



RLA/00/009

ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL

**PROYECTO RLA/00/009 - ENSAYOS DE
AUMENTACIÓN GNSS**

INFORME FINAL

Junio 2006

Esta hoja se ha dejado en blanco intencionalmente.

INDICE

Sumario	ii-1
---------------	------

Capítulo 1 Análisis de los requerimientos de navegación en las Regiones CAR/SAM

Planificación actual de los sistemas de navegación de acuerdo a Plan de Navegación aérea CAR/SAM.....	1-1
Equipos de navegación convencionales.....	1-1
Sistemas GNSS	1-1
Sistema de aumentación basado en la aeronave (ABAS)	1-2
Sistema de aumentación basado en satélites (SBAS)	1-3
Sistema de aumentación basado en tierra (GBAS).....	1-4
Análisis de implantación de los sistema GNSS como soporte de las operaciones de navegación aérea en las Regiones CAR/SAM.....	1-4
GNSS para aplicaciones de área terminal.....	1-5
GNSS para aproximaciones y aterrizajes de no precisión y de precisión.....	1-5
Consideraciones y comentarios sobre el uso del GNSS para las operaciones NPA.....	1-5
Planificación de la implantación de la navegación basada en la performance (PBN).....	1-6
Concepto PBN	1-6
Beneficio de la navegación basada en la performance	1-7
Consideraciones sobre la implantación de la navegación basada en la performance	1-8

Capítulo 2 Plataforma de ensayo SBAS tipo WAAS CSTB

Introducción sistemas de aumentación basados en satélites SBAS tipo WAAS	2-1
Concepto de operación SBAS tipo WAAS.....	2-1
Requerimientos de un sistemas SBAS tipo WAAS	2-2
Elementos que conforman la plataforma de ensayo SBAS tipo WAAS en las Regiones CAR/SAM (CSTB).....	2-3
Estación de Referencia de Ensayo (TRS)	2-3
Requerimientos de instalación (TRS)	2-5
Estación Maestra de Ensayo (TMS)	2-6
Segmento de aviónica	2-6
Segmento de comunicaciones	2-7
Estructura de la plataforma de ensayo SBAS tipo WAAS en las Regiones CAR/SAM (CSTB).....	2-8
Mensajes de navegación en la CSTB.....	2-9

Capítulo 3 Análisis de los datos recolectados

Descripción de los procedimientos de recolección y análisis de los datos en la CSTB.....	3-1
Descripción de los problemas ionosféricas y su influencia en los sistemas GPS.....	3-2
Análisis de los datos recolectados en las TRS de la CSTB.....	3-13
Datos recolectados desde las TRS	3-14

Capítulo 4 Opciones para la implantación de sistemas GNSS en las Regiones CAR/SAM

Opciones para la implantación de sistemas GNSS en base a los resultados obtenidos al Proyecto RLA/00/009	4-1
Configuraciones de posibles alternativas	4-1
Costo estimado del sistema SBAS para las regiones CAR/SAM	4-13

SUMARIO

Las tecnologías basadas en el Sistema Mundial de Navegación por Satélite (GNSS) están siendo desarrolladas para su utilización en las operaciones de aviación civil. Una de las características principales de los GNSS, es su capacidad de proporcionar una navegación segura en forma global.

Por ejemplo, la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos (FAA), desarrolló un sistema de aumentación de área amplia (WAAS) que engrandece el Sistema Mundial de Determinación de la Posición (GPS), aumentando la seguridad, integridad y disponibilidad del sistema para cumplir con los requerimientos de la navegación en ruta por aproximación de precisión.

A fin de proporcionar una plataforma para el desarrollo del WAAS, la FAA estableció la Plataforma Nacional de Ensayos por Satélite (NSTB). La NSTB es un prototipo de WAAS con infraestructura de base localizada a lo largo de los Estados Unidos e internacionalmente.

Con el fin de establecer una plataforma de ensayo para el desarrollo de un sistema SBAS tipo WAAS en la Regiones CAR/SAM, se estableció un Memorando de Entendimiento (MOU) entre la OACI y la FAA. El memorando se firmó el 4 de junio de 2001.

Como consecuencia, se implantó un proyecto de cooperación técnica PNUD/OACI RLA/00/009 al cual se adhirieron los siguientes Estados y Organizaciones Internacionales: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Estados Unidos, Panamá, Perú, Venezuela y COCESNA.

La Plataforma Regional CAR/SAM de Ensayos por Satélite, implantada a través del proyecto RLA/00/009 recibió el nombre de Plataforma CAR/SAM de Ensayos por Satélite (CSTB - *CAR/SAM Test Bed*). La misma está diseñada basándose en la NSTB. La CSTB y la NSTB están conectadas a través de un circuito dedicado de comunicaciones.

Dicho circuito de comunicaciones, inicialmente implantado entre Santiago, Chile (CSTB) y Atlantic City, Estados Unidos (FAA Technical Center (NSTB)), consiste de un enlace entre Río de Janeiro (CSTB) y Atlantic City FAA Technical Center (NSTB).

El acercamiento regional para demostrar los objetivos de este plan fue implantado para ayudar a ilustrar la manera en la cual este sistema regional podría beneficiar a la región entera y no únicamente a aquellos que estén participando activamente en el mantenimiento del mismo.

El establecimiento de la CSTB fue implantada para facilitar los esfuerzos destinados a la recolección, desarrollo, adquisición e implantación de un sistema operacional de navegación aérea basado en las tecnologías GPS y SBAS tipo WAAS.

La CSTB fue implantada a efecto de apoyar una implantación uniforme del GPS a lo largo de las Regiones CAR/SAM, establecer un cuadro regional de expertos técnicos e incluir inicialmente una plataforma de ensayos del sistema regional de aumentación de área amplia, que podrá ser complementada posteriormente con una capacidad de área de aumentación local específica para cada país.

La plataforma de ensayos fue implantada a efecto de reducir los costos operacionales de implantación mediante el desarrollo de una infraestructura de pruebas que podría ser aplicada al entorno operacional (i.e., selección de sitio y preparación, aseguramiento de los enlaces de comunicaciones terrestres, desarrollo de procedimientos operacionales, certificación de aeronaves, entrenamiento, etc.).

Inicialmente, el proyecto tenía contemplado la ejecución de un plan de ensayos en vuelo utilizando la CSTB.

Los objetivos de los ensayos regionales en vuelo incluían:

- a) Demostrar los esfuerzos hacia una operación GNSS integral.
- b) Demostrar la expansión del volumen de servicio a través de la participación internacional.
- c) Demostrar que la compatibilidad GNSS internacional es técnicamente alcanzable.
- d) Demostrar que con guía vertical se pueden lograr aproximaciones de precisión en las regiones del Caribe y Sudamérica utilizando señales GPS aumentadas difundidas de un sistema de aumentación de área amplia.
- e) Medir la precisión del sistema y performance de mensajes mediante ensayos terrestres y en vuelo en cada uno de los Estados participantes, para las siguientes aplicaciones, según sea apropiado:
 - i. Datos de performance de largo plazo en estaciones de referencia locales
 - ii. Aproximaciones de precisión en aeropuertos seleccionados
 - iii. Aproximaciones tanto de precisión como de no precisión con guía vertical
 - iv. Aproximaciones de Categoría I
 - v. Aproximaciones de Categoría I en un país donde no se encuentre una estación de referencia (prueba de curva cerrada)
 - vi. Maniobras de área terminal en aeropuertos seleccionados
 - vii. Áreas sobre tierra en ruta
 - viii. Áreas oceánicas en ruta
- f) Pruebas SIDS y STARS en algunas localidades seleccionadas a fin de demostrar una capacidad integral desde el despegue hasta el aterrizaje.
- g) Aumentar el entendimiento internacional para compartir información entre sistemas de aumentación GPS independientes y la utilización compartida de satélites de comunicación.
- h) Promover la aceptación internacional y el uso del GPS aumentado en las aplicaciones de la aviación civil.
- i) Recolectar y analizar performances operacionales del sistema de aumentación de área amplia con un enfoque en la factibilidad de la utilización de un Sistema Diferencial GPS de Área Amplia en las regiones CAR/SAM.
- j) Fomentar la cooperación internacional y contribuir a la seguridad del sistema de transporte global, compartiendo información, tecnologías, datos, asistencia técnica y entrenamiento entre los países y agencias no gubernamentales.
- k) Alentar futuros ensayos en vuelo con Sistemas de Aumentación de Base Satelital (SBAS).

A raíz de los primeros ensayos en vuelo realizados a partir del año 2002 en Brasil y, posteriormente, en Argentina, Bolivia, Perú y Chile, se pudo comprobar que el efecto de la ionosfera sobre la señal GPS no garantizaba las aproximaciones NPA con requerimiento de precisión vertical, por lo tanto, muchos de los ensayos en vuelo previstos arriba descritos no se ejecutaron.

La plataforma de la CSTB tenía incluida la implantación de una estación terrena satelital que se encargaría de transmitir la aumentación de la señal GPS, su implantación estaba prevista por la administración aeronáutica de Brasil, pero por su alto costo y las limitaciones de los ensayos en vuelo a causa del efecto de la ionosfera en la señal GPS en la zona Ecuatorial, no se implantó y los ensayos de aumentación que se hicieron se irradiaron a través de transceiver en VHF.

A raíz de lo anterior, el proyecto RLA/00/009 se re-orientó hacia la recolección de datos desde las estaciones de referencia y su respectivo procesamiento. En el Capítulo 3 del informe se muestra el análisis de los datos recolectados.

El presente informe contempla en el **Capítulo 1**, el análisis de los requisitos operacionales de navegación en las Regiones CAR/SAM, en el **Capítulo 2**, aspectos técnicos relacionados con la plataforma de ensayo SBAS, tipo WAAS y los equipos que lo conforman. En el **Capítulo 3**, se hace un análisis de los datos recolectados desde las estaciones de referencia, empezando con la descripción de las herramientas de software utilizadas para el procesamiento de datos, una descripción del problema ionosférica y su influencia en las señales GPS y, en **Capítulo 4**, se presentan alternativas de implantación de sistemas GNSS, el costo de las mismas, así como sus beneficios.

CAPITULO 1

ANALISIS DE LOS REQUERIMIENTOS DE NAVEGACION EN LAS REGIONES CAR/ SAM

PLANIFICACIÓN ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE NAVEGACIÓN DE ACUERDO AL PLAN DE NAVEGACIÓN AÉREA CAR/SAM

Equipos de navegación convencionales

1.1 Actualmente, los requisitos de navegación aérea en las Regiones CAR/SAM están definidos en la Tabla CNS 3 del FASID, la cual se presenta como **Apéndice A** de este Capítulo.

1.2 En la Tabla CNS 3 se indican los requerimientos de los sistemas de navegación convencionales (NDB, VOR, DME, ILS) a efecto de poder garantizar las operaciones de navegación aéreas en todos las fases (ruta, aproximaciones de no precisión, aproximaciones de precisión). Asimismo, como fruto de un análisis inicial de implantación GNSS, en la Tabla CNS 3 del FASID se indican los requerimientos GNSS (SBAS GBAS) para soportar las operaciones de navegación aérea.

1.3 En esta Tabla se indica que, para aproximaciones de precisión en Categorías I, II y III se utilizará el sistema de aumentación terrestre (GBAS) del sistema de posicionamiento global por satélite (GPS), mientras que, para aproximaciones de no precisión (NPA), se utilizará el sistema de aumentación por satélite (SBAS) del sistema GPS.

1.4 De acuerdo a la Tabla CNS 3, se puede observar que el VOR/DME representa la columna vertebral de los sistemas de navegación aérea. Este sistema seguirá brindando los servicios de navegación desde la fase en ruta hasta la aproximación de no precisión, durante toda la transición a la navegación por satélite.

1.5 La Tabla CNS 3 no especifica una fecha límite para la transición hacia el sistema GNSS, pero se espera que a partir de la segunda década del siglo XXI se inicie la eliminación gradual de los VOR/DME, después de lo cual aún será necesario mantener algunos sistemas convencionales básicos para fines de contingencia.

1.6 El sistema de aterrizaje por instrumentos (ILS) es el principal sistema de apoyo de las aproximaciones y aterrizajes de precisión en las Regiones CAR/SAM. La mayoría de los requerimientos de ILS son en Categorías I y II, muy pocos aeropuertos en la región poseen requerimientos en Categoría III. El uso de los sistemas ILS disminuirá conforme mejore la performance y disponibilidad de los sistemas basados en el GNSS. Se espera iniciar la eliminación gradual del ILS a favor del GBAS a partir también de la segunda década del siglo XXI. Nuevamente, se mantendrán algunos sistemas convencionales básicos de aproximación y aterrizaje para fines de contingencia.

1.7 El radiofaro no direccional (NDB) se utiliza como ayuda autónoma para aproximaciones de no precisión en aeropuertos pequeños y como radiofaro de localización con brújula, generalmente ubicado junto a la radiobaliza exterior de un ILS, para ayudar a los pilotos a entrar en el curso ILS en un ambiente no radar.

1.8 La eliminación de los NDB se está haciendo en forma gradual. En este momento, la política que se está llevando a cabo en las Regiones CAR/SAM es una vez terminada la vida útil de este equipo, el mismo no se repone.

Sistema GNSS

1.9 GNSS es el término genérico que incluye a todos los elementos utilizados en la provisión y utilización de los sistemas de navegación por satélite. A continuación se da una breve descripción de los elementos que conforma el sistema GNSS y consideraciones sobre los planes de implantación de los mismos en las Regiones CAR/SAM.

Sistemas de aumentación basados en la aeronave (ABAS)

1.10 La finalidad del ABAS es aumentar y/o integrar la información obtenida del segmento espacial del GNSS con la información de a bordo. Esta información o integración resulta necesaria para garantizar que la performance técnica cumpla los requisitos del Anexo 10, Volumen I, Capítulo 3, Tabla 3.7.2.4-1. Como **Apéndice B** de este capítulo se presentan las características que tienen que tener en el espacio las señales GPS para las distintas operaciones de acuerdo al Anexo 10, Volumen I, Capítulo 3, Tabla 3.7.2.4-1.

1.11 Asimismo, en el Anexo 10, Volumen I, Capítulo 3, Sección 3.7.3.3 y en el Adjunto D, Sección 5, se encuentran información y textos de orientación para aplicación de las normas y métodos recomendados (SARPS) sobre el sistema ABAS.

1.12 El ABAS requiere de uno de los dos siguientes esquemas de procesamiento para satisfacer los requisitos operacionales aeronáuticos:

- a) Uso de la vigilancia autónoma de la integridad en el receptor (RAIM), que sólo utiliza la información GNSS; o
- b) La vigilancia autónoma de la integridad en la aeronave (AAIM), que, además de la información GNSS, utiliza información de los sensores adicionales de a bordo, como el altímetro barométrico, la RNAV de sensores múltiples, la navegación inercial y/o un reloj preciso.

Vigilancia autónoma de la integridad en el receptor (RAIM)

1.13 Las normas de certificación de la aviónica requieren que la función RAIM detecte las señales satelitales defectuosas y alerten al piloto. La disponibilidad de la función RAIM está determinada por la cantidad de satélites a la vista y su geometría, ángulo de la máscara del receptor, fase de vuelo y algoritmo específico utilizado. Para cumplir con esta tarea, más de cinco satélites tienen que estar visibles, que permitan, por lo menos, cuatro buenos cálculos. El uso del altímetro barométrico mejorará la disponibilidad RAIM.

1.14 Las normas de performance del equipo, desarrolladas por RTCA y EUROCAE, indican que, para poder realizar NPA basadas en el GNSS, la aeronave debe estar equipada con aviónica que incluya un sistema de aumentación basado en la aeronave (ABAS) y que cumpla con la Orden Técnica Normalizada 129 A, Niveles 1 ó 3.

1.15 La detección y eliminación de fallas (FDE) va más allá de la RAIM, ya que elimina al satélite defectuoso y permite una navegación GNSS interrumpida. La FDE requiere 6 ó más satélites a la vista.

Vigilancia autónoma de la integridad en la aeronave (AAIM)

1.16 La AAIM utiliza la redundancia de los estimados de posición de múltiples sensores, incluyendo el GNSS. La performance de la integridad de la AAIM debe ser, por lo menos, equivalente a la de la RAIM. La aviónica AAIM debe cumplir con las normas TSO C-115A.

Receptores básicos GNSS

1.17 Los receptores básicos GNSS deben cumplir las normas TSO C-119 (Ed 72A) y brindar una exactitud horizontal de 100m (95 %), apoyada por GPS/SPS.

Sistema de aumentación basado en satélite (SBAS)

1.18 Los sistemas de aumentación basados en satélite están conformados por numerosas estaciones de referencia terrestres que monitorean las señales telemétricas enviadas desde los satélites de navegación y estaciones maestras que no sólo procesan los datos recibidos de las estaciones terrestres, sino que también calculan las correcciones necesarias y preparan los mensajes de corrección apropiados a ser enviados a través del enlace ascendente al satélite geoestacionario para su posterior radiodifusión a las aeronaves (usuarios). El canal utilizado para la radiodifusión de la información de integridad también incluye una señal telemétrica. Consecuentemente, la mayor disponibilidad del SBAS y de las correcciones asociadas permite aproximaciones con guía vertical (APV) y, posiblemente, aproximaciones de precisión de Categoría I para aeronaves equipadas con aviónica SBAS.

1.19 Información y texto de orientación para aplicación de las normas y métodos recomendados sobre el sistema SBAS se encuentran en el Anexo 10, Volumen I, Capítulo 3, Sección 3.7.3.4 y en el Adjunto D, Sección 6.

Aviónica SBAS

1.20 Las normas de performance operacional mínima para el GPS y el WAAS aparecen descritas en la RTCA DO-229B y las normas de certificación de aviónica, en la TSO C-145. El SBAS incluirá FDE y apoyará las aplicaciones en ruta, las aproximaciones de no precisión, las aproximaciones con guía vertical (APV) y, posiblemente, las aproximaciones de precisión CAT I.

1.21 Para el APV hay dos categorías (APV1 y APV2), se puede volar el APV1 utilizando tanto el SBAS o la VNAV barométrica como guía vertical. El APV2 tiene niveles mínimos más bajos y necesita el SBAS.

1.22 Los niveles de disponibilidad del SBAS permitirán a los explotadores aprovechar los mínimos de aproximación por instrumentos SBAS al designar un aeropuerto de alternativa, ya que una aproximación SBAS no requiere una infraestructura SBAS en un aeropuerto, mejorando así la capacidad de uso del aeropuerto, a un costo mínimo.

1.23 El SBAS en ruta también permite operaciones RNAV en ruta, apoyando así el actual programa RNAV en las Regiones CAR/SAM y permitiendo la gradual eliminación/reducción de las ayudas para la navegación terrestres utilizadas para las operaciones en ruta.

1.24 Si bien el programa SBAS aún se encuentra en proceso de desarrollo, la inclusión de esta opción de aumentación se encuentra en los planes de implantación de las Regiones CAR/SAM tal como se mencionó anteriormente.

1.25 El área de cobertura del sistema SBAS está determinada por la huella del satélite geoestacionario de radiodifusión, la cual, lamentablemente, no ofrece una buena cobertura de las regiones polares de las altas latitudes. En vista de ello, los Estados pueden definir las áreas de servicio donde están aprobadas o son apoyadas las operaciones basadas en el SBAS.

1.26 Reconociendo que el Estado es responsable por los servicios brindados dentro de un área de servicio, se podría aumentar significativamente las áreas de servicio a un costo mínimo gracias al uso compartido de los recursos, aplicando arreglos institucionales apropiados, manteniendo siempre un cierto nivel de control. Asimismo, con los arreglos apropiados, el costo podría compartirse con otras comunidades de usuarios, como la marina y la comunidad del transporte terrestre -- camiones, ferrocarriles, ambulancias, etc. Es probable que este arreglo requiera el envío de información sobre la disponibilidad y calidad de las señales de aumentación a todos los involucrados.

Sistema de aumentación basado en tierra (GBAS)

1.27 Información y textos de orientación para aplicación de las normas y métodos recomendados sobre los sistemas GBAS se encuentran en Anexo 10, Volumen I, Capítulo 3, Sección 3.7.3.5.1 y en el Adjunto D, Sección 7.

1.28 El sistema de aumentación basado en tierra (GBAS) es un sistema que consta de elementos de tierra y de elementos de aeronave. Un subsistema de tierra (estación terrestre) puede prestar apoyo a todos los subsistemas de aeronave dentro de su cobertura, proporcionando a la aeronave datos de aproximación, de correcciones e información de integridad para los satélites GNSS a la vista mediante una radiodifusión de datos VHF (VDB).

1.29 Los subsistemas de tierra GBAS proporcionan dos servicios: aproximación de precisión y determinación de la posición GBAS. El servicio de aproximación de precisión suministra guía de desviación para los tramos de aproximación final, en tanto que el servicio de determinación de la posición GBAS suministra información de la posición horizontal para prestar apoyo a las operaciones RNAV en las áreas terminales.

Análisis de implantación de los sistema GNSS como soporte de las operaciones de navegación aérea en las Regiones CAR/SAM

Análisis de los sistemas GNSS para apoyar las operaciones en ruta, aproximaciones, aterrizajes y despegue

1.30 En las Regiones CAR/SAM, donde la mejora en la eficiencia de las operaciones en los principales flujos se está considerando, una ventaja inmediata del GNSS representaría una optimización de las operaciones en ruta, al permitir a los pilotos volar directamente a sus destinos, a las altitudes preferidas, sin tener que seguir rutas que dependen de las ayudas para la navegación basadas en tierra. Nuevamente, el uso del GNSS simplificará enormemente el desarrollo de rutas paralelas para satisfacer las demandas del tránsito. Asimismo, el GNSS facilitará la introducción de la NPA en muchos aeropuertos, donde los costos o el volumen de tránsito no justificarían la inversión. El bajo costo asociado con los receptores GNSS/WAAS hace que esta innovación sea más asequible y fomenta el uso de una referencia de navegación

1.31 La falta de ayudas convencionales para la navegación y la vigilancia en el espacio aéreo oceánico ha obligado al establecimiento de mínimos de separación más altos a fin de satisfacer el nivel de seguridad deseado. Con el GNSS, se puede lograr mayor exactitud de navegación y mejor disponibilidad de enlaces de datos para transmitir los informes de posición, para reducir los mínimos de separación y realizar más vuelos a la altitud óptima.

1.32 Las Regiones CAR/SAM contienen grandes áreas oceánicas y de baja densidad de tránsito, donde resultaría imposible o costoso ofrecer una capacidad de navegación y vigilancia suficiente. Nuevamente, se puede lograr importantes mejoras operacionales mediante el uso del GNSS y la eliminación gradual de las ayudas para la navegación convencionales.

1.33 Para poder utilizar el GNSS como principal medio de navegación en áreas en ruta y oceánicas, la aviónica tiene que poder identificar y excluir una señal satelital defectuosa y continuar brindando orientación. A esto se le denomina “Detección y Exclusión de Fallas” (FDE). Según esta aprobación, la aeronave debe contar con sistemas duales y los explotadores deben realizar predicciones previas al vuelo para asegurar que habrá suficientes satélites a la vista para apoyar el vuelo proyectado. Esta aprobación les permite a los explotadores utilizar aeronaves sin los costosos sistemas de navegación inercial en el espacio aéreo oceánico y remoto.

1.34 El Anexo 15 establece que se debe brindar servicio NOTAM para los sistemas de navegación, a fin de informar a los usuarios acerca de fallas satelitales pronosticadas. Se debería estudiar la posibilidad de crear un sistema regional de asesoramiento NOTAM para informar a los pilotos cuando la función RAIM no está o no estará disponible.

1.35 Como valor adicional, muchos explotadores utilizan el GPS como una ayuda para la navegación VFR. Mientras los pilotos dependan de la lectura de mapas y del contacto visual con tierra, el uso del GPS en este sentido puede aumentar la eficiencia y la seguridad operacional. En algunos Estados, las aeronaves deben estar equipadas con aviónica GPS certificada para IFR y para operaciones nocturnas VFR.

GNSS para aplicaciones de área terminal

1.36 Si bien el hecho de no tener que reemplazar el VOR/DME en ruta conlleva ciertas ventajas económicas y operacionales, la mayor parte del ahorro y de las mejoras operacionales para los Estados podrían resultar de la eliminación de los VOR/DME utilizados en las operaciones en el área terminal. Considerando que se trata de un ambiente más complejo y que requiere una mayor exactitud, integridad, continuidad y disponibilidad, se necesitará sistemas de aumentación basados en satélites y en tierra. Como resultado de los recientes acontecimientos, probablemente será necesario contar con un respaldo para medidas de contingencias. Esto afectará considerablemente los ahorros esperados por los Estados, ya que, además de tener que mantener una red operacional mínima de ayudas para la navegación convencionales, será necesario seguir operando las instalaciones para el mantenimiento y calibración de estas ayudas para la navegación. Considerando el reducido número de instalaciones, se podría reducir en algo los costos mediante el uso compartido de, por ejemplo, las unidades de inspección de vuelo y calibración.

GNSS para aproximaciones y aterrizajes de no precisión y de precisión

1.37 La utilización del GNSS, con la aumentación apropiada, brindará la capacidad de aproximación y aterrizaje de no precisión y de precisión, especialmente en aeropuertos que carecen de ILS, ya sea por problemas de ubicación o porque su instalación no se justifica en términos financieros. Los sistemas de aproximación y aterrizaje de precisión basados en el GNSS constituyen una importante consideración, ya que tendrían la ventaja de ofrecer estas capacidades en todos los extremos de pista de un aeropuerto. En el caso del GBAS, si lo permiten la distancia y el terreno, también se puede brindar aproximaciones de precisión a otros aeropuertos en los alrededores (dentro de un radio de aproximadamente 20 millas náuticas).

Consideraciones y comentarios sobre el uso del GNSS para las operaciones NPA

1.38 Si bien el GNSS tiene el potencial de apoyar mejores aproximaciones en más extremos de pista a un costo relativamente bajo, los mínimos de aproximación también dependen de las características físicas del aeródromo y de la infraestructura, como la iluminación. Por lo tanto, al planificar las nuevas aproximaciones, los Estados deben considerar el costo de cumplir con las normas aeroportuarias.

1.39 Desde 1992, está vigente la Orden de Norma Técnica 129 (TSO C129), que define las condiciones bajo las cuales se puede utilizar el GNSS como “medio complementario” para la navegación en ruta y la aproximación de no precisión. La disponibilidad de procedimientos y receptores GNSS TSO C129 de bajo costo permite la implantación inmediata de las NPA basadas en el GNSS.

1.40 Una navegación segura GNSS también depende de la exactitud de las bases de datos de navegación de a bordo. Por lo tanto, los Estados deben garantizar la integridad de los datos al crear nuevos procedimientos. Asimismo, debe existir procedimientos y sistemas de gestión de datos, a fin de garantizar la integridad de los mismos conforme son procesados para su utilización en la aviónica.

1.41 La tecnología y la operación del GNSS no son tan sencillas como en la aviónica tradicional. Consecuentemente, los Estados deben establecer programas de instrucción para los pilotos a fin de garantizar la seguridad en la operación del GNSS.

1.42 La mayor parte del trabajo relacionado con la introducción de la NPA basada en el GNSS se centrará en:

- a) Un levantamiento exacto de cada aeropuerto;
- b) El desarrollo de un enfoque sistemático para el desarrollo y mantenimiento de las bases de datos asociadas;
- c) El desarrollo de procedimientos y medios para vigilar su cumplimiento; y
- d) El desarrollo de un proceso de aprobación.

Planificación de la implantación de la navegación basada en la performance (PBN)

Concepto PBN

1.43 La navegación basada en la performance especifica los requisitos de performance para las aeronaves que operan en una ruta ATS, un procedimiento de aproximación por instrumentos, o en un espacio aéreo. Información sobre la navegación basada en performance se encuentra en el Documento 9613 de la OACI – *Manual sobre la performance de navegación requerida (RNP)*.

1.44 Los requisitos de performance están definidos en términos de la precisión, integridad, continuidad, disponibilidad y funcionalidad necesarias para la operación propuesta dentro del contexto de un determinado concepto de espacio aéreo. Los requisitos de performance están identificados en las especificaciones de navegación, las cuales también identifican qué sensores y equipos de navegación pueden ser utilizados para satisfacer el requisito de performance.

1.45 Existen tanto especificaciones RNP como especificaciones RNAV. Una especificación RNP comprende el requisito de contar con monitoreo y notificación de la performance a bordo de la aeronave y está designada como una RNP X. Una especificación RNAV no tiene tales requisitos y está designada como RNAV X. Por lo tanto, la navegación basada en la performance depende de:

- a) El sistema e instalación RNAV a bordo de la aeronave que está siendo aprobada al cumplir con los requisitos funcionales y de performance de la especificación de navegación establecida para las operaciones RNAV en un espacio aéreo;
- b) el cumplimiento por parte de la tripulación de vuelo de los requisitos operacionales establecidos por la entidad reguladora para las operaciones RNAV;

- c) un concepto definido de espacio aéreo que incluya operaciones RNAV; y
- d) la disponibilidad de una infraestructura de ayudas para la navegación.

Beneficio de la navegación basada en la performance

1.46 A fin de evitar restricciones innecesarias a los usuarios del espacio aéreo, se debe evitar especificar cómo se habrá de satisfacer los requisitos de navegación, indicando únicamente cuál es la performance y funcionalidad de navegación que se requiere del sistema RNAV. Bajo el concepto de la PBN, los requisitos de navegación genéricos son definidos en base a los requisitos operacionales. Así, los explotadores pueden evaluar las opciones que tienen disponibles en cuanto a tecnología y servicios de navegación que podrían permitir satisfacer estos requisitos. La solución elegida sería la que resulte más efectiva en términos de costos para el explotador y no una solución impuesta como parte de los requisitos operacionales. Las tecnologías pueden evolucionar con el tiempo, sin que ello involucre la necesidad de revisar la operación en sí, siempre y cuando el sistema RNAV cumpla con la performance requerida.

1.47 Así, la PBN ofrece una serie de ventajas con respecto al método para el desarrollo de criterios de espacio aéreo y franqueamiento de obstáculos, en base a sensores específicos.

1.48 El costo de mantener rutas y procedimientos basados en sensores específicos puede ser significativo. Por ejemplo, el traslado o reasignación de una sola instalación terrestre VOR puede tener un impacto sobre docenas de procedimientos, ya que dicho VOR puede ser utilizado en rutas, aproximaciones VOR, como parte de aproximaciones frustradas, etc. La incorporación de nuevos procedimientos basados en sensores específicos aumentará este costo y el rápido aumento de la cantidad de sistemas de navegación disponibles pronto haría que el costo de las rutas y procedimientos basados en sensores específicos resulte inaccesible.

1.49 Los fabricantes de aeronaves y de aviónica han adoptado el monitoreo y la notificación de la performance de a bordo para gestionar los sistemas RNAV de sensores múltiples. En estos sistemas, la performance alcanzada varía dependiendo de los sensores de navegación utilizados, la infraestructura de apoyo a la navegación (ayudas para la navegación) y de la ocurrencia de fallas.

1.50 Se anticipa que la ampliación de los servicios satelitales de navegación contribuirá a mantener la diversidad de sistemas RNAV en las aeronaves. El equipo GNSS básico original está evolucionando en virtud de las aumentaciones SBAS, GBAS y GRAS, mientras que la introducción de Galileo y la modernización del GPS y del GLONASS mejorarán aún más la performance. El uso de la integración inercial/GNSS está aumentando. El costo de desarrollar operaciones basadas en sistemas específicos con cada nueva evolución resultaría prohibitivo.

1.51 Dentro de un concepto de espacio aéreo, los requisitos PBN se verán afectados por el entorno de comunicaciones, vigilancia y ATM, así como por la infraestructura de ayudas para la navegación y las capacidades funcionales y operacionales requeridas para satisfacer la aplicación ATM. Los requisitos de performance PBN también dependerán de los medios de navegación de reversión no RNAV que estén disponibles y, por consiguiente, del grado de redundancia necesario para garantizar una adecuada continuidad de la función.

1.52 El desarrollo del concepto de la Navegación Basada en la Performance reconoce que los sistemas avanzados RNAV de a bordo están logrando un nivel predecible de precisión en la performance de navegación, que, sumado al nivel apropiado de funcionalidad, permite un uso más eficiente del espacio aéreo disponible. Asimismo, toma en cuenta el hecho que los sistemas RNAV se han ido desarrollando en el transcurso de 40 años, por lo que existe una amplia variedad de implantaciones. La identificación de los requisitos de navegación, en vez de los medios para satisfacer los requisitos, permitirá el empleo de todos los sistemas RNAV que satisfacen estos requisitos, sin importar el medio utilizado para ello.

Consideraciones sobre la implantación de la navegación basada en la performance

Corto Plazo (hasta 2010)

Operaciones en Ruta

1.53 Teniendo en cuenta la baja densidad de tránsito aéreo en los espacios aéreos oceánicos, no son esperados cambios significativos en la estructura de espacio aéreo vigente, que exigirían cambios en los valores RNAV aplicados. La única excepción será la aplicación de RNP-10 en la Región denominada WATRS, que demandará un cambio significativo en la estructura del espacio aéreo en la Región CAR. En los espacios aéreos donde se aplica la RNP-10 (Corredor EUR/SAM, Rutas Lima-Santiago de Chile y Sistema de Rutas Aleatorias del Atlántico Sur) no se esperan cambios a corto plazo.

1.54 En el espacio aéreo continental es esperada la implantación de RNAV-5 en espacios aéreo seleccionados, donde sea posible obtener beneficios operacionales y la infraestructura CNS disponible pueda soportarla.

Operaciones en TMA (SID y STAR)

1.55 Es esperada la aplicación de RNAV-1 en TMA seleccionadas por los Estados, en entornos radar, con infraestructura de navegación adecuada en tierra, que permita el empleo de operaciones DME/DME y DME/DME/INS. En esa fase serán admitidas operaciones de aeronaves equipadas y no equipadas y las operaciones RNAV-1 deberán ser iniciadas al atingirse un porcentual adecuado de operaciones aéreas aprobadas.

1.56 En entornos no radares y/o donde no exista la infraestructura de navegación adecuada en tierra, es esperada la aplicación de RNP-1 en TMA seleccionadas por los Estados, con aplicación exclusiva de GNSS, siempre que exista un porcentual adecuado de operaciones aérea aprobadas. En esas TMA también serán admitidas operaciones de aeronaves aprobadas y no aprobadas. La aplicación de procedimientos sobrepuestos (overlay) o de procedimientos exclusivos RNP dependerá de la complejidad y densidad del tránsito aéreo.

Aproximaciones IFR

1.57 Es esperada la aplicación de procedimientos de aproximación RNP 0,3 (GNSS Básico) en el máximo de aeropuertos posible, principalmente aquellos en que existan operaciones internacionales., manteniendo los procedimientos de aproximación convencionales para aeronaves no equipadas.

1.58 Se espera la aplicación de procedimientos de aproximación RNP AR en aeropuertos en que se pueda obtener beneficios operacionales evidentes, en función de la existencia de obstáculos significativos.

Corto Plazo (hasta 2010)	
Espacio Aéreo	Valor RNAV o RNP
Ruta (Oceánico o Remoto)	RNP10 Corredor EUR/SAM/Santiago de Chile-Lima/AORRA/WATRS
Ruta (Continental)	RNAV-5 en espacios aéreos seleccionados
TMA (STAR – SID)	RNAV-1 en entornos radares y con infraestructura de navegación en tierra adecuada.
	RNP 1 en entornos no radar y/o sin cobertura adecuada de DME.
Aproximación	RNP 0,3 en la mayor cantidad posible de aeropuertos y en todos los internacionales. RNP AR en aeropuerto donde existan beneficios operacionales.
<ul style="list-style-type: none"> • Sin obligatoriedad de instalación de equipos RNAV a bordo para aeronaves no equipadas en TMA y aproximación • Operaciones mixtas (aeronaves equipadas y no equipadas) en TMA y aproximación. • Equipo RNAV 2 requerido sobre FL 350 para vuelos hasta/desde Estados Unidos 	

Mediano Plazo (2011-2015)

Operaciones en Ruta

1.59 En el Espacio Aéreo Oceánico del Corredor EUR/SAM es esperada la aplicación de la RNP 4, con la utilización de ADS/CPDLC, a fin de permitir el empleo de la separación lateral y longitudinal de 30 NM. Esa aplicación dependerá de la evolución de la flota de aeronaves que vuelan en el espacio aéreo. .

