

EL CAMBIO DEL MARCO DE REFERENCIA OFICIAL EN MÉXICO

Contenido

-  ***Antecedentes***
-  ***Cálculo de Coordenadas de la RGNA***
-  ***Transformación ITRF 92 a ITRF 2000***

Modelo del IERS

Placas Tectónicas

La Red Geodésica Nacional Activa (RGNA) es la columna vertebral de la realización del ITRF en México (en el año 1993 del ITRF92 época 1988.0).



El INEGI ha estado realizando actividades con la intención de cambiar a un marco geodésico mas reciente.



Para su implementación se hace necesario obtener coordenadas precisas de las estaciones de la RGNA, así como realizar la transformación de vértices geodésicos de un marco geodésico al otro.

Antecedentes

- ✓ **Cálculo de Coordenadas de la RGNA**

Transformación ITRF 92 a ITRF 2000

Modelo del IERS

Placas Tectónicas

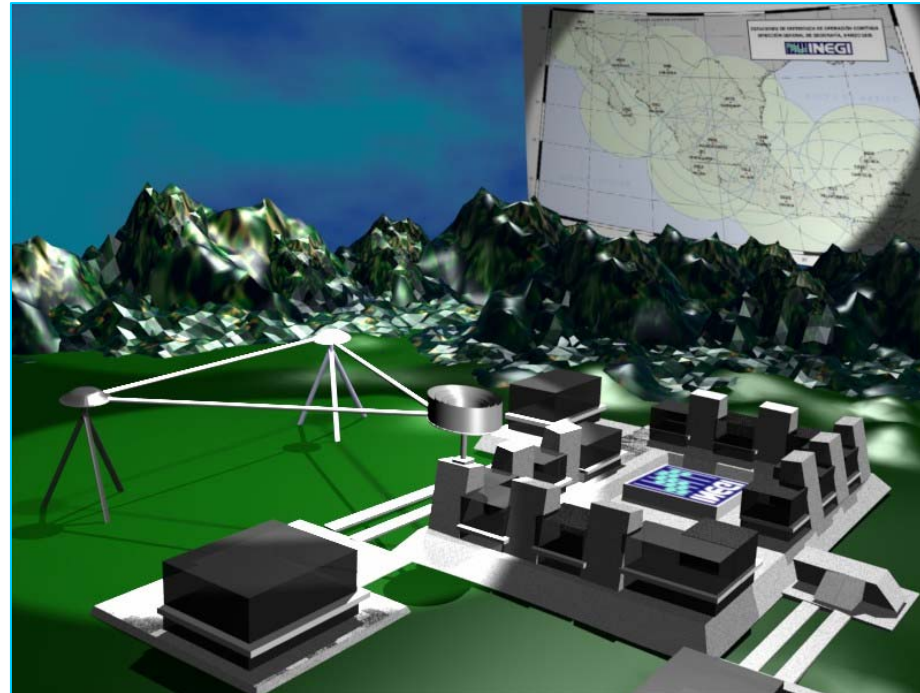
Cálculo de coordenadas de la RGNA

Determinación de coordenadas de las estaciones de la RGNA en ITRF 2000 época 2004.0



Utilización de software geodésico de alta precisión e insumos como efemérides precisas, parámetros de orientación terrestre y modelos de centro de fase de antenas geodésicas.

