



Estudio operacional de los procedimientos de radiosondeo en Latinoamérica

Operational study on radiosonde procedures in Latin America

■ Fechas de recepción: 24 de Julio de 2015
■ Fecha de aprobación: 30 de julio de 2015



INGRID TATIANA SIERRA GIRALDO*
JULIO ENOC PARRA VILLAMARIN **
EDGAR LEONARDO GÓMEZ GÓMEZ ***

Resumen

En el presente artículo se presenta un diagnóstico de la operación de procedimientos de radiosondeo en diferentes países de Latinoamérica. Se identifica la institución a nivel nacional, quién realiza el radiosondeo, qué objetivos busca con el procedimiento y posteriormente la forma como es realizado. Además, se identifican aspectos importantes como la frecuencia de lanzamientos, los costos que ello implica, la tecnología involucrada y problemas relacionados con respecto al procedimiento actual en cada país. El estudio permitió identificar claramente problemáticas comunes en los diferentes países con el método utilizado para el radiosondeo, lo que abre las puertas a nuevas propuestas de tecnologías o métodos que optimicen el proceso en cuanto a costos, impacto ambiental y obtención de resultados.

Por otro lado, el hecho de mejorar los procesos de análisis de la atmósfera tiene una implicación directa en el área de la meteorología aeronáutica. Un adecuado análisis de esta permite incrementar los niveles de seguridad operacional en cada vuelo, optimizar rutas, obtener pronósticos más acertados y, lo más importante, salvar vidas que pueden ponerse en riesgo cada vez que se presentan condiciones meteorológicas adversas para una aeronave. La metodología utilizada para la realización del análisis fue a través de entrevistas directas con datos, tanto cualitativos como cuantitativos, a los responsables de este tipo de procedimientos en cada país, y un análisis estadístico de los resultados obtenidos.

PALABRAS CLAVES: atmósfera, Latinoamérica, meteorología aeronáutica, perfil atmosférico, radiosonda

Abstract

This article presents an analysis of radiosonde operation procedures in different Latin American countries. The national institution performing radiosonde observation is identified as well as the objectives it seeks with the process and how it is done. In addition, important aspects such as the launching frequency are identified, as well as the costs involved, the technology involved and problems regarding the current procedure in each country. The study led to clearly identify common problems in different countries with the method used for the radiosonde observation, which provides opportunities for new technology proposals or methods to optimize the process in terms of cost, environmental impact and achievement of results.

On the other hand, the improvement in the processes of atmosphere analysis has direct impact in the field of aeronautical meteorology. A proper analysis of this could increase the operational safety levels on each flight, optimize routes, obtain more accurate forecasts and, most importantly, save lives that may be at risk whenever there is bad weather for an aircraft. The methodology used to perform the analysis was direct interviews to those responsible for these procedures in each country, with both qualitative and quantitative data, and a statistical analysis of the results.

Keywords: Wind turbine, CFD, blade gap width, overlap ratio, Savonius

*Ingrid Tatiana Sierra Giraldo, Ingeniera Mecatrónica de la Universidad Autónoma de Occidente, Especialista en Meteorología Aeronáutica de la Aeronáutica Civil y Candidata a Magister en Ciencias Meteorológicas de la Universidad Nacional de Colombia. Amplia experiencia en el área de Meteorología de la Aeronáutica Civil y participación en proyectos de investigación con IDEAM y grupos de investigación como el grupo de Investigación en Ciencias Aeroespaciales de la Fundación Universitaria Los Libertadores. itataniasierra@gmail.com

**Julio Enoc Parra Villamarin Docente TC- Programa de Ingeniería Aeronáutica, Director del Grupo de Investigación en Ciencias Aeroespaciales-GICA, Candidato a maestría en Ingeniería mecánica de la Universidad Nacional, desarrollando un proyecto en el comportamiento avanzado aeroelástico de alas de UAV, Ingeniero Aeronáutico de la Fundación Universitaria Los Libertadores. Ha sido docente en áreas muy específicas del diseño y comportamiento aeronaves de ala fija y rotatoria. Participación activa en la dirección y desarrollo de proyectos relacionados con aeronaves remotamente controladas como el CARDIO DRONE, VANT SOLVENDUS y Globo sonda SKY-UP. Ha apoyado los módulos de investigación de los seminarios de grado del programa presidiendo trabajos en normativa de UAV y aeronaves deportivas. jeparra@libertadores.edu.co