1.60 En esa fase es esperada la aplicación de RNP-2 en espacio aéreo continental en espacios aéreos seleccionados, con mayor densidad de tránsito aéreo, con aplicación exclusiva del GNSS, teniendo en cuenta que la infraestructura de tierra no soportará aplicaciones RNAV. Será necesario el establecimiento de un sistema de respaldo (back-up) del GNSS Y el desarrollo de procedimientos de contingencia en caso de falla del GNSS. La aplicación de la RNP-2 facilitará la aplicación PBN en espacios aéreo sin cobertura de vigilancia. Con la aplicación exclusiva del GNSS será necesario un mayor grado de información de la señal GNSS, por intermedio de sistemas de Sistemas de Monitoreo del GPS, que incluyan NOTAM, FDE, etc.

Operaciones en TMA

1.61 En esa fase es esperada la ampliación de las aplicaciones de RNAV o RNP 1 en TMA seleccionadas por los Estados, dependiendo de la infraestructura en tierra y de la capacidad de navegación de las aeronaves. En las TMA de mayor complejidad serán obligatorios equipos RNAV o RNP 1 (espacio aéreo excluyente). En las TMA de menor complejidad todavía serán admitidas las operaciones de equipadas y no equipadas.

Aproximaciones IFR

1.62 En esa fase es esperada la ampliación de la aplicación de procedimientos RNP 0.3 y de RNP AR en aeropuertos seleccionados. También se espera el inicio de la aplicación de procedimiento GLS, que garantizarán la transición suave entre la fase en TMA y la fase de aproximación, utilizándose básicamente el GNSS para las dos fases.

Mediano Plazo (2011-2015)	
Espacio Aéreo	Valor RNAV o RNP
Ruta (Oceánico o Remoto)	RNP 4 en el Corredor EUR/SAM y Santiago-Lima
Ruta (Continental) *	RNP 2 en espacios aéreos seleccionados
TMA (SID/STAR)	Ampliación de la aplicación RNAV-1 o RNP-1 Aprobación RNAV 1 o RNP 1 mandatoria para aeronaves que operan en las TMA de mayor densidad de tránsito aéreo (espacio aéreo excluyente)
Aproximación	Ampliación de la aplicación de la RNP 0,3 y de la RNP AR aplicación de procedimientos GLS
* Equipo RNAV 2 (RNP2) requerido sobre FL 290 para vuelos hasta/desde Estados Unidos	

APPENDIX A / APÉNDICE A**TABLE CNS 3 - TABLA CNS 3****TABLE OF RADIO NAVIGATION AIDS - TABLA DE AYUDAS PARA LA RADIONAVEGACIÓN**

EXPLANATION OF THE TABLE

Column

- 1 Name of the country, city and aerodrome and, for route aids, the location of the installation.
- 2 The designator number and runway type:
 NINST C Visual flight runway
 NPA C Non precision approach runway
 PA1 C Precision approach runway, Category I
 PA2 C Precision approach runway, Category II
 PA3 C Precision approach runway, Category III
- 3 The functions carried out by the aids appear in columns 4 to 8 and 10 to 12.
 A/L C Approach and landing
 T C Terminal
 E C En route
- 4 ILS C Instrument landing system. Roman numerals I, II and III indicate the acting category of the ILS I, II or III. (I) indicates that the facility is implemented.
 The letter AD@ indicates a DME requirement to serve as a substitute for a marker beacon component of an ILS.
Note.C Indication of the category refers to the performance standard to be achieved and maintained, in accordance with pertinent specifications in ICAO Annex 10, and not to specifications of the ILS equipment, since both specifications are not necessarily the same.
 An asterisk (*) indicates that the ILS requires a Category II signal, but without the reliability and availability which redundant equipment and automatic switching provide.
- 5 Radio beacon localizer, be it associated with an ILS or to be used as an approach aid at an aerodrome.
- 6 Radiotelemetrical equipment. When an AX@ appears in column 6 in line with the VOR in column 7, this indicates the need that the DME be installed at a common site with the VOR.
- 7 VOR C VHF omnidirectional radio range.
- 8 NDB C Non-directional radio beacon.
- 9 The distances and altitude to which the VOR or VOR/DME signals are required, indicated in nautical miles (NM) or thousands of feet, or the nominal coverage recommended of the NDB, indicated in nautical miles.
- 10, 11 GNSS C global navigation satellite system (includes GBAS and SBAS).
 GBAS (ground-based augmentation system) implementation planned to be used in precision approach and landing CAT I, CAT II, CAT III.

SBAS (satellite-based augmentation system) implementation planned to be used for route navigation, for terminal, for non precision approach and landing. An AX@ indicates service availability; exact location of installation will be determined.

Note. C GPS receiver is under standard rules and ABAS (aircraft-based augmentation system).

12 Remarks

Note.C Columns 5 to 12 use the following symbols:

D C DME required but not implemented.

DI C DME required and implemented.

X C Required but not implemented.

XI C Required and implemented.

EXPLICACIÓN DE LA TABLA

Columna

- 1 Nombre del país, ciudad y aeródromo y, para las ayudas en ruta, el emplazamiento de la instalación.
- 2 Número de designador y tipo de pista:
 NINST C Pista de vuelo visual
 NPA C Pista de aproximación que no es de precisión
 PA1 C Pista de aproximación de precisión, Categoría I
 PA2 C Pista de aproximación de precisión, Categoría II
 PA3 C Pista de aproximación de precisión, Categoría III
- 3 La función efectuada por las ayudas figura en las Columnas 4 a 8 y 10 a 12.
 A/L C Aproximación y aterrizaje
 T C Terminal
 E C En ruta
- 4 ILS C Sistema de aterrizaje por instrumentos. Los números romanos I, II y III indican la categoría de actuación del ILS, I, II o III. (I) indican que la instalación está en servicio.
 La letra AD@ indica que se requiere un DME para sustituir a un componente de radiobaliza de un ILS.
Nota.C La indicación de la categoría se refiere a la norma de performance que ha de alcanzarse y mantenerse, de conformidad con las especificaciones pertinentes del Anexo 10 de la OACI, y no con las especificaciones del equipo ILS, ya que ambas especificaciones no son necesariamente las mismas.
 Un asterisco (*) indica que el ILS requiere una señal de Categoría II, pero sin la fiabilidad y disponibilidad que proporcionan el equipo de reserva y la conmutación automática.
- 5 Localizador de radiofaro, asociado a un ILS o para utilizarlo como ayuda de aproximación en un aeródromo.
- 6 Equipo radiotelemétrico. Cuando figura una AX@ en la Columna 6 junto con el VOR de la Columna 7, quiere decir que el DME debe instalarse en un sitio común con el VOR.
- 7 VOR C Radiofaro omnidireccional en VHF.
- 8 NDB C Radiofaro no direccional.
- 9 Las distancias y altitud a las cuales se requieren señales VOR o VOR/DME indicadas en millas marinas (NM) o miles de pies, o la cobertura nominal recomendada del NDB indicada en millas marinas.
- 10, 11 GNSS C sistema mundial de navegación por satélite (incluye GBAS y SBAS).
 GBAS (sistema de aumentación basado en tierra) según lo previsto se utilizará en las aproximaciones y aterrizajes de precisión de CAT I, CAT II y CAT III.
 SBAS (sistema de aumentación basado en satélites) según lo previsto, se utilizará en navegación en ruta, terminal, y aproximaciones y aterrizajes que no son de precisión. La AX@ indica disponibilidad de servicio; se determinará el emplazamiento exacto de la instalación.
Nota.C El receptor GPS se ajusta a reglas uniformes y ABAS (sistema de aumentación basado en la aeronave).

12 Observaciones

Nota.C En las Columnas 5 a 12 se utilizan los símbolos siguientes:

D C DME requerido pero no en servicio.

DI C DME requerido y en servicio.

X C Requerido pero no en servicio.

XI C Requerido y en servicio.

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ANGUILLA (United Kingdom)											
THE VALLEY WALL BLAKE, Anguilla I.	10 NPA	A/L					XI			X	
ANTIGUA AND BARBUDA											
SAINT JOHNS/V.C. Bird, Antigua I.	07 PA1 25 NPA	A/L A/L T E E	II* D		XI XI XI	XI XI	XI		X X		X X X
ARGENTINA											
BUENOS AIRES/Aeroparque Jorge Newbery	13 PA1	A/L	II D (I)		XI	XI			X		
BUENOS AIRES/Ezeiza Ministro Pistarini	11 PA3	A/L	III D (I)		XI	XI			X		
	35 PA1	A/L T E	II (I)		XI XI XI	XI XI			X		X X
	23 NPA	A/L T			XI XI	XI XI					
CATARATAS DEL IGUAZU/My. D. Carlos Eduardo Krause	31 PA1	A/L	I D (I)		X	XI			X		
	13 NPA	A/L T/E			X	XI		190/45			X
CERES		E			XI	XI		200/45			X
COMODORO RIVADAVIA/Gral. Mosconi	25 PA1	A/L	I (I)		X	XI			X		
	07 NINST	E E			XI	XI	XI	200/45			X
CORDOBA/Ing. Aer. A. L. Taravella	18 PA1 36 NINST	A/L T E E	II* D (I)		XI XI XI	XI XI	XI		X		X X X
	03 NPA 21 PA1	A/L A/L T E	I D (I)		XI XI XI XI	XI XI XI	XI	200/45		X	X X X
						XI		160/45			X
GENERAL PICO		E				XI		160/45			X
GUALEGUAYCHU		E						190/45			X
JUJUY/Jujuy	33 PA1 15 NINST	A/L T/E E	I (I) D		XI XI	XI XI	XI		X		X X
							XI	200/45 200			X X

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones			
									GBAS	SBAS				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
JUNIN		E					XI	200/45		X				
		E						XI	100	X				
LABOULAYE		E			X	XI		200/45		X				
LA PLATA		E					XI	230/45		X				
		E						XI	110	X				
LAS LOMITAS		E				XI		200/45		X				
MALARGUE		E			XI	XI		250/45		X				
		E										XI	X	
MAR DE PLATA/Brig. Gral. B. de la Colina	13 PA1 31 NINST	A/L	II D (I)		XI	XI	XI			X	X			
		T								XI	XI	XI		X
		E								XI	XI		250/45	X
		E									XI		110	X
MARCOS JUAREZ		E			X	XI		200/45		X				
MENDOZA/EI Plumerillo	18 NPA 36 PA1	A/L	II (I) D		XI	XI	XI				X			
		A/L								XI	XI	XI		X
		T								XI	XI	XI		X
		E								XI	XI		210/45	X
MONTE CASEROS		E			X	XI		210/45		X				
NEUQUEN/Presidente Peron	08 PA1 26 NINST	A/L	I (I)		XI	XI				X				
		T/E								XI	XI		200/45	X
		E										XI		X
ORAN		E					XI	70		X				
POSADAS/Libertador Gral. D. José de San Martín	01 NPA 19 PA1	A/L	II D (I)		XI	XI	XI				X			
		A/L								XI	XI	XI		X
		T								XI	XI			X
		E								XI	XI		200/45	X
RECONQUISTA		E			XI	XI		200/45		X				
RESISTENCIA/Resistencia	21 PA1 03 NINST	A/L	II (I)		XI	XI	XI			X				
		T/E								XI	XI		200/45	X
		E										XI		200
RIO GALLEGOS/Piloto Civil N. Fernández	25 PA1 07 NPA	A/L	II (I) D		XI	XI	XI			X				
		A/L								XI	XI	XI		X
		T/E								XI	XI		200/45	X
		E										XI		80
RIO GRANDE/Río Grande	25 PA1	A/L	I D (I)		X	XI				X				
		T/E								X	XI	XI	200/45	X
		E										XI		200
ROSARIO/Rosario		A/L	I (I)		XI	XI				X				
	19 PA1 01 NINST													

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SALTA/Salta	01 PA1 19 NINST	T/E	I (I) D		XI	XI		200/45		X	
		A/L			XI	XI	XI		X		
		T/E			XI	XI		200/45		x	
SAN ANTONIO DE ARECO		E			X	XI		200/45		X	
		E					XI	150		X	
SAN CARLOS DE BARILOCHE/San Carlos de Bariloche	11 NPA	A/L			XI	XI					X
	29 PA1	A/L	I D (I)		XI	XI	XI			X	
SAN JUAN		T/E			XI	XI		200/45			X
		E					XI	150		X	
		E			XI	XI		230/45			X
SAN RAFAEL		E					XI	180/45			X
		E					XI				X
TANDIL		E			XI	XI		210/45			X
TRELEW		E			XI	XI		200/45			X
TUCUMAN/Tte. Benjamin Matienzo	01 PA1 19 NINST	A/L	I (I)		XI	XI	X			X	
		T/E			X	XI		290/45			X
USHUAIA/Malvinas Argentinas	25 PA1 07 NPA	A/L	I D (I)				XI			X	
		A/L					XI			X	
		E					XI	200/45			X
ARUBA (Netherlands)											
ORANJESTAD/Reina Beatrix, Aruba I.	11 PA1 29 NPA	A/L	II* D (I)		XI	XI				X	
		A/L								X	
		T			XI	XI					X
		E			XI	XI		200/45			X
BAHAMAS											
ALICE TOWN/South Bimini, Bimini I.	NINST										X
		T			XI	XI					X
		E			XI	XI		200/45			X
CAPE ELEUTHERA/Cape Eleuthera, Eleuthera I.	NINST	E					XI	285			X
		E									X
FREEPORT/Intl, Grand Bahama I.	06 PA1 24 NPA	A/L	II* D		XI	XI	XI			X	
		A/L								X	
		T			XI	XI					X
GEORGE TOWN/EXUMA Intl, Exuma I.		A/L			XI	XI	XI			X	
GOVERNOR=S HARBOUR/Governor=S Harbour, Eleuthera I.	15 NPA				XI	XI				X	

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones	
									GBAS	SBAS		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
MARSH HARBOUR/Marsh Harbour, Abaco I.	NINST	T			XI	XI					X	
		E			XI	XI					X	
NASSAU/Intl, New Providence I.	14 PA1 32 NPA 09 NPA 27 NPA	A/L	II* D		XI	XI				X		
		T			XI	XI				X		
		E			XI	XI			200/45		X	
		E						XI	400		X	
NORTH ELEUTHERA/North Eleuthera, Eleuthera I.	NINST											
TREASURE CAY/Treasure Cay, Abaco I.	14 NPA 32 NPA				XI	XI					X	
		T			XI	XI					X	
WEST END/West End, Grand Bahama I.	11 NPA	E			XI	XI					X	
		E			X	X					X	
BARBADOS												
BRIDGETOWN/Grantley Adams Intl.	09 PA1 27 NPA	A/L	II* D		XI	XI	XI			X		
		T			XI	XI	XI				X	
		E			XI	XI			200/45		X	
		E						XI	355		X	
BELIZE												
BELIZE/Intl.	07 PA1 25 NPA	A/L	II* D (I)		XI	XI	XI			X		
		T			XI	XI	XI				X	
		E			XI	XI			200/45		X	
		E						XI	275		X	
BOLIVIA												
CHARAÑA		E					XI	60			X	
COCHABAMBA/Jorge Wilsterman	31 PA1	A/L	I D	XI	XI	XI				X		
		E			XI	XI			100/45		X	
		E						XI	100		X	
LA PAZ/EI Atto Intl.	10R PA1	A/L	II* D (I)	XI	XI	XI	XI			X		
		T			XI	XI	XI				X	
		E			XI	XI	XI		100/45		X	
		E						X	275		X	
CALAMARCA		T			XI	XI				X		
		E			XI	XI			100/45		X	

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RIBERALTA		E E					XI XI	100/45 100		X X	
ROBORE		E E				XI	X	100/45 100		X X	
SANTA ANA		E					X	100		X	
SANTA CRUZ/Viru Viru	15 NPA 33 PA1	A/L A/L T E E	I I	XI	XI XI	XI XI		200/45 200	X X		X X
SUCRE		E E			XI	XI	XI	125/45 125		X X	
TARIJA/Oriel Lea Plaza	13 NPA	A/L E E			XI	XI XI	XI	100 80			X X
TRINIDAD/Tte. Av. Jorge Henrich Arauz	14 PA1 32 NPA	A/L A/L E E	II		XI	XI	XI		X X		X X
YACUIBA		E					XI	100		X	
BRAZIL											
ABROLHOS		E					XI	90			
ALDEIA		T E					XI XI	30			
ALTA FLORESTA		E E			XI	XI	XI	200/45 200			
AMAPA		E					XI	180			
ARACAJU		E E			XI	XI	XI	120/45 100			
BAGE		E E				XI	XI	100/45 100			
BARREIRAS		E E				XI	XI	200/45 200			
BAURU		E E			X	X	XI	200/45 200			
BELEM/Val De Caes	06 PA1 24 NPA	A/L A/L T/E E	ID	XI	XI XI XI	XI XI XI	XI	200/45 150			

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BELO HORIZONTE/Tancredo Neves Intl.	16 PA1	A/L	I	XI	XI	XI					
	34 NPA	A/L T/E			XI XI	XI XI	XI XI		200/45 100		
BOA VISTA/Boa Vista Intl.	07 PA1	A/L	I		XI	XI	XI				
	25 NPA	A/L E E			XI XI	XI XI	XI XI		200/45 200		
BONSUCESSO		E/T			XI	XI		200/45			
BRAGANCA		T			XI	XI		100/25			
		E			XI	XI		200/45			
BRASILIA/Brasilia Intl.	11 PA1	A/L	ID	XI	XI	XI					
	29 PA1	A/L	ID		XI	XI					
		T			XI	XI	XI				
		E E				XI XI	XI XI	XI XI	200/45 200		
CAMPINAS/Viracopos	15 PA1	A/L	I	XI	XI	XI					
	33 NPA	A/L			XI	XI					
		T			XI	XI	XI				
		E			XI	XI		200/45			
CAMPO GRANDE/Campo Grande Intl.	06 PA1	A/L	ID	XI	XI	XI					
	24 NPA	A/L			XI	XI	XI				
		T			XI	XI	XI				
		E E				XI XI	XI XI	XI XI	200/45 200		
CAMPOS		E				XI	120				
CARAJÁS		E			XI	XI	200/45				
							XI	200			
CARAUARI		E					XI	120			
CARAVELAS		E					XI	200/66			
		E					XI	130			
CAROLINA		E			X	XI		130/45			
		E					XI	130			
CAXIAS		T			XI	XI	XI				
		E			XI	XI		200			
CONGONHAS		E			XI	XI		200/45			
CORUMBÁ/Corumbá Intl.	09 PA1	A/L	II* D		X	X	XI				
	27 NPA	A/L			X	X	XI	200/45			
		T			X	X	XI				
		E				X	X				
		E						XI	100		
CRUZEIRO DO SUL/Cruzeiro do Sul Intl.	09 NPA	A/L			XI	XI	XI				

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CUIABÁ/Marechal Rondon	27 NPA	A/L			XI	XI	XI	200/45 150			
		E			XI	XI					
		E			XI		XI				
CURITIBA/Afonso Pena Intl.	17 PA1 35 NPA	A/L	ID		XI	XI	XI	200/45			
		A/L			XI	XI	XI				
		T			XI	XI	XI				
		E			XI	XI					
		E					XI				
FLORIANÓPOLIS/ Hercílio Luz Intl.	15 PA3 33 NPA	A/L	III		XI	XI	XI	200/45			
		A/L			XI	XI	XI				
		T			XI	XI	XI				
		E			XI	XI					
		E					XI				
FORTALEZA/ Pinto Martins	14 PA1 32 NPA	A/L	I		XI	XI	XI	200/45 150			
		A/L			XI	XI	XI				
		T			XI	XI					
		E			XI	XI					
		E					XI				
FOZ DO IGUAÇU/Cataratas Intl.	14 PA1 32 NPA	A/L	I		XI	XI	XI	200/45			
		A/L			XI	XI	XI				
		T			XI	XI					
		E			XI	XI					
		E									
GABRIEL		E			XI	XI		200/45 200			
		E					XI				
GUAJARÁ		E					XI	50			
ILHEUS		E			X	X		150/45 95			X
		E					XI				X
IMPERATRIZ		E			XI	XI		200/45			X
ITACOATIARA		E					XI	125			X
JACAREACANGA		E			XI	XI		135/45 75			X
		E					XI				
LAGES		E					XI	120			X
LAPA		E				XI		200/45 200			
		E					XI				
LONDRINA		E			XI	XI		200/45			
LUZIANIA		T			X	X					
		T					XI				
MACAE		E			XI	XI		120/25			

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MACAPA/Macapa Intl.	08 PA1 26 NPA	A/L A/L E E	I		XI XI XI	XI XI XI	XI XI				
MACEIO		E E			XI	XI		90/25 50			
MANAUS/Eduardo Gomes Intl.	10 PA1 28 NPA	A/L A/L T E	I		XI XI XI XI	XI XI XI XI	XI XI				
MARICA		T E			XI XI	XI XI		200/45 230/45			
MONTE CLAROS		E					XI	100			
MOSSORO		E E			XI	XI		200/45 90			
MOZ		E					XI	90			
NANUQUE		E			XI	XI		200/45			
NATAL/Augusto Severo Intl.	16 L PA1 34 R NPA	A/L A/L T E E	I		XI XI XI XI	XI XI XI XI	XI XI				
PALMAS		E E			XI	XI		200/45 150			
PARANAGUA		E					XI	70			
PARNAIBA		E					XI	30			
PAULO AFONSO		E E				XI		200/45 120			
PELOTAS		E E				XI		130/45 130			
PETROLINA		E E			XI	XI		200/45 150			
PIRAI		E E			XI	XI		200/45 150			
POCOS		E					XI	90			
PONTA PORA/Ponta Pora Intl.	03 NPA 21 NPA	A/L A/L E					XI XI XI				
PORTO ALEGRE/Salgado Filho Intl.	11 PA1 29 NPA	A/L A/L T E	I	XI XI	XI XI XI XI	XI XI XI XI	XI				
								160/45			

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PORTO		E					XI	160			
		T			XI	XI		100			
		E				XI	XI		200/45		
PORTO VELHO		E			XI	XI		200/45			
RECIFE /Guararapes	18 PA1 36 NPA	A/L	I		XI	XI	XI				
		A/L			XI	XI	XI				
		T			XI	XI					
		E			XI	XI		200/45			
		E						XI	200		
REDE		T			XI	XI					
		E			XI	XI		200/45			
RIO BRANCO		E			XI	XI		200/45			
		E					XI	100			
RIO DE JANEIRO/Galeão Antônio Carlos Jobim Intl.	10 PA2 28 PA1 15 PA1 33 NINST	A/L	II	XI	XI	XI					
		A/L	I	XI	XI	XI					
		A/L	I	XI	XI	XI					
RONDONIA		E				XI	50				
SALVADOR/Deputado Luis Eduardo Magalhaes	10 PA1 28 NPA	A/L	I	XI	XI	XI					
		A/L				XI	XI	XI			
		T				XI	XI		200		
SANTA CRUZ		T			XI	XI					
		E			XI	XI		125/45			
SANTANA		T			XI	XI					
		E			XI	XI		100/45			
SANTAREM/Santarem Intl.	10 NPA 28 NPA	A/L			XI	XI	XI				
		A/L			XI	XI	XI				
		T			XI	XI	XI				
		E			XI	XI	XI	200/45			
SAO LUIS/ Marechal Cunha Machado	06 PA1 24 NPA	A/L	I	XI	XI	XI	XI				
		A/L				XI	XI	XI			
		T/E				XI	XI	XI	150/30		
SAO PAULO/Guarulhos Intl.	09R PA2 27L PA1 09L PA1 27R PA1	A/L	II	XI	XI	XI					
		A/L	I	XI	XI	XI					
		A/L	I	XI	XI	XI					
		A/L	I	XI	XI	XI					
SOROCABA		T			XI	XI					
		E			XI	XI		200/45			
TABATINGA/Tabatinga Intl.	12 NPA 30 NPA	A/L					XI				
		A/L					XI				
		T					XI	200			

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TEFE		E E			XI	XI		200/45 50			
TRES MARIAS		E			XI	XI		115/20			
UBERABA		E					XI	130			
URUBUPUNGA		E E			XI	XI		200/45 100			
URUBURETAMA		E					XI	80			
URUGUAIANA/ Rubem Berta Intl.	09 NPA 27 NPA	A/L A/L T					XI XI XI				80
VITORIA		E			XI	XI		200/45			
CAYMAN ISLANDS (United Kingdom)											
CAYMAN BRAC/Gerrard Smith Intl.	09 NPA	A/L					XI	200/45		X	
GEORGETOWN/Owen Roberts Intl.	08 PA1 26 NPA	A/L A/L E E			XI	XI	XI			X	
					XI	XI		200/45 350			X X
CHILE											
ANTOFAGASTA/Cerro Moreno	18 NPA 36 NPA	A/L A/L T/E		XI	XI	XI					X X X
					XI	XI		100/25			X
ARICA/Chaculluta	02 NPA 20 NPA	A/L A/L T E E		XI	XI	XI	XI				X X X X
					XI	XI		185/45			X
BALMACEDA		E E			XI	XI		200/45 200			X X
CALAMA		E			XI	XI		70/250 160			X
							X				
CALDERA		E E			XI	XI		200/45 350			X X
CHAITEN		E					XI	100			X
CHILLAN		E E			XI	XI		160/45			X
							XI				
CONCEPCION/Carriel Sur	02 PA1 20 NPA	A/L T E	I	XI	XI	XI				X	
					XI	XI	XI				X X
					XI	XI		95/45			X

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		E					XI			X	
CURICO		E			XI	XI		60/45		X	
		E					XI			X	
ISLA REY JORGE		E			XI	XI		200/45		X	
		E					XI	200		X	
IQUIQUE/Gral. Diego Aracena	18 NPA	A/L		XI	XI	XI				X	
		E					XI			X	
PUERTO AGUIRRE		E			XI	XI		130/25		X	
		E					XI			X	
PUERTO MONTT/EI Tepual	17 NPA 35 PA1	A/L	II*	XI	XI	XI			X		
		A/L			XI	XI			X		
		T			XI	XI					X
		E			XI	XI		155/45			X
		E					XI				X
PUERTO NATALES		E			XI	XI		100/25			X
PUNTA ARENAS/Presidente Cabo Ibañez del Campo	07 NPA	A/L							X		
	25 PA1	A/L	I D (I)	XI	XI	XI			X		
		T			XI	XI	XI				X
		E			XI	XI		200/45			X
		E			XI	XI	XI	350			X
QUINTERO		E			XI	XI		85/45			X
SANTIAGO/Arturo Merino Benitez	17 PA3 35 NPA	A/L	III		XI	XI			X		
		A/L							X		
		E					XI				X
SANTO DOMINGO		E			X	XI		200/45			X
		E					XI				X
TABON		E					X	90			X
TEMUCO/Manquehue	06 NPA 24 NPA	A/L			XI	XI					X
		A/L			XI	XI					X
		E			XI	XI		90/45			X
TONGOY		E			XI	XI		200/45			X
		E					XI	350			X
VALDIVIA		E			XI	XI		95/45			X
COLOMBIA											
ARAUCA		E			XI	XI		200/45			X
ABEJORRAL		E					XI	150			X
AMBALEMA		E					XI	150			X
BARRANCA BERMEJA		E			XI	XI		200/45			X
		E					XI	150			X

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BARRANQUILLA/Ernesto Cortissoz	04 PA1 22 NPA	A/L A/L T/E E	I (I)	XI	XI XI XI	XI XI	XI	200/45 150	X	X	
SANTAFE DE BOGOTA/Eldorado	13 RPA2 31 LNINST 13 LPA2 31 RNINST	A/L A/L T E	II (I) II	XI XI	XI XI	XI XI	XI XI	200/45 180 200/45 180	X X	X	
BUCARAMANGA		E E			XI	XI	XI	200/45 150			X
BUENAVENTURA		E			XI	XI	XI	200/45 150			X
BUVIS		E			XI	XI		200/45			X
CALI/Alfonso Bonilla Aragón	01 PA1 19 NPA	A/L A/L T/E	I (I)	XI	XI XI XI	XI XI		200/45 100	X	X	
CARTAGENA/Rafael Nuñez	36 NPA 18 NINST	A/L T/E			XI	XI	XI	200/45			
CUCUTA/Camilo Daza	15 PA1 33 NINST 02 NINST 20 NINST	A/L T/E	I (I)	XI	XI	XI		200/45	X	X	
EL BANCO		E			XI	XI		200/45			X
GIRARDOT		E			XI	XI		240/45			X
LA MINA		E			XI	XI		200/45			X
LETICIA/Alfredo Vasquez Cobo	02 NPA 20 NPA	A/L A/L T/E E			XI XI XI	XI XI	XI	200/45 300			X X
LOS CEDROS		E			XI	XI		200/45			X
MAGANGUE		E			XI	XI		200/45			X
MARIQUITA		E			XI	XI		200/45			
MERCADERES		E E			XI	XI	XI	200/45 150			X X
MITU		E E			XI	XI	XI	200/45 200			X X
MONTERIA		E			XI	XI		200/45			X
OTU		E			XI	XI		200/45			

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CUBA											
CAMAGUEY/Ignacio Agramonte Intl.	07 PA1 25 NPA	A/L A/L T	II*	XI	XI	XI			X X		
					XI	XI		170/45		X	
CAYABO		E					XI	100		X	
CAYO LARGO DEL SUR/Vio Acuña Intl.	12 NPA	A/L			XI	XI				X	
		E			XI	XI		170/45		X	
		E					XI	170		X	
CIEGO DE AVILA/Maximo Gomez Intl.	07 NPA	A/L/T/E			XI	XI	XI	190/45		X	
HABANA/Jose Martí Intl.	06 PA1 24 NPA	A/L A/L T	II*	XI	XI	XI			X X		
					XI	XI		170/45		X	
HOLGUIN/Frank Pais Intl.	05 NPA	A/L			X	XI	XI			X	
MANZANILLO		E			XI	XI		85/45		X	
NUEVA GERONA		E					XI	170			
NUEVAS		E			X	XI		190/45		X	
SANTIAGO DE CUBA/Antonio Maceo Intl.	09 NPA	A/L		XI	XI	XI				X	
	27 NPA	A/L T E			XI	XI		170/45 70		X X X	
VARADERO/Juan Gualberto Gomez Intl.	06 PA1 24 NPA	A/L T E	I	X	XI	XI			X		
					XI	XI		160/45		X X X	
DOMINICA											
MELVILLE HALL/Dominica	NINST									X	
ROSEAU/Canefield	NINST									X	
DOMINICAN REPUBLIC											
BARAHONA/María Montés Intl.	12 NPA	A/L			XI	XI	XI			X	
CABO ROJO		E E			XI	XI		200/45 210		X X	
HERRERA/Herrera Intl.	01 NPA 19 NPA	A/L A/L				XI	XI			X X	
LA ROMANA/La Romana Intl.	NINST						XI			X	

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PUERTO PLATA/Gregorio Luperon Intl.	08 NPA	A/L							X		
	26 NPA	A/L T E			XI	XI XI XI	XI			X	X X
PUNTA CANA/Punta Cana Intl.	09 NPA	A/L			X	XI	XI				X
PUNTA CAUCEDO		T			XI	XI	X				X
		E			XI	XI		200/45			X
		E					X	365			X
SANTIAGO/Cibao Intl.	NINST										X
SANTO DOMINGO/De las Américas Intl.	17 PA1	A/L	II* D (I)		XI	XI	XI			X	
	35 NPA									X	
ECUADOR											
AZCAZUBI		T					XI	40			X
CHONGON		T					XI	40			X
CONDORCOCHA		T			XI	XI					X
		E			XI	XI		200/45			X
CUENCA		E			XI	XI		200/45			X
		E					XI	50			X
ESMERALDAS		E			XI	XI		200/45			X
		E					XI	350			X
GUAYAQUIL/Simon Bolivar Intl	03 NPA	A/L								X	
	21 PA1	A/L	II*	XI	XI	XI				X	
		T E			XI XI	XI XI		130/45			X X
LATACUNGA/Cotopaxi Intl	18 PA1	A/L	I		XI	XI	XI	30		X	
MACHALA		E			XI	XI		140/25			X
MANTA/Eloy Alfaro Intl	23 PA1	A/L	I D		XI	XI				X	
		T			XI	XI		60/25			
PALMA		T					XI	40			X
QUITO/Mariscal Sucre Intl	17 NPA	A/L								X	
	35 PA1	A/L	II*	XI	XI	XI				X	
SALINAS		E			XI	XI		100/250			
EL SALVADOR											
SAN SALVADOR/EI Salvador Intl.	07 PA1	A/L	II*	X	XI	XI				X	
	25 NPA									X	
		T				XI	XI				X
		E E				XI XI	XI XI		200/45 235		

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SAN SALVADOR/Ilopango Intl.	15 NPA	A/L T E		XI	XI	XI	XI X	200/45	X	X	
FRENCH ANTILLES (France)											
FORT-DE-FRANCE/Le Lamentin, Martinique	09 PA1 27 NPA	A/L A/L T E	II* D		XI	XI		200/45	X		
POINTE-A-PITRE/Le Raizet, Guadeloupe	11 PA1 29 NPA	A/L T E E	II* D		XI	XI	XI	200/45 250	X	X	
SAINT-BARTHELEMY/ Saint-Barthelemy, Guadeloupe	NINST									X	
SAINT-MARTIN/Grand Case, Guadeloupe	NINST										X
FRENCH GUIANA (France)											
CAYENNE/Rochambeau	08 PA1 26 NPA	A/L A/L E E	II* D (I)		XI XI XI	XI XI XI	XI	200/45 300	X X		X X
GRENADA											
CARRIACOU/Lauriston Intl.	NINST										X
SAINT GEORGES/Point Salines	10 PA1 28 NPA	A/L T E	II*		XI	XI XI	XI	200/45	X X		X X
GUATEMALA											
CHINAUTLA		T E			X X	X X		100/45			X X
FLORES/Flores Intl.	10 PA1	A/L E	I D		XI XI	XI XI	X	75/45	X		X
GUATEMALA/La Aurora	01 NPA 19 PA1	A/L A/L T	II* D	X	XI	XI XI	XI		X X		

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IZTAPA		E					XI	110/45		X	
		E					XI	200		X	
		E						X	100		X
PUERTO BARRIOS/Puerto Barrios	NINST									X	
RABINAL		E					XI	70		X	
		E					X	200		X	
SAN JOSE/San Jose	15 NPA	A/L			XI	XI				X	
GUYANA		T			XI	XI					
		E			XI	XI				X	
		E									X
TIMEHRI/Cheddi Japan Intl.	06 PA1	A/L	II*		XI	XI	XI		X		
KATA		T			XI	XI	XI				X
		E			XI	XI		200/45		X	
		E						X	300		X
HAITI		T					X				X
		E					X	50			X
CAP HAITIEN/Cap. Haitien Intl.	NINST				XI	XI					X
PORT-AU-PRINCE/Port-au-Prince Intl.	09 PA1 27 NPA	A/L	II* D		XI	XI				X	
		A/L			XI	XI				X	
OBLEON		T			XI	XI					X
		E									X
HONDURAS		E					X	55			X
		A/L			XI	XI	XI	200/45	X		
		E			XI	XI					X
LA CEIBA/Golosón Intl.	06 NPA	E					XI	110			
ROATAN		T			XI	XI		60	X		
		E			XI		XI	180/25			X
SAN PEDRO SULA/La Mesa Intl.	03 NPA 21 PA1	A/L	I D		XI	XI	XI			X	
		A/L								X	
		T					XI				X
		E					XI	200/45			X
TEGUCIGALPA/Toncontin Intl.	01 PA1 19 NPA	E					XI	300			
		A/L			X	X	XI		X		
		A/L								X	
		T			XI	XI					X
TEGUCIGALPA/Toncontin Intl.		E			XI	XI					X
		E					XI	300			X

