

# COMPROBACIONES DEL RESULTADO DE LA AEROTRIANGULACIÓN CON MATCH-AT



El Flujo de trabajo con MATCH-AT se compone de los siguientes pasos:

1. Creación del proyecto
2. Orientación Interna automática en caso de utilizar imágenes analógicas escaneadas.
3. Generación de puntos de paso automáticos
4. Medición de apoyos
5. Postproceso
6. Análisis o comprobación de los resultados

Es importante en todos estos procesos, definir correctamente las desviaciones estándar de las observaciones que intervienen, para ello consultar el documento *Como fijar las desviaciones estándar en MATCH-AT* que puede descargarse en [www.gtbi.net](http://www.gtbi.net).

A continuación se trata de describir el punto 6, es decir el de análisis y comprobación de resultados.

## FACTORES A TENER EN CUENTA EN EL CONTROL DE CALIDAD DE LA AEROTRIAGULACIÓN

### 1. Comprobación de la Orientación Interna.

En al caso de utilizar imágenes escaneadas provenientes de cámaras analógicas debemos realizar la Orientación Interna. Consideraremos buenos los resultados cuando:

- El sigma del ajuste sea de aprox 1/5 del píxel
- La diferencia entre el tamaño de píxel introducido y el calculado sea menor de 0,05 micras

### 2. Densidad y distribución de los puntos de paso

La densidad y distribución de los puntos de paso debe ser la correcta. Para ello podemos recurrir:

- Log file: Nos dice exactamente las observaciones que hay por foto así como la cantidad exacta de puntos de paso que se han creado. Es importante que haya un número suficiente de puntos pero también que estos estén en el máximo número posible de imágenes. Como se ve en el log file siguiente, la mayoría de puntos de paso creados están en 4 o mas imágenes, lo que proporciona gran robustez al bloque.

Si tuviéramos una mayoría de puntos que están solamente en 2 o 3 imágenes, esto indicaría que hay algún problema con la correlación.

*Tie Point Generator*

-----

<i>created 193 observations for photo</i>	<i>1790</i>
<i>created 176 observations for photo</i>	<i>1791</i>
<i>created 189 observations for photo</i>	<i>1792</i>
<i>created 254 observations for photo</i>	<i>1793</i>
<i>created 310 observations for photo</i>	<i>1785</i>
<i>created 262 observations for photo</i>	<i>1794</i>
<i>created 423 observations for photo</i>	<i>1786</i>
<i>created 318 observations for photo</i>	<i>1787</i>
<i>created 231 observations for photo</i>	<i>1788</i>
<i>created 173 observations for photo</i>	<i>2780</i>
<i>created 183 observations for photo</i>	<i>2772</i>
<i>created 171 observations for photo</i>	<i>1789</i>
<i>created 241 observations for photo</i>	<i>2781</i>
<i>created 287 observations for photo</i>	<i>2773</i>
<i>created 334 observations for photo</i>	<i>2782</i>
<i>created 281 observations for photo</i>	<i>2783</i>
<i>created 318 observations for photo</i>	<i>2775</i>
<i>created 252 observations for photo</i>	<i>2776</i>
<i>created 143 observations for photo</i>	<i>3760</i>
<i>created 194 observations for photo</i>	<i>2777</i>
<i>created 163 observations for photo</i>	<i>3761</i>
<i>created 192 observations for photo</i>	<i>2778</i>
<i>created 141 observations for photo</i>	<i>3762</i>

