

# REUNIÓN SIRGAS 2013 - PANAMÁ

**Co-locación de las técnicas geodésicas satelitales SLR y GPS en el Observatorio Astronómico Félix Aguilar de San Juan, Argentina**

**Universidad Nacional de San Juan, Argentina**

**Dr. Ricardo César Podestá**

**Departamento de Geofísica y Astronomía  
Universidad Nacional de San Juan, Argentina**



# SAN JUAN - ARGENTINA

**Superficie: 89.651 Km<sup>2</sup>**

**Población: 650.000**

**Densidad: 7 p / Km<sup>2</sup>**

**Clima: soleado y seco**



**Observatorio  
Astronómico Félix  
Aguilar (OFAFA)**

## Sistemas y Marcos de Referencia

- Un Sistema de Referencia (SR) es una estructura geométrica que sirve para referir las coordenadas de puntos en el espacio.

Puede definirse por una terna de ejes con su Origen y direcciones, escalas, algoritmos de transformaciones espaciales - temporales y sus constantes.

- Un Marco de Referencia (MR) es la materialización de un SR. Es el conjunto de elementos que determinan en forma precisa el SR y está construido por las coordenadas de los puntos de definición, las técnicas aplicadas y los métodos de cálculo

**En Astronomía, Geodesia y Geodinámica son necesarios dos SR fundamentales y sus correspondientes MR**

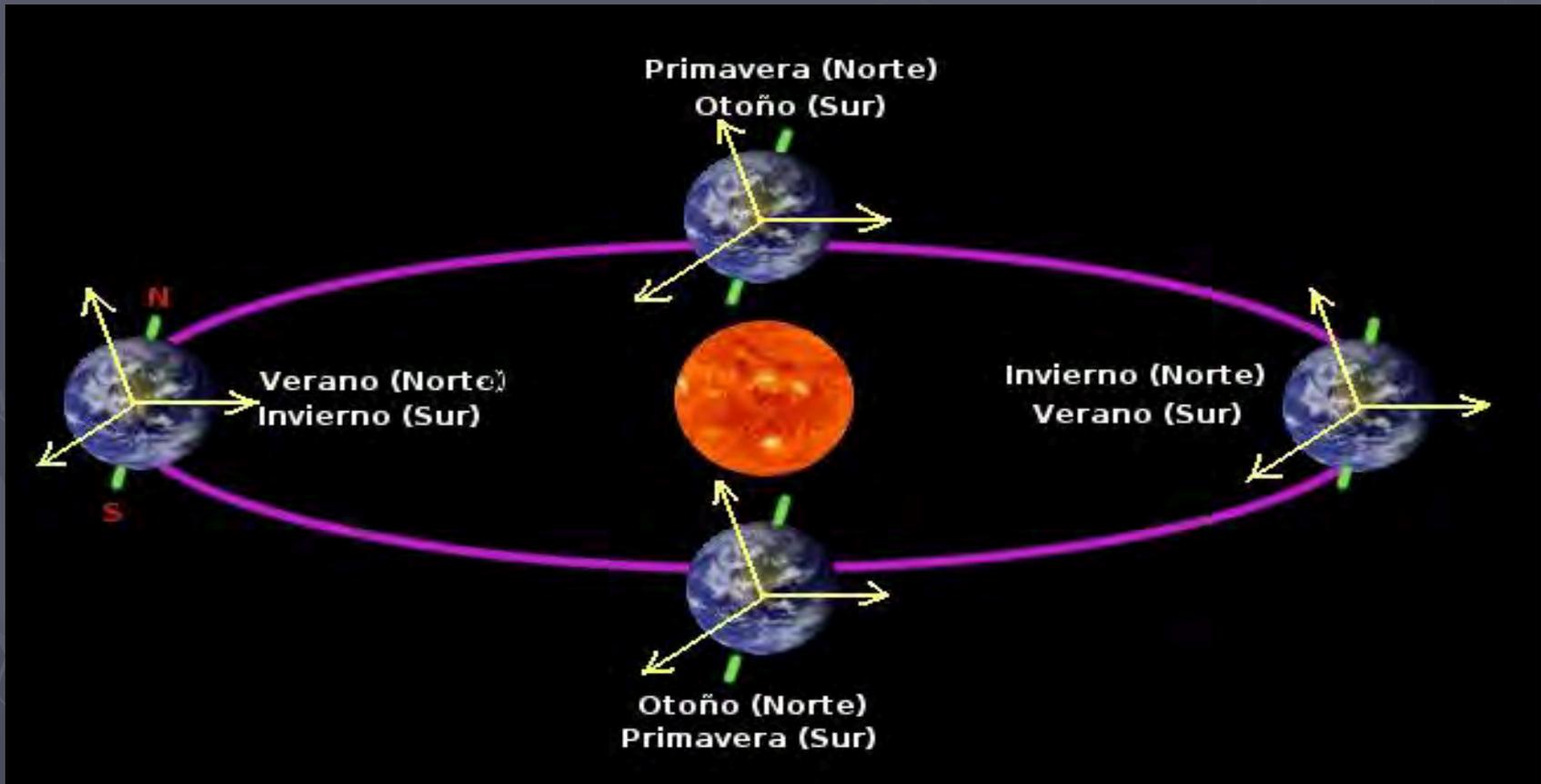
**CELESTES**



**TERRESTRES**

**Sistemas Inerciales** : Un cuerpo persiste en su estado de reposo o en M.R.U. a menos que una fuerza solicitante cambie su estado

**Sistemas Cuasi-Inerciales**: Sistema NO rotante basado en la Mecánica Clásica . Su origen puede tener aceleración



**El Geocentro Terrestre se mueve alrededor de una elipse, mientras que sus ejes permanecen siempre paralelos a sí mismos**

Asamblea Año 2000

Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (UIGG)  
Unión Astronómica Internacional (UAI)

Modificación de las tradicionales y ancestrales definiciones a partir del **01/01/2003**

Nuevas definiciones para los SR Celeste y Terrestre . **Aparece un SR Intermedio**

**Nuevos conceptos**

Polo Celeste Intermedio (CIP)

Cambio de la teoría de Precesión-Nutación (PN)

Origen Celeste Intermedio (CIO)

Origen Terrestre Intermedio (TIO)