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
JAMAICA											
KINGSTON/Norman Manley Intl.	12 PA1 30 NPA	A/L	II* D		XI	XI			X		
		T			XI	XI	XI		X		
		E			XI	XI		200/45		X	
		E					XI	400			X
MONTEGO BAY/Sangster Intl.	07 PA1 25 NPA	A/L	II* D		XI	XI	XI		X		
		T			XI	XI	XI		X		X
		E			XI	XI		200/45		X	
		E					XI	325			X
MEXICO											
ACAPULCO/Gral. Juan N. Alvarez Intl.	10 PA1 28 PA1	A/L	II* II*	X	XI	XI			X		
		A/L		X	XI	XI		X			
		T			XI	XI		200/45		X	
		E					X				X
		E									X
AGUASCALIENTES	NPA	A/L									
		E			XI	XI					X
APAN OTUMBA		T									X
		E									X
		T			XI	XI					
		E			XI	XI					
BAHIAS DE HUATULCO/Bahías de Huatulco	07 NPA	A/L			XI	XI					X
	25 NPA										X
		E			XI	XI					X
CAMPECHE/Ing. Alberto Acuña Ongay	16 NPA	A/L			XI	XI					X
	24 NPA	A/L									
					XI	XI					X
CANCUN/Cancun Intl.	12 PA1 30 NPA	A/L	II* D (I)		XI	XI			X		
		T			XI	XI			X		X
		E			XI	XI		135/45		X	
CHETUMAL/Chetumal Intl.	10 NPA 28 NPA	A/L			XI	XI	XI				X
		E			XI	XI	XI				X
CHIHUAHUA/Gral. Roberto Fierro Villalobos Intl.	18L NP	A/L			XI	XI	XI		X		
	36R PA1	A/L	II* D						X		
	T			XI	XI	XI				X	
E		XI		XI	XI					X	
CHOIX		E					XI				X
CIUDAD JUAREZ/Abraham González Intl.	03 NPA	A/L			XI	XI					X

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
LORETO/Loreto Intl.	34 NPA	A/L E			XI XI	XI XI				X X	
LOS MOCHIS	NPA	A/L E E			XI XI	XI XI		120/45 120		X X X	
MANZANILLO/Playa de Oro Intl.	10 NPA	A/L E			XI X	XI X				X X	
MATAMOROS/Intl.	15 NPA 33 NPA	A/L A/L T E			XI XI XI	XI XI XI				X X X X	
MAZATLAN/Gral. Rafael Buelna Intl.	08 NPA 26 PA1	A/L A/L T E	II* D		XI XI XI	XI XI XI		200/45	X X		X X
MERIDA/Lic. Manuel Crescencio Rejón Intl.	10 PA1 28 NPA	A/L A/L T E E	II*		XI XI XI	XI XI XI	XI		X X		X X X
MEXICALI/Gral. Rodolfo Sanchez Taboada Intl.	28 NPA	A/L T E			XI XI XI	XI XI XI		70/45			X X X
MEXICO/Lic. Benito Juárez Intl.	05R PA1 23L PA1	A/L A/L T E	II* D II* D		XI XI XI	XI XI XI	XI		X X		X X X
MINATITLAN	NPA	A/L E			XI XI	XI XI		70/45			X X
MONCLOVA	NPA	A/L E			XI	XI					X
MONTERREY/Aeropuerto Del Norte Intl.	20 NPA	A/L T E			XI XI	XI XI					X X
MONTERREY/Gral. Mariano Escobedo Intl.	11 NPA 29 PA1	A/L A/L T E	II* D		XI XI	XI XI		80/45	X X		X X
MORELIA/Gral. Francisco J. Mujica Intl.	05 NPA	A/L E			XI XI	XI XI					X X
NAUTLA		E E			XI	XI		200/45 400			X X

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NUEVO LAREDO/Quetzalcoatl Intl.	14 NPA 32 NPA	A/L A/L T E			XI XI XI	XI XI XI		60/45		X X X X	
OAXACA	NPA	A/L T E			XI XI	XI XI		110/45 100		X X X	
OTUMBA		T E			XI XI	XI XI				X X	
PACHUCA		T E			XI XI	XI XI		70/45		X X	
POZA RICA	NPA	A/L E			XI	XI		200/45		X	
PUEBLA	NPA	A/L E T			XI	XI				X	
PUERTO ESCONDIDO	NPA	A/L E			XI	XI				X	
PUERTO PEÑASCO		E			XI	XI		105/45		X	
PUERTO VALLARTA/Lic. Gustavo Díaz Ordaz Intl.	04 PA1 22 NPA	A/L A/L T E	II* D		XI XI XI	XI XI XI			X X	X X	
QUERETARO	NPA	A/L E			XI	XI		200/45		X	
REYNOSA/Gral. Lucio Blanco Intl.	31 NPA	A/L T E			XI XI XI	XI XI XI		135/45		X X X	
SALTILLO	PA1	A/L E			XI	XI				X	
SAN JOSE DEL CABO/San Jose del Cabo Intl.	16 NPA 34 NPA	A/L A/L E			XI XI	XI XI				X X	
SAN LUIS POTOSI	NPA	A/L E			XI	XI				X	
SAN MARCOS		T E					XI			X X	
SAN MATEO		T			XI	XI				X	
SAN QUINTIN		E			XI	XI				X	
SANTA ANITA		T					X			X	

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SANTA LUCIA		T E			XI	XI					
SANTA ROSALIA		E			XI	XI		135/45		X	
TAMPICO/Gral. Francisco Javier Mina Intl.	13 PA1 31 NPA	A/L A/L T E E	II* D (I)		XI XI	XI XI	XI	200/45 265	X X		
TAMUIN		E				XI		75/45		X	
TAPACHULA/Tapachula Intl.	05 NPA	A/L E			XI XI	XI XI		185/45		X X	
TEPIC		E					X			X	
TEQUESQUITENGO		T E			XI XI	XI XI		100/45		X X	
TIJUANA/Gral. Abelardo L. Rodriguez Intl.	09 PA1 27 NPA	A/L A/L T E	II* D (I)		XI XI	XI XI		50/45	X X		
TOLUCA/Lic. Adolfo Lopez Matos	15 PA1 33 NPA	A/L A/L E	II D (I)		XI XI	XI XI				X X X	
TORREON/Torreon Intl.	12 NPA 30 NPA	A/L A/L T E			XI XI	XI XI				X X X	
TUXTLA GUTIERREZ	PA1	A/L E T	II* D (1)		XI	XI				X	
VERACRUZ/Gral. Heriberto Jara Intl.	18 NPA 36 NPA	A/L A/L T E			XI XI	XI XI		70/45		X X X X	
VILLAHERMOSA/C.P.A. Carlos Rovirosa Intl.	08 NPA	A/L T E			XI XI	XI XI				X X X	
ZACATECAS/Gral. Leobardo C. Ruiz Intl.	02 NPA	A/L E			XI	XI				X X	
MONTSERRAT (United Kingdom)											
PLYMOUTH/W.H. Bramble,	NINST	A/L					XI			X	

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Montserrat I.											
NETHERLANDS ANTILLES (Netherlands)											
KRALENDIJK/Flamingo, Bonaire	10 NPA 28 NPA	A/L A/L E		XI	X XI	XI XI					X X X
ORANJESTAD/F.D. Roosevelt, Saint Eustatius I.	NINST										X
PHILIPSBURG/Prinses Juliana, St. Maarten I.	09 PA1 27 NPA	A/L A/L T E E	II* D		XI XI XI	XI XI XI	XI			X X	X X X
WILLEMSTAD/Hato, Curacao I.	11 PA1 29 NPA	A/L A/L T E E	II* D		XI XI	XI XI	XI			X X	X X X
NICARAGUA											
MANAGUA/Augusto César Sandino Intl.	09 NPA 27 PA1	A/L A/L T E E	II*		XI XI XI	XI XI	XI			X X	X X X
PUERTO CABEZAS/Puerto Cabezas	09 NPA	A/L T E			XI XI XI	XI XI					X X X
PANAMA											
PANAMA/Marco A. Gelabert	NINST										X
BOCAS DEL TORO/Bocas Del Toro	08 NPA 26 NPA	A/L A/L E			XI XI	XI XI					X X X
CHANGUINOLA/Cap. Manuel Niño	NINST										X
DAVID/Enrique Malek	04 NPA	A/L E E			XI XI XI	XI XI	XI				X X X
FRANCE/Enrique Jiménez LA PALMA		T E			XI	XI XI					X X
PANAMA/Tocumen Intl.	03R PA1 21L NPA 03L NPA	A/L A/L A/L	II*		XI	XI	XI				X X X

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones		
									GBAS	SBAS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
TABOGA		T			XI	XI					X		
		E			XI	XI	XI	200/45			X		
		E					XI				X		
WANNKANDI		E					XI				X		
PARAGUAY													
ASUNCION/Silvio Pettirossi	02 NPA 20 PA1	A/L	II* D (I)							X			
		A/L				XI	XI	XI			X		
		T				XI	XI	XI				X	
		E				XI	XI		200/45			X	
		E						XI	300			X	
CIUDAD DEL ESTE/Guaraní	23 PA1 05 NPA	A/L	II		XI	XI				X			
		A/L			XI	XI				X			
CONCEPCION		E					XI	65			X		
ESTIGARRIBIA		E				X		200/45			X		
		E					XI	300			X		
FILADELFIA		E					X	180			X		
PERU													
ANDAHUAYLAS		E				XI		150/250			X		
AREQUIPA/Rodríguez Ballón Intl.	09 PA1 NINST	A/L	I D		XI	XI				X			
		T			XI	XI		165			X		
		E			XI	XI					X		
ASIA		E			XI	XI		85/45			X		
AYACUCHO		E					XI	200			X		
CAJAMARCA		E					XI	140			X		
CHACHAPOYAS		E				XI		200/45			X		
CHICLAYO/Cap. José Quiñones González	18 PA1	A/L	I D (I)		XI	XI				X			
		E			XI	XI		90/25			X		
		T			XI	XI					X		
CHIMBOTE		E			X	XI		120/25			X		
CUZCO/Velasco Astete	NINST										X	LLZ associated with the approach procedure/ LLZ associé à la procédure d=approche/ LLZ asociado con el procedimiento de aproximación	
	27 NPA	A/L			X	X					X		
		T			X	X							

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SAN PAT	10 PA1	A/L	II*		XI (Tacan)	XI			X		
	28 NPA	A/L			XI (Tacan)	XI			X		X
		T			XI (Tacan)	XI		200/45			X
		E			XI (Tacan)	XI					X
		T					XI			X	
SAINT KITTS AND NEVIS											
BASSETERRE/Robert L. Bradshaw, Saint Kitts I.	07 NPA	A/L		XI	X	X					X
	25 NPA	A/L									X
CHARLESTOWN/Newcastle, Nevis I.	NINST										X
SAINT LUCIA											
CASTRIES/Vigie	NINST			X							X
		E					XI	65			X
VIEUX-FORT/Hewanorra Intl.	10 PA1	A/L	I		XI	XI	XI		X		
	28 NPA	A/L							X		
		T			XI	XI					X
		E			XI	XI		65/45			X
SAINT VINCENT AND THE GRENADINES											
CANOVAN/Canovan	13/31 NPA						XI				
KINGSTOWN/E.T. Joshua	07 NPA	A/L		XI							X
		E					XI	400			X
MUSTIQUE	18 NPA	A/L					X				X
UNION ISLAND/Union Island	NINST										X
SURINAME											
NEW NICKERIE/Maj. Fernandes	NINST										X
PARAMARIBO/Zorg En Hoop	NINST										X
		T					X				X
ZANDERY/Johan Adolfo Pengel Intl.	11 PA1	A/L	II*		XI	XI	XI		X		
	29 NPA	A/L							X		
		T				XI					X
		E			XI			200/45			X
		E					X	300			X
TRINIDAD AND TOBAGO											
PORT OF SPAIN/Piarco Intl. Trinidad I.	10 PA1	A/L	II*				XI	X		X	

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SCARBOROUGH/Crown Point, Tobago I.	28 NPA	A/L T E			XI	XI		200/45 400	X	X X	
	11 NPA	A/L					XI			X	
		E					XI	150		X	
	TURKS AND CAICOS ISLANDS (United Kingdom)										
GRAND TURK/Grand Turk Intl.	11 NPA	A/L		X	XI (Tacan)	X					X
		E			XI (Tacan)	X	XI	200/45		X	
PROVIDENCIALES/Providenciales Intl.	10 NPA	A/L					XI			X	
	28 NPA	A/L								X	
SOUTH CAICOS/South Caicos Intl.	NINST									X	
URUGUAY											
COLONIA/Internacional de Colonia	12 NPA	A/L					XI			X	
	30 NPA	A/L								X	
DURAZNO		E				XI		110/45		X	
MALDONADO/Intl C/C Calos A. Curbelo Laguna del Sauce	08 PA1	A/L	I D		XI	XI	XI			X	
	26 NPA	A/L			XI	XI				X	
E								200/45		X	
MELO		E				XI		200/45		X	
MONTEVIDEO/Aeropuerto Angel S. Adami Intl.	18 NPA						X			X	
MONTEVIDEO/Carrasco Intl.	NINST									X	
	06 NPA	A/L							X		
	24 PA1	A/L	II*		XI	XI	XI			X	
		T E E				XI XI XI	XI XI XI		200/45 200		X X X
RIVERA/Cerro Chapeu Intl.	04 NPA	A/L				XI				X	
SALTO/Nueva Hesperides Intl.	04 NPA	A/L				XI	XI				X
	22 NPA	A/L									X
		E					XI	XI			X
VENEZUELA											
BARCELONA/Gral. José Antonio Anzoategui Intl.	15 PA1	A/L	II*		XI (Tacan)	XI				X	
		E			XI (Tacan)	XI		55/25		X	

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones			
									GBAS	SBAS				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
BARINAS		E			XI	XI		100/25		X				
BARQUISIMETO		E			XI	XI		190/35		X				
CABO CODERA		E			XI	XI	X	200/45 300		X				
		E								X				
CAICARA DEL ORINOCO		E			XI	XI				X				
CANAIMA		E			XI	XI				X				
CARACAS/Simon Bolivar Intl., Maiquetia	09 PA1 27 NPA	A/L	II* D (I)		XI	XI	XI			X				
		T								X				
		E								XI		XI	200/45	X
		E										XI	300	X
CARORA		E			XI	XI				X				
CARUPANO		E					X	70		X				
CIUDAD BOLIVAR		E			XI	XI		100/45		X				
CORO		E			XI	XI		110/45		X				
CUMANA		T				XI				X				
EL CANTON		E			XI	XI		200/45		X				
ELORZA		E					XI	165		X				
GRAND ROQUE		T				XI					X			
		E									XI	XI	200/45	X
		E											X	220
GUYANA		E			XI	XI		200/45		X				
LA DIVINA PASTORA		E			XI	XI		200/45			X			
		E										XI	280	X
MARACAIBO/La Chinita Intl.	02L PA1 20R NP	A/L	II*		XI	XI	X				X			
		T									XI	XI		X
		E									XI	XI	200/45	X
		E											X	280
MARACAY		E				X				X				
MARGARITA I./ Intl. Del Caribe, Gral. Santiago Marino	09 PA1	A/L	II*		XI	XI	XI				X			
		T									XI	XI		
		E									XI	XI	200/45	X
		E											X	300
MATURIN		T			XI	XI				X				

Station/Territory Station/Territoire Estación/Territorio	Rwy type Type de piste Tipo de pista	Function Fonction Función	ILS	L	DME	VOR	NDB	Coverage Couverture Cobertura	GNSS		Remarks Remarques Observaciones
									GBAS	SBAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MENE MAUROA		E			XI	XI		190/45		X	
		E					XI	190		X	
ÑO LEON		E			XI	XI				X	
PARAGUANA/Josefa Camejo Intl.	09 NPA NINST	A/L			XI	XI				X	
		E			XI	XI		200/45		X	
PUERTO CABELLO		T					XI			X	
		E			XI	XI		200/45		X	
PUERTO AYACUCHO		E			XI	XI				X	
					(Tacan)						
PUNTA SAN JUAN		T					XI			X	
		E			XI	XI		70/45		X	
SAN ANTONIO DEL TACHIRA/San Antonio del Tachira Intl.	16 NPA NINST				X	X				X	
										X	
SANTA BARBARA DEL ZULIA		E			XI	XI		150/45		X	
SAN TOME		E					XI	80/45		X	
TUCUPITA		E					XI	150		X	
TUY		E			XI	XI				X	
		T			XI	XI					
VALENCIA/Zim Valencia Intl.	28 NPA	A/L			X	X	XI			X	
VIRGIN ISLANDS (United Kingdom)											
ROADTOWN/Beef Island	07 NPA	A/L					XI			X	
VIRGIN GORDA/Virgin Gorda	NINST									X	
VIRGIN ISLANDS (United States)											
CHRISTIANSTED/Henry E. Rohlsen, St. Croix	09 PA1	A/L	II*		XI	XI	XI			X	
	27 NPA	A/L								X	
		E			XI	XI		155/45		X	
SAINT THOMAS/Cyril E. King	10 PA1	A/L	I		XI	XI			X		
	28 NPA	A/L								X	
		T			XI	XI				X	

APENDICE B

**ANEXO 10 DE LA OACI, VOLUMEN 1, CAPITULO 3,
TABLA 3.7.2.4-1 REQUISITOS DE ACTUACION DE LA SEÑAL EN EL ESPACIO**

Operaciones ordinarias	Exactitud horizontal 95% (Notas 1 y 3)	Exactitud vertical 95% (Notas 1 and 3)	Integridad (Nota 2)	Tiempo hasta alerta (Nota 3)	Continuidad (Nota 4)	Disponibilidad (Nota 5)
En ruta	3.7 km (2.0 NM) (Note 6)	N/A	$1 - 1 \times 10^{-7}/h$	5 min	$1 - 1 \times 10^{-4}/h$ to $1 - 1 \times 10^{-8}/h$	0.99 to 0.99999
En ruta, Terminal	0.74 km (0.4 NM)	N/A	$1 - 1 \times 10^{-7}/h$	15 s	$1 - 1 \times 10^{-4}/h$ to $1 - 1 \times 10^{-8}/h$	0.99 to 0.99999
Aproximación inicial, aproximación intermedia, aproximación que no es de precisión (NPA), salida	220 m (720 ft)	N/A	$1 - 1 \times 10^{-7}/h$	10 s	$1 - 1 \times 10^{-4}/h$ to $1 - 1 \times 10^{-8}/h$	0.99 to 0.99999
Aproximación que no es de precisión con guía vertical (APVI)	16.0 m (52 ft)	20 m (66 ft)	$1 - 2 \times 10^{-7}$ per approach	10 s	$1 - 8 \times 10^{-6}$ in any 15 s	0.99 to 0.99999
Aproximación que no es de precisión con guía vertical (APV-II)	16.0 m (52 ft)	8.0 m (26 ft)	$1 - 2 \times 10^{-7}$ por aproximación	6 s	$1 - 8 \times 10^{-6}$ in any 15 s	0.99 to 0.99999
Aproximación de precisión de Categoría I (Nota 8)	16.0 m (52 ft)	6.0 m to 4.0 m (20 ft to 13 ft) (Note 7)	$1 - 2 \times 10^{-7}$ por aproximación	6 s	$1 - 8 \times 10^{-6}$ in any 15 s	0.99 to 0.99999

NOTAS.—

- Los valores de percentila 95 para errores de posición GNSS son los requeridos en las operaciones previstas a la altura mínima por encima del umbral (HAT), de ser aplicable. Se especifican los requisitos detallados en el Apéndice B y se proporcionan textos de orientación en el Adjunto D, 3.2.
- En la definición de requisitos de integridad se incluye un límite de alerta respecto al cual pueda evaluarse el requisito. Estos límites de alerta son los siguientes:

Operación ordinaria	Límite horizontal de alerta	Límite vertical de alerta
En ruta (oceánica/continental de baja densidad)	7.4 km (4 NM)	N/A
En ruta (continental)	3.7 km (2 NM)	N/A
En ruta, de terminal	1.85 km (1 NM)	N/A
NPA	556 m (0.3 NM)	N/A
APVI	40 m (130 ft)	50 m (164 ft)
APV- II	40.0 m (130 ft)	20.0 m (66 ft)

Operación ordinaria	Límite horizontal de alerta	Límite vertical de alerta
Aproximación de precisión de Categoría I	40.0 m (130 ft)	15.0 m to 10.0 m (50 ft to 33 ft)

- La gama de valores de límites verticales para aproximaciones de precisión de Categoría I está relacionada con los requisitos en cuanto a gama de valores de exactitud en sentido vertical.
3. Los requisitos de exactitud y de tiempo hasta alerta comprenden la actuación nominal de un receptor sin falla.
 4. Se proporcionan las gamas de valores relativas al requisito de continuidad para operaciones en ruta, de terminal, aproximación inicial, NPA y salida, puesto que este requisito depende de varios factores, incluidos, la operación prevista, la densidad de tránsito, la complejidad del espacio aéreo y la disponibilidad de ayudas para la navegación de alternativa. El valor más bajo indicado corresponde al requisito mínimo para áreas de poca densidad de tránsito y escasa complejidad del espacio aéreo. El valor máximo proporcionado corresponde a áreas de elevada densidad de tránsito y de gran complejidad del espacio aéreo (véase el adjunto D, 3.4).
 5. Se proporciona una gama de valores de requisitos de disponibilidad puesto que tales requisitos dependen de la necesidad operacional que se basa en varios factores, incluidos, la frecuencia de operaciones, entornos meteorológicos, amplitud y duración de interrupciones de tráfico, disponibilidad de ayudas para la navegación de alternativa, cobertura radar, densidad de tránsito y procedimientos operacionales de inversión. Los valores inferiores indicados corresponden a la disponibilidad mínima respecto a la cual se considera que un sistema es práctico pero inadecuado en sustitución de ayudas para la navegación ajenas al GNSS. Para la navegación en ruta, se proporcionan los valores superiores que bastan para que el GNSS sea la única ayuda de navegación proporcionada en un área. Para la aproximación y la salida, los valores superiores indicados se basan en los requisitos de disponibilidad en los aeropuertos con gran densidad de tránsito, suponiéndose que las operaciones hacia o desde pistas múltiples están afectadas, pero los procedimientos operacionales de inversión garantizan la seguridad de las operaciones (véase el Adjunto D, 3.5).
 6. Este requisito es más estricto que la exactitud necesaria para los tipos RNP asociados pero está claramente dentro de los límites de exactitud en cuanto a la actuación que pueden lograrse mediante el GNSS.
 7. Se especifica una gama de valores para aproximaciones de precisión de Categoría I. El requisito de 4,0 m (13 ft) se basa en especificaciones para el ILS y representan una deducción conservadora de estas últimas (véase el Adjunto D, 3.2.7).
 8. Están en estudio y se incluirán más tarde los requisitos de actuación del GNSS para operaciones de aproximación de precisión de Categorías II y III.
 9. Los términos APV-I y APV-II se refieren a dos niveles de operaciones de aproximación y aterrizaje con guía vertical (APV) por GNSS y no se prevé necesariamente que estos términos sean utilizados para las operaciones.

CAPITULO 2

PLATAFORMA DE ENSAYO SBAS TIPO WAAS (CSTB)

Introducción sistemas de aumentación basados en satélites SBAS tipo WAAS

Concepto de operación SBAS tipo WAAS

2.1 Un sistema de aumentación SBAS tipo WAAS difunde correcciones de reloj (sincronismo), efemérides y ionosféricas. Los equipos de usuarios aeronáuticos aplican las correcciones a los satélites de posicionamiento (GPS) medidos y también convierten los márgenes de error en los dominios de posiciones.

2.2 Las operaciones a través de un sistema SBAS solamente se pueden efectuar cuando los errores de posición horizontal y vertical se encuentran contenidos dentro de unos márgenes cuyos valores dependen de la fase de vuelo.

2.3 Un sistema SBAS estaría soportando operaciones en ruta, terminal, aproximaciones de no precisión (NPA) y aproximaciones de no precisión con guiado vertical (APV).

2.4 Un sistema SBAS tipo WAAS provee las siguientes funciones usando radio difusiones de señales a través de un satélite geoestacionario de comunicaciones:

- a) Señal GPS adicional a la constelación de los GPS existentes;
- b) Vector de corrección a las señales GPS en el espacio incluyendo componentes para la ionosfera, reloj y efemérides de error; y
- c) Función de monitoreo de la integridad para avisar a los usuarios de condiciones de tolerancias en términos de tiempos.

2.5 El concepto de operación de un sistema SBAS tipo WAAS se describe brevemente a continuación:

2.6 Estaciones de referencia (WRS) se instalan a lo largo de un territorio a efecto de medir pseudos rangos y fase de portadora a la frecuencia L1 (1575.42 Mhz) y L2 (1227.2Mhz) desde todos los satélites GPS visibles.

2.7 Las estaciones de referencia envían estas mediciones a estaciones maestras (WMS), las cuales calculan las correcciones de reloj y efemérides para cada satélite GPS, información efeméride de cada satélite geoestacionario (GEO) y retardos ionosféricos verticales en una rejilla. Una rejilla consiste en puntos ionosféricos fijos (IGP - Puntos de Rejilla Ionosférica) situados a una altura de 350Km sobre la superficie de la tierra. El espacio de una rejilla es de 5°X 5°.

2.8 Adicionalmente a las correcciones las estaciones maestras calculan los límites de error para las correcciones ionosféricas, correcciones llamadas (GIVE - Errores Verticales en Grillas Ionosféricas) a cada punto ionosférico fijo (IGP) y los límites de error combinados para las correcciones de reloj y efemérides para cada satélite GPS visible (UDRE - Escala de Error Diferencial de Usuario).

2.9 La estación maestra envía estas correcciones y límites de error a los usuarios (Aeronaves) a través de un satélite de comunicaciones estacionario (Por ejemplo, Inmarsat III) a una velocidad de 250 bits/seg.

2.10 Los receptores de aviónica (WAAS) aplican estas correcciones a las pseudos distancias medidas a efecto de mejorar la precisión de la posición estimada. Asimismo, usan los UDREs y GIVEs y otras informaciones para calcular los límites de error en los errores de posición llamados HPL (Nivel de Protección Horizontal) y VPL (Nivel de Protección Vertical).

2.11 Para la integridad del sistema estos niveles de protección tienen que limitar los errores de posición con una probabilidad ≥ 0.9999999 en una hora para una operación de navegación en ruta y NPA y para una operación de aproximación NPA con guiado vertical.

2.12 La arquitectura del sistemas WAAS consta de 25 estaciones WRS instaladas sobre el territorio de Estados Unidos (incluyendo Hawai y Puerto Rico), 2 estaciones maestras (WMS), tres estaciones terrenas satelitales (GES), dos satélites geostacionarios de comunicaciones (GEO) y una red terrestre de comunicaciones.

Requerimientos de un sistemas SBAS tipo WAAS

2.13 En la **Tabla 1** se indica un resumen de los requerimientos de un sistema WAAS para diferentes fases de vuelos:

Fase de Vuelo	Integridad	Disponibilidad	Limites de alerta
En ruta oceánico	$1-10^{-7}$ / hora	0.999 -0.99999	HAL = 7.4Km
En ruta terrestre	$1-10^{-7}$ / hora	0.999-0.99999	HAL = 3.7Km
Terminal	$1-10^{-7}$ / hora	0.999-0.99999	HAL = 1.852Km
Aproximación de no precisión (NPA)	$1-10^{-7}$ / hora	0.999-0.99999	HAL = 556 m
NPA con guiado vertical (APV1)	$1-10^{-7}$ /por aproximación	0.999-0.99999	HAL = 556m VAL= 50 m

Tabla 1: Requerimiento WAAS para diferentes fases de vuelo

2.14 La integridad es la habilidad del sistema de aumentación SBAS WAAS de proveer advertencia a tiempo al usuario cuando el sistema no podría ser usado para navegación.

2.15 Específicamente, los requerimientos de integridad están indicados en términos de probabilidad de falsa información en una operación en vuelo.

2.16 La información de navegación es falsa o no usable cuando el error de posición horizontal (HPE) es mayor que el valor de nivel de protección horizontal (HPL) para operaciones en rutas, terminal y aproximaciones de no precisión. Para aproximaciones de no precisión con guiado vertical (APV), también hay que considerar que el error de posición vertical (VPE) sea menor que el valor de nivel de protección vertical (VPL).

2.17 Así que la integridad para operaciones en ruta, terminal y NPA se define como $HPE \leq HPL$ pudiendo presentarse un caso en que no se cumple de uno en $1*10^7$.

2.18 De la misma forma, para operaciones en NPA con guiado vertical (APV1) se tiene que el error de posición vertical VPE tiene que ser menor o igual al valor de nivel de protección vertical VPL, así como el $HPE \leq HPL$. Para ambos casos se puede presentar un caso en que el VPE y el HPE superan el valor de VPL y HPL en $1 \cdot 10^{-7}$ casos.

2.19 La disponibilidad es el porcentaje de tiempo que el servicio es usable. El servicio es usable cuando el $HPL \leq HAL$ (HAL representa el radio de un círculo en un plano horizontal, con centro en la posición verdadera, que describe la región a la cual es requerido de contener la posición horizontal indicada con una probabilidad de $1 \cdot 10^{-7}$ por hora de vuelo) para operaciones en rutas, terminal y NPA.

2.20 Para operaciones NPA con guiado vertical, el servicio es usable cuando $HPL \leq HAL$ y $VPL \leq VAL$ (VAL es la mitad de la longitud de un segmento en el eje vertical, cuyo centro es la verdadera posición, que describe la región a la cual es requerido contener la posición vertical indicada con una probabilidad de $1 \cdot 10^{-7}$ por aproximaciones en NPA con guiado vertical (APV)).

Elementos que conforman la plataforma de ensayo SBAS tipo WAAS en las regiones CAR/SAM (CSTB)

2.21 Antes de implantar un sistema de aumentación SBAS, es necesario implantar una plataforma de ensayo; en el caso del WAAS, la plataforma de ensayo se llama la NSTB (National Satellite Test Bed). La plataforma de ensayo SBAS tipo WAAS en las Regiones CAR/SAM se llama CSTB (CAR/SAM Test Bed); la misma está conformada por estaciones de referencia de ensayo (TRS), estaciones maestras de ensayo (TMS), segmento de aviónica y segmento de comunicaciones.

Estación de Referencia de Ensayo (TRS)

2.22 Una estación de referencia está compuesta por el siguiente equipamiento:

- a) Receptor Novatel Millennium o Trimble serie 4000 y subsistema de antena;
- b) Oscilador de rubidio Efratom PRFS;
- c) Procesador IBM de base RISC;
- d) Administrador de energía remoto Sentry R 1000;
- e) Router CISCO 2516;
- f) UPS Smart Universal;
- g) Hub; y
- h) Digiboard.

Receptor GPS Novatel Millenium

2.23 Rastrea de 1 a 10 satélites en frecuencia L1 (1575.42 MHz) y L2 (1227.2 MHz). Rastrea un Satélite GEO. Habilitado para WAAS en una posición de solución. Responde a comandos de usuarios ya determinados. El receptor viene equipado con una antena GPS 600.

Antena GPS-600

2.24 Diseñada para una variedad que aplicaciones de posicionamientos cinemáticas. El Radome (parte superior de la antena), le permite ser usada en varias aplicaciones marinas, meteorológicas y medios adversos. Es portátil y ligera. Funciona en las frecuencias L1 y L2. Los elementos de recepción están acoplados a filtros y a un amplificador de bajo ruido (LNA). Optimizada para recibir señales polarizadas circularmente hacia la derecha.

Receptor Trimble 4000

2.25 Rastrea 9 o más satélites en frecuencia L1 (1575.42 MHz) o L1/L2 (1227.2Mhz). Habilitado para WAAS en una posición de solución. Responde a comandos de usuarios ya determinados. El receptor viene equipado con una antena Trimble modelo 23903-00.

Oscilador de rubidio

2.26 Suministra una señal extremadamente estable y pura al receptor. Mejora la performance de la señal GPS. El oscilador optimiza el funcionamiento del sistema porque tiene una señal de reloj muy estable, logrando sincronizar mejor el reloj del sistema con los relojes de los satélites GPS. El equipo instalado es el modelo Efratom PRFS.

Unidad Central de Proceso: DEC Alpha

2.27 Es la CPU del sistema opera con sistema operativo UNIX. Procesa los datos provenientes del receptor creando un archivo de tipo binario en forma automática diariamente para su posterior análisis.

Administrador de Energía Remoto Sentry (Fuente)

2.28 Ubicado en la estación de referencia. Tiene 8 módulos de conexión. Por Telnet, tiene la capacidad de ser apagada o reiniciada. Es la fuente de alimentación de la estación de referencia.

Router: Cisco 2501

2.29 Solicita acceso primario desde y hacia la TRS. Entrega y recibe datos de dos puertos seriales sincrónicos (DB60). Puerto de acceso central al Sistema (RJ45). Puerto auxiliar para el acceso remoto al sistema utilizando MODEM. Gran variedad de comandos para poder ser configurado.

UPS Smart Universa

2.30 Carga máxima de 950 Watts. Tiempo de transferencia de 2 a 4 milisegundos 6 toma corrientes.

Hub

2.31 Repetidor de red. Suministra un punto de acceso local a la red. Puede suministrar una cadena de datos para un procesamiento o recolección de estos.

Digi Board

2.32 Cuatro (4) a ocho (8) puertos expansivos de comunicación. Interfaz serial asíncrona. Es la interfaz entre el receptor de GPS y la CPU DEC Alpha.

2.33 En la **Figura 1** se muestra el diagrama en bloque de una típica estación de referencia (TRS) de la CSTB.

Requerimientos de instalación en una estación de referencia

2.34 Todos los equipos en cada una de las estaciones de referencia fueron instalados y conectados teniendo en cuenta los siguientes requerimientos.

Instalación antena GPS

2.35 La antena debe ser ubicada tan distante como sea posible de lagos, charcos, edificios, árboles y vehículos circundantes. La posición de la antena se debe indicar en formato WGS-84 (WorldGeodetic System 1984) con una precisión mejor a 10 cm. en los tres ejes. Es decir, que no se mueva más de 10 cm. en ninguna de sus posiciones (x, y, z). La antena debe ser ubicada tan distante como sea posible de cualquier plano reflector más grande de un metro cuadrado. La presencia de cualquier objeto físico con una superficie plana más grande de 0.1 m² se debe evitar en un radio de 20 m² y en un radio de 10 m 1 m por debajo del plano de choke-ring. Si hay muchas antenas presentes en un radio de 5 m, la antena debe estar instalada de tal forma que la distancia entre antenas sea un múltiplo impar de 5 cm ($\lambda/4$). La longitud del cable de la antena al receptor de la estación de referencia debe ser menor de 30 m. debido a las pérdidas del cable RG58 el cual une la antena con el receptor.

2.36 Las variaciones de la posición de la antena deben ser más pequeñas de 1cm para vientos con velocidades inferiores a 200 km/h. La conexión entre la antena y el cable de la antena deben estar aisladas contra penetración de agua, preferiblemente usando cinta impermeable vulcanizada. La antena y su LNA deben estar aislados del poste de la antena. La ubicación de la antena debe suministrar un ángulo de máscara no mayor de 5° de elevación; es decir, no debe haber obstrucción en un ángulo por encima de 5°. Para la instalación de la antena de GPS de la TRS es necesario que se disponga de todas las protecciones referentes a la seguridad de los equipos. En la **Figura 2** se muestran fotos de antenas en algunas estaciones TRS de la CSTB. En la **Figura 3** se muestran fotos de equipamiento en estaciones TRS de la CSTB.

Instalación de una estación de referencia

2.37 La antena de GPS va conectada al receptor mediante un cable RG58 de 50 ohmios de impedancia. El extremo del RG58 conectado a la antena es de tipo TNC (rosca) y la parte metálica expuesta al medio ambiente va aislada con cinta para que el agua y otros factores no alteren características importantes de la antena. El puerto COM1 del receptor se conecta al puerto COM1 del DigiBoard, que es un extensor hasta puertos, conectando el receptor GPS al CPU. El COM2 es un puerto serial usado para acceder al receptor mediante un PC portátil (Laptop). Conectando la PC portátil se configura el receptor, gracias a un software llamado *Winsat* que sirve además para observar la señal en el espacio en tiempo real (SIS, Signal in Space). El oscilador de rubidio se conecta a la entrada *ExtRef* del receptor. El oscilador tiene varias salidas, en caso que se requiera o desee instalar más receptores.

2.38 El extensor de puertos Digi Board tiene ocho puertos, de los cuales, el puerto COM1 se conecta al receptor GPS (puerto COM1) para servir de enlace entre el Rx. y el CPU. El DEC Alpha (CPU) está conectado al puerto EBI Digi Board Tiene una salida de punto de red al *hub* para poder efectuar telnet en forma remota desde otra oficina (con punto de red). Otra salida del DEC Alpha (conector RJ45) se conecta al puerto AUI0 del router Cisco. El COM1 se conecta a la fuente y tiene otro puerto adicional que se comunica con el RS232 de la fuente para apagar el equipo mediante telnet. El puerto AUI1 del router se conecta a un puerto del *hub* y el puerto AUX se comunica con el RS232 de la fuente. El enrutador es usado para los enlaces a través VSAT de la REDDIG.

