

# Capítulo 1

## Test GPS

### 1.1. Objetivos

Se realiza una serie de pruebas con el fin de identificar los errores correspondientes al dispositivo de posicionamiento global (GPS). Se realizan pruebas para determinar tanto el error absoluto de la medida, como el error diferencial. Se analizará el error en las direcciones de latitud, longitud y altura. A su vez se realizarán pruebas repetitivas de modo de poder analizar la consistencia temporal de las medidas otorgadas por el dispositivo GPS.

Si el error absoluto es muy grande, igual puede ser posible obtener información útil utilizando medidas diferenciales. Se analizará el error relativo entre diferentes medidas del GPS. Resulta interesante caracterizar el comportamiento diferencial de las medidas del GPS ya que si es bueno, se puede implementar alguna etapa de corrección inicial de modo de obtener datos georeferenciados muy precisos.

### 1.2. Materiales

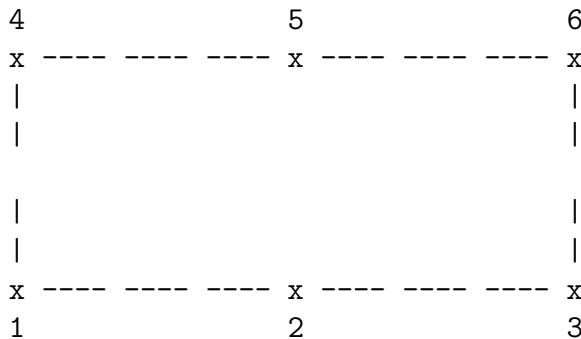
- GPS.
- Laptop.
- Escalera.
- Cinta métrica.

### 1.3. Procedimiento

En esta prueba se trata de obtener el error del GPS en el plano paralelo a la tierra, es decir, el error en latitud y longitud.

El experimento que se diseñó consiste en marcar un rectángulo sobre el suelo (pasto), utilizando 6 puntos, con la siguiente disposición:

<- <- Av Italia hacia el centro <- <-



-> -> Av Italia hacia el este -> ->

Todas las líneas punteadas son de 1m de largo, lo que resulta en un rectángulo de 1m por 2m.

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Construir un rectángulo (como el mencionado) sobre un superficie plana.
2. Medir, con un metro, las distancias entre todos los puntos.
3. Utilizar mínimos cuadrados para minimizar el error entre las distancias esperadas, y las experimentales. Esto puede llevar a trabajar con un polígono que **no** sea un rectángulo, pero el error será menor que el que resultaría de usar los valores teóricos.
4. Fijar la altura y la orientación del GPS, y tomar medidas en cada uno de los puntos [1,2,3,4,5,6].
5. Tomar un punto como origen, y comparar la figura que resulta de los datos provenientes del GPS con las medidas tomadas con el metro.

Este experimento permitirá estimar, en un caso muy hipotético, la performance que se puede esperar del GPS. El caso real, montado en el cuadricóptero, estará afectado por vibraciones e interferencia causada por la presencia de los motores y la electrónica.

De cualquiera forma, este experimento sirve para establecer qué **no** se puede esperar del GPS.

En la figura 1.1 se observa el experimento. Se utilizó una escalera para tener el GPS a una altura fija, separado del piso. Al nivel del piso los rebotes degradan seriamente la performance del GPS. Las 4 patas de la escalera se utilizaron para alinear el punto que se deseaba medir.

**NOTA:** Se probaron distintas orientaciones. Cabe destacar que la posición absoluta de los puntos medidos con la escalera en distintas orientaciones darán distintos resultados, ya que el centro de las 4 patas no coincide con la posición del GPS, que estaba fijo a la parte más alta de la escalera. Esto implica que no tiene sentido comparar medidas correspondientes a distintas orientaciones, sino comparar los datos de cada orientación contra las medidas tomadas con el metro.

