

## GPS in the georectification of high spatial resolution satellite images

**Hermógenes D. Suárez A., Darío A. González F., Giovanni A. Royero O.,  
Melvin J. Hoyer R. y Eugen J. Wildermann**

*Laboratorio de Geodesia Física y Satelital (LGFS), Departamento de Geodesia Superior,  
Escuela de Ingeniería Geodésica, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia.  
Apartado Postal: 526, Maracaibo 4011-A, Venezuela. Telf.: 011-58-261-7189712.  
hsuarez@luz.edu.ve, groyero@luz.edu.ve, mhoyer@luz.edu.ve.*

### Abstract

The digital image's raw format contains geometric distortions originated at their acquisition. They required a georectification process, which needs some ground control point clearly recognized in both, the satellite image and the corresponding terrain position too. This allows transforming the image to map information data with the geometric integrity. The potential of several GPS procedures applicated in the georectification of high spatial resolution images (IKONOS) is show. The fast-static using one and two frequencies receivers, kinematic and RTK procedures are evaluated.

**Key words:** Georectification, IKONOS, GPS, ground control points.

## GPS en la georrectificación de imágenes satelitales de alta resolución espacial

### Resumen

Las imágenes digitales en su formato original poseen distorsiones, entre ellas geométricas que se originan en el momento de su adquisición. Para corregirlas es necesario aplicar un proceso denominado georrectificación el cual requiere de puntos de control terrestre claramente identificables tanto en la imagen como en el terreno, permitiendo obtener un producto con la integridad geométrica de un mapa. La investigación se enfoca en determinar la potencialidad de las diversas modalidades observacionales GPS aplicadas en el proceso de georrectificación de imágenes de alta resolución espacial (IKONOS). En el estudio se evalúan los procedimientos estático rápido de una y dos frecuencias, cinemático y RTK.

**Palabras clave:** Georrectificación, IKONOS, GPS, puntos de control terrestre.

### Introducción

Las imágenes digitales satelitales en su formato original poseen distorsiones geométricas, entre otras. Para corregir estas distorsiones es necesario aplicar un proceso denominado georrectificación, en el cual se requieren puntos de control terrestre (PCT) [1]. Existen diversas maneras para generar los PCT. En la actualidad, la técnica comúnmente empleada para su generación es el Sistema de Posicionamiento Global

(GPS) [2]. La aplicación del GPS para la georrectificación de imágenes satelitales de baja resolución espacial ha sido ampliamente estudiada en investigaciones previas [3].

El presente trabajo consiste en evaluar y analizar la potencialidad de las diversas modalidades observacionales GPS en la generación de PCT de alta precisión usados para la georrectificación de imágenes de alta resolución espacial. El trabajo aborda la medición y procesamiento de los procedimientos observacionales GPS estático

rápido de una y dos frecuencias, cinemático y RTK [4]. Se analiza el impacto de estos procedimientos en los resultados de la georrectificación y se presenta la técnica cinemática como una potencial alternativa para la validación del proceso de georrectificación de imágenes de este tipo.

Para el desarrollo de la investigación se dispuso de 1 imagen de la plataforma IKONOS, propiedad de PDVSA. Ésta cubre un área de  $121\text{km}^2$  ( $11\text{km} \times 11\text{km}$ ) que se encuentra al norte de la ciudad de Maracaibo, Edo. Zulia, limitada aproximadamente por los paralelos  $10^{\circ}54'03''\text{N}$  y  $10^{\circ}47'57''\text{N}$  y los meridianos  $71^{\circ}52'57''\text{W}$  y  $71^{\circ}46'51''\text{W}$ . Se trata de una imagen pancromática tipo GEO con resolución espacial de 1m, datum asociado el WGS-84 y una distorsión geométrica de  $\pm 25\text{m}$  [5] (Figura 1). Para las mediciones GPS de los PCT se contó con 3 receptores de doble frecuencia marca Ashtech modelo Z-Surveyor [6] pertenecientes al Laboratorio de Geodesia Física y Satelital de la Universidad del Zulia (LGFS-LUZ) y 3 unidades marca Trimble de una frecuencia pertenecientes a PDVSA, 2 de ellos modelos Geoexplorer<sup>®</sup> II [7] y 1 tercer modelo Geoexplorer<sup>®</sup> 3 [8].

