



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú - IGP



COMPENDIO DE INVESTIGACIONES EN GEOFÍSICA

Trabajos de investigación realizados por estudiantes durante el año 2017



Trabajando para todos los peruanos

Volumen 18

Título: Compendio de Investigaciones en Geofísica
Título clave abreviado: Compend. Investig Geof.
Volumen: 18
ISSN: 2079-696X

Editores: Hernando Tavera
Marco Milla
Jhan Carlo Espinoza

Diseño y diagramación
Dante Guerra Echeandía

Editado por:
Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo, IV Etapa, Ate Vitarte
Central telefónica: (+ 51 1) 317 2300
<http://portal.igp.gob.pe/>
Setiembre, 2017

Esta edición se terminó de imprimir en diciembre de 2017 en:
Inversiones Iakob S.A.C.
Av. Iquitos 1481 - La Victoria
Teléfono: (+ 51 1) 296 3911
Diciembre, 2017

Tiraje: 500 ejemplares

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2017-17107

COMPENDIO DE INVESTIGACIONES EN GEOFÍSICA

Trabajos de investigación realizados por estudiantes durante el año 2017



índice

Prólogo.....	6
Editores.....	7
SECCIÓN 1. CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA.....	8
1. <i>ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS DEL SISMO DE ATICO DEL 2001</i> <i>SYNTHETIC ACCELEROGRAMS OF THE 2001, ATICO EARTHQUAKE</i> Ernesto Febres Bedía.....	9
2. <i>ANÁLISIS SISMOTECTÓNICO DEL VOLCÁN TICSANI A PARTIR DE DATOS LOCALES</i> <i>SISMOTECTONIC ANALYSIS OF TICSANI VOLCANO FROM LOCAL DATA</i> Gisela Pinto Chavez	14
SECCIÓN 2. CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA E HIDRÓSFERA.....	19
3. <i>CUANTIFICACIÓN DE LLUVIAS USANDO UN RADAR METEOROLÓGICO DE BANDA Ka</i> <i>RAINFALL QUANTIFICATION USING A Ka BAND WEATHER RADAR</i> Jairo Michael Valdivia Prado.....	20
4. <i>ESTRUCTURA DE LAS ESPECIES DE MANGLE EN EL SANTUARIO NACIONAL LOS MANGLARES DE TUMBES</i> <i>STRUCTURE OF MANGROVE SPECIES IN THE NATIONAL SANCTUARY OF TUMBES MANGROVES</i> Izbet Karel Idrogo Harvey.....	26
5. <i>MEDICIÓN DE CARBONO NEGRO EN LOS AEROSOLES ATMOSFÉRICOS COLECTADOS EN EL OBSERVATORIO DE HUANCAYO</i> <i>MEASUREMENT OF BLACK CARBON IN ATMOSPHERIC AEROSOLS COLLECTED AT THE OBSERVATORY OF HUANCAYO</i> Christian Manuel Torres Ramos	31
6. <i>RELACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR TROPICAL EN UN MODELO ATMOSFÉRICO GLOBAL</i> <i>RELATIONSHIP BETWEEN PRECIPITATION AND TROPICAL SEA SURFACE TEMPERATURE IN A GLOBAL ATMOSPHERIC MODEL</i> José Esteban Obregón Yataco.....	38
7. <i>VARIABILIDAD ESTACIONAL DE LA RADIACIÓN SOLAR Y ATMOSFÉRICA EN EL OBSERVATORIO DE HUANCAYO Y SU EFECTO EN LA TEMPERATURA DEL AIRE Y SUELO</i> <i>SEASONAL VARIABILITY OF THE ATMOSPHERIC AND SOLAR RADIATION IN OBSERVATORY OF HUANCAYO AND ITS EFFECT ON AIR TEMPERATURE AND SOIL</i> André William Galdos Segura.....	44
SECCIÓN 3. CIENCIAS DE A ALTA ATMÓSFERA Y ASTRONOMÍA.....	51
8. <i>ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS PARA LA ESTIMACIÓN DE VIENTOS Y PRECIPITACIÓN DE UN RADAR PERFILADOR DE VIENTOS QUE OPERA EN UHF (RESULTADOS PRELIMINARES)</i> <i>ANALYSIS AND DATA PROCESSING FOR WIND ESTIMATION AND PRECIPITATION OF A WIND PROFILER RADAR OPERATING IN UHF (PRELIMINARY RESULTS)</i> Erick Bocanegra Salas.....	52
9. <i>DESARROLLO DE GENERADOR DE SEÑALES DE CLOCK PROGRAMABLE POR WEB</i> <i>DEVELOPMENT OF WEB-PROGRAMMABLE CLOCK SIGNAL GENERATOR</i> Giancarlo Patiño Ortega.....	58
10. <i>DESARROLLO DE UNA INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN DE APLICACIÓN (API REST) PARA EL DDS-AD9854</i> <i>DEVELOPING OF AN APPLICATION PROGRAM INTERFACE (API REST) FOR DDS-AD984</i> Jose Avalos Villa.....	64
11. <i>DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ASTROFÍSICOS FUNDAMENTALES DEL PLANETA EXTRASOLAR COROT-2 B</i> <i>DETERMINATION OF FUNDAMENTAL ASTROPHYSICAL PARAMETERS OF EXTRASOLAR PLANET COROT-2 B</i> Jose Luis Ricra Mayorca.....	70

