

Capítulo 1

GPS - Test 2

1.1. Objetivos

En el capítulo anterior se comenzó a analizar la performance del GPS. Se intentó reconstruir un polígono, y se analizó el error al estimar la posición de un punto fijo. En este capítulo se continúa dicho análisis, repitiendo el procedimiento, pero con un polígono más grande, y tiempo más largos para la estimación de la posición de un punto fijo.

1.2. Materiales

- GPS.
- Laptop.
- Trípode (de fotografía).
- Cinta métrica, pintura y cuerda.

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:

```

      Árbol
Árbol      Árbol
      Gente_q_me_va_a_afanar
      Árbol
-- < -- < -- < -- < -- < -- <
calle que sube de la rambla
-- > -- > -- > -- > -- > -- >
3          2          1
x ----- x ----- x
|
|
|
|
x ----- x ----- x
6          5          4

```

Estacionamiento de la fac

Orientación del GPS:

```

      led
      ^
      |
      |
      usb

```

A diferencia del experimento de la sección 1.1, aquí todas líneas punteadas son de 6m de largo, en lugar de 1m. Resulta en un rectángulo de 6m por 12m.

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Construir el rectángulo sobre un superficie plana.
 - Se utilizó pintura para marcar los vértices del triángulo.
 - Para trazar uno de los lados de 12 metros (puntos 1,2 y 3), se fijó una cuerda de 12 metros (con el punto medio marcado) a un punto, y se extendió (sin estirla). El principio (1) y el final (3) de la cuerda son vértices del polígono, y el punto medio (2) es otro de los puntos de interés.
 - Para construir perpendiculares se utilizó una cuerda de 6m, y otra de 8.5m¹. Uno de los extremos de la cuerda de 6 metros se fijó al 1, y uno

¹Pitágoras: $8,5 \approx \sqrt{6^2 + 6^2} = 8,4852...$

de los extremos de la cuerda de 8.5m se fijó a 2. El punto donde ambas se intersectan corresponde a 4. Un procedimiento similar se siguió para determinar la ubicación de 5 y 6.

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.

En la figura 1.1a se observa el trípode que sostiene al GPS. El objetivo era tener el GPS a una altura fija, y separado del piso. Al nivel del piso los rebotes degradan seriamente la performance del GPS. La cuerda que marca el lado del polígono, junto con las patas del trípode, se utilizaron para fijar la orientación del GPS durante el experimento.



(a) Trípode de fotografía, con el GPS atado en lugar de la cámara..



(b) GPS amarrado al trípode.

Figura 1.1: GPS + Atril

1.3.1. Verificación del polígono

Una vez construido el polígono, es de interés medir todas las diagonales (con la cinta métrica) por dos motivos:

- Verificar que no se cometieron errores.
- Hacer mínimos cuadrados con las medidas, de manera de obtener un polígono, que no tiene porqué ser (y en general no será) un rectángulo, sino algo similar a un rectángulo, más ajustado a la realidad.

Las medidas tomadas se resumen en la tabla 1.1, donde D12 representa la medida de la recta que une el punto 1 con el punto 2, en cm.

D12	D14	D15	D16	D23	D24	D25	D26	D34	D35	D36	D45	D56
603	606	855	1345	603	853	608	853	1344	850	602	602	603

Cuadro 1.1: Diagonales del polígono en cm. Lectura: D_{42} representa la longitud (en cm) de la recta que une el punto 4 con el punto 2.

1.3.2. Punto fijo - 10 minutos

Se tomaron datos durante 10 minutos (≈ 600 muestras) en cada uno de los vértices del polígono, con el objetivo de observar la estabilidad de la información proveniente del GPS.

En la figura 1.2 se muestran los datos luego de restar el promedio, o sea que se muestra el error respecto al valor promedio.