2.39 El hub es el conector de red. Tiene ocho puertos, uno usado para unirse con el punto de red ubicado en el sitio y los demás para enlazar los equipos necesarios con la red. La fuente de alimentación Sentry suministra 110V (AC) a los dispositivos. Sin embargo, un puerto tiene un adaptador de voltaje que entrega 14.7 voltios DC a 2,25 Amp a la entrada de 10-36 V DC del receptor. La fuente se conecta a la UPS y algunos dispositivos van conectados directamente a la UPS. Esta tiene también un adaptador de voltaje que va al hub y, finalmente, ésta se conecta a la toma principal AC del edificio (110V AC).

Estación Maestra de Ensayo (TMS)

2.40 Una estación maestra está compuesta por el siguiente equipamiento:

- a) Procesador DEC Alpha;
- b) Monitor operación y mantenimiento;
- c) Servidor de Difusión de Información WAAS (WIB);
- d) Dispositivo de grabación; y
- e) Router CISCO.

Segmento de Aviónica

2.41 La aeronave puede ser propia o alquilada para los ensayos en vuelo, pero un requerimiento importante es que se instale una antena GPS/WAAS en la aeronave y que se puedan alimentar señales de ingreso hacia tres subsistemas dentro de la aviónica aerotransportada.

2.42 Los tres subsistemas aerotransportados son:

- a) Plataforma de Usuario CSTB (CUP)
 - Receptor GPS/WAAS,
 - Procesador,
 - Dispositivos fijos y removibles de almacenamiento,
 - Software para recolectar los datos y enviarlos a otros subsistemas dentro de la aviónica aerotransportada.
- b) Referencia Real CSTB (CTR)
 - Dos receptores GPS diferenciales (DGPS), uno en la aeronave y el otro en tierra.
- c) Plataforma de navegación CSTB y de adquisición de datos (NAVDAC)
 - Fuente de regulación,
 - Procesador,
 - Dispositivos fijos y removibles de almacenamiento,
 - Software de procesamiento e integración,
 - Interfaces hacia bases de datos de aeronave.

Segmento de comunicaciones

2.43 La plataforma de comunicaciones que permite transportar la información de las estaciones de referencia de ensayo a las estaciones maestras se efectúa principalmente sobre una red digital basada en VSAT llamada REDDIG (Red Digital Sudamericana). Tramos de la red VSAT de Brasil y de Colombia completan la plataforma de comunicaciones.

Red digital de comunicaciones VSAT REDDIG

2.44 La REDDIG consta de quince (15) nodos establecidos en trece (13) países de la Región SAM y un (1) país de la Región CAR. Las localidades y coordenadas donde se encuentran ubicados los nodos REDDIG se describen en la **Tabla 2**.

PAÍS	NODO		LATITUD	LONGITUD
Argentina	Ezeiza	SAEZ	34° 49' 25" S	58° 31' 43" W
Bolivia	La Paz	SLLP	16° 30' 22" S	68° 11' 09" W
Brasil	Manaus	SBMN	03° 01' 52" S	60° 02' 29.9" W
	Recife	SBRF	08° 08' 15" S	34° 55' 29" W
	Curitiba	SBCT	25° 24' 06" S	49° 14' 07" W
Chile	Santiago	SCEL	33° 23' 27" S	70° 44' 18" W
Colombia	Bogotá	SKED	04° 42' 05" N	74° 08' 48" W
Ecuador	Guayaquil	SEGU	02° 09' 29" S	79° 53' 02" W
Guyana	Georgetown	SYGC	06° 25' 55" N	58° 15' 14" W
French Guiana	Cayenne	SOCA	04° 49' 11" N	52° 21' 38" W
Paraguay	Asunción	SGAS	25° 14' 24" S	57° 31' 09" W
Perú	Lima	SPIM	12° 01' 27" S	77° 06' 20" W
Surinam	Paramaribo	SMPM	05° 27' 10" N	55° 11' 16" W
Trinidad	Piarco			
Uruguay	Montevideo	SUMU	34° 50' 15" S	56° 01' 49" W
Venezuela	Maiquetía	SVMI	10° 36' 12" N	66° 59' 26" W

Tabla 2: Localidades y coordenadas nodos REDDIG

2.45 La REDDIG es una red privada de comunicaciones digitales, con un tiempo de vida útil estimado en 10 años, de arquitectura abierta y tecnología de punta (*state of the art technology*); con topología totalmente mallada; flexible y escalable para facilitar los cambios y el crecimiento de la red; de alta disponibilidad; con inteligencia distribuida en sus nodos y sin punto común de fallo; con priorización del tráfico; con administración dinámica y por demanda del ancho de banda; con enrutamiento alterno automático del tráfico en caso de falla; con sistema de gestión de red (NMS) común, integrado y global; a “prueba de futuro” para permitir la migración a otras tecnologías de redes y para uso continuo e interrumpido y operación no atendida.

2.46 La arquitectura de la REDDIG es distribuida y establece en cada nodo una plataforma multiservicio (voz y datos) / multiprotocolo (sistema de conmutación y multiplexado), basada en *frame-relay* o ATM, con administración dinámica del ancho de banda, que proporcione las funciones de acceso, multiplexación y conmutación de circuitos y paquetes para los equipos del CAA; una terminal VSAT (sistema VSAT) a través de la cual se deben establecer los enlaces principales internodales a través de un repetidor satelital; la conexión a la red de respaldo a la plataforma multiservicio; el sistema NMS y una estación de trabajo; y un sistema de energía ininterrumpido (SDEI) de corriente continua que alimenta a todos los equipos del nodo REDDIG.

Estructura de la plataforma de ensayo SBAS tipo WAAS en las regiones CAR/SAM (CSTB)

2.47 La CSTB esta compuesta por 13 estaciones de referencia (TRS) y dos estaciones maestras (TMS). Las TRS se encuentran instaladas en las siguientes localidades:

Argentina	Ezeiza	Aeropuerto Internacional
Bolivia	El Alto	Aeropuerto Internacional
Brasil	Río de Janeiro	Aeropuerto Internacional
	Recife	Aeropuerto
	Brasilia	Aeropuerto
	Curitiba	Aeropuerto
	Manaus	Aeropuerto
Colombia	Bogota	CEA (Centro de Entrenamiento Aeronáutico)
Chile	Santiago	Cerro Colorado (ACC Santiago)
	Balmaceda	Aeropuerto
	Antofagasta	Aeropuerto
Perú	Lima	Aeropuerto Internacional
Honduras	Tegucigalpa	Aeropuerto Internacional

2.48 Las TMS se encuentran instaladas en:

Brasil	Río de Janeiro	Aeropuerto internacional
Chile	Santiago	Cerro Colorado (ACC Santiago)

2.49 Las estaciones de referencia (TRS) de Ezeiza, El Alto y Lima están conectadas al router de la estación maestra (TMS) de Santiago de Chile a través de circuitos virtuales permanentes en *frame relay* de la REDDIG. De Santiago de Chile, los circuitos de las estaciones de referencia anteriormente mencionadas, junto con la información proveniente de las estaciones de referencia de Santiago, Balmaceda y Antofagasta, se conectan al router de la estación maestra (TMS) de Río de Janeiro. La conexión entre Santiago y Río de Janeiro consta de un tramo (Santiago-Curitiba) a través de un circuito virtual permanente en *frame relay* de la REDDIG, seguido de un circuito virtual permanente de la red VSAT de Brasil entre Curitiba y Río de Janeiro. Asimismo, la información de la TRS de Curitiba se conecta al router de la TMS de Río a través de un circuito virtual permanente de la red VSAT de Brasil.

2.50 Por otro lado, el “router” de la estación TRS de Tegucigalpa (Honduras–COCESNA) está conectada al “router” de la estación de referencia de Bogotá (Colombia) a través de la red VSAT Colombiana. En Bogotá, la información proveniente de la estación de referencia de Bogotá está conectada con la información de la TRS de Tegucigalpa al router de la TRS de Bogotá y de aquí la información de las dos estaciones se conectan al nodo REDDIG de Bogotá con un circuito virtual permanente en *frame relay* conectado con el nodo REDDIG de Curitiba. De Curitiba, las informaciones de las TRS de Bogotá y Tegucigalpa se conectan a Río a través de la VSAT de Brasil.

2.51 Las estaciones TRS de Brasilia, Recife y Manaus llegan a Río a través de la red VSAT de Brasil.

2.52 La información entre las TRS y la TMS se transmiten a una velocidad de 19.2 kbits/seg, entre estaciones TMS se transmiten a 64 kbits/seg.

2.53 Un circuito dedicado digital de 64 Kbits/seg. se estableció entre Río de Janeiro y el centro tecnológico de la FAA en Atlantic City. Este circuito tiene el propósito de llevar todos los datos recolectados desde cada una de las estaciones de referencia al centro tecnológico para su almacenaje y procesamiento.

2.54 En la **Figura 4** se muestra la configuración de la plataforma de comunicaciones que soporta la CSTB.

Mensajes de navegación en la CSTB

2.55 Aún cuando la tarea más importante realizada por el proyecto RLA/00/009 fue la recolección de datos para cada una de las estaciones de referencia, la CSTB envía mensajes de navegación NAV DATA.

2.56 Estos mensajes fueron transmitidos durante las pruebas en vuelo que se efectuaron en mayo del año 2002 en Argentina, Bolivia, Chile y Perú. Los mensajes de aumentación se transmitieron a través de un transmisor digital portátil en VHF. A continuación se hace una descripción de los principales mensajes de navegación de la CSTB.

Mensaje tipo 1 - Datos de rastreo del satélite

2.57 Los receptores reciben información en frecuencia sencilla o dual para datos de rastreo de satélites. Estos datos son tomados por el software de la TRS y formateados en un mensaje tipo 1. El mensaje tipo 1 sólo será enviado cuando los datos de rastreo del satélite están disponibles. El mensaje incluye un encabezamiento, un bloque de bytes para cada satélite rastreado y un checksum CCITT CRC. Los campos del encabezamiento suministran el número de satélites rastreados en canales de frecuencia dual o sencilla. Además incluyen un bloque de header que es un “TRS Epoch Counter” (contador de épocas de la TRS), o número de secuencia de programa. Este contador de épocas es un entero de 16 bits que se incrementa con la transmisión y creación de cada mensaje tipo 1; el número de secuencia es reiniciado después del valor máximo que es 65535.

2.58 A continuación se explica el mensaje tipo 1 y como está constituido:

2.59 El orden del byte para campos multi-bytes en todos los mensajes es “little indian” (primero los bytes menos significativos). El campo de estado del satélite es el mismo para un canal de frecuencia dual, un canal sencillo GPS o un canal de frecuencia sencilla para el GEO. La distinción entre un GPS y un GEO se hace de acuerdo a su número PRN.

2.60 La longitud total del mensaje depende del número de satélites rastreados, Overhead (header + checksum) = 15 bytes. Longitud promedio (8 canales de frecuencia dual) = 407 bytes. La **Tabla 3** describe el formato del mensaje tipo 1.

BYTE	DESCRIPTION	SIZE BYTES	DATA TYPE
1	Message type = 1	1	U Char
2-3	Receiver ID	2	U Short
4-5	Time of validity – GPS week	2	U Short
6-9	Time of validity - miliseconds	4	U Long
10-11	TRS Epoch Counter	2	U Short
12	Number of dual frequency channels	1	U Char
13	Number of single frequency channels	1	U Char
	Dual frequency channels data: 49 bytes/channel		
	Repeated for each dual frequency channel		
14	Satellite PRN number	1	U Char
15-18	Satellite status flags (see bit field table next page)	4	U Long
19-26	L1 Pseudo-range (PR1)(meters)	8	Double
27-34	L1 carrier range (meters)	8	Double
35-42	L2 carrier range (meters)	8	Double
43-46	L1/L2 differential group delay (PR2-PR1) (meters)	4	Float
47-50	L1 Doppler (DL1) (m/s)	4	Float
51-54		4	Float

Tabla 3: Formato mensaje tipo 1

Mensaje tipo 5 - Mensaje GEO/WAAS

2.61 Este mensaje de tiempo crítico lleva el mensaje WAAS que ha sido radiodifundido por el GEO. El mensaje incluye un header, 1 o más bloques de datos de satélites GEO y un checksum CCITT CRC. El mensaje 5 sólo será enviado cuando la información del GEO esté disponible. El header incluye un campo que define el número de satélites GEO rastreados. El time of validity se obtiene del mensaje ITRAME del receptor. 32 bytes son reservados para almacenar el mensaje WAAS FEC decodificado de 250 bits. Los últimos 6 bytes no son usados. La longitud total del mensaje depende del número de satélites rastreados. Overhead (header + checksum) = 12 bytes Longitud promedio (1 satélite GEO) = 45 bytes. En la **Tabla 4** se describe el formato del mensaje tipo 5.

BYTE	DESCRIPTION	SIZE BYTES	DATA TYPE
1	Message type = 1	1	U Char
2-3	Receiver ID	2	U Short
4-5	Time of validity – GPS week	2	U Short
6-9	Time of validity - milliseconds	4	U Long
10	Number of GEO Satellites tracked (max. 2)	1	U Char
	First GEO satellite: 33 bytes		
	GEO PRN Number	1	U Char
	WAAS FEC Decoded bits (250 bits)	32	Char.32
	Second GEO satellite (if tracked): 33 bytes		
	GEO PRN Number	1	U Char
	WAAS FEC Decoded bits (250 bits)	32	Char.32
2 last	Checksum calculated on previous bytes – CCITT CRC	2	Short

Tabla 4: Formato mensaje tipo 5

Mensaje tipo 20 - Datos de efemérides del GPS

2.62 Los receptores de GPS entregan los datos de efemérides al procesador de la TRS donde estos datos son formateados en un mensaje tipo 20. Este mensaje contiene los datos de efemérides para un solo satélite rastreado. Además, el proceso de la TRS envía un mensaje por segundo hasta que todos los datos de efemérides son enviados. Este mensaje se envía cada 30 segundos para cada satélite rastreado. Si el satélite está en “bad health”, se toman los datos del próximo mensaje 20 enviado. El mensaje incluye un header, un bloque de datos de efemérides y un checksum CCITT CRC. Los campos de “time of validity” contienen los mismos valores del “time of validity” del último mensaje tipo 1 enviado. Overhead (header + checksum) = 11 bytes. Longitud del mensaje tipo 20 = 77 bytes. En la **Tabla 5** se muestra el formato del mensaje tipo 20.

BYTE	DESCRIPTION	SIZE BYTES	DATA TYPE
1	Message type = 1	1	U Char
2-3	Receiver ID	2	U Short
4-5	Time of validity – GPS week	2	U Short
6-9	Time of validity - milliseconds	4	U Long
	Ephemerides data for one satellite:		
10	Satellite PRN Number	1	U Char
11-14	Time navigation message was received (Absolute GPS time in seconds of week)	4	U Long

BYTE	DESCRIPTION	SIZE BYTES	DATA TYPE
15	URA User range accuracy	1	U Char
16	SV Health Satellite health (discrete)	1	U Char
17-18	IODC Issue of Data, Clock	2	U Short
19	TGD Estimated group delay differential (sec)	1	Char
20-21	toc Clock data reference time (sec)	2	U Short
22	af2 Clock data coefficient (sec/sec ²)	1	Char
23-24	af1 Clock data coefficient (sec/sec)	2	Short
25-28	af0 Clock data coefficient (sec)	4	Long
29-32	M0 Mean anomaly at reference time (semi-circles)/sec	4	Long
33-34	Δn Mean motion difference from computed value (semi-circles)/sec	2	Short
35-38	E Eccentricity (dimensionless)	4	U Long
39-42	(A) ^{1/2} Square root of semi-major axis (meters ^{1/2})	4	U Long
43-46	Ω Longitude of ascending node of orbit plane at weekly epoch (semi-circles)	4	Long
47-50	i Inclination angle at reference time (semi-circles)	4	Long
51-54	ω e	4	
55-58	Ω DOT rate of right ascension (semi-circles/sec)	4	Long
59-60	i DOT rate of inclination angle (semi-circles/sec)	2	Short
61-62	Cuc Amplitude of cosine harmonic correction term to argument of latitude (rad)	2	Short
63-64	Cus Amplitude of sine harmonic correction term to argument of latitude (rad)	2	Short
65-66	Crc Amplitude of cosine harmonic correction term to orbit radius (meters)	2	Short
67-68	Crs Amplitude of sine harmonic correction term to orbit radius (meters)	2	Short
69-70	Cic Amplitude of cosine harmonic correction term to angle of inclination (rad)	2	Short
71-72	Cis Amplitude of sine harmonic correction term to angle of inclination (rad)	2	Short
73-74	toe Reference time ephemeris (sec)	2	U Short
75	IODE Issue of Data Ephemeris	1	U Char
76-77	Checksum CCITT CRC	2	Short

Tabla 5: Formato mensaje tipo 20

Mensaje tipo 30 - Datos Klobuchar

2.63 La TRS suministrará parámetros del modelo ionosférico Klobuchar a la TMS. Este mensaje contiene los parámetros del modelo Klobuchar común a todos los satélites GPS. Por lo tanto, la TRS envía este mensaje a la TMS lentamente y la TMS lo procesa de igual forma. El mensaje incluye un header, un bloque de datos Klobuchar y un checksum CCITT CRC. Los campos de “time of validity” contienen los mismos valores del “time of validity” del último mensaje tipo 1 enviado. El modelo ionosférico Klobuchar se encuentra en esta tabla. Overhead (header + checksum) = 11 bytes. Longitud del mensaje tipo 30 = 23 bytes. En la **Tabla 6** se muestra el formato del mensaje tipo 30.

BYTE	DESCRIPTION	SIZE BYTES	DATA TYPE
1	Message type = 1	1	U Char
2-3	Receiver ID	2	U Short
4-5	Time of validity – GPS week	2	U Short
6-9	Time of validity - milliseconds	4	U Long
	Klobuchar data		
10-13	Time Klobuchar data was received (Absolute GPS time in seconds)		U Long
14	Alpha 0 Amplitude coefficient (sec)		Char
15			Char
16	Alpha 2 Amplitude coefficient (sec/semi-circle)		Char
17	Alpha 3 Amplitude coefficient (sec/semi-circle3)		Char
18	Beta 0 period coefficient (sec)		Char
19	Beta 1 period coefficient (sec/semi-circle)		Char
20	Beta 2 period coefficient (sec/semi-circle2)		Char
21	Beta 3 period coefficient (sec/semi-circle3)		Char
22-23	CITT CRC		Short

Tabla 6: Formato mensaje tipo 30*Mensaje tipo 31 - Datos UTC*

2.64 La TRS entregará offsets UTC a la TMS. Este dato es formateado en un mensaje tipo 31. Este mensaje contiene el offset de tiempo GPS del UTC común a todos los satélites. Por lo tanto, la TRS envía este mensaje a la TMS lentamente y la TMS lo procesa de igual forma. Este mensaje incluye un header, un bloque de datos UTC y un checksum CCITT CRC. Los campos de “Time of validity” contienen los mismos valores del “Time of validity” del último mensaje tipo 1 enviado. Overhead (header + checksum) = 11 bytes. Longitud del mensaje tipo 31 = 23 bytes. En la **Tabla 7** se muestra el mensaje tipo 31.

BYTE	DESCRIPTION	SIZE BYTES	DATA TYPE
1	Message type = 1	1	U Char
2-3	Receiver ID	2	U Short
4-5	Time of validity – GPS week	2	U Short
6-9	Time of validity - milliseconds	4	U Long
	UTC data		
10-13	A0 UTC offset coefficient (sec)	4	Long
14-17	A1 UTC offset coefficient (sec/sec)	4	Long
18	DtLSDelta time due to leap seconds (sec)	1	U Char
19	tot Reference time for UTC data (sec)	1	U Char
20	WNt UTC reference week number (weeks)	1	U Char
21	WNlSF Effectivity reference week number (weeks)	1	U Char
22	DN Effectivity reference days number (days)	1	U Char
23	DtVLSFdelta time at leap second event (sec)	1	Char
24-25	Checksum CCITT CRC	2	Short

Tabla 7: Formato mensaje tipo 31

Mensaje tipo 32- Datos de almanaque

2.65 Los datos son formateados en un mensaje tipo 32. Este mensaje contiene los datos de almanaque para todos los satélites GPS. Por lo tanto, la TRS envía este mensaje a la TMS lentamente y la TMS lo procesa de igual forma. Este mensaje incluye un header, un bloque de datos de almanaque y un checksum CCITT CRC. Los campos de “time of validity” contienen los mismos valores del “time of validity” del último mensaje tipo 1 enviado. En la **Tabla 8** se muestra el formato del mensaje tipo 32.

BYTE	DESCRIPTION	SIZE BYTES	DATA TYPE
1	Message type = 1	1	U Char
2-3	Receiver ID	2	U Short
4-5	Time of validity – GPS week	2	U Short
6-9	Time of validity - milliseconds	4	U Long
10	DWN Difference between GPS GPS week and week of almanac	1	Char
11	toa Time of almanac	1	U Char
12	Number of satellites in the record	1	U Char
	Almanac data: 28 bytes*number of SVs		
	Block repeated for each satellite in the record		
N+			

BYTE	DESCRIPTION	SIZE BYTES	DATA TYPE
1	Satellite PRN Number	1	U Char
2-3	E eccentricity	2	U Short
4-5	di Delta inclination from 0,3 (semi-circles)	2	Short
6-7	Ω DOTrate of right ascension (semi-circles/sec)	2	Short
8-11	A1/2Square root of sei-major axis (meters ^{1/2})	4	U Long
12-15	Ω 0 Longitude of ascension node (semi-circles)	4	Long
16-19	W Argument of perigee (semi-circles)	4	Long
20-23	M0 Mean anomaly at reference time (semi-circles)	4	Long
24-25	af0 Clock data coefficient (sec)	2	Short
26-27	af1 Clock data coefficient (sec/sec)	2	Short
28	Health	1	U Char
2 last	Checksum CCITT CRC	2	Short

Tabla 8: Formato mensaje tipo 32

FIGURA 1

DIAGRAMA EN BLOQUE ESTACIÓN TRS

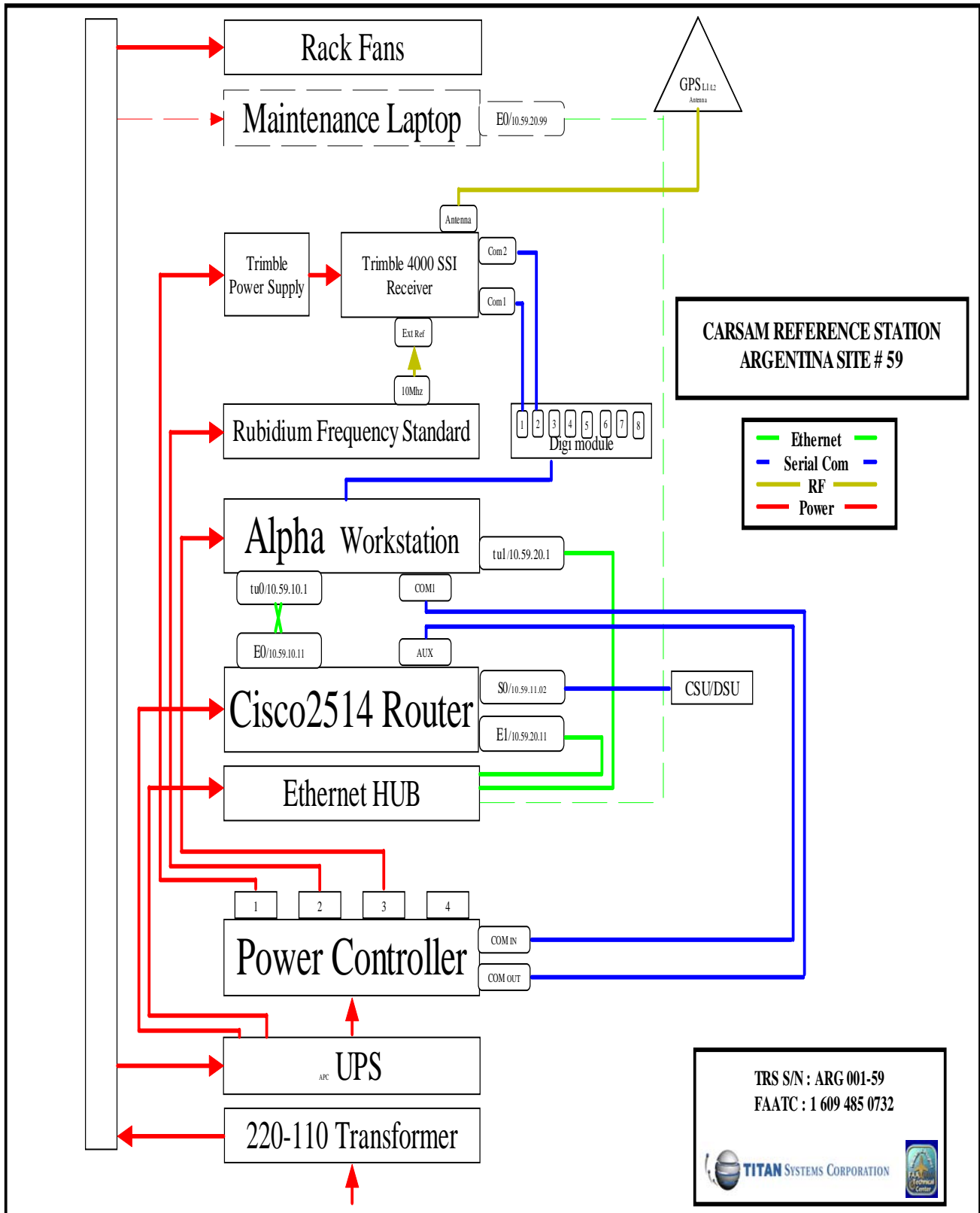


FIGURA 2
SITIOS INSTALACIÓN ANTENA GPS DE LA TRS



Antena TRS Bogotá (Colombia)



Antena TRS La Paz (Bolivia)



Antena GPS Ezeiza (Argentina)

Antena GPS Estación Tegucigalpa Honduras



FIGURA 3

FOTOS DE EQUIPAMIENTO DE UNA TRS DE LA CSTB



Receptor GPS Trimble



Receptor GPS Millenium



Procesador TRS



Sistema de gestión de potencia



Oscilador Rubidium



Digibord

CAPITULO 3

ANALISIS DE LOS DATOS RECOLECTADOS

Descripción de los procedimientos de recolección y análisis de los datos en la CSTB

Recolección de datos

3.1 La plataforma de pruebas CAR/SAM fue configurada principalmente para la recolección de datos. Las Estaciones de Referencia de la Plataforma de Pruebas (TRS) fueron configuradas ya sea para enviar datos a la Estación Maestra de la Plataforma de Pruebas, o para recolectar datos a nivel local. Las mediciones consistían mayormente de datos sobre mediciones del satélite receptor GPS y la recolección de mensajes de efemérides. La TRS que contenía un receptor Millenium también recolectaba datos sobre mediciones GEO del WAAS y difundía los mensajes del WAAS. Los datos eran archivados en DVD.

Análisis de datos

3.2 Los datos para las diversas notas informativas e informes eran procesados utilizando la herramienta de soporte lógico *GPS Solution Post Process*. Esta herramienta utiliza las mediciones y datos de efemérides sin procesar del GPS como insumo, y genera información sobre posición y precisión en un archivo de texto llamado archivo .PDF.

3.3 Cuando el receptor está recibiendo un mensaje válido GEO del SBAS (el cual incluye datos ionosféricos válidos), el soporte lógico puede generar información tanto de exactitud como de confinamiento. Por ejemplo, en Estados Unidos, esta información es utilizada para analizar la exactitud, integridad y disponibilidad del WAAS. El análisis consiste en lo siguiente:

Exactitud

3.4 La herramienta de soporte lógico *GPS Solution Post Process* genera columnas del error hacia el este, hacia el norte y hacia arriba. Este error es la diferencia entre la posición calculada y la posición medida de la antena de la TRS. Estos datos pueden ser materia de un análisis estadístico o ser graficados para mostrar la exactitud de la posición, tanto la medida únicamente por el GPS como aquella corregida por el WAAS.

Integridad

3.5 El soporte lógico *GPS Solution Post Process* genera columnas del Nivel de Protección Vertical (VPL) y del Nivel de Protección Horizontal (HPL), además de las columnas de exactitud. La forma más básica de determinar la integridad consiste en utilizar estos datos para confirmar que los errores en dirección vertical y horizontal no excedan la magnitud del VPL y del HPL. Para que estos datos constituyan una prueba válida, el soporte lógico de la estación maestra SBAS debe estar certificado para generar señales de corrección seguras bajo todas las condiciones posibles; de lo contrario, la prueba puede dar resultados engañosos. El resultado del confinamiento del error de posición por el nivel de protección puede ser analizado en forma estadística o graficado.

Disponibilidad

3.6 La herramienta de soporte lógico *GPS Solution Post Process* genera columnas del Nivel de Protección Vertical (VPL) y del Nivel de Protección Horizontal (HPL); estos datos pueden ser combinados con el “Nivel de Alerta” para la operación específica que está siendo sometida a prueba (por ejemplo, LNAV/VNAV), a fin de determinar si la operación hubiera estado disponible o si el receptor le hubiera advertido al piloto que no continúe con la operación. Por ejemplo, bajo la LNAV/VNAV, el requisito para el Límite de Alerta Vertical (VAL) es de 50 metros. Si el VPL excedía los 50 metros, el receptor SBAS certificado de la aeronave hubiera generado una señal para advertirle al piloto que debía interrumpir la aproximación, de manera que el sistema no hubiera estado disponible durante ese período. Para que estos datos constituyan una prueba válida, el soporte lógico de la estación maestra del SBAS debería estar certificado para generar señales de corrección seguras bajo todas las posibles condiciones; de lo contrario, la prueba podría dar resultados engañosos. El resultado del confinamiento del nivel de protección por el nivel de alerta puede ser analizado estadísticamente o graficado.

Presentación visual de los datos

3.7 A fin de ilustrar estos conceptos del análisis de datos, se elaboró varios gráficos utilizando el soporte lógico GNUPLOT, el cual está disponible a nivel comercial.

Datos ionosféricos

3.8 El análisis de los efectos de la ionosfera sobre el GPS y el SBAS se efectúa de diversas maneras. La ionosfera alterada genera un centelleo que causa fluctuaciones C/No en el receptor y ocasionales desconexiones del mismo, las cuales pueden afectar la exactitud de la posición, como se indicó anteriormente. Los datos C/No sin procesar pueden ser graficados con el fin de observar el fuerte centelleo y las interrupciones del receptor en satélites específicos GPS o SBAS. El C/No del receptor es una columna en un archivo de salida del soporte lógico *GPS SolutionPostProcess*.

3.9 Otro efecto de la alteración ionosférica son los rápidos cambios en el código o en el alcance de la portadora, los cuales pueden ser graficados en base a la herramienta de soporte lógico *GPS SolutionPostProcess*. La nota de estudio incluía varios ejemplos de características severamente alteradas, llamadas “Transiciones”, que a veces existen en áreas próximas al ecuador geomagnético.

Descripción de los problemas ionosféricos y su influencia en los sistemas GPS

3.10 La Undécima Conferencia de Navegación Aérea (ANC-11) recomendó desarrollar una hoja de ruta para la mitigación ionosférica a nivel mundial. La intención de la hoja de ruta era responder a las inquietudes técnicas asociadas con la performance del Sistema de Aumentación Basado en Satélites (SBAS) en las regiones ecuatoriales. En respuesta a esta recomendación, la FAA incluyó una iniciativa en su Plan de Vuelo 2004-2008 para la creación de esta hoja de ruta.

Antecedentes

3.11 Un SBAS es capaz de brindar servicios de navegación que abarcan desde las operaciones en ruta y en área terminal hasta las operaciones de aproximación. En cuanto al SBAS desarrollado por Estados Unidos, conocido como el Sistema de Aumentación de Área Amplia (WAAS), la disponibilidad del servicio abarca desde la fase en ruta hasta las denominadas operaciones LPV (aproximaciones con guía vertical hasta un mínimo de 250 pies). Uno de los factores limitantes del WAAS es la ionosfera. Las limitaciones asociadas con la ionosfera existen a nivel mundial, y tendrán que ser resueltas por aquellas áreas del mundo que planean implantar un SBAS. En los próximos años, varios SBAS empezarán a operar, y se anticipa que, a la larga, la navegación basada en satélites será una realidad a nivel mundial (ver la **Figura 1**).

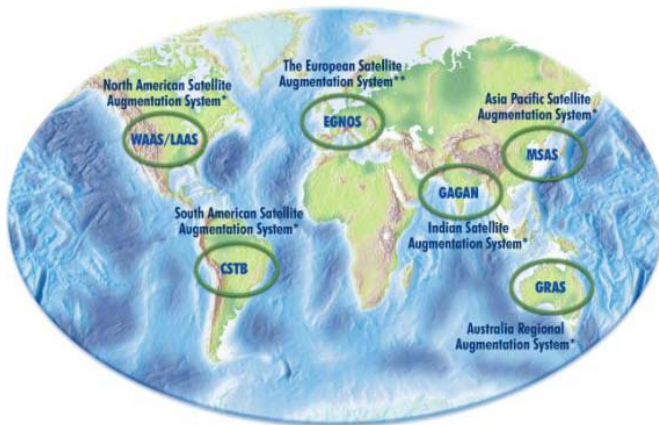


Figura 1 – Desarrollo del SBAS a nivel mundial

3.12 Actualmente, sólo existe un obstáculo real para el desarrollo de esta tecnología a nivel mundial: *la ionosfera*.

La ionosfera

3.13 La ionosfera es una región de la atmósfera superior que tiene el potencial de alterar las señales del Sistema Mundial de Determinación de la Posición (GPS). La ionosfera contiene electrones libres (medidos en unidades de Contenido Total de Electrones (TEC)) en una densidad suficiente como para reducir la velocidad de las señales del GPS. Al reducir la velocidad de la señal, la ionosfera crea una demora en la llegada esperada de la señal GPS, que, de no ser corregida, generará un error por posición incorrecta. En ocasiones, una alteración ionosférica más severa, conocida como centelleo, puede inclusive impedir la recepción de las señales. Los efectos ionosféricos son cíclicos y varían con el tiempo. Un ciclo diario tiene valores máximos que se presentan alrededor de las 2 pm, hora local, y valores mínimos después de la medianoche. También existen diferencias relacionadas con las estaciones, la geografía y el ciclo solar. El aspecto más importante de estos ciclos es que dependen en gran medida del ciclo solar de 11 años: las alteraciones ionosféricas serán mucho mayores cerca del pico del ciclo (la fecha más reciente fue 2000) que durante los períodos menos activos del mismo (el siguiente que se espera es en 2007). En muchos casos, un SBAS puede mitigar los efectos de la ionosfera, y se puede brindar niveles seguros de navegación vertical. Esto es posible si las demoras en las señales del SBAS pueden ser medidas con exactitud y con un alto nivel de integridad. En muchas partes del mundo, esto no representa un mayor problema.

3.14 No obstante, en las regiones ecuatoriales, esto no es una tarea sencilla, ya que las demoras ionosféricas pueden variar muy rápidamente, tanto en el tiempo como en el espacio. La Figura 2 resalta las distintas regiones ionosféricas en todo el mundo, pudiéndose observar que las regiones ecuatoriales comprenden aproximadamente 30% de la masa de tierra del globo.

