



Organización de Aviación Civil Internacional

Grupo Regional de Planificación y Ejecución CAR/SAM (GREPECAS)

Segunda Reunión del Subgrupo de Comunicaciones, Navegación y Vigilancia /
Gestión del Tránsito Aéreo (CNS/ATM/SG/2)

(Ciudad de México, México, 16 al 19 de noviembre de 2010)

CNS/ATM/SG/2-NI/09

01/11/10

Español únicamente

**Cuestión 2 del
Orden del Día:**

Seguimiento al estado de los planes de implantación de los sistemas de navegación basados en la performance para las Regiones CAR y SAM y de las últimas enmiendas a los SARPS a fines a las aéreas ATM y CNS

**PRIMEROS RESULTADOS Y DEMOSTRACIONES DE LA FASE III-A DEL
PROYECTO SACCSA HACIA LA IMPLEMENTACIÓN DEL GNSS**

(Nota presentada por Coordinador Internacional Proyecto RLA/03/902)

RESUMEN

Esta nota informativa presenta un resumen sobre los primeros resultados de los estudios y demostraciones de la Fase III-A del Proyecto SACCSA.

Referencias:

- Informe de la Reunión RCC/7 del Proyecto RLA/03/902, San Carlos de Bariloche, Argentina, 11 al 15 de octubre de 2010

1. Introducción

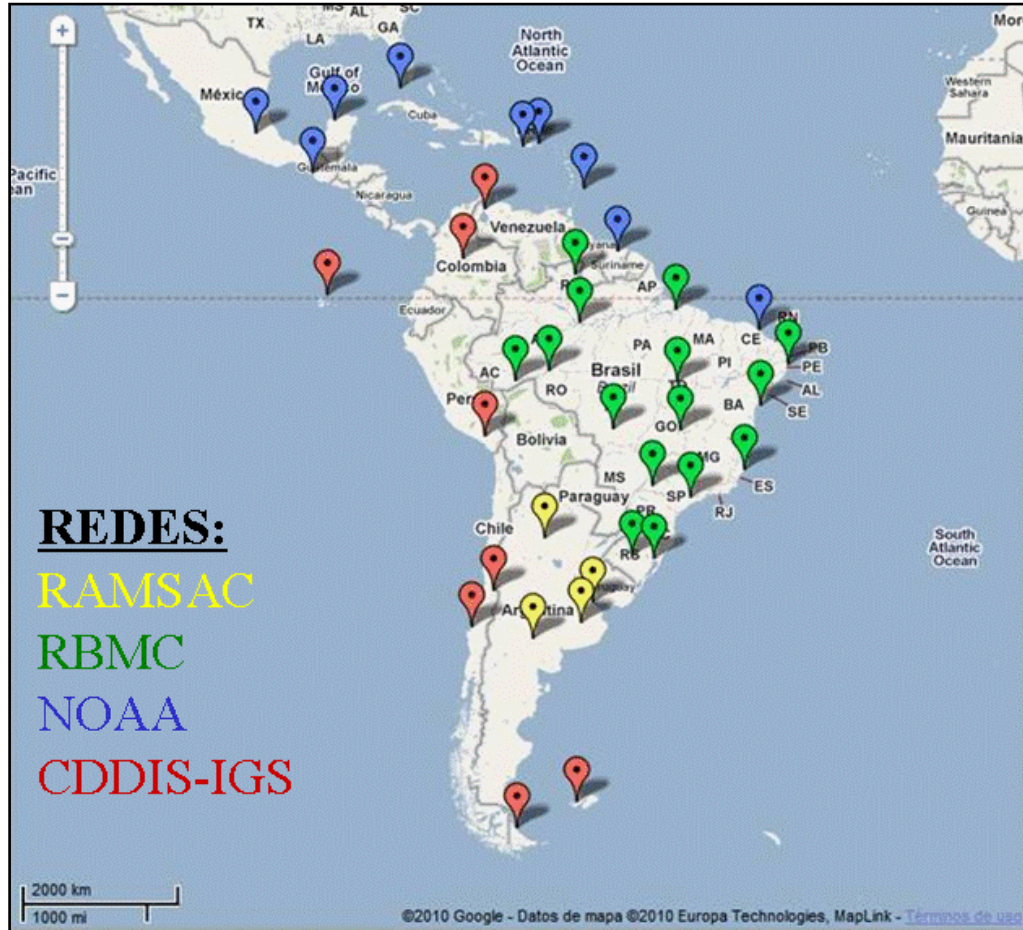
1.1 El Proyecto RLA/03/902 – *Transición al GNSS en las regiones CAR/SAM / Solución de aumentación para el Caribe, Centro y Sur América (SACCSA)* se inició en 2003 y ha finalizado sus Fase I y Fase II. La Fase III-A se comenzó a ejecutar en enero de 2010 y se prevé que tenga una duración de 24 meses. Las dos primeras etapas de esta fase están en proceso intermedio de ejecución; se han finalizado al 100 % los paquetes de trabajo: “Definición de la red de monitorización”, “Soporte a la red de monitorización y control SACCSA”, “Topología de la red terrena” y “Definición de requisitos del Portal Web”. Los paquetes de trabajo “Análisis ionosférico” y “Generación de escenarios IET y soporte” se han ejecutado al 80 % y 70 % respectivamente. Otros paquetes de trabajo se encuentran en fase inicial. Asimismo, los paquetes correspondientes a la tercera etapa están pendientes de contratación.

2. Red de estaciones de tomas de datos

2.1 Uno de los paquetes de trabajo desarrollados por INDRA Espacio es el establecimiento de una red de tomas de datos para la realización de ensayos del sistema. El estudio se desarrolló de manera que basado en Red de Estaciones de Referencia (ERS) Preliminar definida en la Fase II del Proyecto, se llevó a cabo la búsqueda de estaciones de toma de datos existentes que se encontraran cercanas a las localizaciones de las ERS definidas en la Fase II. Dichas estaciones normalmente formarían parte de SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para Las Américas).

2.2 Los requisitos que debían cumplir estas estaciones se resumen en la necesidad de disponer de accesos mediante protocolos NTRIP o FTP y que los datos de las observaciones se almacenaran a intervalos de 1 segundo.

2.3 Las redes de las estaciones existentes que fueron seleccionadas por el Proyecto para los ensayos, cuyos datos están en acceso abierto son: Red RAMSAC del IGN de Argentina, Red RBMC del IBGE de Brasil, Red NOAA y Red CDDIS de IGS. La **Error! Reference source not found.** muestra la red de toma de datos para los ensayos de la Fase III de SACCSA. Adicionalmente, el Proyecto está buscando y estudiando la posibilidad de usar estaciones adicionales para los ensayos de prestaciones de la Fase – III.