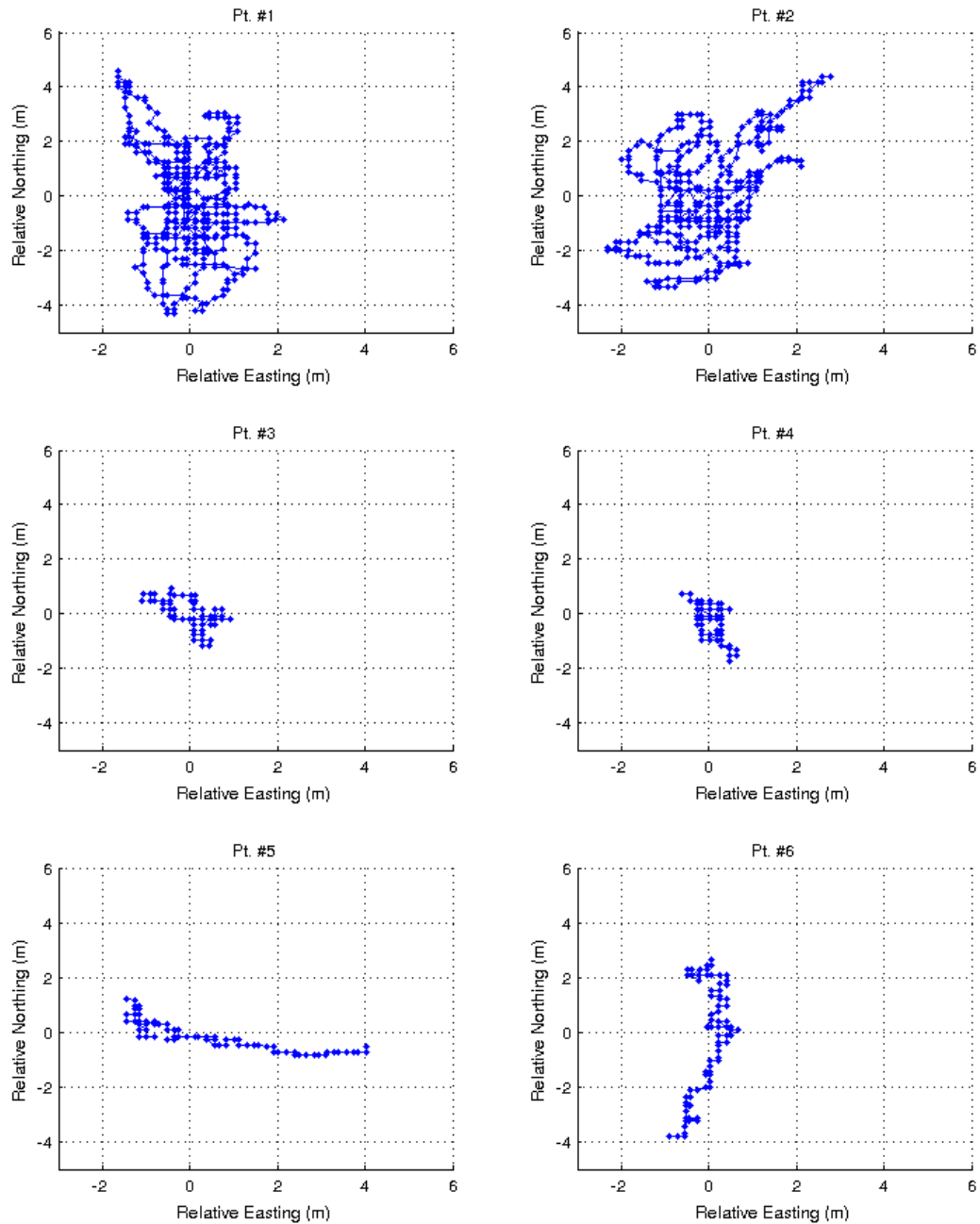


Figura 1.2: GPS quieto en cada punto del polígono, GPS orientado como se describe en 1.3 y se muestra en 1.1b.

En la figura 1.3 se observan todas las gráficas de la figura 1.2, pero superpuestas.

