



SCT

---

SECRETARÍA DE  
COMUNICACIONES  
Y TRANSPORTES

AEM

AGENCIA ESPACIAL  
MEXICANA

# TALLER NACIONES UNIDAS/ARGENTINA SOBRE APLICACIONES DE LOS SISTEMAS GLOBALES DE NAVEGACIÓN SATELITAL

**United Nations / Argentina Workshop on the  
Applications of Global Navigation Satellite Systems**

CONAE, Falda del Carmen, Argentina  
19 – 23 March, 2018

# RETOS DEL GNSS EN MÉXICO

## *CHALLENGES OF GNSS IN MEXICO*

JAVIER ROCH

AGENCIA ESPACIAL MEXICANA

email:roch.javier@aem.gob.mx

CONAE, Falda del Carmen, Argentina

19 – 23 March, 2018

## POTENCIALIDADES DEL ESPACIO



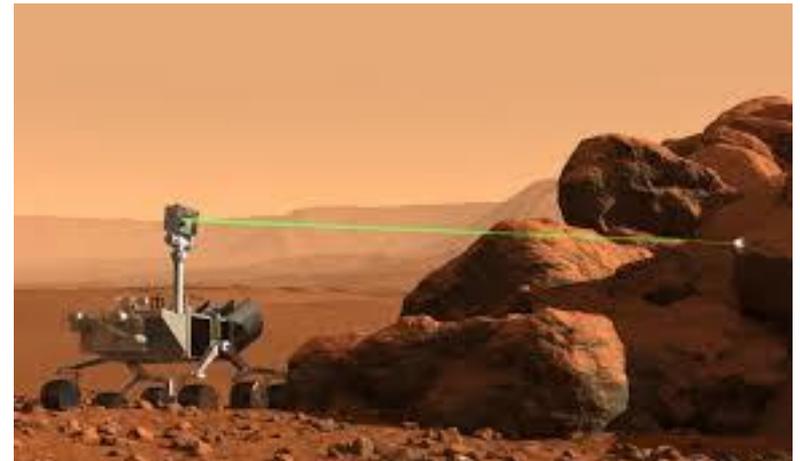
**Comunicar** **Observar** **Navegar**



**Microgravedad**



**Transporte espacial**



**Exploración espacial**

# Prioridades para México



# Global Navigation Satellite System (GNSS)

## *Sistema global de navegación por satélite*

Los sistemas **GNSS** (*Global Navigation Satellite System*) son constelaciones de satélites que permiten la localización de un objeto en la superficie terrestre, incluyendo mar y aire. Las coordenadas geográficas del objeto se determinan midiendo las distancias de un mínimo de cuatro satélites de posición conocida. Esto se realiza a través de un receptor que capta las señales de sincronía emitida por los satélites, la cual contiene la posición del satélite y el tiempo de la transmisión con alta precisión. La base de tiempo que utilizan estos satélites proviene de relojes atómicos que se encuentran en su interior.

# INTRODUCCIÓN

A partir de la medición y datos incluidos en las señales GNSS se extrae la información necesaria para que un usuario pueda determinar su posición en tierra en forma de coordenadas geográficas y la altitud de un punto dado.

Solo por mencionar algunos de los fines que se pueden tener gracias al reconocimiento de una posición sobre el globo terráqueo se encuentran:

<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Posicionamiento en la Navegación:</b><ul style="list-style-type: none"><li>• Marítima.</li><li>• Terrestre.</li><li>• Aérea.</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Geolocalización:</b><ul style="list-style-type: none"><li>• Transporte.</li><li>• Personas.</li><li>• Objetos.</li></ul></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Geomáticos.</b><ul style="list-style-type: none"><li>• Topografía.</li><li>• Geodesia.</li><li>• Mapeo.</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Hidrográficos.</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Agrícolas.</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Vulcanológicos.</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Sismológicos.</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Mareográficos.</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Climatológicos. (Estudio de Huracanes)</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Sincronización del tiempo.</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Militares. (reservado)</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Catastro.</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Cercos sanitarios.</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Minería.</b></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Construcción.</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Rescate y búsqueda.</b></li></ul>

# Introducción

Es de resaltar que dependiendo de las necesidades del servicio existen ciertos requerimientos que se deben cumplir:

- **Disponibilidad** : Porcentaje de tiempo en el que el número mínimo de satélites está a la vista de tal manera que el usuario pueda acceder a la suficiente cantidad de datos para el empleo de su dispositivo.
- **Precisión**: diferencia entre posición verdadera y calculada (posicionamiento absoluto).
- **Continuidad**: Capacidad para proporcionar las prestaciones requeridas durante una operación sin interrupción, una vez iniciada la operación.
- **Integridad**: Información adicional del usuario sobre la fiabilidad de la señal dentro de los requisitos.
- **Robustez a la suplantación e interferencia**: Es la información de autenticación proporcionada a los usuarios asegurando que la señal provenga de un satélite en el espacio (permitiendo aplicaciones sensibles).
- **Alcance al interior**: Capacidad de la señal para penetrar dentro de los edificios, por ejemplo a través de ventanas.[1]

# GNSS en la actividad Aeronáutica

## SISTEMA DE AUMENTACIÓN WAAS EN MÉXICO.

En México entre 2005 y 2007 se desarrolla la ampliación del sistema americano de aumentación WAAS (Wide Area Augmentation System). El convenio se firmo en conjunto con las autoridades de CANADA (NavCANADA) y por México el Servicio a la Navegación al Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM). De esta manera se integran 5 estaciones[3] :





HOME

• Reports

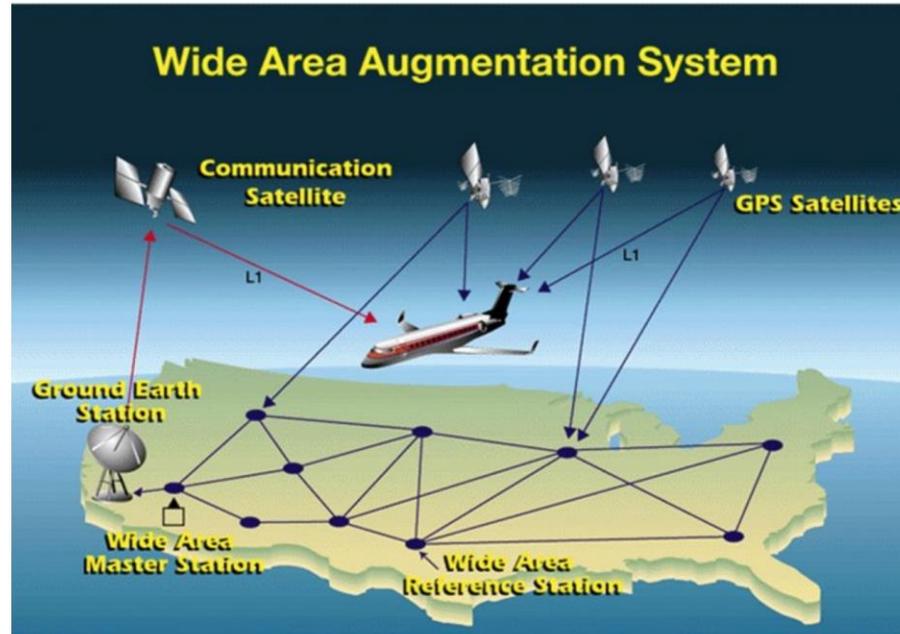
- [Offline Monitoring](#)
- [ION Papers](#)

• Live WAAS Data

- [Performance Monitoring](#)
- [Performance Reports](#)
- [Mexico Live Performance Monitor](#)
- [Canada Live Performance Monitor](#)

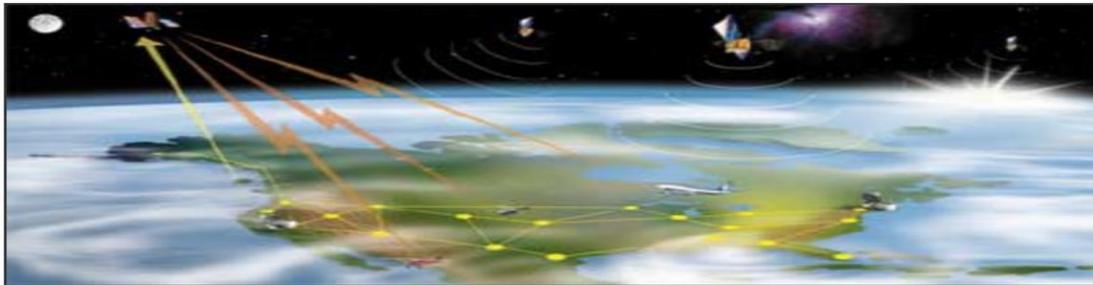
• Links

- [FAA WAAS Page](#)
- [Space Environment Center \(SEC\): Today's Space Weather](#)
- [William J. Hughes Technical Center](#)
- [Current X<sup>2</sup> Plot](#)
- [Experimental Tools](#)

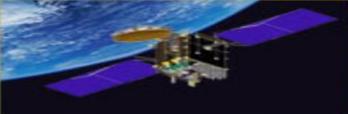


# WIDE AREA AUGMENTATION SYSTEM

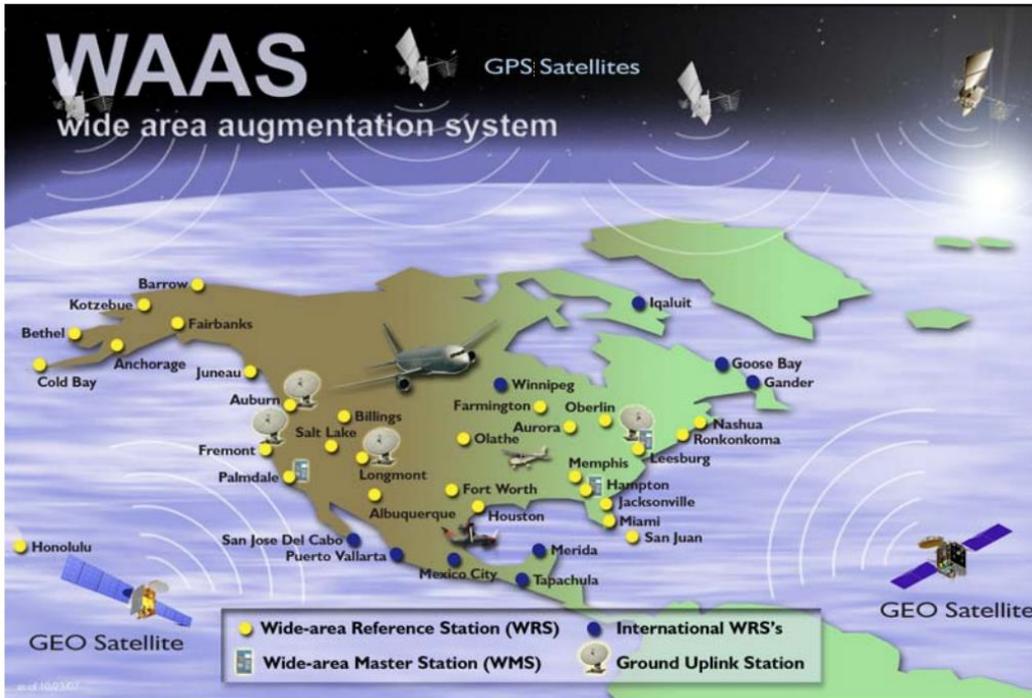
WAAS is an extremely accurate navigation system developed for civil aviation. Before WAAS, the U.S. National Airspace System (NAS) did not have the potential to provide horizontal and vertical navigation for approach operations for all users at all locations. With WAAS, this capability is a reality.



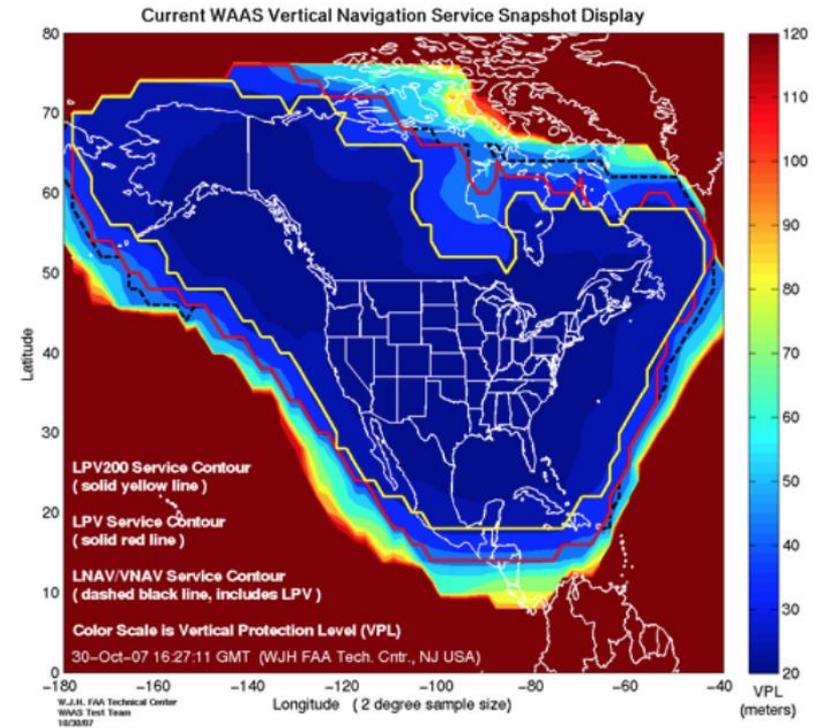
WAAS provides service for all classes of aircraft in all phases of flight - including en route navigation, airport departures, and airport arrivals. This includes vertically-guided landing approaches in instrument meteorological conditions at all qualified locations throughout the NAS.