12. DISEÑO DE UN SISTEMA MECÁNICO DE RADAR DE APERTURA SINTÉTICA PORTÁTIL CON CONTROL DE APUNTE PARA MODOS STRIPMAP Y SPOTLIGHT DESIGN OF A PORTABLE SYNTHETIC APERTURE RADAR MECHANICAL SYSTEM WITH POINT CONTROL FOR STRIPMAP AND SPOTLIGHT MODES Camilo Daniel Ortecho Huamanchumo.....	75
13. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE RECARGA AUTÓNOMA PARA UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA EL MONITOREO DE VOLCANES – Parte II DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN AUTONOMOUS RECHARGING STATION FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR VOLCANO MONITORING – Part II Alessandro Morales Saravia.....	81
14. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SENSORES EN EL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE HUAYCOS EN LA QUEBRADA DE JICAMARCA, DISTRITO DE HUAROCHIRÍ, DURANTE EL AÑO 2016 DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A WIRELESS NETWORK OF SENSORS IN THE FLOODS'EARLY WARNING SYSTEM IN THE BROADCAST OF JICAMARCA, HUAROCHIRI DISTRICT, DURING THE YEAR 2016 Leonardo Atúnkar Chumbiauca	86
15. FORMACIÓN DE IMÁGENES A PARTIR DEL PROCESAMIENTO DE SEÑALES DEL RADAR DE APERTURA SINTÉTICA (SAR) DEL RADIO OBSERVATORIO DE JICAMARCA (ROJ) PARA LA MEDICIÓN DE DESLIZAMIENTOS IMAGE FORMATION FROM SIGNAL PROCESSING OF THE JICAMARCA RADIO OBSERVATORY (JRO) SYNTHETIC APERTURE RADAR (SAR) TO MEASURE LANDSLIDES Luis Saul Charapaqui Miranda.....	90
16. INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE RADAR DE APERTURA SINTÉTICA AL INTERNET USANDO PROTOCOLOS DE INTERNET DE LAS COSAS INTEGRATION OF A SYNTHETIC APERTURE RADAR SYSTEM TO THE INTERNET USING INTERNET PROTOCOLS OF THINGS Moises Stevend Meza Rodriguez.....	96
17. INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN POR ETHERNET PARA DIVISOR DE PPS ETHERNET PROGRAMMING INTERFACE FOR PPS DIVIDER Luis De La Cruz Painado.....	101
18. LIBRERÍA GRÁFICA PARA APLICACIONES WEB GRAPHIC LIBRARY FOR WEB APPLICATIONS Silke Teresa Donayre Holtz.....	107
19. OBTENCIÓN DE IMÁGENES DE RADAR USANDO EL RADAR PRINCIPAL DE JICAMARCA Y ARREGLO DE ANTENAS COCO APLICANDO COMPRESSED SENSING RADAR IMAGING WITH COMPRESSED SENSING WITH JICAMARCA'S MAIN RADAR AND COCO ANTENA ARRAY Karla Fiorella Quino Omonte.....	112
20. OPTIMIZACIÓN DE ALGORITMO PARA SEGMENTACIÓN DE SEÑALES SATELITALES DURANTE EVENTOS DE PASES SIMULTÁNEOS OPTIMIZATION ALGORITHM FOR SATELLITE PASSES SEGMENTATION DURING SIMULTANEOUS EVENTS José Manuel Suclupe Osorio	116
21. PROCESAMIENTO DE DATOS DE JASMET Y PUBLICACIÓN EN MADRIGAL JASMET DATA PROCESSING AND PUBLICATION IN MADRIGAL Marco Paul Enrique Apolinario Lainez.....	122
22. SISTEMA DE RADAR BASADO EN LA PLATAFORMA DE DESARROLLO RED PITAYA RADAR SYSTEM BASED ON THE RED PITAYA DEVELOPMENT PLATFORM Haris Chaudhry Mendivil.....	127