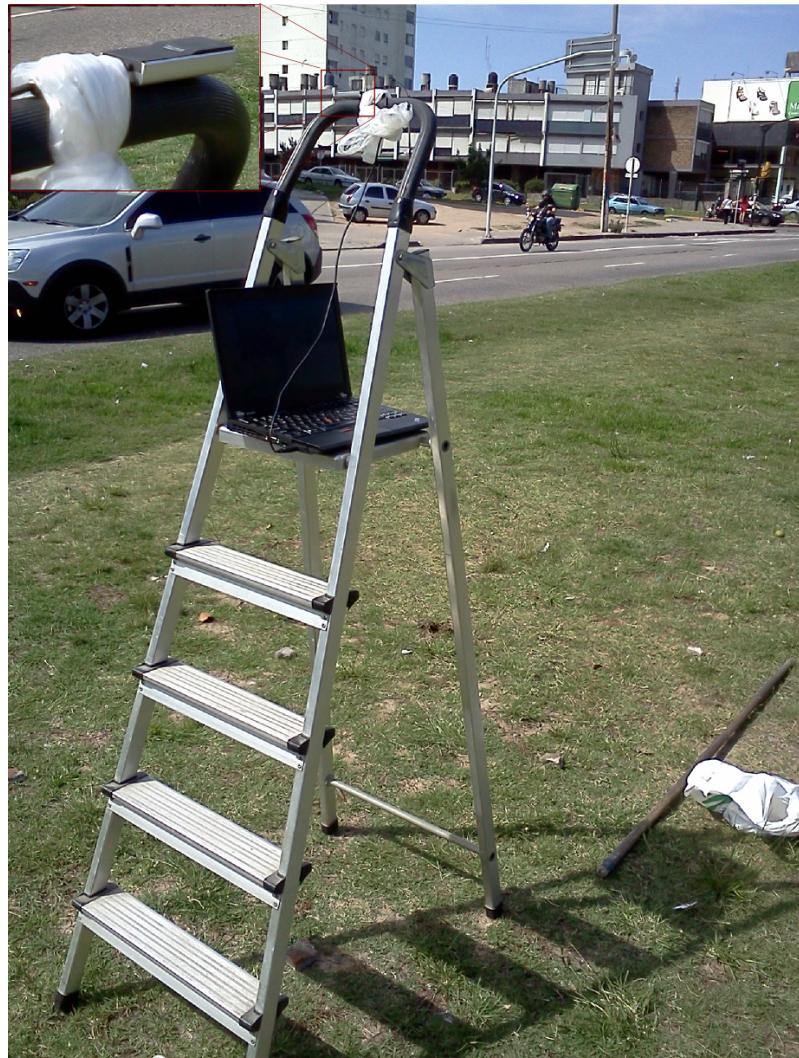


Figura 1.1: Experimento con el GPS.

### 1.3.1. Posibles fuentes de rebotes/interferencia

Se buscó un lugar abierto, para evitar errores que puedan surgir por rebotes en paredes, edificios, etc. De cualquier forma, no pudo realizar el experimento en un lugar completamente abierto.

En las figuras 1.2a y 1.2b se muestran posibles fuentes de rebotes/interferencia:



(a) Edificio con antena.

(b) Edificio.

Figura 1.2: Rebotes/Interferencia

### 1.3.2. Estimación de la posición de un punto fijo

Antes de proceder con el experimento, se tomaron medidas de la ubicación de algunos de los vértices del polígono. Si el ruido asociado a esta medida es del orden de 1m, entonces no vale la pena hacer el resto del experimento. No será posible estimar, de manera razonable, la posición de los vértices del polígono, ya que estos están distan, en algunos casos, solamente 1m entre sí.

Se tomaron medidas con el GPS en dos orientaciones. En las figuras 1.3 y 1.4 se observan los datos resultantes luego de aproximadamente 1 minuto con el GPS quieto. En todas las gráficas se muestran los datos luego de restar el promedio, o sea que se muestra el error respecto al valor promedio.

#### Punto 1

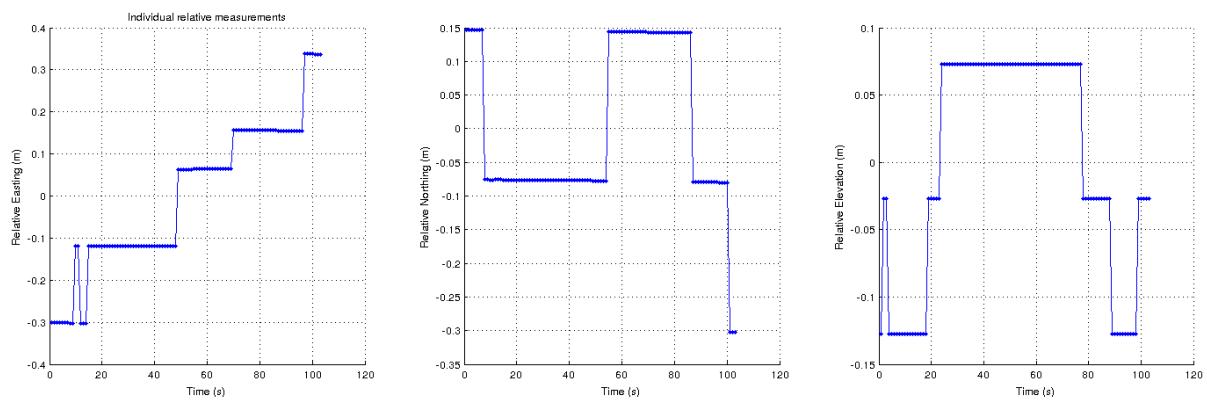


Figura 1.3: GPS quieto en el punto 1, orientado [usb-led, 1-2].