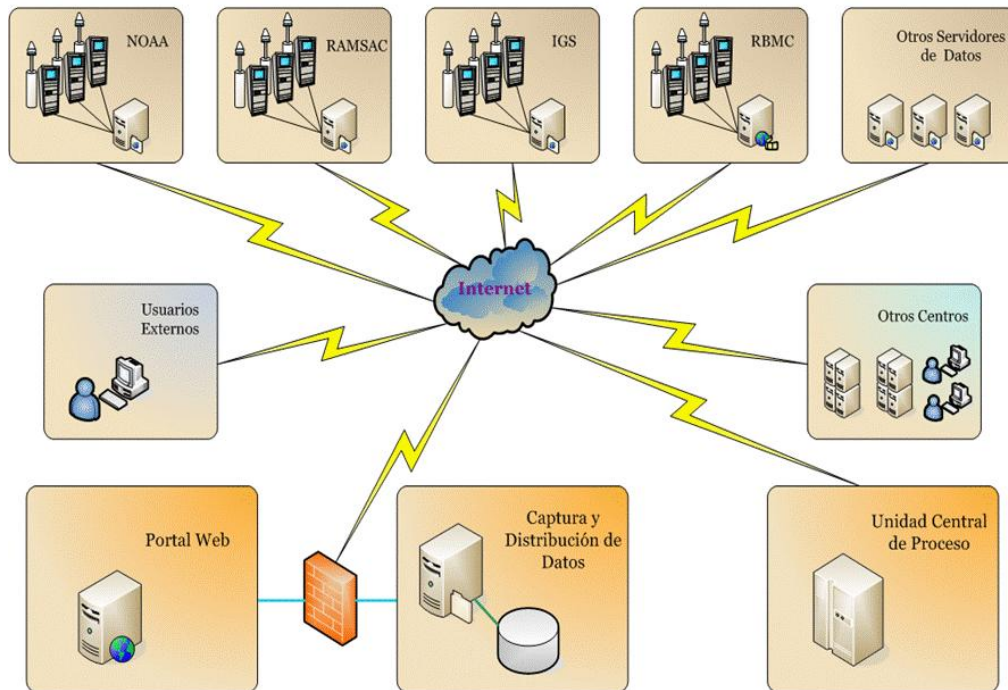
Red de toma de datos de SACCSA- Fase III

3. Red de monitorización

3.1 El objetivo básico de la Red de Monitorización es proporcionar el servicio de suministro de los datos de las Estaciones de Monitorización necesarios para permitir:

- funcionar el Prototipo de la Unidad Central de Proceso y del Segmento de Apoyo durante el tiempo de operación definido y que permitirá demostrar la viabilidad técnica de la implantación del sistema SBAS – SACCSA; y
- almacenar y difundir los datos en el ámbito que se considere conveniente y su reutilización posterior para los fines técnicos y científicos que fuesen necesarios.

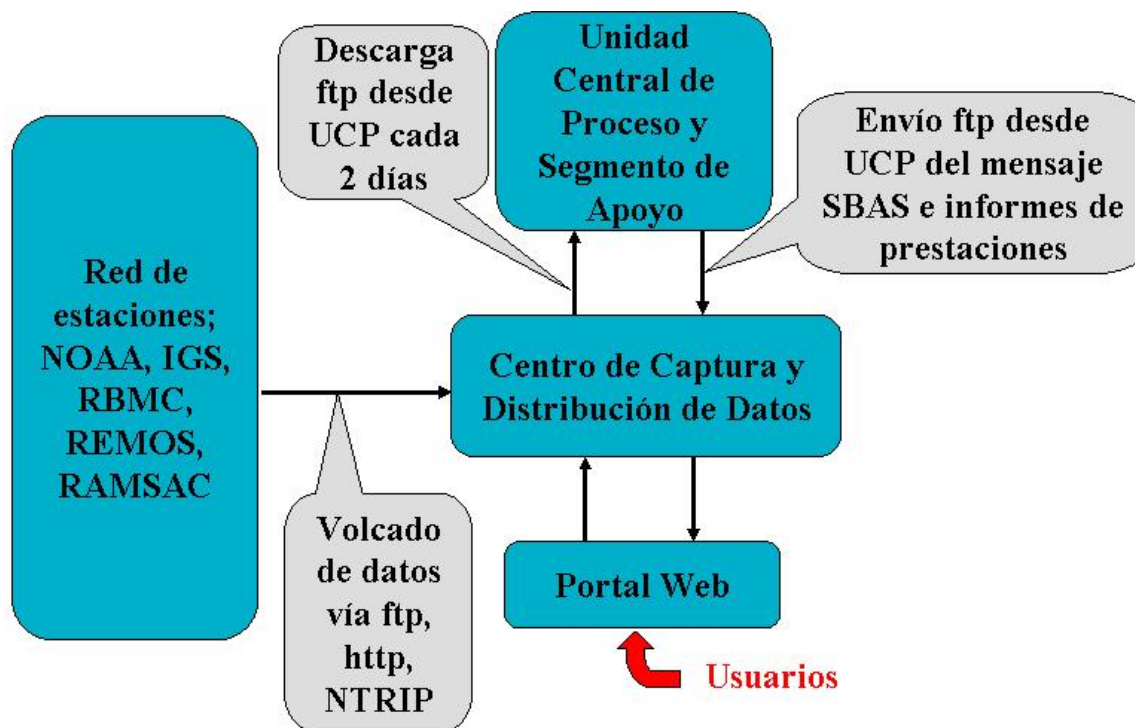
3.2 El sistema que forma la red se muestra en la Figura siguiente:



Arquitectura de la Red de Monitorización

3.3 El Centro de Captura y Distribución de Datos (C2D2) es el elemento encargado de recolectar, catalogar y almacenar los datos de observaciones y otros datos necesarios de las redes de estaciones GPS distribuidas por Latinoamérica y de poner dichos datos a disposición del sistema que los procesará: el prototipo de Unidad Central de Proceso (UCP) y de Segmento de Apoyo. Los resultados del proceso son también almacenados en el C2D2 y todos ellos difundidos a través del Portal Web que, a su vez, hará de interfaz con los usuarios. El C2D2 realizará pues funciones de captura, almacenamiento, control y distribución de la información del Proyecto.

3.4 El concepto de funcionamiento de la red de monitorización se muestra en la Figura siguiente:



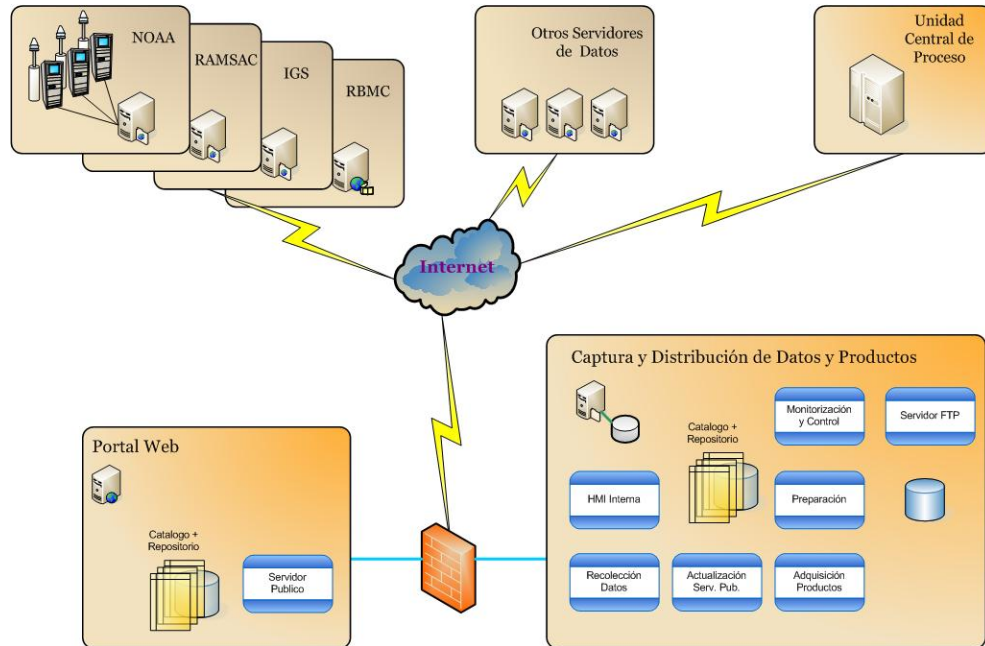
Concepto de funcionamiento de la red de monitorización