<i>created</i>	<i>195 observations for photo</i>	<i>2779</i>
<i>created</i>	<i>172 observations for photo</i>	<i>3763</i>
<i>created</i>	<i>143 observations for photo</i>	<i>4820</i>
<i>created</i>	<i>170 observations for photo</i>	<i>3764</i>
<i>created</i>	<i>172 observations for photo</i>	<i>3765</i>
<i>created</i>	<i>193 observations for photo</i>	<i>3766</i>
<i>created</i>	<i>105 observations for photo</i>	<i>4815</i>
<i>created</i>	<i>219 observations for photo</i>	<i>3767</i>
<i>created</i>	<i>112 observations for photo</i>	<i>3759</i>
<i>created</i>	<i>201 observations for photo</i>	<i>3768</i>
<i>created</i>	<i>300 observations for photo</i>	<i>4817</i>
<i>created</i>	<i>143 observations for photo</i>	<i>3769</i>
<i>created</i>	<i>298 observations for photo</i>	<i>4818</i>
<i>created</i>	<i>236 observations for photo</i>	<i>4819</i>
<i>created</i>	<i>281 observations for photo</i>	<i>5804</i>
<i>created</i>	<i>426 observations for photo</i>	<i>5805</i>
<i>created</i>	<i>316 observations for photo</i>	<i>5806</i>