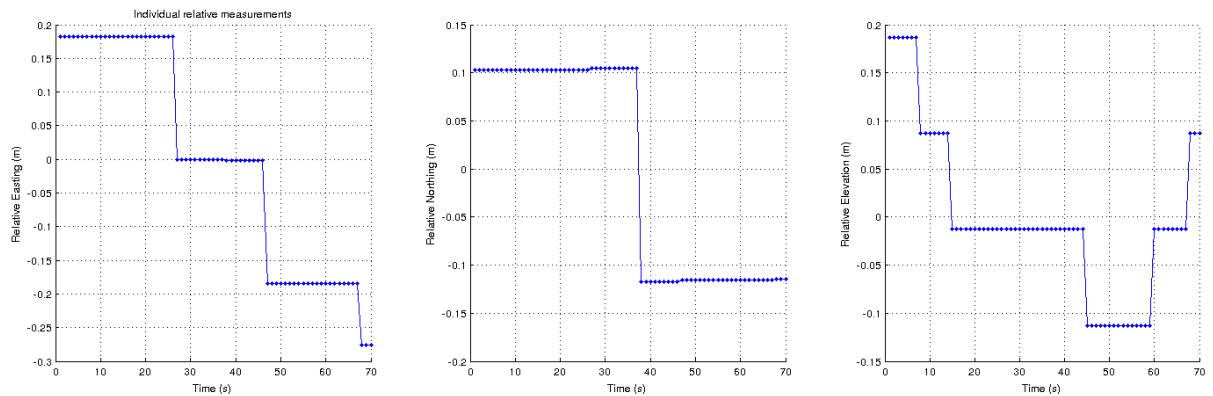


Figura 1.4: GPS quieto en el punto 1, orientado [usb-led, 2-1].

## Punto 4

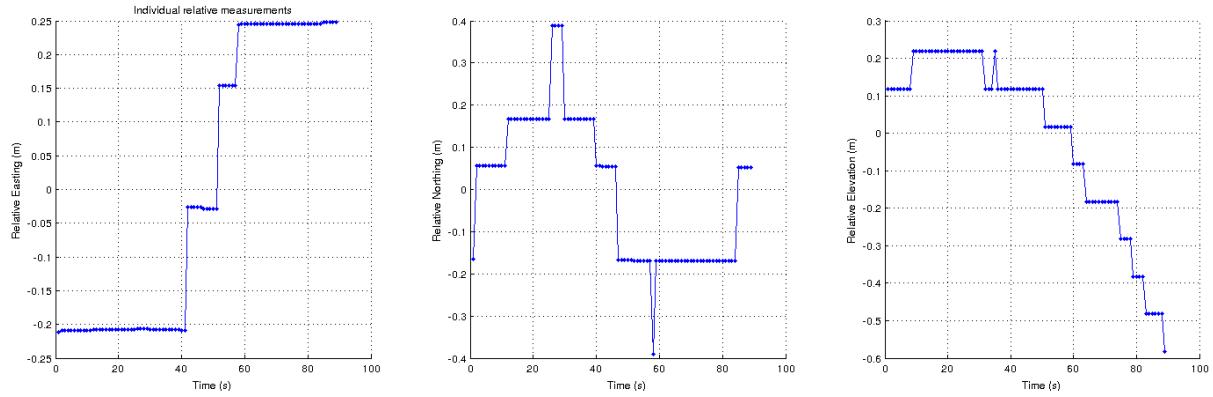


Figura 1.5: GPS quieto en el punto 4, orientado [usb-led, 1-2].

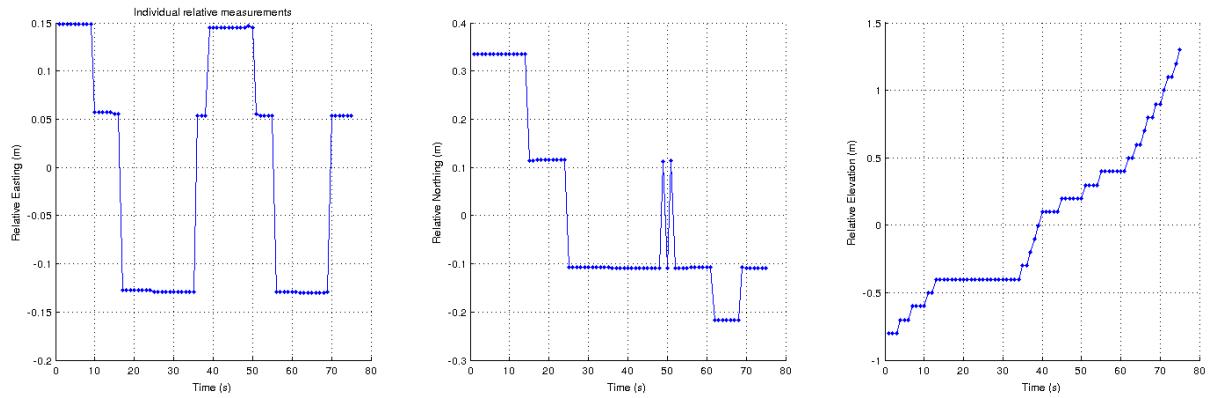


Figura 1.6: GPS quieto en el punto 4, orientado [usb-led, 2-1].