***Edgar Leonardo Gómez Gómez, Ingeniero Electrónico egresado de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Especialista en Gerencia de Proyectos en Ingeniería de la Universidad de la Salle, y Magister en Ingeniería de Telecomunicaciones con Tesis de grado meritosa de la Universidad Nacional de Colombia. Certificado como Instructor Académico de la Fuerza Aérea Colombiana. Tiene varios años de experiencia laboral en el campo de las telecomunicaciones aeronáuticas y electrónica de aviación, debido a que se ha desempeñado como docente en las mencionadas áreas en la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil y en los programas de Ingeniería Aeronáutica de la Fundación Universitaria Los Libertadores y la Universidad de San Buenaventura. leonardo54@hotmail.com

Introducción

Un radiosondeo es un procedimiento utilizado para construir el perfil vertical de la atmosfera en un determinado lugar. Los datos son tomados por un equipo radiotelemétrico llamado radiosonda, lanzado a la atmosfera atado a un globo lleno de helio o hidrógeno, el cual registra variables como temperatura, humedad relativa, presión y posición geográfica; de estas se derivan otras variables como altitud, punto de rocío, intensidad y dirección del viento, razón de mezcla, temperaturas virtuales e índices meteorológicos. Los países adscritos a la Organización Mundial de Meteorología (OMM) deben realizar este procedimiento diariamente en horarios previamente establecidos. Con la realización de los radiosondeos, es posible determinar la altura de las nubes, probabilidades de precipitación, actividades convectivas, tormentas eléctricas y granizadas, entre otros fenómenos severos. Para este fin deben ser utilizados índices y cálculos meteorológicos como gráficas termodinámicas.

Por lo anteriormente mencionado, el procedimiento de radiosondeo es una gran ayuda para la realización de pronósticos meteorológicos, que son un componente vital para diferentes campos de las ciencias meteorológicas, como por ejemplo la meteorología aeronáutica. La realización de operaciones aéreas con los adecuados niveles de seguridad operacional solo es posible si se tienen adecuados estudios de la atmosfera y pronósticos meteorológicos. Los radiosondeos además permiten estudiar el comportamiento dinámico y termodinámico en determinadas regiones, como se puede ver a manera de ejemplo con el experimento The South American Low Level Jet Experiment (Salljex) (Vera, et al. 2006).

En el lanzamiento, la radiosonda se desplaza con una deriva inconsistente debido a las ráfagas de viento, por ello divaga sin ningún tipo de control en el espacio aéreo hasta encontrar su destino en un lugar aleatorio, alejado del sitio de lanzamiento y en muchas ocasiones inaccesible. "Cuando el equipo vuelve a la superficie terrestre, puede destruirse por el impacto quedando inutilizable para un nuevo lanzamiento y debido al lugar de aterrizaje, la mayoría de las ocasiones ni siquiera se puede recuperar" (Gómez y Sierra, 2012). Esta situación puede representar un fuerte impacto económico para las instituciones que realizan dichos procedimientos y un impacto ambiental negativo para la región. Con este estudio, se busca identificar si la problemática económica y ambiental mencionada es común en los países de esta región.

Así pues, la importancia de esta investigación radica en que se busca identificar aquellos problemas que son comunes en los países latinoamericanos con respecto al procedimiento de radiosondeo. Una vez identificados, se pueden plantear soluciones, ya sean tecnológicas o de procedimiento, que optimicen el proceso de radiosondeo.

Generalidades del procedimiento de radiosondeo

El procedimiento de radiosondeo se encuentra estandarizado a nivel mundial por la OMM (1992), y es realizado de acuerdo con la normatividad de cada región a la que haga parte un país; integra, además, los requerimientos técnicos estipulados con

respecto a transmisiones de radiofrecuencias en la región (Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, 2006). A continuación se describe como ejemplo el procedimiento de radiosondeo que se realiza en Bogotá por parte del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (Ideam) (2014). Los resultados obtenidos de estos radiosondeos son utilizados, entre otras cosas, para dar cumplimiento al servicio meteorológico aeronáutico, con el cual se contribuye a la seguridad, regularidad y eficiencia de la navegación aérea, tanto nacional como internacional (Organización de Aviación Civil Internacional OACI, 2007; Gómez y Sierra, 2012).