<i>created</i>	<i>156 observations for photo</i>	<i>5807</i>
<i>created</i>	<i>145 observations for photo</i>	<i>5808</i>
<i>created</i>	<i>103 observations for photo</i>	<i>5809</i>

*total of 9515 measurements in 43 photos are used for adjustment*

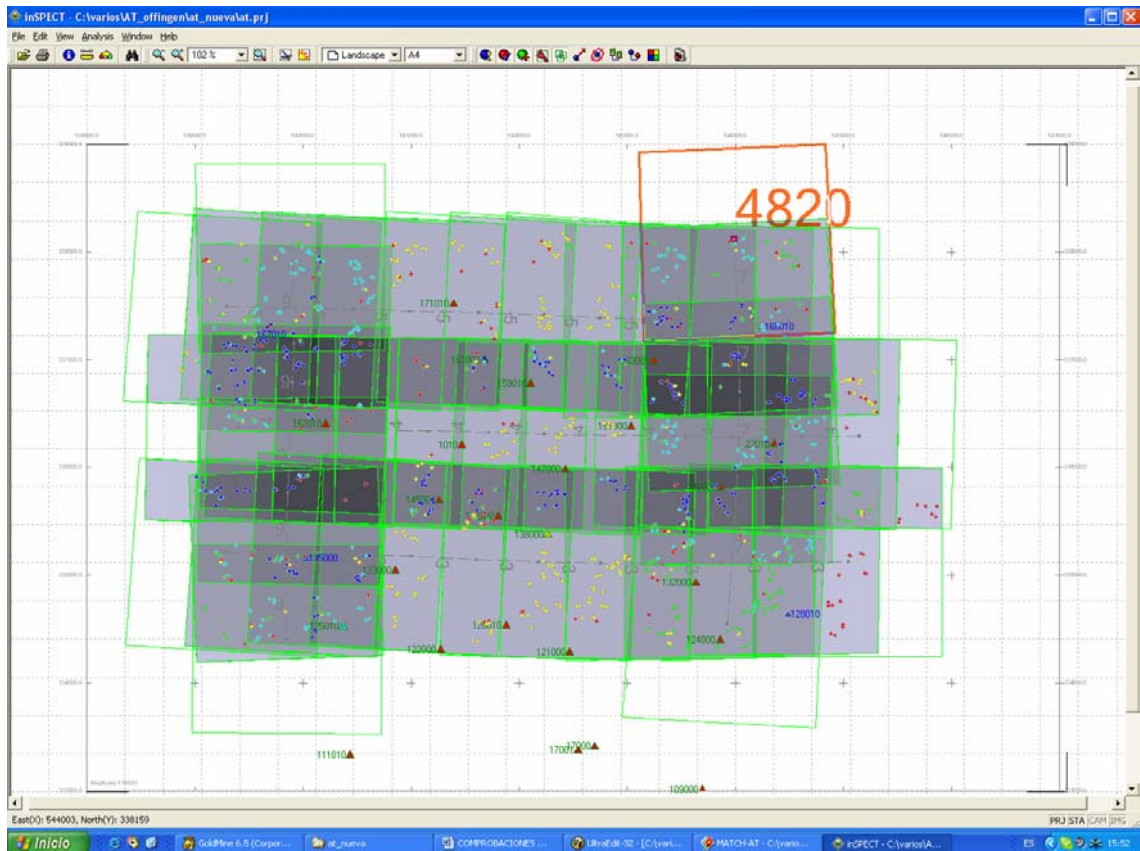
<i>sigma naught</i>	<i>5254.0 micron (18:08:05)</i>
<i>sigma naught</i>	<i>2390.2 micron (18:08:06)</i>
<i>sigma naught</i>	<i>1010.4 micron (18:08:06)</i>
<i>sigma naught</i>	<i>491.3 micron (18:08:07)</i>
<i>sigma naught</i>	<i>381.9 micron (18:08:07)</i>
<i>sigma naught</i>	<i>346.3 micron (18:08:07)</i>
<i>sigma naught</i>	<i>324.7 micron (18:08:08)</i>
<i>sigma naught</i>	<i>306.7 micron (18:08:08)</i>
<i>sigma naught</i>	<i>297.5 micron (18:08:09)</i>
<i>sigma naught</i>	<i>292.4 micron (18:08:09)</i>
<i>sigma naught</i>	<i>289.0 micron (18:08:09)</i>
<i>sigma naught</i>	<i>286.4 micron (18:08:10)</i>
<i>sigma naught</i>	<i>284.4 micron (18:08:10)</i>
<i>sigma naught</i>	<i>308.7 micron (18:08:11)</i>
<i>sigma naught</i>	<i>308.6 micron (18:08:11)</i>