## Punto 6

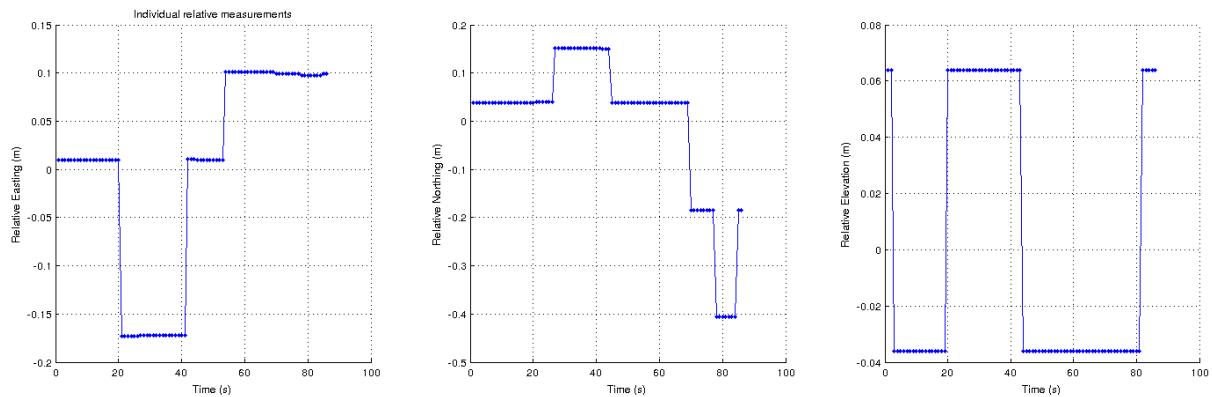


Figura 1.7: GPS quieto en el punto 6, orientado [usb-led, 1-2].

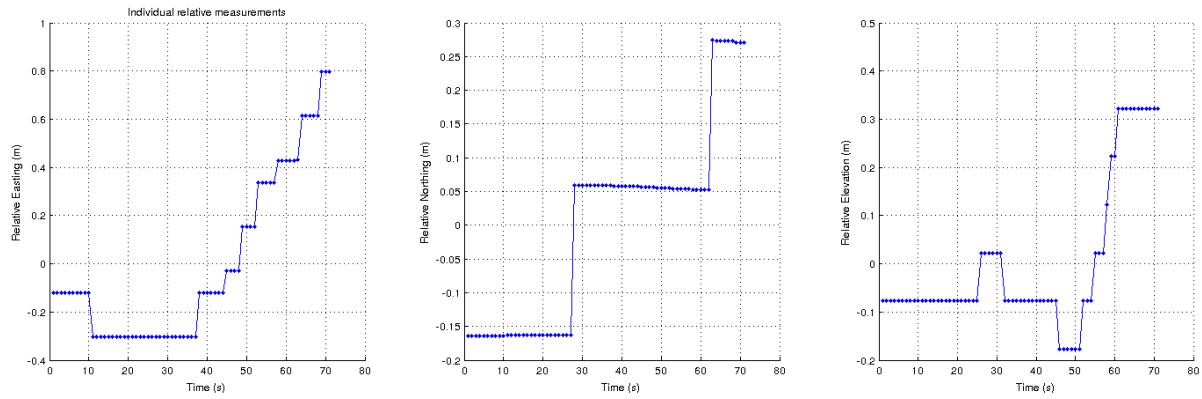


Figura 1.8: GPS quieto en el punto 6, orientado [usb-led, 2-1].

### Punto fijo: Conclusiones

En varios casos se observaron errores del orden del metro, pero en otros el error fue menor a medio metro. No se esperan buenos resultados a priori, la precisión del GPS no parece adecuada para este experimento.

De cualquier forma se procedió con el experimento, tomando datos con el GPS en 4 orientaciones por si la precisión resulta muy sensible a la posición de la antena.

### 1.3.3. Polígono

Como era de esperarse, la precisión del GPS no resultó adecuada para este experimento. En las figuras 1.9 y 1.10 se observa lo que debería ser un rectángulo.

Intentando mejorar los resultados, se tomaron promedios en una ventana de 15 muestras, usando un filtro *moving average*. Esto también se observa en las figuras 1.9 y 1.10.