Current GEO satellites supporting WAAS			
			
<b>IntelSat Galaxy 15</b>	<b>Telesat Anik F1R</b>	<b>Eutelsat Satmex-9</b>	<b>SES SES-15</b>
Launched: 10/2005 Operating: 133 °W	Launched: 9/2005 Operating: 107.3 °W	Launched: 6/2016 Operating: 117 °W <i>Operational: 3/2018</i>	Launched: 5/2017 Operating: 129 °W <i>Operational: 6/2019</i>

# WAAS Now Available in Canada and Mexico



Thirty-eight wide-area reference stations (WRS) are located throughout the U.S., Canada, and Mexico. These stations monitor GPS satellites and collect the data used to create the WAAS signal-in-space which is broadcast by the two WAAS geostationary satellites.



Shown above is a screen shot from the FAA's "Current WAAS Navigation Service Snapshot Display" web page. This display updates once every two minutes to reflect fluctuations in service coverage. To access this site, please select the "Real Time WAAS Coverage Link" found at the bottom of <http://gps.faa.gov> or access this page directly at [http://www.nstb.tc.faa.gov/RT\\_VerticalProtectionLevel.htm](http://www.nstb.tc.faa.gov/RT_VerticalProtectionLevel.htm).

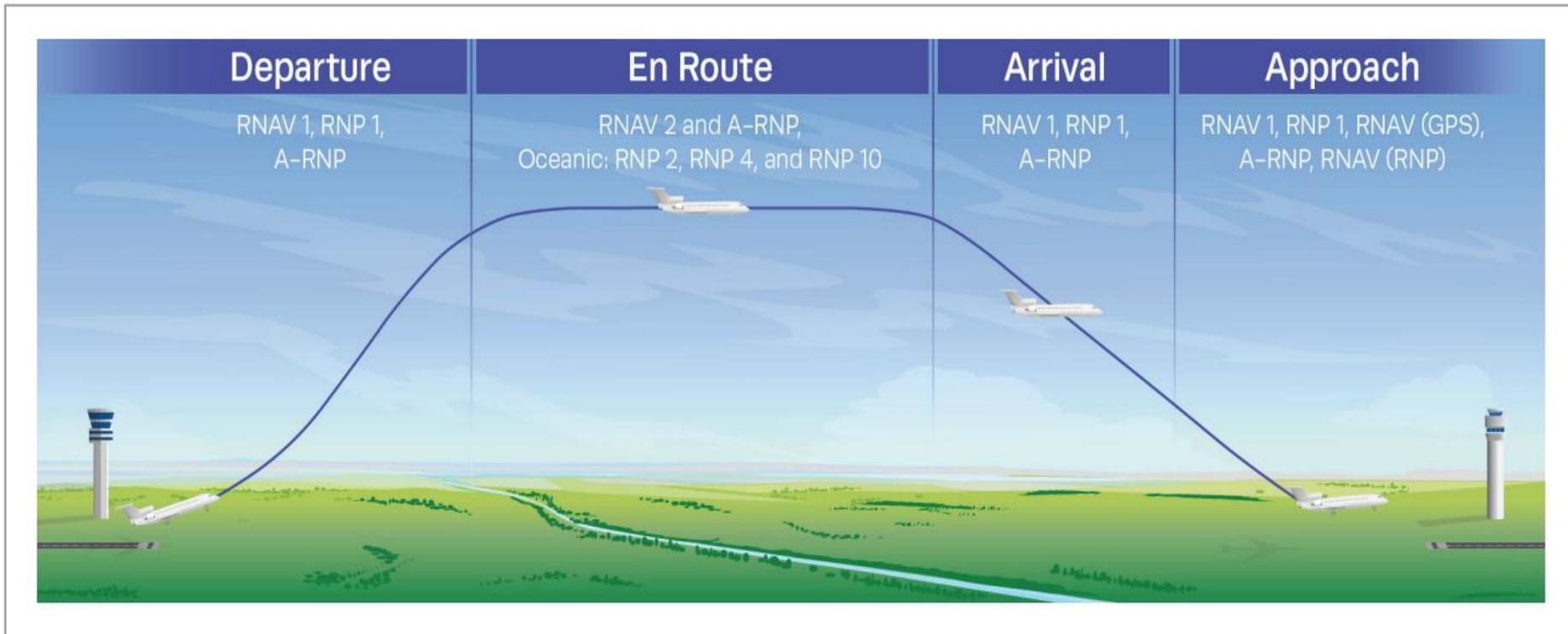


Figure 1 - Various PBN procedures are used at each phase of flight.

# GNSS en otras actividades

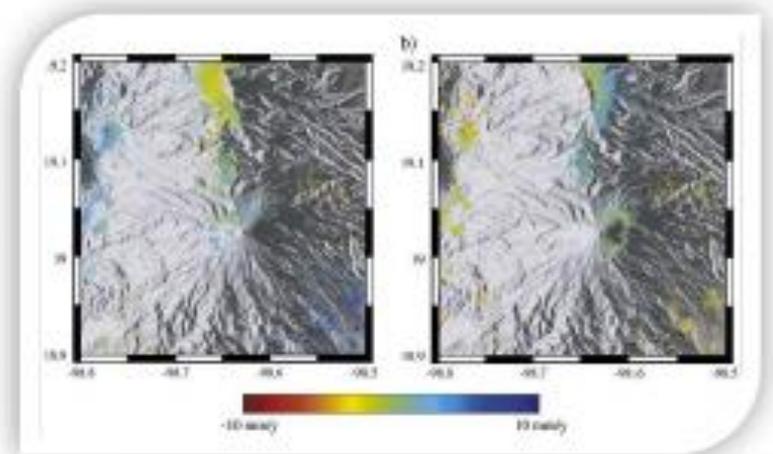
## Registro de la Actividad Volcánica.

México se encuentra sobre el cinturón de fuego del Pacífico, lo que se caracteriza por una diversidad de fenómenos relacionados con la subducción de las placas tectónicas, provocando sismos, maremotos y gran actividad volcánica.

Así México incorpora en 1996 el empleo del GPS para el registro de la actividad producida en el Volcán Popocatepetl.

Posteriormente se incorporaría estaciones para el monitoreo del volcán de Fuego de Colima para poder monitorear las deformaciones que presentan las laderas del mismo.

La UNAM, UNAVCO, NASA, CENAPRED, CONACYT han sido las encargadas de promover este tipo de proyectos y de financiar las actividades realizadas.



# GNSS en otras actividades

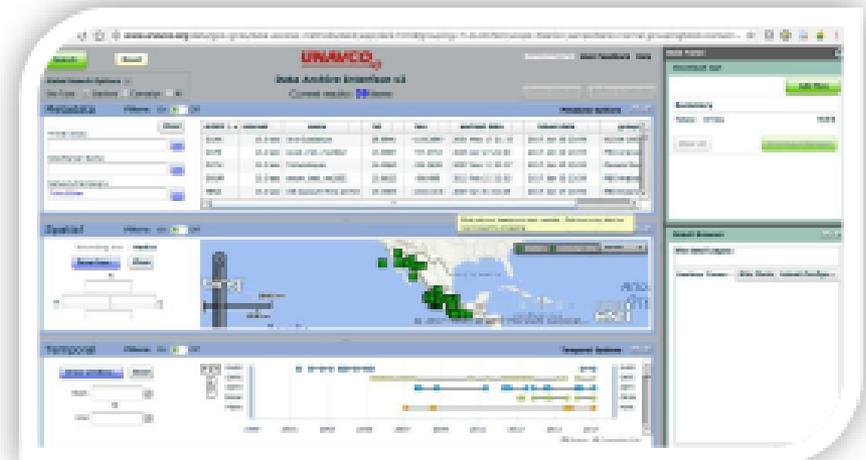
## Registro de la Actividad Sísmica.

En consecuencia los sismos son también un fenómeno que afecta al territorio nacional.

Es por ello que se ha instalado una red de sensores a lo largo de la costa sur del Pacífico con la intención de monitorear dicho Fenómeno.

La red Tlaloc (Trans-boundary, Land and Atmosphere Long-term Observational and Collaborative Network-TLALOCnet) tiene precisamente la función de monitoreo continuo que se une a una red continua que abarca de desde Alaska hasta el sur de nuestro país. De igual forma se destaca la gran participación en este rubro de la UNAM, UNAVCO, NSF, CICESE y el SSN.

Actualmente ya existen dispositivos comerciales que se emplean para la alerta temprana de eventos.



# GNSS en otras actividades

## Registro de la Actividad de Subsistencia.

Otro fenómeno recurrente en el territorio mexicano es la subsidencia, la cual ocurre generalmente por la extracción de agua en áreas urbanas.

En los últimos años se han dado algunos cambios en el nivel del suelo sobre todo en la ciudad de México. El periodo en el cual ocurren “eventos infortunados” generalmente es de mayor plazo en comparación con otros desastres naturales. La subsidencia puede abarcar desde hundimientos en casas o terrenos hasta producir fallas geológicas como grietas. Actualmente la Red de subsidencia abarca las ciudades de Aguascalientes, Celaya, Ciudad de México, Querétaro y Morelia. [4]

SOBREEXPLORACIÓN DE MANTOS ACUÍFEROS PROVOCA GRIETA EN XOCHIMILCO: CIENTÍFICOS



26 de enero de 2017

# GNSS en otras actividades

## Registro de la Actividad de Subsistencia.

Efectos de la subsidencia en el Ángel de la Independencia, ubicado en la Ciudad de México.  
1910-2016



Aproximadamente  
3 metros

# GNSS en otras actividades

## Empleo del GNSS en diversas actividades.

5

### Registro de la Actividad Meteorológica.

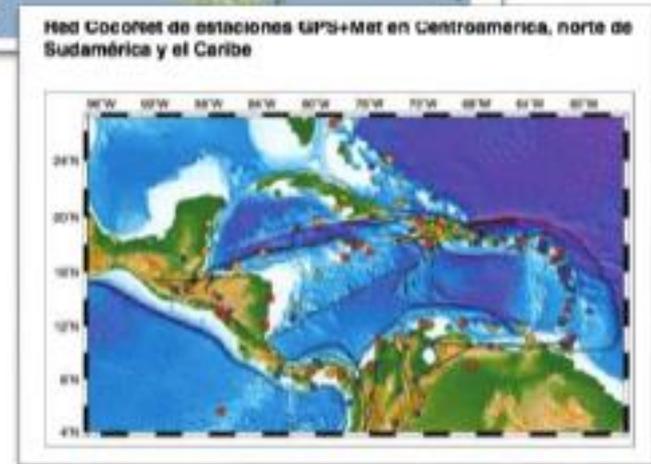
A finales de la década de los 80's comenzó el estudio de la cantidad de vapor atmosférico.

Fue con la introducción del GPS que se observó que el contenido de vapor de agua retrasaba la velocidad de propagación de la señal.

Posteriormente se lograría correlacionar la presión, temperatura y % de vapor de agua con la refractividad. En 2001 se instala estaciones de monitoreo con este propósito específico en México con el nombre de SUOMInet.

También destaca el estudio de monzones de América del Norte con la U. Arizona, NOAA, U. Sonora, UCAR.

México también pertenece a la Continuously Operating Caribbean GPS Observational Network- COCONet; que entre varios de sus objetivos es el monitoreo de huracanes.[4]



# GNSS en otras actividades

## Registro de la Actividad Mareográfica.

Hacia 1999 Manzanillo contó con una de las primeras instalaciones para medir el nivel de la marea en México con GPS .

En 2014 se instalan en el Servicio Mareográfico Nacional GPS con mareógrafos. Actualmente se puede observar los registros y predicciones a partir de su portal en internet.