Cálculo de coordenadas de la RGNA



Disponibilidad en sitio de internet www.inegi.gob.mx

Mejor precisión comparativamente vs transformación

Antecedentes

Cálculo de Coordenadas de la RGNA

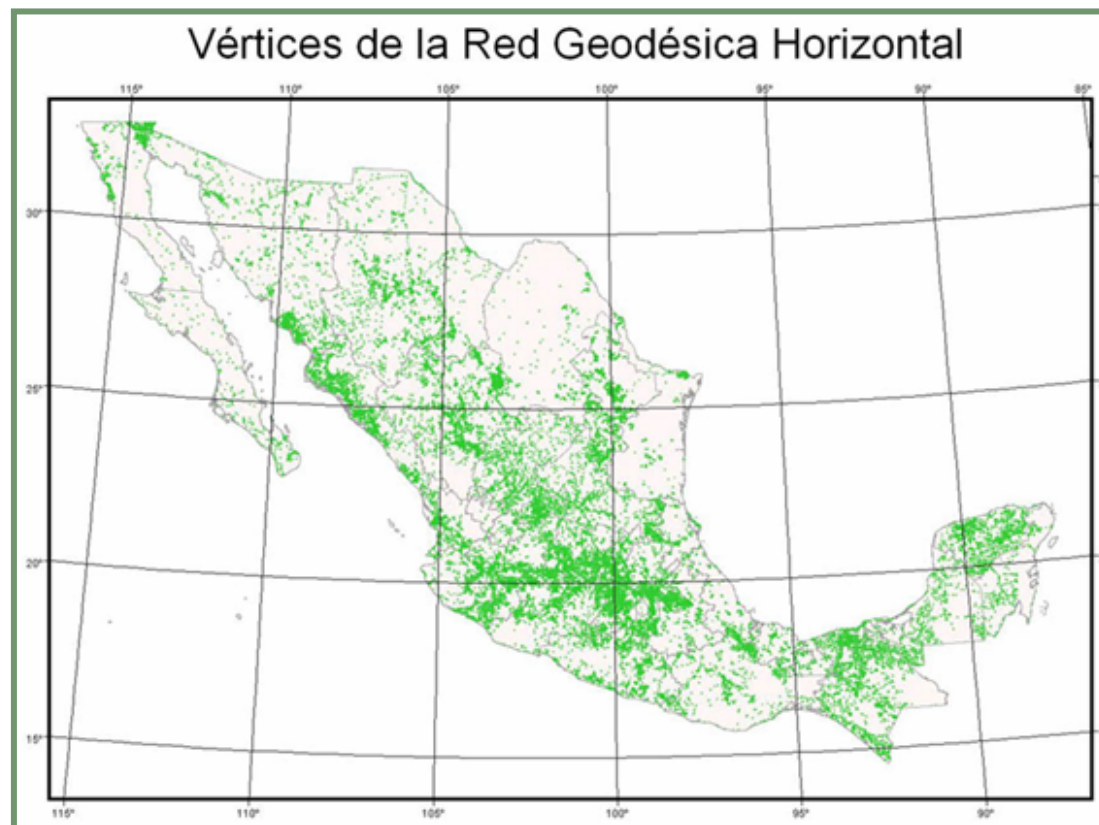
✓ **Transformación ITRF 92 a ITRF 2000**

Modelo del IERS

Placas Tectónicas

Red Geodésica

Los vértices de la Red Geodésica Pasiva están actualmente referidos a ITRF 1992 época 1988.0



Es necesario transformar dichos vértices para referirlos a ITRF 2000 época 2004.0

Red Geodésica

Época de Referencia

La época de referencia representa la fecha en que las coordenadas del Marco de Referencia Geodésico se fijan en el tiempo.



1988.0
ITRF 1992

2004.0
ITRF 2000

Elementos de la Transformación

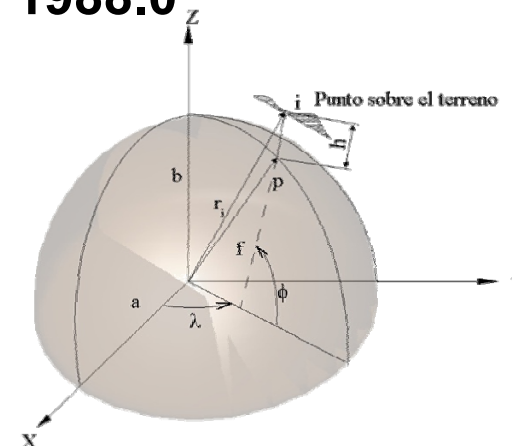
- **Modelo del IERS.**
- **Época de referencia (Fuente y Destino)**
- **Placa tectónica**
- **Modelo global de movimiento de placas.**