Prólogo

Los resultados de las investigaciones que realiza el Instituto Geofísico del Perú (IGP) son dados a conocer a las autoridades y sociedad a través de informes y reportes técnicos, y a la comunidad científica internacional en revistas científicas indexadas, garantizando así que la información llegue de manera adecuada a los receptores mencionados.

Esta labor de informar el conocimiento que se genera es una función inherente al IGP que se practica anualmente y se inculca en los jóvenes investigadores aún desde su formación. Es en el marco de esta misión que se publica el “Compendio de estudiantes”.

Desde su creación, este compendio ha sido el principal instrumento de los tesisistas y practicantes de los diversos órganos de línea y sedes desconcentradas para dar a conocer los trabajos que han desarrollado con la asesoría de un investigador científico de la institución para la obtención de su título profesional o a la culminación de su informe de prácticas preprofesionales.

De esta forma, además de apoyar al tesisista y practicante en su camino a convertirse en un investigador, se le brinda la oportunidad de difundir su trabajo de investigación y de tener su primera experiencia de publicación.

En el presente compendio se pondrá en conocimiento de la sociedad diversas investigaciones desarrolladas en ámbitos de estudio como la sismología, vulcanología, aeronomía, física atmosférica, entre otros.

Los invitamos a recorrer las siguientes páginas donde podrán conocer los trabajos desarrollados con el ímpetu de quien se inicia en el camino de la investigación y el respaldo de una institución con siete décadas haciendo ciencia.

Instituto Geofísico del Perú



Dr. Hernando Tavera

Doctor en Ciencias Físicas – Mención Sismología de la Universidad Complutense Madrid, España y Geofísico de la Universidad San Agustín de Arequipa. Actualmente es investigador científico en el Instituto Geofísico del Perú donde está a cargo de la presidencia ejecutiva, y director ejecutivo del Centro Regional de Sismología para América del Sur. Además, es investigador principal del proyecto “Escenarios de Sismos y Tsunamis en el Borde Occidental del Perú”. Recientemente su investigación está a proponer escenarios del comportamiento dinámico de los suelos a la ocurrencia de sismos de gran magnitud e intensidad. Participa activamente en los Comités Técnicos de la PCM, Indeci y Cenepred.



Dr. Marco Milla

Ph. D. en Ingeniería eléctrica y de computadoras de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, EE.UU e Ingeniero Electrónico de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Actualmente es investigador científico del Instituto Geofísico del Perú y su investigación involucra el desarrollo de técnicas de radar de dispersión incoherente para la medición de parámetros físicos de la ionósfera de forma remota. En particular, se ha dedicado al estudio de los efectos de colisiones de Coulomb y efectos de propagación magneto-iónica en las mediciones que realiza con el radar ionosférico de Jicamarca.



