

Estudio preliminar para la dotación de coordenadas REGCAN95 a las estaciones permanentes GNSS de Canarias

Preliminary study for the provision of REGCAN95 coordinates to the permanent GNSS stations of the Canary Islands

SANCHEZ SOBRINO, Jose Antonio ⁽¹⁾; AZCUE INFANZÓN, Esther ⁽¹⁾; VALDES PEREZ DE VARGAS, Marcelino ⁽¹⁾;

QUINTANA SALAZAR, Unai ⁽¹⁾; GONZALEZ HIDALGO, Miguel ⁽¹⁾; RODRÍGUEZ SUAREZ, Juan Pedro ⁽²⁾

⁽¹⁾ Instituto Geográfico Nacional, General Ibañez de Ibero, 3 – 28003 Madrid, jassobrin@mitma.es, eazcue@mitma.es, mvaldes@mitma.es, uquintana@mitma.es, mghidalgo@mitma.es

⁽²⁾ Cartográfica de Canarias S.A. (GRAFCAN), C/ Panamá, 34, Políg. Costa Sur, S.C. de Tenerife, jprodriguez@geodataair.com

SUMMARY

The official Geodetic Reference System in the Canary archipelago is REGCAN95, according to Royal Decree 1071/2007, which was materialized in 1994 by the REGENTE geodetic network on each island. The origin of REGCAN95 is in the permanent GPS station that existed in 1994 at the INTA facilities in Maspalomas (Gran Canaria), which was part of the ITRF93, published at epoch 1993.0 and coordinates in the epoch of observation of REGENTE in the islands (1994,9). We can therefore say that REGCAN95 is ITRF93 "static" at the epoch 1994.9.

As permanent GNSS stations were being installed in the Canary Islands, their coordinates had to be published in the official REGCAN95 system. These coordinates were based on their calculation in the official ITRFY and performing a transformation or through links with new observations in REGENTE. These successive transformations or calculations of observations that linked REGENTE with the permanent stations were partial and heterogeneous in precision, obtaining coordinates for the stations that, although they could meet the nominal precision requirement of REGENTE of 5 cm, did not result from a homogeneous calculation. and common to all the islands.

A global adjustment have been made of all the GNSS observations made over several years that link REGENTE with permanent GNSS stations, not only from IGN, but also from GRAFCAN. REGCAN95 coordinates of the permanent GNSS stations have been obtained using different strategies. This presentation shows the results of these calculations that will provide all the permanent GNSS stations in the archipelago with a more precise, homogeneous and complete set of REGCAN95 coordinates.

PALABRAS CLAVE

Geodesia, REGCAN95, REGENTE, GNSS.

INTRODUCCIÓN: EL MARCO REGCAN95

El Sistema Geodésico de Referencia oficial de Canarias es REGCAN95, quedando fuera del ámbito geográfico de ETRS89. Este sistema quedó definido a raíz de la campaña geodésica en los vértices REGENTE de las islas realizada en 1994 con GPS y en la práctica, su definición quedó materializada a partir de las coordenadas de la estación permanente GPS de Maspalomas (MASP) en el ITRF93 época 1994,9. A partir de esta estación se observó y calculó una primera red, denominada "red de enlace", con dos vértices fundamentales en cada una de las islas. La observación de esta red (12 vértices) consistió en la observación simultánea, en todos los vértices,, de 5 sesiones de 12 horas cada una, a semejanza de IBERIA95 en la península como origen para REGENTE. Posteriormente, se observaron los 72 vértices que constituyen REGENTE Canarias. En resumen, se puede decir que REGCAN95 es el ITRF93 época 1994,9.



Figura 1: Red REGENTE en las Islas Canarias.

