



I N S T I T U T O
Geográfico Militar



en colaboración con:



www.igm.gob.ec / www.geoportaligm.gob.ec

ANÁLISIS DE LOS EFECTOS GENERADOS POR LA INCLUSIÓN DE LOS TÉRMINOS IONOSFÉRICOS DE ALTO ORDEN EN LA GENERACIÓN DE SOLUCIONES POSICIONALES DE ALTA PRECISIÓN

SIMPOSIO SIRGAS 2015

Santo Domingo, República Dominicana

18 – 20 Noviembre 2015

Pilapanta, C. & Romero, R.

Instituto Geográfico Militar del Ecuador. Quito – Ecuador



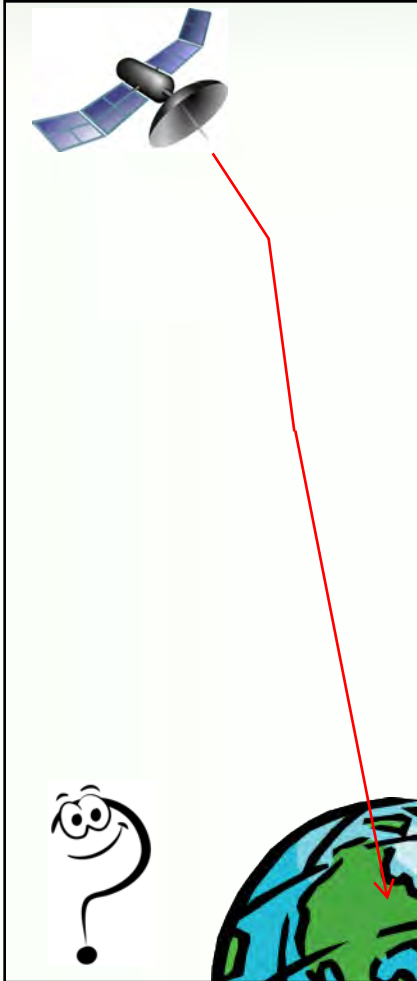
I N S T I T U T O

Geográfico Militar



GENERALIDADES

PRINCIPALES FUENTES DE ERROR EN EL POSICIONAMIENTO SATELITAL



Errores en la posición del satélite

- Efeóridas Precisas

Errores instrumentales en el satélite

- ✓ Reloj
- ✓ Variaciones del centro de fase
- Posicionamiento Diferencial. Parametrización
- Calibración de antenas emisoras

Propagación de la señal

- ✓ Tropósfera
- ✓ Ionósfera
- ✓ Multicamino (satélite y receptor)
- Modelamiento. Efecto Troposférico
- Modelamiento. Efecto Ionosférico
- Selección del lugar. Parametrización

Variaciones de la posición del receptor

- ✓ Mareas Terrestres
- ✓ Carga oceánica y atmosférica
- ✓ Movimientos Tectónicos
- Modelamiento de variaciones
- Modelamiento de cargas
- Aplicación de velocidades lineales

Errores instrumentales en el receptor

- ✓ Reloj
- ✓ Variaciones del centro de fase
- Posicionamiento Diferencial. Parametrización
- Calibración de antenas receptoras

Ruidos

- ✓ Saltos de Ciclo
- ✓ Propagación entre canales
- ✓ Interferencias y otros
- Resolución de ambigüedades
- Mejoramiento de los equipos
- Medidas prácticas

MODELAMIENTO DE VARIABLES ATMOSFÉRICAS. ECUACIÓN GENERAL

Retraso (o aceleración) de la señal s

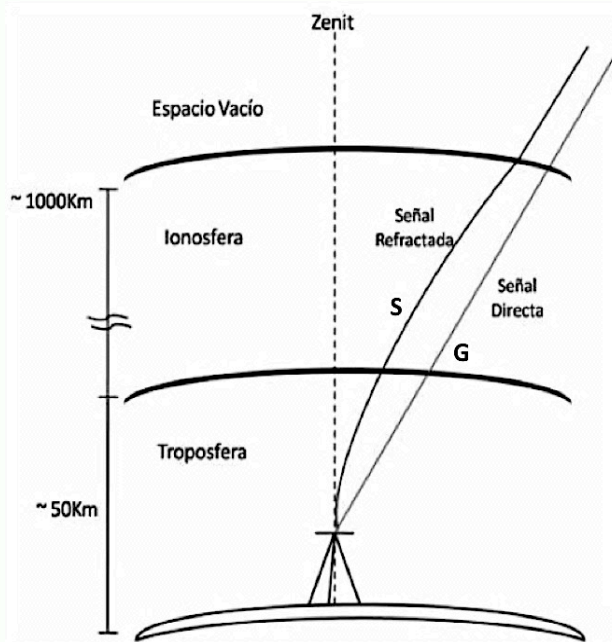


Figura 2. Esquema básico de refracción atmosférica

Fuente: Cioce, V. et al. 2010

$$\delta\rho_{atm} = \int_L (n(s) - 1) ds - (S - G)$$

Ecuación General

$$n_{ph} = \frac{c}{v_{ph}} \quad n_{gr} = \frac{c}{v_{gr}}$$

Índices de refracción (fases y código)

Donde:

- S Trayectoria verdadera
- G Distancia euclidiana
- C Velocidad de la luz
- v Velocidad de propagación

MODELAMIENTO DE VARIABLES TROPOSFÉRICAS. ECUACIÓN GENERAL

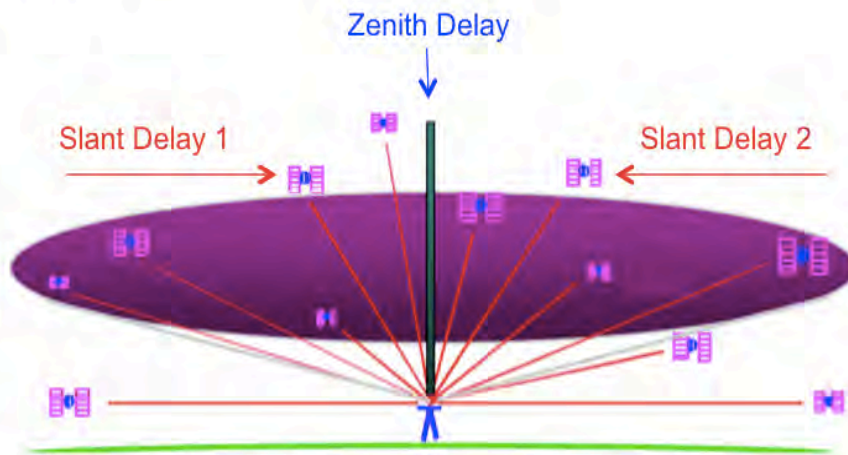


Figura 3. Principio básico del proceso de refracción troposférica

Fuente: COSMIC Program, 2012 citado en Herring, T. 2012

$$\delta\rho_{trop}(z) = m_{t,d}(z)\delta\rho_{trop,d}^0 + m_{t,w}(z)\delta\rho_{trop,w}^0$$

$$\delta\rho_{trop}^0 = 10^{-6} \int N(s) ds$$

Retraso Troposférico Cenital

O mediante el modelo simplificado:

$$\delta\rho_{trop}^0 = \frac{2277 \times 10^{-6}}{\cos z} \left(P + \left\{ \frac{1255}{T} + 0,05 \right\} \cdot e - 1,16 \tan^2 z \right)$$