### Parte Experimental

La parte experimental del trabajo contiene dos secciones principales. La primera describe las diferentes mediciones GPS realizadas sobre un grupo de PCT seleccionados y se analizan sus resultados. La segunda sección describe las pruebas que se realizaron para determinar la influencia de los resultados GPS sobre la georrectificación de la imagen IKONOS.

#### Mediciones GPS

Previo a la ejecución de las mediciones GPS se realizó un análisis visual de la imagen IKONOS con la finalidad de seleccionar los PCT. Para ello se usó el módulo Focus del software Geomatica V.8.2.1 [9] bajo rigurosos criterios de selección [1]. El objetivo fundamental de las mediciones GPS fue determinar de manera precisa las coordenadas de los PCT seleccionados. Como estación de referencia o base, se seleccionó un punto ubicado en el área central de la imagen. Este nuevo punto denominado BASE, se midió de forma estática con receptores GPS Ashtech Z-Surveyor durante 3h, con un ángulo de corte de  $10^{\circ}$  y 5s de

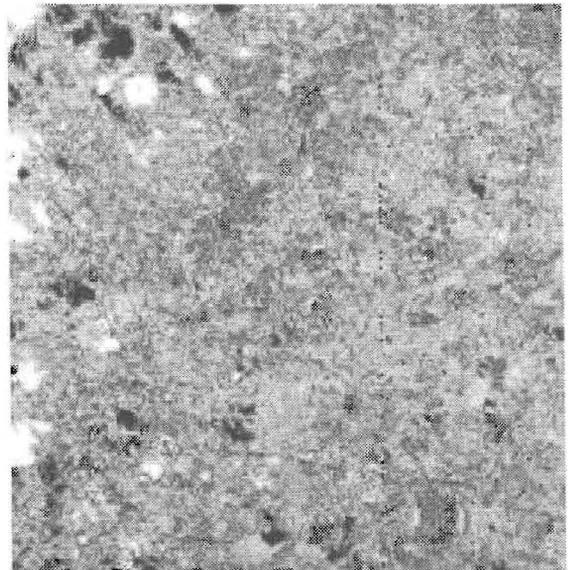


Figura 1. Imagen IKONOS.

intervalo de grabación y se vinculó con la estación de observación permanente MARA que pertenece a la Red Geocéntrica de Venezuela REGVEN [10].

La medición GPS de PCT se ejecutó en 4 fases y donde se aplicó para cada una de ellas un procedimiento de medición diferente [11]. En la FASE-1 se midieron 16 PCT bajo la modalidad estático rápido con receptores Ashtech Z-Surveyor de doble frecuencia. En la FASE-2 se levantaron 25 PCT bajo la modalidad estático rápido con receptores monofrecuenciales Trimble Geoexplorer II. Estos receptores poseen dos opciones de observación, alta y baja precisión. Se midieron 15 PCT en alta precisión y 10 en baja. De estos 25 PCT, 16 fueron comunes con la fase anterior. En la FASE-3 se midieron 37 PCT en tiempo real RTK, mientras que la FASE-4 tuvo como objetivo hacer mediciones cinemáticas sobre algunas vías de comunicación identificables en la imagen, con la finalidad de servir como información para verificar y evaluar la calidad geométrica de la imagen una vez georrectificada.

La Tabla 1 muestra los parámetros de medición aplicados para cada fase, el número de PCT y el número de días empleados para la ejecución de las respectivas mediciones. En todos los casos las líneas bases siempre fueron menores a 10km, lo que para mediciones de tipo estáticas rápidas garantiza resultados centimétricos [12].

### Procesamiento GPS

Para el procesamiento de la estación BASE se usó el software científico Bernese V.4.2 [13] con efemérides precisas. Los RMS de las coordenadas se determinaron con una calidad de  $\pm 5\text{mm}$ . Sin embargo, considerando que BASE es un punto vinculado a la estación MARA cuya exactitud es de  $\pm 2\text{cm}$  [10], se puede estimar que la exactitud real de las coordenadas de este punto nuevo es ligeramente menor a la de la estación MARA debido a la propagación de errores [14].