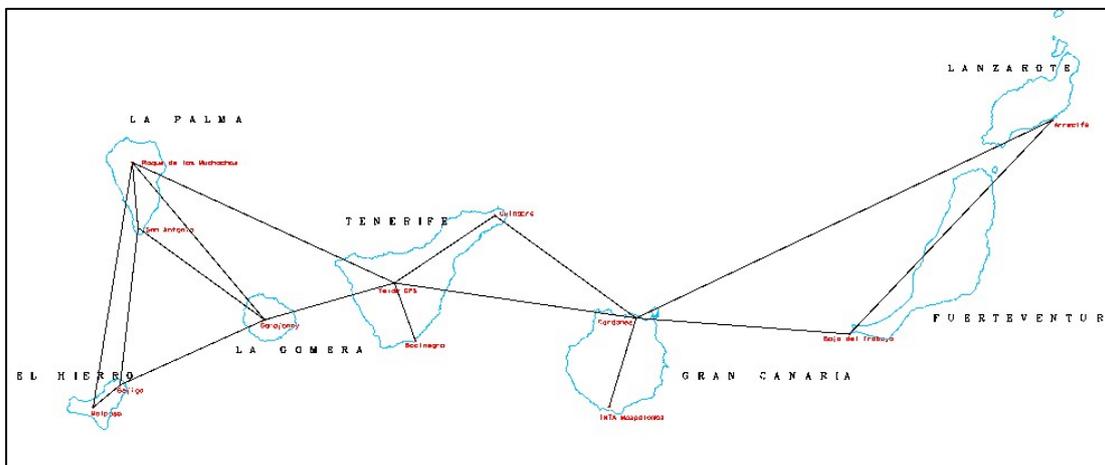


Figura 2: Red de enlace de islas observada en 1994.

LAS REDES GNSS EN CANARIAS

Posteriormente, ya en el siglo XXI, tanto el IGN (a partir del año 2000) como GRAFCAN (a partir del año 2008) fueron instalando estaciones permanentes GNSS por todas las islas. En el caso del IGN este despliegue fue muy paulatino, de tal forma que las últimas estaciones se instalaron en 2019, mientras que en el caso de GRAFCAN, la instalación se llevó a cabo en su totalidad entre 2008 y 2010. En total, actualmente hay 16 estaciones de GRAFCAN y otras 16 de la red nacional ERGNSS del IGN. Existen también otras estaciones dedicadas a la vigilancia volcánica, no públicas, que no son de interés en este estudio.

Actualmente, el acceso de los usuarios al sistema REGCAN95, como en el resto de España, se lleva a cabo a través de las estaciones permanentes GNSS, fundamentalmente a través de RTK, y no a partir de observaciones en vértices REGENTE, por lo que se hizo necesario dotar de coordenadas REGCAN95 a las estaciones permanentes GNSS.



Figura 4: Recuperación de la estación permanente MASP en 2019.

CAMPAÑAS GNSS OBSERVADAS EN REGENTE

La forma más óptima para dotar de coordenadas REGCAN95 a las estaciones permanentes GNSS es utilizar las campañas de observación puntuales que se hayan realizado sobre REGENTE en épocas simultáneamente con las estaciones permanentes GNSS. El objetivo es dotar a los vértices REGENTE de coordenadas en el ITRFyy correspondiente para que tengan el doble juego de coordenadas (ITRFyy y REGCAN95) que permitan realizar una transformación Helmert.

Para ello, lo que se ha hecho ha sido recuperar las campañas u observaciones realizadas por el IGN con diferentes fines a lo largo de los años, en vértices REGENTE. Algunas se hicieron precisamente para dotar de coordenadas REGCAN95 a las nuevas estaciones y otras veces, para dotar de coordenadas REGCAN95 a nuevos vértices REGENTE que sustitúan a algunos destruidos. También por su parte, GRAFCAN realizó una campaña bastante extensa en todas las islas en el año 2010 precisamente para dar coordenadas REGCAN95 a su red de estaciones permanentes, aunque con sesiones de duración heterogénea.

Todas las campañas u observaciones recabadas se han procesado con el software Bernese 5.2 siguiendo los estándares de Centro de Análisis de EUREF, con el fin de conseguir la máxima precisión de estas observaciones. Solo se han considerado para ello sesiones de observación de al menos una hora, aunque como se puede ver en la siguiente tabla con el resumen de las observaciones, la mayor parte de las sesiones eran de tres horas.

Tabla 1: Campañas de observación procesadas.

Año	Islas	Nº vértices observados	Institución	Tiempo observación
2008	TF	10	IGN	3 h
2010	Todas	34	GRAFCAN	1, 2 ó 3 h
2013	FV	5	IGN	3 h
2017	FV y LZ	18	IGN	3 ó 4 h x 2 sesiones
2019	GO	6	IGN	3 h

A estas sesiones se añadieron las observaciones disponibles de las estaciones permanentes en aquella época. Una vez procesadas las sesiones en el ITRFyy correspondiente, se han obtenido coordenadas ITRFyy en la época de observación, tanto de las estaciones permanentes GNSS como de los vértices REGENTE. Seguidamente, todas estas sesiones o bloques de cálculo, se han llevado mediante transformación a ITRF2014 época 2020,0.