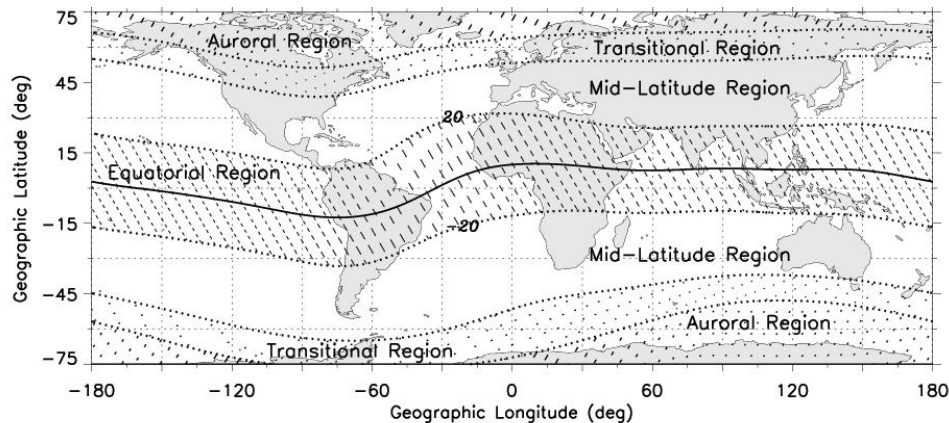


Figura 2 – Regiones ionosféricas del mundo

3.15 A fin de apoyar la implantación del SBAS en las regiones próximas al ecuador alrededor del mundo, la FAA ha estado apoyando y realizando estudios de investigación para la plena caracterización y posterior mitigación de los efectos de la ionosfera. El más reciente esfuerzo ha sido la coordinación con los investigadores internacionales para el establecimiento de un plan de trabajo que permita resolver los problemas relacionados con la implantación de un SBAS en la región ecuatorial. Una parte importante de este esfuerzo consiste en la elaboración de una hoja de ruta para mitigar los efectos ionosféricos, en la que se incluye a las regiones ecuatoriales, las latitudes intermedias y las regiones aurales del mundo.

3.16 La siguiente información es una compilación hecha a lo largo de muchos años de investigación, pero es interesante notar que aún queda mucho trabajo por delante para lograr que el SBAS sea una realidad en las zonas próximas a las regiones ecuatoriales. Es todo un desafío proporcionar correcciones ionosféricas útiles a estas regiones, pero también resulta muy importante, ya que alrededor del 30% de la población vive en estas regiones, donde también está ubicado aproximadamente el 15% de los aeropuertos.

Resultados hasta la fecha

3.17 El Sistema Mundial de Determinación de la Posición (GPS) ha estado brindando información sobre posición, navegación y tiempo (PNT) a los usuarios de la navegación durante casi una década. Para aquellos usuarios que han estado utilizando únicamente el GPS, la ionosfera no ha sido un problema grave.

3.18 El proyecto RLA/00/009 ha hecho un gran esfuerzo por desarrollar la recolección de datos GPS desde la TRS a fin de verificar los requisitos de aumentación relacionados con los receptores GPS de una sola frecuencia (L1), y así compensar el error de alcance generado por la demora ionosférica y confinar el error ionosférico restante.

3.19 El WAAS tipo SBAS transmite una retícula de información sobre la demora ionosférica vertical espacial, la cual es interpolada y aplicada por el receptor del usuario a cada medición del alcance del GPS. El WAAS también genera un confinamiento del error para cada punto de la retícula, llamado Error Vertical Ionosférico de Retícula. El receptor del usuario incorpora este confinamiento del error en su cálculo del Nivel de Protección Vertical (VPL) y del Nivel de Protección Horizontal (HPL) para la aeronave. El sistema WAAS garantiza la seguridad del usuario, al confinar el error de posición esperado a los niveles de protección; y si el nivel de protección excede el Límite de Alerta, entonces el piloto recibe una advertencia de no continuar con la aproximación (si la pista de aterrizaje no está a la vista) [1].

3.20 El WAAS informa al receptor del usuario acerca de la demora ionosférica, utilizando una forma de aproximación plana. El sistema emplea un confinamiento para el posible error ionosférico que resulta de la potencial irregularidad de la ionosfera. Por lo tanto, es necesario tomar en cuenta la seguridad y disponibilidad de los sistemas SBAS cuando la ionosfera se ve alterada y la demora espacial deja de ser plana.

3.21 Durante el desarrollo de la Capacidad Operacional Inicial (IOC) del WAAS, la FAA observó que un modelo bidimensional simplificado podía representar muy bien la estructura tridimensional de la ionosfera en las regiones aurorales, casquetes polares y latitudes intermedias la mayor parte del tiempo. Se utiliza este modelo simplificado para condensar la información de tal manera que pueda ser enviada a los usuarios mediante satélites geoestacionarios, a una baja velocidad de transmisión de datos. Muy ocasionalmente, cerca al momento pico del ciclo solar de 11 años, ocurren alteraciones significativas en estas regiones que no pueden ser modeladas correctamente en dos dimensiones, o que no pueden ser detectadas. El WAAS ha implantado un “detector de irregularidades” para identificar las horas y lugares en que la ionosfera no puede ser modelada en forma correcta. En estas ocasiones, no se dispone de guía vertical. Además, el WAAS siempre infla sus valores de confianza de difusión a fin de tomar en cuenta las alteraciones ionosféricas que pueden estar presentes pero que no son detectadas por el sistema.

3.22 Esta sección ofrece una visión panorámica de las características de aumentación del sistema GPS relacionadas con la ionosfera, y se documenta varias de las características “negativas” y efectos ionosféricos observados en el CONUS por el sistema WAAS, y en las Regiones CAR/SAM por la CSTB.

Características de seguridad de la aumentación del GNSS relacionadas con la demora ionosférica

3.23 El sistema WAAS está continuamente probando el modelo plano de la ionosfera del que depende su seguridad; si detecta alguna condición en un radio de, por lo menos, 800 km desde un punto de la retícula que muestre que la demora ionosférica no está bien representada por un plano uniforme, entonces el GIVE para ese punto de retícula se fija en 45 m, inhabilitándolo en forma efectiva.

3.24 Se ha observado que las tormentas geomagnéticas medianas y grandes crean una ionosfera irregular sobre la zona continental de Estados Unidos, y su efecto sobre el WAAS ha sido la inhabilitación de la guía vertical mientras duran dichas condiciones. El sistema garantiza la seguridad, a expensas de la disponibilidad, y los usuarios del sistema deberán utilizar una ayuda alterna de aterrizaje o deberán realizar una aproximación de no precisión utilizando el WAAS, o el GPS en forma autónoma, para el aterrizaje. Afortunadamente, no se anticipa que ocurran muchas tormentas geomagnéticas en la latitud intermedia de CONUS capaces de alterar el servicio de guía vertical del sistema WAAS sobre un área amplia (tal vez ninguna, una o dos al año).

Características ionosféricas a distintas latitudes

3.25 Lamentablemente, para los fines de la normalización mundial, las condiciones ionosféricas varían considerablemente entre la región cercana al ecuador geomagnético (± 20 grados) y las latitudes intermedias. Las áreas en las latitudes intermedias pueden experimentar condiciones ionosféricas irregulares muy ocasionalmente, mientras que el ecuador geomagnético, en ciertos momentos, puede tener condiciones irregulares casi a diario, debido a dos características importantes: la anomalía ecuatorial y las transiciones. La anomalía ecuatorial crea un aumento de la demora ionosférica al norte y sur del ecuador geomagnético durante el día y, según la estación, al atardecer. El segundo factor --y el más extremo-- son las transiciones, que aparecen como regiones alargadas de reducido TEC, en el orden de cientos de kilómetros de ancho o menos.

Centelleo

3.26 Otro efecto negativo relacionado con una ionosfera irregular es el centelleo. Los efectos del centelleo ya han sido documentados anteriormente. Resultados obtenidos recientemente muestran que el nivel de fluctuación de las señales se ha venido reduciendo desde el pico solar ocurrido en 2001, pero que se ha seguido observando centelleo hasta marzo de 2004 en datos provenientes de las estaciones de Sudamérica.

Características ionosféricas cerca al ecuador geomagnético

3.27 Las características ionosféricas a las que se enfrentan los sistemas de aumentación GPS cerca al ecuador geomagnético presentan tres problemas a resolver: (1) las irregularidades en una superficie plana son significativas, (2) estas irregularidades ocurren con bastante frecuencia, y (3) estas irregularidades están relacionadas con el centelleo.

Desviaciones ionosféricas en una superficie plana uniforme

3.28 Las dos principales causas de la ionosfera no plana son la anomalía ecuatorial y el agotamiento del plasma. Estos intentos iniciales aún no han producido un método aceptable que le permita al SBAS brindar una corrección ionosférica con un GIVE lo suficientemente pequeño como para confinar el error, lo cual permitiría brindar un servicio APV que esté disponible mientras duren las condiciones irregulares severas.

Anomalía ecuatorial

3.29 La Anomalía Ecuatorial o de Appleton fue identificada a mediados de la década de 1950. La fuerza responsable desplaza el plasma ecuatorial hacia el norte y hacia el sur, alejándolo del ecuador. La anomalía ecuatorial varía en intensidad, y el resultado es una ionosfera con una creciente demora cerca de la “región de la anomalía” (± 15 grados alrededor del ecuador geomagnético), y una reducción de la demora cerca al ecuador geomagnético.

3.30 La Figura 9 muestra una sección transversal longitudinal de la demora ionosférica vertical máxima derivada de los datos TRS de muchas estaciones de referencia CAR/SAM y CONUS. El gráfico muestra el “aumento” de la demora conforme uno se acerca a la región de la anomalía, y las condiciones más uniformes en las latitudes intermedias.

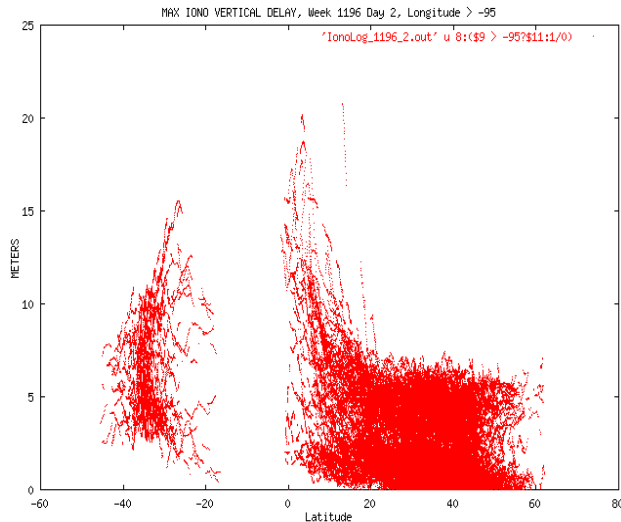


Figura 9. El efecto de la anomalía ecuatorial sobre la demora vertical máxima

Transiciones ecuatoriales

3.31 La anomalía en si contribuye a crear una ionosfera no plana, pero esta gradiente (medida a 20 mm/km en f_oF_2), es gradual comparada con la gradiente que se encuentra en las transiciones ionosféricas. Las fuerzas y mecanismos físicos que causan las transiciones han sido estudiados desde hace varias décadas. Algunas transiciones se extienden más al norte-sur que otras, y típicamente se desplazan del oeste al este a 100-150 m/s, aunque las velocidades varían significativamente. La Figura 10 ilustra el tamaño, gradientes y movimiento de una transición observada en octubre de 2001 por dos receptores ubicados a una distancia de 95 km entre si, en dirección este-oeste, en el área de Río de Janeiro. Uno de los momentos interesantes que aparece ilustrado en el gráfico es 346000, en que ninguno de los emplazamientos ve la transición en la línea de visión al GEO, lo cual implica que la totalidad de la transición está contenida dentro de estos puntos. La variación de 10 metros en el TEC, en una distancia de $(1/2)$ 95 km, implica una gradiente de aproximadamente 200 mm/km.

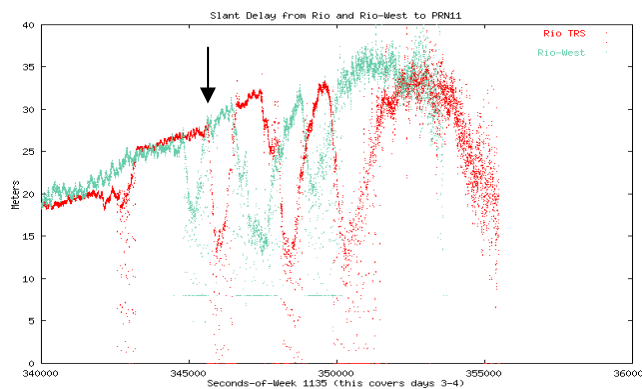


Figura 10: Mediciones de las transiciones en Río de Janeiro

3.32 Las Figuras 12 - 16 muestran las mediciones de las transiciones a PRN 7 durante 5 noches consecutivas, desde dos receptores ubicados en emplazamientos cercanos, en la Isla Ascensión. Esto muestra la posible variación noche a noche, durante períodos de transiciones severas.

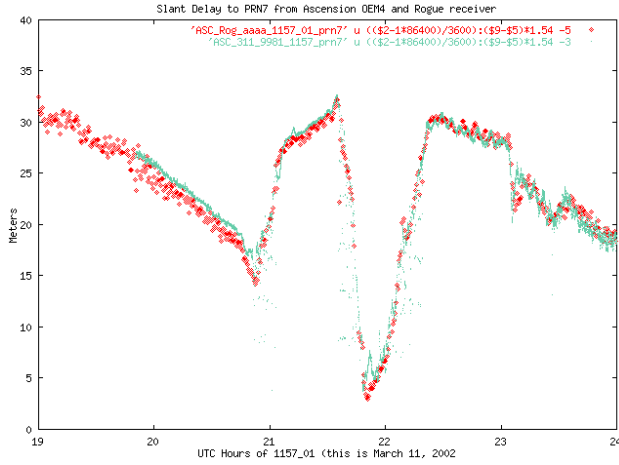


Figura 12: Mediciones de las transiciones en la Isla Ascención, PRN 7, 11 de marzo de 2002

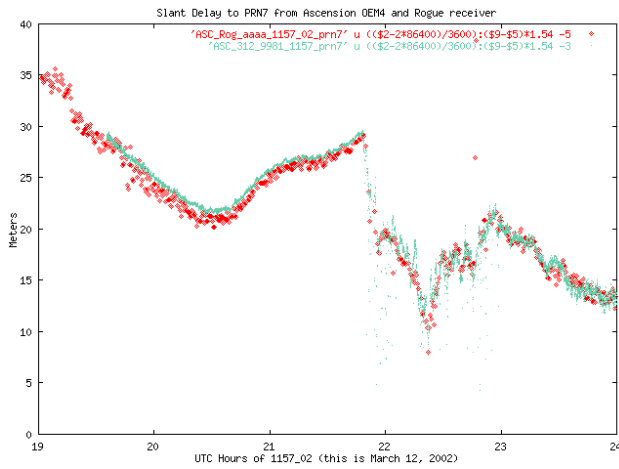


Figura 13: Mediciones de las transiciones en la Isla Ascención, PRN 7, 12 de marzo de 2002

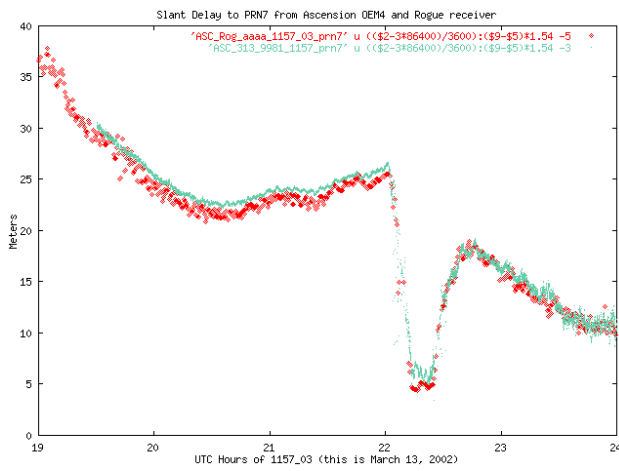


Figure 14. Mediciones de las transiciones en la Isla Ascención, PRN 7, 13 de marzo de 2002

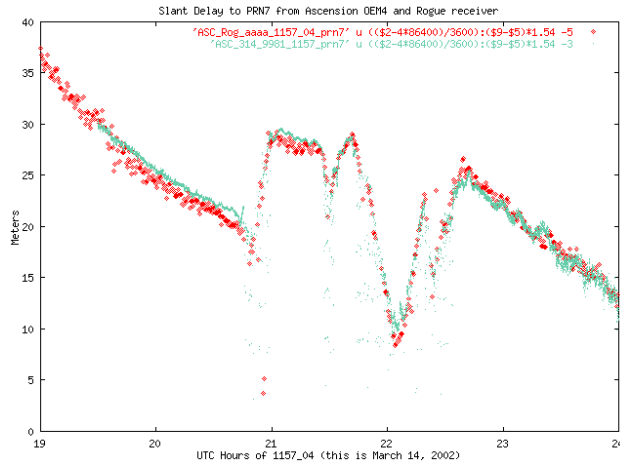


Figura 15: Mediciones de las transiciones en la Isla Ascensión, PRN 7, 14 de marzo de 2002

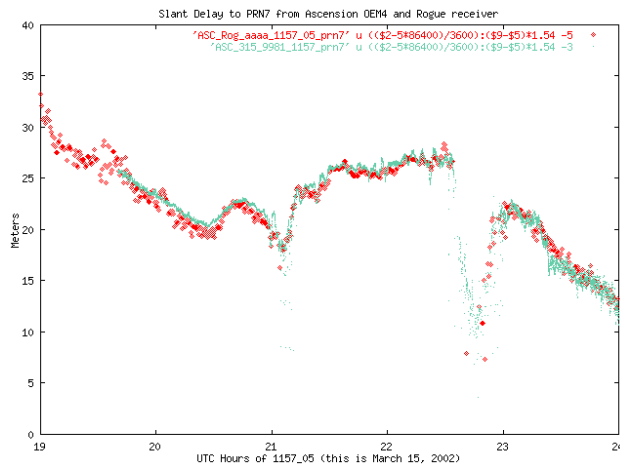


Figura 16: Mediciones de las transiciones en la Isla Ascensión, PRN 7, 15 de marzo de 2002

3.33 Estas figuras muestran el cambio extremo que experimenta la demora durante la transición en los años próximos al pico del ciclo solar (potencialmente, más de 30 metros de cambio en la demora); estas figuras también ofrecen un registro gráfico que muestra que las transiciones son comunes cuando existen las condiciones estacionales y temporales que las crean. Más avanzado el ciclo solar, en el año 2004, las transiciones observadas son, en general, de menor magnitud (probablemente, debido a que el TEC circundante es típicamente menor comparado a si estuviera cerca al pico solar). La Figura 17 muestra un ciclo solar (gracias a www.sec.noaa.gov).

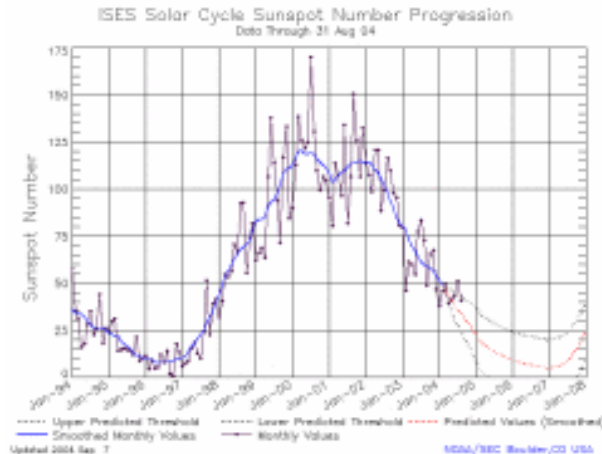


Figura 17: Ciclo solar actual

3.34 La siguiente sección analiza en mayor detalle la frecuencia de ocurrencia en relación con el ciclo solar, hora del día y estación.

Frecuencia de ocurrencia de la transición cerca al ecuador geomagnético

3.35 La frecuencia de ocurrencia de las transiciones ecuatoriales también ha sido caracterizada en estudios anteriores; las transiciones se presentan en Brasil con una frecuencia de hasta 86% de las tardes en enero. Las transiciones son huecos en forma de banano en el plasma ionosférico, con una alineación norte-sur desde el ecuador geomagnético. Un buen indicador de la existencia de transiciones en una noche cualquiera es la fluctuación causada en la relación C/N_0 del GPS reportada por el receptor. Las fluctuaciones se deben al centelleo que ocurre conjuntamente con las transiciones. El mejor satélite que se puede utilizar para estas observaciones es el satélite geosíncrono que transmite la señal WAAS de la FAA en L1. La Figura 19 muestra las fluctuaciones en el SNR GEO desde receptores en Recife, Brasilia y Río de Janeiro (los receptores están ubicados en emplazamientos que se van alejando cada vez más del ecuador geomagnético, aunque no en línea recta). La Figura 19 muestra fuertes fluctuaciones en dos de las cuatro noches en el área de Río, en octubre de 2001, mientras que los receptores más al norte muestran más días de ocurrencia. Las noches y lugares donde se observa las fluctuaciones de la señal trazan el rumbo de lo que se entiende es la transición. Se inician en el ecuador geomagnético y crecen hacia el norte y sur, hasta alcanzar la máxima extensión bajo las condiciones existentes. Las Figuras 20-22 muestran el registro de estos datos durante tres semanas en enero de 2004 (varios años después del pico del ciclo solar.) Estas figuras muestran las características similares de una probabilidad más alta de ocurrencia en las zonas más cercanas al ecuador geomagnético, pero si las transiciones llegan al área de Río, las fluctuaciones aún pueden ser intensas. Las figuras parecen indicar que la magnitud de las fluctuaciones ha disminuido, luego de varios años de ocurrido el pico del ciclo solar, tal como se podría esperar en base a los estudios sobre el centelleo. La Figura 20 aclara este punto, ya que el centelleo alcanzó la línea de visión entre Río y AOR-W sólo una vez durante la semana (ángulo de elevación de unos 60 grados mirando en dirección general noroeste). La forma y extensión de las transiciones sugieren que la cantidad de enlaces satelitales afectados y la severidad dependerán de la ubicación con respecto al ecuador geomagnético. Por ejemplo, desde Río de Janeiro, un ángulo en azimut mirando en dirección norte hacia el satélite tiene mayores probabilidades de atravesar una transición en cualquier noche en que haya transiciones.

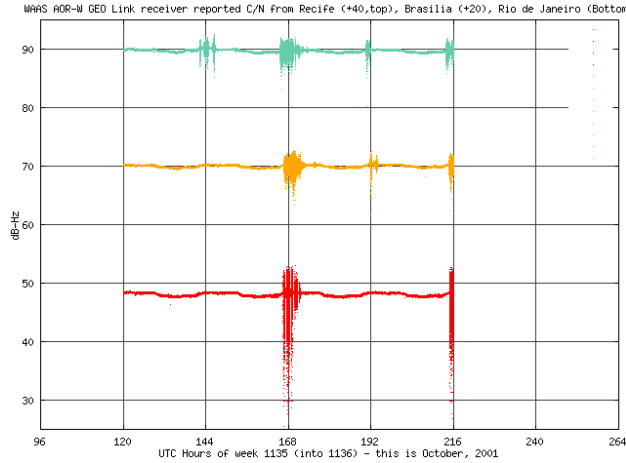


Figura 19. Fluctuaciones GEO SNR AOR-W WAAS registradas por la plataforma de pruebas de Brasil, octubre de 2001

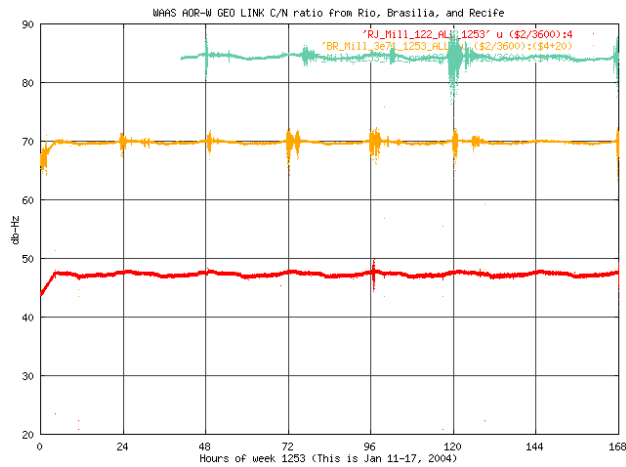


Figura 20. Fluctuaciones GEO SNR AOR-W WAAS registradas por la plataforma de pruebas de Brasil, 11 al 17 de enero de 2004

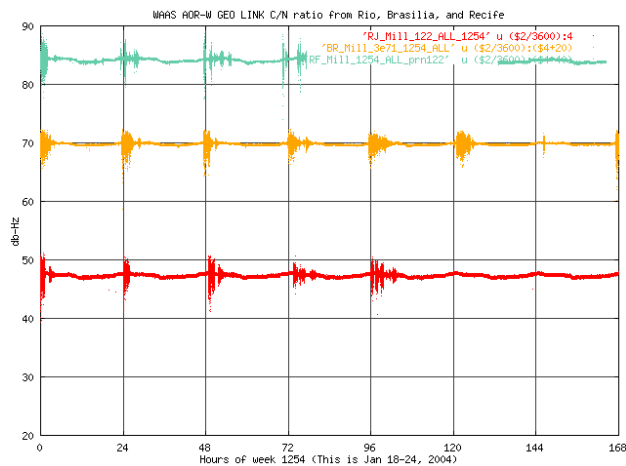


Figura 21. Fluctuaciones GEO SNR AOR-W WAAS registradas por la plataforma de pruebas de Brasil, 18 al 24 de enero de 2004

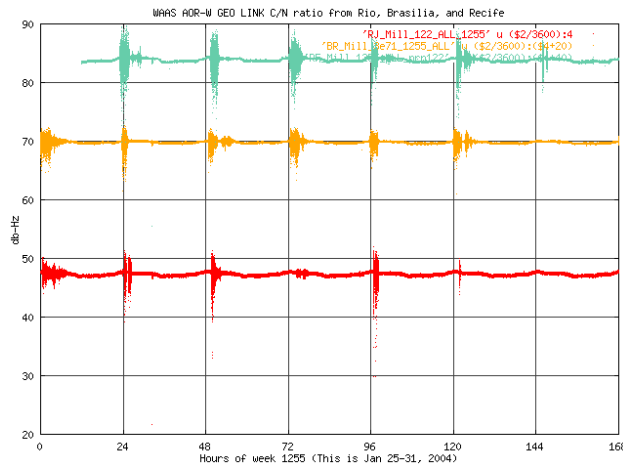


Figura 22. Fluctuaciones GEO SNR AOR-W WAAS registradas por la plataforma de pruebas de Brasil, 24 al 31 de enero de 2004

Interrupciones ocasionadas por el centelleo

3.36 La Figura 23 muestra otro ejemplo de una burbuja, también a PRN 11, en la noche del 13/14 de octubre de 2001, tanto desde la TRS de Río como de Río-Sur (un receptor remoto ubicado temporalmente al sur de Río de Janeiro). El Ashtech (en verde, L1 (código-portadora)/2) pareció perder contacto con mayor facilidad, de modo que sólo tengo una parte de la burbuja. Sin embargo, la forma muestra una muy buena concordancia con los datos de la TRS de Río (en rojo) (la cual se encuentra ubicada 20 km al norte). Estos datos también muestran la falta de movimiento norte-sur, que es lo que generalmente ocurre (aunque no está garantizado, ya que el sustentación vertical puede parecer como un movimiento norte-sur en algunas trayectorias satelitales). Esta burbuja alcanza una magnitud de aproximadamente 20 metros.

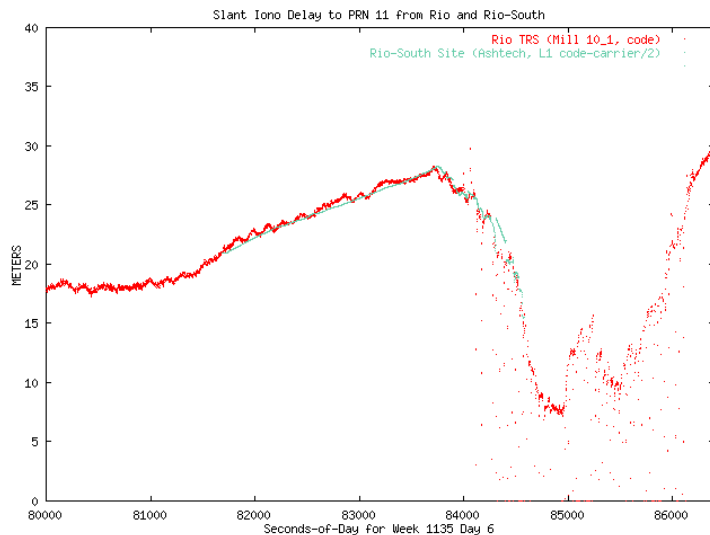


Figura 23. Ejemplo burbuja Río de Janeiro

Figura 5: Demora ionosférica oblicua PRN 11 desde el emplazamiento de la TRS de Río y Río-Sur

3.37 El centelleo resulta evidente en la mayoría de los gráficos mostrados. Un importante indicador específico del centelleo es la pérdida del mensaje GEO debido al centelleo. Los datos de los 3 emplazamientos TRS al sur de Brasil que muestran pérdida de mensajes aparecen resumidos en la siguiente tabla:

mensajes Geo perdidos

Semana/Día	1135_5	1135_6	1136_0	1136_1
Río de Janeiro	2	1783	783	1197
Curitiba	0	967	2033	1029
Brasilia	3	1	0	0

3.38 Una ligera dificultad para entender esta tabla es el hecho que el evento de centelleo ocurre en la noche, generalmente abarcando dos días UTC; por lo tanto, se hará un mapeo más detallado de las pérdidas con respecto a las horas de centelleo específicas. Sin embargo, según mis observaciones de los datos, las pérdidas en los mensajes GEO ocurren durante los eventos de centelleo, y las pérdidas ocurren generalmente en grupos (hasta 10-20 mensajes en hilera, por lo menos se pierde un caso en 100 mensajes en una hilera).

Investigación continua

3.39 Continúan los estudios de investigación para resolver los problemas referidos a la segura interpolación/extrapolación de la demora ionosférica de los sistemas de aumentación GPS a los usuarios de a bordo que sólo utilizan L1. Las peores irregularidades o características no planas son causadas en la ionosfera por las tormentas geomagnéticas en las latitudes intermedias y, más comúnmente, por la física de la ionosfera terrestre en áreas cercanas al ecuador geomagnético. La respuesta final es el uso de frecuencias duales, como la L5 – la segunda frecuencia civil, en el GPS. Esto le permitirá a la aeronave medir la demora ionosférica en forma directa y compensar por ella, en vez de intentar que el sistema de aumentación calcule la demora ionosférica que podrían estar sufriendo las mediciones de la aeronave. La frecuencia civil adicional no resolverá completamente el problema de las interrupciones debidas al centelleo, de manera que se requerirá mayores investigaciones y especificaciones en esta área.

Análisis de los datos recolectados

3.40 Todos los datos recolectados se encuentran almacenados en DVD en el centro tecnológico de la FAA en Atlantic City. La recolección de datos se inició en 2002 y concluyó en noviembre de 2005.

3.41 Los datos sin procesar provenientes de las TRS y registrados en la base de datos de Atlantic City están a disposición de los Estados participantes en el proyecto RLA/00/009 al momento que lo soliciten.

3.42 Para obtenerlos, deben ponerse en contacto con el Sr. Tom Dehel (tom.dehel@faa.gov). Asimismo, los datos recolectados por la NTSB en las últimas semanas a la fecha de acceso se pueden encontrar en la siguiente página web: <http://www.nstb.tc.faa.gov/>

3.43 Con la introducción de la nueva señal L2C, los usuarios civiles no aeronáuticos serán los primeros en poder medir la demora ionosférica en frecuencia dual. La L2C no estará disponible para usos de la aviación civil relacionados con la seguridad de la vida, ya que no se encuentra en la banda de frecuencias protegida para aplicaciones aeronáuticas relacionadas con la seguridad de la vida.

3.44 La señal L5 es una nueva señal robusta, diseñada para satisfacer las necesidades de los usuarios aeronáuticos. Ofrece una mayor resistencia a la interferencia y mejores propiedades de adquisición. El mensaje de datos será nuevo, y está diseñado para satisfacer las necesidades de exactitud y brindar la flexibilidad que requieren los futuros usuarios. La adición de esta tercera frecuencia civil permitirá a todos los usuarios civiles disponer de la medición ionosférica en forma continua a nivel mundial.

3.45 Estas señales alcanzarán su plena capacidad cuando se lancen suficientes satélites como para brindar una cobertura mundial adecuada, y se mejore el segmento de control del GPS para su monitoreo y control. La capacidad operacional inicial (IOC) del L2C está prevista para 2010 aproximadamente, con plena capacidad operacional (FOC) en 2012; la IOC del L5 está prevista para 2013 aproximadamente, y la FOC en 2015. Estos cronogramas son aproximados, por lo que están sujetos a modificaciones.

3.46 La navegación aeronáutica basada en satélites ofrece un salto casi cuántico en capacidad con respecto a las ayudas para la navegación convencionales, y los efectos de la ionosfera sobre servicios tales como la navegación en ruta y la aproximación de no precisión son casi nulos. Sin embargo, el uso de la navegación basada en satélites para proporcionar guía vertical de precisión requiere una corrección de precisión y confinamiento de los errores de cálculo de la demora ionosférica.

3.47 El WAAS ya ha sufrido tormentas geomagnéticas de consideración en las que la guía vertical ha quedado automáticamente inhabilitada sobre Estados Unidos por períodos que han durado varias horas. Las características ionosféricas que a menudo existen en áreas próximas al ecuador geomagnético siguen siendo materia de estudio, pero aún no se ha definido una solución en la que se utilice un sistema SBAS de una sola frecuencia para brindar guía vertical, al menos para los períodos en que se presentan estas características severas.

Datos recoletados desde la TRS

3.48 De las Figuras 24 a la 29 se muestran la cantidad de datos recibida en el centro tecnológico de la FAA en Atlantic City desde cada TRS de la CSTB por semana (usando día 3 de la semana). Las graficas fueron realizadas a través de la herramienta gnuplot. Todos estos datos se encuentran disponible en la localidad arriba indicada

3.49 En las figures el **eje y** muestra el numero de mensajes medidos por sitio. Se tendrían que recibir un mensaje por segundo, un día de recolección perfecto tendría que tener 86400 mensajes.

3.50 Las figuras muestran que se recibieron gran cantidad de datos , pero en las figuras se pueden notar problemas encontrados (falla de hardware, líneas de comunicaciones no instaladas a tiempo, fallas ocasionales de las mismas, etc.).

3.51 La gran cantidad de datos recolectados refleja que el objetivo del proyecto relacionado con la recolección de datos fue cumplido y que los mismos estarían aportando información para la investigación (ionosfera).