<i>found</i>	<i>447 points connecting</i>	<i>2 photos</i>
<i>found</i>	<i>766 points connecting</i>	<i>3 photos</i>
<i>found</i>	<i>626 points connecting</i>	<i>4 photos</i>
<i>found</i>	<i>352 points connecting</i>	<i>5 photos</i>
<i>found</i>	<i>103 points connecting</i>	<i>6 photos</i>
<i>found</i>	<i>46 points connecting</i>	<i>7 photos</i>
<i>found</i>	<i>16 points connecting</i>	<i>8 photos</i>
<i>found</i>	<i>4 points connecting</i>	<i>9 photos</i>

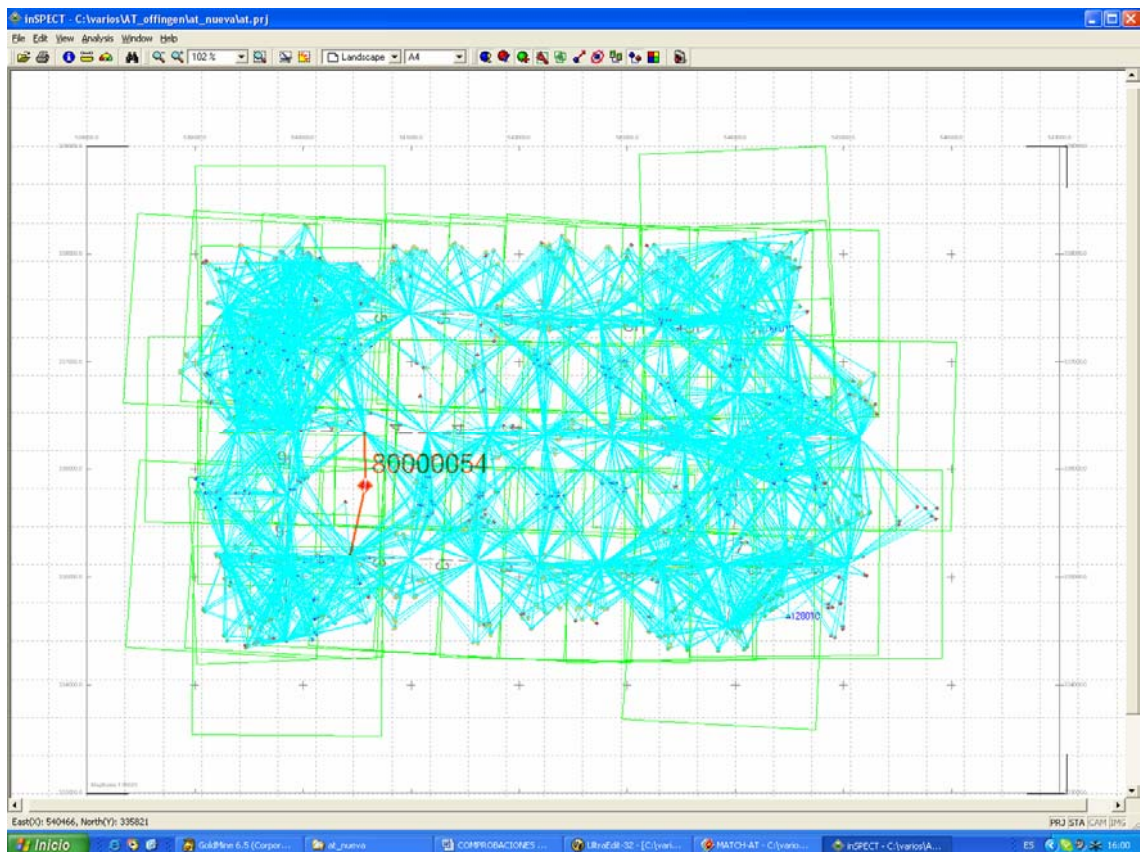
<i>number of observations</i>	<i>17380</i>
<i>number of unknowns</i>	<i>7584</i>
<i>redundancy</i>	<i>9796</i>

- **Analizer:** Es el analizador gráfico y es donde podemos visualizar gráficamente todo lo que aparece en el Log file de cálculo.