Entre otras de las actividades realizadas y la importancia de la medición de la marea se encuentra el estudio de los maremotos así como del seguimiento del incremento del nivel del mar a lo largo del tiempo. [5]



# GNSS en otras actividades

## Actividades Comerciales y otros.

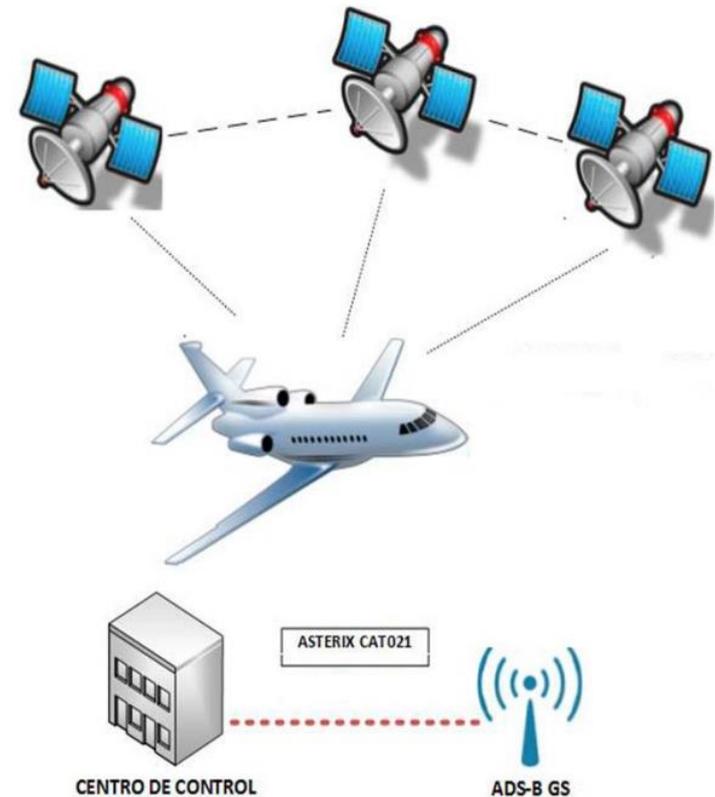
Dentro de las actividades comerciales empleadas en México se encuentra el geoposicionamiento de naves, vehículos y personas.

También se fabrican algunos dispositivos, sin mencionar las diversas aplicaciones que emplean hoy los celulares y que requieren el geoposicionamiento ya sea para ayudar al usuario o como referencia estadística para sus propios fines.



# ADS-B

México como miembro de la OACI y de acuerdo con las actividades del Proyecto Regional de Cooperación Técnica para la Región Caribe – Implementación de sistemas de navegación aérea basados en el desempeño para la Región CAR, ha instalado un conjunto de 11 estaciones ADS-B, con estándares DO-260/ED-102, DO-260A y DO-260B/ED-102A y protocolo Asterix CAT021 a los cuatro Centros de Control de Área (ACC) de México. El plan de implementación obedece a la necesidad de aumentar la seguridad y la eficiencia de las operaciones aéreas / terrestres, redundancia de cobertura y contar con vigilancia en áreas sin cobertura radar



# IMPLEMENTACIÓN DEL ADS-B EN MÉXICO

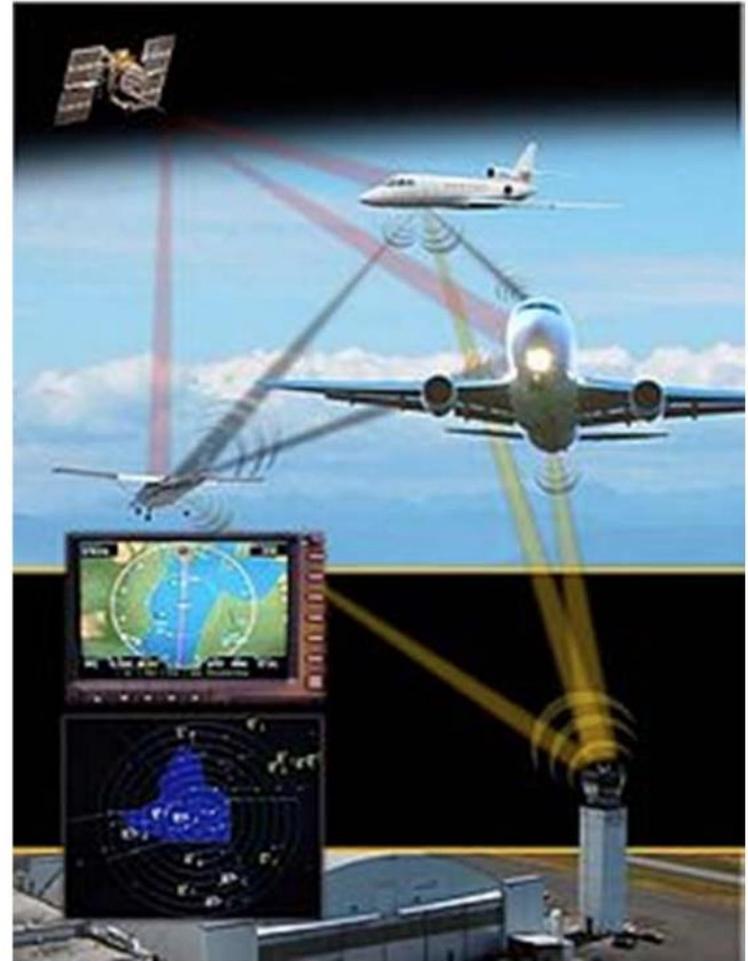
El ADS-B apoyará a los Servicios de Tránsito Aéreo (ATS) en operaciones en ruta y en áreas terminales para aumentar su capacidad y mejorar la seguridad operacional. Se pretende dar vigilancia en áreas que carecen de cobertura radar, así mismo, para mejorar la redundancia y confiabilidad del servicio de vigilancia.

Se considera haya una reducción de los costos de operación mediante la implantación de un sistema de vigilancia ADS-B en lugar de los gastos inherentes al ciclo de vida vinculados con la instalación, mantenimiento y ampliación de los actuales sistemas de vigilancia basados en radar.

# ADS-B

VENTAJAS A OBTENER? Un espacio aéreo más eficiente y la aplicación de las rutas de llegada y salida en el TMA de México para los vuelos VFR con helicópteros; Sistemas de alerta mejorados tanto en vuelo, como tierra, reduciendo incursiones en pista.

Trayectorias de vuelo más eficientes; especialmente en el Golfo de México y áreas remotas; Reducir el consumo de combustible. Al reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>



# SITUACIÓN ACTUAL ADS-B EN MÉXICO

Hasta la fecha, SENEAM ha instalado 15 estaciones ADS-B en los siguientes sitios:

- 5 en el Valle de la Ciudad de México (Aeropuerto de Toluca, Cerro Peñón, Cerro Catedral, Cerro Gordo y ATC TWR Control de México)
- 1 en la estación de Radar de Cerro Los Gallos, Aguascalientes (LGS).
- 2 en el sureste de México en Ciudad del Carmen (CME) y Cancún (CUN).
- 2 en el noreste de México en el Aeropuerto Terminal Monterrey (MTY) y en la estación de radar del Cerro de Potosí (CPT).
- 2 en el noroeste de México en la estación de Radar de Puerto Peñasco Sonora (PPE) y en el aeropuerto de Tijuana.

# PROGRAMA DE SENEAM PARA EL EMPLAZAMIENTO DE ESTACIONES ADS-B EN MÉXICO

2014	2015	2018-20019	2019-2020	Total 2020
5	5 + 3	13	12	35+3
CGO, PEN, MEX, TLC, CCD	PPE, MTY, CPT, CME, LGSTAM, CUN, MID	TRC, CUU, SEU,ZIH, PVR, TGZ,ACA, MZT, CUL,SLP, BJX, GDL,SJD	LAP, CAB, LPD,PTE, CCL, LRS,VER, VSA, ZIJ,HUA, TIJ, HMO	

# PBN

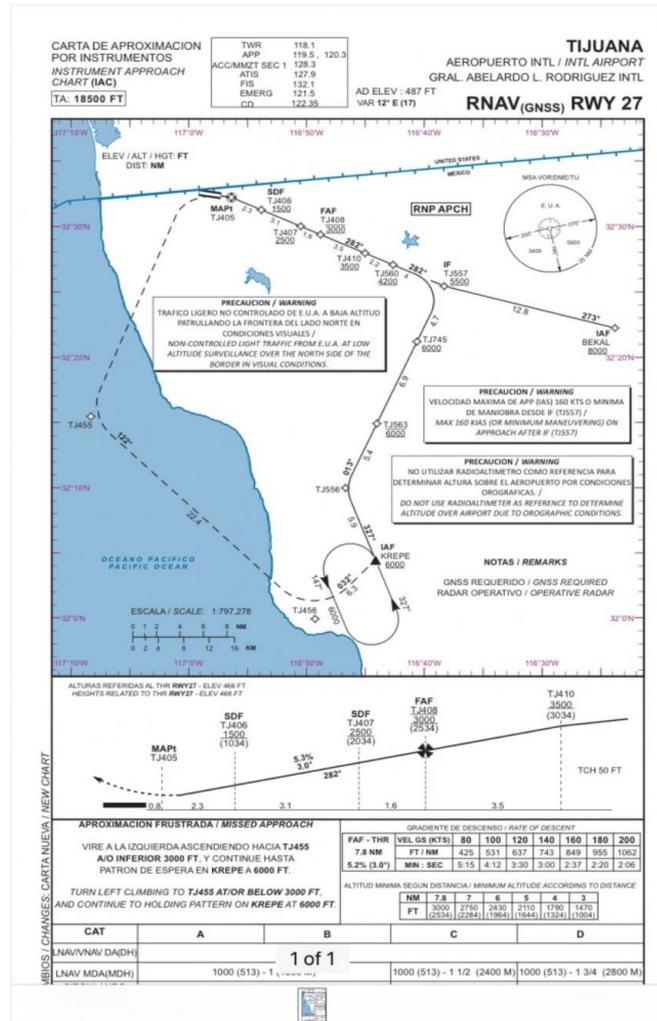
Se implementarán nuevos procedimientos PBN para varios aeropuertos mexicanos, como SID/STAR, aproximaciones RNAV y sus respectivas transiciones ILS quiénes cuenten con ellos.

Los aeropuertos son los siguientes:

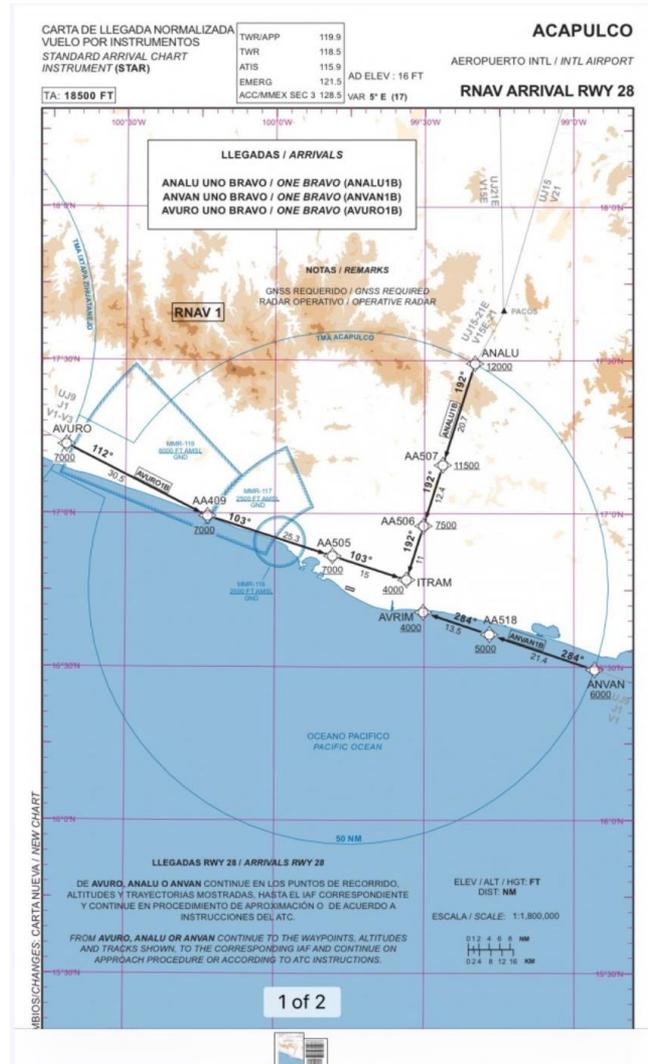
MMAA  
MMGL  
MMIO  
MMMY  
MMTJ  
MMZH



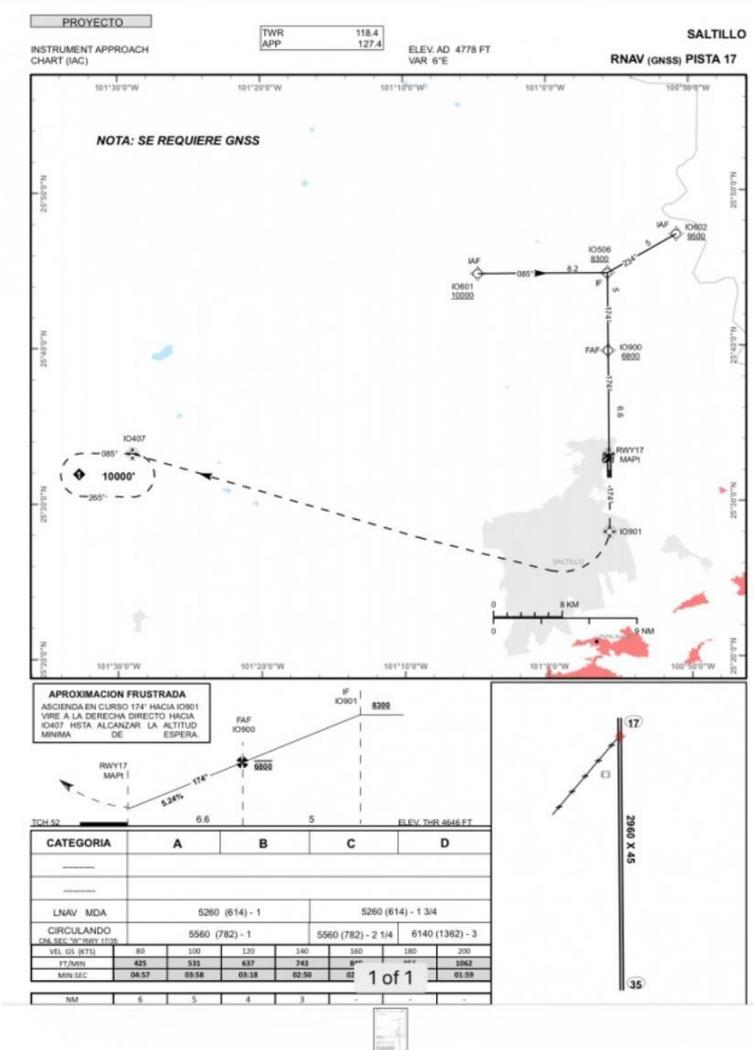
# RNAV AEROPUERTO TIJUANA



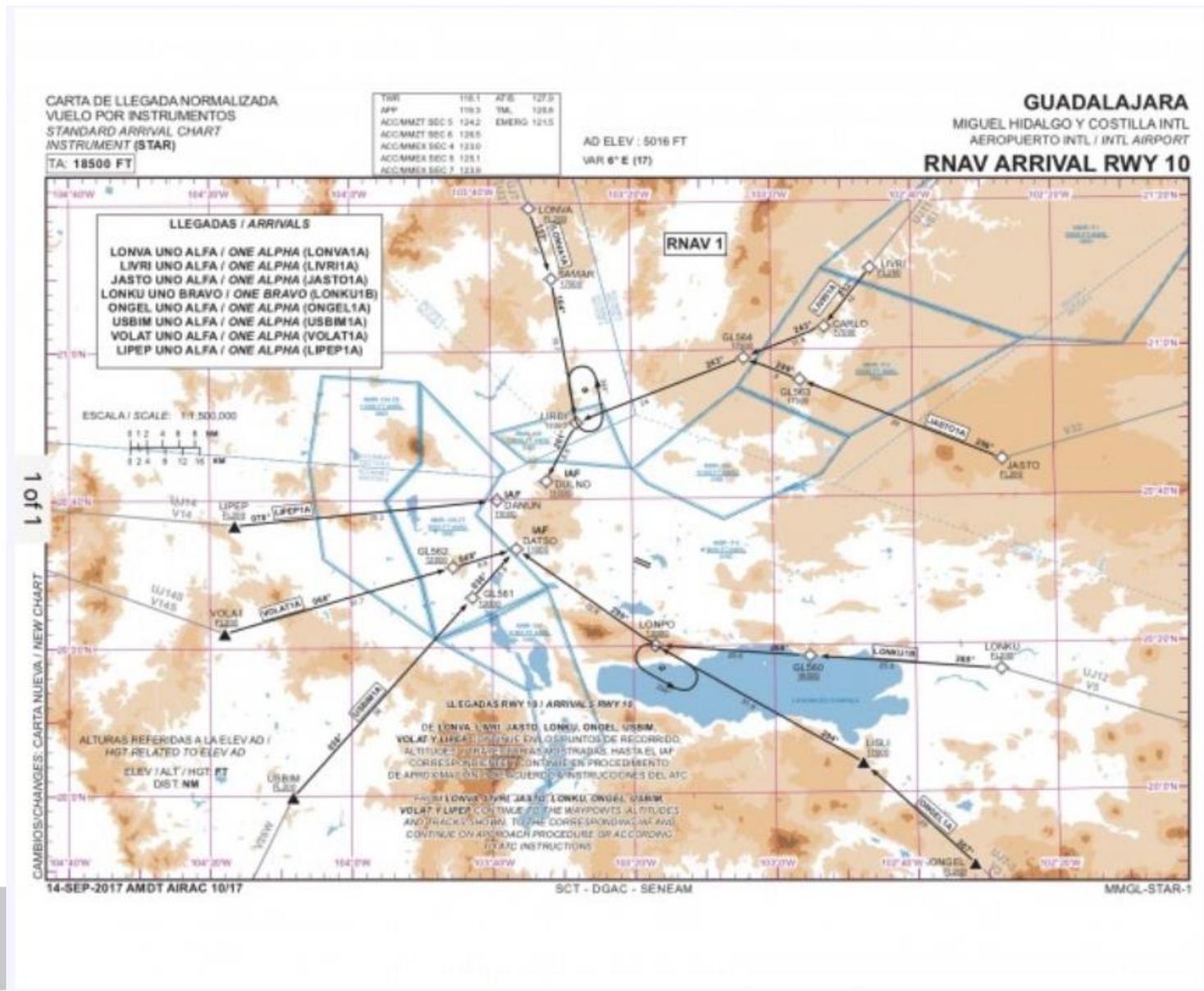
# RNAV AEROPUERTO ACAPULCO



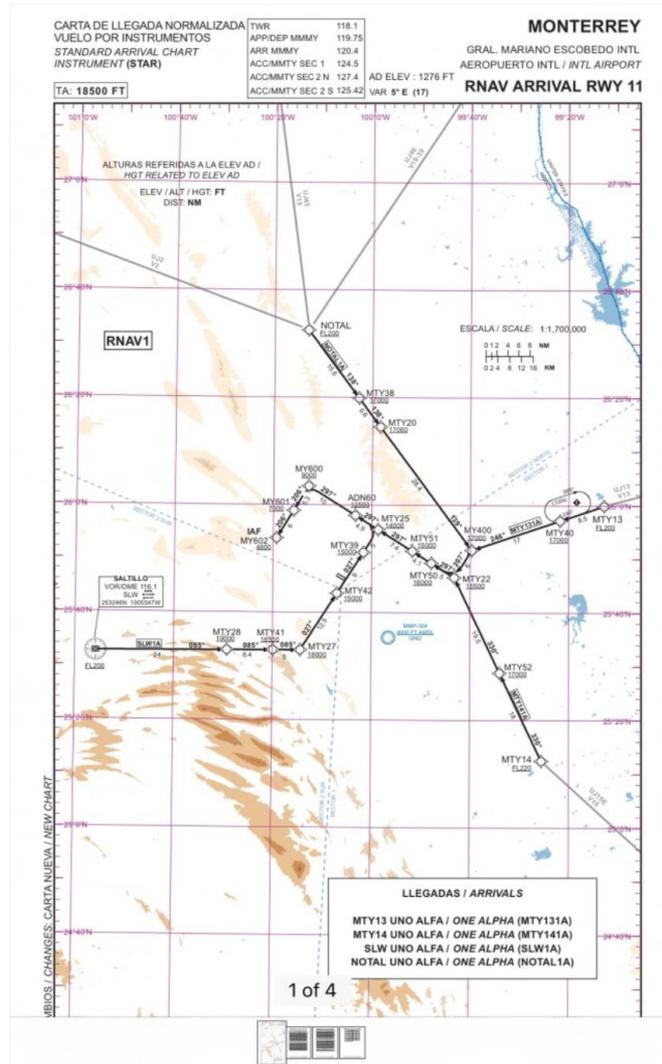
# RNAV AEROPUERTO SALTILLO



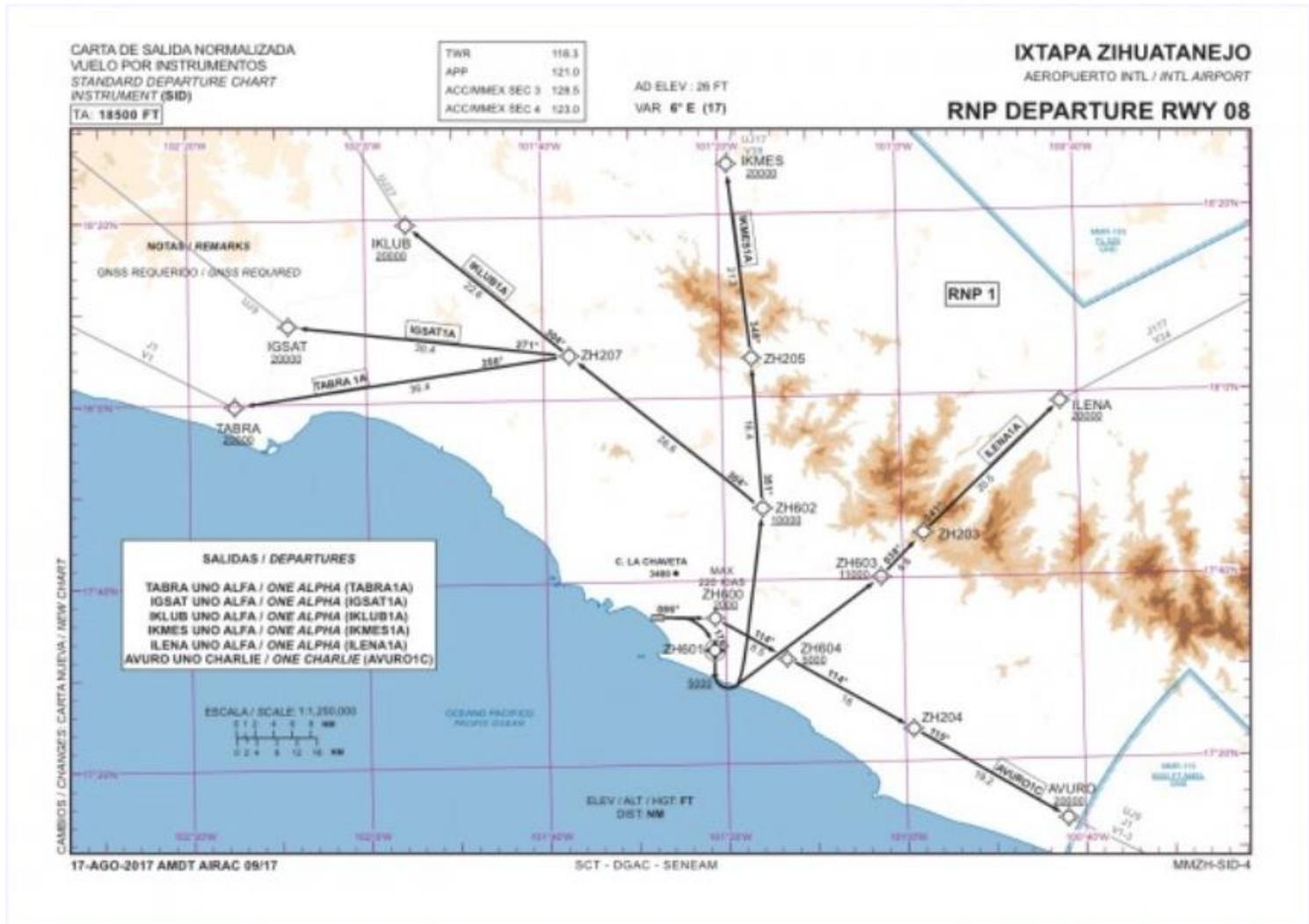
# RNAV AEROPUERTO GUADALAJARA



# RNAV AEROPUERTO MONTERREY



# RNP AEROPUERTO IXTAPA ZIHUATANEJO



## MEXICO

AIC 07/12

☎ 57-86-55-22

DIRECCION GENERAL DE AERONAUTICA CIVIL

FAX: 25-98-00-65

SERVICIOS A LA NAVEGACION EN EL ESPACIO

AFTN: MMMXYNYX

AEREO MEXICANO

13 / DIC / 2012

### OBJETIVO: IMPLEMENTACIÓN DE RUTAS DE NAVEGACIÓN DE ÁREA.

#### IMPLEMENTACION DE RUTAS DE NAVEGACION DE AREA (RNAV) EN EL GOLFO DE MEXICO Y AREAS OCEANICAS.

##### Introducción.

Con fecha de efectividad de **10 de enero del 2013, a las 09:00 UTC**, la Dirección de Aeronáutica civil (DGAC) y Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM) en coordinación con la Administración de Aviación Federal (FAA) de los Estados Unidos de Norteamérica, implementarán una nueva estructura de rutas RNAV de navegación de aérea, que reemplazara la estructura de rutas actual en la que se continuara aplicando la separación lateral de 50 MN entre aeronaves aprobadas para operar bajo la especificación de navegación RNP10, o RNP4 en las áreas de control oceánicas (CTA/UTA) del Golfo de México.

##### Antecedentes:

El 20 de octubre del 2011, la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) publicó la circular COAV-30/11 en la que se implementó la separación lateral de 50 MN en el Golfo de México entre aeronaves con aprobación operacional RNP10 o RNP4, como una fase previa a la implementación de la nueva estructura de rutas RNAV en el Golfo de México.

**Coordinación de procedimientos y políticas con FAA.**- Los procedimientos y políticas contenidas en este documento, han sido coordinados con la Administración de Aviación Federal (FAA) de los Estados Unidos de Norte América, y serán aplicados en las áreas CTA/UTA en el Golfo de México e donde SENEAM y FAA proporcionan Servicios de Control de Tránsito Aéreo.

**Áreas de Control Afectadas (CTA/UTA).** El 10 de enero del 2012, se implementara una nueva estructura de rutas RNAV, en las siguientes (FIR) y Áreas de Control Superior.

