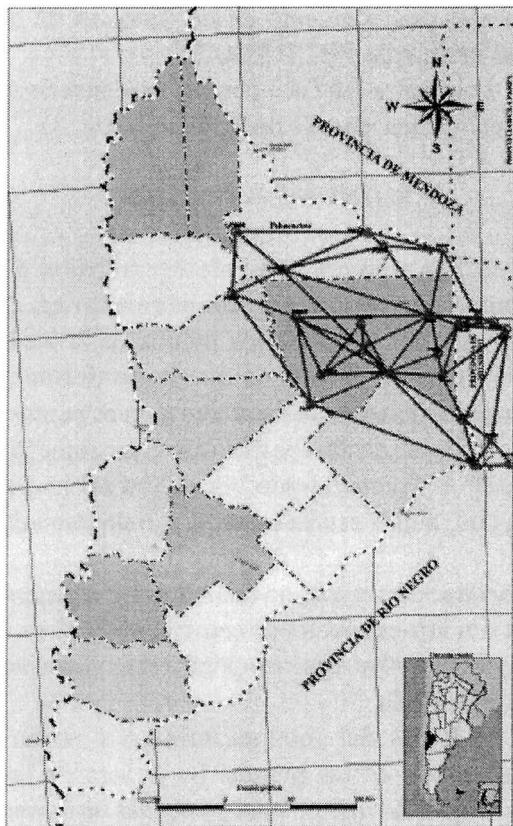


Figura 1. Red Geodesica Petrobras - Neuquén

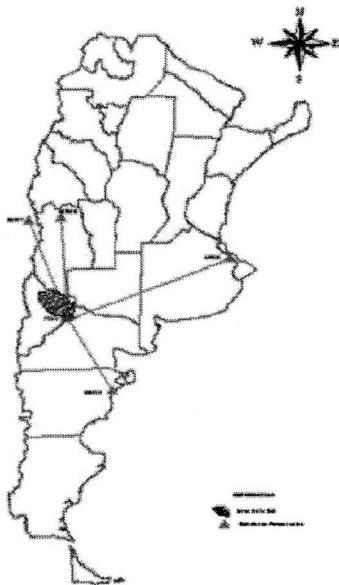


Figura 2. Red Geodésica Petrobras. Vinculación a Estaciones Permanentes

Tercera: Definición del Marco de referencia o control.

Siendo que se requería de un marco compatible con SIRGAS (Sistema de Referencia Geodésico para las Américas), se adoptó POSGAR98, ya que como se ha demostrado en (Moirano, 2000) y (Mackern, 2003), es el mejor marco de densificación de SIRGAS disponible hasta la fecha, en la región. Considerando las ventajas de adoptar como referencia un Marco Activo (Mackern, 2005), se decidió vincular al marco de referencia a través de las EP GPS que materializan a POSGAR98. Entre las que estaban operativas a la fecha de la medición, se seleccionaron aquellas más cercanas a la red.

Resultaron utilizadas:

MZAC: Ubicada en la Ciudad de Mendoza - CRICYT

LPGS: Ubicada en La Plata - Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas

RWSN: Dirección de Catastro, Chubut

SANT: Ubicada en Santiago, Chile.

Quedó conformada una subred de vinculación entre 16 puntos de la red en cuestión y las cuatro EPGPS mencionadas. Para esto los 16 puntos elegidos resultaron ser las bases

para el procesamiento de los vectores de la red interna de PETROBRAS.

Las cuatro EP GPS permitieron generar 4 vectores mas por día de medición (Fig. 3).

MONUMENTACION

Como primera etapa de los trabajos de campo. Se realizó el reconocimiento en el terreno, del 100% de los puntos de la Red. Del total de 23 puntos que la conforman, fueron monumentados catorce nuevos puntos. La materialización consistió en un monumento de H° A° "premoldeado", de 0,20m x 0,15m x 0,45m, donde estaba incorporado un tetón de bronce identificador del punto. Elegido el lugar donde se ubicaría dicho monumento, se generó in situ una estructura de cemento de 0,50 m x 0,50 m x 0,70 m, que incorporaba al monumento premoldeado.