3.52 El eje X de las graficas indica el numero de semanas por un periodo de cuatro años . La conversión de semana a periodos (Mes, años) se muestra a continuación

Semana	1150 -	Enero,	2002
Semana	1200 -	Enero,	2003
Semana	1250 -	Diciembre,	2003
Semana	1300 -	Diciembre,	2004
Semana	1350 -	Diciembre	2005

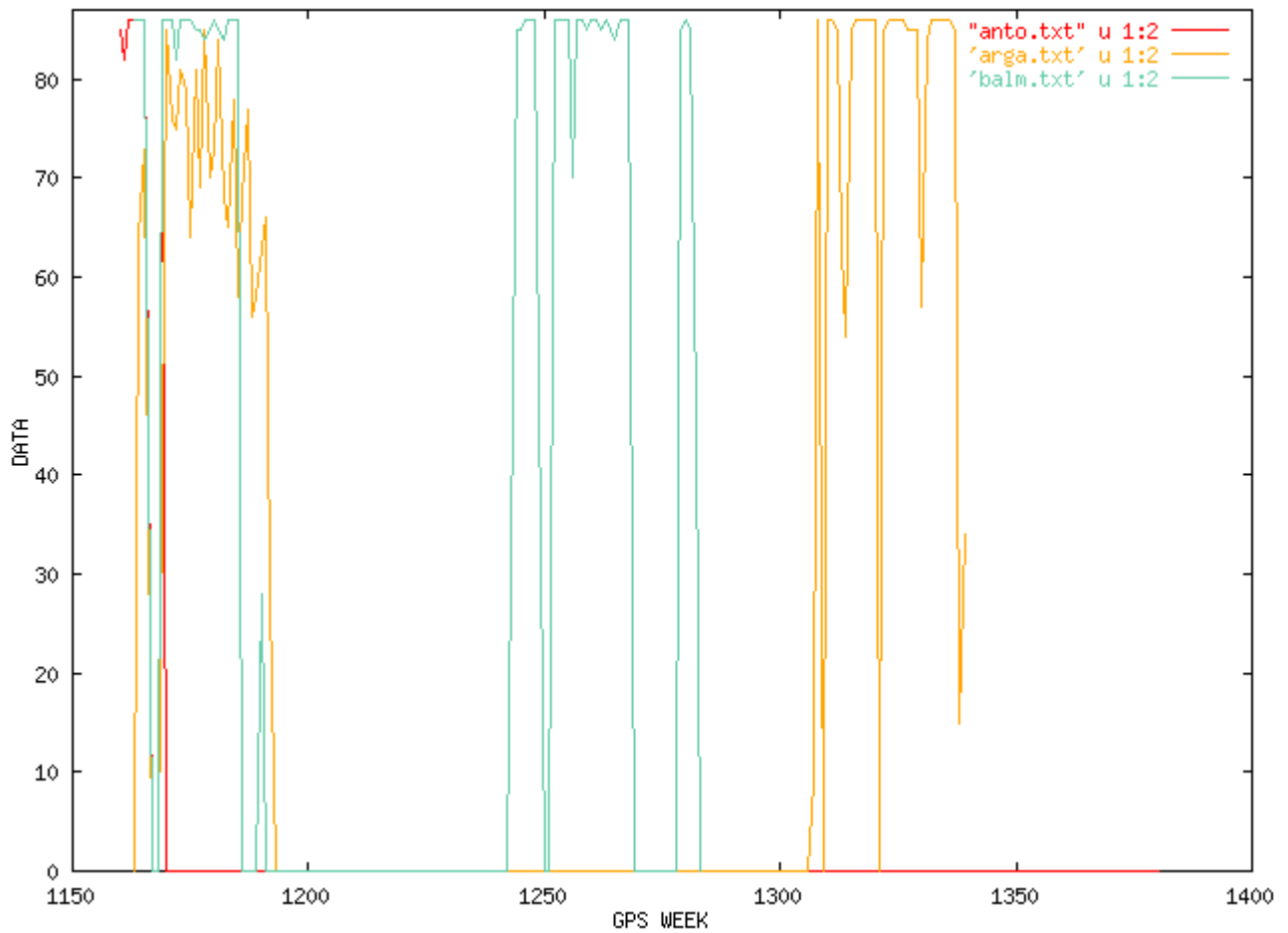


Figura 24. Datos recolectados de Antofagasta, Argentina y Balmaceda

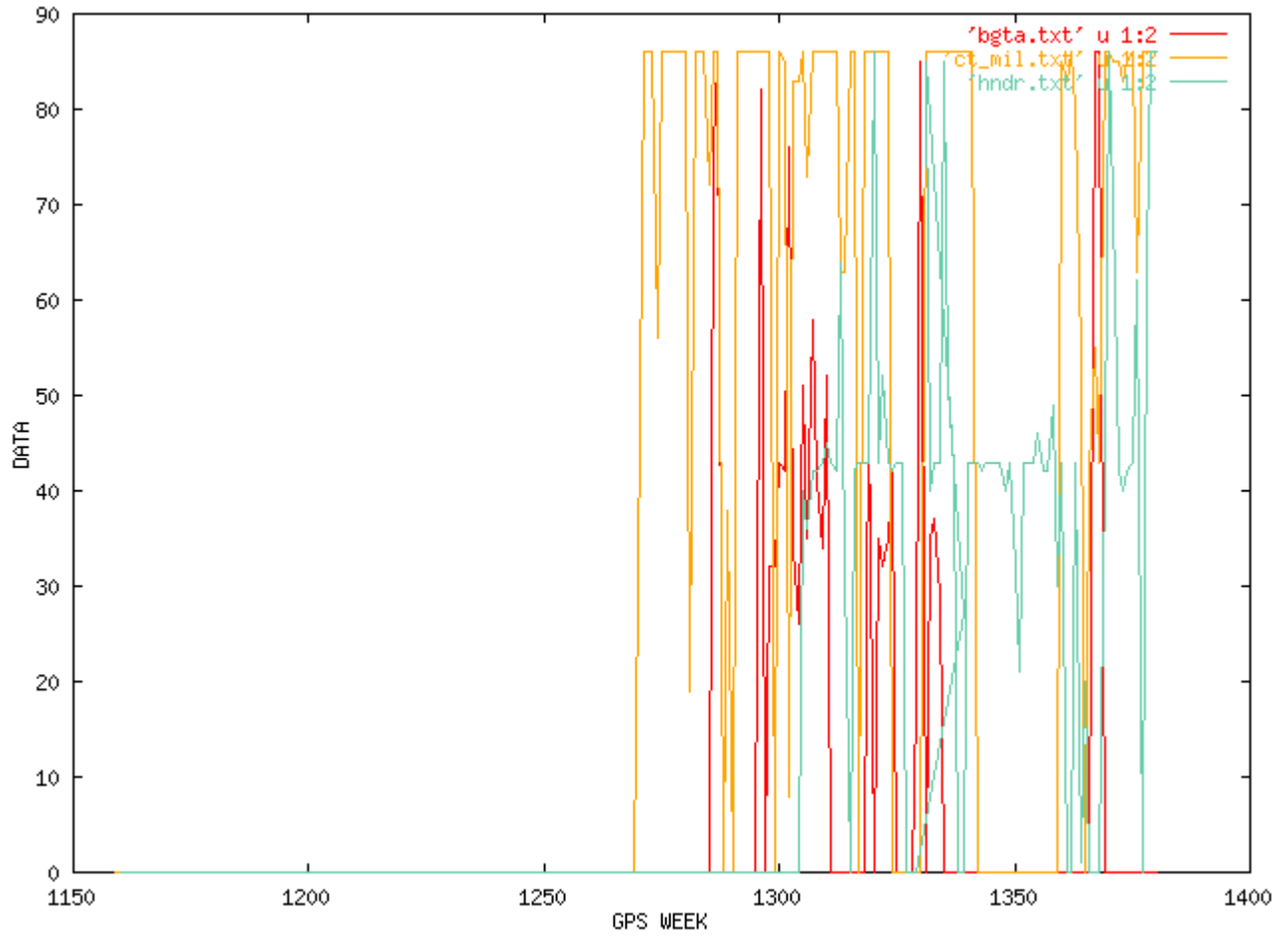


Figura 25. Datos recolectados de Bogotá y Honduras



Figura 26. Datos recolectados de México, Mérida y Mazatlan



Figura 27. Datos recolectados de Panamá, Perú y Santiago

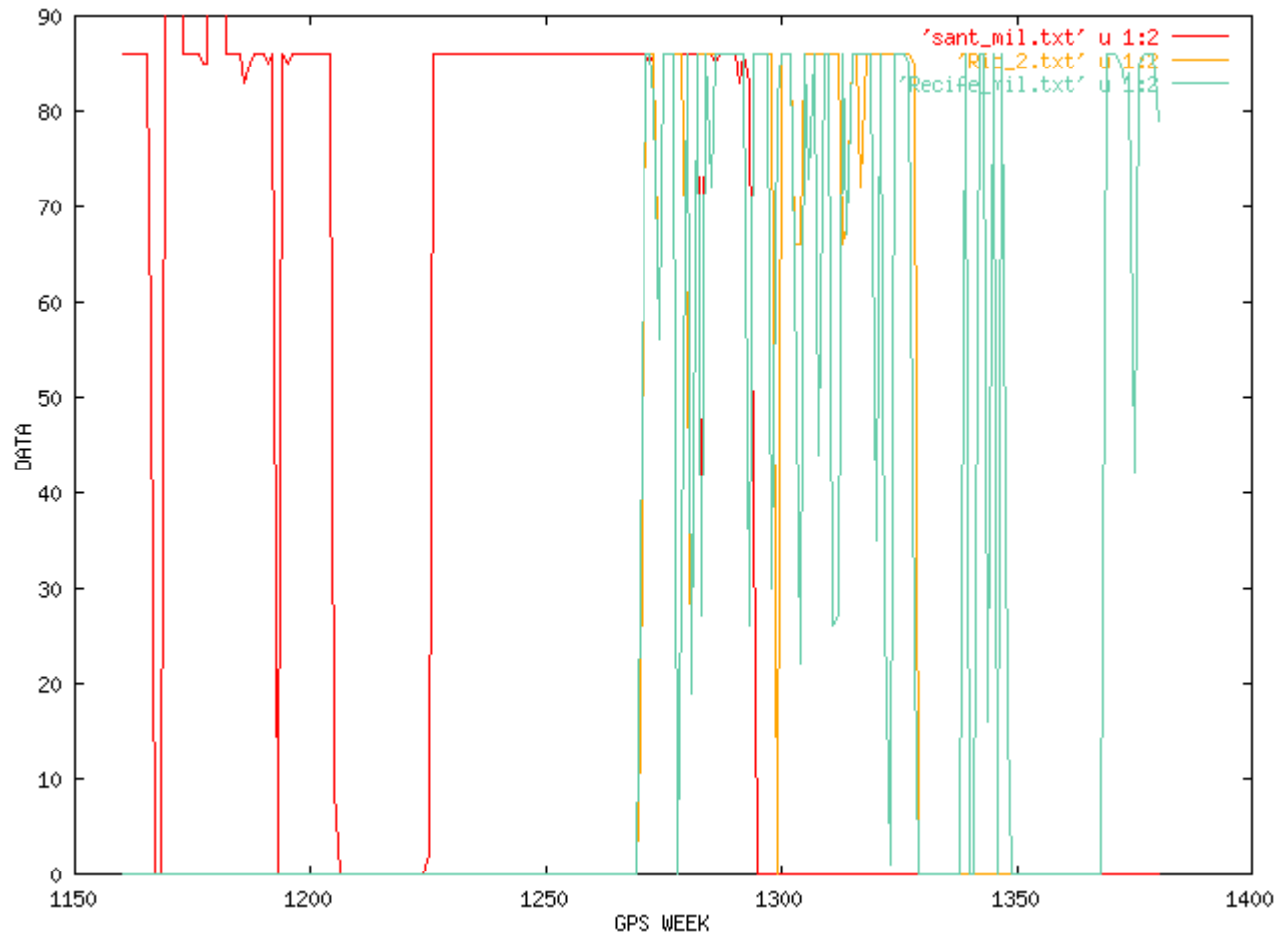


Figura 28. Datos recolectados de Santiago y Recife.

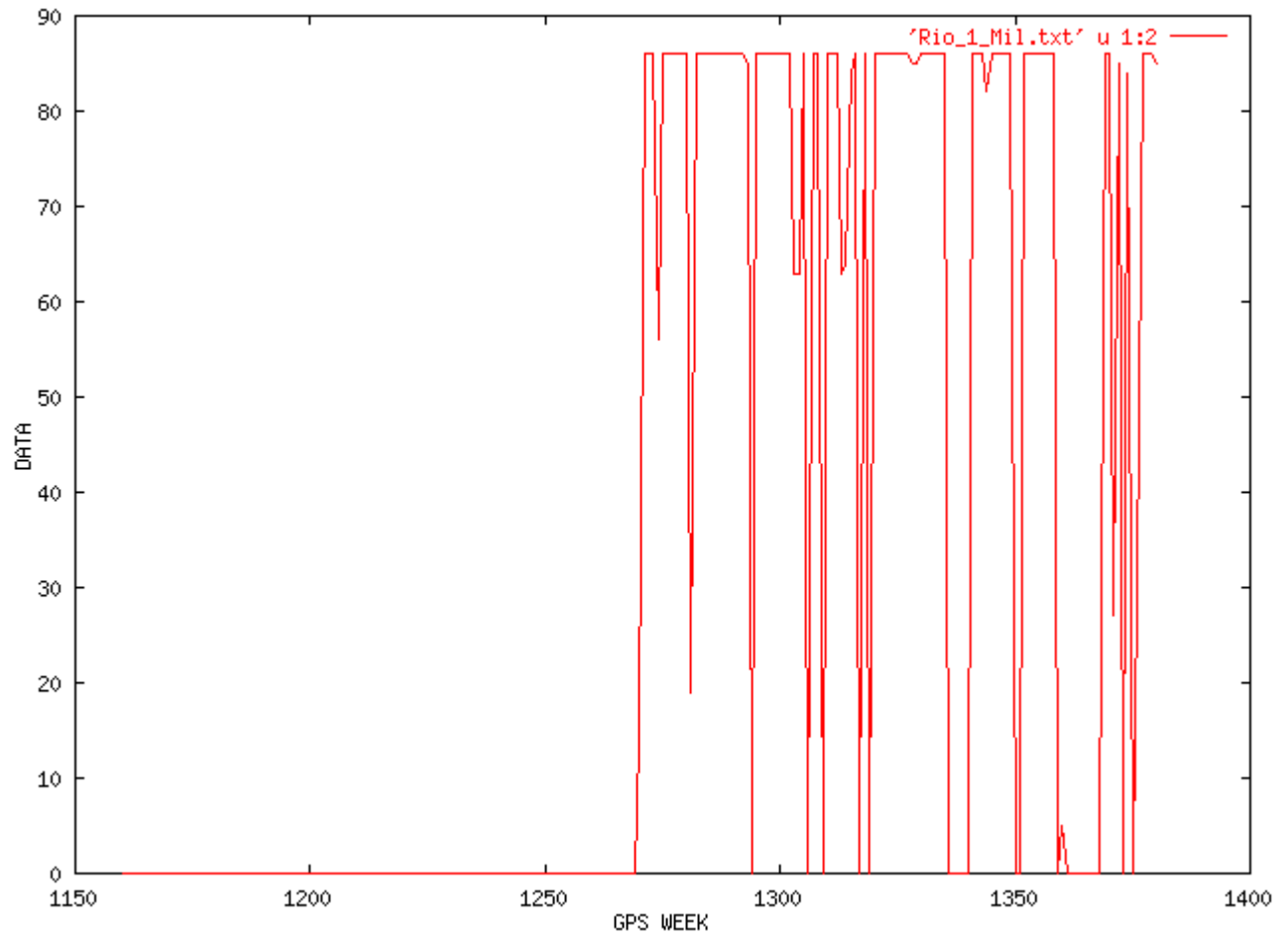


Figura 29. Datos recolectados de Río de Janeiro.

Análisis de precisión de data GPS recolectadas desde estaciones TRS

3.53 De las Figuras 30 a la 38 se muestra el error horizontal y vertical tomado de muestras de señal GPS desde estaciones TRS de Perú, Honduras, Colombia, Argentina, Chile, Panamá, México y Brasil, respectivamente.

3.54 En cada gráfica en el **eje Y** se muestra el error en metro y el **eje X** se tiene tiempo en segundos de semana. En cada gráfica se muestra tres errores el error este y norte horizontal y el error vertical.

3.55 Del análisis de los datos en las graficas se muestra que Honduras presenta picos debidos posiblemente a mala recepción o mala geometría. Colombia presenta picos altos por más tiempo en el error vertical. En la graficas de Río Brasil se muestran como la precisión es afectada por burbujas la precisión es menor que las otras muestras.

3.56 El análisis en las otras TRS (Argentina, Chile, Panamá, Perú y México) presentan buena precisión. Sin embargo en general considerando que la señal GPS sola no es útil para procedimientos NPA con guiado vertical podemos decir que en todos los casos los datos GPS son bueno para navegación en ruta y NPA sin los requerimiento de precisión vertical.

Gráfica de precisión Perú

3.57 La exactitud mostrada es la exactitud de la señal GPS sola. En esta se muestra muy bien que la exactitud puede ser mantenida.

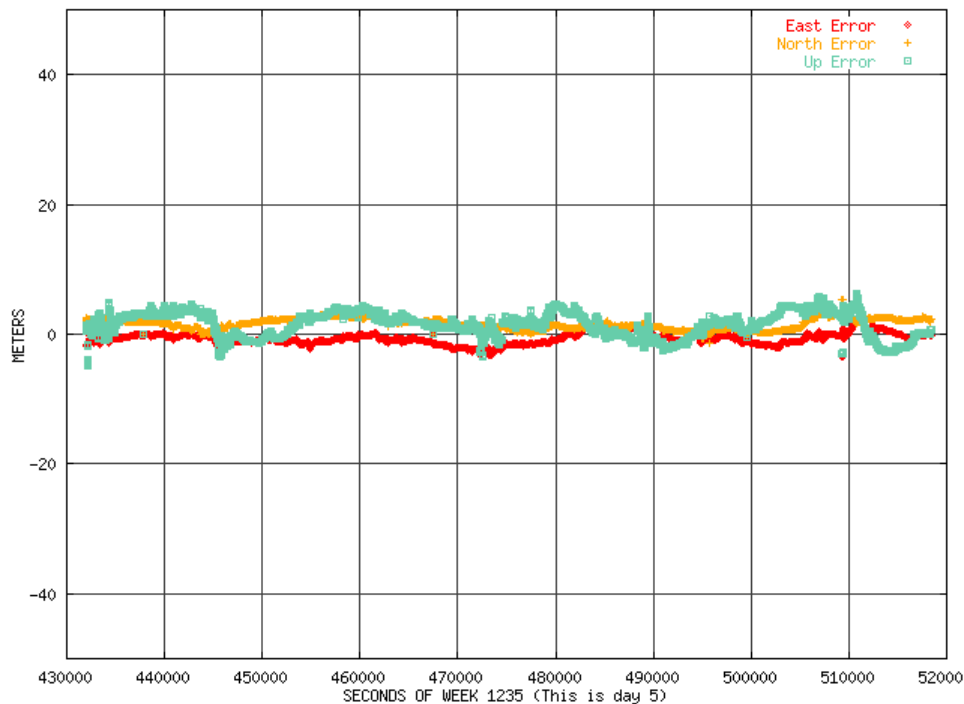


Figura 30. Error horizontal y vertical tomado de muestras de señal GPS – Perú

Gráfica de precisión Honduras

3.58 Se muestran algunos picos en exactitud los cuales representa una típica o momentánea mala recepción pero sigue estando bien para señal GPS sola.

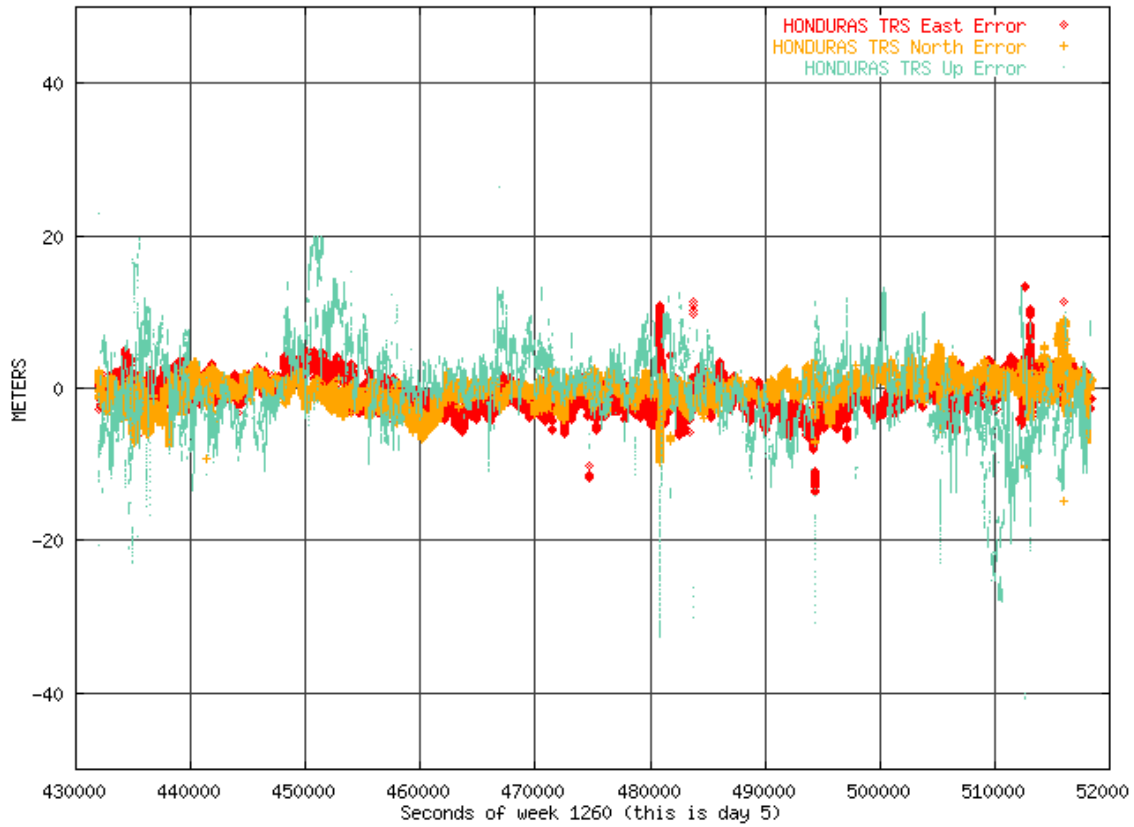


Figura 31. Error horizontal y vertical tomado de muestras de señal GPS - Honduras

Gráfica de precisión Colombia

3.59 Esta figura muestra que el error vertical en Colombia presenta picos altos por mas tiempo que en otros sitios. La causa puede ser la ionosfera (Pobre valor klobuhar) o pobre geometría. Sin embargo considerando GPS solo este no puede ser usado en aproximaciones con guiado vertical , por lo tanto el resultado es aceptable.

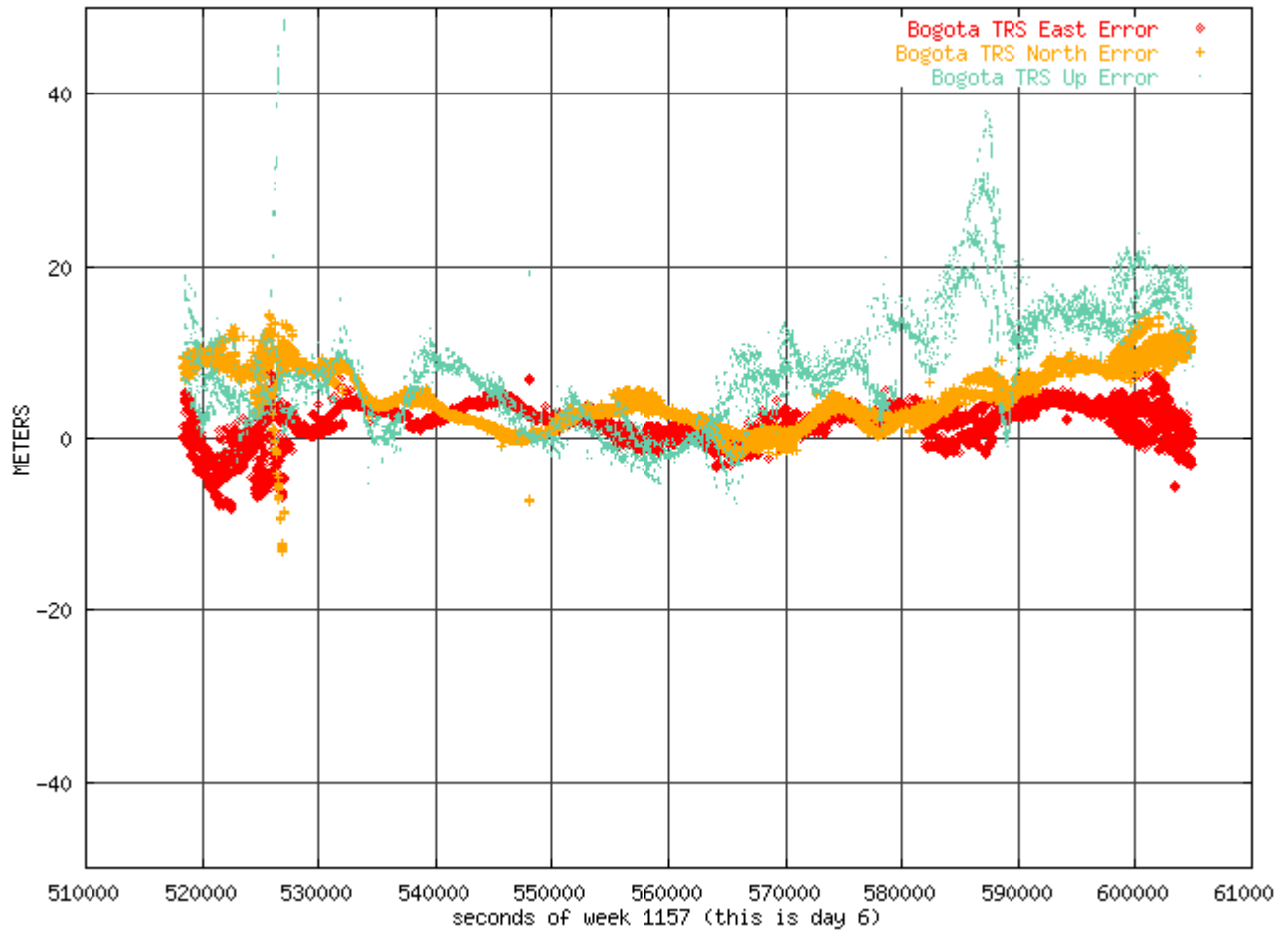


Figura 32. Error horizontal y vertical tomado de muestras de señal GPS - Colombia

Grafica de precisión Argentina

3.60 En la figura se nota una buena precisión

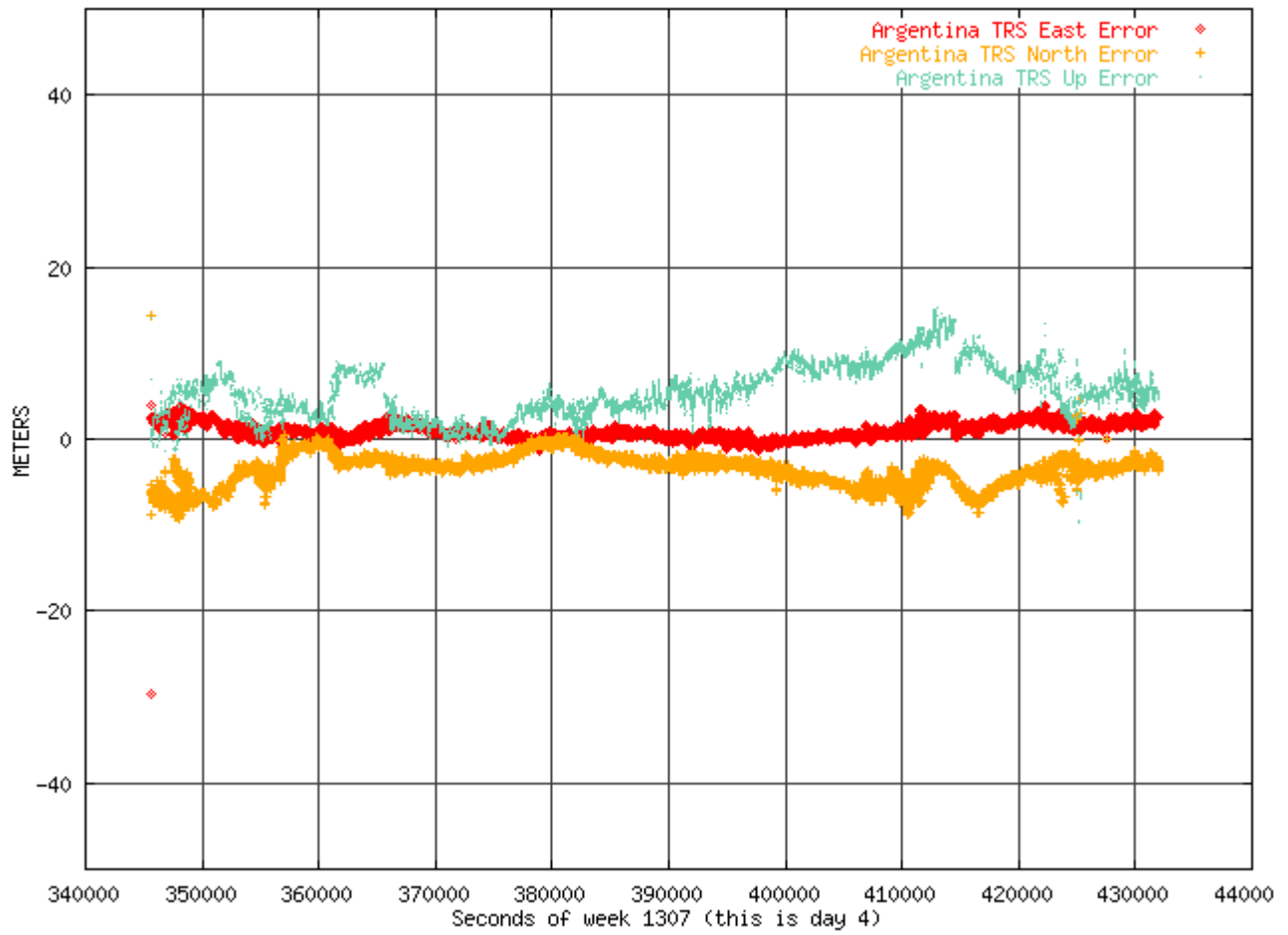


Figura 33. Error horizontal y vertical tomado de muestras de señal GPS - Argentina

Gráfica de precisión Chile

3.61 En la figura se nota una buena precisión.

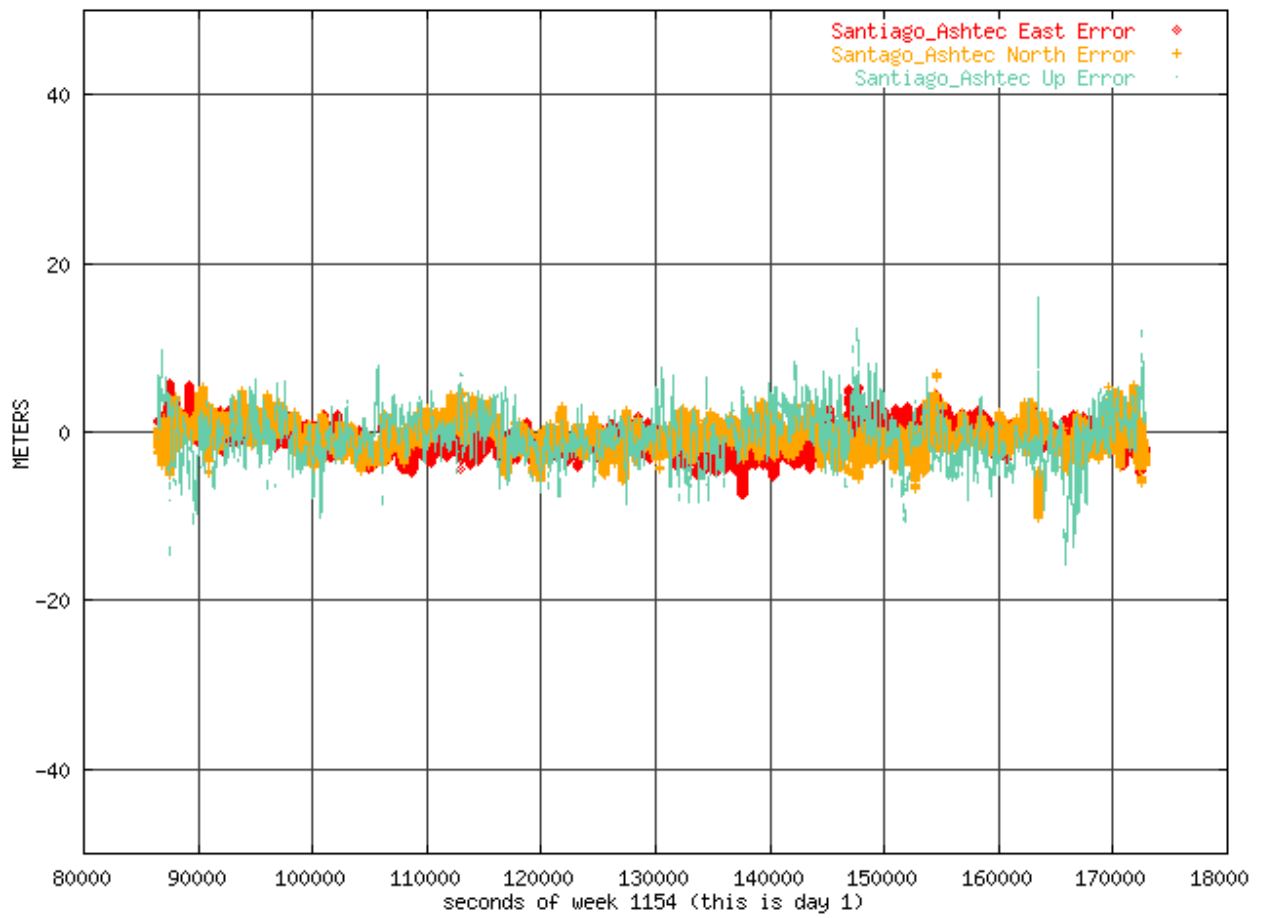


Figura 34. Error horizontal y vertical tomado de muestras de señal GPS - Chile

Gráfica de precisión en Panamá

3.62 Se presentan unos picos en el error vertical.

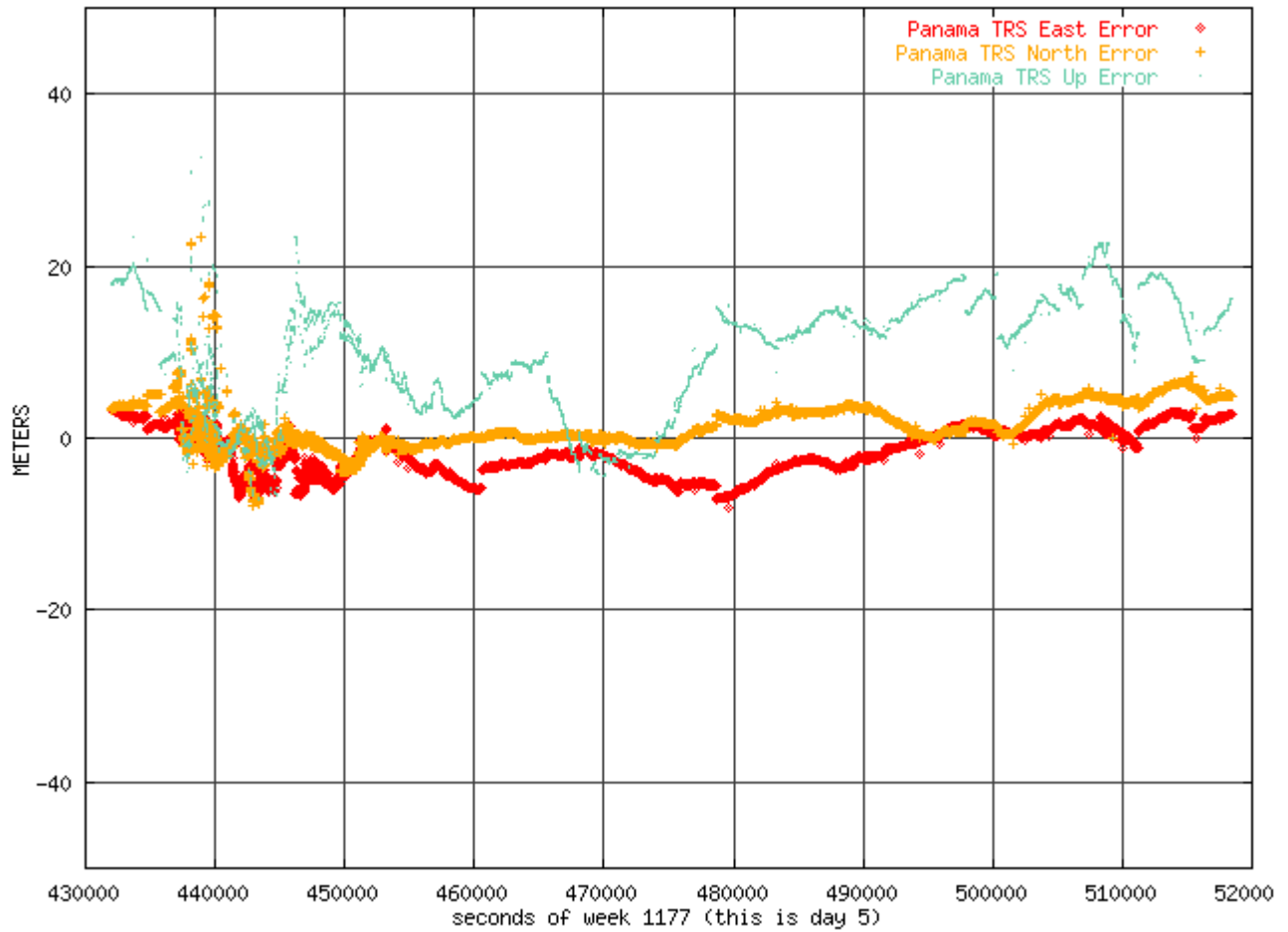


Figura 35. Error horizontal y vertical tomado de muestras de señal GPS - Panamá

Grafica de precisión en México

3.63 En esta gráfica la precisión está muy bien.

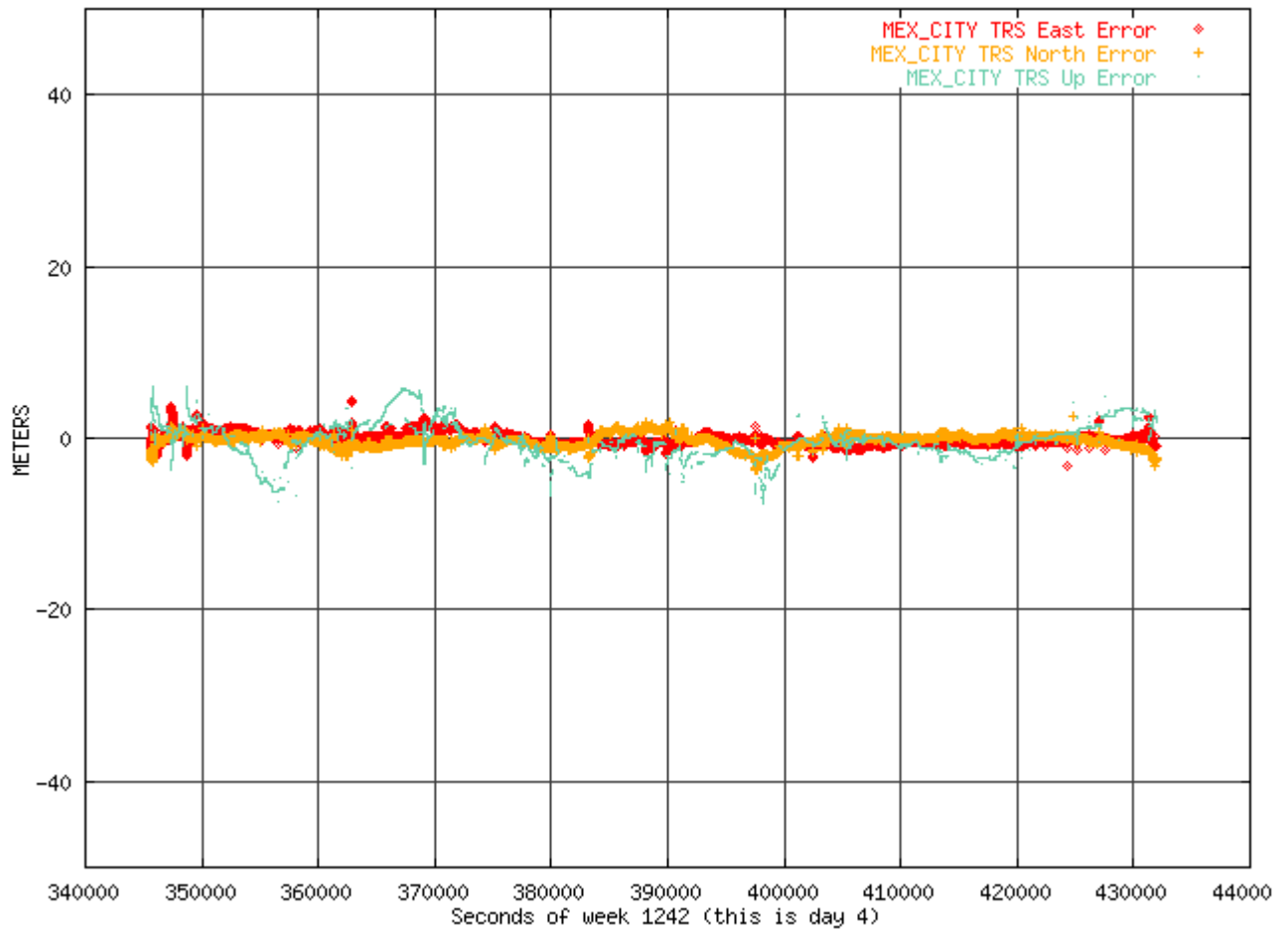


Figura 36. Error horizontal y vertical tomado de muestras de señal GPS - Mexico

Gráficas de precisión de Brasil

3.64 Las gráficas muestran la precisión de la señal en Río bajo un día con burbuja, se observa como las burbujas rompen la señal GPS al tiempo en que las burbujas son más severas (cerca del inicio de la gráfica). Asimismo, se muestra la relación C/No del satélite GEO AOR-W bajo los efectos de la burbuja.