3.5 Las funciones del Centro de Captura y Distribución de Datos son las siguientes:

- Operación manual y automática
- Recolección y gestión de Datos GPS
- Descompresión y procesado de los datos para suministrarlos a la Unidad Central de Proceso, UCP
- Monitoreo y Control de la recogida y suministro de datos
- Servicio FTP con la UCP y Segmento de Apoyo
- Interfaz de suministro de datos al Portal SACCSA
- Diseminación de los datos bajo petición a usuarios registrados

3.6 La Figura que muestra a continuación presenta la configuración y módulos funcionales del Centro de Captura, que son:

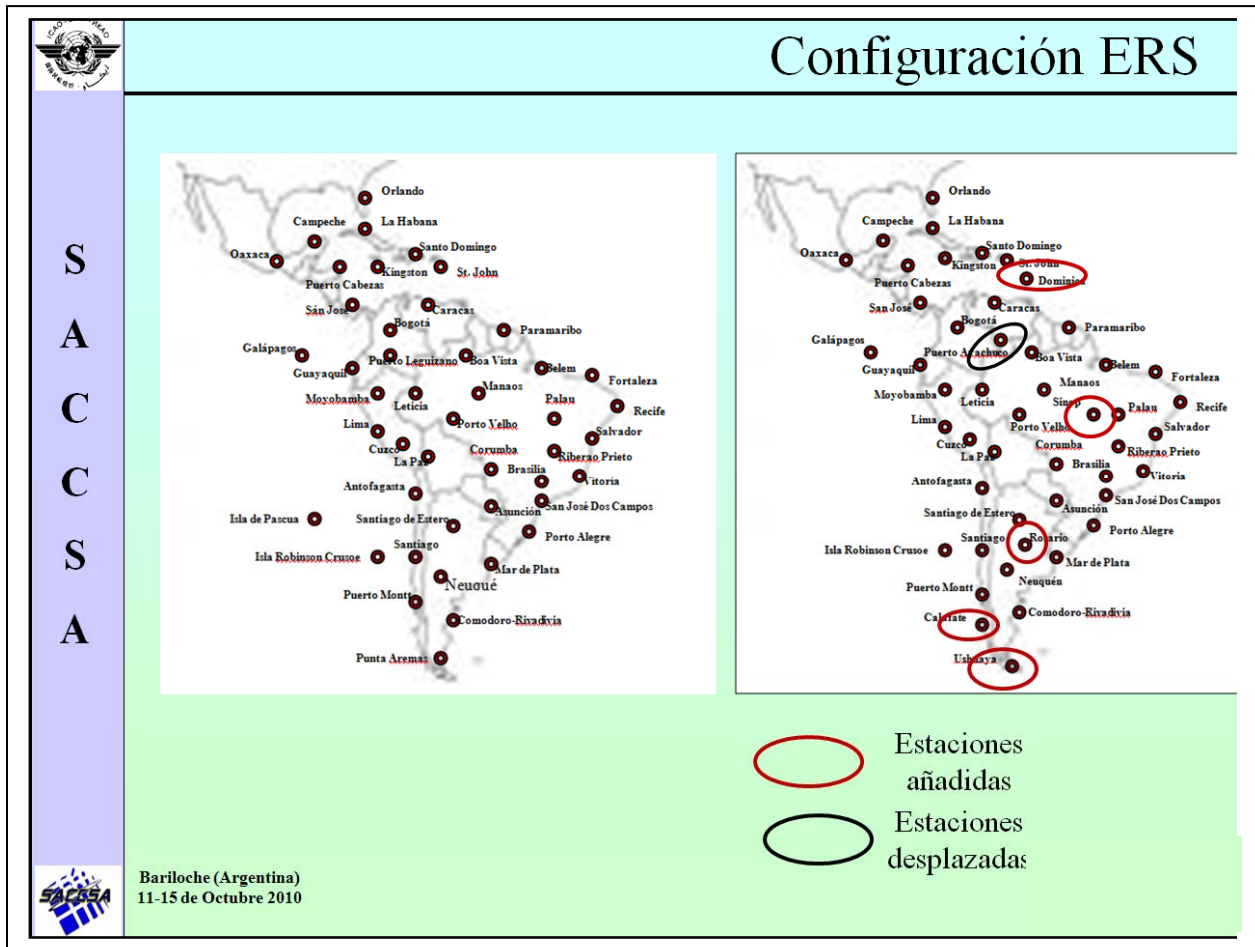
- Recolección de datos
- Consolidación
- Catalogación
- Servidor FTP
- Preparación de productos
- Monitorización y control



Red de Monitorización – Funciones del Centro de Captura

4. Topología de la Red Terrena

4.1 La Topología de la red terrena es el PT – 2600 desarrollado por GMV. Se han realizado mejoras a la topología que había sido definida en la Fase II del Proyecto. En la Figura siguiente se representan estas mejoras.



Mejoras a la Topología de la Red Terrena SACCSA

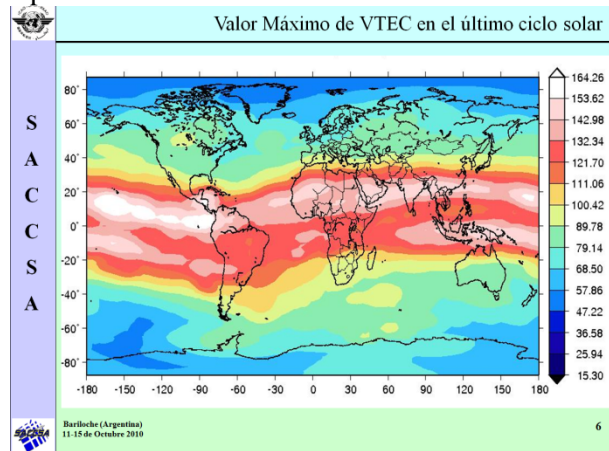
5. Análisis ionosférico detallado

5.1 El análisis ionosférico detallado constituye el PT-2210 que realiza GMV con el objetivo de realizar una serie de análisis ionosféricos complementarios que permitirán ampliar y completar los análisis ionosféricos comenzados en la Fase II del Proyecto. Este análisis detallado incluye: la Probabilidad de pérdida de señal GPS; Burbujas ionosféricas; Gradientes espaciales elevados de TEC; Hipótesis de ionosfera mono-capa en SBAS y Estudio del impacto ionosférico en evoluciones de SBAS. Los resultados obtenidos se resumen a continuación:

Conclusiones Análisis Ionosféricos

a) **Se ha continuado el análisis ionosférico iniciado en SACCSA II**

- Dedicado al impacto de la Iono en GNSS (SBAS)
- Más de 10 años de datos cubriendo un máximo solar
- Análisis sistemático y detallado
- Análisis que aborda potenciales soluciones



b) **Se han identificado diferentes líneas de trabajo y sus resultados se han presentado en RCC/7:**