Ángulo de Rotación de la Tierra

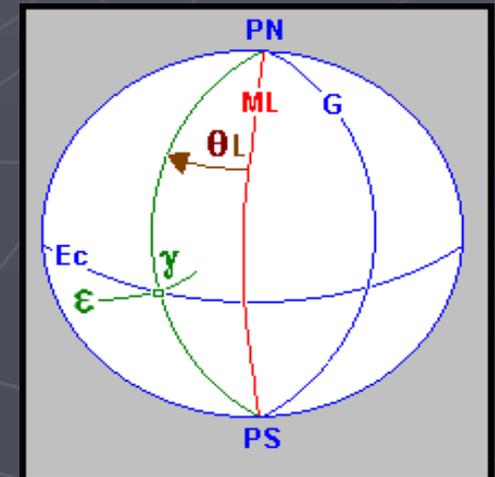
Punto Vernal o Equinoccio

Plano de la Eclíptica

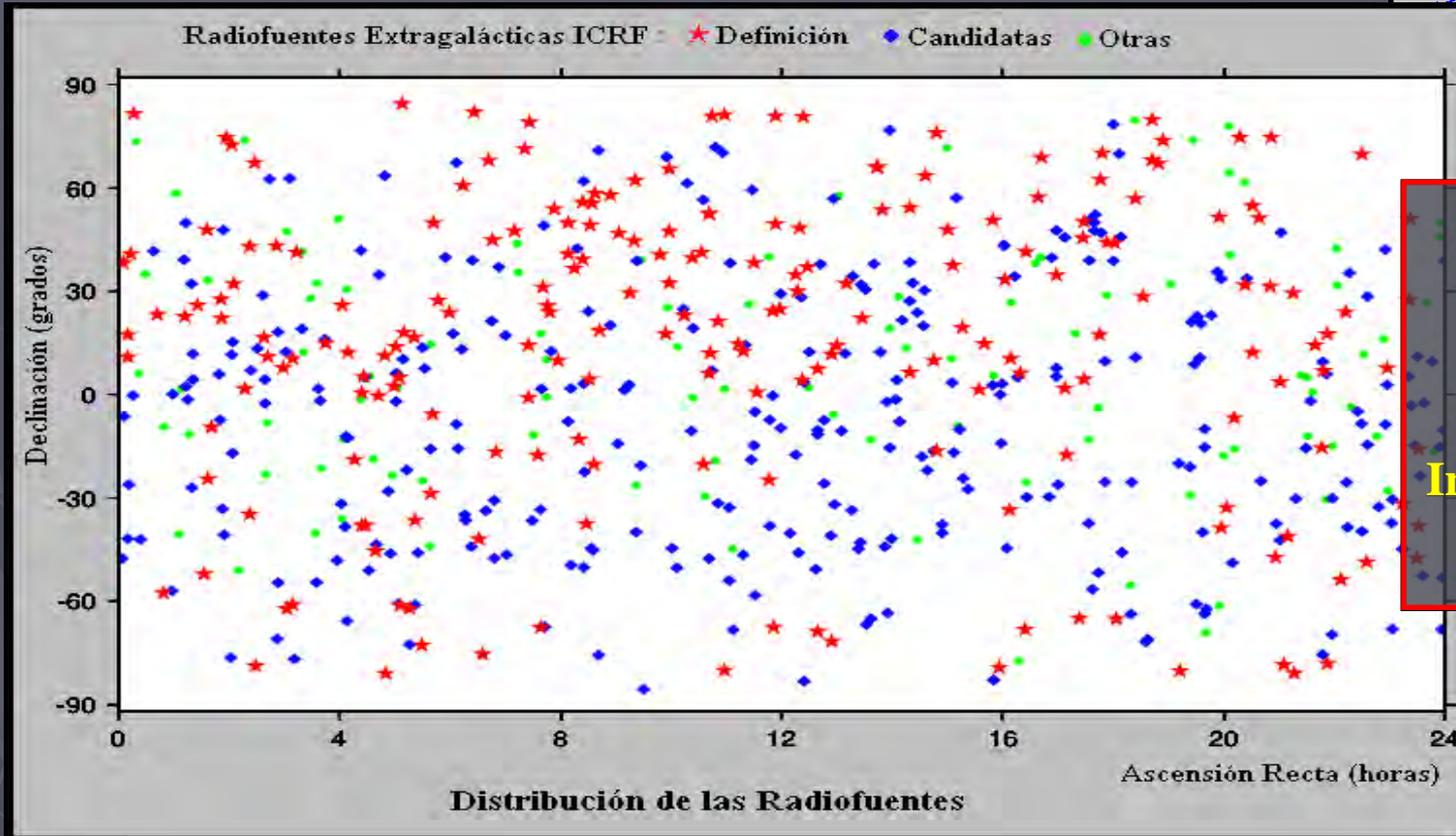
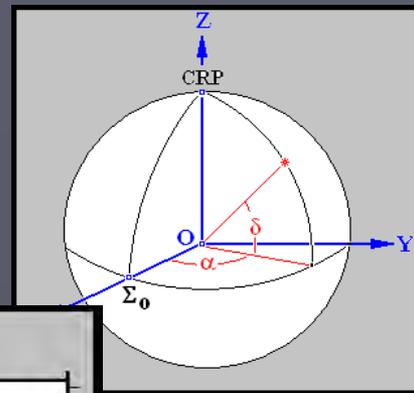
Hora Sidérea

Meridiano de Greenwich

**Obsoletos**



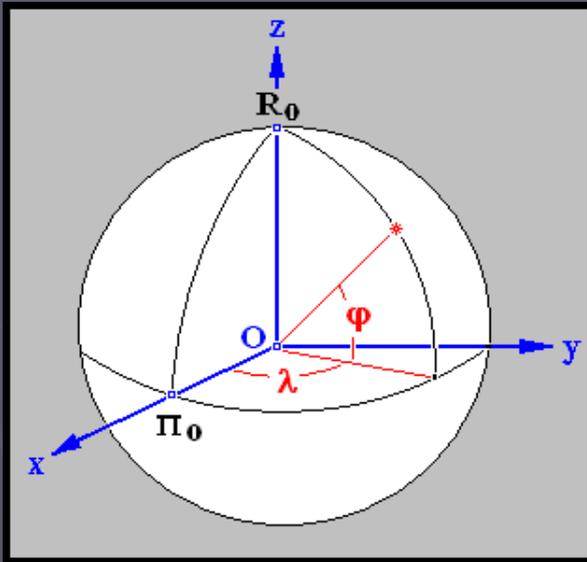
SR → Sistema de Referencia Celeste Baricéntrico (BCRS)  
Sistema de Referencia Celeste Geocéntrico (GCRS)



Marco de Referencia Celeste Internacional (ICRF)

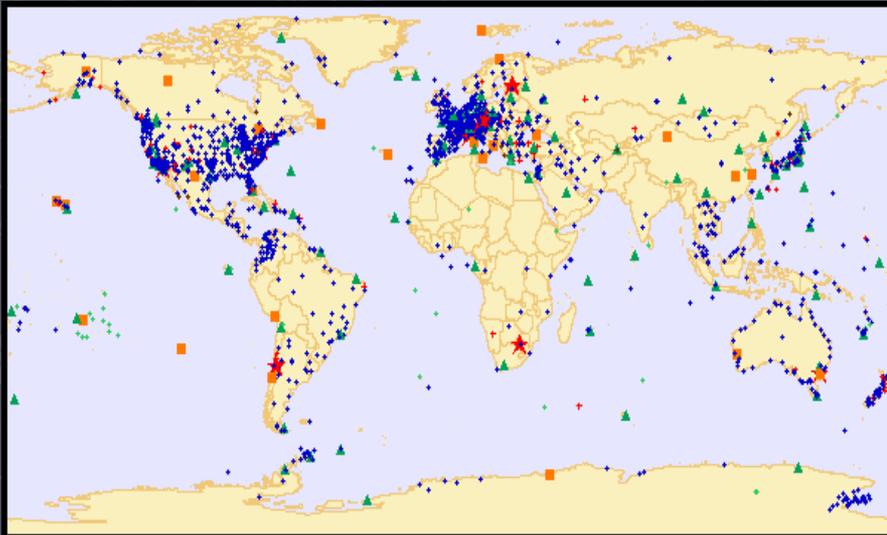
- Coordenadas J2000.0 con VLBI de 700 RF por el IERS ( 300 RF de definición )
- Precisiones debajo del mas
- Origen Baricentro del SS + Relatividad General

## Sistema de Referencia Terrestre Internacional (ITRS)



- \* Acompaña a la Rotación de la Tierra. Geocéntrico
- \* Da la posición y velocidad de un punto sobre la superficie
- \* Las variaciones de los puntos son por causas geofísicas
- \* El MR asociado está formado por las coordenadas geográficas de Estaciones

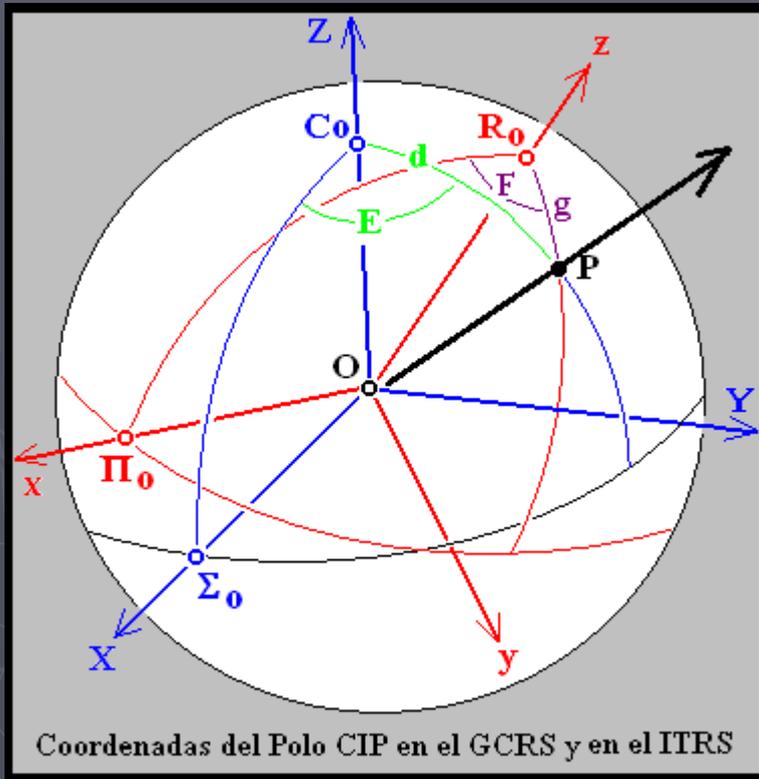
## Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF)