a) Insumo

Coordenadas Geodésicas ITRF 92 época 1988.0

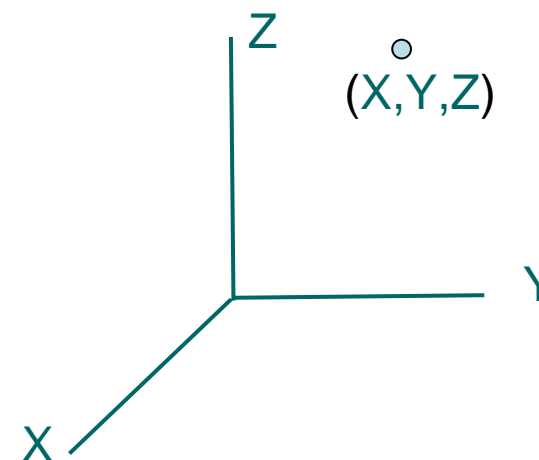
Estacion C003

Latitud Norte $24^{\circ} 47' 54.79178''$
 Longitud Oeste $107^{\circ} 23' 2.18514''$
 Altura Elipsoidal 75.450 metros

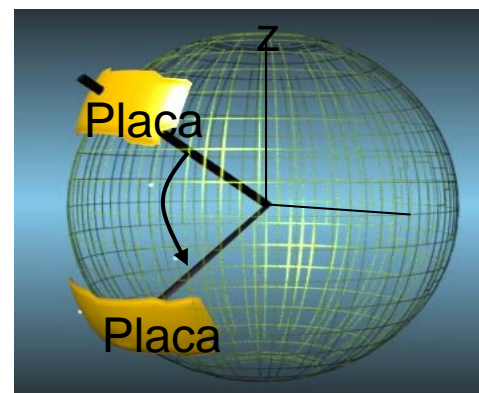
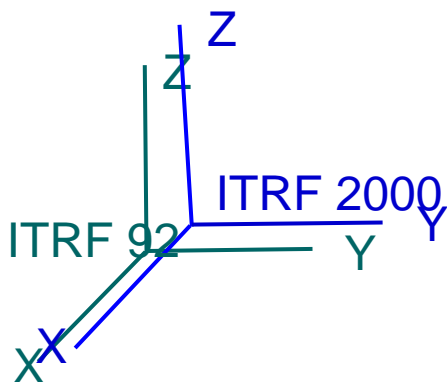


b) Conversión a cartesianas.

$$\begin{array}{l}
 \left| \begin{array}{l} X^{ITRF92} \\ Y^{ITRF92} \\ Z^{ITRF92} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{l} -1730936.48208 \\ -5528855.32385 \\ 2658865.73624 \end{array} \right|
 \end{array}$$



c) Aplicar modelo del IERS, obteniendo, Dx^{IERS} , Dy^{IERS} y Dz^{IERS} .



d) Aplicar modelo de placas, obteniendo Dx^{Placa} , Dy^{Placa} y Dz^{Placa} .

e) Formulación final considerando el modelo del IERS y el de placas.

$$\begin{array}{l} X^{ITRF00} = X^{ITRF92} + D_{xIERS} + Dx^{Placa} \\ Y^{ITRF00} = Y^{ITRF92} + D_{yIERS} + Dy^{Placa} \\ Z^{ITRF00} = Z^{ITRF92} + D_{zIERS} + Dz^{Placa} \end{array}$$

Como último paso habría que convertir las coordenadas cartesianas a geodésicas.