FASE-1: las mediciones estáticas rápidas de doble frecuencia se procesaron con el software Ashtech Office Suite V.1.6 [15] aplicando efemérides precisas. Para estas mediciones se generaron 3 soluciones diferentes variando la duración de la sesión. Una solución corresponde a una sesión de 15min, otra de 10min y la última de 5min. En la Figura 2 se presentan los RMS de las 3 soluciones para los 16 PCT, donde la secuencia de puntos está ordenada de forma ascendente de

acuerdo a la longitud de la línea base, esto con la intención de detectar algún patrón que relacione los RMS con la longitud de las mismas [16].

En la parte superior de la Figura 2 se observa que el máximo RMS registrado apenas alcanzó los  $\pm 1,4\text{cm}$ . En la parte inferior se graficaron líneas de tendencia con el software GMT [17]. Éstas muestran un comportamiento creciente de los RMS a medida que aumenta la longitud de las líneas bases y un leve aumento de los RMS en la medida que disminuye la duración de la sesión.

FASE-2: el procesamiento de los datos estáticos rápidos de una frecuencia y generados con receptores Trimble Geoexplorer® II se realizó con el software Trimble Pathfinder [18]. Se aplicaron dos tipos de procesamiento, uno para las observaciones de baja precisión usando el código C/A y otro de alta precisión usando la fase de la portadora  $L_1$ . No se usaron efemérides precisas ya que el software no poseía esta opción.

Tabla 1  
Parámetros de medición

Fases	Intervalo de grabación	Máscara de elevación	Duración de la sesión	Tipo de señales	# días de medición	# de PCT
FASE-1	5s	$10^\circ$	15min	$L_1, L_2$	1	16
FASE-2	5s	$10^\circ$	15min	$L_1, C/A$	1	25
FASE-3	1s	$10^\circ$	20s	$L_1, L_2$	1	37
FASE-4	1s	$10^\circ$	33min	$L_1, L_2$	$\frac{1}{2}$	1 trayectoria

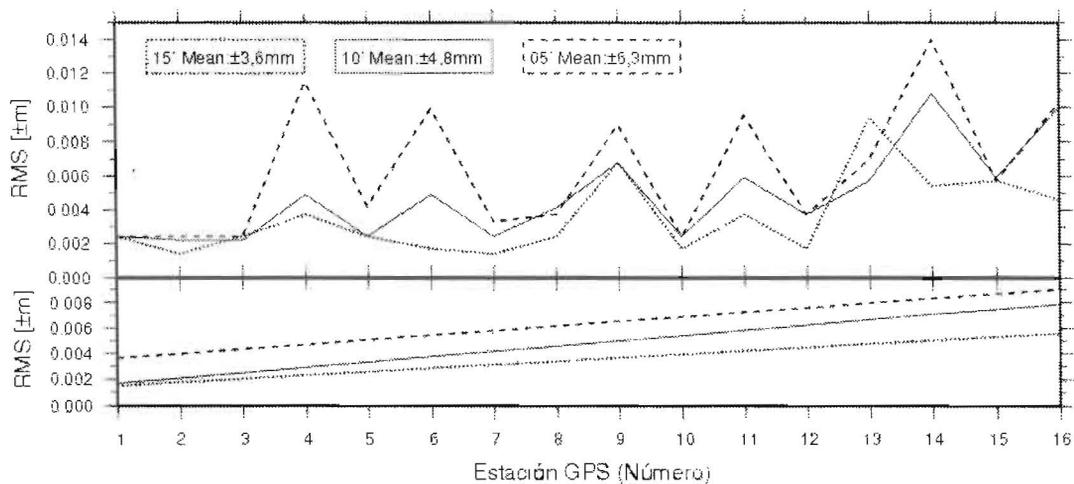


Figura 2. RMS de las mediciones estático rápidas (dos frecuencias).

En la Figura 3, se puede observar la degradación de calidad que sufren las coordenadas cuando se aplica la modalidad de baja precisión. Estas coordenadas presentaron RMS en el orden de  $\pm 1,46\text{m}$  para las observaciones de código C/A, mientras que para la portadora L1 de  $\pm 0,26\text{m}$ .