- \* Red de Estaciones VLBI, LLR, SLR, GPS y Doris.
- \* Lista de Coordenadas y Velocidades de Estaciones IERS (época ITRF yy)
- \* Cada Estación produce un MR particular  
El Centro de Productos IERS obtiene el ITRF final

# Definición de los nuevos Orígenes

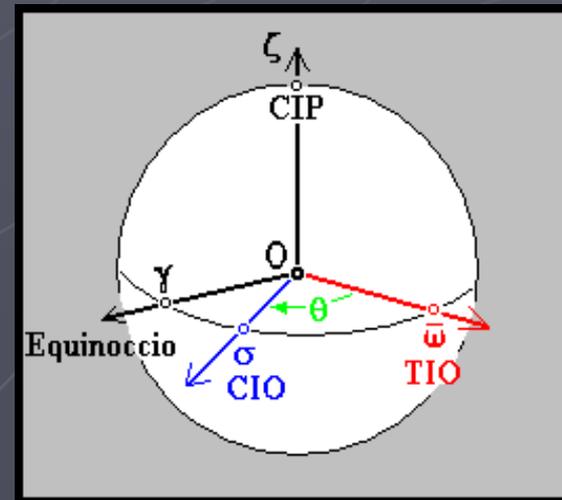
## Polo Celeste Intermedio (CIP)



Asamblea General de la UAI 2000  
a partir de la fecha 01/01/2003

Origen Celeste Intermedio (CIO)

Origen Terrestre Intermedio (TIO)



$$\theta = \arcsin \omega \sigma$$

## Estación Permanente OAFA

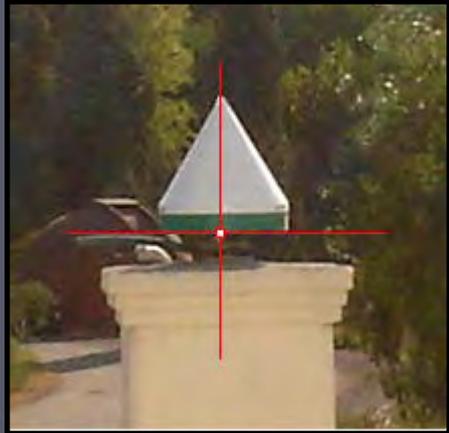
- Contar con receptor y antena de doble frecuencia
- Posibilidad de rastrear al menos 8 satélites sobre los 10 grados de elevación
- Disponer también que el receptor reciba los códigos C/A y P
- Antena estable
- Distribución libre de los datos, preferentemente en forma diaria
- Acceso a los datos a través de Internet
- Intervalo de registro de 30 segundos o menor
- Mantenimiento adecuado de todas las instalaciones

**ASHTECH - Micro Z-CGRS**





**Edificio Walter T. Manrique**



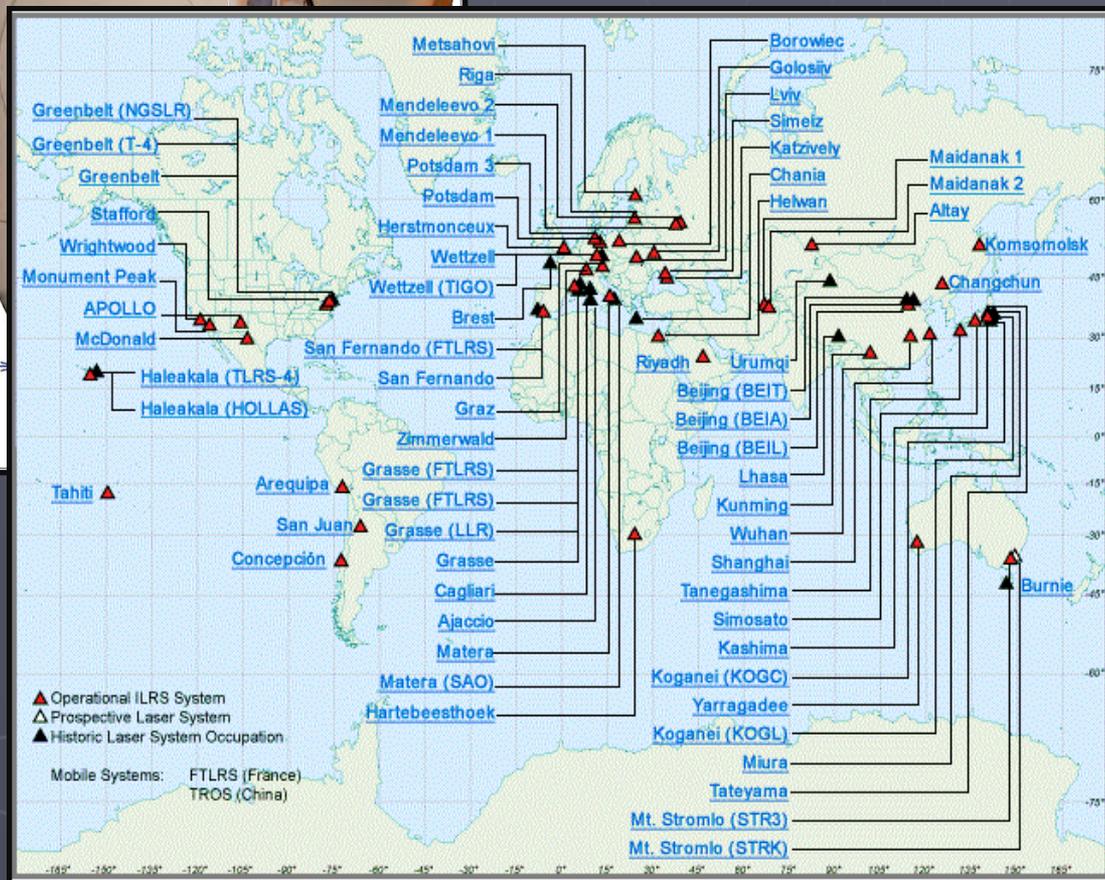
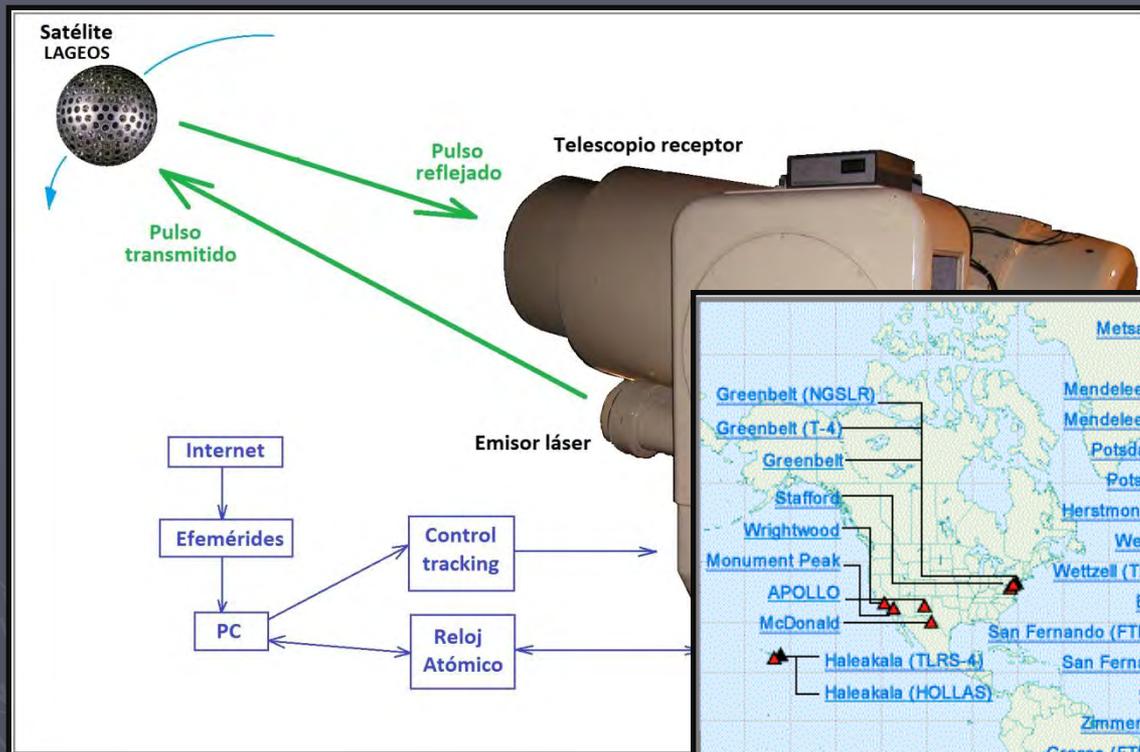
**Punto de referencia**