Si el GPS fuese perfecto, entonces todas las muestras coincidirían con el promedio, y estarían ubicadas en el punto $[0,0]$. El círculo negro tiene 2.5m de radio, las muestras que caen fuera de él están a más de 2.5m del valor promedio. En la leyenda se muestra que porcentaje de las muestras caen fuera del círculo.

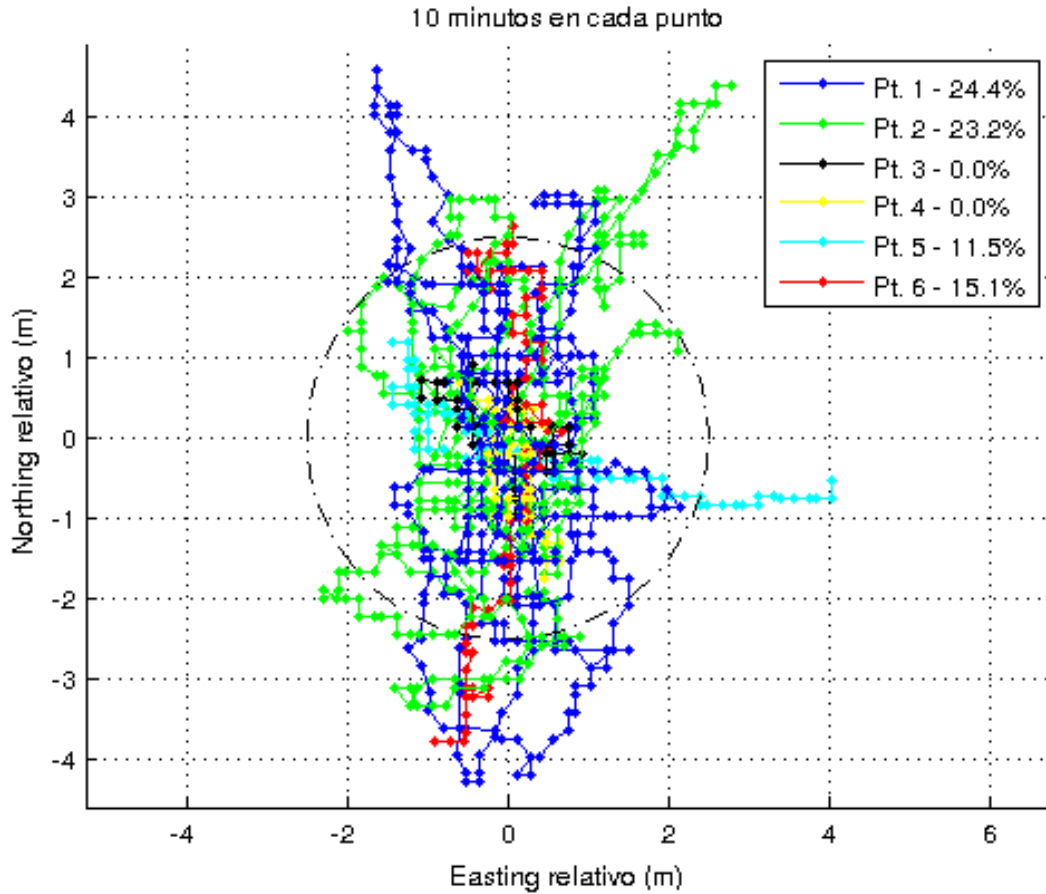


Figura 1.3: Error respecto al valor medio (Plots de 1.2 superpuestos). En la leyenda se muestran que porcentaje de muestras que caen a más de 2.5m del promedio.

1.3.3. Punto fijo - 2 minutos

Se repitió el experimento tomando solamente 2 minutos de muestras por punto. Se optó por tomar datos durante solamente 2 minutos para agilizar el experimento. Los resultados son similares a los que se obtuvieron con el experimento de 10 minutos.