FASE-3: esta fase no requirió procesamiento, sus coordenadas se determinaron directamente en campo (en tiempo real) [16]. En un día de mediciones RTK, se levantaron 37 PCT y se obtuvieron coordenadas con un RMS máximo que alcanza los  $\pm 3\text{cm}$ . Esto evidencia la gran ventaja de este método para levantamientos masivos de alta precisión.

FASE-4: se procesó la trayectoria cinemática con el software Ashtech Office Suite V.1.6. Esta trayectoria fijó ambigüedades usando el al-

goritmo OTF (On The Fly) [19] obteniendo RMS menores a los  $\pm 30\text{cm}$  y ambigüedades fijas para todas sus posiciones.

En la Figura 4, se presenta el comportamiento que relaciona los RMS y el número de satélites. Se observa que la pérdida de uno o más satélites genera un aumento directo de los RMS, "efecto espejo" [9]. La Tabla 2 presenta un resumen estadístico relacionado a los RMS finales de cada modo de medición GPS. Se muestran los RMS máximo, promedio y mínimo.

### Aplicación de las coordenadas GPS en la georrectificación

En esta sección se discutirán diferentes pruebas de georrectificación que se realizaron sobre la imagen IKONOS usando PCT derivados de

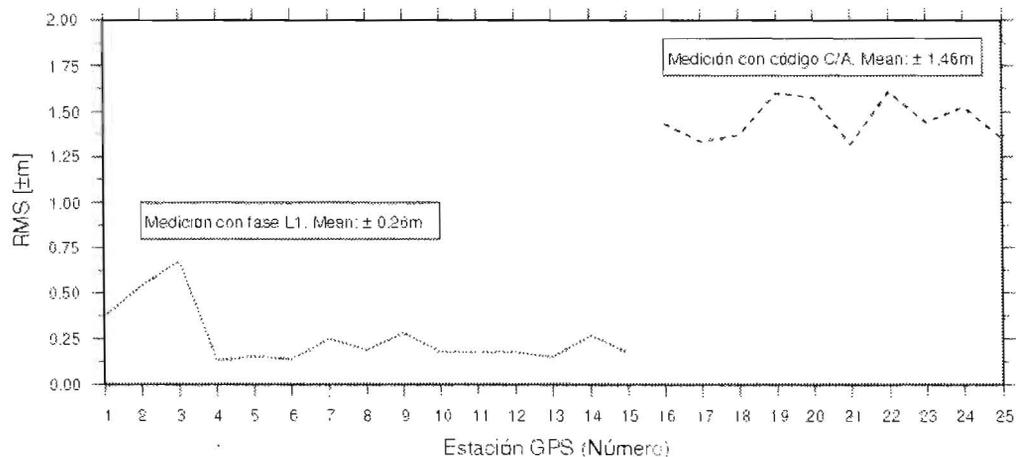


Figura 3. RMS de las mediciones estático rápido (una frecuencia).

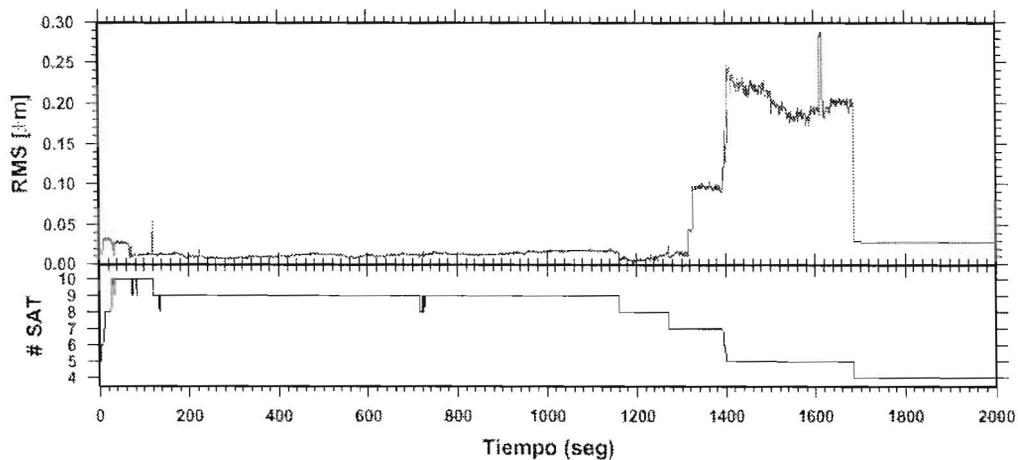


Figura 4. RMS vs. Número de satélites en la trayectoria cinemática.