Modelo de Saastamoinen (1972)

Donde:

- P** Presión
- T** Temperatura
- Z** Ángulo de elevación

MODELAMIENTO DE VARIABLES IONOSFÉRICAS. ECUACIONES GENERALES

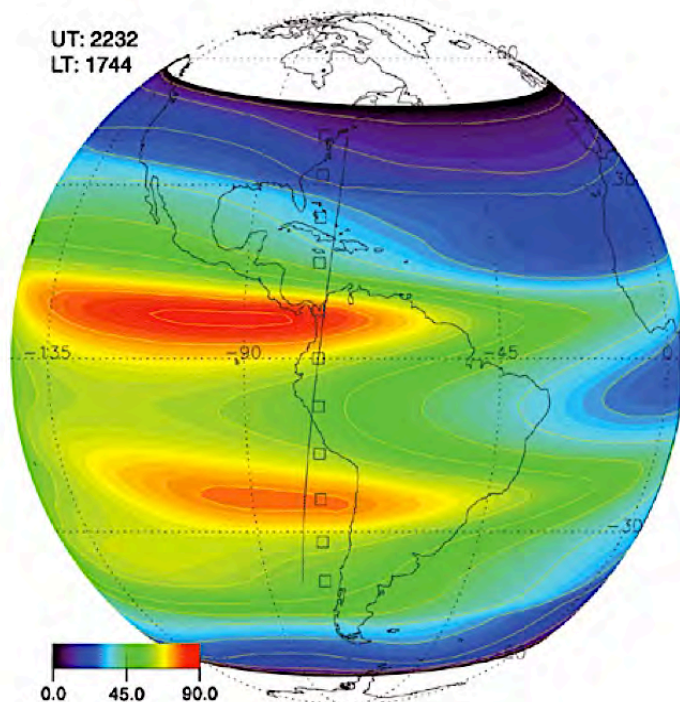


Figura 4. Mapa ionosférico Mundial

Fuente: Naval Research Laboratory - USA. 2004

$$\phi_{LC} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \phi_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \phi_2$$

Combinación Lineal. "Ionosphere-Free"

$$\delta\rho_{ion} = -40,3 * \frac{1}{\cos\left(\frac{R}{R+H} \sin z\right)} * \frac{Ev}{f^2}$$

Ecuación General. Modelo Simplificado

Donde:

- Z ángulo zenital al cual la señal fue captada.
- R distancia geométrica del receptor a la ionósfera.
- H Altura (≈ 450 m)
- F frecuencia (L1 y/o L2).
- Ev Contenido total de electrones vertical (VTEC)

DENSIDAD ELECTRÓNICA Y EFECTOS DE LA IONÓSFERA SOBRE LA SEÑAL GPS

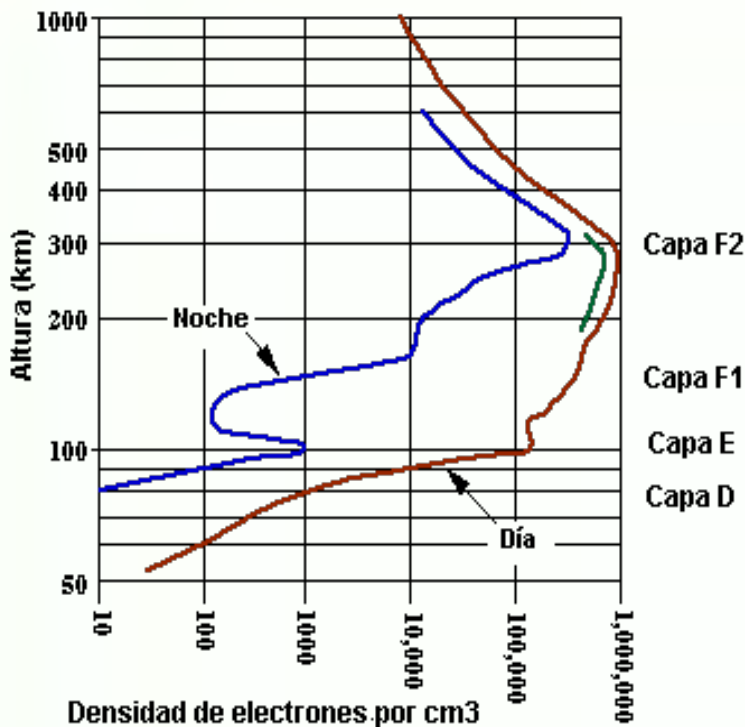


Figura 5. Capas de la Ionósfera

Fuente: Anderson and Fuller-Rowell (1999)

Razón Principal:

Densidad electrónica de cada capa es variable

Dependencia:

1. Hora – Localización
2. Radiación solar – ionización
3. Actividad Geomagnética

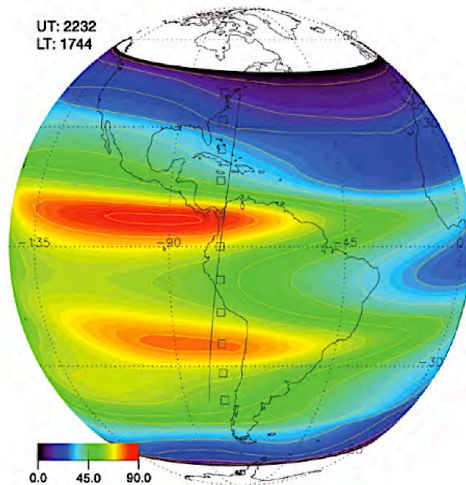
Principales Efectos:

1. Retardo de la señal (hasta varias decenas de metros)
2. Centelleo de fase y de amplitud

Otros Efectos:

1. Rotación Faraday
2. Curvatura del rayo

MODELAMIENTO DE VARIABLES IONOSFÉRICAS. ECUACIONES GENERALES



- TEC. (Contenido Total de Electrones)