**Pilar con la antena GPS**

# Satellite Laser Ranging del OAFA

## Esquema de funcionamiento



Red Global ILRS

# El Sistema SLR del OAFa

## Lugar de Instalación

X = 1984104.114 m

Y = -5068867.289 m

Z = -3314482.433 m

L =  $-31^{\circ}.5086249$

B =  $-68^{\circ}.6231602$

H = 727.221 m



Telescopio Cassegrain

Apertura 0.60 [m]

Montura AZ - EL

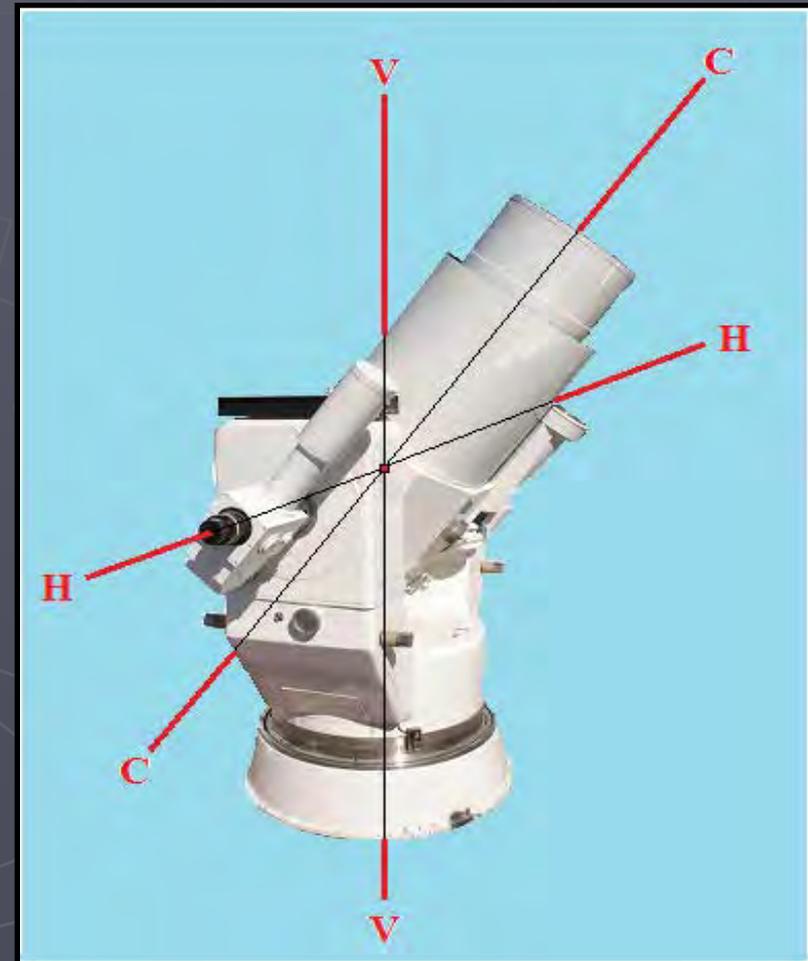
Oscilador Nd: YAG

Long. de Onda Primaria 1064 [nm]

Máxima Energía 80 [mJ]

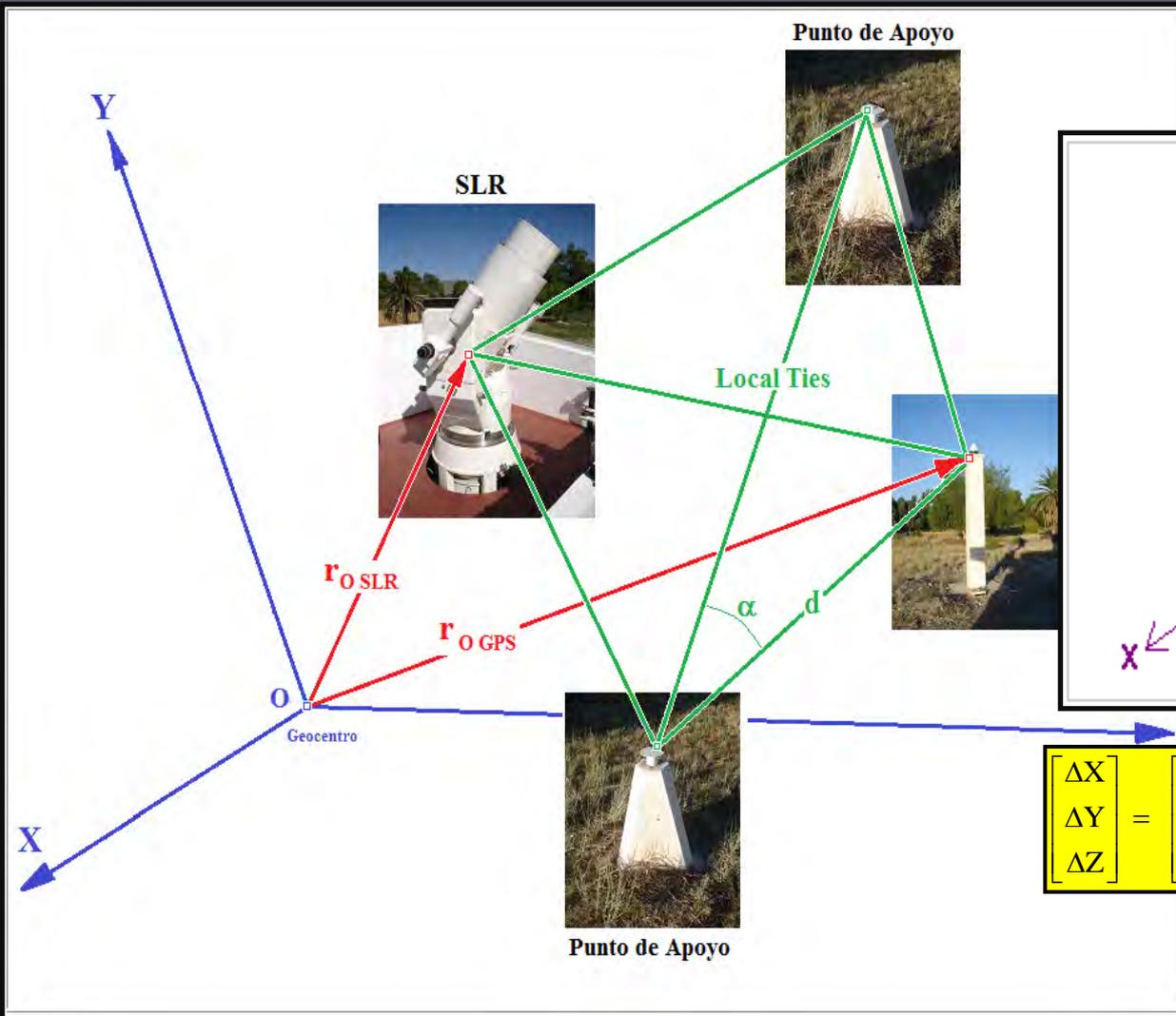
Long. de Onda Secundaria 532 [nm]