Tabla 2  
Precisión de las coordenadas GPS de acuerdo al modo de medición

Modo de Medición	# PCT	RMS max. (m)	RMS med. (m)	RMS min (m)
Estático Rápido de 15min	16	±0,0094	±0,0036	±0,0014
Estático Rápido de 10min	16	±0,0108	±0,0048	±0,0022
Estático Rápido de 05min	16	±0,0140	±0,0063	±0,0024
Tiempo Real RTK	37	±0,03	±0,02	±0,013
Estático Rápido (L <sub>1</sub> )	15	±0,677	±0,26	±0,134
Estático Rápido (C/A)	10	±1,609	±1,46	±1,319
Trayectoria Cinemática	-	±0,29	±0,05	±0,002

los diferentes procedimientos de observación GPS. Para el procesamiento de la imagen se aplicó el módulo OrthoEngine del programa Geomatica V.8.2.1 [9].

Para todos los experimentos se aplicó el polinomio de 3<sup>er</sup> orden por ser el que mejor resuelve las distorsiones geométricas presentes en esta imagen, como se comprobó en investigación previa [1]. Además, se debe considerar que la influencia de la distribución espacial de los PCT para todas las pruebas es la misma, ya que se trata de la misma muestra de PCT para todas (Figura 5).

#### Georrectificación con GPS de una y dos frecuencias

Se comparó y evaluó el efecto que genera en la georrectificación la aplicación de 16 PCT provenientes de receptores GPS de una y dos frecuencias. En la Tabla 3 se observa que los residuales (RMS) de la georrectificación con PCT de dos frecuencias fueron menores a ±0,61m. Los 16 PCT de una frecuencia provienen de una muestra mixta de alta y baja precisión, de los cuales 6 fueron medidos con baja precisión y precisamente estos 6, fueron los que resultaron con RMS mayores al tamaño del píxel (1m).

#### Georrectificación variando la duración de las sesiones GPS.

El segundo experimento consistió en evaluar y analizar los efectos que genera en la georrectificación la disminución progresiva del tiempo de observación GPS. Se compararon los RMS de la georrectificación aplicando 16 PCT genera-

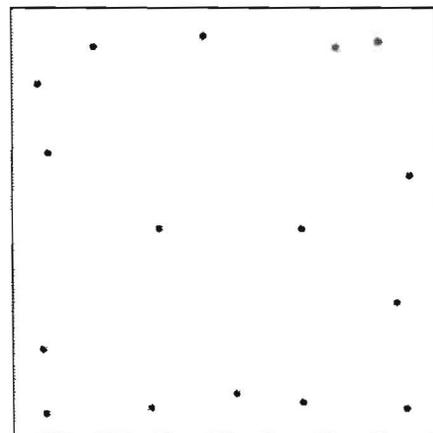


Figura 5. Ubicación de los PCT.

Tabla 3  
RMS de la georrectificación con GPS de una y dos frecuencias

Receptor	Una frecuencia	Dos frecuencias
RMS min. (m)	±0,10	±0,11
RMS med. (m)	±1,38	±0,30
RMS max. (m)	±1,83	±0,61

dos con receptores de doble frecuencia con 15, 10 y 5 minutos de duración y los mismos 16 PCT medidos con RTK.

La Tabla 4 muestra como al disminuir la sesión aumentaron levemente los RMS de la georrectificación, sin embargo, estas diferencias de pocos centímetros no representan cambios sus-

Tabla 4  
RMS de la georrectificación variando los tiempos de observación GPS

Sesión	15min	10min	5min	RTK
RMS min. (m)	±0,11	±0,08	±0,10	±0,08
RMS med. (m)	±0,30	±0,34	±0,38	±0,41
RMS max. (m)	±0,61	±0,67	±0,76	±0,68

tanciales para la imagen lo cual demuestra la posibilidad de minimizar el tiempo de observación hasta los 5min.