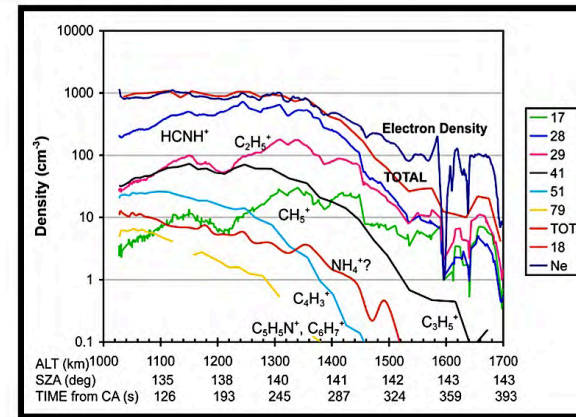


Figura 6. Mapa ionosférico Mundial

Fuente: Naval Research Laboratory - USA. 2004

$$\Phi_1 = \rho + N_1 \lambda_1 - \frac{40.3 \int N_e dL}{f_1^2} - \frac{1.1284 \times 10^{12} \int N_e B \cos \theta dL}{f_1^3} - \frac{812.0 \int N_e^2 dL}{f_1^4}$$

Integración de los efectos del índice de refracción respecto a los términos de código y fase (Petrie, E. J. et. al. 2010)



MODELAMIENTO DE VARIABLES IONOSFÉRICAS. ECUACIONES GENERALES

$$\Phi_1 = \rho + N_1 \lambda_1 - \frac{40.3 \int N_e dL}{f_1^2} - \frac{1.1284 \times 10^{12} \int N_e B \cos \theta dL}{f_1^3} - \frac{812.0 \int N_e^2 dL}{f_1^4}$$

Integración de los efectos del índice de refracción respecto a los términos de código y fase (Petrie, E. J. et. al. 2010)

Donde:

PRIMER TÉRMINO IONOSFÉRICO

$$I1 = -\frac{40.3 \int N_e dL}{f_1^2},$$

SEGUNDO TÉRMINO IONOSFÉRICO

$$I2 = -\frac{1.1284 \times 10^{12} \int N_e B \cos \theta dL}{f_1^3}$$

TERCER TÉRMINO IONOSFÉRICO

$$I3 = -\frac{812.47 \int N_e^2 dL}{f_1^4}$$

MODELAMIENTO DE VARIABLES IONOSFÉRICAS. ECUACIONES GENERALES

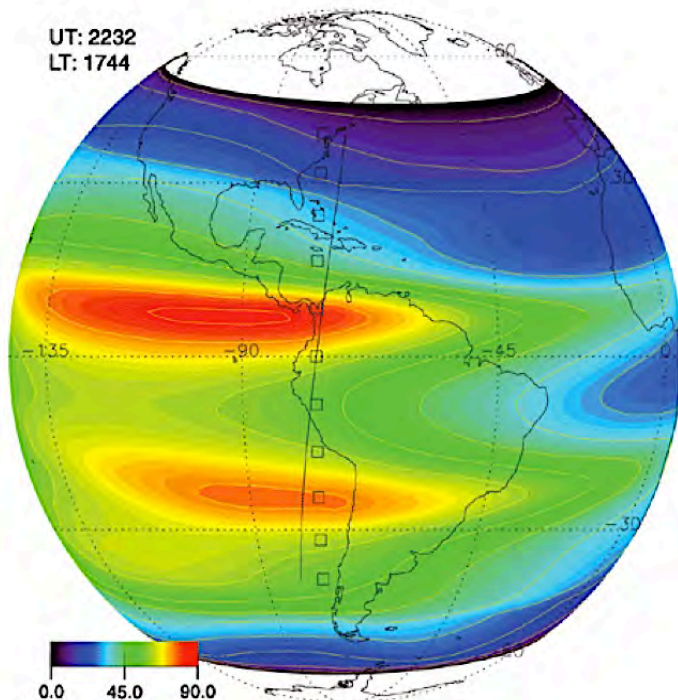


Figura 7. Mapa ionosférico Mundial

Fuente: Naval Research Laboratory - USA. 2004

$$\phi_{LC} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \phi_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \phi_2$$

Combinación Lineal. "Ionosphere-Free"

$$\delta\rho_{ion} = -40,3 * \frac{1}{\cos\left(\frac{R}{R+H} \sin z\right)} * \frac{Ev}{f^2}$$

Ecuación General. Modelo Simplificado

Donde:

- Z ángulo zenital al cual la señal fue captada.
- R distancia geométrica del receptor a la ionósfera.
- H Altura (≈ 450 m)
- F frecuencia (L1 y/o L2).
- Ev Contenido total de electrones vertical (VTEC)



MODELAMIENTO DE VARIABLES IONOSFÉRICAS. ECUACIONES GENERALES

$$\Phi_1 = \rho + N_1 \lambda_1 - \frac{40.3 \int N_e dL}{f_1^2} - \frac{1.1284 \times 10^{12} \int N_e B \cos \theta dL}{f_1^3} - \frac{812.0 \int N_e^2 dL}{f_1^4}$$

Integración de los efectos del índice de refracción respecto a los términos de código y fase (Petrie, E. J. et. al. 2010)

1ER TÉRMINO

Decenas de metros

Término principal modelado.
(Modelos simplificados)

2DO TÉRMINO

Algunos centímetros, principalmente en L2

Afecta: Traslación en la componente Z y Órbitas y Relojes

3ER TÉRMINO

Similar al 2do término pero en menor escala

Afectado por el campo geomagnético y cintilación



ZONA CENTRAL Y ANTÁRTICA, MAYOR INCIDENCIA ELECTRÓNICA Y MAGNÉTICA

TEC MAP (height= 450.0 km) at 2010/09/29,00:00:00
ESA/ESOG SH: apherical harmonic model from 191 stats; n = 15, m = 15