Para comenzar, el operador verifica el correcto estado físico de la radiosonda, y la ubica en el banco de pruebas conocido como Ground Check Set, y así realiza el chequeo en tierra. Adicionalmente, ajusta las frecuencias del emisor y del receptor, tanto de abordaje como de la estación en tierra; también verifica las señales de telemetría, poniendo a punto los sensores de temperatura, humedad y presión en superficie. Posteriormente, infla el globo de látex con 500 o 550 libras de helio, con las que alcanza un diámetro aproximado de dos metros, al cual se amarra la radiosonda (figura 1). Por último, se solicita autorización a la torre de control del aeropuerto El Dorado, y se procede a liberarlo a la atmosfera. El globo y la radiosonda entonces se elevan a una altitud entre 25 y 30 km, recorrido que tarda aproximadamente dos horas. Cuando alcanza su máxima altitud, el globo ha aumentado su diámetro hasta 12 metros, lo que hace que estalle y termina de esta manera con el proceso de medición de datos.

Después del lanzamiento y hasta antes de la explosión del globo, la radiosonda transmite los datos tomados por sus sensores a la estación en tierra. Envía datos inicialmente cada 10 segundos y posteriormente cada 30 segundos. Estos datos son codificados en el formato establecido internacionalmente por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y la OMM. La información transmitida está codificada en grupos de cinco números, los cuales indican el valor de la temperatura, el viento (dirección y velocidad) y la temperatura del punto de rocío, tomados por la radiosonda a medida que asciende en la atmósfera. Esta información además es enviada al banco de datos meteorológicos mundial para alimentar los modelos de predicción climática. Los lanzamientos rutinarios se realizan a nivel global en las horas 0000 UTC y 1200 UTC para proporcionar una foto instantánea de la atmosfera.

Figura 1. (a) Interior radiosonda marca Vaisala; (b) Globo meteorológico y antena de estación en tierra



Fuente: Gómez y Sierra (2012)

La red de radiosondeo mundial

La red de radiosondeo mundial es una red de altura que opera en el marco del programa de Vigilancia Meteorológica Mundial (UMM). Esta genera información meteorológica y climatológica mediante el uso de sensores de toma de datos y está conformada por estaciones en altitud: radiosondas y estaciones sobre aeronaves (AMDAR) en todo el mundo. Los datos navegan por un sistema de información llamado Sistema Mundial de Telecomunicación (SMT), el cual se encuentra compuesto por una red de enlaces de telecomunicaciones desde la superficie, satélites y centros operados por los diferentes países que interconectan a los servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales (SMHN). Este SMT tiene el fin de recopilar, procesar, interpretar, alimentar algunos modelos numéricos y hacer públicos los datos. Además propicia el intercambio de avisos meteorológicos, hidrológicos y relacionados con el clima (OMM, 2010).

En la red de radiosondeo, se realizan mediciones de datos atmosféricos en un horario determinado. Esta información es enviada al Centro Nacional de Telecomunicaciones Meteorológicas (CNTM) y es retransmitido al Centro Meteorológico Mundial de Washington (CMMW) para su divulgación mundial, de acuerdo con convenios internacionales (Servicio Meteorológico Nacional de México [SMN], 2014).

Radiosondeos en Latinoamérica

Cada Estado latinoamericano cuenta con institutos prestadores de servicios meteorológicos e hidrológicos y son las entidades encargadas de realizar los procedimientos de radiosondeo, así como de alimentar las bases de datos a nivel mundial con la información obtenida de dichos procedimientos. Algunos de ellos se relacionan en la tabla 1.