Además del reconocimiento y monumentación de los puntos. Se generaron las monografías que permiten acceder en forma rápida y sencilla a los mismos (Fig. 4).

Estos trabajos fueron realizados por una comisión formada por un profesional de la agrimensura, dos ayudantes y un vehículo. El tiempo de campo fue de 4 cuatro días.

SEÑALIZACION

Además de la monumentación, se realizó la señalización de todos los puntos de la red. Ésta consistió en instalar una señal de caño de sección cuadrada de color blanco, indicando en color azul la nomenclatura del punto. La distancia entre esta señal y el punto varía entre dos a cuatro metros, dependiendo de las características del terreno.

MEDICION

La medición de la red se realizó con tecnología GPS, en método **Estático Dife-**

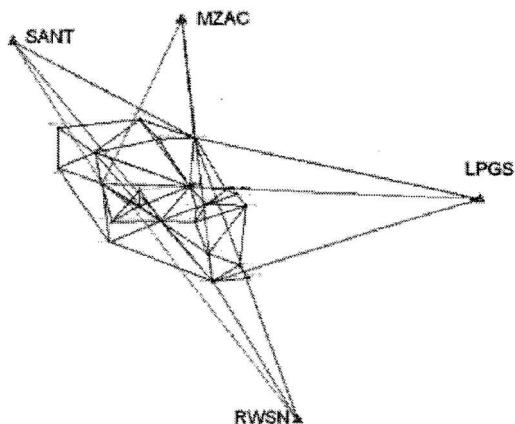


Figura 3. Vinculación de la red a EPGPS

Red GPS PETROBRAS P012 ANELO MONOGRAFIA

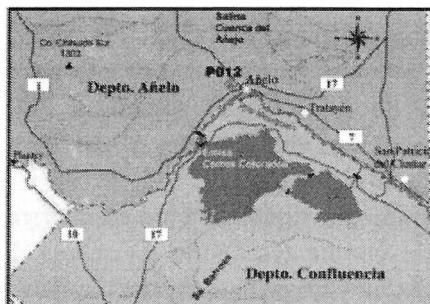
Ubicación Geográfica

Identificación: P012
Nombre Histórico: ANEL
Monumento: PETROBRAS
Ubicación: Neuquén

Coordenadas del Punto Marco de Referencia POSGAR 98 Geodésicas

Latitud: $-38^{\circ} 19' 50.69''$
Longitud: $-68^{\circ} 49' 45.74''$
Planas Gauss - Kruger
X = 5.757.741,02 m Y = 2.514.919,06

Descripción del sitio: Partiendo de la estación de servicio YPF, progresiva 0,0 km, en la ciudad de Anelo se llega a la intersección de las rutas provinciales N° 7 y N° 17, progresiva 0,6. Por ruta Provincial N° 7, en la progresiva 3,3 km, se encuentra la tranquera, entrada directa al punto. Esta tranquera permanece siempre cerrada, hay que seguir por esta huella y recorriendo aprox. 700 m se llega al punto P012. El P012 se encuentra a 7 m del punto denominado ANEL (IGM-III-II-518-Anelo), perfectamente observable desde ruta N° 7. Torre de 10m de altura. Dicho punto trigonométrico tiene el monumento totalmente destruido.