3.65 La precisión vertical de Río es peor que las otras debido probablemente a la fuerte anomalía en la ionosfera durante el día la cual no es contabilizada por los parámetros Klobuchar (para señal L1 únicamente).

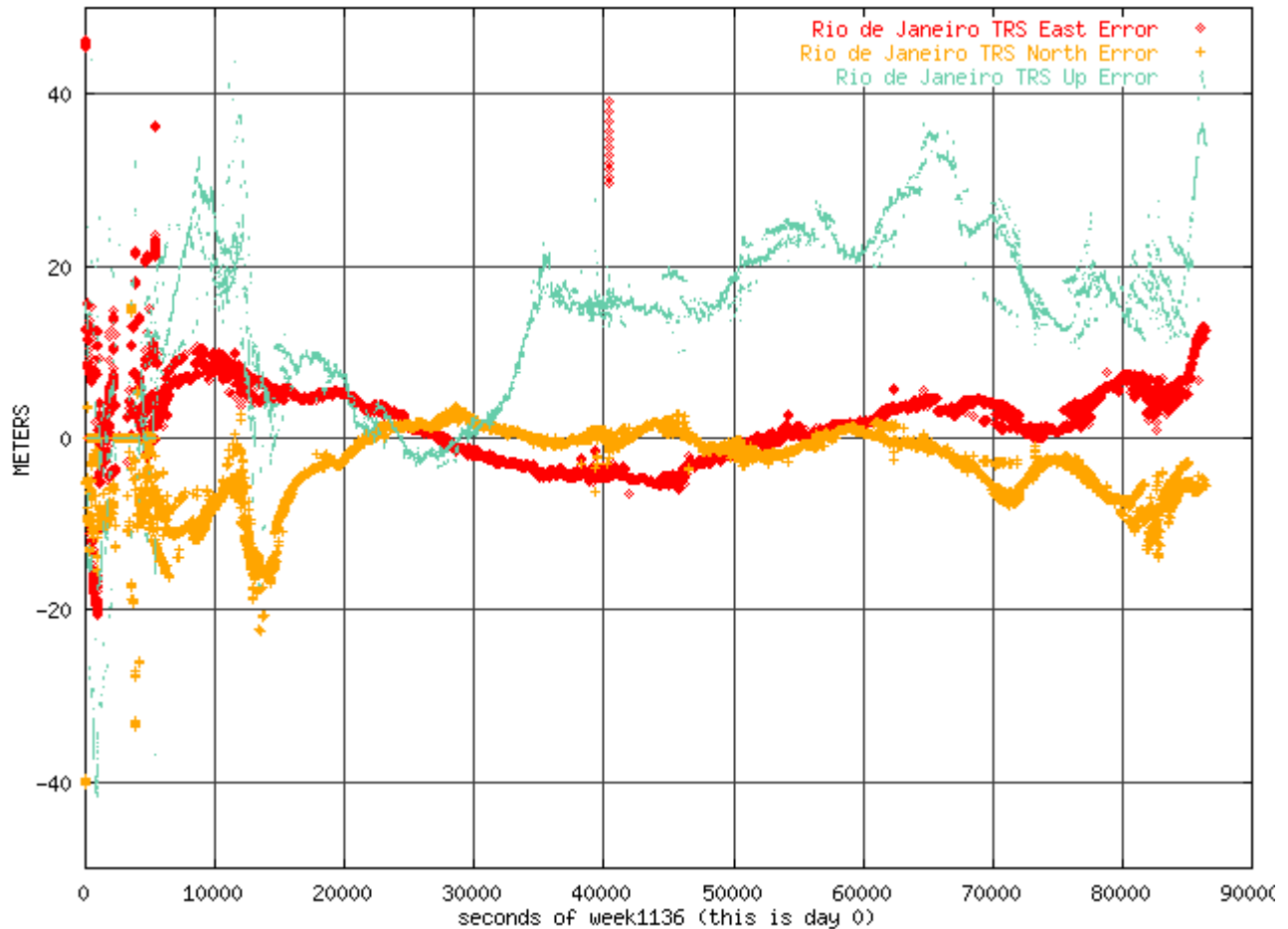


Figura 37. Error horizontal y vertical tomado de muestras de señal GPS - Brasil

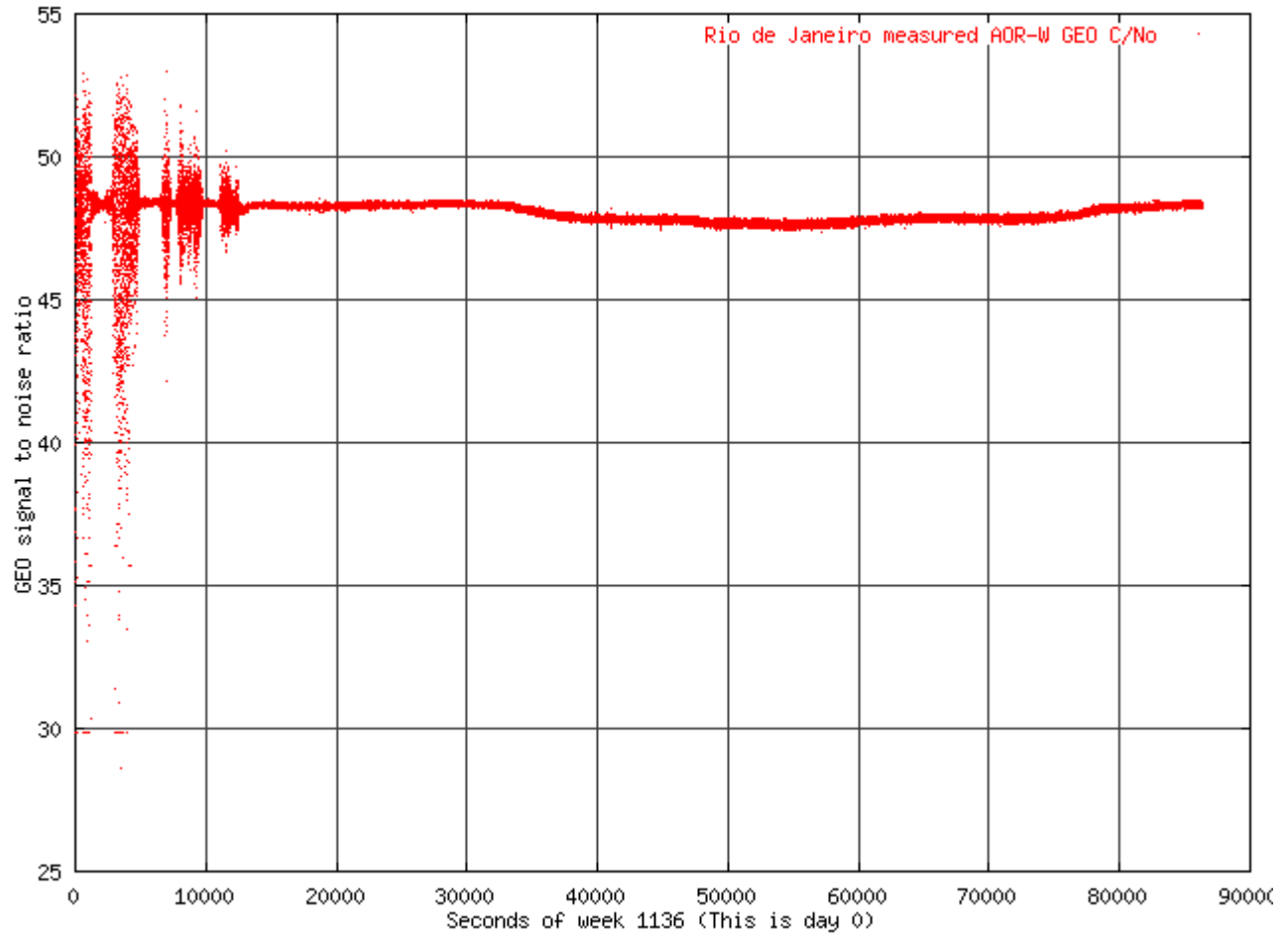


Figura 38. Relación C/No sobre el satélite GEO AOR-W

CAPITULO 4

OPCIONES PARA LA IMPLANTACION DEL GNSS EN LAS REGIONES CAR/SAM

4.1 El Proyecto Regional para América Latina de la OACI (RLA/00/009), que creó una capacidad de plataforma de prueba (CSTB) para un prototipo del Sistema de Aumentación de Área Amplia (WAAS) en Centroamérica y Sudamérica, ha estado realizando pruebas y ensayos desde 2002. En base a las pruebas realizadas y a las condiciones ionosféricas descubiertas como resultado de las pruebas iniciales, el proyecto RLA/00/009 debe recomendar la forma más viable para la implantación de los sistemas GNSS (GPS, WAAS/SBAS, y LAAS/GBAS) en las Regiones del Caribe y Sudamérica (CAR/SAM).

4.2 Debido a la severidad de las condiciones ionosféricas en la región del ecuador geomagnético (y +/- 20° alrededor de la línea ecuatorial), se recomienda que las Regiones CAR/SAM sólo consideren la posible implantación de un SBAS para la Navegación Lateral (LNAV) o para Aproximaciones de No Precisión (NPA).

4.3 Los futuros servicios de aproximación de precisión basados en el GNSS serán brindados en la región una vez que se disponga de Sistemas de Aumentación Basados en Tierra (GBAS) con capacidad de Categoría I o de una segunda señal civil GPS en L5, momento en el cual el problema de la ionosfera prácticamente desaparece. Asimismo, la implantación de un sistema civil de determinación de la posición por satélite, como el Galileo, y de nuevos satélites GPS contribuirá a ello.

Implantación alternativa del GNSS a corto plazo

4.4 Se consideró tres alternativas GNSS para cubrir las operaciones NPA en las Regiones CAR/SAM a corto plazo:

- a) Uso del GPS con vigilancia autónoma de la integridad en el receptor, o RAIM (ABAS)
- b) Uso del sistema WAAS de Estados Unidos
- c) Desarrollo y empleo de un sistema independiente SBAS de las Regiones CAR/SAM

4.5 Para cada alternativa, se elaboró un Módulo de Volumen de Servicio para demostrar la disponibilidad que tienen estas opciones para brindar servicios NPA o LNAV a las Regiones CAR/SAM. Para el modelado de los módulos de servicio, se asumió lo siguiente:

Se asumió la existencia de dos constelaciones

Constelación normalizada GPS 24

- Probabilidades de falla IFOR para el GPS
- Muestras tomadas durante 24 horas, a intervalos de 5 minutos

GPS 29 a partir del 4 de junio de 2006, sin servicio del PRN 25 (28 satélites GPS operativos)

- Sin fallas en los satélites GPS (aparte del PRN 25)
- 24 horas a intervalos de 1 minuto.

GEO WAAS en 107 W y 133 w; GEO SAAS; GEO SAAS en 54 W

GEO sin fallas

UDRE =4.5M para los GEO WAAS, 5m para el GEO SAAS

- El SAAS carece de la amplia configuración WRS que se requiere para un GEO UDRE más pequeño.

Angulo de cinco grados de la máscara de elevación

Sin apoyo de baroaltímetro.

El límite de alerta horizontal LNAV, HAL, es 556 m

TSO – C145 a de una sola frecuencia y/o receptor SBAS TSO – C146 a

URA = se asume 6M para la disponibilidad RAIM del GPS

Se utiliza telemetría GEO con GEO UDRE para disponer de la RAIM del GPS

GPS con RAIM para LNAV/NPA

4.6 El SVM que aparece en las **Figuras 1a y 1b** muestra la disponibilidad de LNAV o NPA para el GPS con RAIM para la totalidad de las Regiones CAR/SAM. Muestra la disponibilidad NPA en toda Norteamérica, así como en Centroamérica, Sudamérica y el Caribe. En base a distintos valores del tamaño de la constelación GPS (GPS 24 con fallas estocásticas y GPS 28 sin falla alguna). En la figura 1c y 1d se muestra el efecto del centelleo para dos casos de intensidad.

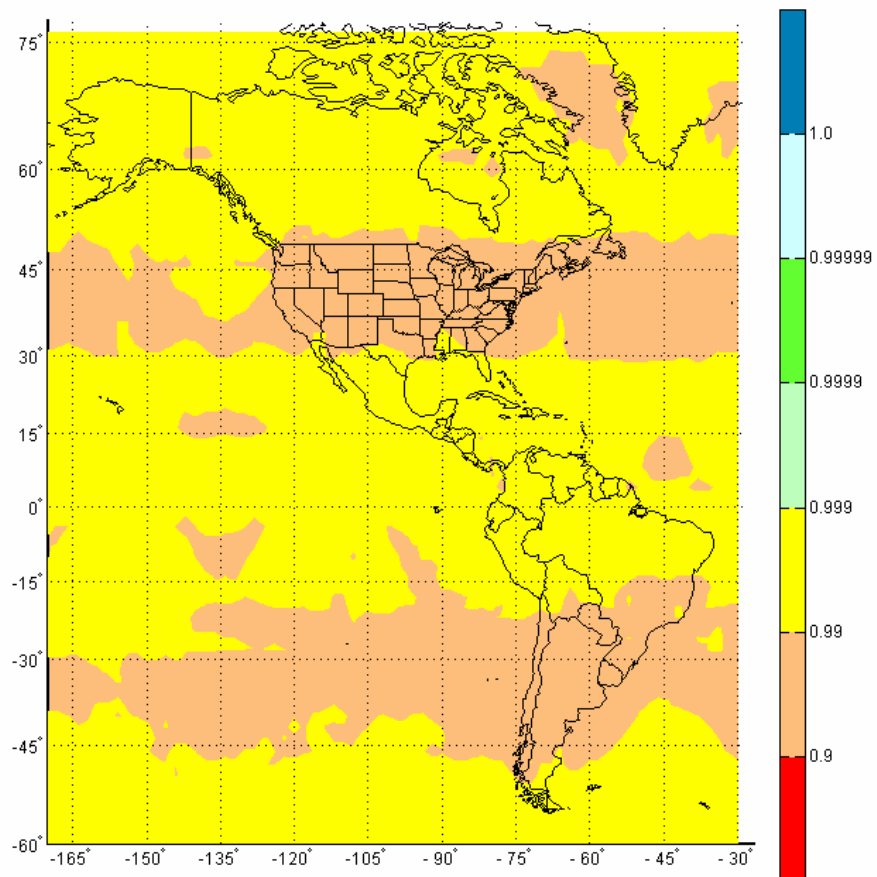


Figura 1a: Disponibilidad LNAV de la RAIM (GPS 24 con fallas estocásticas en el receptor SBAS). No se ha modelado el efecto de centelleo.

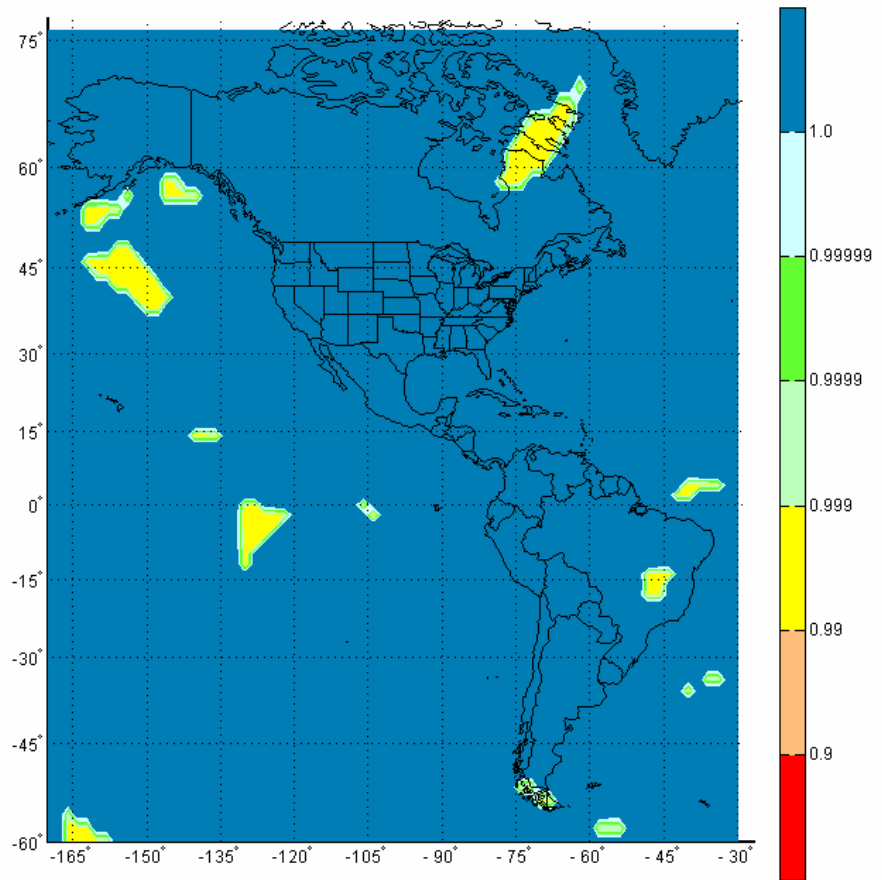


Figura 1b: Disponibilidad LNAV para la RAIM (GPS 28 con receptor SBAS sin fallas). No se ha modelado el efecto del centelleo.

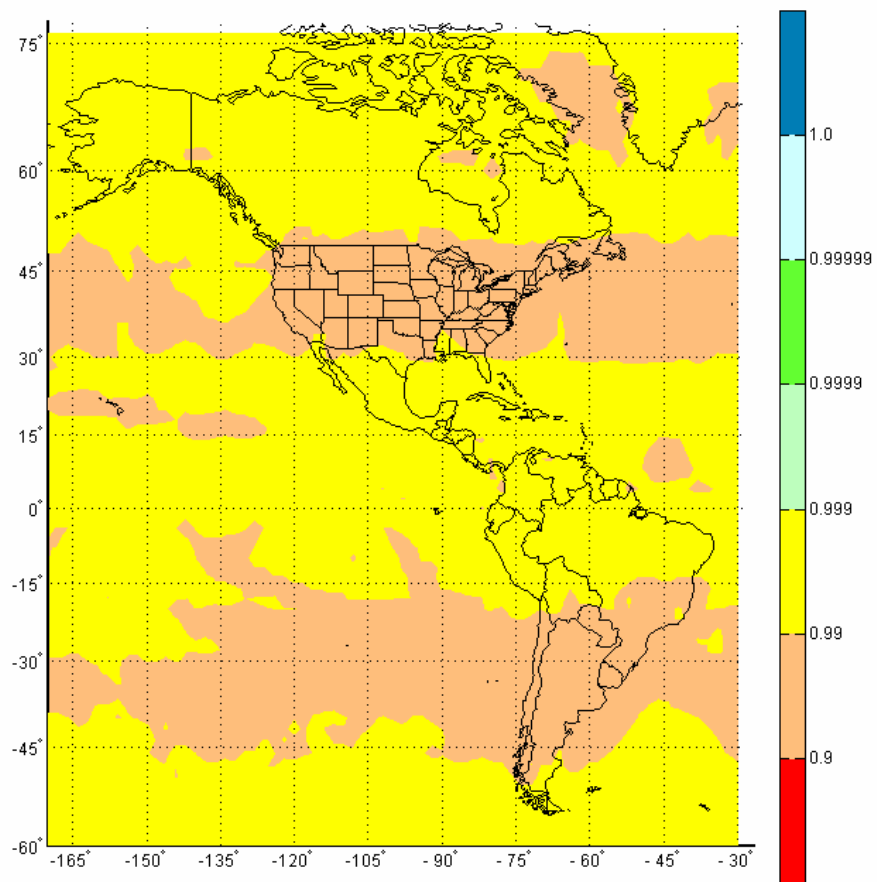


Figura 1c Disponibilidad LNAV para GPS RAIM considerando un porcentaje de 50 por ciento de centelleo

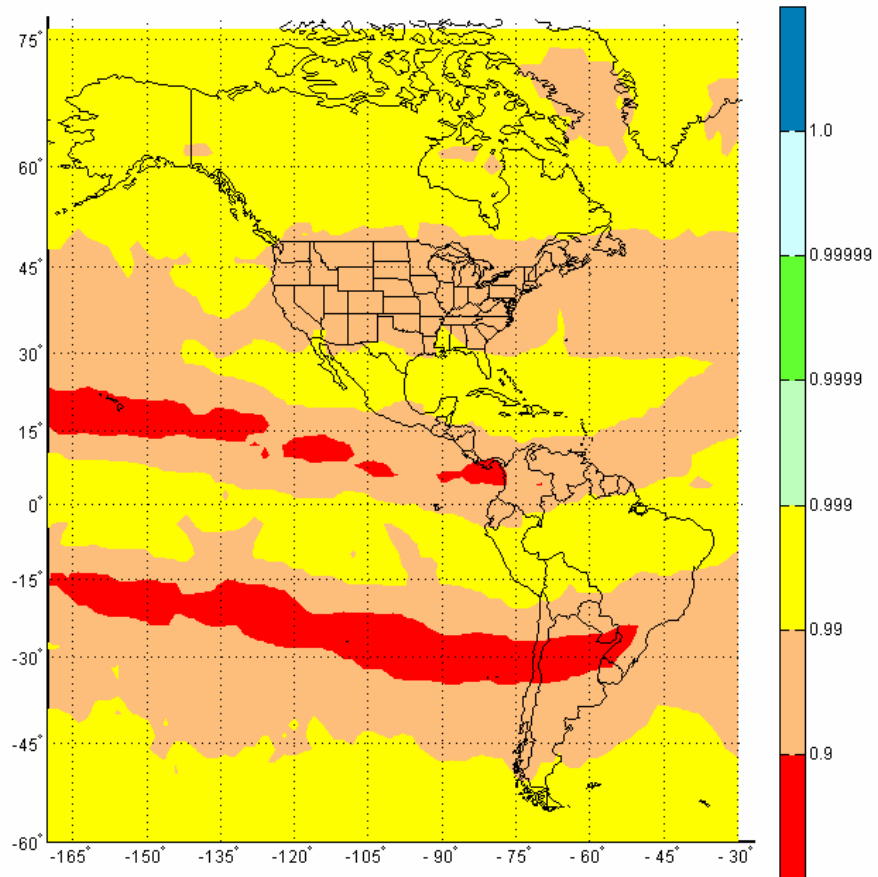


Figura 1d Disponibilidad LNAV para GPS RAIM considerando un porcentaje de 95 por ciento de centelleo

Cobertura del WAAS de Estados Unidos en las Regiones CAR/SAM para LNAV/VNAV

4.7 El SVM en las **Figuras 2a y 2b** muestra la disponibilidad del WAAS de Estados Unidos (incluyendo los emplazamientos en México y Canadá y todos los actuales supuestos del WAAS) para LNAV o NPA en la totalidad de las Regiones CAR/SAM. Las **Figuras 2c y 2d** presentan SVM para disponibilidad WAAS para LNAV considerando dos grados de intensidad de centelleo.

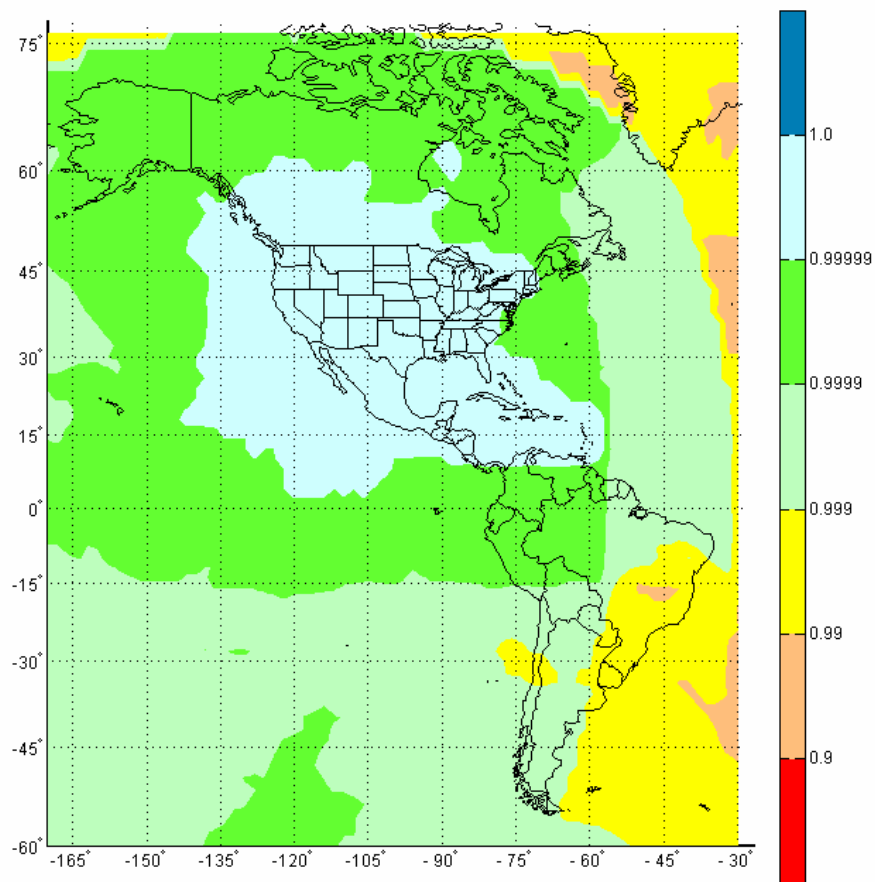


Figura 2a: Disponibilidad LNAV que ofrece el WAAS (GPS 24 con fallas estocásticas). No se ha modelado el efecto del centelleo.

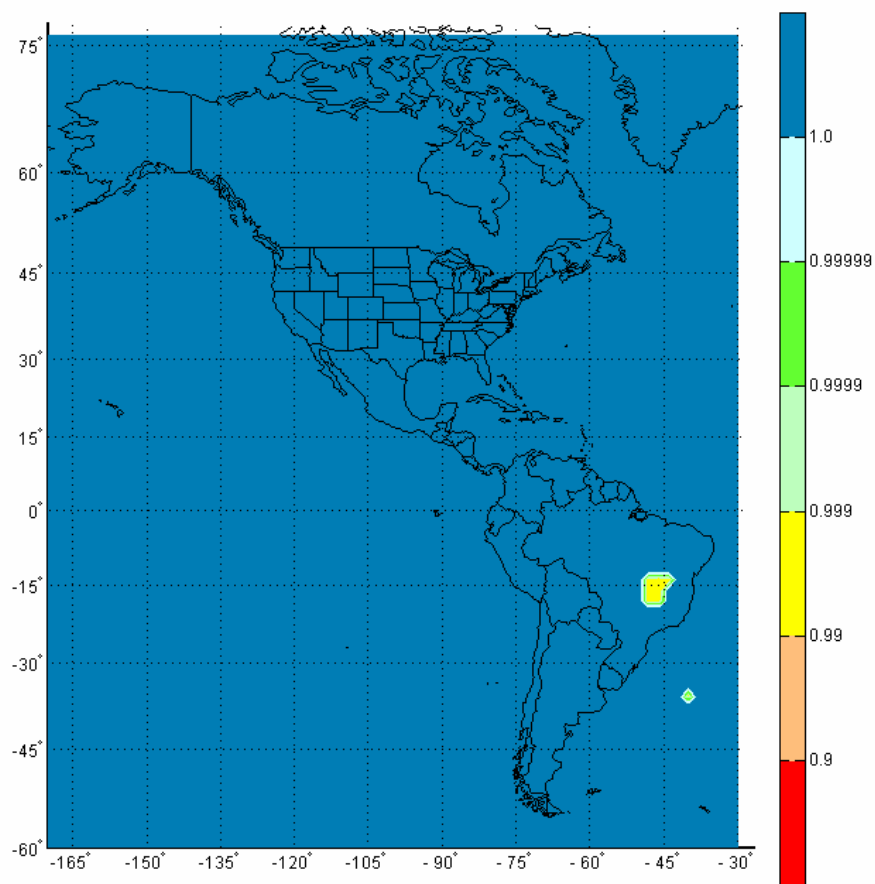


Figura 2b: Disponibilidad LNAV que ofrece el WAAS (GPS 28 sin falla alguna). No se ha modelado el efecto del centelleo.

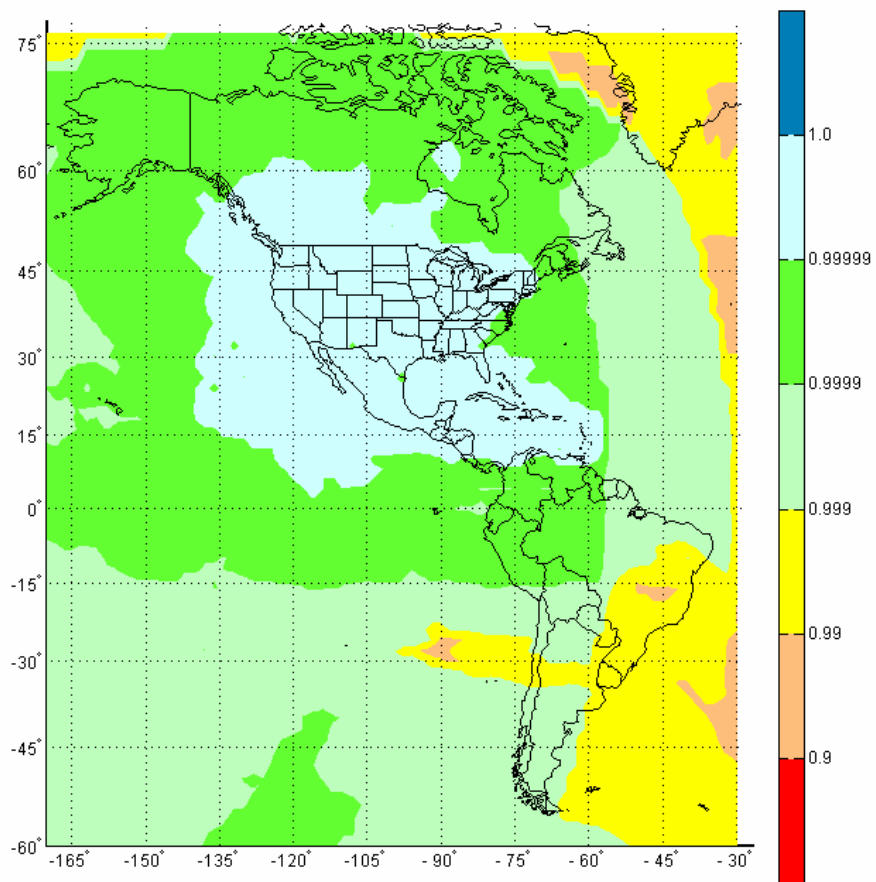


Figura 2c Disponibilidad LNAV para WAAS de Estados Unidos considerando un porcentaje de 50 por ciento de centelleo

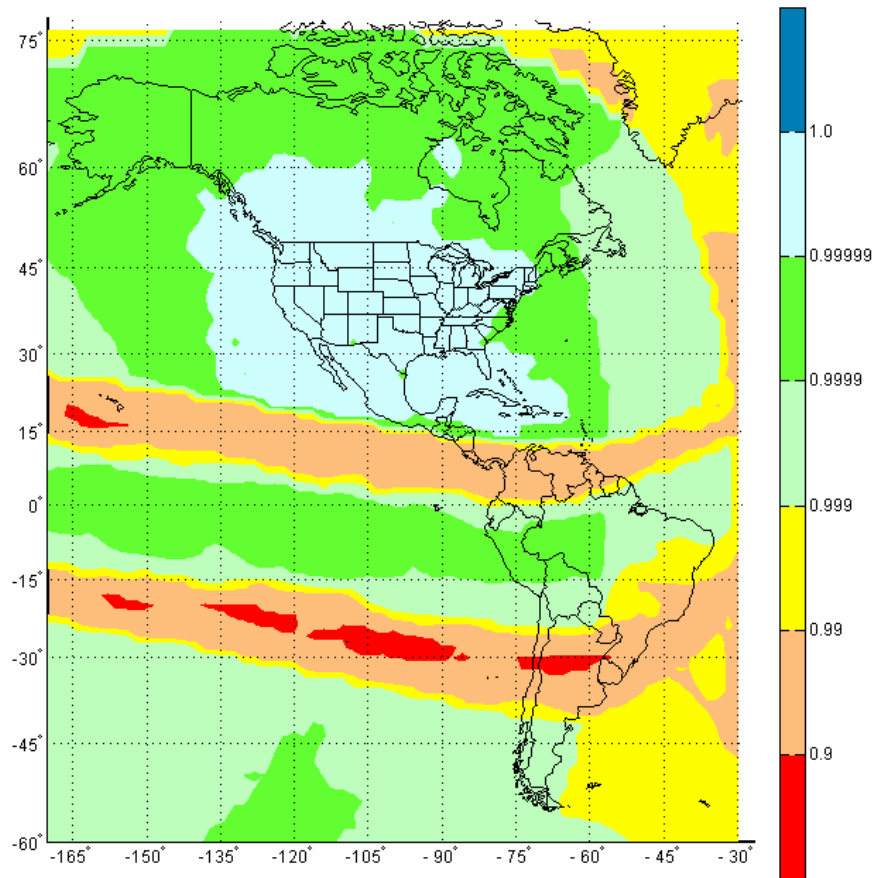


Figura 2d Disponibilidad LNAV para WAAS de Estados Unidos considerando un porcentaje de 95 por ciento de centelleo

Sistema SBAS independiente para las Regiones CAR/SAM

4.8 Se consideró dos configuraciones de arquitectura WAAS tipo SBAS, una basada en los actuales emplazamientos de las Estaciones de Referencia y de la Estación Maestra de la Plataforma de Prueba del WAAS, y la otra con una arquitectura reducida para demostrar la cantidad “mínima” de estaciones de referencia necesarias para obtener un servicio LNAV o NPA altamente disponible.