Se orientó el GPS de 3 maneras distintas, siempre alineando el trípode con uno de los lados de 12m del rectángulo:

1. USB hacia la calle, LED hacia el estacionamiento, como en la figura 1.4b.
2. USB hacia la rambla, LED hacia el IIE.
3. Como en la figura 1.4a.
4. Nuevamente, USB hacia la calle, LED hacia el estacionamiento, como en la figura 1.4b.



(a) Orientación #3



(b) Orientación #4.

Figura 1.4: Fotos de algunas de las orientaciones del GPS en las pruebas de 2 minutos por punto.

Los resultados se observan en las siguientes figuras. Nuevamente, en la leyenda se muestra que porcentaje de las muestras a más de 2.5m del valor promedio.

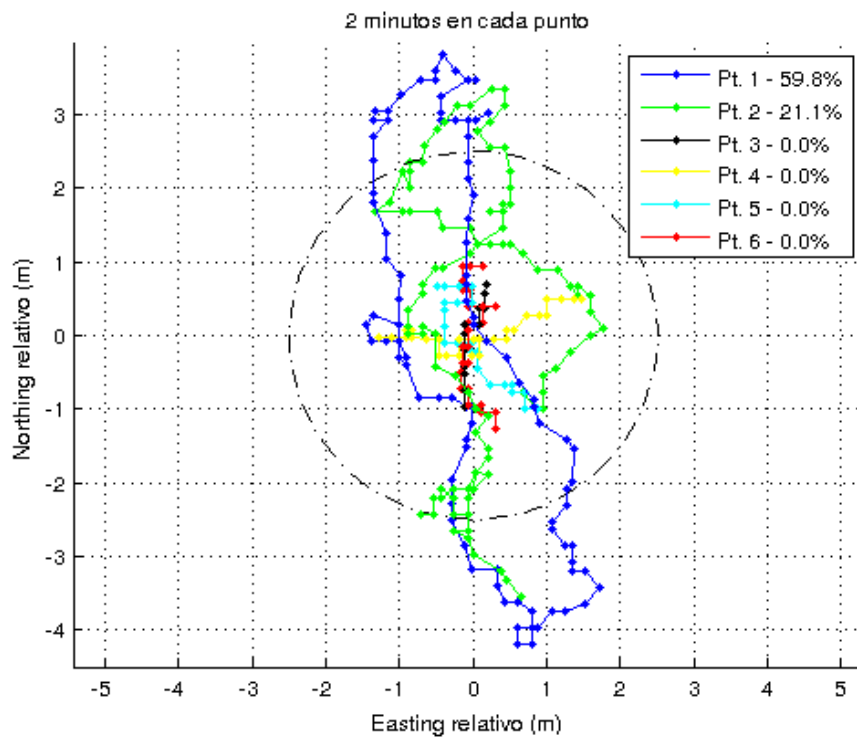


Figura 1.5: Orientación: USB hacia la calle, LED hacia el estacionamiento, como en la figura 1.4b.