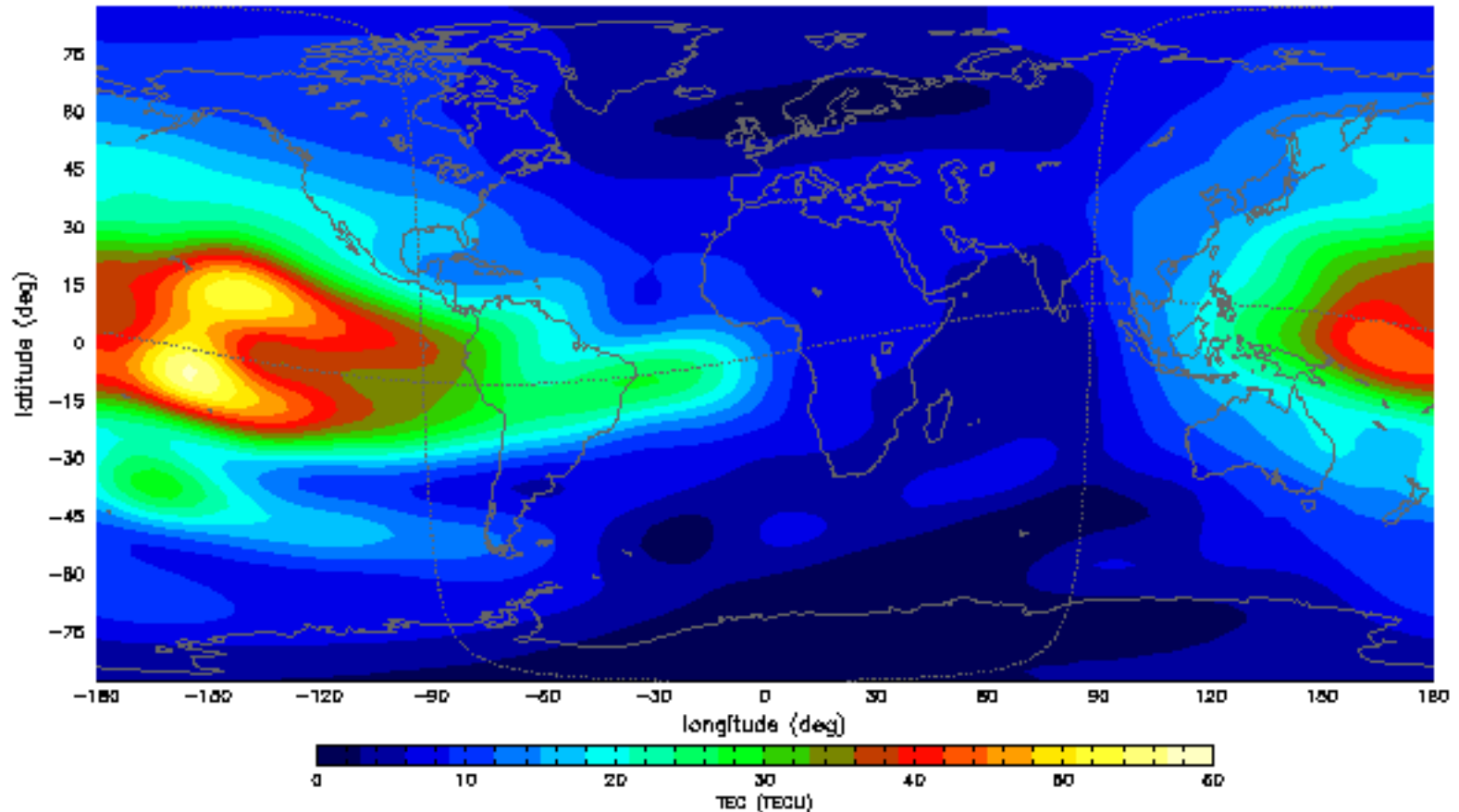


Figura 8. Mapa Ionosférico Global. 15 minutos de resolución (vTEC film produced with IONMON Version 1).