- Probabilidad de pérdida de señal para GPS
- Burbujas ionosféricas
- Gradientes espaciales elevados de TEC
- Hipótesis de ionosfera mono-capa en SBAS

c) **Resultados significan aporte para PT-2100**

d) **Probabilidad de pérdida de señal GPS**

- Los porcentajes máximos de pérdida de señal en L1 y L2 están por debajo del 2.5 %
- Porcentajes de pérdida de señal por línea de vista debido a la ionosfera son ~ 1 % para L1 y L2 para años de máxima actividad ionosférica
- L1 más robusta que L2. L2 comportamiento ionosférico claro, L1 no
- GEO crítico => redundancia. Recomendación: analizar datos reales en el próximo máximo solar

e) **Burbujas ionosféricas**

- Efecto crítico
- Típicamente la duración de las burbujas es de 8 a 10 min.
- Teniendo en cuenta que el tiempo máximo de actualización de la ionosfera en SBAS es de 5 min. una parte importante de las burbujas se detectarían adecuadamente siempre que hubiese suficiente observabilidad a nivel sistema
- Se recomienda reingeniería en algoritmos ionosféricos para actualizar GIVD y GIVE
- Solución GPS+GLONASS a nivel sistema para mejorar capacidad de detección
- Probabilidad máxima de intensidad entre 5-10 TECu (0.8-1.6 m en L1), asumible para LPV-200 y APV-1
- Consistencia de resultados con la observada en otros estudios realizados en la región ecuatorial

-
- Existen mecanismos que permiten detectar las burbujas ionosféricas a nivel sistema
 - Se recomienda SBAS multiconstelación GPS+GLO para mejorar capacidad de detección
 - Otra posibilidad para minimizar su efecto en un SBAS es incluir las capacidades de detección a nivel usuario, implementando mecanismos de detección en receptores

f) **Gradientes espaciales elevados de TEC**

- En condiciones de alta actividad ionosférica podrían darse gradientes excesivos que implican una re-ingeniería a nivel sistema
- Estos gradientes tienen una probabilidad de ocurrencia baja
- Aumentar límites de integridad
- Implementar mecanismos de detección y alerta en SBAS que incluso se podrían utilizar en GBAS

g) **Hipótesis de ionosfera mono-capa en SBAS**

Los resultados obtenidos son esperanzadores:

- Hay margen suficiente para APV-1
- LPV-200 se descarta; pero podría conseguirse dependiendo de la solución, aunque se considera con cierto riesgo
- A priori, hay margen suficiente para que el sistema pueda abordar las soluciones propuestas
- Nota: Simulaciones tipo Service Volume
- Resultados a consolidar en PT-2100

h) **Recomendaciones generales**

- Capacidad de observación por parte del sistema
- Incluir mecanismos de detección de eventos ionosféricos anómalos
- Proporcionar cotas y márgenes de integridad
- Redundancia

i) **Problemática y solución propuesta**

- Balance solución propuesta-prestaciones-algoritmos SBAS
- Aplicabilidad de MOPS: incluir márgenes de seguridad
- Centelleos: Redundancia
- Depletions: Observación-Detección-aviso
- Tormentas: Observación-cotas-aviso
- Concepto de operaciones

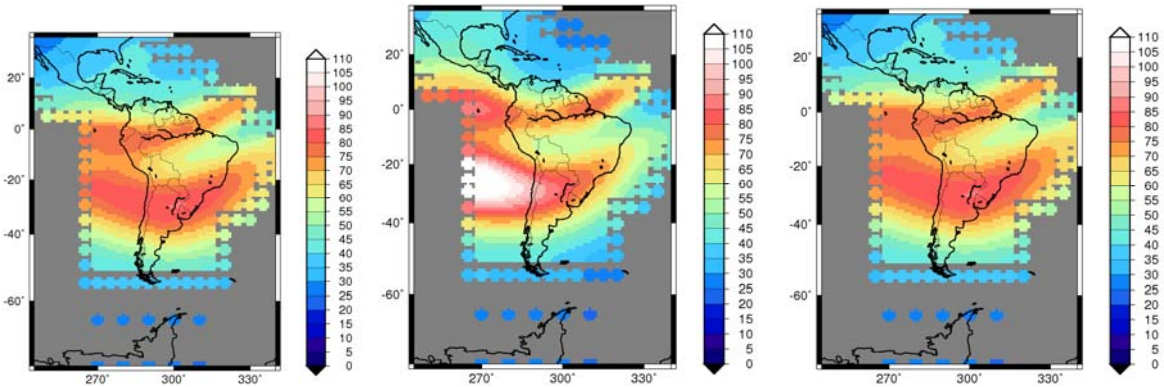
6. **Análisis técnico de la solución SBAS – PT-2100 – Resultados preliminares**

6.1 Este Paquete de Trabajo – 2100 también es realizado por GMV tiene el objetivo de comprender: los procedimientos y metodología de los análisis realizados, el concepto de prestaciones y sus implicaciones, la problemática con la Ionosfera y sus implicaciones y las prestaciones de un SBAS propio. Las Conclusiones y Recomendaciones resultantes de este paquete se muestran a continuación:

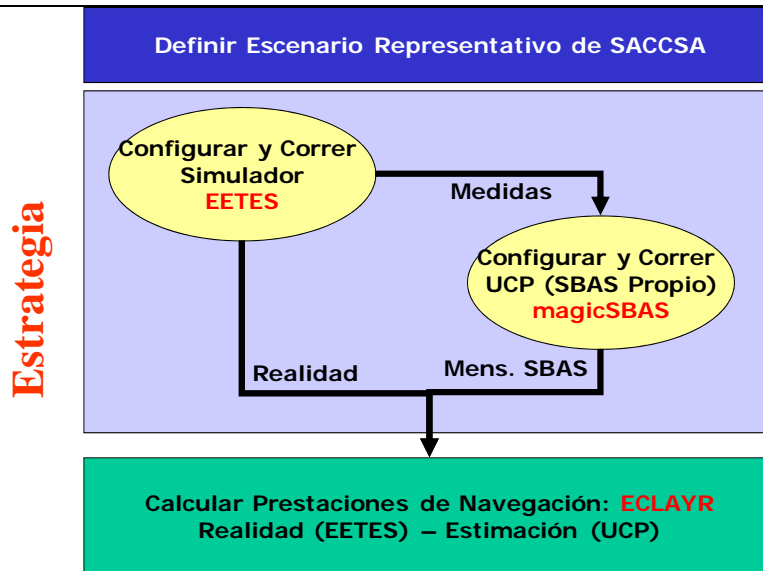
Conclusiones y Recomendaciones sobre el análisis técnico de la solución SBAS

- ✓ Análisis basado en datos simulados bajo condiciones ionosféricas semi-reales
 - Los análisis se basan en datos reales de la Ionosfera (escenarios IET producidos por la Universidad de La Plata)
 - Incluyen errores producidos por la Función de Mapeo Ionosférica
 - Tiempo de muestreo 1 segundo
 - Escenarios Controlados => Integridad
 - Algoritmos SBAS incluidos (prototipo de la UCP)
 - Modelos realistas: orbita, reloj, ruidos de receptor, multipath, troposfera, ionosfera, etc.
 - Los escenarios han sido definidos a partir de un análisis exhaustivo del comportamiento de la ionosfera de más de 7 años incluyendo máximo solar del ciclo anterior
 - Varios escenarios se han definido cubriendo varias condiciones ionosféricas:
 - Caso Nominal: alta actividad solar en años de baja actividad
 - Actividad geomagnética
 - Actividad solar
 - Depletions