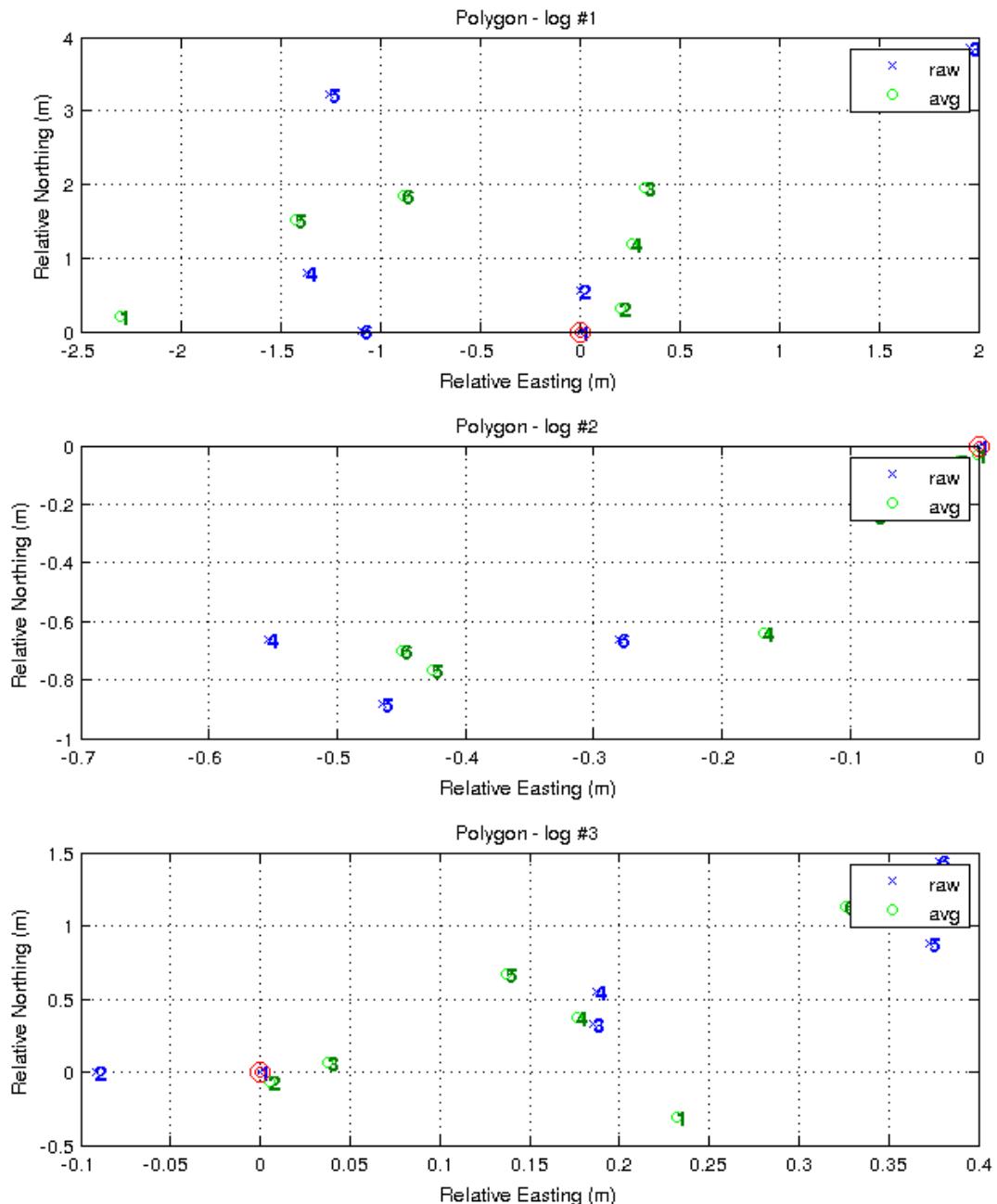


Figura 1.9: Primeros 3 intentos de estimar el polígono.