I N S T I T U T O

Geográfico Militar

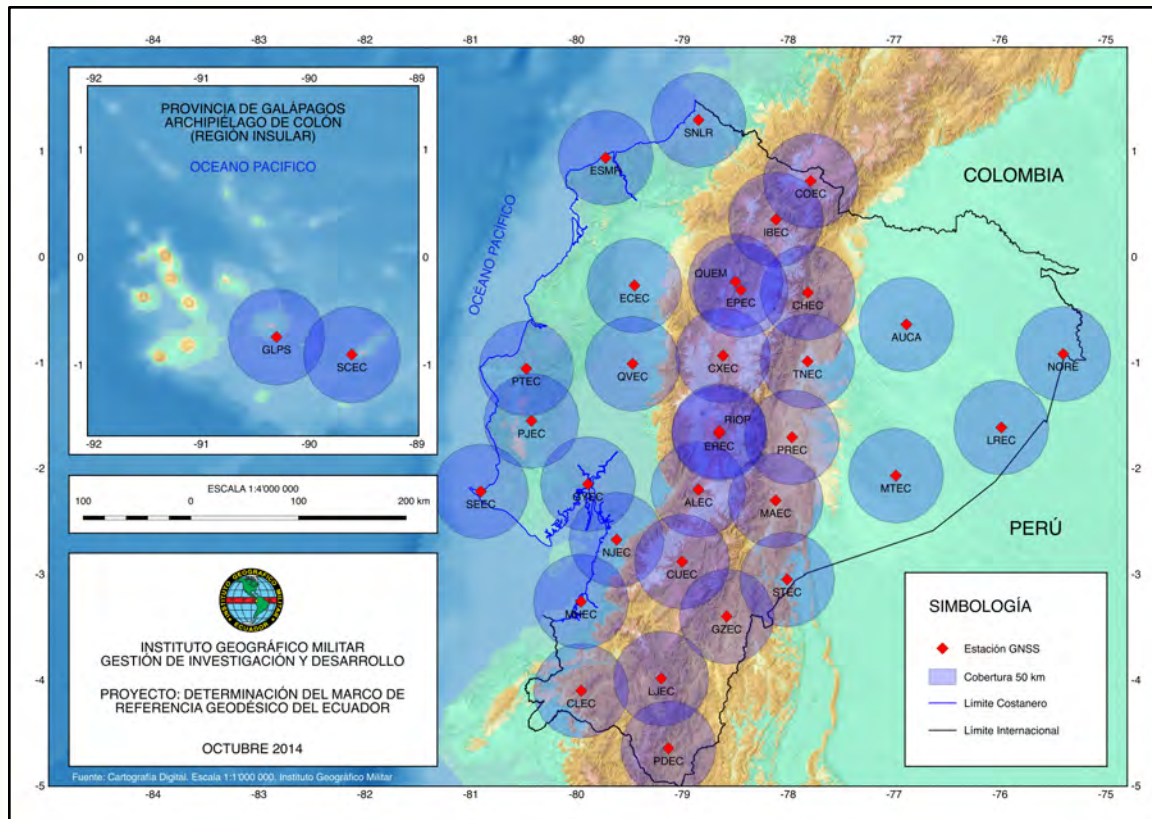


DESARROLLO



OBJETIVO PRINCIPAL DEL ESTUDIO

MAPA. RED GNSS DE MONITOREO CONTINUO DEL ECUADOR. REGME



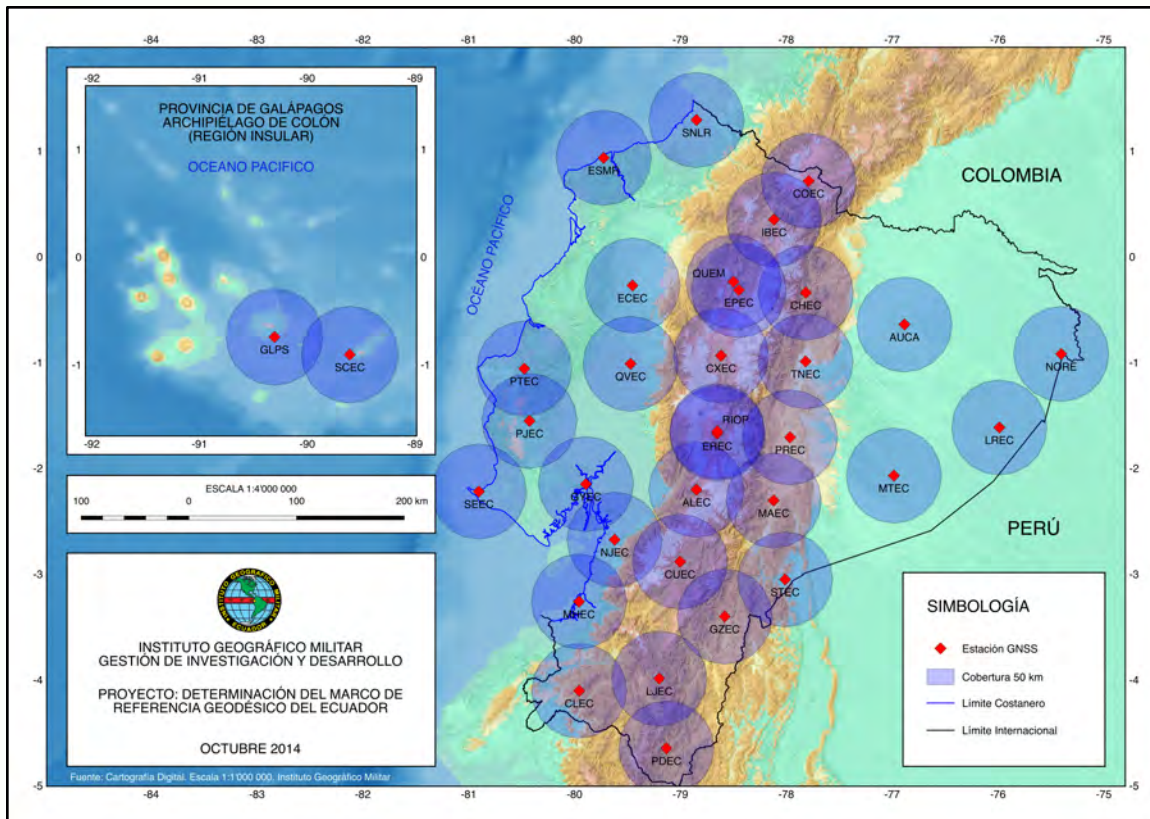
SE ESTABLECE UNA NECESIDAD ...

ANALIZAR EL EFECTO GENERADO, POR LA **INCLUSIÓN** O **EXCLUSIÓN** DE LOS **TÉRMINOS DE ALTO ORDEN IONOSFÉRICO** EN LA GENERACIÓN DE SOLUCIONES POSICIONALES DE ALTA PRECISIÓN EN LAS ZONAS DE MAYOR ACTIVIDAD IONOSFÉRICA Y GEOMAGNÉTICA. (ZONA CENTRO. ECUADOR CONTINENTAL – ZONA SUR. ESTACIÓN ANTÁRTICA ECUATORIANA “PEDRO VICENTE MALDONADO”)



ZONAS DE ESTUDIO PRINCIPALES

MAPA. RED GNSS DE MONITOREO CONTINUO DEL ECUADOR. REGME



1. ZONAS DE ESTUDIO

ECUADOR CONTINENTAL

REG GNSS DE MONITOREO CONTINUO

CONTINENTE ANTÁRTICO

ESTACIÓN CIENTÍFICA. PEDRO VICENTE

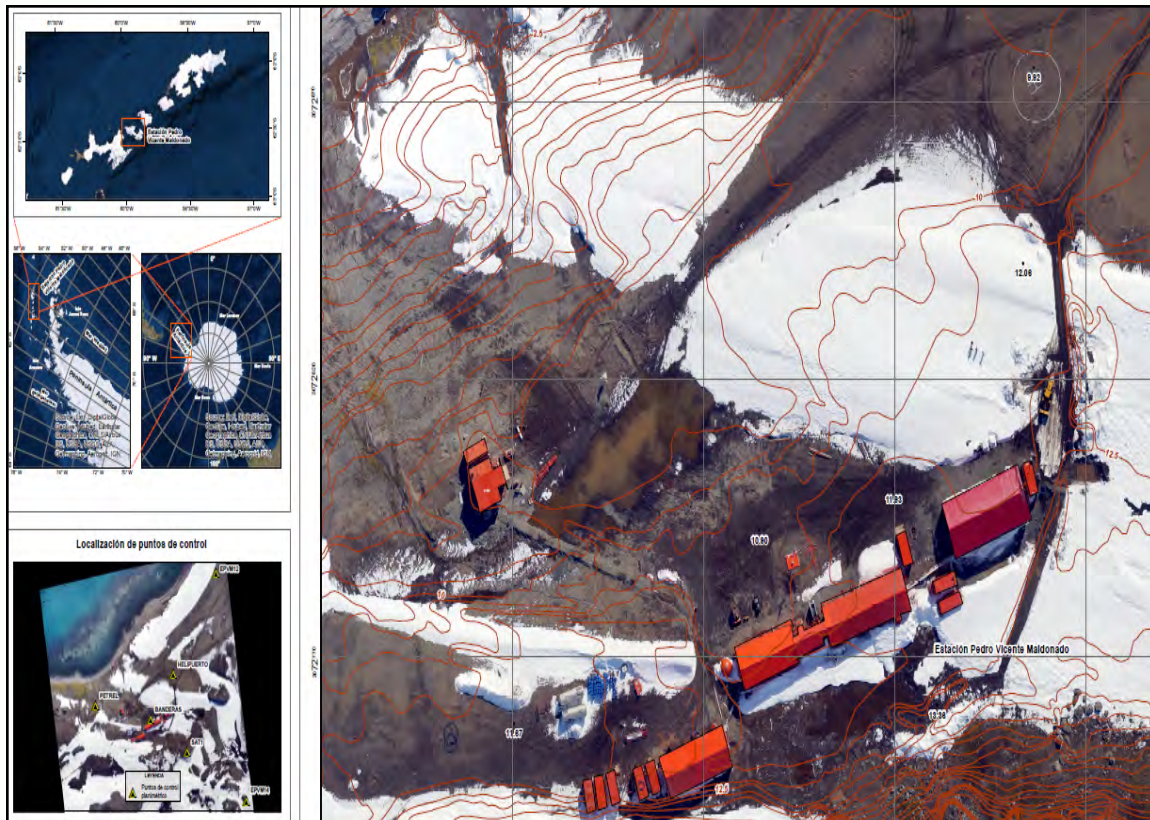
MALDONADO

2. TIEMPO DE ESTUDIO

1 AÑO (REGME) – 1 MES (ANTÁRTIDA)

ZONAS DE ESTUDIO PRINCIPALES

MAPA. RED GNSS DE MONITOREO CONTINUO DEL ECUADOR. REGME



1. ZONAS DE ESTUDIO

ECUADOR CONTINENTAL

REG GNSS DE MONITOREO CONTINUO

CONTINENTE ANTÁRTICO

ESTACIÓN CIENTÍFICA. PEDRO VICENTE

MALDONADO

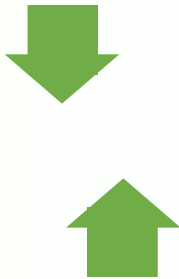
2. TIEMPO DE ESTUDIO

1 AÑO (REGME) – 1 MES (ANTÁRTIDA)



MODELO GENERAL DE PROCESAMIENTO

- ✓ Petit, G. & Luzum, B. 2010. "IERS Conventions (2010)". IERS Technical Note No. 36