Fotos del sitio

Croquis de Ubicación y detalle

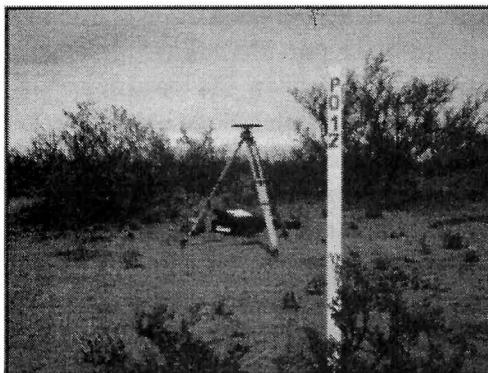
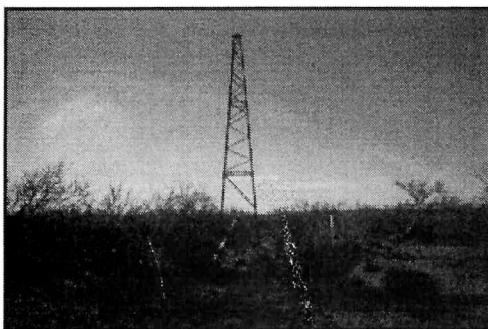
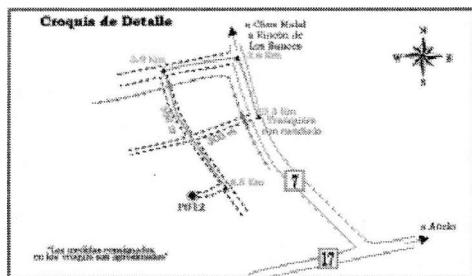
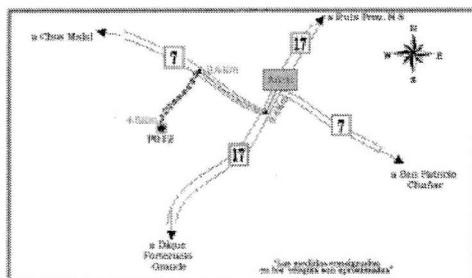


Figura 4. Monografías

rencial, en base a un esquema prefijado de sesiones. Se conformaron tres comisiones con un receptor geodésico doble frecuencia cada una. Se realizaron dos sesiones diarias. En todos los casos se midieron sesiones con no menos de 2 horas de duración dependiendo de la longitud del vector.

En los casos que los receptores estuvieron en un punto que sería parte de la vinculación a estaciones permanentes GPS, las sesiones fueron de entre 8 a 12 horas. El intervalo de registro de datos fue 15 segundos. PDOP máximo 4, cantidad mínima de satélites 6, máscara de elevación 10° .

Se midieron rigurosamente en el terreno las correspondientes alturas de antena. Las observaciones fueron descargadas diariamente de los receptores y fueron enviadas a Mendoza a través de una cuenta "ftp", para su posterior procesamiento en el Centro de cálculo. Se midieron 65 vectores en 21 días, remidiendo solamente cuatro vectores, es decir el 6 %.

PROCESAMIENTO

De acuerdo con la metodología propuesta se generaron dos tipos de vectores: Los pertenecientes a la Red Geodésica y los de vinculación al Marco de Referencia.

Para el caso de la Red Geodésica, se partió de las observaciones originadas en el campo. Como punto de partida o base del procesamiento, se usaron las coordenadas geodésicas (en el sistema POSGAR98) de la Estación Permanente GPS MZAC.

Desde ésta, se procesó el vector MZAC-PE00 (punto de la red ubicado en la ciudad de Neuquén) y a partir de allí se continuó el procesamiento de los demás vectores.

En el procesamiento se consideraron los siguientes aspectos:

– Las ambigüedades debían ser fijadas.

– Desviaciones estándar de las coordenadas no debían superar los 0.020 m.

– Los RMS de las observaciones no debían superar el valor de 0.05 m.

– Los residuos de los observables debían ser menores a 0.1 de ciclo.

– Se consideraron sólo vectores independientes.

Para lograr estas condiciones, en algunos casos se eliminaron por vector algunos satélites, en otros fueron omitidos como satélites de referencia.