- Las áreas de control superior (CTA/UTA) de Monterrey, México, Y Mérida dentro del FIR México.
- El FIR/CTA Houston Oceánico y la porción de CTA/FIR Miami Oceánico.

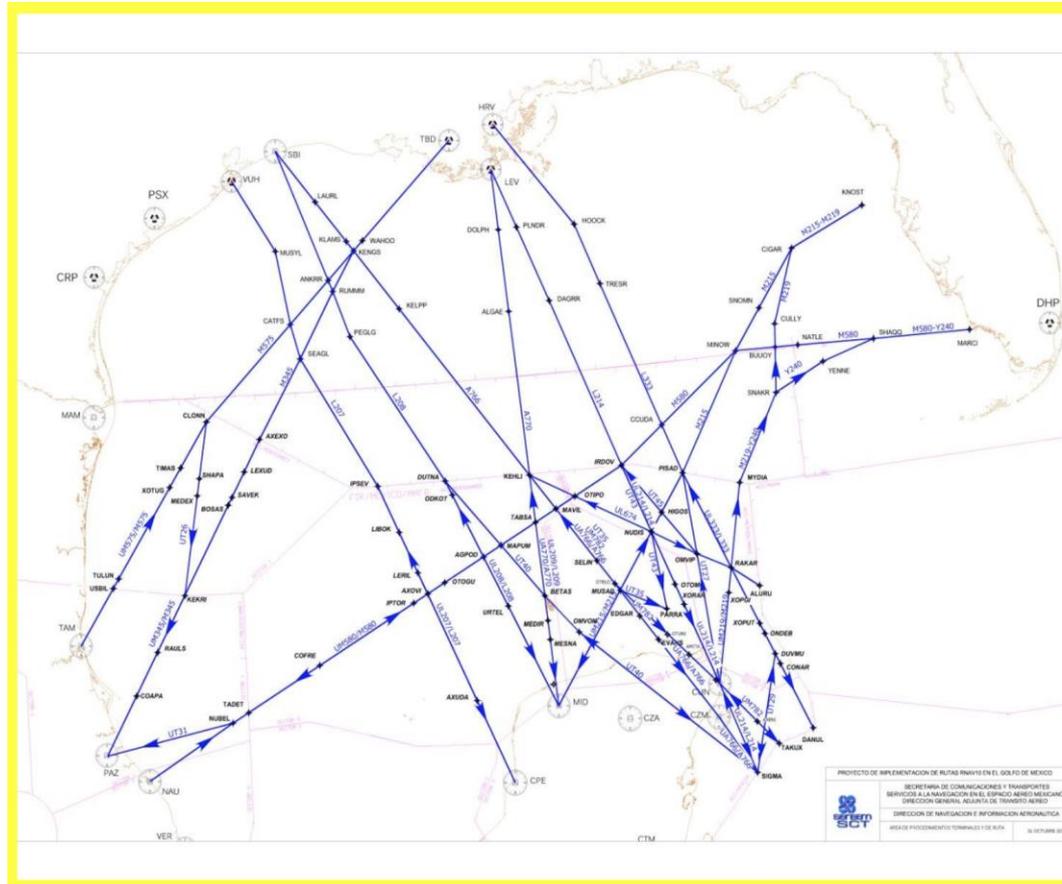
**Objetivos:** Los objetivos de la fase 2 son:

- Implementar la nueva estructura de rutas RNAV en las CTA/UTA oceánicas del Golfo de México el 10 de enero de 2013.
- Aplicar la separación lateral de 50MN entre aeronaves aprobadas RNP10 o RNP4 en áreas de control oceánicas del Golfo de México en donde no se cuente con cobertura radar
- Tener cerca de 100% de vuelos operando en las áreas CTA/UTA oceánicas, aprobados para operar bajo la especificación RNP10 o RNP4 por la autoridad nacional apropiada.
- Acomodar la operación del pequeño porcentaje de vuelos no autorizados RNP10.
- Permitir que las aeronaves equipadas con un solo sistema de navegación de largo alcance (S-LRNS) puedan operar bajo la especificación RNP 10 en el golfo de México, de acuerdo con el manual de PBN de OACI y los documentos apropiados publicados por DGAC y FAA.

**Terminología RNP 10 versus RNAV 10.- RNP 10.**-Tiene el mismo significado y aplicación que RNAV10, de acuerdo con el manual PBN (OACI Doc 9613), Volumen II, parte B, capítulo 1.

##### Tabla de contenidos Procedimientos Operacionales:

- Aerovías actuales que serán reemplazadas por la nueva estructura de rutas RNAV
- Aerovías dentro del área del golfo de México que permanecen
- Aerovías dentro del área del golfo de México que se cancelan
- Separación lateral mínima para ser aplicada.
- Operación en áreas o en rutas dentro del Golfo de México que no serán afectadas.
- Medidas para atender las aeronaves no autorizadas para operar RNAV10 o RNP4.
- Acción de los Operadores.
- Aprobación RNP10 o RNP4: Política y procedimientos para aeronaves y operadores.



# Red Geodésica Nacional Activa

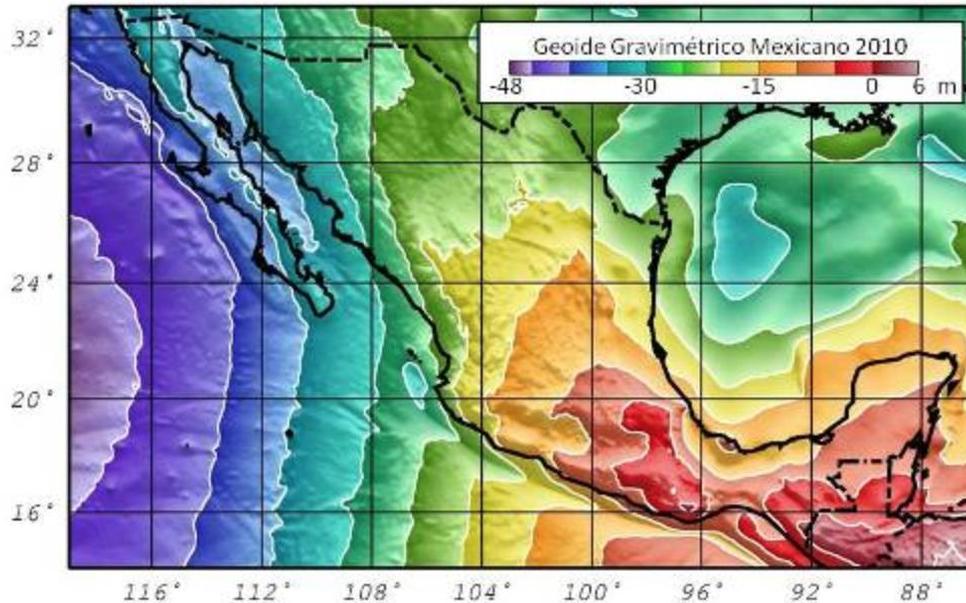
A raíz del cambio de equipamiento en la RGNA ocurrido en mayo de 2016, las principales características del servicio de datos geodésicos RINEX que proporcionan las estaciones son las siguientes:

1. Los datos contienen las observaciones del Sistema Satelital de Navegación Global (GNSS), registrando la señal de las constelaciones GPS (con las nuevas señales L2C y L5), GLONASS (rusa) y GALILEO (europea); así como las efemérides de las tres constelaciones.
2. La nomenclatura y duración de cada archivo son las mismas que se utilizaron anteriormente, empacados en zip.
3. La descarga se realiza del mismo modo, por la vía del sistema de descargas del portal institucional y/o vía ftp, conservando la misma estructura de carpetas.
4. Para la unión de archivos se dispone de la herramienta UNERINEX versión 5.1 actualizada.
5. En la tabla de coordenadas de la RGNA se encuentran, además de las coordenadas en el marco oficial, los modelos de antena, receptor, fotografías y archivos LOG de las estaciones, para su consulta.
6. Las coordenadas publicadas en el marco oficial ITRF08, época 2010.0 de las estaciones de la RGNA en operación no cambiaron, ya que el vértice es el mismo, lo que cambia es el modelo de equipo GNSS.



## Cálculo de alturas geoidales

### Carta Geoidal de la República Mexicana



La carta geoidal del modelo GGM10 es un archivo digital que contiene la imagen de un mapa con escala de 1:4'000,000. La calidad de impresión es de 300 puntos por pulgada a desplegar en papel de 60x90 cm aproximadamente. Para descargarlo haga click sobre la imagen.

*[Para descargar la imagen en calidad de impresión \(empacada\) dé clic en esta url](#)*

# Estudio de la Ionósfera

La medición de parámetros físicos en la ionósfera es un aspecto muy importante en el estudio de las afectaciones por clima espacial.

El clima espacial o meteorología del espacio se puede definir como la medición y análisis en tiempo real de propiedades físicas del Sol, medio interplanetario, atmósfera alta y campo magnético terrestre.

La interrelación entre estos sistemas se ve perturbada por la actividad solar cuyos efectos no son locales como durante un sismo o un huracán, sino que las repercusiones son globales afectando a gran parte del planeta.

El problema de estos efectos radica en la dependencia social a tecnologías que son vulnerables a efectos de actividad solar como son los satélites, redes de telecomunicaciones, aviación, sistemas de posicionamiento global y la generación y transmisión de energía eléctrica.

El Laboratorio de Clima Espacialce utiliza instrumentos como el radiotelescopio MEXART, el observatorio de rayos cósmicos, estación Schumann, estación Callisto, una red de magnetómetros e ionosondas, así como las redes de estaciones receptoras de GPS del SSN-TLALOCNet.

# Estudio de la Ionósfera



*Figure 1. TLALOCNet, COCONet-Mexico and SSN-GPS site location map.*



Tiempo y Frecuencia

# Transferencia remota de tiempo y frecuencia de alta exactitud a través de técnicas satelitales



## *Escala de tiempo UTC(CNM)*

El UTC(CNM) se basa en un ensamble (conjunto) de relojes atómicos y un algoritmo matemático que combina de manera óptima sus características metrológicas. El resultado del algoritmo matemático es un “reloj virtual”. Las escalas de tiempo generadas en términos de relojes virtuales, también llamadas escalas de tiempo promediadas, tienen mejor desempeño en confiabilidad, estabilidad y exactitud que cualquiera de los relojes participantes en el ensamble. La figura 1 muestra de manera esquemática la implementación del UTC(CNM).

La desviación fraccional de frecuencia se define como:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{f_{UTC(CNM)} - f_{UTC}}{f_{UTC}}.$$

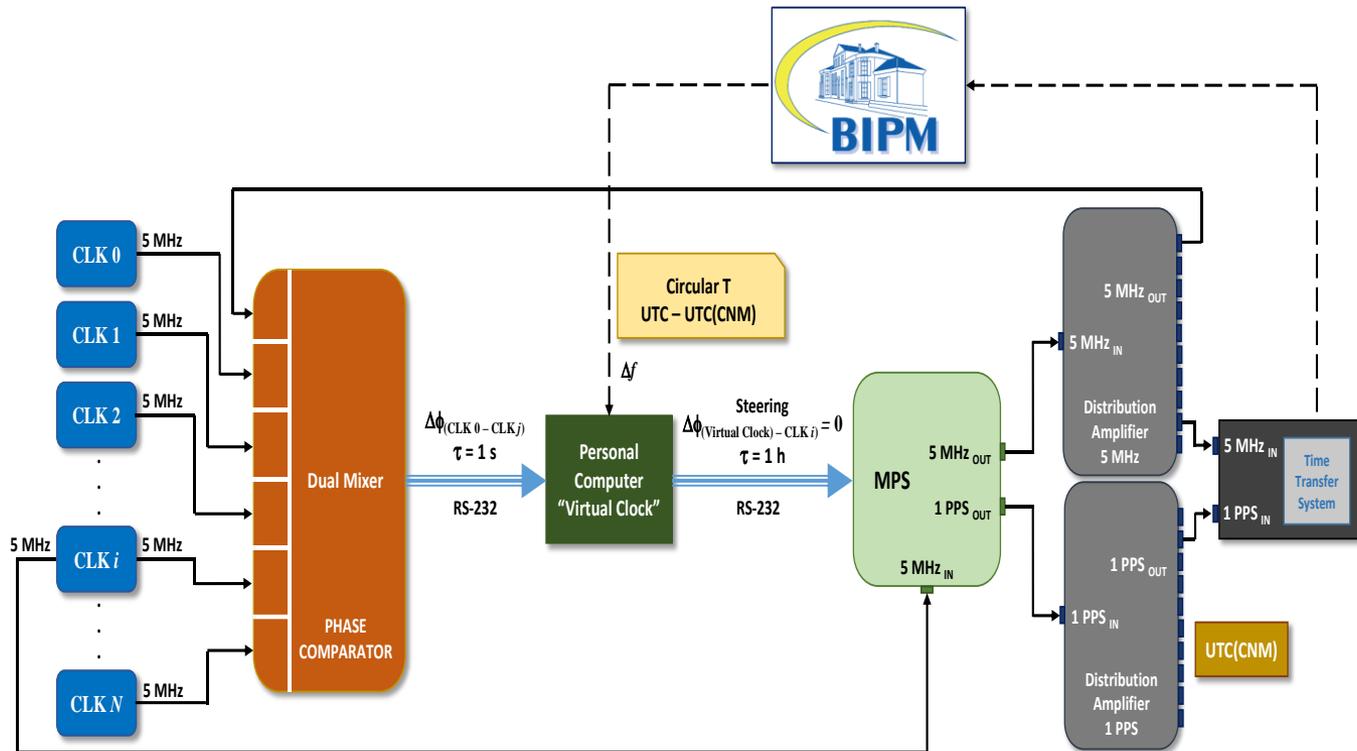


Figura 1. Implementación del UTC(CNM).