Antecedentes

Cálculo de Coordenadas de la RGNA

Transformación ITRF 92 a ITRF 2000

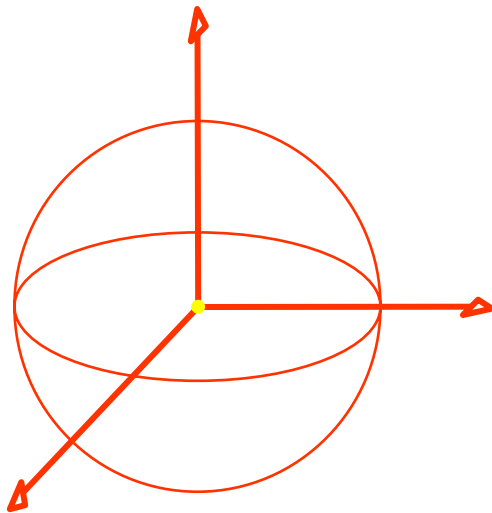


Modelo del IERS

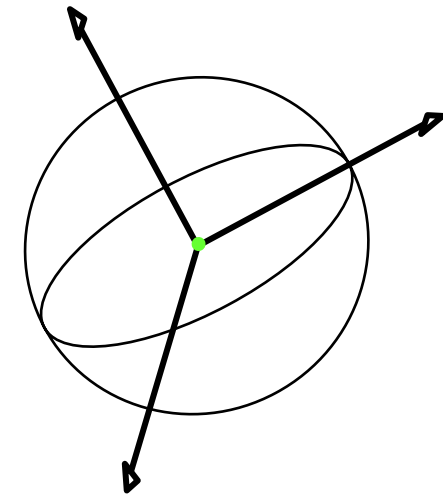
Placas Tectónicas

Transformación entre Marcos Geodésicos

Se deben obtener los parámetros de transformación de un sistema geocéntrico con respecto a otro (Traslación, Rotación y Escala) .



Sistema Origen



Sistema Deseado

Modelo del IERS

Define 14 parámetros requeridos para realizar la transformación de Helmert del ITRF 2000 a ITRF 1992.

Parámetros

SOLUCIÓN	T1	T2	T3	D	R1	R2	R3	EPOCA DE REF.
UNIDADES----->	cm	cm	cm	ppb	.001"	.001"	.001"	Nota
VELOCIDAD	T1	T2	T3	D	R1	R2	R3	Técnica #
UNIDADES----->	cm/y	cm/y	cm/y	ppb/y	.001"/y	.001"/y	.001"/y	
ITRF92	1.47	1.35	-1.39	0.75	0.00	0.00	-0.18	1988.0 15
velocidad	0.00	-0.06	-0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	

T Translación.

D Escala (ppb, partes por billón, 10^{-9} unidades).

R Rotación (“, arco-segundos).

Modelo del IERS

El modelo matemático del Servicio Internacional de Rotación Terrestre para la conversión ITRF 2000 a ITRF 1992 es el siguiente:

$$\begin{bmatrix} X^{ITRF92} \\ Y^{ITRF92} \\ Z^{ITRF92} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X^{ITRF00} \\ Y^{ITRF00} \\ Z^{ITRF00} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R3 & R2 \\ R3 & D & -R1 \\ -R2 & R1 & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^{ITRF00} \\ Y^{ITRF00} \\ Z^{ITRF00} \end{bmatrix}$$

Modelo del IERS

Parámetros de Transformación ITRF 2000 a ITRF 1992 época 1988.0

T1 = 0.0147 metros

T2 = 0.0135 metros

T3 = -0.0139 metros

D = 0.75 ppb

R1 = 0.0 radianes

R2 = 0.0 radianes

R3 = -8.726646E-10 radianes

Modelo del IERS

Parámetros de Transformación ITRF 1992 a ITRF 2000.
Dado que se requiere el proceso inverso, es necesario invertir el signo de los parámetros de transformación, adicionalmente solo se considerara el efecto del modelo del IERS ($Dx^{IERS}, Dy^{IERS}, Dz^{IERS}$).