Ancho del Pulso 30-50 [ps]

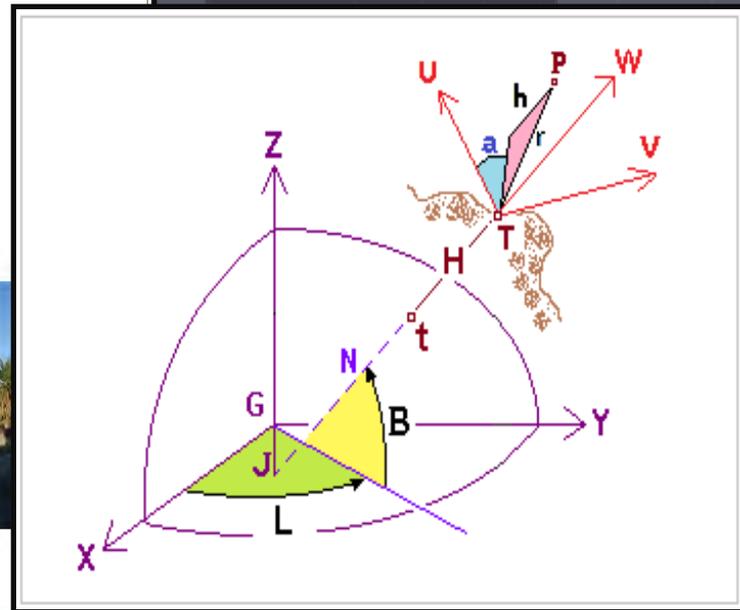


# Definición de Co-locación - Enlaces locales LT (*Local Ties*)

Un sitio de “co-locación” está definido por dos o más técnicas geodésicas espaciales que ocupan sitios cercanos, vinculados entre sí con medidas muy precisas en 3D



## Red Geodésica



$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\text{sen } B \cos L & -\text{sen } L & \cos B \cos L \\ -\text{sen } B \text{ sen } L & \cos L & \cos B \text{ sen } L \\ \cos B & 0 & \text{sen } B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta U \\ \Delta V \\ \Delta W \end{bmatrix}$$