- ✓ Las siguientes figuras muestran un ejemplo de los escenarios realizados por la Universidad Nacional de La Plata gracias a sus modelos ionosféricos



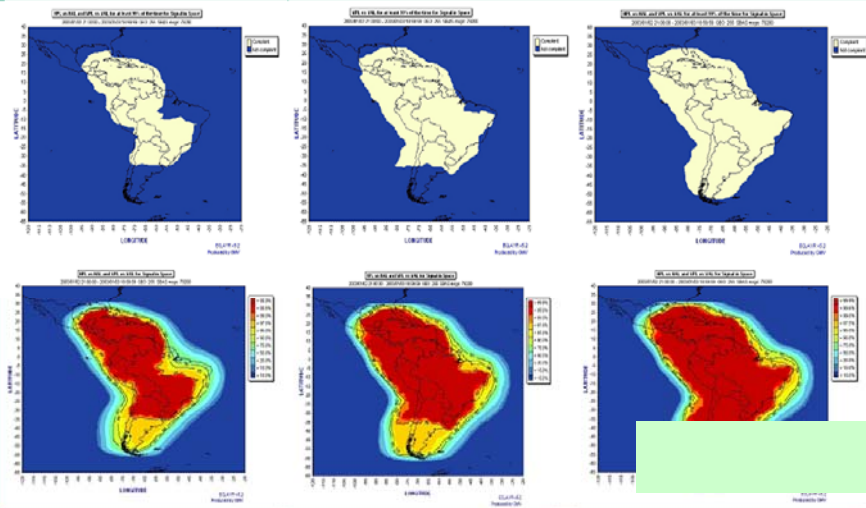
- ✓ Se ha presentado la estrategia del análisis que se resume en la siguiente figura:



- ✓ En la reunión RCC/7 se han presentado los resultados sólo para el Caso Nominal /E1)
- ✓ Se han analizado las prestaciones a nivel de usuario, satélite e ionosférico **para el escenario Nominal**
- ✓ Se han ajustado los algoritmos ionosféricos para adaptarlos a la región en base a los análisis ionosféricos realizados y se han analizado las prestaciones para los siguientes casos:
 - CASO A) SACCSAII - IONEX
 - Escenario SACCSAIII (IET):
 - CASO B) Algoritmos de un SBAS de latitudes medias (EGNOS)
 - CASO C) Modificación de algoritmos para mejorar la monitorización de la ionosfera para SACCSA
 - CASO D) Primer “tuning” del algoritmo ionosférico a la región (barreras) para SACCSA
- ✓ Las figuras siguientes muestran los resultados obtenidos en cuanto a disponibilidad:


Comparación de Prestaciones

S
A
C
C
S
A



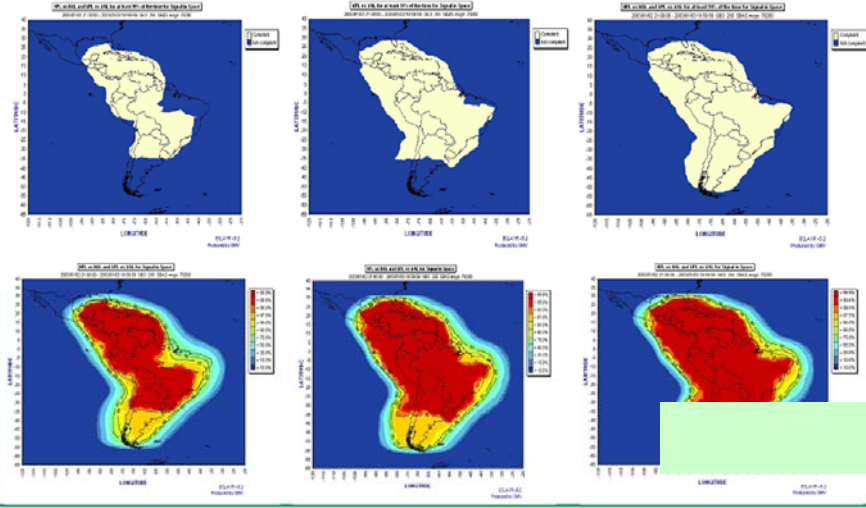
Algorithmos EGNOS 1^{er} tuning SACCSA 2nd tuning SACCSA

Bariloche (Argentina)
11-15 de Octubre 2010

 65


Comparación de Prestaciones

S
A
C
C
S
A

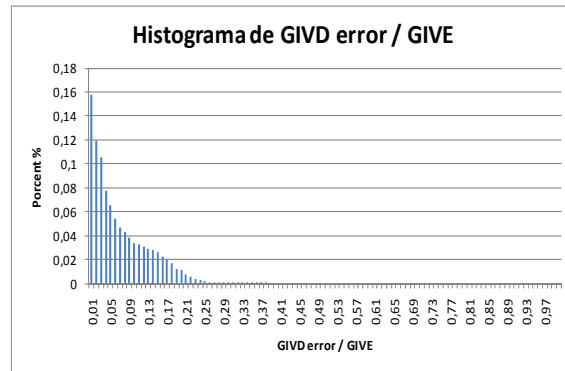
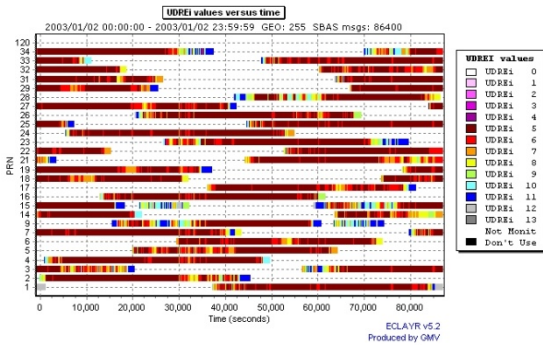
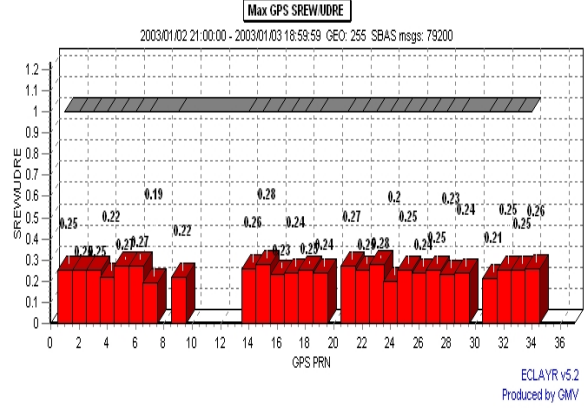
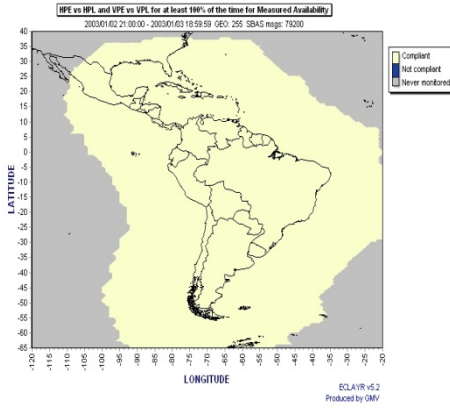


Algorithmos EGNOS 1^{er} tuning SACCSA 2nd tuning SACCSA

Bariloche (Argentina)
11-15 de Octubre 2010

 65

- ✓ En cuanto a integridad (safety case), se cumple tanto a nivel pseudorange (satélite e iono) como a nivel usuario como se muestra a continuación:



- ✓ Las conclusiones que se derivan a continuación son sólo válidas para los algoritmos de magicSBAS (evolucionados de los de EGNOS)
- ✓ Necesidad de extrapolar los resultados
- ✓ Se cumplen los requisitos de Integridad, Precisión, Continuidad y Disponibilidad en el caso nominal
- ✓ Se han analizado las evoluciones de los algoritmos necesarias para un SBAS ecuatorial respecto de latitudes medias (WAAS y EGNOS)
- ✓ Gran evolución de resultados en disponibilidad respecto a la Fase II de SACCSA y algoritmos de latitudes medias
- ✓ Existe una degradación de las prestaciones de Disponibilidad en el caso nominal para algunas regiones – bajo estudio

Requisito	Estado	Comentarios
Precisión	OK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Caso Nominal ✓ APV-I, LPV-200, APV-II ✓ Márgenes razonables
Integridad	OK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Caso Nominal ✓ Nivel Usuario, Satélite e IONO
Disponibilidad	OK Nominal (E1)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Algoritmos ajustados (magicSBAS) ✓ APV-I OK ✓ LPV-200 justo ✓ APV-II NOK

7. **Resultados preliminares del Prototipo de la UCP – PT 3000**

7.1 El objetivo principal del prototipo de la Unidad de Control de Proceso (UCP) es proporcionar un servicio SBAS en las regiones CAR/SAM entregando un prototipo de mensajes SBAS en conformidad con los estándares de MOPS y SARPs, salvo cuando no se realiza emisión por satélite geoestacionario. Adicionalmente a los mensajes SBAS el prototipo será capaz de proporcionar una medición de las prestaciones obtenidas, así como una monitorización del estado del prototipo.

7.2 Actualmente, el prototipo que utiliza magicSBAS corre en GMV en modo “Tiempo Real de Laboratorio” que incorpora una latencia de una semana. El producto de GMV magicSBAS proporciona una solución pre-operacional de bajo costo, GPS + GLONASS SBAS y este producto puede operar en Tiempo Real, pero en este caso se requiere que los datos de las estaciones estén en formato NTRIP.

8. **Primera demostración de emisión de señal satelital SBAS en las regiones CAR/SAM**

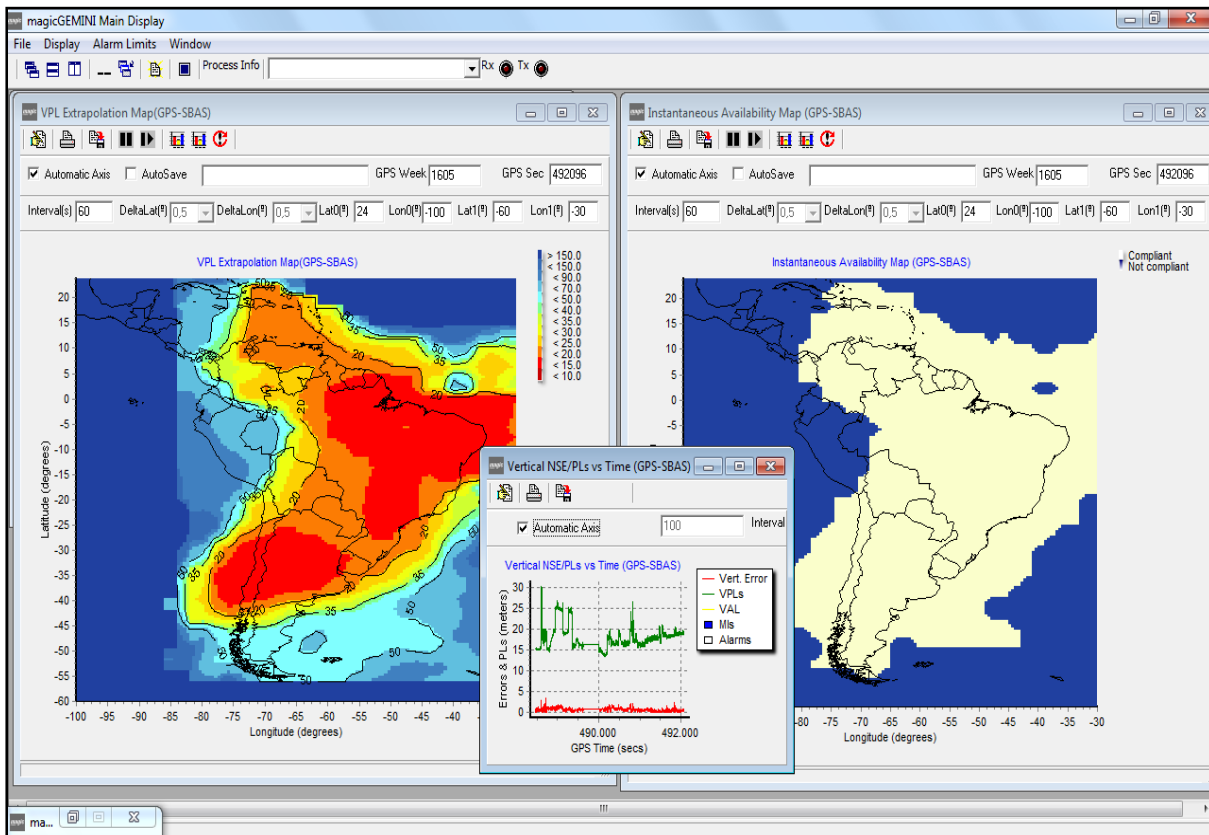
8.1 En el marco de la Séptima Reunión del Comité de Coordinación (RCC/7) de este Proyecto que se celebró en San Carlos de Bariloche, Argentina, del 11 al 15 de octubre de 2010, como resultado de los estudios y demostraciones de la Fase III-A de este proyecto, se emitió por primera vez una señal SACCSA SBAS en las regiones CAR/SAM.

8.2 El logro de esta demostración es fruto de la colaboración de las empresas GMV e Inmarsat, que han integrado sus diferentes tecnologías. GMV (www.gmv.com) aporta su novedoso centro de proceso SBAS, *magicSBAS* (www.gmv.com/magicsbas/magicsbas.htm), que puede recibir en tiempo real datos de estaciones de referencia GPS desde cualquier lugar del globo. Inmarsat (www.inmarsat.com) ha contribuido con su generador de señal SBAS y su capacidad espacial, en particular con el transpondedor de navegación de su satélite geoestacionario Inmarsat-3F4 que está emplazado en una localización privilegiada para dar servicio a la región americana. Se contó asimismo con el apoyo de AENA (España) y el laboratorio GESA de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata, así como el apoyo de los representantes del Estado Argentino representados a través de ANAC (Administración Nacional de Aviación Civil) y la OACI.