$$\begin{bmatrix} Dx^{IERS} \\ Dy^{IERS} \\ Dz^{IERS} \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} -T1_{2004.0} \\ -T2_{2004.0} \\ -T3_{2004.0} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -D_{2004.0} & R3_{2004.0} & -R2_{2004.0} \\ -R3_{2004.0} & -D_{2004.0} & R1_{2004.0} \\ R2_{2004.0} & -R1_{2004.0} & -D_{2004.0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^{ITRF\ 92} \\ Y^{ITRF\ 92} \\ Z^{ITRF\ 92} \end{bmatrix} \right)$$

Reemplazando los valores de los parámetros

$$\begin{bmatrix} Dx^{IERS} \\ Dy^{IERS} \\ Dz^{IERS} \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} -0.0147 \\ -0.0135 \\ 0.0139 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -7.5E-10 & -8.726646E-10 & 0 \\ 8.726646E-10 & -7.5E-10 & 0 \\ 0 & 0 & -7.5E-10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^{ITRF\ 92} \\ Y^{ITRF\ 92} \\ Z^{ITRF\ 92} \end{bmatrix} \right) \quad (1)$$

Antecedentes

Cálculo de Coordenadas de la RGNA

Transformación ITRF 92 a ITRF 2000

Modelo del IERS



Placas Tectónicas

Placas Tectónicas

La teoría de placas establece que la tierra esta dividida en placas, las cuales están en movimiento.