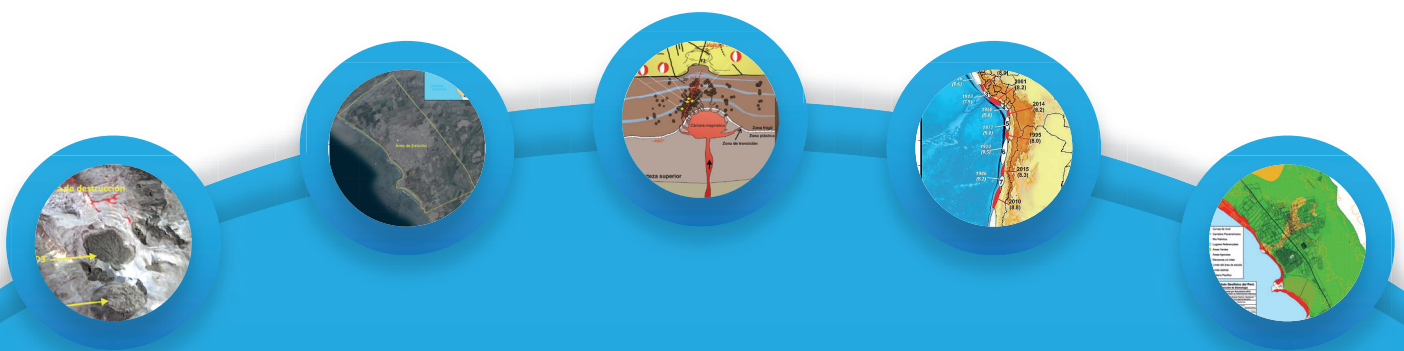
Dr. Jhan Carlo Espinoza

Doctor en Ciencias Ambientales (Universidad Pierre et Marie Curie de París, Francia). Actualmente es investigador científico en el Instituto Geofísico del Perú (IGP) y sus investigaciones están enfocadas al origen e impactos de eventos hidrológicos extremos en la región Andino-Amazónica en relación a la variabilidad y cambio climático. Ha contribuido con más de 30 publicaciones en revistas de prestigio internacional sobre el tema. En 2015 fue nombrado por CONCYTEC como representante peruano para el premio internacional APEC a la investigación científica en temas de reducción de riesgos y desastres naturales.



EDITORES

Ciencias de la Tierra **Sólida**



Sección **01**

ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS DEL SISMO DE ATICO DEL 2001

SYNTHETIC ACCELEROGRAMS OF THE 2001, ATÍCO EARTHQUAKE

Ernesto Febres Bedía

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
Facultad de Geología, Geofísica y Minas
ernesto.febres@gmail.com

Asesor: Dr. Hernando Tavera

Ciencias de la Tierra Sólida - IGP

Resumen

Se hace el uso del algoritmo de Hallordson y Papageorgiou (2005) para modelar la ruptura de una fuente sísmica y generar registros de aceleración sintéticos con las características frecuenciales similares al terremoto de Atico del 23 de junio del 2001. Este procedimiento, simula el movimiento sísmico sin el efecto de sitio y es útil para obtener registros para puntos en donde no se cuenta con registros de aceleración.

Palabras clave: Acelerogramas sintéticos, Modelo de Barreras, Sismo de Atico

Abstract

The algorithm of Hallordson and Papageorgiou (2005) is used to model the rupture of a seismic source and generate synthetic acceleration registers. With a similar frequency characteristics of the Atico earthquake of June 23, 2001. This procedure simulates seismic movement without the site effect, and is useful to obtain records for places where there are no accelerometric records.

Keywords: Synthetic accelerograms, Barrier Model, Atico Earthquake

1. Introducción

Para regiones donde la instrumentación acelerométrica es escasa, pueden generarse registros que simulen un terremoto y cuyas aplicaciones generalmente se encuentran en el ámbito de la ingeniería; sin embargo, debe tenerse en cuenta que para generar estos registros se requiere de avanzados conocimientos de sismología y que solo una minoría de ingenieros calculistas poseen (Bommer y Boore, 2004).