4.9 Las **Figuras 3a** y **3b** muestran la disponibilidad del SVM para LNAV/NPA en una arquitectura conformada por 13 WRS, 2 WMS, 1 GUS (satélite terrestre de enlace ascendente) y un GEO en un emplazamiento central sobre el GEO de Sudamérica en 54 W. La ubicación de las estaciones de referencia y estaciones maestras es la misma que para el CSTB.

- | | |
|---------|--|
| 13 WRS: | Tegucigalpa (Honduras), Bogotá (Colombia), Lima (Perú), La Paz (Bolivia), Santiago, Balmaceda y Antofagasta (Chile), Buenos Aires (Argentina), Río de Janeiro, Manaus, Recife, Curitiba y Brasilia (Brasil). |
| 2 WMS: | Río de Janeiro (Brasil) y Santiago (Chile) |

1 GUS: Río de Janeiro (Brasil)
1 GEO: Emplazamiento central sobre Sudamérica

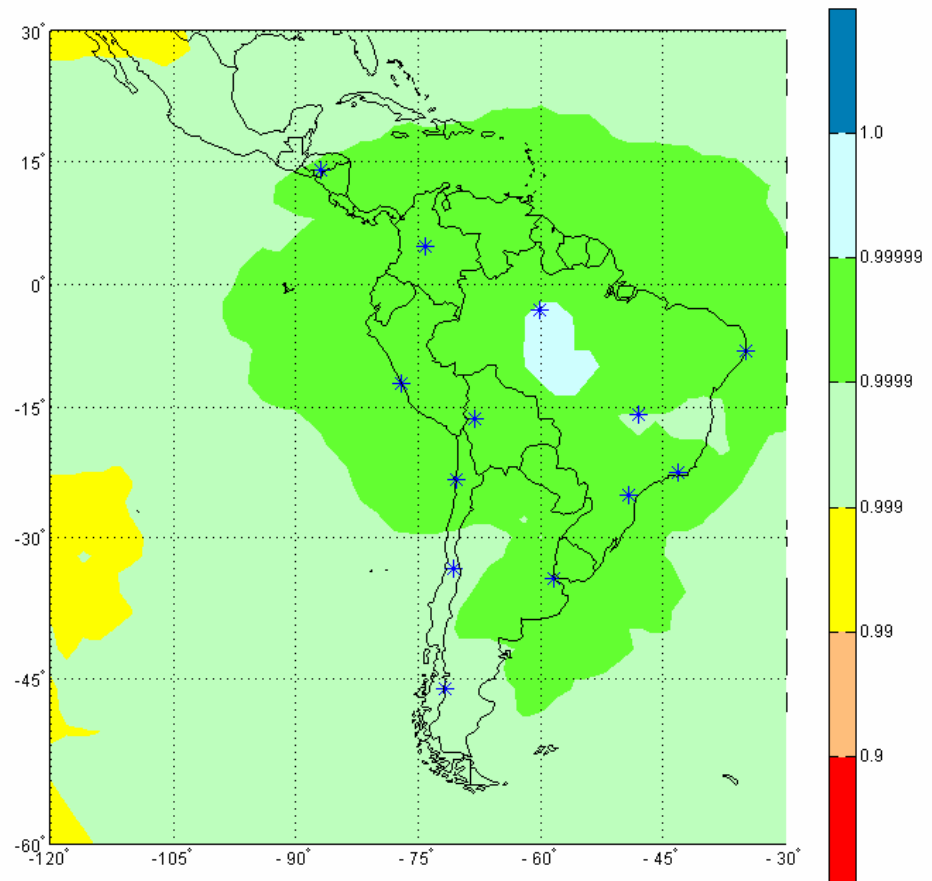


Figura 3a: Disponibilidad LNAV que ofrece el SAAS por sí solo (13 WRS) (GPS 24 con fallas estocásticas). No se ha modelado el efecto del centelleo. 13 WRS aparecen mostrados en color azul *.

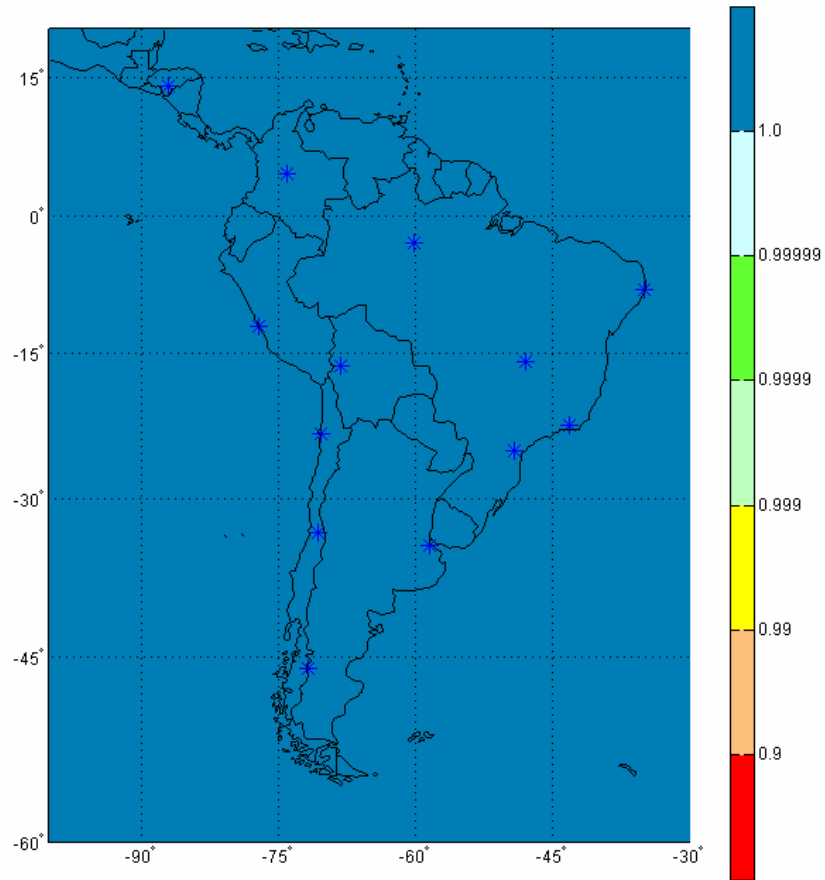


Figura 3b: Disponibilidad LNAV que brinda el SAAS por sí solo (13 WRS) (GPS 28 sin fallas). No se ha modelado los efectos del centelleo. Los 13 WRS aparecen en color azul *.

4.10 Las **Figuras 4a** y **4b** muestran el SVM para NPA/LNAV con 6 WRS. Esta arquitectura SBAS ofrece LNAV/NPA (sin corrección vertical o ionosférica, pero sí ofrecerá correcciones de reloj, efemérides y de precisión).

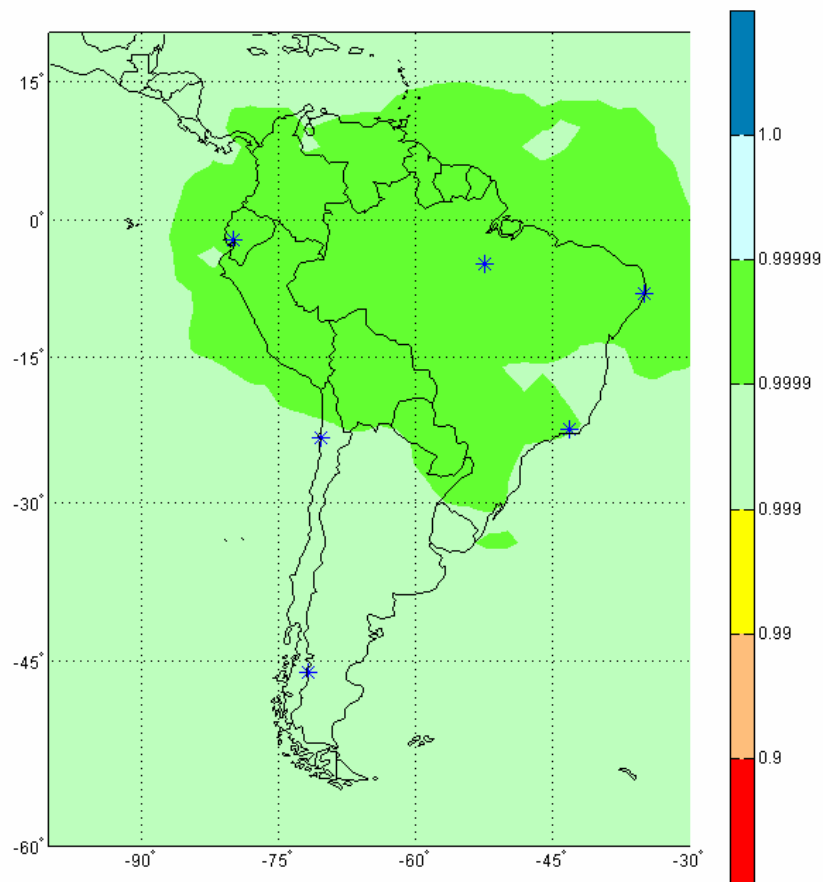


Figura 4a: Disponibilidad LNAV que ofrece el SAAS por sí solo (6 WRS) (GPS 24 con fallas estocásticas). No se ha modelado los efectos del centelleo. Los seis WRS aparecen indicados en color azul *.

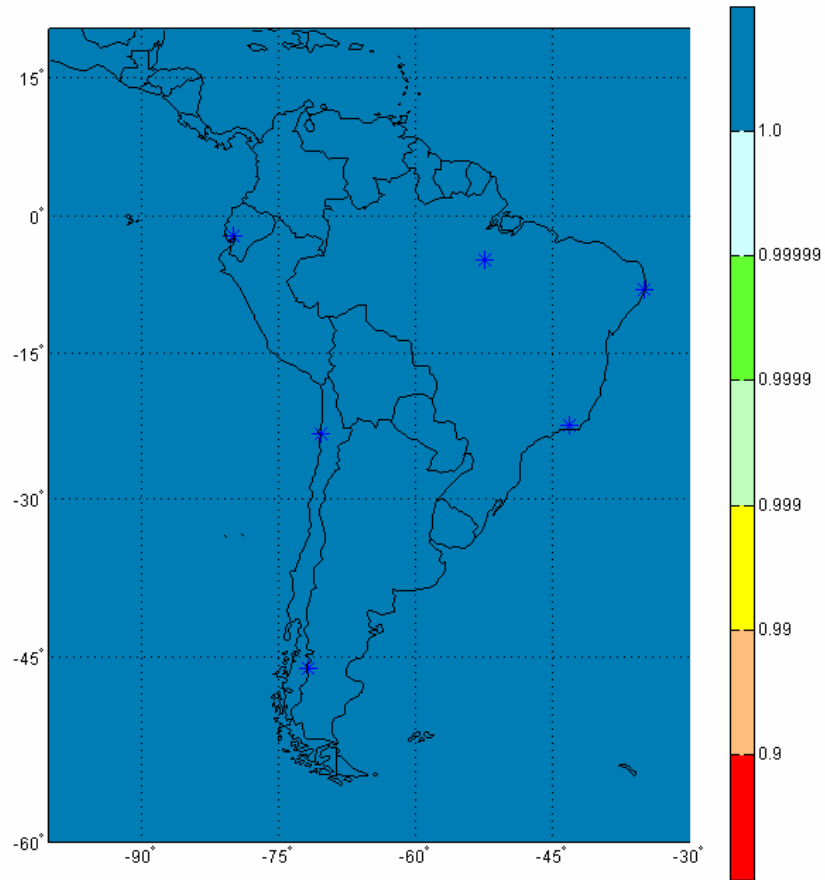


Figura 4b: Disponibilidad LNAV que ofrece el SAAS por sí solo (6 WRS) (GPS 28 sin fallas). No se ha modelado los efectos del centelleo. Los 6 WRS aparecen en color azul *.

4.11 La configuración para esta alternativa será la siguiente:

6 WRS	Quito, Lima, Balmaceda, Manaus, Recife y Curitiba.
1 WMS	Río de Janeiro (Brasil)
1 GUS	Río de Janeiro (Brasil)
1 GEO	Emplazamiento central sobre Sudamérica

4.12 Las **Figuras 5a** y **5b** muestran el SVM para NPA/LNAV con 8 WRS. Esta arquitectura SBAS ofrece LNAV/NPA (sin correcciones verticales o ionosféricas, pero sí correcciones de reloj, efemérides y de precisión).

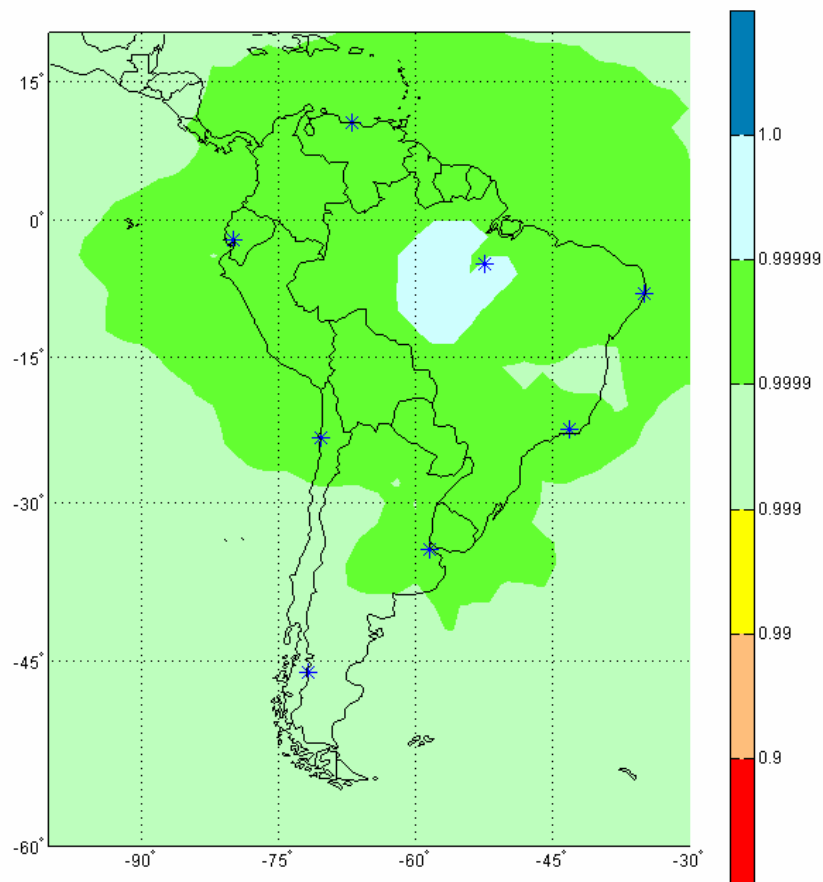


Figura 5a: Disponibilidad LNAV que ofrece el SAAS por sí solo (8 WRS) (GPS 24 con fallas estocásticas). No se ha modelado los efectos del centelleo. Los ocho WRS aparecen en color azul *.

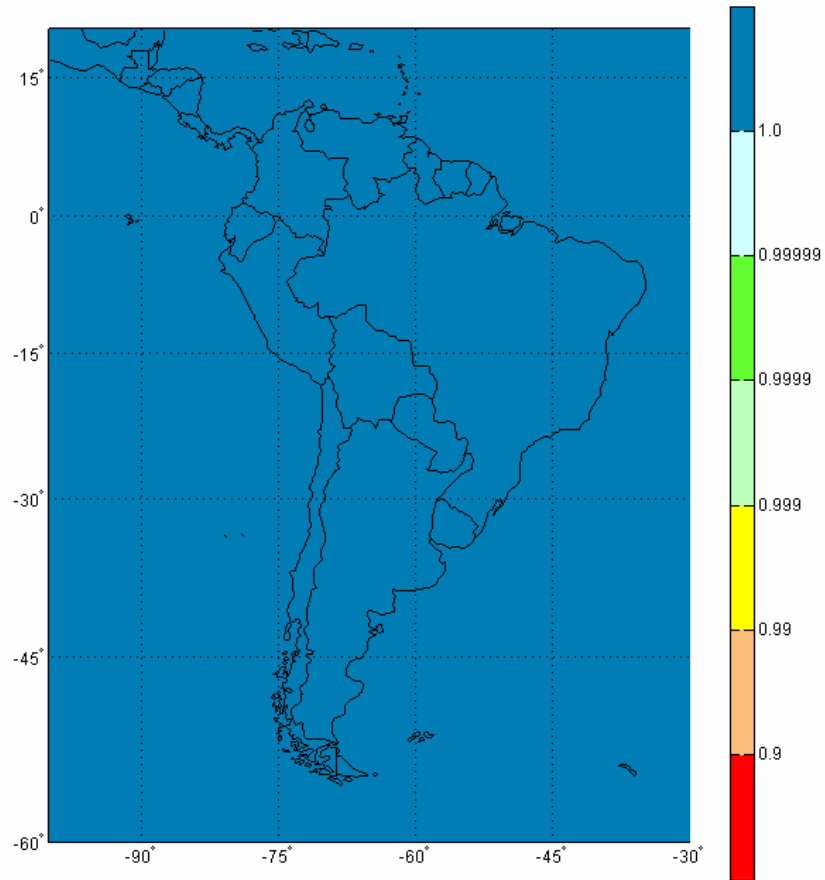


Figura 5b: Disponibilidad LNAV que ofrece el SAAS por sí solo (8WRS) (GPS 28 sin fallas). No se ha modelado los efectos del centelleo. Los 8 WRS aparecen en color azul *.

4.13 La configuración para esta alternativa será como sigue:

8 WRS	Caracas, Quito, Lima, Balmaceda, Manaus, Recife, Curitiba y Buenos Aires.
1 WMS	Río de Janeiro (Brasil)
1 GUS	Río de Janeiro (Brasil)
1 GEO	Emplazamiento central sobre Sudamérica

Efecto de centelleo

4.14 Se anticipa que el centelleo reducirá la disponibilidad del servicio en la región ecuatorial. Las **Figuras 6a** y **6b** muestran el efecto del centelleo en el modelo, para dos intensidades de centelleo diferentes.

Se consideró las siguientes premisas:

- Fecha: 15 de septiembre (día =258)
En la región ecuatorial, el peor centelleo ocurre durante los meses del equinoccio.

- Número de mancha solar (SSN) =150 corresponde al pico del ciclo solar.
- Índice geomagnético $K_p = 1$
Ionosfera tranquila; sin tormenta geomagnética.
- Se utiliza el WBMOD para generar parámetros de centelleo para cada línea de visión
Número de versión: 13.04, Fecha de la versión: 24 de enero de 1996.
Se solicitó una nueva versión al AF en junio de 2006.

Se genera los valores de porcentajes de 50 y 95 por ciento de S4 (medida del centelleo de amplitud) y de $\sigma\phi$ (medida del centelleo de fase). Un modelo de receptor determina si los valores de S4 y $\sigma\phi$ generados ocasionan una pérdida del enganche a la señal del satélite.

Cuando se pierde el enganche, no se utiliza el satélite en la solución de posición.

- El resultado del WBMOD es más conservador que los datos reales.

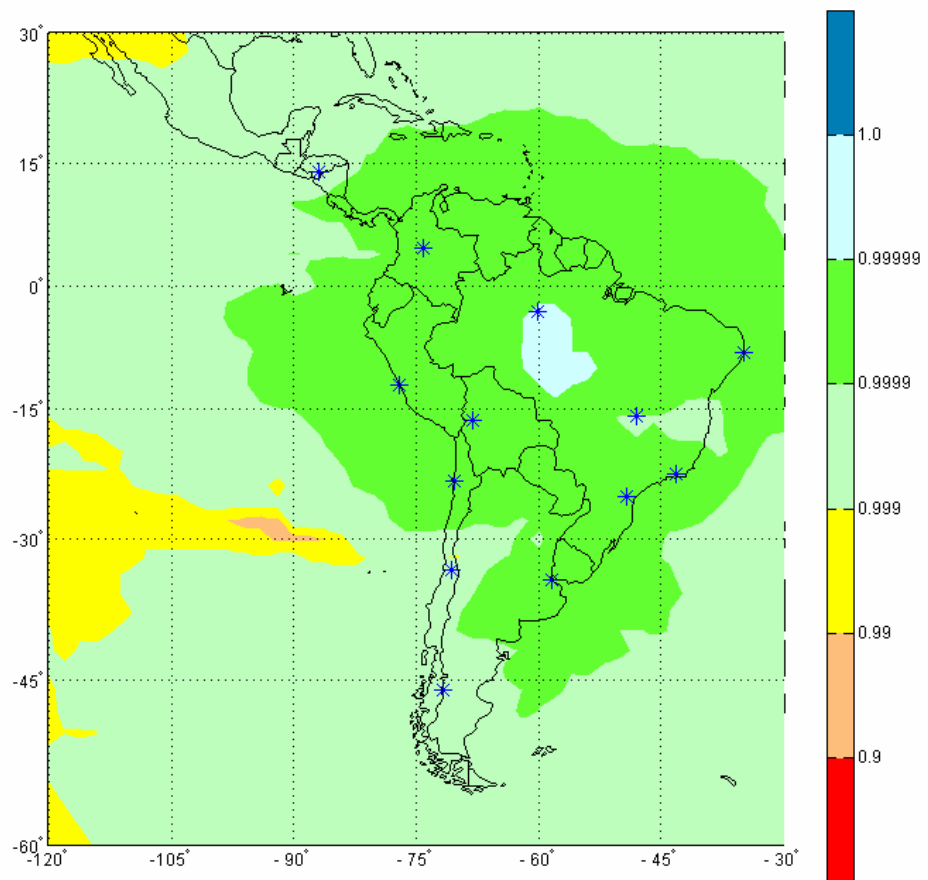


Figura 6a: Disponibilidad LNAV que ofrece el SAAS por sí solo con centelleo promedio (GPS 24 con fallas estocásticas) centelleo porcentaje 50. por ciento. SAAS con 13 WRS.

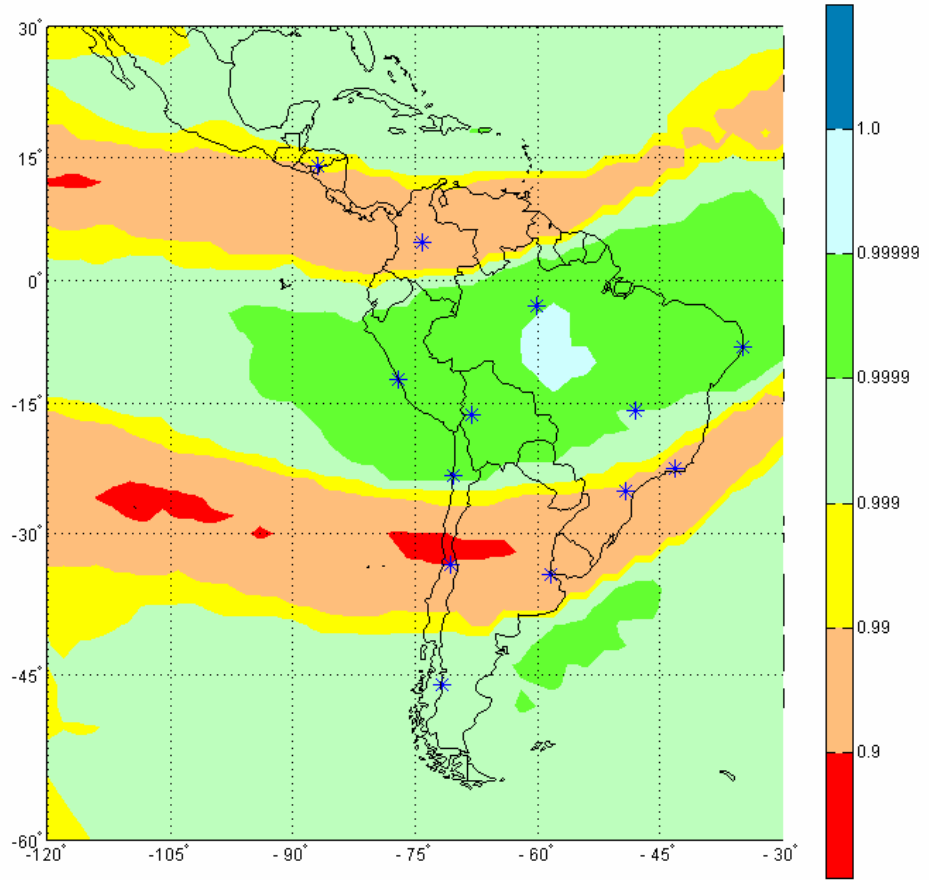


Figura 6b: Disponibilidad LNAV que ofrece el SAAS por sí solo con centelleo promedio (GPS 24 con fallas estocásticas) centelleo porcentaje 95.por ciento SAAS con 13 WRS.

Costo estimado del sistema SBAS para las Regiones CAR/SAM

4.15 El costo de cada componente será como sigue:

1 WRS (equipo con triple redundancia)	\$343.000	x 13	\$4.459.000
1 WMS	\$247000	x1	\$ 247000
1 sist. de enlace ascendente GEO (GUS)	\$2.45000	x1	\$ 2.245000
1 GEO (arrendamiento comercial anual)	\$6.000.000	al año	\$6.000.000
Equipo de comunicación			
Líneas de comunicación /REDDIG			

Medidas preliminares para la implantación del GNSS

4.16 Aún cuando queda por hacer mejoras en el GNSS, se puede obtener importantes beneficios inmediatos con su uso, especialmente para aplicaciones en ruta, oceánicas y de

aproximación de no precisión (NPA). El alto nivel de inversión, la posibilidad de obsolescencia y la incertidumbre con respecto a los requisitos de respaldo dificultan la evaluación del riesgo financiero; de ahí la necesidad de ser prudentes. La racionalización de la aviónica y de la infraestructura de navegación terrestre, que es donde los explotadores de aeronaves de los Estados podrían esperar lograr grandes ahorros, constituye una preocupación, ya que la necesidad de un respaldo afectará el proceso de racionalización en tierra y casi lo eliminará en lo que se refiere al complemento de la aviónica de a bordo.

4.17 Considerando la necesidad de minimizar el riesgo y de optimizar los beneficios, se sugiere adoptar los siguientes pasos de implantación, los cuales se pueden iniciar de inmediato. Entre estas actividades, figuran aquellas relacionadas con el desarrollo de aproximaciones GPS de no precisión y de precisión. Los siguientes párrafos y cuadros muestran los hitos y los cronogramas asociados con estos pasos.

Introducción de la aproximación de no precisión basada en el GNSS

4.18 Las principales tareas asociadas con la introducción gradual de la NPA son:

- a) el levantamiento de los obstáculos
- b) la conversión de todas las coordenadas al sistema WGS-84
- c) el establecimiento de bases de datos
- d) el establecimiento de reglamentos y procedimientos (NOTAM), etc.

4.19 Tomando en cuenta la complejidad involucrada en la elaboración de procedimientos, la OACI debería organizar un taller para difundir las reglas y procedimientos que rigen el desarrollo de los procedimientos, y para informar acerca de las herramientas que están disponibles para ayudar en el proceso de desarrollo.

4.20 Los estudios de investigación realizados para ampliar la capacidad del WAAS a Sudamérica le han permitido a la FAA observar que el modelo bidimensional a menudo no logra modelar debidamente el verdadero comportamiento de la ionosfera en la región sobre Brasil. Las características que limitan la capacidad del WAAS en esta región son como huecos o zonas empobrecidas en una ionosfera que, de otra manera, es densa. En la región brasileña, las zonas empobrecidas se presentan en las horas de la tarde y son más notorias entre los meses de octubre y abril, con una actividad pico en enero. Entre los meses de mayo y septiembre, la actividad de empobrecimiento es mucho menos frecuente. Otras regiones próximas al ecuador se ven igualmente afectadas por la actividad de empobrecimiento. No obstante, existen conocidas diferencias longitudinales en lo que se refiere a la frecuencia y dependencia estacional de estas características. Las zonas de empobrecimiento constituyen una grave amenaza a la integridad. Estos problemas no serán resueltos mediante simples cambios a la información enviada al usuario con el fin de ilustrar mejor estas alteraciones (área de focalización más pequeña, actualizaciones más frecuentes, etc.). En consecuencia, se ha propuesto cambios más significativos, aunque aún no se ha demostrado que éstos sean tanto prácticos como efectivos.

Acciones para enfrentar los retos

4.21 En la implantación de sistemas SBAS, se tendrían que tomar las siguientes acciones:

- a) Desarrollar cambios algorítmicos y crear más estaciones de referencia internacionales. Esto reducirá el impacto de las amenazas ionosféricas no observadas sobre el WAAS.
- b) Desarrollar un catálogo de características amenazantes. Como sucede con otras amenazas al SBAS, deseamos desarrollar un modelo universal de amenazas. Lamentablemente, la magnitud exacta de la amenaza depende de la implantación específica. Más bien, lo que haremos será identificar un catálogo de características amenazantes:
 - Para las **latitudes intermedias**, podemos identificar todas las tormentas ionosféricas importantes para el último período máximo solar, y resaltar las amenazas observadas en Norteamérica.
 - Para las **regiones ecuatoriales**, identificaremos los períodos en que hay más probabilidades de que las amenazas sean mayores, dando ejemplos de algunas muy significativas, pero estas amenazas no pueden estar confinadas en una lista de apenas unos cuantos días o eventos.
 - En **todos los casos**, también se brindará todos los datos disponibles. Todos los proveedores de servicio deberían estar conscientes de las características en su área de servicio y manejarlas en la forma adecuada.

Para ello, se debe recolectar y evaluar los datos de otras regiones correspondientes al último máximo solar, a fin de evaluar el impacto en todos los rincones de la tierra.

- c) Utilizar las frecuencias L1 y L5 de a bordo como solución a largo plazo tanto para las tormentas severas como para las amenazas ionosféricas no observadas.
- d) Seguir estudiando detenidamente el centelleo. El centelleo es la principal limitación para el uso de dos frecuencias para guía vertical. Si demuestra ser un impedimento significativo para las operaciones, se puede estudiar diversas formas de mitigación, tales como:
 - Modificaciones en el ciclo de rastreo del receptor, posiblemente incluyendo la integración con inerciales de bajo costo
 - Inclusión de un baroaltímetro para VNAV
 - Fuentes telemétricas adicionales, como el Galileo

Performance esperada¹

- a) Para todas las regiones, se espera que los usuarios L1/L5 logren un servicio de Categoría I más del 99% del tiempo.
- b) Para todas las regiones, se espera que los usuarios de frecuencia única logren un servicio NPA más del 99.999% del tiempo.
- c) Para las regiones polares, aurorales y latitudes intermedias, se espera que los usuarios de frecuencia única logren un servicio LPV más del 99% del tiempo.

¹ La capacidad de reducir los efectos de la ionosfera tiene un impacto directo sobre el tipo de servicio de navegación que se puede lograr en forma confiable. Además, el uso de frecuencias

múltiples puede ayudar a reducir los efectos de la ionosfera y, así, lograr más altos niveles de servicio.

Visión a largo plazo

4.22 En el actual ciclo solar de 11 años, el pico ocurrió hace aproximadamente 4 años. Se anticipa que los valores absolutos TEC y la ocurrencia y severidad del centelleo y de las zonas de empobrecimiento serán mucho más bajos en los próximos años. Cuando se cuente con una constelación completa de satélites con L5 (2015-2020), los problemas relacionados con el TEC quedarán resueltos. Además, la disponibilidad de una señal civil L2 permitirá un mejor monitoreo de la ionosfera en las estaciones terrestres.

4.23 Este mapa de ruta se sumará a los esfuerzos de la FAA para normalizar las futuras señales GPS y SBAS. Se espera que este estudio de la ionosfera se lleve a cabo en el transcurso de los próximos 3 a 5 años, y los resultados de este trabajo serán cruciales para la definición de los cambios que resulten necesarios en las actuales normas SBAS a fin de apoyar el uso del SBAS en cualquier lugar del mundo.

4.24 Esta misma arquitectura, con la futura disponibilidad de una segunda frecuencia civil (L5, Galileo o una combinación), teóricamente podrá brindar un nivel de guía vertical que podría llegar hasta LPV, ya que las correcciones ionosféricas podrían realizarse en tiempo real en la cabina de pilotaje. El SBAS CAR/SAM, sólo para LNAV, sería como una inversión que aprovecharía la futura capacidad APV/LPV cuando L5 o Galileo sean una realidad.

4.25 Observando los diferentes gráficas de modelo de volumen de servicio para diferentes configuraciones CSTB con 6,8 y 13 estaciones de referencias se puede resumir los siguiente puntos :

- Implementar un SBAS independiente en las Regiones CAR/SAM será una empresa muy costosa. Esto es basado no solamente en los costos de las TRS (Estaciones de referencias) y WMS (Estación maestra) sino también por el costo de la estación terrena satelital y los costos anuales recurrentes por la plataforma de comunicaciones que soportará el SBAS y el costo del segmento espacial.
- Utilizando los servicios del WAAS de los Estados Unidos para los servicios LNAV (NPA) en las Regiones CAR/SAM los costos se reducen drásticamente. Para esto se requiere de un sistema con capacidad de monitoreo para generar NOTAMs, pero el uso de GPS básico con RAIM o el uso del WAAS de los Estados Unidos provee una disponibilidad muy buena para LNAV en las Regiones CAR/SAM
- Si un sistema SBAS independiente es el deseado en la Región algunas opciones se analizaron a efecto de determinar la opción mas económica para las Regiones CAR/SAM.
- Una configuración compuesta por 13 Estaciones de referencias no provee mucha mas disponibilidad que una configuración basada en 8 y 6 estaciones de referencias.
- Hay diferencias muy pequeñas entre una configuración con 6 o 8 estaciones y probablemente no suficiente para justificar el costo de una configuración con mas estaciones de referencias.

- Basado en el modelo de volumen de servicio realizado una configuración de seis estaciones de referencias provee una Buena disponibilidad LNAV en las Regiones CAR/SAM y la mas económica.
- Se podrían realizar modelos de volumen de servicios con menos estaciones de referencias que podrían arrojar disponibilidades similares.
- Dado el costo del segmento espacial de un sistema SBAS y la incertidumbre de la situación de la ionosfera en el Ecuador geomagnético , la Región CAR/SAM necesita tomar una decisión en cuando :

Implementar un sistema simple SBAS para servicio LNAV el cual será capaz de proveer servicio de precisión una vez que la segunda frecuencia civil protegida esté disponible o;

Utilizar las tecnologías existentes (GPS básico con RAIM, GPS básico con Baro VNAV, o el WAAS de los Estados Unidos)para proveer LNAV y un limitado soporte para aproximación con precisión. La capacidad de aproximación de precisión sera llevada a cabo con un sistema GBAS CAT-1 o el uso de la segunda frecuencia de uso civil.