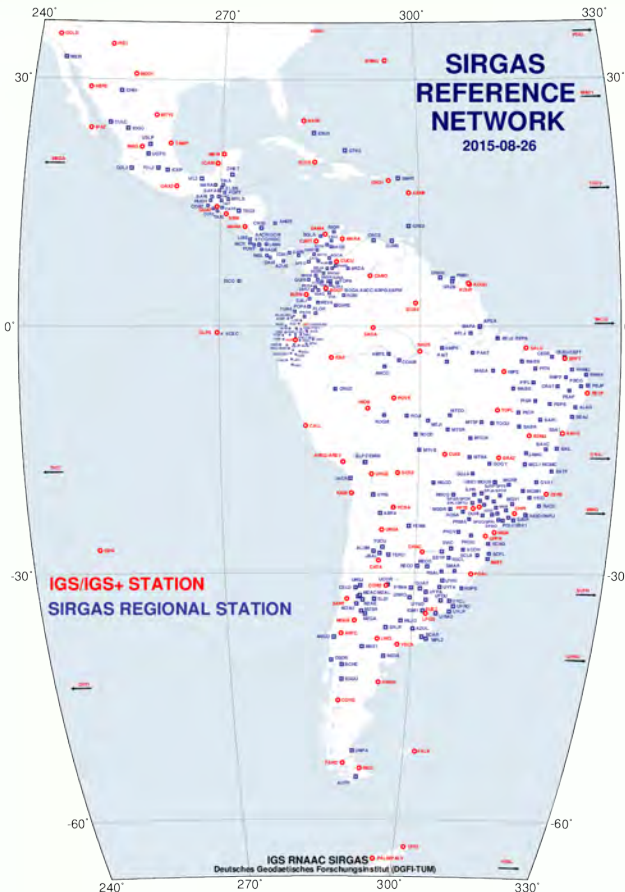
- ✓ Sánchez, L. et al. 2013. "Guía para los Centros de Análisis SIRGAS". Sitio web: www.sirgas.org





INSTITUTO
Geográfico Militar

RED DE PROCESAMIENTO PRINCIPAL



Fuente: sirgas.org

Estaciones IGb08 CORE

CÓDIGO	LOCALIDAD	PAÍS
BRAZ	BRAZIL	BRASIL
BRFT	EUSEBIO	BRASIL
CHUR	CHURCHILL	CANADA
CONZ	CONCEPCIÓN	CHILE
CRO1	CHRISTIANSTED	USA
GLPS	GALÁPAGOS	ECUADOR
GOLD	GOLDSTONE	USA
ISPA	ISLA DE PASCUA	CHILE
LPGS	LA PLATA	ARGENTINA
MAS1	MASPALOMAS	ESPAÑA
MKEA	MAUNA KEA	USA
OH12	O'HIGGINS	CHILE (ANTARTIDA)
PARC	PUNTA ARENAS	CHILE
PDEL	PONTA DELGADA	PORTUGAL
SCH2	SCHEFFERVILLE	CANADA
STJO	ST JOHN'S	CANADA
THTI	PAPEETE	POLYNEsia FRANCESA
UNSA	SALTA	ARGENTINA
USNO	WASHINGTON	USA
WHIT	WHITEHORSE	CANADA



I N S T I T U T O
Geográfico Militar



ESTRATEGIA DE PROCESAMIENTO

CARÁCTERÍSTICAS PRINCIPALES DE PROCESAMIENTO. MARCO DE REFERENCIA

1. NÚMERO DE ESTACIONES A SER PROCESADAS

35 ESTACIONES GNSS - REGME. AÑO 2015

01 ESTACIÓN GNSS – ANTÁRTIDA. ENERO 2015

2. MODELO IONOSFÉRICO GENERAL

CODE MODEL (GIM)

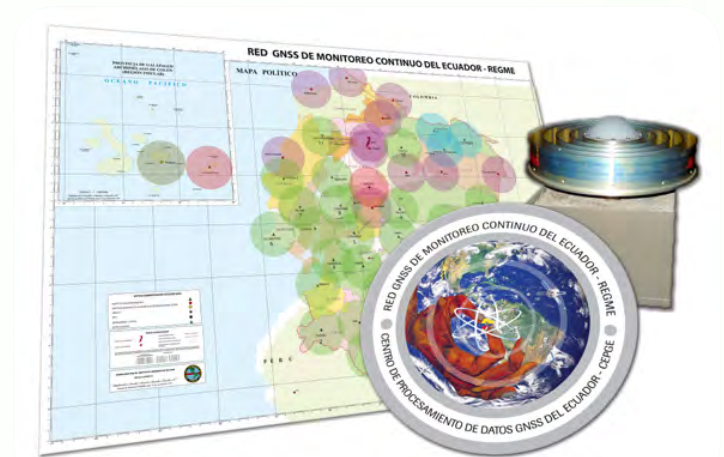
3. MODELAMIENTO DE TERMINOS IONOSFÉRICOS

ION_Model – GMAP. Petrie, E. et. al. 2010

RINEX_H0. Marques, H. 2011.