Para el caso de los vectores de vinculación con EP GPS, se procesaron 68 vectores. Los archivos de observaciones de las EP de Argentina (MZAC, RWSN, LPGS), fueron bajadas del sitio de Internet de RAMSAC, Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo, (<http://ramsac.igm.gov.ar/ramsac/>) y los de SANT del sitio SOPAC, Scripps Orbits and Permanent Arrays Center, (<http://sopac.ucsd.edu/dataArchive/dataArchiveDoc.html>)

AJUSTE DE LA RED GEODESICA E INTRODUCCION DEL MARCO DE REFERENCIA

Debido a la diferente geometría entre la red de PETROBRAS (vectores de entre 15 y 100 km) y los vectores de vinculación a las EP GPS (entre 600 y 1100 km) se decidió realizar el ajuste de la red de vectores en dos procesos separados:

1. Ajuste de la red de vinculación. Introducción del marco de referencia

2. Ajuste de la red de Petrobrás

El primero tuvo como objetivo determinar coordenadas precisas en POSGAR98 de puntos de la Red, a partir de su vinculación a EP GPS. En una segunda etapa se procedió a realizar el ajuste de los 65 vectores de la red, considerando como puntos de control los determinados en el ajuste de vinculación.

A continuación se detallan estas dos etapas de ajuste.

1. Red de vinculación. Introducción del marco de referencia.

Para vincular al marco de referencia se utilizó la Infraestructura de la red nacional de Estaciones GPS Permanentes, como así también de la red IGS (International GNSS Service), cuyos datos fueron bajados de los correspondientes sitios de internet.

Se procesaron vectores entre las EP GPS con aquellos puntos de la red, que por día fueran considerados BASE (midiendo en sesiones de entre 5 y 24 hs.), de esta forma quedó conformada la denominada Red de Vinculación con un total de 68 vectores.

Las coordenadas de las EP GPS utilizadas como control fueron las referidas al marco POSGAR98. Las mismas pueden consultarse en (http://ar.groups.yahoo.com/group/est_gps_perm/).

La Figura 5-a muestra la precisión relativa de esta red de vinculación medida a partir de las desviaciones estándar de los vectores.

En la misma se puede observar que la precisión relativa varía entre 3 y 6 cm, resultando una red de precisión muy homogénea tanto en su comportamiento planimétrico (desvíos en latitud y longitud) como en el correspondiente altimétrico, resultando este último un poco mayor que el anterior.

Si analizamos la frecuencia de ocurrencia (Fig. 5-b) vemos que en el 80% de los casos la desviación estándar en la estimación tanto planimétrica como altimétrica fue de entre 3 y 4 centímetros quedando sólo con precisiones

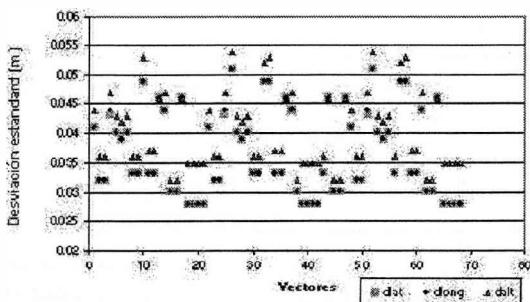


Figura 5a. Precisión relativa- Vectores

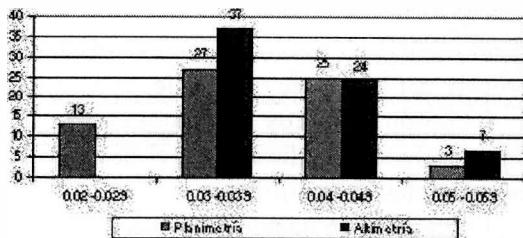


Figura 5b. Desviación estándar de los vectores. Frecuencia de ocurrencia

de entre 5 y 6 cm, un 4% y 10% de los casos en planimetría y altimetría respectivamente.