La implementación de estaciones acelerométricas en el Perú ha tomado un auge importante en los últimos años, debido principalmente a la necesidad de la actualizar la norma sismorresistente vigente. Para las regiones donde los datos de movimiento fuerte son abundantes, se han desarrollado relaciones que se han utilizado con éxito en los análisis de riesgo sísmico. Sin embargo, para las regiones donde los registros son escasos, es necesario el uso de registros simulados para representar la estimación del movimiento del terreno. Estas estimaciones se han desarrollado en el contexto del “enfoque de modelización estocástica” (modelos físicos) y la teoría de vibración aleatoria (modelos empíricos). Una ventaja de los modelos físicos sobre los empíricos es que los parámetros significativos relativos a la fuente, atenuación del trayecto y los efectos de sitio se pueden deducir de registros existentes.

La propuesta de este estudio es simular un registro de aceleración que describa las características de un sismo de gran magnitud como el ocurrido en el año 2001 en la costa de Arequipa. Para ello se utiliza el registro de aceleración obtenido en la ciudad de Moquegua (Estación MOQ001) y se realiza el análisis en el dominio de frecuencias, proceso donde se simplifican todos los aspectos que permiten comparar los registros reales y teóricos.

2. Análisis de los registros

El análisis de los registros de aceleración ha puesto de relieve complejidades en el proceso de ruptura que no son observables en los registros de campo lejano, debido a que las altas frecuencias son filtradas por el medio. Estas observaciones han sido confirmadas con registros digitales de banda muy ancha obtenidos en campo lejano. Su origen se atribuye al encuentro del frente de ruptura con heterogeneidades en el plano de falla que frenan o aceleran la propagación.

Por ello, el tratamiento del movimiento del suelo, en el dominio de las frecuencias, es necesario para el análisis de los registros de aceleración a partir de fuentes sísmicas simuladas. Para la elaboración de un registro teórico, se debe considerar que su espectro no debe contener lagunas en ciertas frecuencias, ni debe mostrar deficiencias de energía a períodos

mayores. Naturalmente, una comparación de espectros de amplitudes de registros de movimientos fuertes del suelo muestra fluctuaciones importantes en los picos del espectro. Para evitar este problema, se utilizan movimientos del suelo promediados.

3. Metodología

El registro sintético a elaborarse toma en cuenta el modelamiento de una fuente sísmica basado en la distribución de barreras a través de un plano de falla conocido como “Modelo de Barreras Específico” (Papageorgiou y Aki, 1983). Este modelo, ha sido calibrado con una amplia base de datos de registros sísmicos y ha permitido la propuesta de un algoritmo (Hallodorsen y Papageorgiou, 2005) que describe el modelado de la ruptura de la fuente sísmica considerando un régimen de barreras y asperezas que modifican la propagación de la ruptura a través de la falla generadora del terremoto. Estos datos de estudio regular en sismología son consistentes en toda la gama de frecuencias y para todas las distancias de interés en ingeniería. Esto último es importante pues los planteamientos del análisis dinámico y evaluación de frecuencias fundamentales de los emplazamientos por parte de ingenieros estructuralistas, no suelen considerar las propiedades reales de la fuente sísmica.

Según este modelo, la falla sísmica se puede visualizar como un agregado de grietas circulares de igual radio, llenando una falla rectangular de longitud y ancho, tal como se muestra esquemáticamente en la Figura 1.

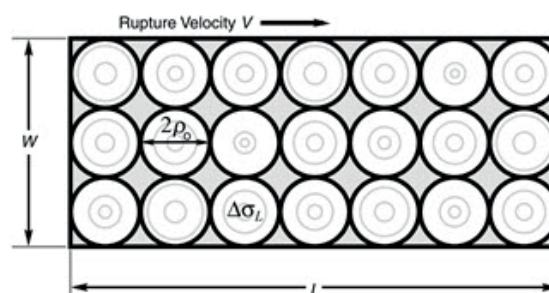


Figura 1. Vista esquemática del Modelo de barreras específico de Papageorgiou y Aki (1983).

A medida que el frente de la ruptura se propaga el plano de falla con la “velocidad de barrido”, en una caída de tensión local se lleva a cabo en cada grieta a partir de su centro y se extiende radialmente con una velocidad de dispersión constante. El deslizamiento se detiene bruscamente cuando el radio de la grieta alcanza. Así, la simplificación del modelo de barreras, consiste en un híbrido de modelos deterministas y estocásticos cuya ventaja es que se describe por sólo cinco parámetros de la fuente; es decir, L , W , V , ρ_0 y $\Delta\sigma_L$.