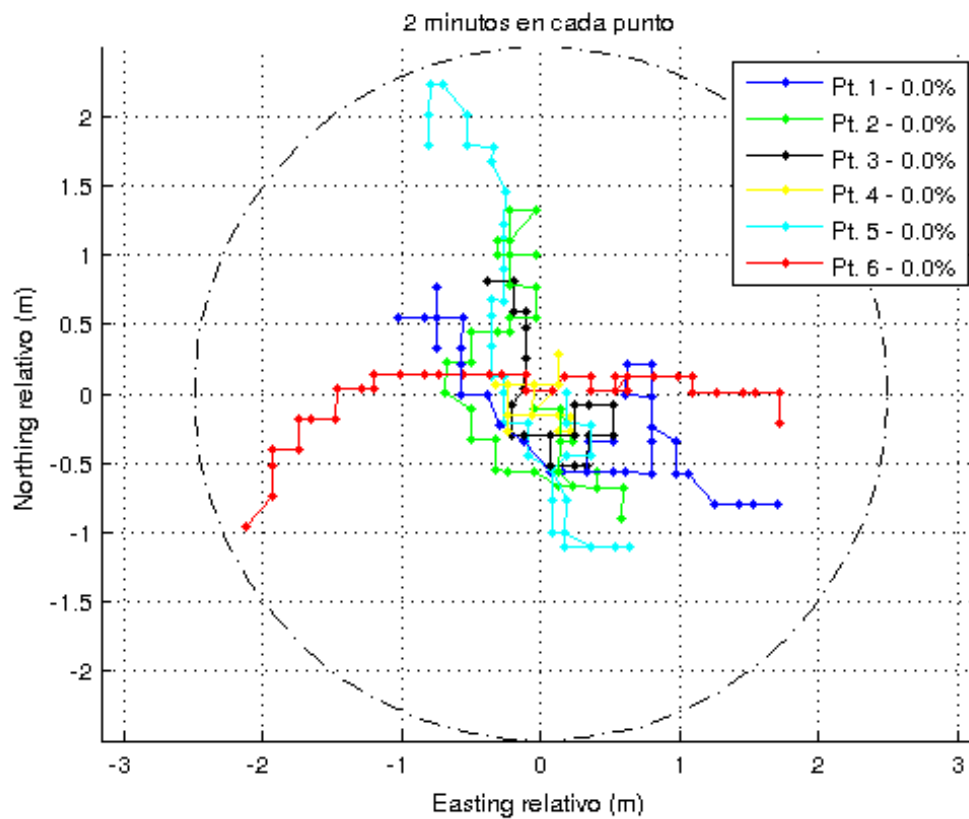


Figura 1.6: Orientación: USB hacia la rambla, LED hacia el IIE.

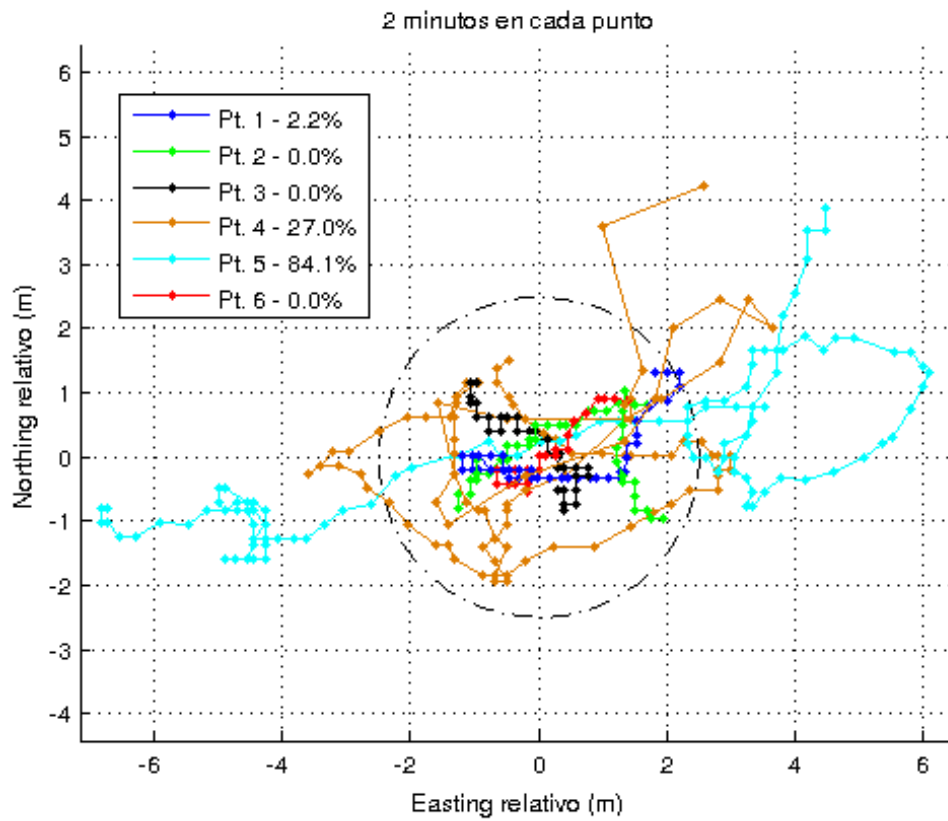


Figura 1.7: Orientación: Como en la figura 1.4a.