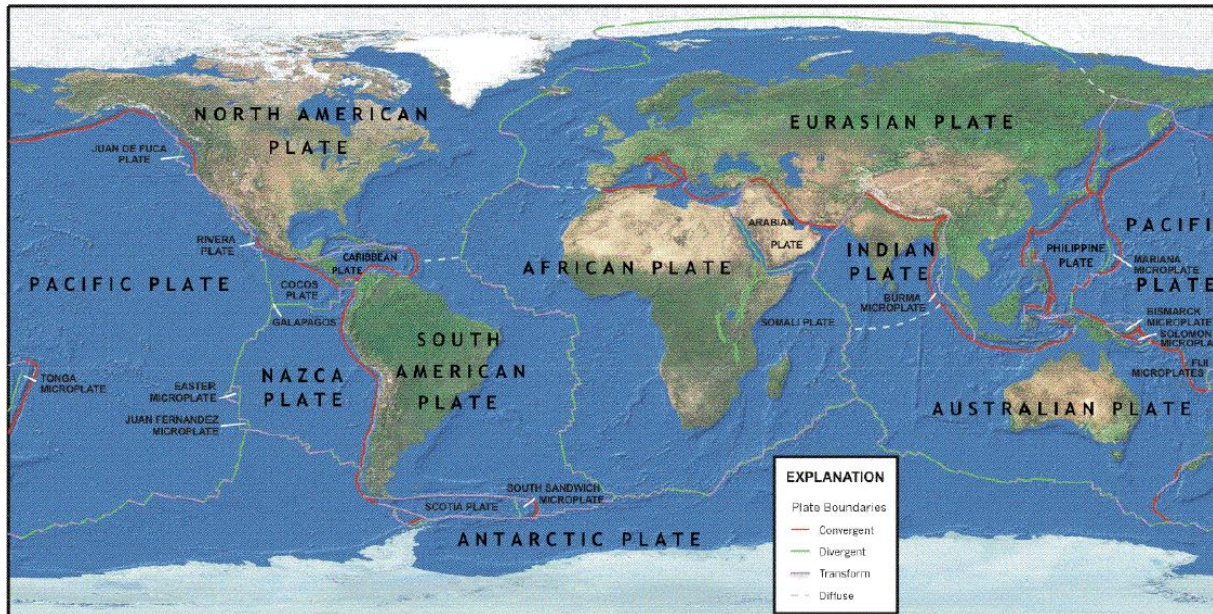
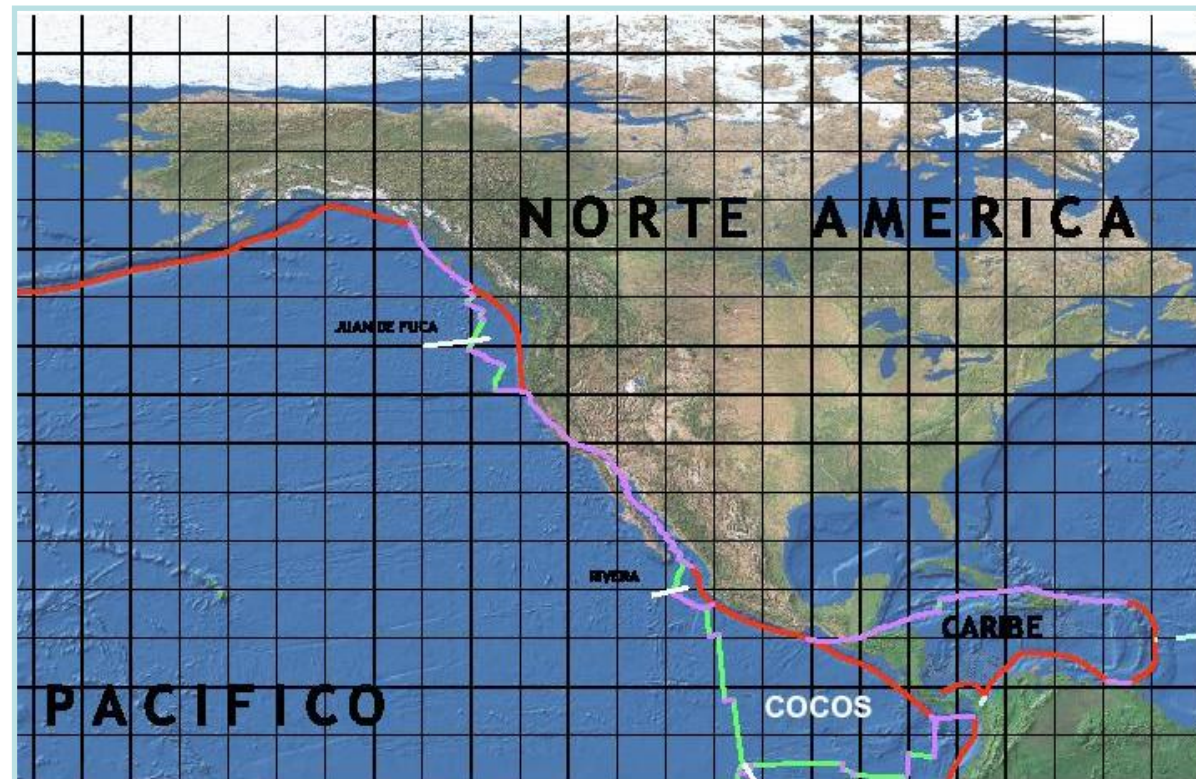


Gráfico de USGS

1. Pacífico
2. Norte América
3. Cocos
4. Caribe
5. Sur América
6. Nazca
7. Filipinas
8. Europea
9. Árabe
10. Africana
11. India-Australiana
12. Antártica