Tabla No. 1 Instituciones que realizan radiosondeos en Latinoamérica

Pais	Ente prestador de servicios
Colombia	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (Ideam) www.ideam.gov.co
Cuba	Instituto de Meteorología de Cuba (Insmet) www.insmet.cu
Ecuador	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (Inamhi) Instituto Oceanográfico de la Armada (Inocar) www.serviciometeorologico.gob.ec
Venezuela	Servicio de Meteorología de la Aviación de Venezuela (Sermetavia). Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Venezuela (Inameh) www.meteorologia.mil.ve
México	Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN)

Pais	Ente prestador de servicios
	Comisión Nacional del Agua (Conagua) http://smn.cna.gob.mx
Paraguay	Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH) Dirección Nacional de Aeronáutica Civil del Paraguay (Dinac) www.dinac.gov.py
Costa Rica	Instituto Meteorológico Nacional (IMN) www.imn.ac.cr
Brasil	Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) www.mar.mil.br dhn chm meteo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Decea) www.decea.gov.br Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero) www.infraero.gov.br Instituto Nacional de Meteorología (Inmet) www.inmet.gov.br Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) www.cta.br
Argentina	Servicio Meteorológico Nacional de Argentina (SMN) www.smn.gov.ar
Perú	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi) www.senamhi.gob.pe
Bolivia	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia (Senamhi) No se realizan radiosondeos en el país www.senamhi.gob.bo
Uruguay	No se realizan radiosondeos en el país
Guyana	No se realizan radiosondeos en el país

Estudio de la operación de los radiosondeos en los estados de Latinoamérica

El estudio de la operación ha permitido documentar cómo se están realizando los radiosondeos en diferentes países de Latinoamérica, con el propósito de identificar la tecnología usada, los costos de operación, si existe algún avance tecnológico o de procedimientos que optimice el proceso de radiosondeo, o si se presentan problemas de índole técnico o económico al realizarlos.

Dichos datos se analizan partiendo de la siguiente tesis planteada por los autores del estudio: los radiosondeos presentan elevados costos de operación para un país, debido a las características del procedimiento, en el que la radiosonda se pierde o se destruye en cada lanzamiento. Además, por esta causa el número de radiosondeos se reduce, y por esto se obtienen mediciones insuficientes para generar la cantidad de datos necesarios para alimentar idealmente los modelos meteorológicos.

Como herramienta de estudio, se diseñó una encuesta cualitativa y cuantitativa que se aplicó a representantes oficiales de los servicios de meteorología e hidrología de los

principales países de Latinoamérica durante octubre y noviembre de 2014, y se obtuvieron resultados de 12 países, lo cual representa una muestra significativa del 60 %. Dicha herramienta preguntó información básica acerca de los procedimientos de radiosondeo de cada país y sus resultados permiten evidenciar el panorama a nivel latinoamericano de la forma como se cumple dicho procedimiento y las ventajas o problemas que se pueden presentar en esta región. Además, señala el nivel de satisfacción que tiene cada Estado con los resultados de los radiosondeos y requerimientos de tecnologías futuras. La encuesta, orientada a manera de entrevista, se presenta a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Encuesta realizada a los servicios de meteorología e hidrología de los países latinoamericanos en octubre y noviembre de 2014

Ítem	Enunciado
Pregunta 1	¿Qué Institución realiza los radiosondeos en su país?
Pregunta 2	¿Qué tipo de radiosonda usan en los lanzamientos?
Pregunta 3	¿Cuántos lanzamientos se hacen al día?
Pregunta 4	¿Dónde se realizan dichos lanzamientos?
Pregunta 5	¿Se recuperan las radiosondas después de cada lanzamiento? De ser afirmativo ¿cómo?
Pregunta 6	¿Se reutilizan las radiosondas recuperadas?
Pregunta 7	¿Qué costo operacional tiene cada lanzamiento (en dolares)?
Pregunta 8	¿Desde qué año se realizan los radiosondeos?
Pregunta 9	¿Qué problemática han tenido con los radiosondeos ?
Pregunta 10	¿Le interesaría a su país obtener más radiosondeos en cada estación con mayor cantidad de datos por día ?
Pregunta 11	¿Le interesaría a su país adquirir un sistema radiotelemétrico que tome el perfil vertical de la atmosfera, que se pueda recuperar y reutilizar ?
Pregunta 12	Otra información?