La georrectificación con PCT levantados con RTK también proporcionó muy buenos resultados, incluso mejores que los del estático rápido de 5min, resaltando además que bajo esta modalidad el nivel de producción de PCT es mucho más alto que el de las mediciones estático rápidas.

### GPS para la evaluación de imágenes georrectificadas

Se utilizaron las mediciones cinemáticas para verificar y comprobar la calidad geométrica de la imagen IKONOS, georrectificada por las diferentes pruebas realizadas. Para ello se graficó la trayectoria cinemática sobre cada imagen ya georrectificada usando el modulo Focus. Esta metodología permitió comprobar que los resultados de la georrectificación donde se aplicaron los PCT de las FASES 1 y 3 fueron óptimos, mostrando una imagen cuyos píxel coincidían con la posición de la trayectoria cinemática GPS correspondiente (Figura 6). La trayectoria cinemática no coincidió en algunos sectores con la imagen georrectificada con PCT de la FASE-2.

La gran ventaja de estas trayectorias cinemáticas es que permiten identificar y detectar distorsiones geométricas en la imagen, remanentes del proceso de georrectificación. Además, el costo de producción de estas trayectorias resulta más bajo que cualquier otro procedimiento observacional GPS con fines de control y evaluación masiva de las imágenes.

### Conclusiones

La calidad de la georrectificación depende directamente de la exactitud de las coordenadas de los PCT, de modo que, cuanto menos exactas sean las coordenadas GPS, menor será la calidad de la

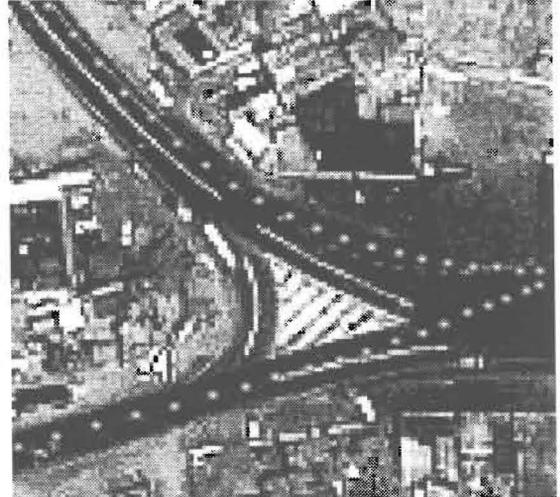


Figura 6. Mediciones cinemáticas sobre imagen georrectificada.

georrectificación. En este sentido, los mejores resultados para la georrectificación de la imagen de prueba se obtuvieron con la aplicación de PCT levantados con receptores de doble frecuencia.

Para imágenes de alta resolución, medir en estático rápido con receptores de doble frecuencia y sesiones de 5min resulta suficiente para lograr RMS menores a 1m, claro está, siempre que se cuente con pocas obstrucciones y niveles bajos de PDOP.

En el caso de disponer de equipos e instrumental RTK y si las condiciones logísticas lo permiten, entonces es conveniente la aplicación de esta técnica ya que sus resultados son precisos y permiten una mayor producción generando un ahorro importante para la georrectificación.

El estudio permitió evidenciar la versatilidad del GPS no sólo como un instrumento fundamental para la generación de los PCT, sino que también, es una poderosa herramienta de alto nivel y de bajo costo para la verificación y evaluación rápida, confiable y efectiva de la georrectificación, generando ahorro en tiempo y dinero.

El desarrollo de nuevas plataformas de sensoramiento remoto y el acelerado avance en el aumento de la resolución espacial de los nuevos satélites, incrementará la necesidad de aplicar metodologías GPS más precisas y rigurosas.