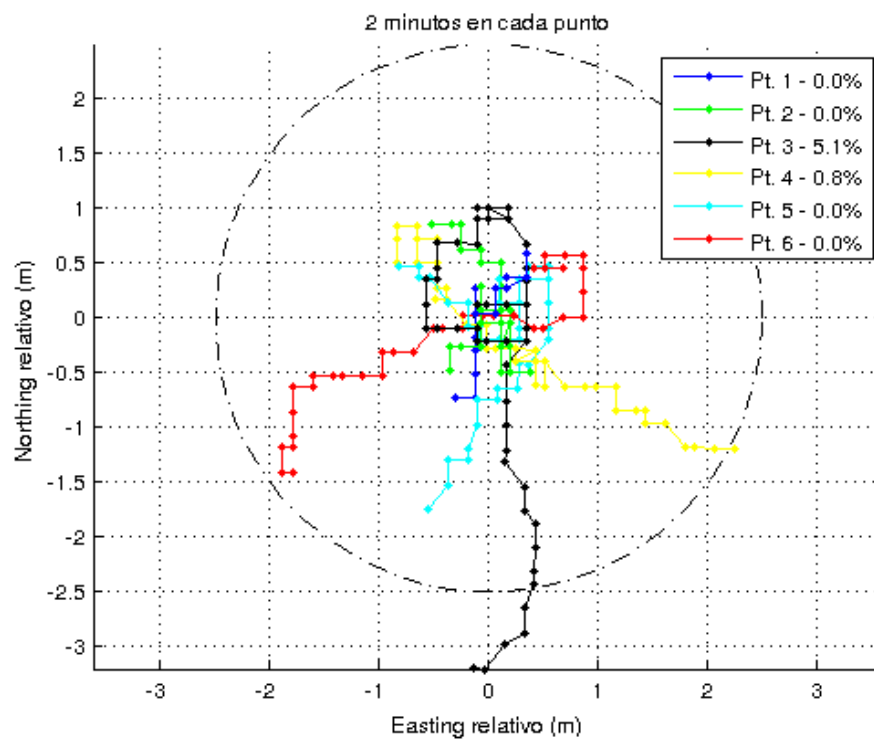


Figura 1.8: Orientación: USB hacia la calle, LED hacia el estacionamiento, como en la figura 1.4b.

Punto fijo: Análisis

- **Satélites Disponibles** La teoría dice que con 4 satélites debería alcanzar para obtener un *fix 3D*, es decir, estimar la posición sobre la esfera terrestre, y la distancia (altura) a la misma. Durante el experimento de la figura 1.7, en un momento el GPS se perdió, y el número de satélites disponibles, que usualmente anda por los 9 o 10, pasó a ser 4. Los datos correspondientes se muestran en la figura 1.9. El trazo naranja, con un error de hasta 23 metros, corresponde a instantes donde la cantidad de satélites era entre 4 y 5. Luego de volver a 9 o 10 satélites, los datos vuelven a ser más razonables.