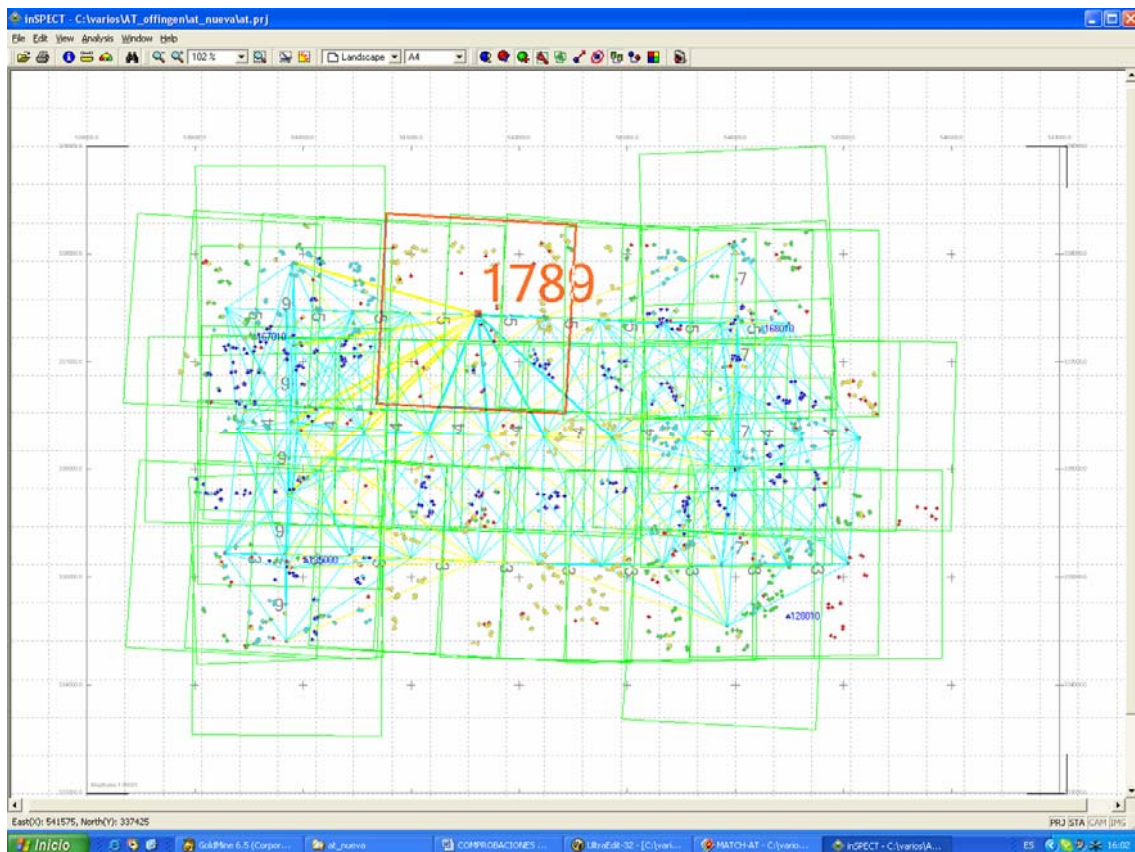
La siguiente captura de pantalla se refiere al log file mostrado, y en ella podemos ver todas las imágenes del bloque con sus solapes así como los puntos de paso generados y en cuantas fotos aparecen según una codificación de colores. Debe de haber puntos en todas las áreas Von Gruber de cada imagen y además los puntos rojos (puntos solamente en dos imágenes) deben solo aparecer en los extremos del bloque, en el caso de que hubiera puntos rojos en las zonas interiores donde se solapan hasta 9 imágenes en el caso de este bloque, esto nos indicaría que ha habido algún problema con la generación de los puntos de paso.



Dentro del Analyzer podemos también mostrar las conexiones de los puntos de paso con las imágenes tal y como se muestra a continuación. De un simple vistazo a ese gráfico vemos que hay algunas áreas un poco “pobres” como es el caso de la zona en la que aparece el punto 8000054 (posiblemente zonas de bosque o agua) y donde quizás deberíamos densificar puntos de paso si es que esto es posible. En el caso de existir muchas zonas de bosque o agua, lógicamente las conexiones serían bastante débiles, en este caso el volar con IMU y medir los inerciales podría compensar esta “debilidad” en las conexiones.



Otra información muy valiosa que se puede extraer del Analizer son las conexiones entre las imágenes. En color azul aparecen unidas todas aquellas imágenes bien conectadas y en azul las que están más débiles en cuanto a conexión. En el caso de la imagen resaltada, existe una conexión débil con 6 imágenes, sin embargo esto no debe preocuparnos ya que todas y cada una de esas 6 imágenes se solapan muy ligeramente con la imagen en cuestión por lo que es lógico que las conexiones sean débiles, si debe preocuparnos si una de estas conexiones débiles fuera con una de las imágenes adyacentes con las que tiene 60% de solape.



### 3. Sigma Naught

Al final de cada ajuste, MATCH-AT nos proporciona el Sigma Naught a posteriori. Este valor debe estar en torno a 1/5 pixel o incluso menos en bloques pequeños.