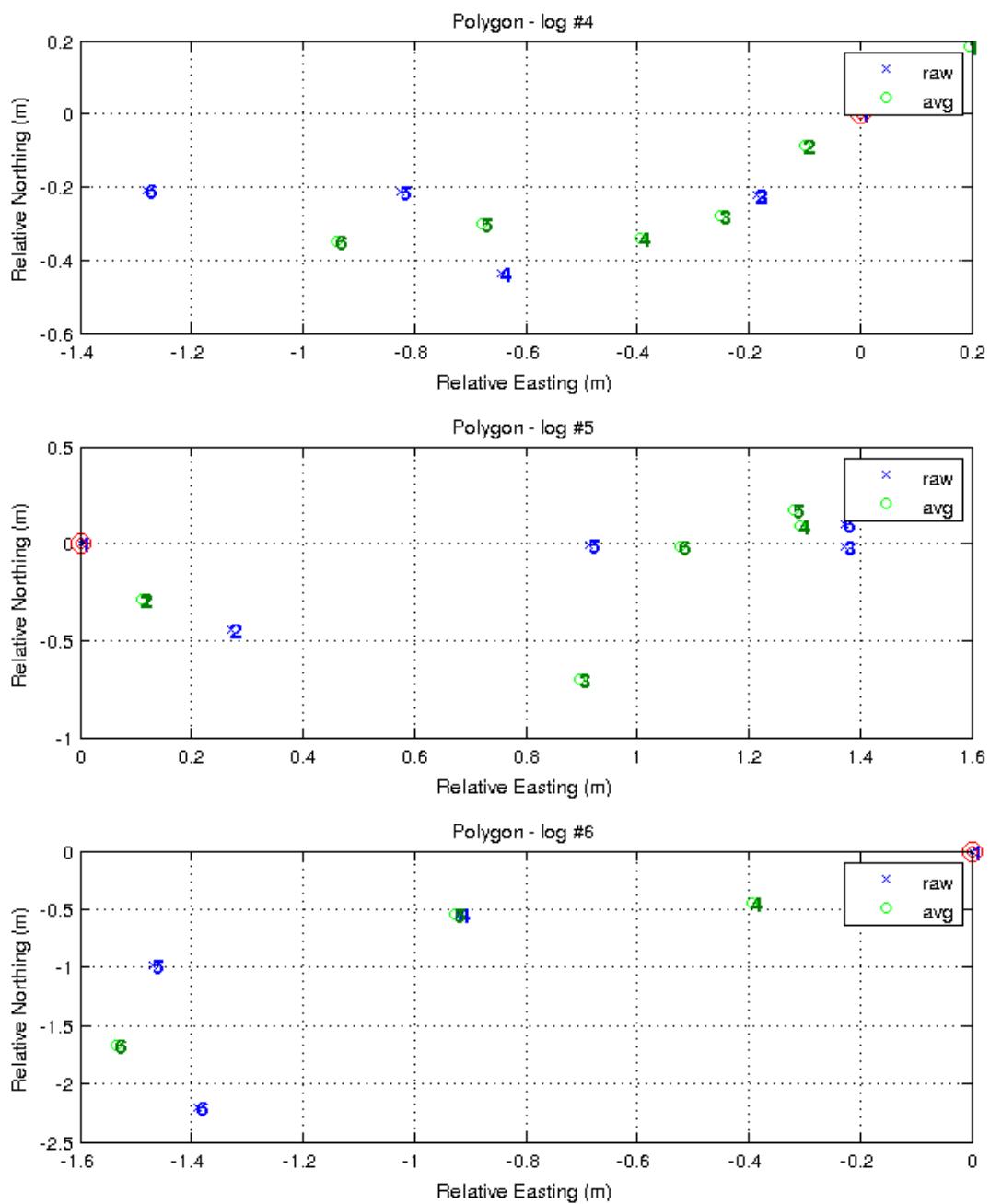


Figura 1.10: Segundos 3 intentos de estimar el polígono.

En la tabla 1.1 se muestran la cantidad de satélites utilizados cuando se obtuvieron los datos de las figuras 1.9 y 1.10.

<b>Log 1</b>	8	8	8	7	8	8
<b>Log 2</b>	9	9	9	9	9	9
<b>Log 3</b>	9	9	9	9	9	9
<b>Log 4</b>	10	10	10	10	10	10
<b>Log 5</b>	10	10	10	10	10	10
<b>Log 6</b>	10	10	10	10	10	10

Cuadro 1.1: Satélites disponibles al tomar los datos de las figuras 1.9 y 1.10.

## Errores

Las especificaciones del GPS garantizan un error menor a 3m. La distancia de cada punto al punto 1 sirve para mostrar que el GPS cumple con las especificaciones.

```
>> sqrt(easting.^2 + northing.^2)

ans =

Columns 1 through 2

          0          0
0.554512260087323  0.143700779969825
4.33004706557553  0.143700779969825
1.57529195895029  0.862204669928841
3.46128113366155  0.997959241296461
1.09657686103998  0.7196747757109

Columns 3 through 4

          0          0
0.0913813877153522  0.287401564952104
0.37960034205882  0.287401564952104
0.583854507635003  0.778438910449184
0.959566360784181  0.851817377628425
1.48734655792341  1.29842494542402

Columns 5 through 6

          0          0
0.521483162980721  0.452924086277894
1.37072089636507  0.452924086277894
1.58871200295859  1.06889681896435
0.913813929586754  1.77030855041003
1.37520004160367  2.60741605799409
```

Los datos crudos, antes de ser procesados, son los siguientes:

```
eastings =
    Columns 1 through 2
        577829.024663918      577831.395779166
        577829.029379162      577831.303457993
        577830.976611558      577831.303457993
        577827.660593625      577830.841852163
        577827.772718459      577830.931344107
        577827.928126702      577831.11598643
    Columns 3 through 4
        577830.928514889      577830.394392373
        577830.837136806      577830.209750046
        577831.114100281      577830.209750046
        577831.11598643       577829.750973439
        577831.301571839      577829.570103359
        577831.306287223      577829.11321287
    Columns 5 through 6
        577828.8315342      577831.423128412
        577829.101896266      577831.327977979
        577830.202205538      577831.327977979
        577830.387790914      577830.504631801
        577829.745315091      577829.952590828
        577830.203148602      577830.033595277

northing =
    Columns 1 through 2
        6138921.43134999     6138920.85665408
        6138921.9858422      6138920.74653271
        6138925.29647715     6138920.74653271
        6138922.21929478     6138920.19592587
        6138924.65828346     6138919.97335191
        6138921.44067456     6138920.19359465
    Columns 3 through 4
        6138919.64065658     6138921.30879564
        6138919.64143365     6138921.08855289
        6138919.97179776     6138921.08855289
        6138920.19359465     6138920.87064132
        6138920.52473583     6138921.09399232
        6138921.07922804     6138921.0978776
    Columns 5 through 6
        6138920.21302122     6138924.07270891
        6138919.76709629     6138923.62989222
        6138920.20136535     6138923.62989222
        6138920.53250654     6138923.52598743
        6138920.20525066     6138923.08705604
        6138920.31226379     6138921.86639612
```

```

elevation =
Columns 1 through 2
      54          54
    50.4          54
    47.4          53.9
    44.5          54.3
    44.5          54.4
    47.9          54.4

Columns 3 through 4
      54.5         54
    54.5          54.2
    54.5          54.3
    54.4          54.5
    54.2          54.5
    54.3          53.9

Columns 5 through 6
      55.6         56
    56.4          56.3
    57.7          56.3
    57.8          56.5
    57.6          56.6
    57.5          56.7

```

Cada columna corresponde a una serie. La columna 1 de easting va con la columna 1 de northing y la columna 1 de elevation, etc.