Resultados del estudio

Los resultados obtenidos fueron analizados en el Grupo de Investigación en Ciencias Aeroespaciales (GICA) de la Fundación Universitaria Los Libertadores, con apoyo del Centro de Estudios de Ciencias Aeronáuticas de Colombia. De lo cual se describe a continuación el comportamiento latinoamericano con respecto a los procedimientos de radiosondeo.

Resultados cuantitativos

Como se puede ver en la tabla 1, en tres de los países de la muestra no se realizan radiosondeos, lo que representa el 25 %.

En la figura 3 se presenta la información relacionada con el tipo de radiosondas usadas en Latinoamérica. La mayor parte del grupo de países encuestados usa la radiosonda de referencia RS92 de la marca Vaisala, aunque no es la única. También son usadas radiosondas de otras marcas y referencias.

Figura 2. Porcentaje de países en los que se realizan y no se realizan radiosondeos

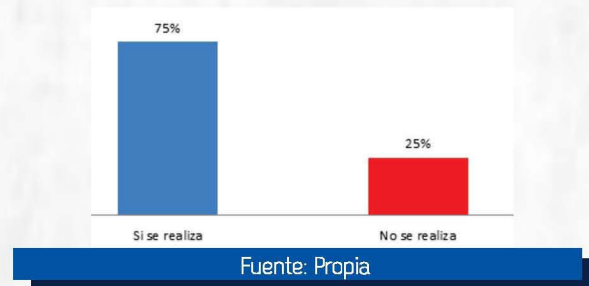
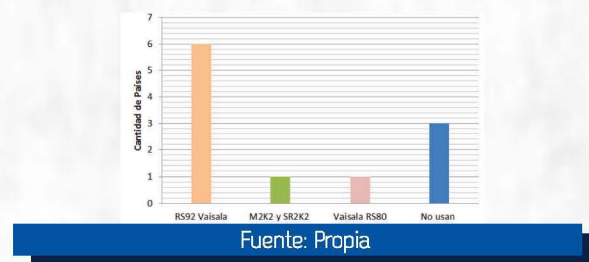


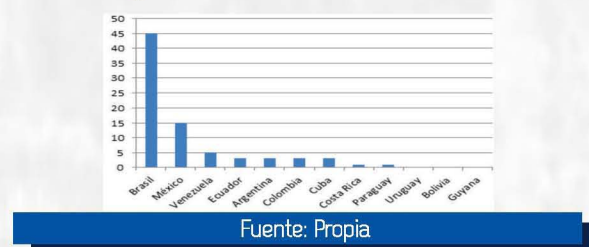
Figura 3. Marca y referencia de radiosondas utilizadas



El número de lanzamientos ejecutados en un país se relaciona directamente con el número de estaciones destinadas para ello. En cada una de las estaciones se realiza un lanzamiento por día a las 1200 UTC excepto en México, D.F. y Brasil, donde se hace otro lanzamiento también a las 0000 UTC. En la Figura 4 se presenta el número de lanzamientos en cada uno de los países objetos del estudio.

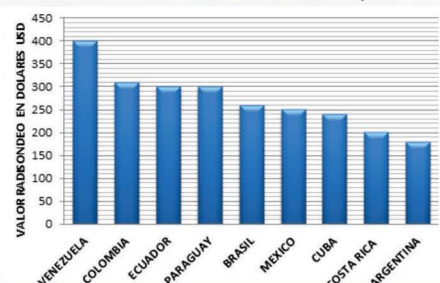
En relación con el costo operacional que demanda cada uno de los lanzamientos. El costo individual de cada lanzamiento en Latinoamérica tiene un promedio de USD 300. Evidentemente, los costos totales se incrementan proporcionalmente en cada uno de los lugares, de acuerdo con el número de lanzamientos realizados que se muestran en la figura 4. En la figura 5 se presenta un resumen de los costos de un lanzamiento de radiosondeo en cada uno de los países encuestados.

Figura 4. Número de lanzamientos



¹UTC: siglas en ingles del Tiempo Universal Coordinado.