2. Ajuste de la Red Geodésica PETROBRAS

Una vez realizado el ajuste de la red de vinculación fueron seleccionados los puntos que servirían de control para ajustar la Red en cuestión. En la selección se tuvo en cuenta: que presentasen una sobre-ocupación de 4 o más días, sesiones de no menos de 10 hs y que tuviesen una distribución estratégica con respecto a sus vínculos con la red a ajustar y los demás puntos elegidos. Los puntos elegidos resultaron ser: PE00, P003 y P008. Las coordenadas estimadas en el ajuste anterior fueron consideradas como coordenadas fijas para el ajuste de la misma.

El ajuste tanto de la red de Vinculación como de la Red Geodésica PETROBRAS, se realizó con el software comercial Fillnet - PRISM -.

RESULTADOS

Se realizó un análisis de la precisión de la red ajustada y de la deformación que la misma había sufrido al introducir el marco de referencia. Estos resultados fueron evaluados a partir de una comparación entre las coordenadas obtenidas de un ajuste cuasi libre (un punto fijo) con las coordenadas resultantes de fijar la red a los 3 puntos de control. Dicha comparación se realizó luego de aplicada una transformación de Helmert de 7 parámetros

(transformación de Similaridad) de manera de eliminar del análisis los efectos sistemáticos propios del Marco de referencia.

Dejando sólo los correspondientes a deformaciones introducidas por el ajuste a tales coordenadas de control.

En la Figura 6 se pueden ver los residuos provenientes de tal comparación. En un 50% de los puntos la deformación es menor que 5 mm, para un 30% la misma se encuentra entre 5 y 10 mm. Siendo sólo para un 15% entre 10 y 15 mm y para un 5% mayor a 15 mm. Cabe mencionar que en toda la red la deformación es menor que la precisión interna de la misma (Fig. 7). El error medio cuadrático de tal deformación resulta en ± 2 mm en las coordenadas Norte y Este y de $\pm 0,2$ mm para las alturas.

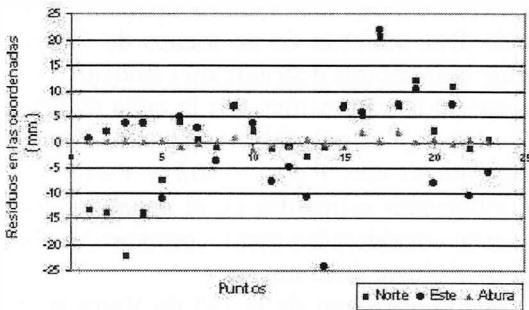


Figura 6. Deformación Introducida a la red por su ajuste al marco de referencia

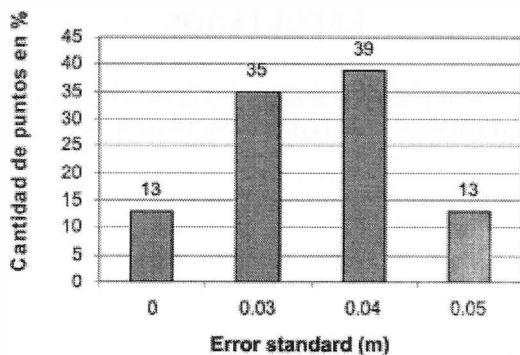


Figura 7. Precisión de las coordenadas

Precisión de las coordenadas resultantes.

En la Figura 7 se muestra que la precisión de las coordenadas resultantes es en el 87% de los casos mejor que 0,05m, resultando sólo 4 puntos con un estimador de error de 0,05 m.

Importancia de la sobre ocupación.

Es importante mencionar que las precisiones obtenidas tanto en el esquema de vinculación como en la Red Geodésica resultante fueron posibles gracias al tiempo prolongado de medición y principalmente al gran porcentaje de sobre ocupación de estaciones. Esto permitió una estimación más realista de la precisión, ya que a la precisión interna de la red se sumó la precisión externa que depende de factores extrínsecos variables en el tiempo como condiciones ionosféricas y troposféricas, características de la puesta en estación de la antena receptora, constelación de satélites, etc.