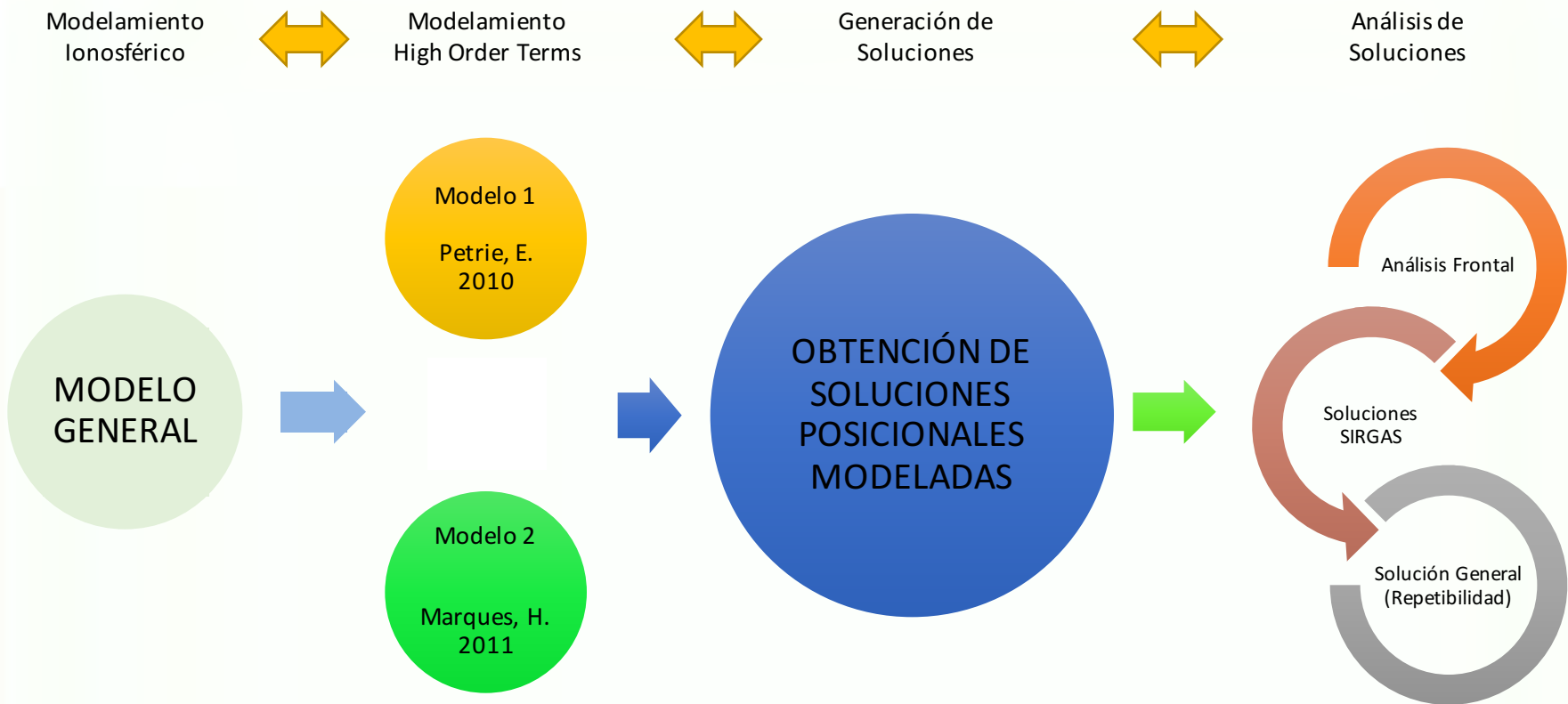
R E G M E

R E D G N N S D E
M O N I T O R E O C O N T I N U O
D E L E C U A D O R





MODELO GENERAL DE MODELAMIENTO IONOSFÉRICO



MODELO GENERAL DE MODELAMIENTO IONOSFÉRICO

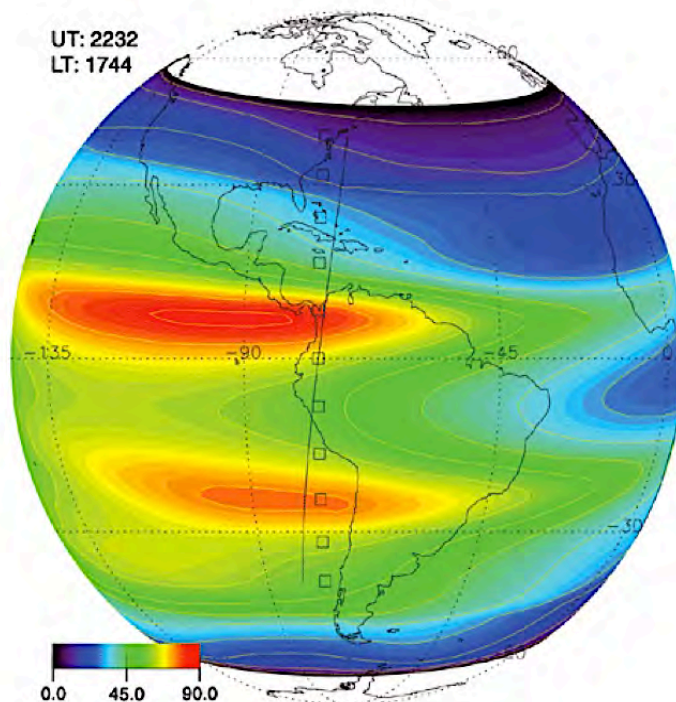


Figura 10. Mapa ionosférico Mundial

Fuente: Naval Research Laboratory - USA. 2004

Petrie, E. et. al.
2010

Marques, H. et. al.
2011

SUBROUTINA
PROGRAMADA

PROGRAMA
FORTRAN – CALCULO
A PRIORI (RINEX)

CODE MAP ONLY

CALCULATE FROM
PSEUDORANGES OR
CODE MAP (GIM)