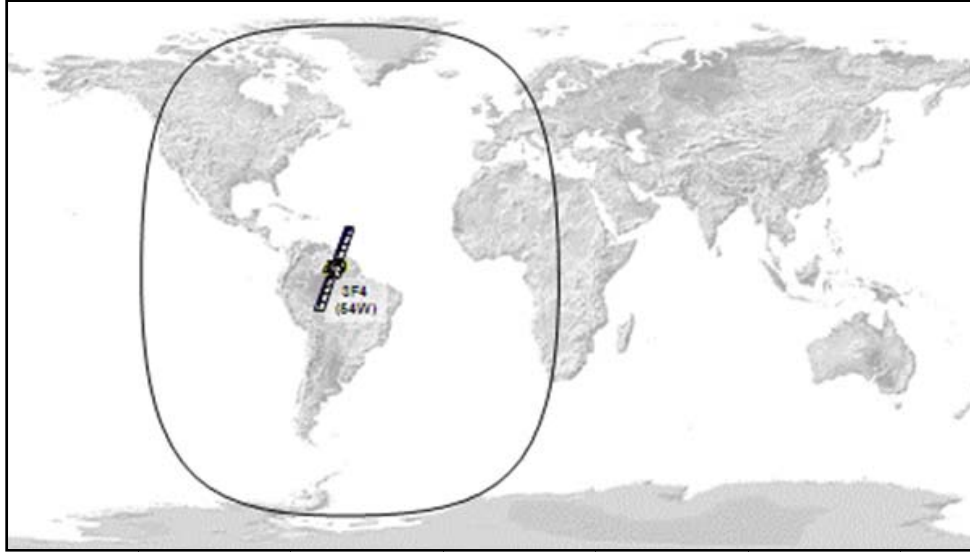
8.3 Mediante una estación de acceso de comunicaciones de INMARSAT situada en Fucino, Italia y el satélite GEO INMARSAT 3F4, se radiodifundió una señal SBAS SACCSA en las regiones CAR/SAM a través del durante los días 14 y 15 de octubre de 2010. Esta señal se transmitió en modo “Prueba”, inhabilitada para uso SoL (Safety of Live).



Estación de comunicación de INMARSAT situada en Fucino, Italia, la cual ha utilizado durante las pruebas para el acceso de comunicarse con el satélite GEO Inmarsat-3F4



Prestaciones de la señal SBAS emitida



Cobertura del satélite GEO Inmarsat-3F4 que incluye las regiones CAR/SAM objeto de las pruebas

8.4 Las prestaciones obtenidas de esta señal en el espacio fueron presentadas en la reunión RCC/7. Se analizaron las prestaciones obtenidas durante la demostración con resultados excelentes, se cumplían los requisitos de Integridad (Protection Level por encima del Error), los de precisión y los de disponibilidad para APV-I (99%) en las zonas con buena cobertura.

8.5 Las siguientes figuras muestran las prestaciones obtenidas durante la demostración; la que corresponde a una situación nominal, es decir la que ocurría con más frecuencia; la que corresponde a un mejor caso y finalmente la que muestra uno de los peores casos observados.

8.6 Para cada una de ellas se representa el valor de los Niveles de Protección Vertical obtenidos en Real time (figura de la izquierda), disponibilidad instantánea para APV-I (es decir cuando esos VPLs están por debajo del Límite de Alerta para APV-I VAL=50m, HAL=40m) (figura derecha) y finalmente una figura mostrando como para una estación en particular la solución es íntegra ya que el VPL está por encima del Error de navegación (figura central).