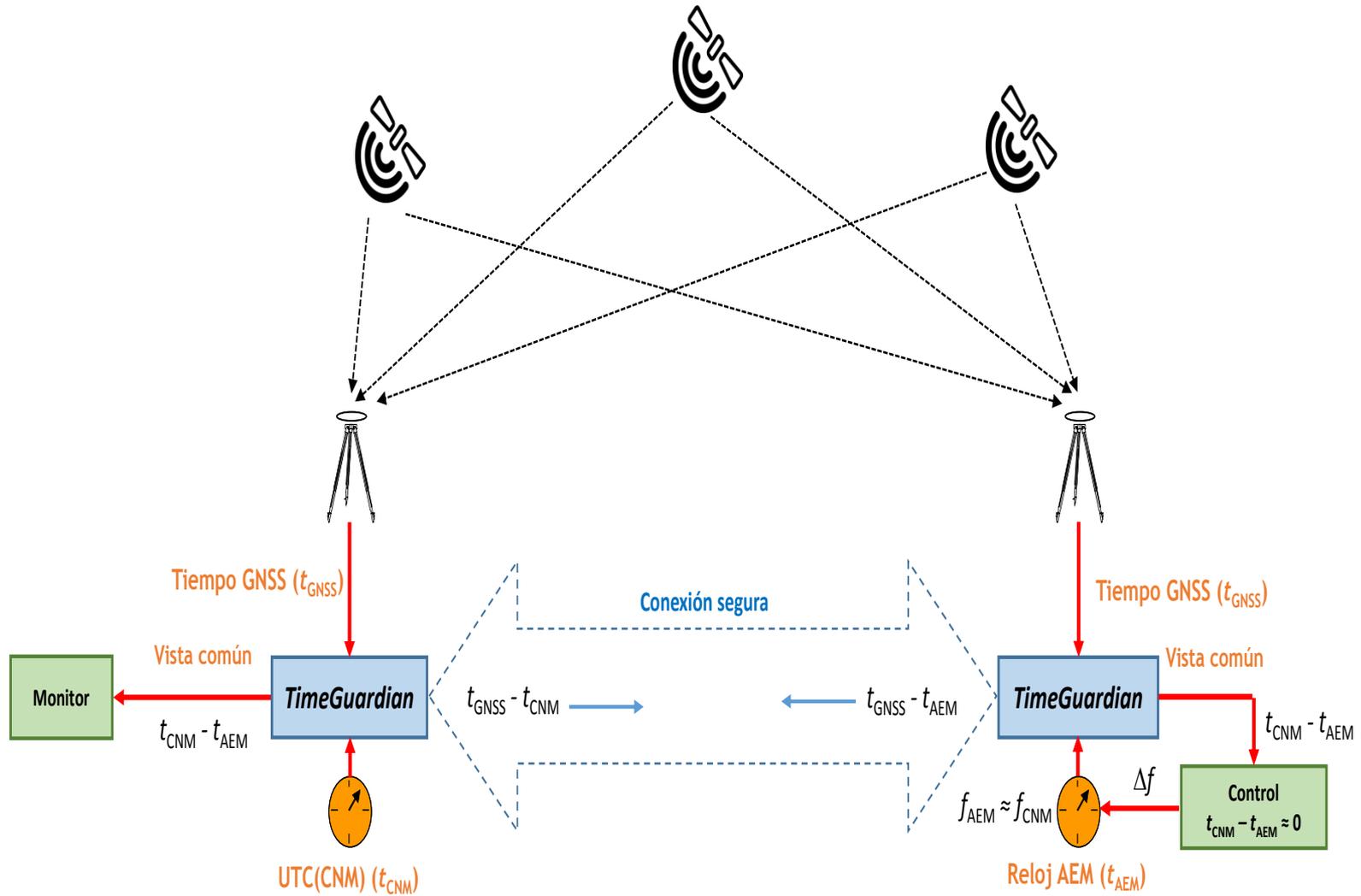


Figura 3. Diagrama del sistema TimeGuardian.

# Comparación remota por Vista Común

## *Common-View*

La técnica de Vista Común (*Common-View*) es una técnica que se utiliza para comparar dos osciladores (relojes) de manera remota, a través de la comparación simultánea con un tercer oscilador en común.

La contribución del oscilador común se elimina (o minimiza) al sustraer los resultados de las comparaciones de los dos osciladores remotos con este oscilador común.

El **Oscilador A** y el **Oscilador B** se encuentran separados a una cierta distancia, sin que sus señales físicas (intervalos de tiempo, frecuencia) puedan ser comparadas directamente entre si.

**Oscilador  
A**

**Oscilador B**

Oscilador  
Común

Si bien el **Oscilador A** y el **Oscilador B** no pueden compararse directamente entre si, éstos pueden compararse de manera directa con un tercer oscilador, el **Oscilador Común**.

Oscilador  
A

Oscilador B

Oscilador  
Común

La señal física del **Oscilador Común** viaja a través de un medio de propagación y puede ser comparada de manera directa con las señales de los Osciladores A y B.

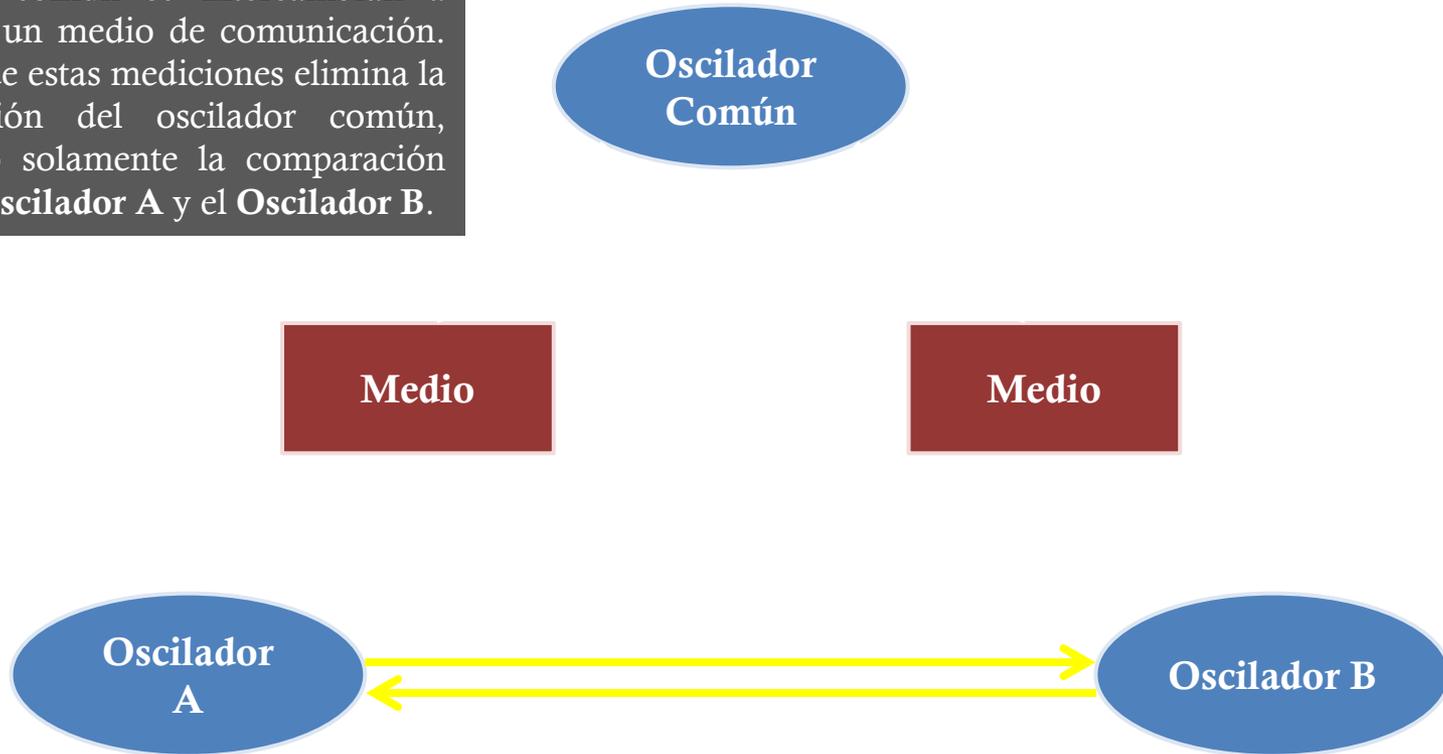
Medio

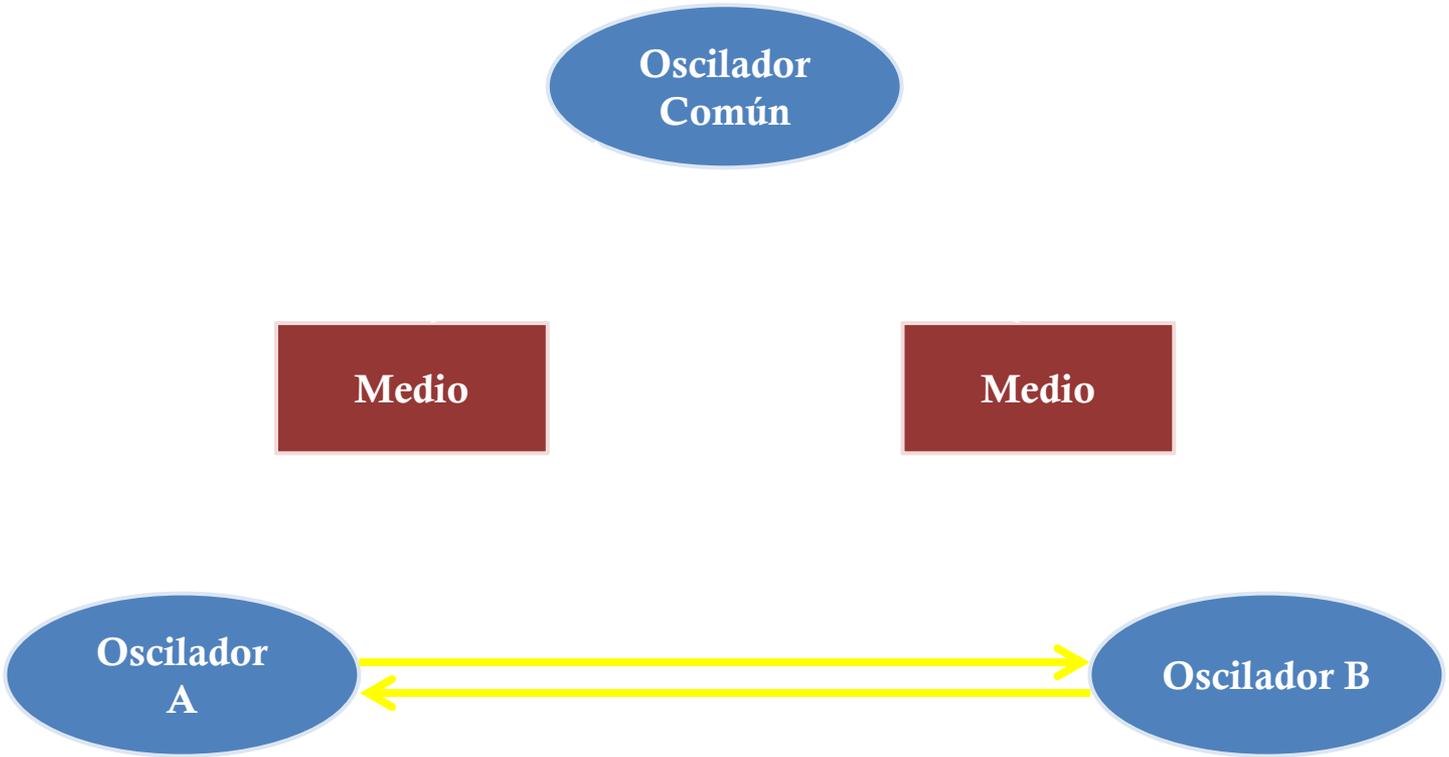
Medio

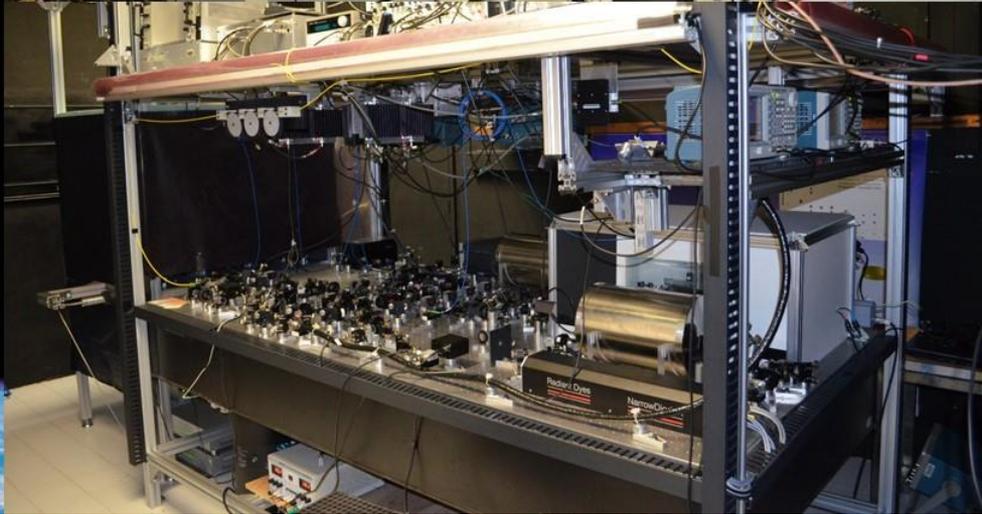
Oscilador  
A

Oscilador B

Los resultados de las comparaciones simultáneas (mediciones) con el oscilador común se intercambian a través de un medio de comunicación. La resta de estas mediciones elimina la contribución del oscilador común, quedando solamente la comparación entre el **Oscilador A** y el **Oscilador B**.