Si el valor obtenido es mucho mayor, esto nos indica que el bloque está demasiado “suelto”, es decir hay demasiada “holgura”. Así por ejemplo, con un sigma naught muy alto, podría ocurrir que los residuos de los puntos de control sean muy bajos y sin embargo estar mal debido a la gran holgura del bloque. Es decir, podría ocurrir que haya observaciones erróneas que no sean detectadas en el ajuste robusto

**En resumen, cuanto mas alto sea el sigma naught menos garantías podemos tener de los resultados obtenidos.**

### 4. Residuos

*En los puntos de Chequeo y control.*

**Una de las mejores maneras de comprobar la bondad de la aerotriangulación es a través de los residuos de los puntos de chequeo.** Esto es realmente lo que nos proporciona la “precisión” de la aerotriangulación. Analizando el Log File podemos encontrar dichos valores tanto en X e Y como en Z junto con los de los puntos de apoyo. En el caso que se muestra a continuación, en Z estaríamos obteniendo unos 30 cm, mientras que en X e Y estaríamos en torno a los 18 o 20.

*residuals horizontal control points in [meter]*

<i>control point ID</i>	<i>rx</i>	<i>ry</i>
1010	0.042	-0.012
121000	-0.082	-0.025
122000	-0.000	0.005
124000	-0.071	0.073
125010	-0.056	-0.060
126010	-0.014	0.020
128010	0.069	-0.156
133000	-0.062	0.001
135000	0.060	0.017
138000	0.030	-0.005
142002	0.004	-0.035 check point
145000	0.005	0.004
146000	-0.019	0.173 check point
147000	-0.022	0.057
151000	0.067	0.088
159010	0.033	-0.011 check point
162002	0.084	0.034
167010	0.030	-0.104
168010	-0.079	0.063

*residuals vertical control points in [meter]*



<i>control point ID</i>	<i>rz</i>
1010	-0.084
121000	0.077
122000	-0.024
124000	-0.044
125010	0.161
126010	-0.113
128010	-0.046
133000	-0.027
135000	-0.002
138000	0.013
142002	0.005 <i>check point</i>
145000	0.020
146000	-0.079 <i>check point</i>
147000	-0.068
151000	0.142
159010	0.324 <i>check point</i>
162002	-0.008
167010	-0.048
168010	0.051

Junto con los puntos de chequeo, aparecen también los puntos de fotocontrol. Es importante comprobarlos también pero como se ha explicado en el punto anterior, si el sigma naught del ajuste es muy alto, estos residuos no nos indican demasiado, de ahí que **se recomiende utilizar siempre puntos de chequeos ya que estos son una garantía de lo que está ocurriendo independientemente de cualquier otro factor**. Si no se dispone de puntos de chequeo podemos utilizar uno de los apoyos como chequeo para asegurarnos de que todo va bien.

*En las observaciones GPS/INS.*

En el Log File también se nos muestran los residuos en las observaciones GPS/INS en caso de que existan, conviene también comprobar que está todo correcto. Es importante señalar que en el caso del GPS hay que tener en cuenta la corrección de deriva cuando esta sea necesaria y en el caso del INS corregir la desalineación de la antena si es que no se ha hecho al postprocesar los datos provenientes del IMU.

## 5. RMS a posteriori

Otra información importante que nos proporciona el Log File son los RMS a posteriori de las observaciones que intervienen. Estos valores deben parecerse a los valores introducidos a priori, y si esto no ocurre significa que estamos “falseando” los datos y deberemos tratar de corregirlo:

*RMS automatic points in photo*

x 3.5 micron  
y 3.4 micron

*RMS control points in photo*

x 6.2 micron  
y 6.8 micron

*RMS control points with default standard deviation set*

x 0.055 [meter]  
y 0.062 [meter]

*RMS control points with default standard deviation set*

z 0.074 [meter]

*RMS at check points*

x 0.022 [meter]  
y 0.102 [meter]  
z 0.192 [meter]

*RMS GPS observations*

x 0.100 [meter]  
y 0.152 [meter]  
z 0.088 [meter]

## 6. Diferencia entre el punto de apoyo y su proyección en cada modelo

Como ya se ha comentado en apartados anteriores los residuos en los puntos de fotocontrol no nos muestran la “realidad” de lo que está pasando, es decir podría ocurrir que un punto en concreto tenga un residuo de pocos cm y posteriormente al abrir el proyecto en un restituidor el mismo punto aparezca un metro hundido en el terreno.