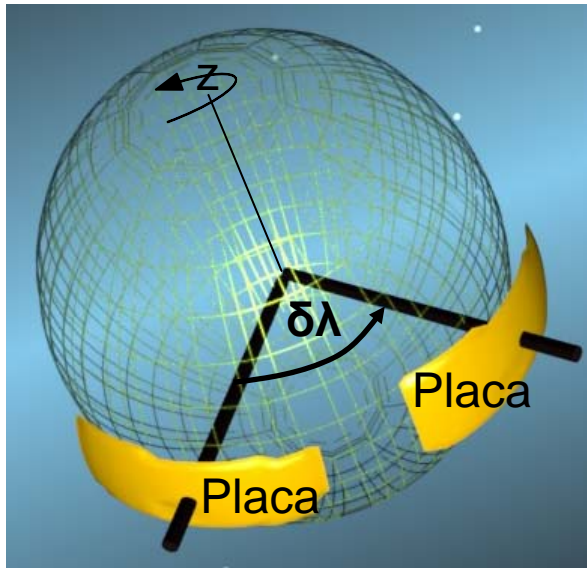
Placas Tectónicas

El territorio continental de México se encuentra en dos placas tectónicas las cuales muestran diferentes comportamientos, Pacífico (~4 a 5 cm./año) Norte América (~ 1 a 2 cm./año)

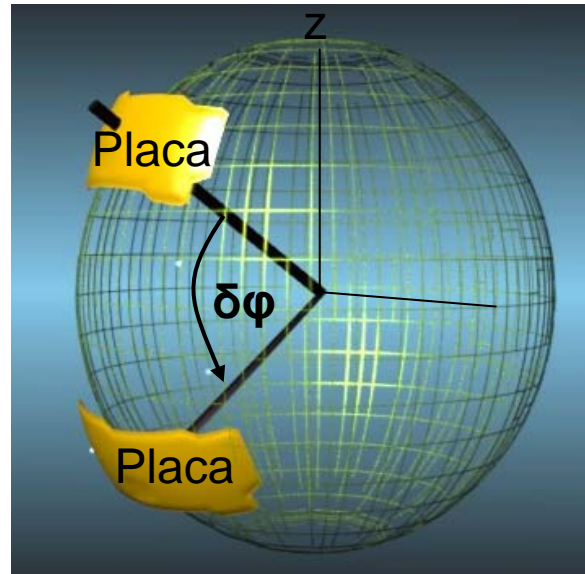


Placas Tectónicas

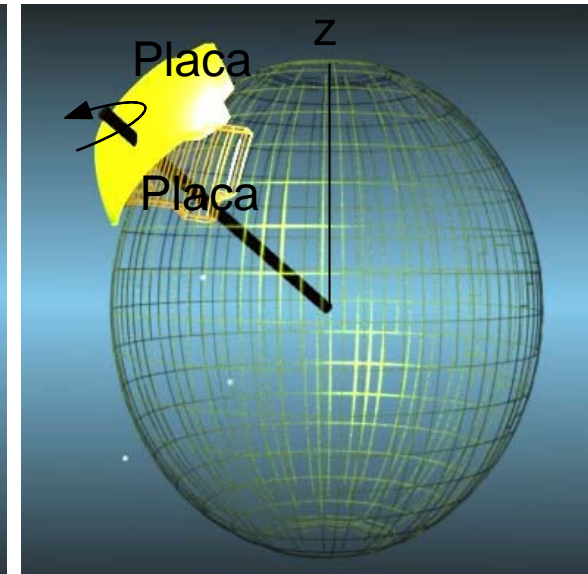
Rotaciones elementales



Longitud



Eje Ecuatorial



Eje Vertical

La intersección entre el semieje de rotación finito y la superficie terrestre es llamado polo de Euler.

La rotación total resulta del producto de rotaciones elementales.

Modelos Globales

Algunos de los Modelos Globales de desplazamiento de placas son:

ITRF 2000 (SOPAC)

NNR-NUVEL 1A

REVEL

APKIM

La transformación de puntos ubicados cerca de la frontera de las placas Norteamericana y del Pacifico será de menor precisión.

Modelos Globales

ITRF 2000 (SOPAC)

Placa Abbr.	Vector de Rotación (geográficas)			Vector de Rotación (cartesianas)			Nombre de Placa
	PHI [grados]	LAM	OMEGA [grados/Ma]	omega(x)	omega(y) [rad/Ma]	omega(z)	
NOAM	-4.222	-84.880	0.1980	0.000308	-0.003433	-0.000254	N. América
PCFC	-63.791	110.244	0.6720	-0.001792	0.004860	-0.010523	Pacífico

La reorientación de una placa puede ser descrita como la rotación sobre un único eje α y ángulo de rotación Ω .