### Agradecimientos

El Laboratorio de Geodesia Física y Satelital (LGFS) agradece la colaboración recibida por parte de las instituciones y personalidades que aportaron sus esfuerzos para la obtención de la información utilizada para esta investigación, en este sentido quisiéramos agradecerles a PDVSA y a su valioso personal: Ing. Pedro Ojeda, Ing. Dionne Cáceres, Ing. Miguel Leal, Ing. Nelson Luengo y Albenis Vilchez. De manera especial se desea dejar constancia de la valiosa colaboración recibida durante la etapa de mediciones GPS por parte del personal técnico y estudiantil del LGFS, especialmente a Briceño J., Ceballos R., Fernández O., Codallo H., Pérez J., Barboza M., Puente T. y a Martín A.

### Referencias Bibliográficas

1. Suárez H., González D., Royero G., Hoyer M., Wildermann E.: "Análisis y evaluación del proceso de georrectificación de imágenes IKONOS de áreas de exploración y producción petrolera". *INTERCIENCIA*, Julio 2005, Vol. 30 N° 7. (2005).
2. Lillesand T. & Kiefer R.: "Remote sensing and image interpretation". 4<sup>th</sup> Edition. John Wiley & Sons, Inc. pp. 724. USA. (2000).
3. Royero G.: "Aplicación del GPS para la corrección geométrica de imágenes satelitales". *Trabajo especial de grado para optar al título de Magíster Scientiarum en Ingeniería Geodésica*. Universidad del Zulia. Maracaibo. (1999).
4. Hoyer M.: "Introducción al Sistema de Posicionamiento Global GPS *Notas de clases*". Universidad del Zulia, Escuela de Ingeniería Geodésica, Departamento de Geodesia Superior. Maracaibo. (2000).
5. Space Imaging: "IKONOS". www.spaceimaging.com. (2001).
6. Ashtech: "Products". www.ashtech.com. (1998a).
7. Trimble: "Geoexplorer II". <http://www.trimble.com/geoexplorer2.html>. (1995).
8. Trimble: "Geoexplorer 3". <http://www.trimble.com/geoexplorer3.html>. (1998).
9. PCI Geomatics: "OrthoEngine". Versión 8.2. 50 West Wilmot Street, Richmond Hill, Canada. (2001).
10. Drewes H., Tremel H., Hernández J.: "Adjustment of the new Venezuelan national GPS network within the SIRGAS reference frame". Brunner FK (Ed.) *Advances in Positioning and Reference Frames*, Vol. 118. Springer. Berlin, Alemania. Pp. 193-198. (1998).
11. González D. & Suárez H.: "Georreferenciación de imágenes digitales satelitales que cubren el área operativa asignada a OleoLUZ". *Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Geodesta*. Escuela de Ingeniería Geodésica, Universidad del Zulia. Maracaibo. (2003).
12. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J.: "GPS Theory and Practice". 5<sup>th</sup> Edition. Springer. (2001).
13. Gurtner W., Johnson J., Mervart L., Rothacher M., Schaer S., Springer T., Weber W.: "Bernese GPS Software". Versión 4.2. Suiza. (1998).
14. Niemeier W.: "Ausgleichsrechnung". Walter de Gruyter, Berlin - New York. (2002).
15. Ashtech: "Ashtech Office Suite for Survey: User's Manual". 1770 Kifer Road, Sunnyvale, CA, USA. (1998b).
16. Seeber G.: "Satellite Geodesy". Walter de Gruyter, Berlin-New York. (2003).
17. Wessel P. & Smith W.: "The Generic Mapping Tools GMT, Technical Reference and Cookbook". Version 3.3.4, Generic Mapping Tools Graphics. (2000).
18. Trimble Navigation Limited Mapping & GIS Systems: "GPS Pathfinder Office, Getting Started Guide". Versión 2.70. 645 North Mara Avenue, Post Office Box 3642, Sunnyvale, CA 94086-3642, USA. (2000).
19. Colombo Oscar: "Long-Distance Kinematic GPS". *GPS for Geodesy*, P. J. G. Teunissen, A. Keusberg (Eds.) 2<sup>nd</sup> Edition. Springer. Berlin, Alemania. Pp. 537-567. (1998).

Recibido el 22 de Noviembre de 2004

En forma revisada el 03 de Octubre de 2005