Por otro lado, también se ha hecho un cálculo acumulativo de un periodo de 5 años de las estaciones permanentes GNSS en el ITRF2014 época 2020,0 con el fin de obtener un juego de coordenadas de las dos redes unificadamente y utilizando un periodo de tiempo lo suficientemente amplio. Para obtener estas coordenadas de 5 años se han tenido en cuenta posibles

discontinuidades de las estaciones, examinando sus series temporales para su identificación y corrección en las coordenadas finales en la época 2020,0 (ejemplo en la Figura 5).

Con ello se obtiene el fichero de coordenadas ITRF2014, época 2020,0 de los vértices REGENTE, el cual nos servirá para efectuar las transformaciones finales con el doble juego de coordenadas (ITRF2014 – REGCAN95), obteniendo los parámetros de transformación ITRF2014 -> REGCAN95 y poder aplicar estos parámetros a las coordenadas ITRF2014 época 2020,0 de las estaciones permanentes.

En total se han dado coordenadas ITRF2014 (2020,0) a 63 vértices REGENTE y por tanto todos estos vértices tienen el doble juego de coordenadas para la transformación.

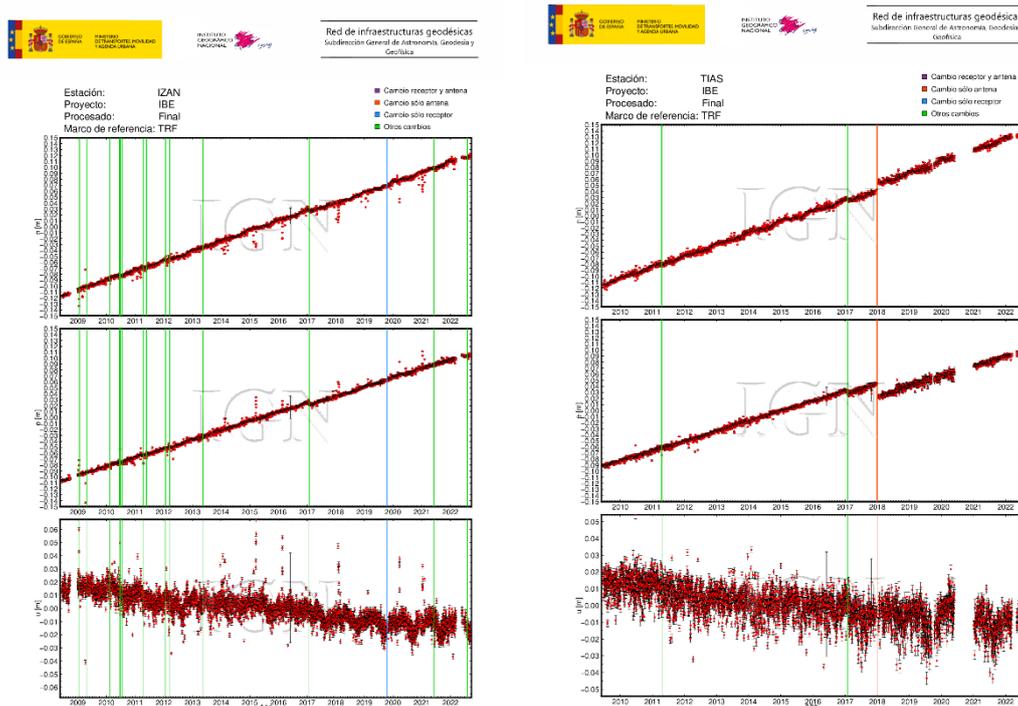


Figura 5: Ejemplo de series temporales de estaciones permanentes GNSS.

TRANSFORMACIONES HELMERT

Con este doble juego de coordenadas en los vértices REGENTE se han probado tres diferentes transformaciones, estableciendo una comparativa y examinando los residuos resultantes, así como los vértices rechazados en la transformación en función de los residuos.

Se fijó una tolerancia para que el vértice sea tenido en cuenta en las transformaciones de 30, 30, 60 mm (en N, E, U respectivamente). Aunque este límite pueda parecer grande, es necesario tener en cuenta la precisión nominal de REGENTE, así como los años transcurridos desde su observación. Esto hace que un 20% de los 62 vértices utilizados, sean rechazados y por tanto no tenidos en cuenta en el cálculo de la transformación.

Las tres transformaciones probadas fueron:

- Helmert de rotaciones y traslaciones.
- Helmert de solo traslaciones.
- Traslación simple en MASP.

Los resultados de las transformaciones pueden verse a continuación. En la primera tabla de cada apartado se ve solamente una

muestra de unos pocos vértices, ya que habría 62 en total. Al final de la tabla, un indicador muy acertado sobre la precisión de la transformación es el RMS en cada componente. También se puede ver el número de vértices rechazados, los parámetros y el RMS global de la transformación.