El vector de Rotación (cartesianas) es obtenido mediante:

$$\omega_x = \Omega * \cos(lat) * \cos(lon)$$

$$\omega_y = \Omega * \cos(lat) * \text{sen}(lon)$$

$$\omega_z = \Omega * \text{sen}(lat)$$

Formulación

Modelo de placas.

$$\begin{bmatrix} Dx^{Placa} \\ Dy^{Placa} \\ Dz^{Placa} \end{bmatrix} = (\text{época destino} - \text{época fuente}) * \underline{[\underline{\Omega}]} * \begin{bmatrix} X^{ITRF92} \\ Y^{ITRF92} \\ Z^{ITRF92} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[\underline{\Omega}] = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_Z & \omega_Y \\ \omega_Z & 0 & -\omega_X \\ -\omega_Y & \omega_X & 0 \end{bmatrix}$$

Los valores para la matriz de rotación angular son obtenidos del modelo de placas.

Formulación

EJEMPLO : Para el caso de la placa de Norteamérica y modelo ITRF 2000 la matriz de rotación angular es:

$$[\underline{\Omega}] = \begin{vmatrix} 0.0 & 0.000254 & -0.003433 \\ -0.000254 & 0.0 & -0.000308 \\ 0.003433 & 0.000308 & 0.0 \end{vmatrix}$$

Siendo necesaria la representación anual, dividiendo entre 1'000,000, quedando las unidades en rad/a

$$[\underline{\Omega}] = \begin{vmatrix} 0.0 & 2.54E-10 & -3.433E-9 \\ -2.54E-10 & 0.0 & -3.08E-10 \\ 3.433E-9 & 3.08E-10 & 0.0 \end{vmatrix}$$

Formulación

Modelo de placas.

$$\begin{bmatrix} Dx \\ Dy \\ Dz \end{bmatrix}^{Placa} = (2004.0 - 1988.0) * \begin{bmatrix} 0 & 2.54E-10 & -3.433E-9 \\ -2.54E-10 & 0 & -3.08E-10 \\ 3.433E-9 & 3.08E-10 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^{ITRF\ 92}$$

Resumen

Para realizar la transformación ITRF 1992 a ITRF 2000 se requiere aplicar:

- a) El Modelo del IERS**
- b) El Modelo de placas.**

Para esto es necesario identificar a que placa pertenece el punto para realizar la transformación adecuadamente, además de la época destino y época fuente.

Quedando la formulación final de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} X^{ITRF00} &= X^{ITRF92} + D_x^{IERS} + D_x^{Placa} \\ Y^{ITRF00} &= Y^{ITRF92} + D_y^{IERS} + D_y^{Placa} \\ Z^{ITRF00} &= Z^{ITRF92} + D_z^{IERS} + D_z^{Placa} \end{aligned}$$

Consideraciones

Efecto del cambio de Marco Geodésico en Mapas a diferente escala.

EFECTO EN MAPAS		
Escala	Cambio en el Mapa (milímetros)	
	Pacífico	Norte América
1:1,000,000	0.0000	0.0000
1:500,000	0.0000	0.0000
1:100,000	0.0000	0.0000
1:50,000	0.0008	0.0003
1:20,000	0.0400	0.0150
1:1,000	0.8000	0.3000

Consideraciones

El cambio de marco geodésico aun no esta oficializado, ITRF 92 época 1988.0 es el marco oficial actualmente.

De acuerdo a la norma técnica Sistema Geodésico Nacional, aún no oficial, que se encuentra en el portal de Internet del INEGI en la liga, estará a disposición del usuario un programa para la transformación.

Gracias

Guido Alejandro González Franco
Guido.Gonzalez@inegi.gob.mx