#### 1.3.4. Conclusión - Latitud-Longitud

El GPS funciona como era de esperarse, con un error menor a 3m. Para estimar la posición del cuadricóptero con más precisión, va a ser necesario recurrir a sensores adicionales, o a algún tipo de manipulación de los datos del GPS.

No se calculó el error mediante mínimos cuadrados. Un análisis tan preciso no tiene sentido, ya que la magnitud del error es muy grande.

Este experimento se realizó libre de ruido. El cuadricóptero agregaría vibraciones, interferencia electromagnética, y será mucho menos estable que el GPS aferrado a una escalera. El error en las medidas de este experimento fue, en general, significativamente menor a 3m, pero una vez montado en el cuadricóptero, es probable que el error en la información proveniente del GPS sea cercana a los 3m, por culpa de los factores mencionados.

## 1.4. Error en altura

Para determinar el error la información sobre la altura que provee el GPS, se diseñó un experimento, que consiste en tomar medidas en una perpendicular a la esfera terrestre, a 4 alturas diferentes: 0m, 1m, 2m y 3m respecto al suelo.

En la primera etapa del experimento, se mantuvo el GPS quieto en cada uno de los niveles, y se tomaron muestras durante aproximadamente 60 segundos. El objetivo de esta etapa era verificar si era viable el experimento.

### 1.4.1. Punto fijo

Para este experimento se colocó una escalera en el medio del estacionamiento de atrás de la Facultad de Ingeniería, se ató un piolín con marcas cada 1 metro, y una plomada en la punta para mantenerlo tenso y vertical.

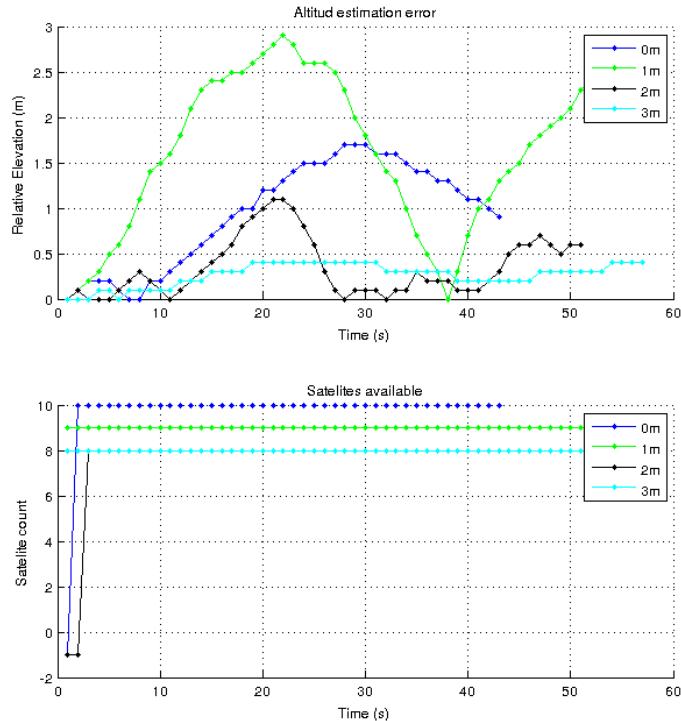


Figura 1.11: Variación de la altura determinada por el GPS a distintas alturas.

En la figura 1.11 se observan los resultados del experimento. Es de esperarse que el error sea mayor al estar apoyado sobre el suelo, ya que los rebotes pueden deteriorar el sistema. El error a 1m de altura es mayor al que se obtuvo con el GPS en el suelo, una posible explicación para esto sería que el GPS estaba muy cerca de la escalera metálica, lo cual podría introducir una cantidad significativa de rebotes.

Los resultados de este experimento llevan a pensar que el GPS da información estable si y solo si se encuentra a al menos 2m del suelo. No se cuenta con suficiente información como para afirmar esto con certeza, por lo que se optó por tomar más datos, teniendo especial cuidado con el tema de los rebotes.

### 1.4.2. Punto fijo - Estabilidad y rebotes

Para analizar el efecto de los rebotes sobre la estabilidad de la información proveniente del GPS, se tomaron varias series de datos con el GPS quieto, sobre el marco de una ventana, y luego asomado 1 metro hacia afuera (y arriba) de la ventana, donde el efecto de los rebotes debería ser menor.

En la figura 1.12b se observa la configuración del GPS al tomar los datos apoyado sobre el marco de la ventana, y en la figura 1.12a se observa el atril utilizado para alejar al GPS de la superficie.



(a) GPS expuesto a rebotes sobre la superficie en la que se apoya.



(b) GPS alejado de superficies.

Los resultados del experimento apoyado sobre el marco y asomado con el atril se observan en las figuras 1.12 y 1.13 respectivamente.