1. Transformación de rotaciones y traslaciones.

NUM	NAME	FLG	RESIDUALS IN MILLIMETERS		
44	AGUD	R M	-4.69	14.87	2.77
44	ARRE	R M	17.93	20.89	17.36
44	BATR	R M	18.72	18.70	-17.26
44	BATE	R M	20.42	17.32	-34.54
44	BLAN	R M	-1.44	-4.33	-31.93
44	CARD	R M	1.99	-5.42	-13.53
44	COLO	R M	-5.03	-8.60	1.91
44	CRP1	R M	-11.50	-2.51	18.36
44	CUCH	R M	-4.88	4.54	0.87
44	GALL	R M	-4.70	-2.50	-3.33
44	GARA	R M	-14.50	-11.37	-70.89
..... 62 vértices en total					
44	CRIS	R A	11.44	-12.72	-31.15
44	TAGA	R A	-24.84	-1.71	10.93
45	MASP 31303M001	R A	-16.99	-0.42	1.63
.....					
	RMS / COMPONENT		10.19	11.88	23.83
	MEAN		-0.09	0.02	0.20
	MIN		-24.84	-23.27	-54.38
	MAX		20.42	26.95	51.93

```

NUMBER OF PARAMETERS :      6
NUMBER OF COORDINATES :    147
RMS OF TRANSFORMATION :    16.63 MM
PARAMETERS:
TRANSLATION IN X      :      97.30    +-230.48    MM
TRANSLATION IN Y      :     -557.35    +-111.94    MM
TRANSLATION IN Z      :     -397.34    +-388.16    MM
ROTATION AROUND X-AXIS:    0  0  0.014573 +- 0.003866 "
ROTATION AROUND Y-AXIS:  - 0  0  0.002762 +- 0.014209 "
ROTATION AROUND Z-AXIS:    0  0  0.003873 +- 0.004509 "
NUMBER OF ITERATIONS  :      2
ACCEPTED STATIONS     :     49
REJECTED STATIONS     :     13

```

2. Transformación de sólo traslaciones.

NUM	NAME	FLG	RESIDUALS IN MILLIMETERS		
44	AGUD	R M	-10.20	12.42	1.34
44	ARRE	R M	7.02	25.48	14.09
44	BATR	R M	14.57	16.24	-18.35
44	BATE	R M	9.05	24.01	-38.08
44	BLAN	R M	3.30	-7.10	-30.83
44	CARD	R M	4.90	-7.34	-12.93
44	COLO	R M	5.69	-10.44	4.39
44	CRP1	R M	-6.88	-7.03	19.57
44	CUCH	R M	-12.44	3.61	-1.17
44	GALL	R M	-1.05	-4.38	-2.56
44	GARA	R M	0.70	-13.54	-67.29
..... 62 vértices en total					
44	CRIS	R A	25.73	-15.11	-27.75
44	TAGA	R A	-10.14	-3.97	14.41
45	MASP 31303M001	R A	-13.19	-5.31	2.67
.....					
	RMS / COMPONENT		13.85	13.72	23.80
	MEAN		-0.12	-0.03	0.22
	MIN		-23.70	-26.21	-57.63
	MAX		29.09	27.25	52.58

NUMBER OF PARAMETERS : 3
 NUMBER OF COORDINATES : 150
 RMS OF TRANSFORMATION : 17.76 MM

PARAMETERS:
 TRANSLATION IN X : 110.41 +- 2.51 MM
 TRANSLATION IN Y : -446.32 +- 2.51 MM
 TRANSLATION IN Z : -366.49 +- 2.51 MM
 NUMBER OF ITERATIONS : 2
 ACCEPTED STATIONS : 50
 REJECTED STATIONS : 12

3. Transformación de traslaciones en MASP.

En este caso, lógicamente, no existen residuos que chequear, el vector de traslación es simplemente la resta entre MASP ITRF2014 (2020,0) – MASP ITRF93 (1994,9), aplicándose a todas las estaciones permanentes.