IGRF12

DIPOLAR MODEL,
CGM OR IGRF11



I N S T I T U T O

Geográfico Militar



Ministerio
de Defensa
Nacional



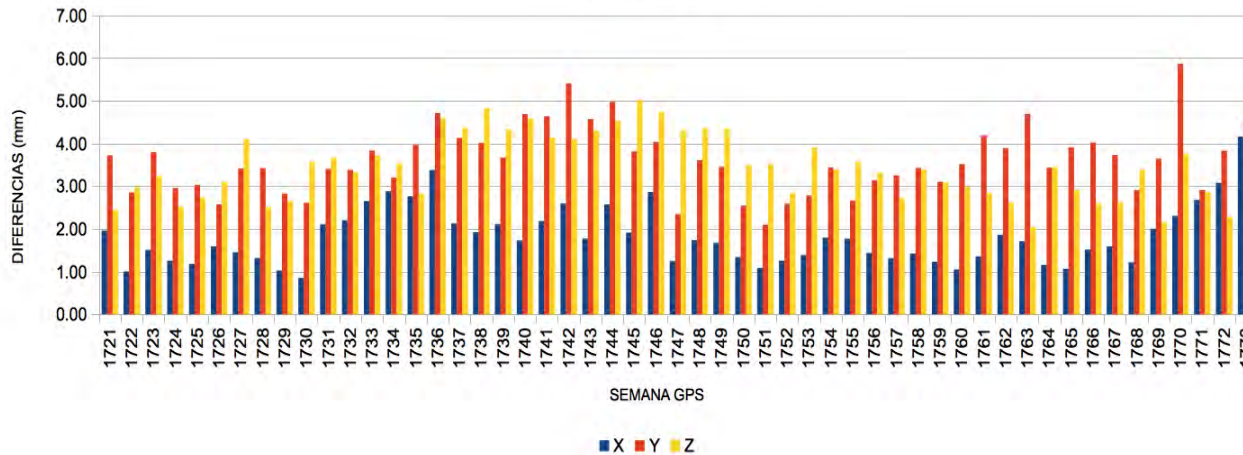
RESULTADOS



DIFERENCIAS PROMEDIO POR SEMANA SOLUCIÓN MODELO PETRIE E. ET. AL. 2010

ESTADÍSTICAS GENERALES

DIFERENCIAS PROMEDIO SEMANALES
SOLUCION IGM1



VALORES PROMEDIO

1. EJE X

1.82 mm

2. EJE Y

3.61 mm

3. EJE Z

3.45 mm

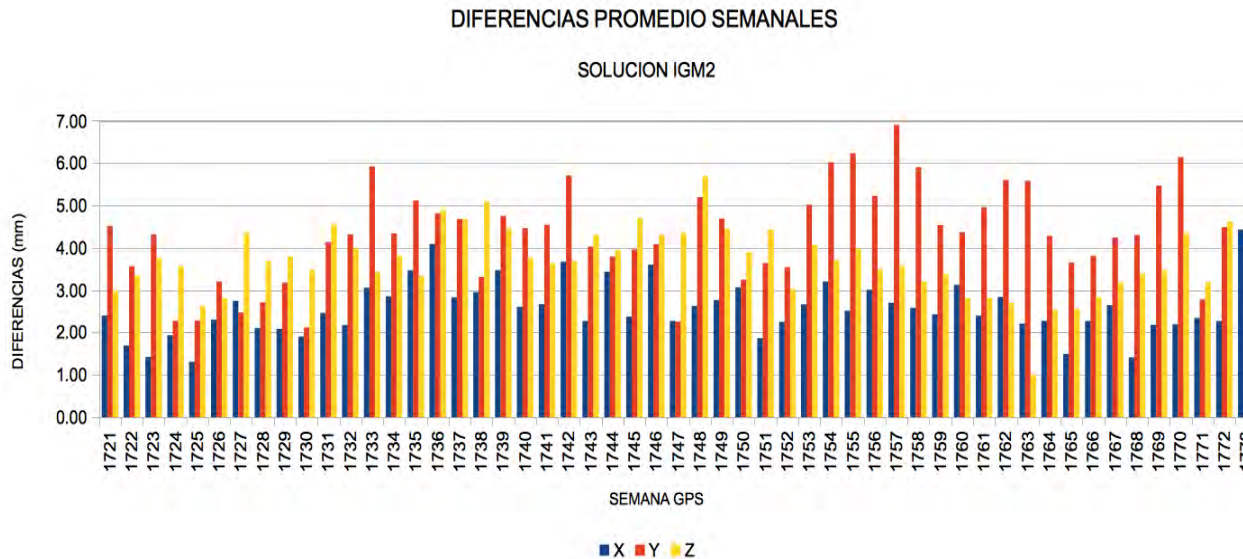
PROMEDIO

2.96 mm



DIFERENCIAS PROMEDIO POR SEMANA SOLUCIÓN MODELO MARQUES H. ET. AL. 2011

ESTADÍSTICAS GENERALES



VALORES PROMEDIO

1. EJE X

2.76 mm

2. EJE Y

4.32 mm

3. EJE Z

4.20 mm

PROMEDIO

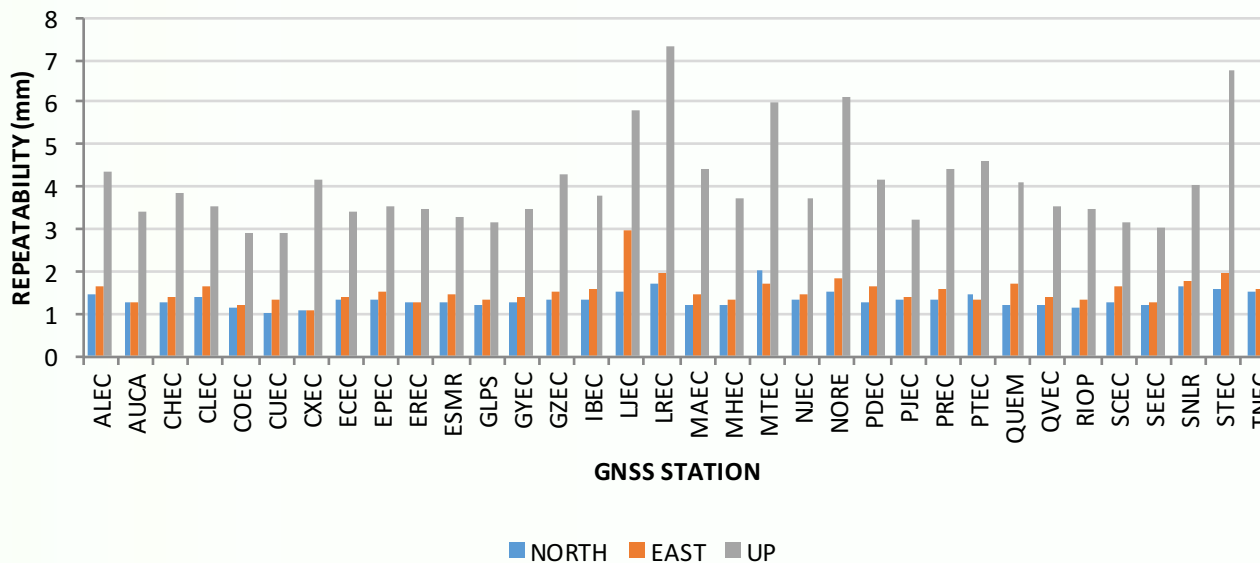
3.76 mm



REPETIBILIDAD DE LA SOLUCIÓN AJUSTADA POR ESTACIÓN

ESTADÍSTICAS GENERALES

STABILIZATION WRMS. MULTI-STATION REPEATABILITY



VALORES PROMEDIO

HORIZONTAL

1. EJE NORTE

1.34 mm

2. EJE ESTE

1.54 mm

VERTICAL

3. ALTURA

4.11 mm

Figura 3.2 Repetibilidad Promedio por Estación GNSS



I N S T I T U T O

Geográfico Militar



CONCLUSIONES



I N S T I T U T O

Geográfico Militar



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

C

- Los resultados preliminares demuestran, una mejoría en la generación de soluciones entre 3 y 4 milímetros en relación a las soluciones generadas sin la inclusión de los modelos, lo cual permite evidenciar una mejoría inicial en la obtención de coordenadas, así como en el modelamiento ionosférico habitual.

C

- Los resultados obtenidos establecen en primera instancia, una concordancia con lo establecido por los autores, sin embargo, debido a que el análisis solo se sustenta en la comparación de medias, los resultados demuestran una mejoría a nivel general (promedio) de las soluciones, más no una mejoría unificada.

R

- Debido a que los valores obtenidos por los diferentes modelos aplicados, poseen un comportamiento variable relacionado con los parámetros utilizados en el cálculo y corrección de los términos ionosféricos, es recomendable establecer un nuevo estudio mucho más minucioso, a fin de establecer el aporte que genera cada parámetro y/o variable en el proceso.

R

- Es necesario establecer redes de cooperación internacional, enmarcadas en el estudio de los diferentes procesos relacionados con el uso de los sistemas de posicionamiento global, a fin de integrar y articular los procedimientos, metodologías y técnicas utilizadas por cada país y con ello fortalecer la generación de modelos locales y/o regionales.



I N S T I T U T O

Geográfico Militar



GRACIAS POR SU ATENCIÓN ...

Christian G. Pilapanta A.
christian.pilapanta@mail.igm.gob.ec

Ricardo V. Romero Ch.
ricardo.romero@mail.igm.gob.ec