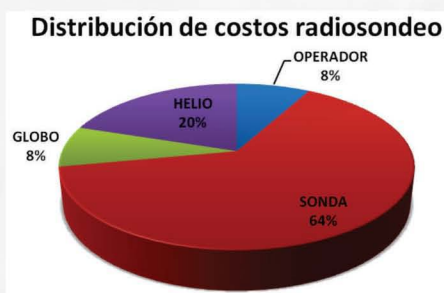
Figura 5. Costo de cada lanzamiento por país diarios en cada país



Fuente: Propia

De este costo total operativo directo, el 8 % corresponde al costo de personal; el 64 %, al valor de la radiosonda; el 8 % al valor del globo; y el 20 % restante, al gas usado en cada lanzamiento. En la figura 6 se presenta esta distribución porcentual de costos.

Figura 6. Distribución porcentual de costos de cada lanzamiento de la radiosonda



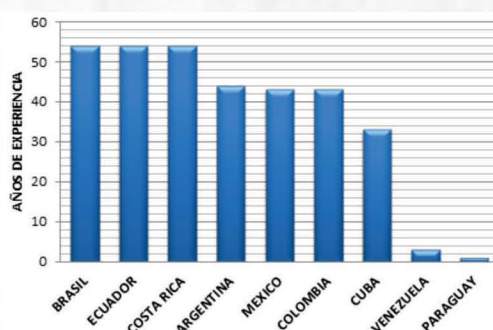
Fuente: Propia

Resultados cualitativos

En la totalidad de los países de la muestra se encontró que no se recuperan las radiosondas, debido principalmente a que el equipo está diseñado para utilizarse tan solo una vez y a la dificultad que representa el hecho de encontrar la radiosonda después de caer, ya que la deriva las ubica en sitios muy remotos y hasta inaccesibles. La respuesta de Colombia evidenció que se pudieron recuperar un par de radiosondas puesto que cayeron cerca del lugar de lanzamiento, pero no fue posible utilizarlas nuevamente.

Es importante conocer el tiempo de experiencia que tiene cada uno de los Estados en la realización de este tipo de procedimientos. Los primeros en realizar radisondeos fueron Costa Rica, Ecuador y Brasil, que comenzaron en 1960. Luego siguieron Argentina en 1970, Colombia y México en 1971, Cuba en 1981, Venezuela en 2011 y finalmente Paraguay que en 2014 reinició los radisondeos después de más de diez años de interrupción. De acuerdo con cada una de las respuestas, se presenta en la figura 7 el total de años de experiencia que tiene cada país latinoamericano encuestado.

Figura 7. Años de experiencia en procedimientos de radisondeo



Fuente: Propia

Partiendo de dicha experiencia se indagó de forma directa en cada uno de los países cuáles son los problemas que han tenido con respecto a estos procedimientos, con el objetivo de conocer el nivel de satisfacción que tiene cada uno de los Estados con la forma de hacer el radisondeo y de establecer si la problemática planteada como tesis al inicio de este artículo es común a los países encuestados. Se encontró que la totalidad de los países tuvo algún comentario al respecto, siendo una respuesta en común los altos costos que representan los lanzamientos. Algunas de las respuestas más concluyentes se resumen en la tabla 3 (nota: las respuestas son presentadas textualmente como fueron escritas en la respuesta a la encuesta).

Tabla 3 Problemas presentados por los Estados con respecto al radisondeo

Problemática Presentada con el método actual de radisondeo	<ul style="list-style-type: none"> -Los costos elevados de cada lanzamiento. -La basura ambiental que representa cada radiosonda una vez es usada. -Pocos datos para la alimentación de modelos meteorológicos. -Daños a viviendas donde impactó la radiosonda. -No poder realizar los lanzamientos en más lugares. -Problemas técnicos con la conexión de la antena del GPS. -Poca portabilidad del sistema.
	<ul style="list-style-type: none"> -Solo funciona una vez y nunca se sabe si va a encender o no. -Una vez que se encienda, se puede perder el radisondeo a medio camino si se apaga y se le acaba su vida útil. -El principal inconveniente de la interrupción fueron los repuestos para el generador de hidrógeno. -Se tuvo que adquirir uno nuevo para poder volver a realizar los lanzamientos. -Hoy día, a razón de ese tiempo se cuenta con equipos obsoletos. -Se debería de actualizar a los existentes en el mercado, pues los insumos (radiosonda) para el mismo han variado en este tiempo.
	<ul style="list-style-type: none"> -Es muy difícil la recuperación de las radiosondas en latitudes medias. -En nuestro caso los vientos medios de componente oeste la derivan hacia el océano
	<ul style="list-style-type: none"> -Los costos elevados de cada lanzamiento -Apoyo a las diferentes estaciones localizadas en las distintas regiones del país.