# Equipamiento empleado en la medición de los LT



Teodolito  
WILD T2



P



Estación Tot

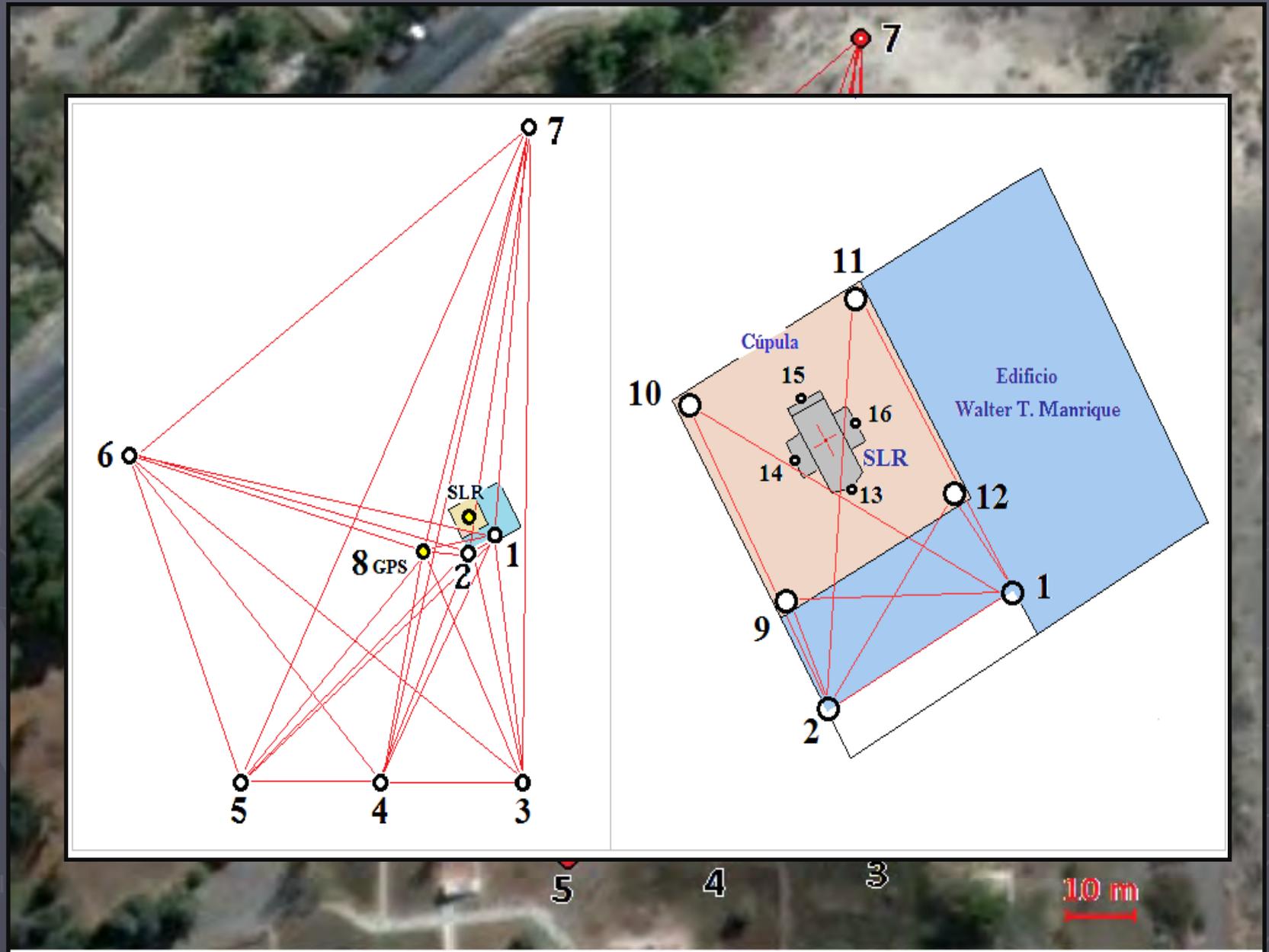
Nivel de Precisión BOIF



**GPS topográfico GTR-A**

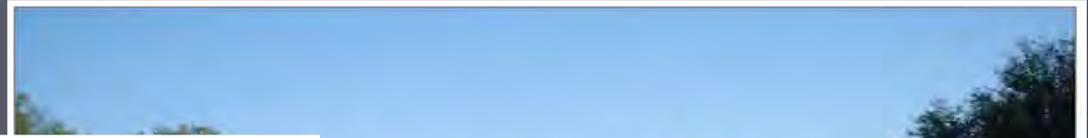
**GPS geodésico TRIMBLE**

# Red geodésica



# Materialización de los puntos

Punto 7



Punto 3

Puntos 1 y 2

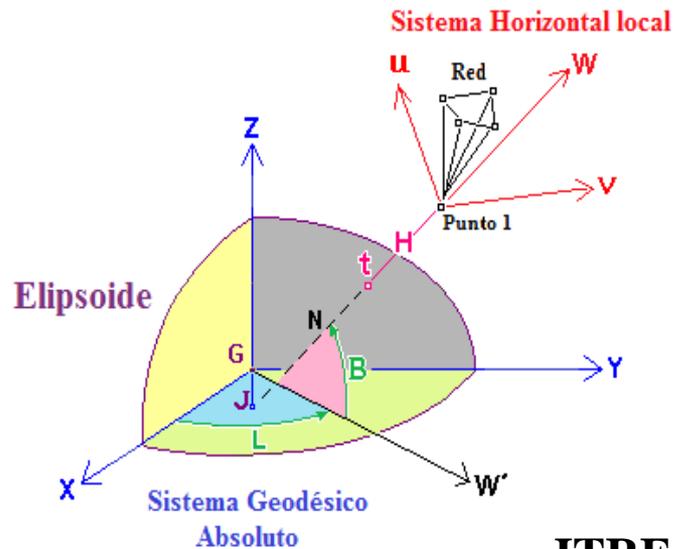
# Metodología

Red Tradicional  
en un sistema local

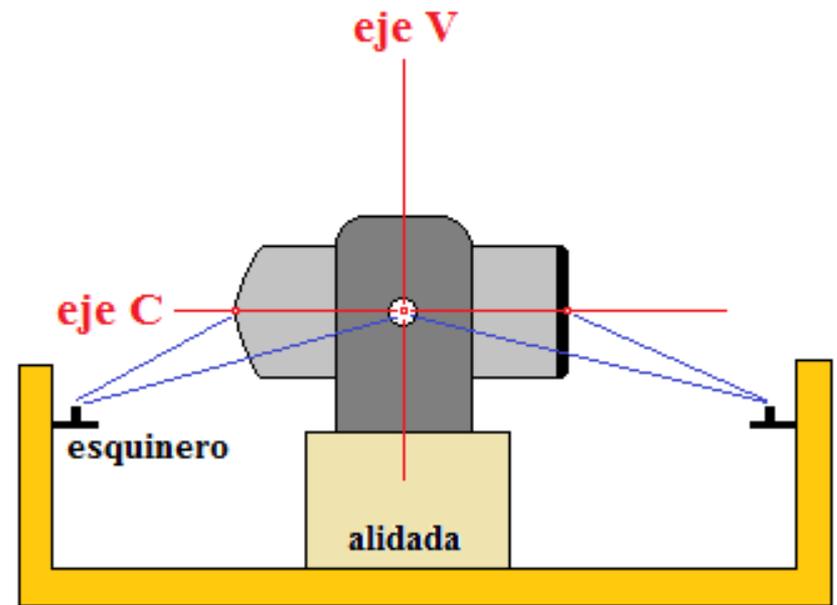
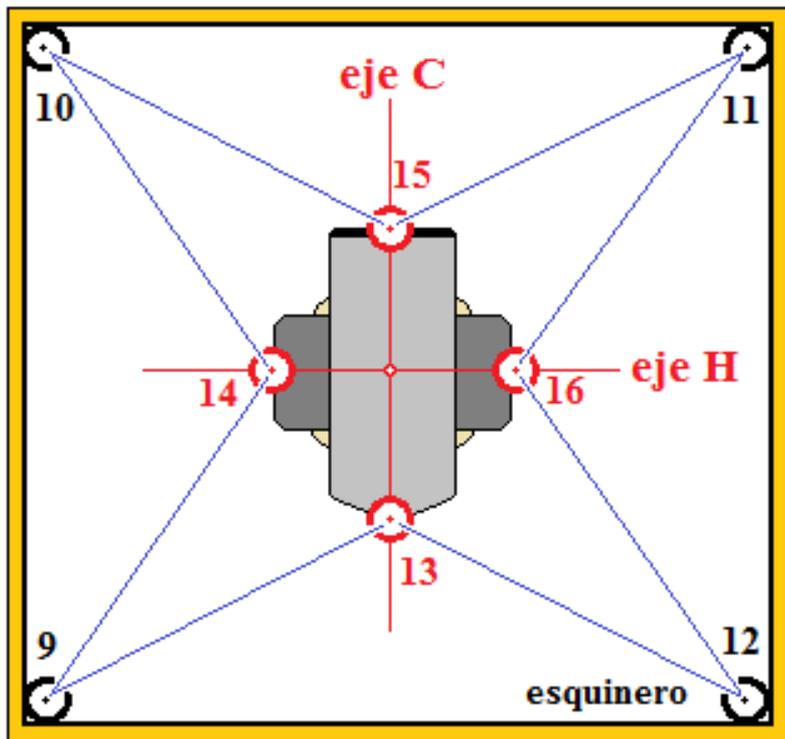
Red GPS  
en un sistema local

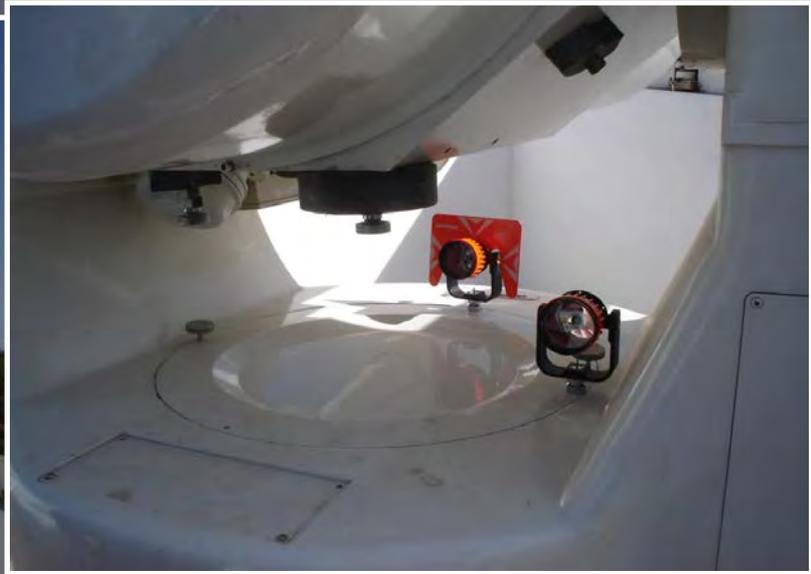
Medición de ángulos y distancias  
Trilateración y Nivelación

Medición de los vectores



ITRF 2005





# Cálculo y compensación

Archivo de salida REDGPS\_ALV con las matrices Varianza - Covarianza de las componentes de los vectores observados

## Matriz OGPS

Punto Origen / Punto Extremo / dx / dy / dz

6.0000	5.0000	2.2740	31.6120	-45.3680
6.0000	7.0000	79.4790	-17.6240	73.6150
6.0000	7.0000	79.4770	-17.6300	73.6190
6.0000	3.0000	46.9970	49.0400	-45.2550
5.0000	7.0000	77.2050	-49.2340	118.9810
5.0000	3.0000	44.7260	17.4260	0.1130
.....				
.....				

## Punto Origen-Punto Extremo

1.0e-004 \*

6-5

0.1330	0	0
-0.0770	0.3150	0
0.0043	0.0061	0.0963

6-7

0.1820	0	0
-0.1070	0.2980	0
-0.0127	0.0077	0.0920

6-3

0.2280	0	0
-0.1290	0.5730	0
0.0066	0.0129	0.1680

...

\*PASA EL TEST CHI CUADRADO AL 95%\*

\*COORDENADAS AJUSTADAS\*

PUNTO	X	Y	Z
1.00	1984110.41	-5068864.32	-3314482.44
2.00	1984106.39	-5068864.51	-3314484.58
3.00	1984100.26	-5068831.66	-3314531.04
4.00	1984077.89	-5068840.38	-3314531.10
5.00	1984055.53	-5068849.09	-3314531.15
6.00	1984053.25	-5068880.70	-3314485.78
7.00	1984132.73	-5068898.33	-3314412.17
8.00	1984095.78	-5068868.33	-3314485.50

\*ERRORES ESTANDAR DE LAS COORDENADAS AJUSTADAS\*

PUNTO	ERRX.	ERRY.	ERRZ.	EERM(est.)
1.0000	0.0005	0.0007	0.0005	0.0009
2.0000	0.0006	0.0008	0.0007	0.0012
3.0000	0.0005	0.0007	0.0005	0.0010
4.0000	0.0005	0.0007	0.0005	0.0010
5.0000	0.0005	0.0006	0.0005	0.0009
6.0000	0.0005	0.0007	0.0005	0.0010
7.0000	0.0005	0.0007	0.0004	0.0009
8.0000	0.0004	0.0006	0.0004	0.0009