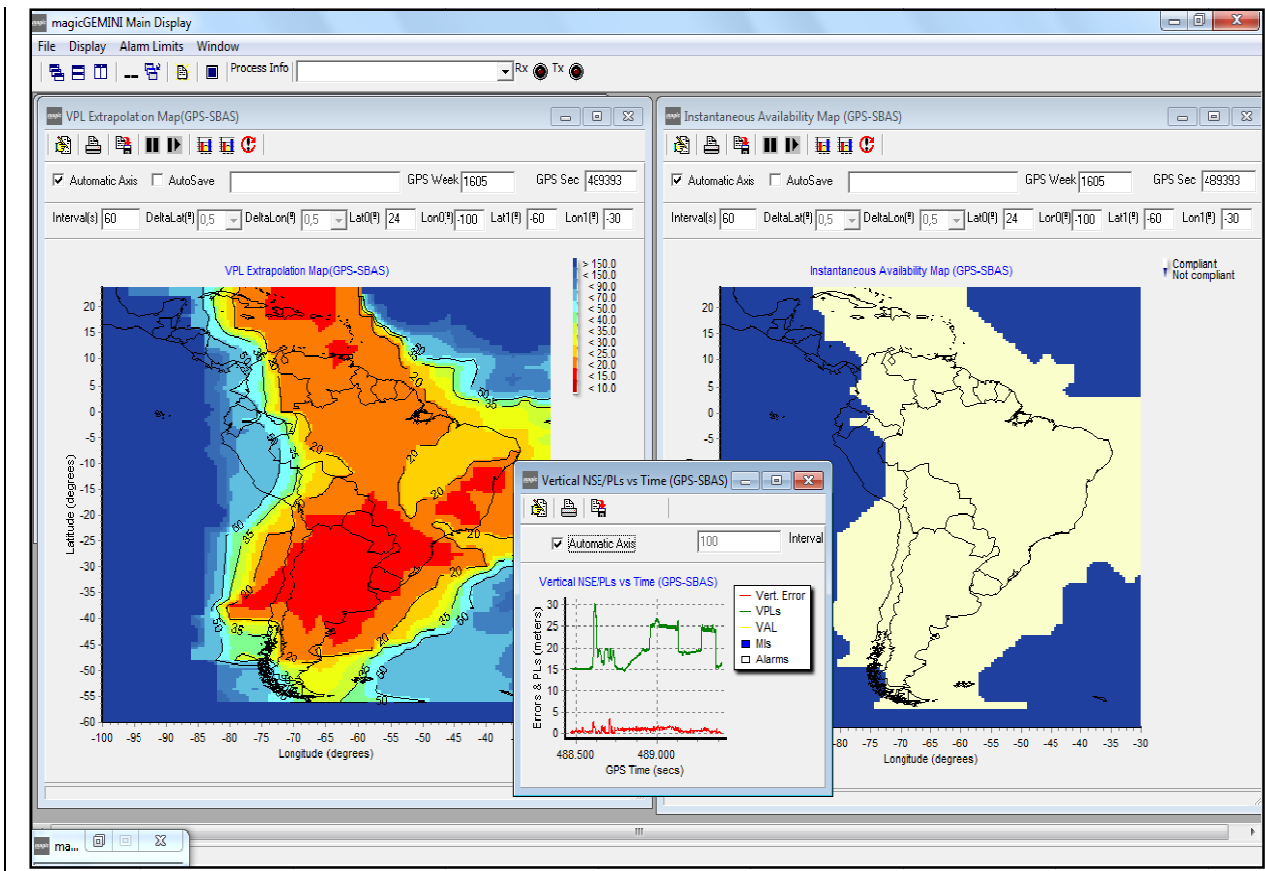
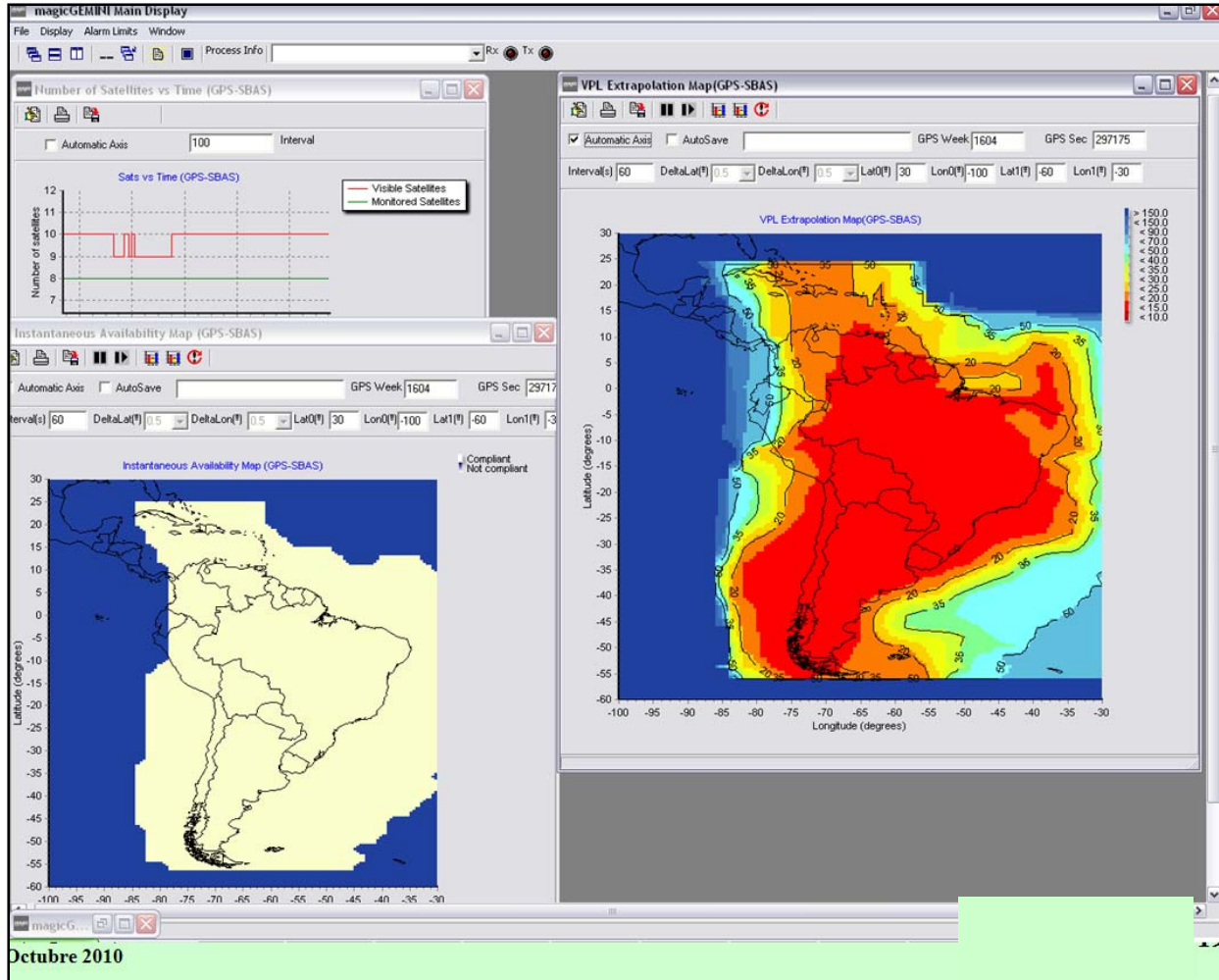
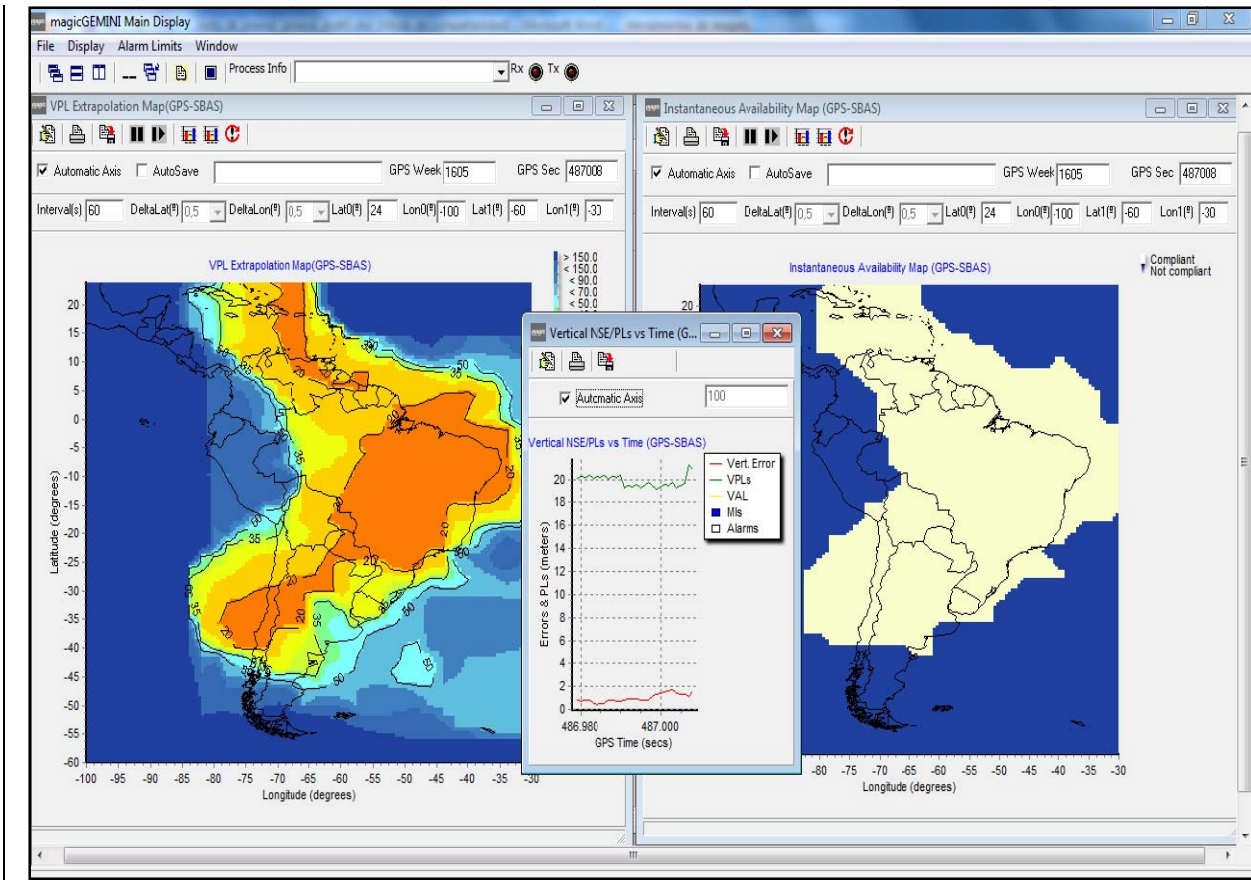


Imagen representativa de los resultados observados en las pruebas



Mejores resultados observados en las pruebas



Peores resultados observados en las pruebas

Nota: Tener en cuenta que la disponibilidad de las prestaciones principalmente dependen de la propia disponibilidad de datos y los tiempos de latencia de las conexiones de comunicaciones que éstas tengan.

9. Conclusiones generales

9.1 Los resultados de los estudios y demostraciones realizados por el Proyecto hasta el presente son prometedores en cuanto a la factibilidad de la solución SBAS SACCSA en las regiones CAR y SAM en las condiciones analizadas, aunque hay que esperar a terminar todos los análisis para concluir la viabilidad del sistema. Cabe destacar que se están abordando diferentes soluciones innovadoras en cuanto a soluciones SBAS en estas regiones de modo que se puedan tener todos los datos necesarios para la futura toma de decisión.

10. Acción sugerida

10.1 Se invita a la Reunión a tomar nota de la información proporcionada en esta nota.