La totalidad de países, con excepción de Brasil (que respondió que su red de estaciones de altitud ya cubre todas sus necesidades), coincidieron en que sí estarían interesados en aumentar la cantidad de lanzamientos y la cantidad de lugares desde donde lanzar las radiosondas, con el fin de incrementar la cantidad de datos con los cuales alimentar los modelos numéricos, y realizar constantes evaluaciones de los perfiles verticales de la atmosfera. Aumentar la toma de datos no ha sido posible debido a los altos costos generados por los radiosondeos, como se evidencia en este artículo.

Análisis de resultados y conclusiones

La encuesta fue enviada a la totalidad de los países de Latinoamérica, y se obtuvo el 60 % de cobertura de la población total. Esta muestra se considera una muestra válida para la realización del estudio, aunque sería importante aumentar los esfuerzos para conseguir la respuesta de los demás países. Esto ampliaría el estudio y reforzaría los resultados encontrados. Se propone entonces esta situación como trabajo futuro del presente estudio.

En cada uno de los países existe un ente que presta servicio especializado en meteorología e hidrología, lo que evidencia la importancia que tiene para cada país poder estudiar los fenómenos meteorológicos y climáticos dentro de sus territorios. El presente estudio se realizó acudiendo a los máximos entes en la materia de cada Estado, lo que le da relevancia a los resultados y permite conocer de primera mano la situación en Latinoamérica con respecto a los procedimientos de radiosondeo.

El alto costo de cada radiosondeo es una constante en la percepción que tiene cada uno de los países al respecto. Este alto costo limita las posibilidades de realizar más lanzamientos; en algunos casos como en Uruguay, Bolivia y Guyana, impide que estos se puedan llevar a cabo. Dichos costos no solamente radican en los costos operativos, sino también en los costos de adquisición del sistema. Una estación de tierra puede costar aproximadamente USD 300.000 (Gómez y Sierra, 2012).

El mayor porcentaje de los países usa la misma marca y referencia de radiosonda. Esta sonda está fabricada para ser utilizada una vez, por lo que los países se ven obligados a aceptar estas condiciones de operación y perder esta tecnología después de cada lanzamiento, además de pagar el precio por esta pérdida.

Por otro lado, existe una problemática común en los países latinoamericanos, lo que comprueba que la tesis postulada se cumple en un alto porcentaje. Un radiosondeo presenta elevados costos de operación para un país, el número de mediciones es insuficiente para generar la cantidad de datos necesarios para alimentar los modelos numéricos y el hecho de perder la radiosonda hace que el proceso de radiosondeo genere elevados niveles de contaminación electrónica.

Existe un interés común en aumentar la cantidad y la calidad de los datos tomados de la atmosfera, aumentando la frecuencia de los radiosondeos y el mayor número de estaciones dentro

de cada Estado para un cubrir estratégicamente el territorio de dichos Estados. Así mismo, el 90 % de los países busca adquirir una tecnología más avanzada que permita minimizar los costos de operación y así aumentar la cantidad de lanzamientos de las radiosondas. Se recomienda hacer estudios de cobertura de los radiosondeos según la extensión y orografía de cada Estado, así como los niveles de contaminación de los desechos de las radiosondas.