Esto se debe a que los residuos del ajuste están enormemente influenciados por las desviaciones estándar que fijemos “a priori”, es decir antes de calcular el proceso, esto es, las desviaciones que fijamos en el editor de proyecto.

Si por ejemplo las desviaciones “a priori” son muy bajas, los residuos posteriores al ajuste serán muy bajos y al contrario, si las desviaciones que fijemos “a priori” son muy altas los residuos serán muy altos. Es por eso, que es de extrema importancia fijar las desviaciones estándar de forma correcta, de esta manera, los residuos obtenidos se acercarán a la realidad.

Para evitar todo esto y poder estimar siempre la “realidad”, a partir de la versión 5.1 se introdujo la siguiente información en el Log File:

-----						
SA-65	HV					
	142	143	0.197	0.174	0.263	-0.725
	142	144	-0.060	0.034	0.069	0.054
	142	145	0.069	0.082	0.107	-0.256
	143	144	-0.183	0.077	0.198	0.766
	143	145	0.042	0.123	0.130	-0.032
	144	145	0.113	-0.025	0.115	-0.909
			RMSxyz :	0.126	0.100	0.161 0.578
			Vxyz adj. :	0.000	0.005	0.015
			(abs (Vxyz) - RMSxyz) :	-0.126	-0.095	-0.563
-----						
SA-66	HV					
	129	130	0.059	-0.014	0.060	-0.121
	129	131	-0.022	-0.042	0.048	0.076
	129	132	0.009	-0.025	0.027	-0.024
	130	131	-0.078	-0.017	0.080	0.291
	130	132	0.000	-0.013	0.013	0.028
	131	132	0.054	-0.077	0.094	-0.230
			RMSxyz :	0.046	0.039	0.061 0.163
			Vxyz adj. :	0.001	-0.013	0.011
			(abs (Vxyz) - RMSxyz) :	-0.046	-0.026	-0.152
-----						

En el listado anterior se muestran dos puntos de fotocontrol (SA-65 y SA-66) y junto con ellos la diferencia entre las coordenadas del punto de fotocontrol y su proyección en los diferentes modelos estereoscópicos.

Así por ejemplo, el punto SA-65 aparece en los pares estereoscópicos 142-143, 142-144, 142-145, etc. En cada par estereoscópico se nos muestra la diferencia entre las coordenadas originales y la proyección de ese punto con los valores de orientación externa calculados en el ajuste, por tanto y siguiendo el ejemplo anterior, si abrimos el modelo 142-143 en un restituidor veremos que el punto SA-65 está desplazado 0.197 en X, 0,263 en Y y -0,725 en Z, y sin embargo tal y como aparece un poco mas abajo, los residuos del ajuste son 0,000 en X, 0,005 en Y y 0,015 en Z.

Lo que nos muestra el Log file por tanto, es por una parte la diferencia entre las coordenadas originales y la proyección del punto en cada modelo, el error medio cuadrático de estas diferencias, el residuo del ajuste y por último la diferencia entre los errores medios cuadráticos y el residuo. Si este último valor es muy grande (fila  $\text{abs}(V_{xyz}) - \text{RMS}_{xyz}$ ) es muy grande significa que ese punto puede ser erróneo a pesar que los residuos obtenidos sean buenos.

*Nota: Estos son quizás los parámetros mas importantes a la hora de chequear la aerotriangulación, sin embargo, dentro del Log File se nos proporciona algunos otros parámetros estadísticos más que en algún caso también nos pueden ayudar a encontrar errores. Hay que destacar también que con cada aerotriangulación se genera un fichero binario con extensión .sta que nos proporciona información mas detallada de todos los elementos que intervienen uno por uno. Este fichero puede transformarse a formato texto a través de read\_stat.exe que se encuentra en el directorio bin de instalación de MATCH-AT.*