# Elipses de Error

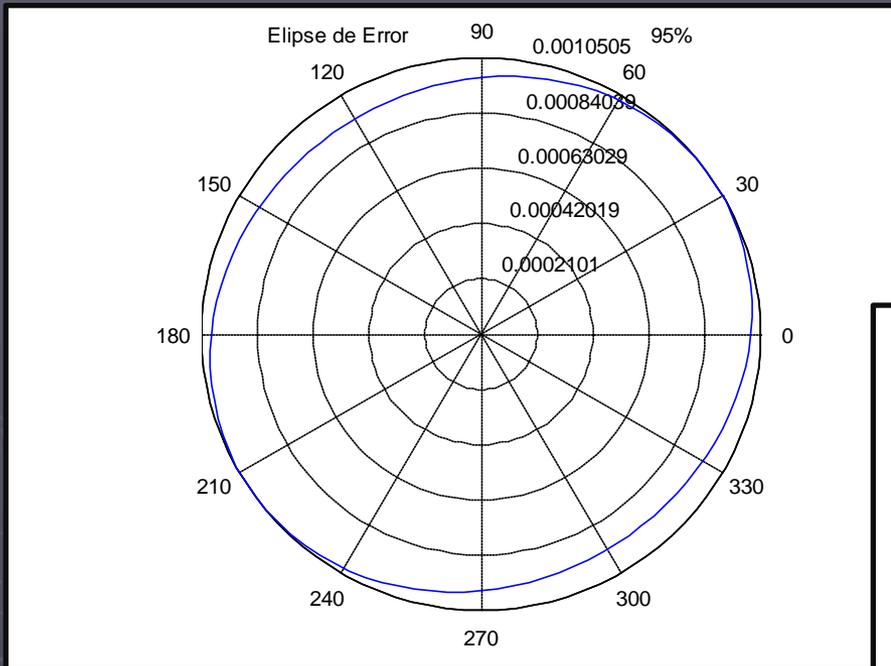
## \*ELIPSE PUNTO\* 1

\*SEMIEJE MAYOR  $A=0.0011$  m ,

\*SEMIEJE MENOR  $B=0.0009$  m

\*AZIMUT FI=34.83 grados ,

\*EXCENT. =0.1881 , \*AREA (cm<sup>2</sup>) = 0.03



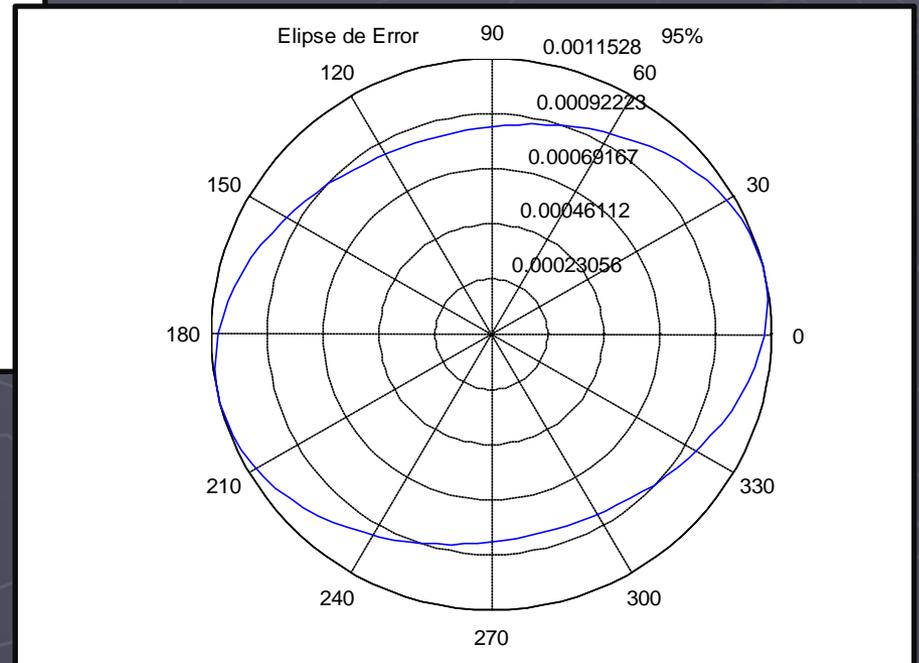
## \*ELIPSE PUNTO\* 7

\*SEMIEJE MAYOR  $A=0.0012$  m ,

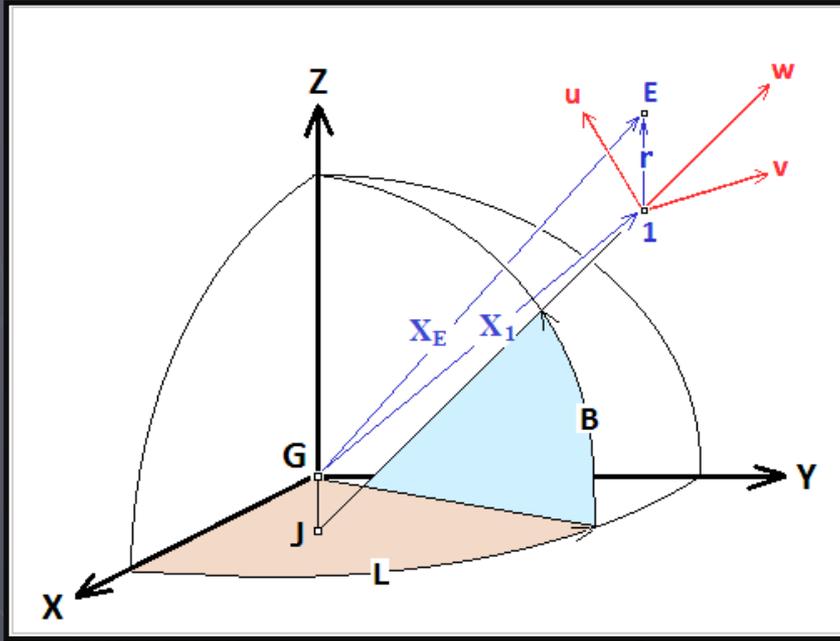
\*SEMIEJE MENOR  $B=0.0009$  m

\*AZIMUT FI=14.54 grados ,

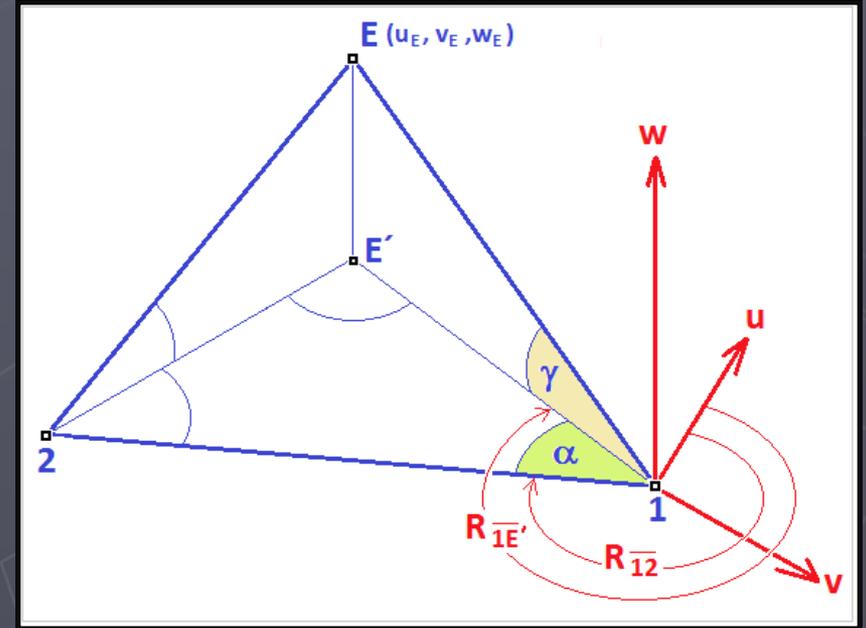
\*EXCENT. =0.4456 , \*AREA (cm<sup>2</sup>) = 0.03



# Propagación de errores



Tomando como base el sistema local centrado en el vértice 1 de la red geodésica, se determinan los errores propagados por las medidas lineales y angulares a los puntos esquineros, según las fórmulas:



$$\sigma_{w_E} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial 1E}\right)^2 \sigma_{1E}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \gamma}\right)^2 \frac{\sigma_\gamma^2}{206265^2}}$$

$$\sigma_{u_E} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial 1E}\right)^2 \sigma_{1E}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \alpha}\right)^2 \frac{\sigma_\alpha^2}{206265^2} + \left(\frac{\partial f}{\partial \gamma}\right)^2 \frac{\sigma_\gamma^2}{206265^2} + \left(\frac{\partial f}{\partial R_{12}}\right)^2 \frac{\sigma_{R_{12}}^2}{206265^2}}$$

$$\sigma_{v_E} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial 1E}\right)^2 \sigma_{1E}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \alpha}\right)^2 \frac{\sigma_\alpha^2}{206265^2} + \left(\frac{\partial f}{\partial \gamma}\right)^2 \frac{\sigma_\gamma^2}{206265^2} + \left(\frac{\partial f}{\partial R_{12}}\right)^2 \frac{\sigma_{R_{12}}^2}{206265^2}}$$

## Coordenadas finales de los puntos de la red

Los valores finales de las coordenadas rectangulares están dadas en el marco de referencia ITRF 2005 (o Posgar 2007), para la época 26 de Junio de 2012 (2012.403).