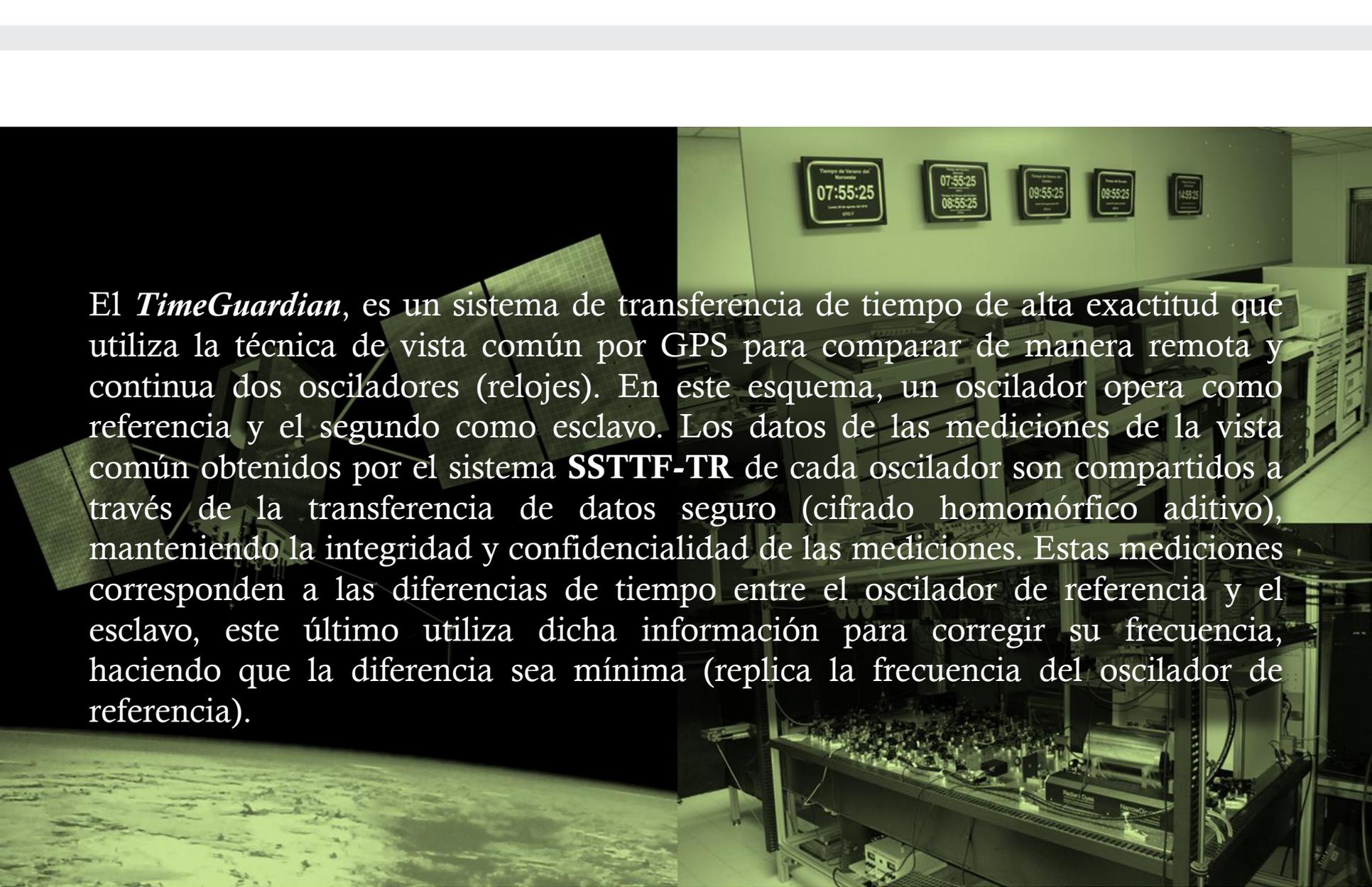






# Sistema *TimeGuardian*





El *TimeGuardian*, es un sistema de transferencia de tiempo de alta exactitud que utiliza la técnica de vista común por GPS para comparar de manera remota y continua dos osciladores (relojes). En este esquema, un oscilador opera como referencia y el segundo como esclavo. Los datos de las mediciones de la vista común obtenidos por el sistema **SSTTF-TR** de cada oscilador son compartidos a través de la transferencia de datos seguro (cifrado homomórfico aditivo), manteniendo la integridad y confidencialidad de las mediciones. Estas mediciones corresponden a las diferencias de tiempo entre el oscilador de referencia y el esclavo, este último utiliza dicha información para corregir su frecuencia, haciendo que la diferencia sea mínima (replica la frecuencia del oscilador de referencia).



# Operación del sistema TimeGuardian

## Querétaro



## Ciudad de México



## Querétaro

El CENAM mantiene y genera la Hora Oficial, basado en el Tiempo Universal Coordinado del CENAM, **UTC(CNM)**. El **UTC(CNM)** está definido por una señal de un pulso por segundo (**1 PPS**) generado por un oscilador de referencia con frecuencia  $f_{\text{CNM}}$ .



UTC(CNM)  
 $f_{\text{CNM}}$

## Ciudad de México

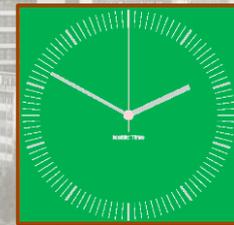
## Querétaro



UTC(CNM)  
 $f_{\text{CNM}}$

## Ciudad de México

Un reloj **REMOTO** se encuentra en la Ciudad de México (a 220 km de Querétaro), con una señal de un pulso por segundo (**1 PPS**) generado por un oscilador con frecuencia  $f_{\text{REM}}$ .



REMOTO  
 $f_{\text{REM}}$

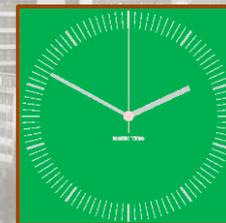
## Querétaro



UTC(CNM)

$f_{\text{CNM}}$

## Ciudad de México



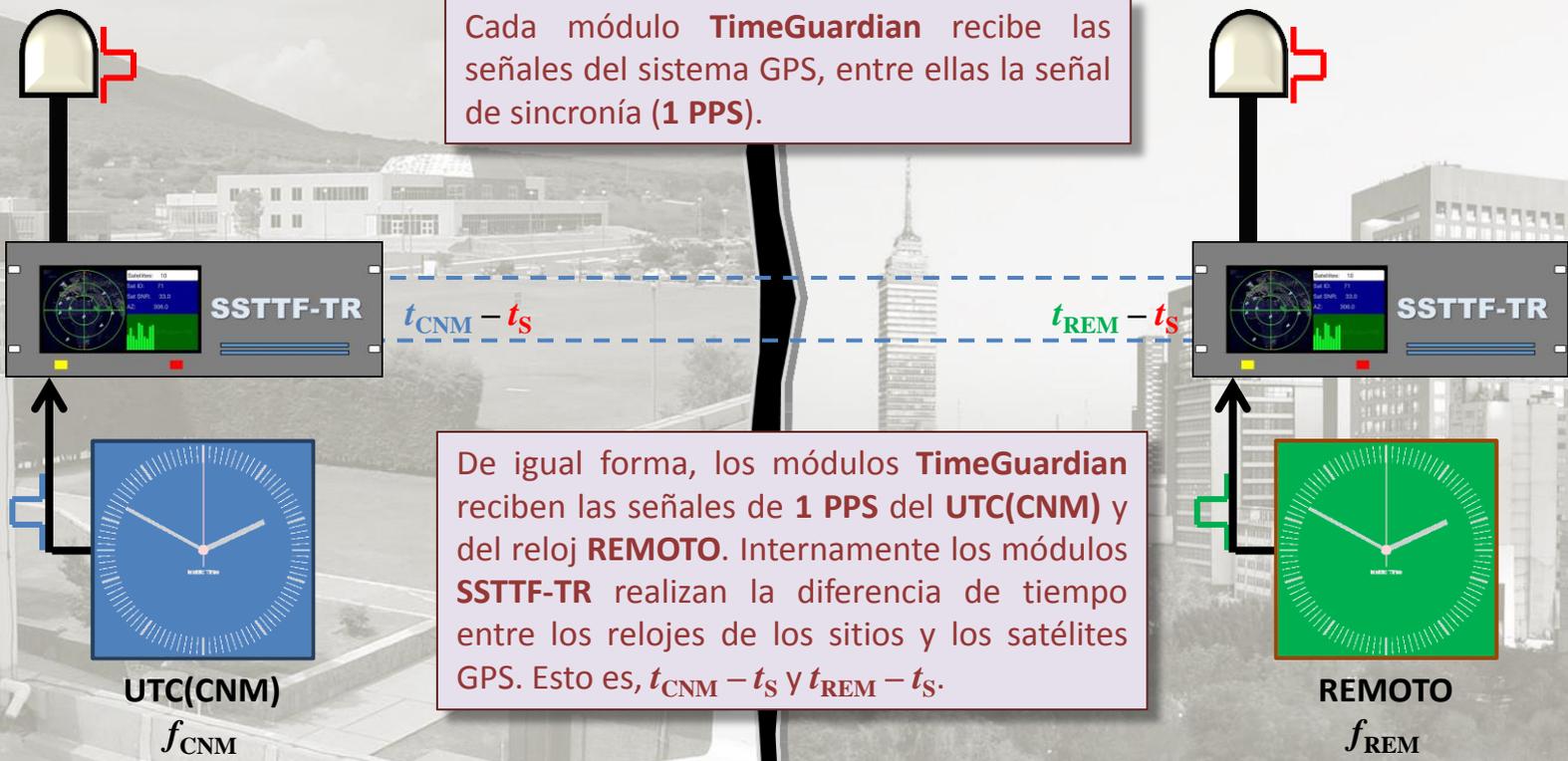
REMOTO

$f_{\text{REM}}$

En cada sitio se instala un módulo del sistema **TimeGuardian** con su antena receptora.