El esquema de desarrollo de esta metodología elabora un espectro de respuesta que adapta su contenido de frecuencias mediante la transformada

de Fourier y la relación establecida por Mucciarelli (2004), donde es el valor del espectro envolvente y el valor del espectro de respuesta correspondiente al acelerograma para cada nivel de frecuencia, y son los valores del acelerograma en el dominio de frecuencias para el ajuste actual y la anterior respectivamente. La Figura 2 presenta un resumen esquemático de este procedimiento.

$$F(f)_{i+1} = F(f)_i \left[\frac{SRT(f)}{SR(f)_i} \right] \quad (1)$$

$SRT(f)$ es el valor del espectro envolvente y $SR(f)_i$ es el valor del espectro de respuesta correspondiente al acelerograma para cada nivel de frecuencia, f , $F(f)_{i+1}$ y $F(f)_i$ son los valores del acelerograma en el dominio de la frecuencia para el ajuste actual y la anterior respectivamente. La Figura 2, presenta un resumen esquemático de este procedimiento.



Figura 2. Secuencia de generación de acelerogramas sintéticos.

3.2. Parámetros sísmicos

En la Figura 3 se muestra el registro de aceleración (componente horizontal EO) del sismo de Atico registrado en la ciudad de Moquegua (MOQ001). Destaca la gran aceleración registrada en esta ciudad (284 gal), así como la duración de la fase intensa que llegó a ser mayor a medio minuto. Este acelerómetro se ubica sobre un terreno de depósitos sedimentarios (conglomerados) producto del acarreo del río Tumilaca, de baja consistencia que amplificaron el movimiento del suelo.

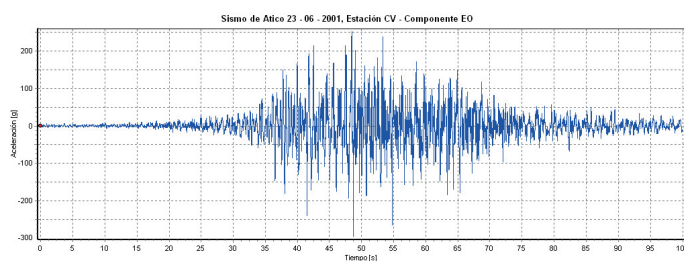


Figura 3. Registro de Aceleración de la componente EO del Terremoto de Atico, registrado en la ciudad de Moquegua.

La Figura 4 muestra el espectro de amplitudes de Fourier del sismo de Atico en la Estación MOQ001 y en ella se observa que las mayores amplitudes se encuentran en el rango de el mismo que probablemente corresponde a las frecuencias fundamentales para el tipo de suelo del emplazamiento de la estación.

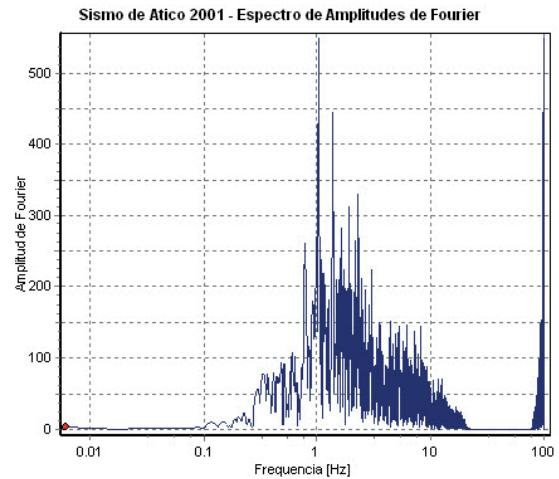


Figura 4. Espectro de Amplitudes de Fourier del sismo de Atico 2001.

Que las mayores amplitudes se encuentran en el rango de 0.3 a 10 Hz, el mismo que probablemente corresponde a las frecuencias fundamentales para el tipo de suelo del emplazamiento de la estación.