NUMBER OF PARAMETERS : 3
 NUMBER OF COORDINATES : 3
 RMS OF TRANSFORMATION : 0.00 MM
 PARAMETERS:
 TRANSLATION IN X : 117.17 +- 0.00 MM
 TRANSLATION IN Y : -453.73 +- 0.00 MM
 TRANSLATION IN Z : -376.91 +- 0.00 MM

Una cuarta transformación podría llevarse a cabo teniendo en cuenta que MASP tiene coordenadas originales de REGCAN95 en ITRF93 y por tanto, podría probarse la transformación ITRF2014 época 2020,0 a ITRF93 época 1994,9. Estrictamente, si todo funcionara bien y teniendo en cuenta las velocidades de todas las estaciones permanentes GNSS, se podría llevar a cabo la transformación directa y rigurosa mediante los parámetros de Boucher-Altamimi publicados para cada ITRF. Es necesario reiterar que para ello se necesitan las velocidades individuales de cada estación perfectamente determinadas. El cambio implica por un lado, un cambio de época, unos 25 años, y por otro lado, las transformaciones entre ITRFs.

Para chequear esta última posibilidad se han tomado las coordenadas ITRF2014 época 2020,0 de MASP con sus velocidades en el ITRF2014, o más bien, las velocidades publicadas en el ITRF2014 de las estaciones MAS1 y GMAS que están situadas a unos metros de MASP.

Así pues, con las coordenadas de MASP y sus velocidades:

MASP ITRF2014 2020.00 5439189.014 -1522054.359 2953464.637

$V_x = -0.00412$ $V_y = 0.01837$ $V_z = 0.01506$ (mm/yr)

Se obtiene un resultado de:

MASP ITRF93 1994.90 5439189.111 -1522054.820 2953464.266

Las coordenadas utilizadas para REGCAN95 en aquella época, publicadas por el ITRF93 son, en la época 1994,9:

MASP ITRF93 1994.90 5439189.131 -1522054.813 2953464.260

Por lo que las diferencias serían de 20, 7 y 6 mm respectivamente, diferencias poco significativas.

Para esta última opción es necesario recalcar que es necesario tener bien determinadas las velocidades individuales de todas las estaciones permanentes GNSS. El traslado a la época 1994,9 supone más de 25 años y por tanto un error de 1 mm/yr en la determinación de las velocidades daría lugar a desviaciones de al menos 25 mm.

CONCLUSIONES

A partir de estos resultados se pueden obtener una serie de conclusiones para adoptar una transformación válida y dotar de coordenadas REGCAN95 a las redes de estaciones permanentes GNSS:

- Aunque los RMS de las dos primeras transformaciones son muy semejantes, se comporta 1 mm mejor “traslaciones + rotaciones” que “sólo traslaciones” (16,6 mm frente a 17,8 mm).
- Prácticamente las mismas estaciones rechazadas en ambas soluciones (12 en “traslaciones + rotaciones” y 13 en “sólo traslaciones”).
- Los residuos máximos y mínimos son prácticamente iguales en ambas, 2-3 mm mejor en “traslaciones + rotaciones”.
- Se obtienen prácticamente las mismas traslaciones en “sólo traslaciones” que “traslaciones a MASP” (diferencia máxima de 1 cm). Esto sugiere que las observaciones son absolutamente coherentes y las coordenadas resultantes en ambos casos serían prácticamente iguales en ese margen.
- Analizado el impacto en las coordenadas finales de una u otra solución sobre ERGNSS y GRAFCAN, este es inferior a 1 cm en (N, E) e inferior a 2 cm en Up. Tiene un mayor impacto en las coordenadas entre “traslaciones MASP” y “traslaciones + rotaciones”: 1 cm en (N, E) y hasta 3 cm en Up.
- Cualquier solución adoptada garantizará la precisión nominal de REGENTE (5 cm) y no tendrá impacto relevante sobre trabajos anteriores ni en los usuarios.
- Cualquier transformación es conforme y por tanto mantendrá la precisión geométrica interna de las estaciones de ERGNSS y GRAFCAN, por lo que no existirán inconsistencias entre estaciones, tan solo sobre algunos vértices REGENTE que excedan el máximo residuo permitido en la transformación, seguramente por movimiento o asentamiento del mismo a lo largo de estos casi 30 años.
- Durante 2023 se cambiarán las coordenadas oficiales REGCAN95 actualmente existentes para todas las estaciones permanentes GNSS de Canarias, siendo este cambio notable (en torno a los 10 cm en la altura elipsoidal) en algunas estaciones, aunque en general este cambio respecto a las coordenadas vigentes actualmente será del orden de 2 a 4 cm.
- Es necesario reseñar que la solución adoptada no debería ser aplicada a El Hierro ni probablemente a La Palma, debido a que es necesario una reobservación de REGENTE en ambas islas y la asignación de nuevas coordenadas REGCAN95 para la geodesia de las islas. Con esas nuevas observaciones se ajustarían las estaciones de ambas islas en un proceso posterior.