Punto	X	Y	Z
1	1984110,4081	-5068864,3161	-3314482,4443
2	1984106,3887	-5068864,5135	-3314484,5838
3	1984100,2568	-5068831,6577	-3314531,0416
4	1984077,8903	-5068840,3763	-3314531,1024
5	1984055,5276	-5068849,0898	-3314531,1517
6	1984053,2547	-5068880,6993	-3314485,7836
7	1984132,7308	-5068898,3303	-3314412,1670
8	1984095,7826	-5068868,3277	-3314485,5004
9	1984105,4952	-5068866,0664	-3314482,3068
10	1984104,1382	-5068868,7369	-3314479,3020
11	1984107,6748	-5068868,1806	-3314477,1238
12	1984109,0978	-5068865,6022	-3314480,1866
CGL	1984106,7928	-5068867,4829	-3314479,9346

$$\text{Vector Punto 8 - CGL} = \sqrt{(X_8 - X_{\text{CGL}})^2 + (Y_8 - Y_{\text{CGL}})^2 + (Z_8 - Z_{\text{CGL}})^2} = 12.3659 \text{ metros}$$

## **Errores estándar de las coordenadas ajustadas (metros)**

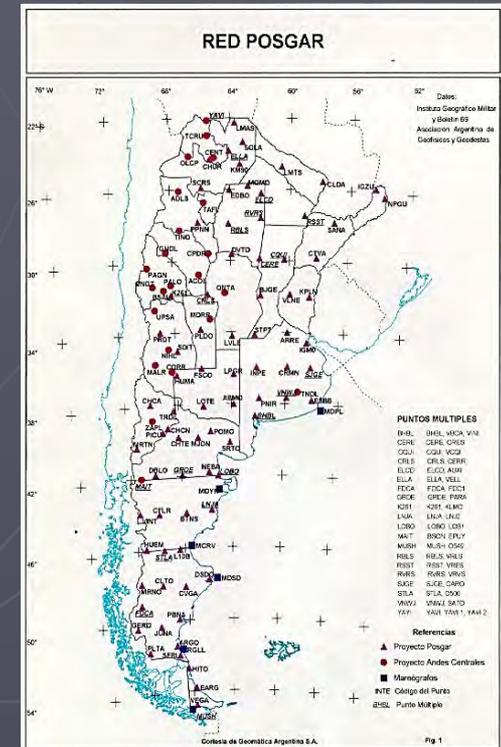
<b>Punto</b>	<b>sX</b>	<b>sY</b>	<b>sZ</b>
<b>1</b>	<b>0,0005</b>	<b>0,0007</b>	<b>0,0005</b>
<b>2</b>	<b>0,0006</b>	<b>0,0008</b>	<b>0,0007</b>
<b>3</b>	<b>0,0005</b>	<b>0,0007</b>	<b>0,0005</b>
<b>4</b>	<b>0,0005</b>	<b>0,0007</b>	<b>0,0005</b>
<b>5</b>	<b>0,0005</b>	<b>0,0006</b>	<b>0,0005</b>
<b>6</b>	<b>0,0005</b>	<b>0,0007</b>	<b>0,0005</b>
<b>7</b>	<b>0,0005</b>	<b>0,0007</b>	<b>0,0004</b>
<b>8</b>	<b>0,0004</b>	<b>0,0006</b>	<b>0,0004</b>
<b>9</b>	<b>0,0015</b>	<b>0,0011</b>	<b>0,0023</b>
<b>10</b>	<b>0,0014</b>	<b>0,0016</b>	<b>0,0022</b>
<b>11</b>	<b>0,0010</b>	<b>0,0024</b>	<b>0,0016</b>
<b>12</b>	<b>0,0011</b>	<b>0,0023</b>	<b>0,0016</b>
<b>CGL</b>	<b>0,0010</b>	<b>0,0031</b>	<b>0,0014</b>

# Conclusiones

Las técnicas geodésicas espaciales son las únicas empleadas en la elaboración de los marcos de referencia.

Además del núcleo primario de estaciones ITRF de observación, la red global está densificada con subredes GPS regionales. En América la densificación *SIRGAS* y en argentina la red *POSGAR* poseen posiciones con precisiones dentro del centímetro y con velocidades del orden de 1.5 mm/año.

Cuando el OAFa adquiriera estatus de estación co-localizada, podrá integrar estas redes como una referencia de primer orden.

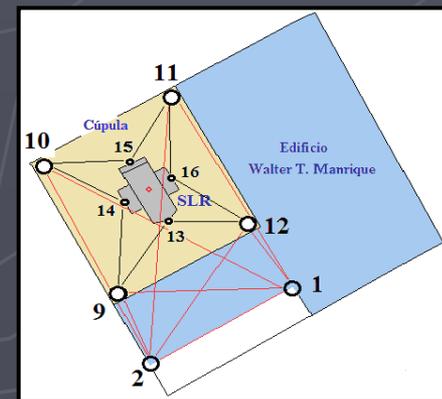


- La red diseñada no contempló la ubicación de ningún punto al este del edificio Walter Manrique. A pesar de ello el ajuste resultó excelente pero, a fin de dotar la red con mayor solidez, sería ventajoso densificar con un vértice más hacia el este con visibilidad directa al punto 1.

Debido a la imposibilidad de visión directa entre los puntos terrestres de la red y la montura del SLR, se tuvo que idear una metodología muy particular para hacer la conexión.

El vértice principal de la red (punto 1) se construyó sobre el edificio y desde allí se estableció el enlace a los puntos esquineros internos del domo que permitieron el acceso al telescopio.

Obviamente existe en esa etapa una propagación de errores en las coordenadas debido a las medidas lineales y angulares tomadas. Los promedios de las desviaciones estándar en los tres ejes aumentaron desde los puntos externos (1 al 8) a los internos (9 al CGL); pero todo indica que se trabajó en forma muy cuidadosa, por cuanto el error resultante en la determinación del CGL está dentro de las exigencias del IERS.



- Las desviaciones estándar de las coordenadas geodésicas rectangulares obtenidas en el ajuste de todos los puntos de la red quedaron dentro de los 3 mm, valor sobresaliente que habilitará al Oafa para ser considerada por el IERS como una estación co-localizada.

- Según las sugerencias del IERS, las mediciones de los enlaces locales de la red geodésica armada alrededor de los instrumentos deben ser repetidas en lo posible cada 2 o 3 años, especialmente en sitios con actividad sísmica. Esto no sucede así. Ya sea por cuestiones de tiempo o presupuestarias las re-mediciones se realizan a intervalos mucho mayores. El Oafa no escapa de las razones presupuestarias.

- Un requisito adicional para que el Oafa sea considerado un sitio co-localizado es que la estación permanente GPS<sub>Oafa</sub> pase a integrar la red IGS mundial, bajo los estándares dictados por este organismo, en especial que sus datos estén disponibles en Internet. Esta es la tarea más inmediata que queda por completar.

- Siendo la primera vez que se realiza este tipo de trabajo en la Argentina, con personal y software propio, los resultados son más que satisfactorios. En una futura remediación de la red puede mejorarse la precisión mediante el empleo de una estación total de mayor exactitud.



• De acuerdo al nuevo convenio de cooperación entre la UNSJ y la Academia China de Ciencias, está en marcha un proyecto para la instalación de una antena VLBI de 40 metros. El radiotelescopio debe quedar instalado en el año 2015 .

Habrá que realizar una nueva co-locación de los tres instrumentos (VLBI, SLR y GPS), por lo que la experiencia adquirida en este trabajo es crucial.





**MUCHAS GRACIAS**