En la Figura 8 se muestra que sólo un 15% de los puntos tuvieron una sola ocupación, mientras que un 11% tuvieron dos sesiones diarias. A un 30% y a un 22% le correspondieron 3 y 4 días respectivamente. Incluso en un 4% y 5% llegaron a tener hasta 6 y 7 días respectivamente de ocupación

CONCLUSIONES

Por todo lo antes mencionado la Red resultante, podemos decir que es homogénea y consistente, reúne las exigencias de precisión preestablecidas por la empresa y por lo tanto cumple ampliamente con los objetivos perseguidos a tal fin.

A partir de los resultados obtenidos se confirma una vez mas la hipótesis de que las Estaciones Permanentes GPS ofrecen el mejor marco de referencia en la realización de densificaciones locales por las mejoras que introducen a las redes en cuanto a la sobreocupación de puntos, calidad y cantidad de observaciones, exactitud de las coor-

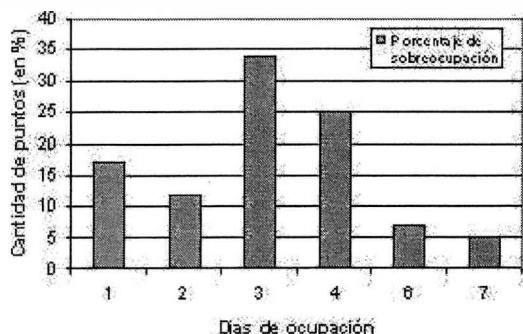


Figura 8. Porcentaje de sobreocupación

denadas de control, entre otras (Mackern, 2003).

Finalmente en lo que respecta a la metodología de ajuste implementada se comprueba la conveniencia de realizar un ajuste de vinculación entre los puntos de control (EP GPS) y puntos de vinculación de la red en cuestión, para luego con coordenadas ajustadas de estos últimos realizar el ajuste final de la red objeto de densificación. Esta metodología, empleando marcos de referencia de gran precisión, asegura la introducción del marco de referencia en forma precisa sin generar deformaciones a la red. Cabe mencionar que la misma requiere de un análisis minucioso como el presentado por Mackern (Mackern, 2003).

Agradecimientos: Al Instituto CEDIAC, en especial al Ing. Mauro Blanco, Ing. Leonardo Eullliades y al Téc. Gabriel Cabrera. Al Ing. Fernando Yañez y a la Téc. María Elena Soler. A los alumnos Martín Oro y Fabián Diaz. A PETROBRAS, en especial a la Téc. Sylvia Colonna.

REFERENCIAS

Boucher C., Z. Altamimi, P. Sillard, The 1997 International Terrestrial Reference Frame (ITRF97), IERS Paris, Technical Note No. 27,1999.

DGFI, http://dgfi2.dgfi.badw-muenchen.de/dgfi/WWW/D/d2_en.html , 2000

IGM, Disposición Permanente N° 13/97, Instituto Geográfico Militar, Buenos Aires, 1997.

IGS, <http://igsceb.jpl.nasa.gov/>, 2006

Mackern M.V., Materialización de un sistema de referencia geocéntrico de alta precisión mediante observaciones GPS. Tesis doctoral. Facultad de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. UN de Catamarca. 2003.

Mackern M.V., Redes de estaciones permanentes GPS. Una respuesta al problema de materializar el sistema de referencia terrestre. Academia Nacional de Ingeniería. Premio Baglietto 2004. Bs.As. 2005

Moirano J., Materialización del Sistema de Referencia Terrestre mediante observaciones GPS. Tesis doctoral. FCAG. UNLP. 2000.

RAMSAC. <http://ramsac.igm.gov.ar/ramsac/>

SIRGAS. <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/sirgas/principal.htm> , 2006.