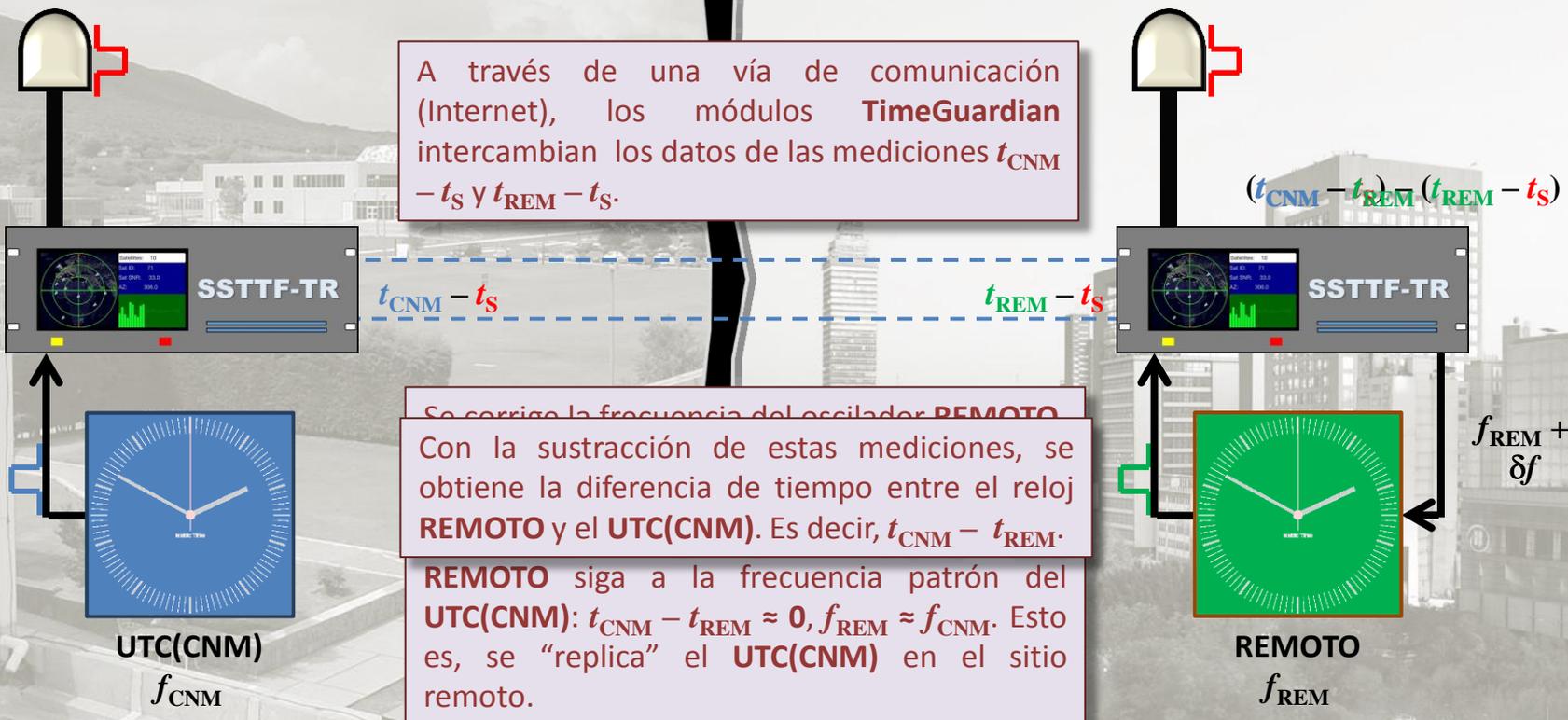
## Querétaro

## Ciudad de México



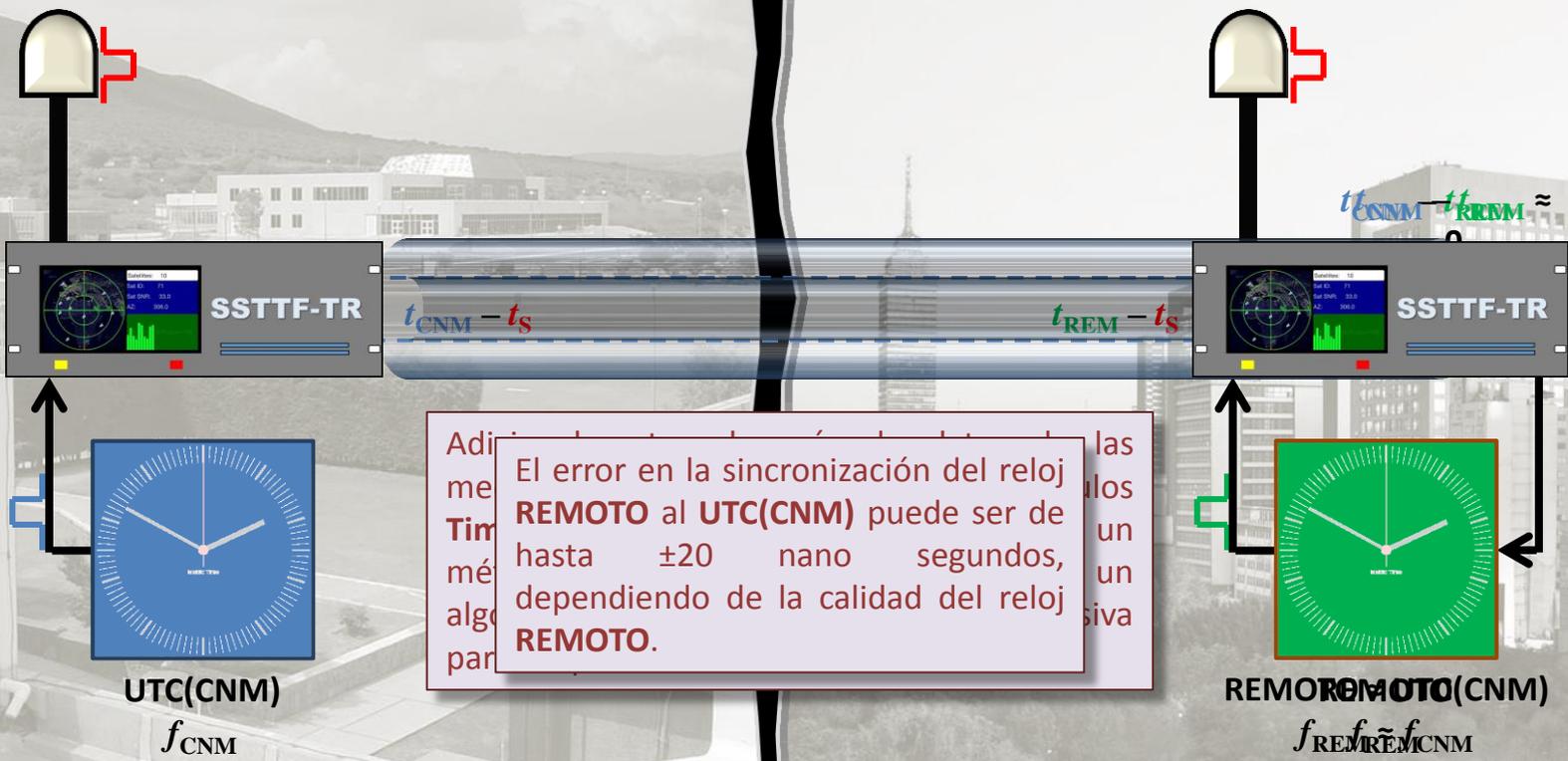
# Querétaro

# Ciudad de México



# Querétaro

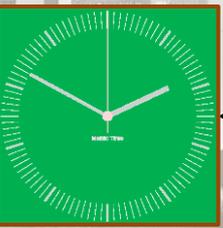
# Ciudad de México



Adicionalmente, el error en la sincronización del reloj REMOTO al UTC(CNM) puede ser de hasta  $\pm 20$  nano segundos, dependiendo de la calidad del reloj REMOTO.

$$t_{CNM} - t_{REM} \approx 0$$

$$f_{REM} + \delta f$$



# Hacia una Red Nacional de Sincronía



De manera regional, se puede diseminar la sincronía de estas “replicas” del UTC(CNM) a través de otros medios: fibra óptica, Ethernet, radio, etc., manteniendo un alto nivel de exactitud.

distribución de en sitios tener una distribución del UTC(CNM) con alta exactitud en todo el territorio nacional.





# Sectores beneficiados

## Energético

- Redes Eléctricas Inteligentes
- Sistema Eléctrico Nacional
- Mercado Eléctrico Mayorista

## Económico

- Sellos de Tiempo
- Facturación Electrónica
- Sistemas financieros

## Telecomunicaciones

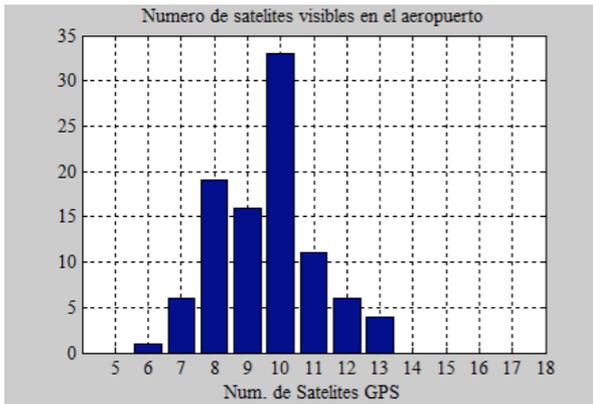
- Sincronía de Redes

## Científico y Académico

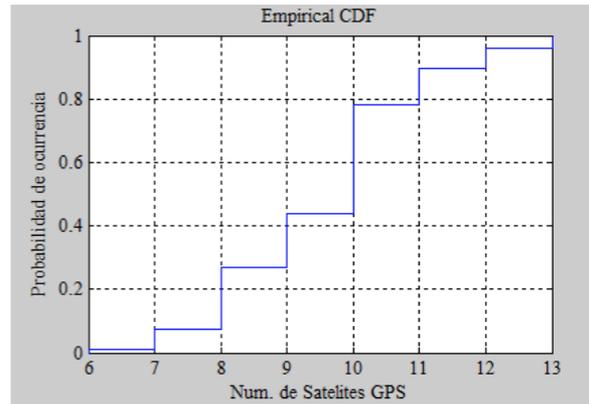
- Radioastronomía
- Geofísica
- Telemetría

# Retos

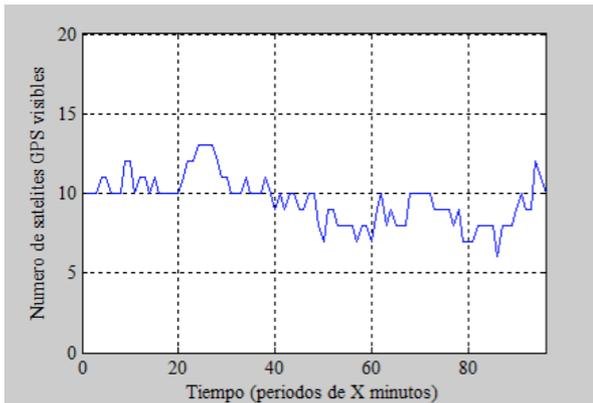
- Proporcionar a la sociedad los medios para el aprovechamiento de las tecnologías GNSS, como puede ser la información para desarrollar aplicaciones basadas en sus datos de posición, datos de tiempo y sincronía así como las variaciones de sus parámetros para conocer mejor las limitaciones de estos parámetros principalmente la precisión, continuidad y disponibilidad.
- Conocimiento para contribuir o participar en las cadenas de valor o productivas de hardware de dispositivos GNSS dedicados o embebidos, servicios y aplicaciones
- Conocer y difundir ampliamente la información más precisa sobre condiciones que afectan las señales y tener parámetros de corrección como los efectos ionosférico y las variaciones del modelo de geoide.
- Analizar la eficiencia de cobertura de las constelaciones GNSS para los países tropicales
- Integrar capacidades de monitoreo de los parámetros GNSS para un aprovechamiento óptimo de los sistemas y del WAAS tanto en el transporte aéreo como el terrestre, ferroviario y marítimo además del desarrollo de sistemas autónomos y la mejor aplicación del IOT



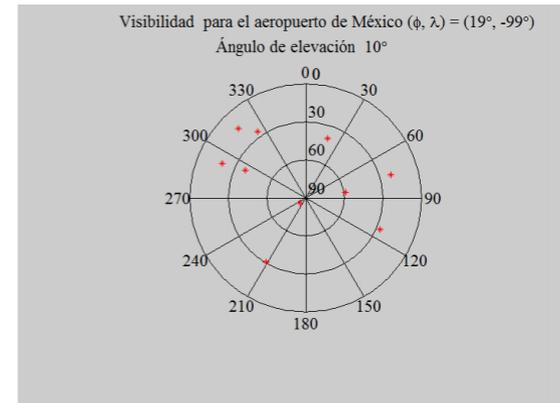
**Figura R9. Visibilidad satelital MEX**



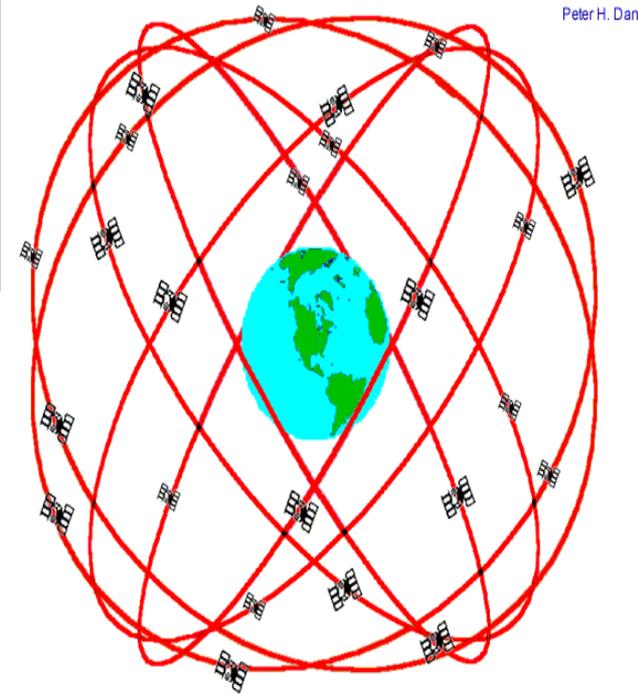
**Figura R10. Probabilidad acumulativa MEX**



**Figura R11. Visibilidad contra tiempo**



**Figura R12. Visibilidad instantánea MEX**



Peter H. Dan



**SCT**

SECRETARÍA DE  
COMUNICACIONES  
Y TRANSPORTES

**AEM**

AGENCIA ESPACIAL  
MEXICANA

**GRACIAS**

Contacto: Ing. José Javier Roch Soto.

E-mail: [roch.javier@aem.gob.mx](mailto:roch.javier@aem.gob.mx)