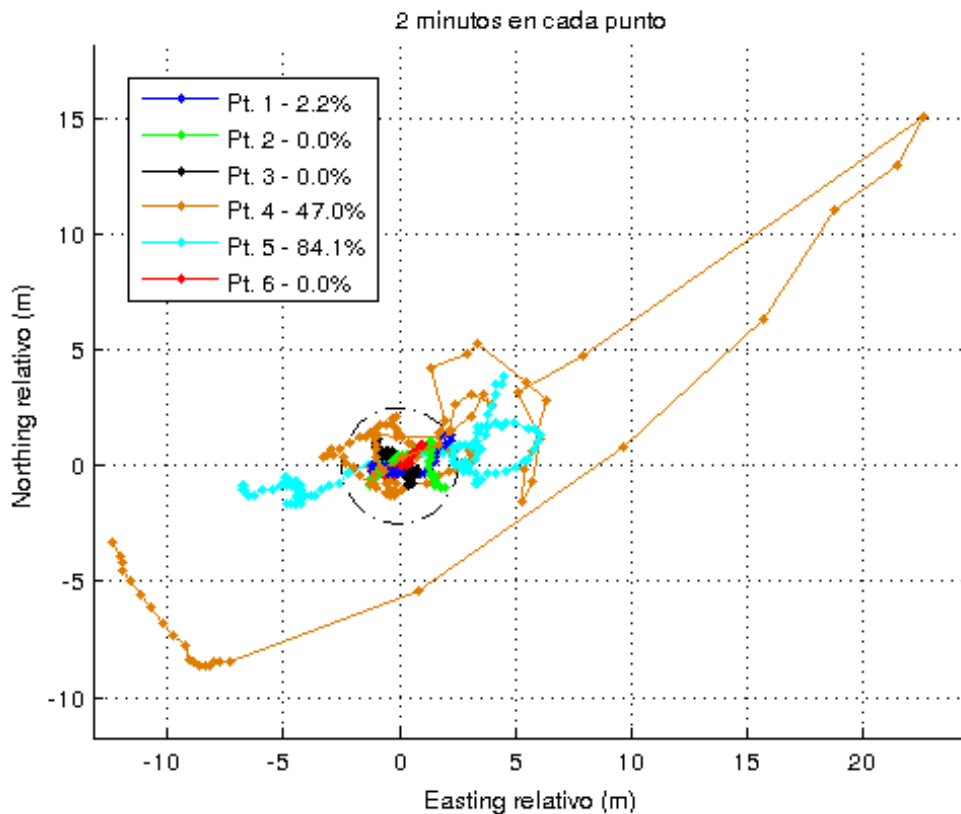


Figura 1.9: Datos con solamente 4 satélites. Orientación: Como en la figura 1.4a.

Quitando las muestras correspondientes No se pudo encontrar una explicación para la mala calidad de las muestras correspondientes al punto 5 en la figura 1.7. La cantidad de satélites disponibles se mantuvo estable en 9 o 10 durante la adquisición de esos datos.

- **Orientación** A priori no parece haber una correlación directa entre la calidad de los resultados y la orientación del GPS, en particular por las diferencias entre las figuras 1.8 y 1.6, que fueron tomadas con la misma orientación. No queda claro si se puede descartar alguna correlación, ya que parece intuitivo que existiese, debido a que el GPS tiene una antena adentro. La falta de correlación entre las figuras 1.8 y 1.6 puede deberse a que las muestras fueron tomadas en días distintos, a horas distintas, y por ende con distintos satélites, ubicados en distintos lugares respecto del GPS. Se optó por tomar datos de

un punto fijo, e ir rotando el GPS, para descartar/confirmar una posible correlación entre la calidad de los resultados y la orientación del GPS. Ver sección

Punto fijo: Conclusiones.

Orientación

1.3.4. Polígono

Se tomaron 2 minu

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 ?? y ??.

En la tabla 1.2 se muestran la cantidad de satélites utilizados cuando se obtuvieron los datos de las figuras ?? y ??.

Log 1	8	8	8	7	8	8
Log 2	9	9	9	9	9	9
Log 3	9	9	9	9	9	9
Log 4	10	10	10	10	10	10
Log 5	10	10	10	10	10	10
Log 6	10	10	10	10	10	10

Cuadro 1.2: Satélites disponibles al tomar los datos de las figuras ?? y ??.

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

```
Columns 3 through 4
```

```

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

```
Columns 5 through 6
```

```

0
0.521483162980721    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:

easting =

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.

1.3.5. 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 agregará 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.

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

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

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.