Una buena solución a esta problemática sería si las radiosondas se pudieran recuperar y reutilizar. El hecho de reutilizar la radiosonda representaría un ahorro del 64 % en cada uno de los lanzamientos.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a las personas que apoyaron el presente estudio; la aceptación de cada uno y el interés mostrado en el tema de investigación fue pieza fundamental para esta realización. Gracias al teniente coronel Adilson Cleómenes Rocha, especialista en Meteorología, jefe de División de Evaluación Docente del Instituto de Control de Espacio Aéreo de Brasil; al Meteorólogo Alexander Melgarejo, jefe Meteorología Aeronáutica Ideman de Colombia; al Dr. Orlando Lázaro Rodríguez, director del Centro de Radares del Instituto de Meteorología de Cuba; al Ingeniero Arturo Lomas, Jefe de Meteorología Aeronáutica del Ecuador; al Físico Leodegario Sansón Reyes, director del Centro Meteorológico de la Comisión Federal de Electricidad y presidente de la Organización Mexicana de Meteorólogos; al T.S.M. Raúl Enrique Rodas Franco, gerente de Sistemas de Observación Meteorológica de la Dirección de Meteorología e Hidrología de Paraguay; a la Dra. Inés Rodríguez, directora interina de Meteorología de Uruguay; al Teniente Coronel Alexander Quintero Mercado, jefe del Servicio de Meteorología de Venezuela; al Dr. Lyndon Alves, jefe Superintendente Superior, Oficial a cargo de la Unidad Táctica de Servicios Aéreos de Guyana; al Meteorólogo Rimort Edson Chavez del Instituto Nacional de Aviación Civil de Bolivia; a la Dra. Miriam Andrioli, GESEC, Servicio Meteorológico Nacional de Argentina; a la Dra. Martha Eugenia Pereira Molina, gestora de Meteorología Aeronáutica, departamento de Navegación Aérea (DGAC) de Costa Rica. Un agradecimiento especial al Oficial Jorge Armoa, representante de la OACI.

Referencias

- Comisión Nacional del Agua [Conagua] (marzo de 2010). Manual teórico práctico del observador meteorológico de superficie. Mexico, D.F. Coyoacán: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Gómez, L. y Sierra, T. (2012). Propuesta de un sistema de recuperación para una radiosonda meteorológica. Congreso Internacional de Meteorología OMMAC, 50-60.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia [Ideam]. (27 de noviembre de 2014). Página Oficial Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Recuperado el 27 de 11 de 2014, de www.ideam.gov.co

- Instituto de Meteorología de Cuba [Insmet] (27 de noviembre de 2014). Página oficial Instituto de Meteorología de la República de Cuba. Recuperado de www.insmet.cu
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador [Inamhi] (27 de 11 de 2014). Página oficial Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología. Recuperado de www.serviciometeorologico.gob.ec
- Instituto Nacional de Meteorología [Inmet] (27 de noviembre de 2014). Página oficial del Instituto Nacional de Meteorología de Brasil. Recuperado de www.inmet.gov.br
- Organización de Aviación Civil Internacional [OACI]. (2007). Anexo 3. Servicio meteorológico para la navegación aérea internacional. Canadá: autor.
- Organización meteorológica Mundial (8-12 de marzo de 2010). Examen del plan técnico del comité y de su programa de ejecución para 2010 y más adelante. Trigésima segunda Reunión del Comité de Huracanes de la ARIU.
- Organización Meteorológica Mundial [OMM] (1992). Manual del Sistema Mundial de Proceso de Datos y de Predicción OMM 485. Manual del Sistema Mundial de Proceso de Datos y de Predicción Volumen II Aspectos Regionales. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi] (27 de noviembre de 2014). Página oficial del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia. Recuperado de www.senamhi.gob.bo
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi] (27 de noviembre de 2014). Página oficial del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Recuperado de www.senamhi.gob.pe
- Servicio de Meteorología de la Aviación de Venezuela [Sermetavia] (27 de 11 de 2014). Página oficial del Servicio de Meteorología de la Aviación de Venezuela. Recuperado de www.meteorologia.mil.ve
- Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN) (27 de noviembre de 2014). Página oficial del SMN de México. Recuperado de <http://smn.cna.gob.mx>
- Servicio Meteorológico Nacional de México [SMN] y Comisión Nacional del Agua [Conagua] (27 de noviembre de 2014). Página oficial Servicio Meteorológico Nacional de México. Recuperado de smn.cna.gob.mx
- Unión Internacional de Telecomunicaciones [UIT] (21 de agosto de 2006). Características técnicas y criterios de calidad de los sistemas de radiosondas del servicio de ayudas a la meteorología en las bandas de frecuencias de 403 MHz y 1 680 MHz. Ginebra: Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT.
- Vera, C., Baez, J., Douglas, M., Emmanuel, B. et al. (2006). The South American Low Level Jet Experiment. American Meteorological Society, 63-77.