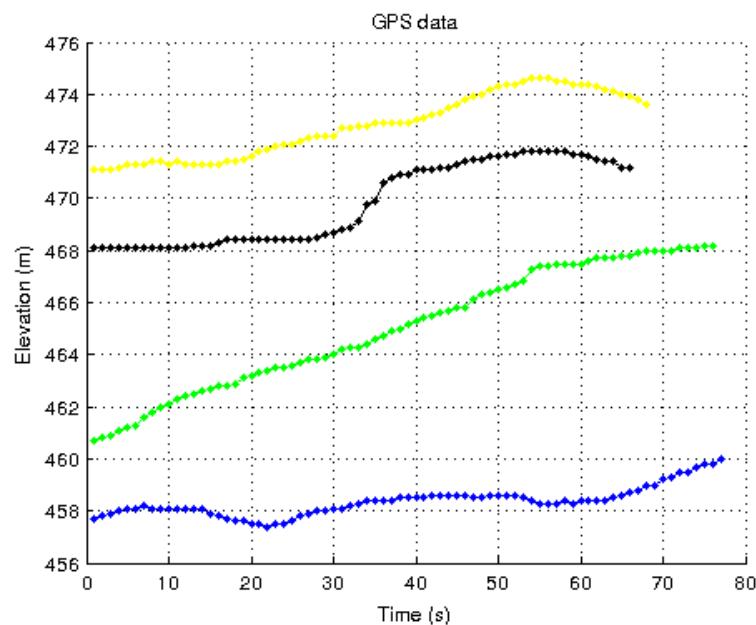


Figura 1.12: GPS apoyado sobre superficie.

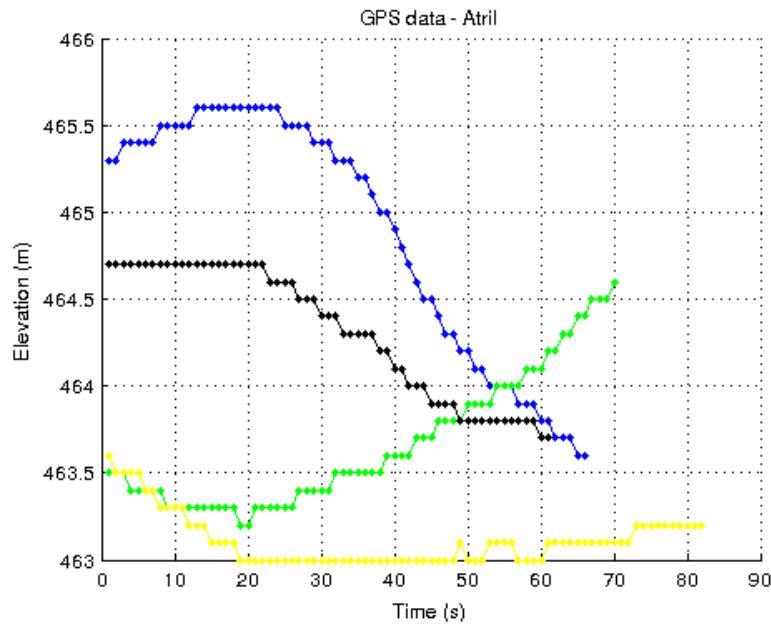


Figura 1.13: GPS alejado de superficies.

### 1.4.3. Conclusión - Altura

Los resultados concuerdan con lo esperado, la inestabilidad en la lectura del GPS disminuye al reducir las fuentes de rebotes.

Las lecturas del GPS no tiene suficiente precisión como para ser utilizadas de manera exclusiva para determinar la altura del cuadricóptero. En los mejores casos hay un error de 0,5 – 1m, y en los peores casos hay errores de hasta 15m. Con una buena geometría y a varios metros del piso, el error es tolerable, pero no sirve para programar el aterrizaje/despegue, ni el vuelo a baja altura.

Aún no se ha determinado si la mayor causa del deterioro de la performance del GPS fueron los rebotes y/o la mala geometría. La mala geometría resulta de tener solamente la mitad del cielo visible, ya que la pared de la casa bloquea el resto. Al asomar el GPS hacia afuera, se lo aleja de los rebotes, y también se incrementa la cantidad de cielo visible, por lo que es difícil separar cual de los cambios es el responsable de los cambios en los resultados.

Se concluye que es necesario utilizar otra fuente de información, como por ejemplo un sensor de presión, para estimar la altura del cuadricóptero.

## 1.5. Conclusión

La performance del GPS cumple con lo especificado, en un contexto adecuado (buena geometría y buena visibilidad) da errores menores a 3m. Esto implica que el GPS no se puede utilizar para determinar la posición del cuadricóptero con una precisión razonable. Es de interés tener suficiente precisión como para poder maniobrar el cuadricóptero, y por lo tanto la posición se tiene que poder estimar con un error menor a 10cm.

La posición de la antena no parece afectar mucho los resultados, esto puede deberse a la geometría de la misma, es probable que tenga una cierta simetría que hace que la orientación del GPS no afecte la lecturas.

El GPS se utilizará como medio de corrección del drift que resulta de utilizar sensores que miden diferencias (acelerómetros, giroscopos, etc), y estos otros sensores se usarán para obtener la precisión necesaria para maniobrar el cuadricóptero.

En cuanto a la estimación de la altura, no alcanza con el GPS, acelerómetros y giroscopos, se requiere de un sonar, un sensor de presión, etc.