3.2.1. Resolución de datos

Para definir los datos que identifican al sismo sintético, se utiliza el espectro de respuesta, del sismo de Atico del 2001 (Figura 5) con un grado de amortiguamiento muy bajo (2%), lo cual permitió describir las características del terremoto a muy corta distancia de la fuente sísmica (campo cercano). Este espectro se utilizará como envolvente del espectro de respuesta del registro de aceleración corregido.

Luego se establecen los parámetros de ruptura en las distintas componentes del movimiento sísmico, todos situados a una distancia hipocentral que representa el campo cercano. Debe tenerse en cuenta que el registro de aceleración sintético, representa el movimiento registrado a una distancia que es menor a las dimensiones de la ruptura.

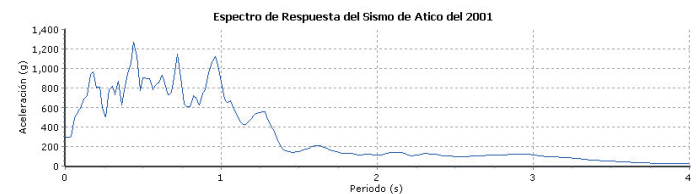


Figura 5. Espectro de frecuencias de la componente EO del Terremoto de Atico del 2001 con un amortiguamiento del 2%.

3.2.2. Parámetros de entrada

Los parámetros considerados para la generación del registro sintético son:

- La magnitud de momento (M_w), la parte plana del espectro Ω_0 y la frecuencia de esquina f_c correspondientes a las amplitudes del terremoto de Arequipa del 2001 (Figura 6). El valor de f_c es inversamente proporcional a las dimensiones de la fuente ($r_0 = f_c^{-1}$); mientras que Ω_0 es proporcional al momento sísmico escalar (Aki, 1967). Si se considera una completa caída de esfuerzos, el momento sísmico es definido como (Hanks y Wyss, 1972):

$$M_0(P) = \frac{4\pi r_0 k a^3 \Omega_0(P) G(\Delta)}{R_{\theta\phi}(P)} \quad (2)$$

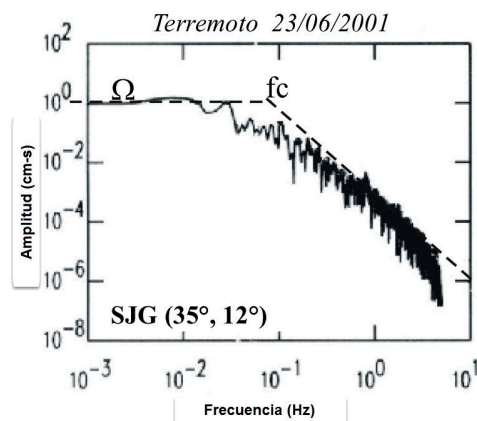


Figura 6. Espectro de Amplitud del Sismo de Atico del 2001. (Tavera y Antayhua, 2002).

Mientras que la dimensión de la fuente y el desplazamiento medio pueden ser estimados a partir de (Brune, 1970):

$$r(P) = \frac{2.34a}{2pf_c(P)} \quad (3)$$

$$\Delta u = M_0(P) \rho m^2(P) \quad (4)$$

donde, a es la velocidad de la onda P, ρ la densidad del medio, $\Omega_0(P)$ la parte plana del espectro, $G(\Delta)$ el factor de expansión geométrica, k el coeficiente en la superficie libre, $R_{\theta\phi}$ el patrón de radiación de la onda P y μ la rigidez del medio.

Conocido el momento sísmico escalar, la magnitud M_w puede ser estimada con la siguiente relación:

$$M_w = \left(\frac{3}{2}\right) \log M_0 - 10.73 \quad (5)$$

Considerando estos parámetros, la magnitud de momento para el sismo de Atico del 2001 fue establecida por el Instituto Geofísico del Perú en 8.2 M_w . Por otro lado, el radio de ruptura fue estimado en 99 km (Tavera y Antayhua, 2002).

Efecto de sitio: Una vez definida la distancia epicentral. El efecto de sitio se establece a partir de ocho tipos de suelo en función de la velocidad de onda de corte Vs 30. La Tabla 1 muestra las equivalencias de Vs

30 respecto a los tipos de suelo considerados en la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E-030:

Tabla 1. Velocidades de onda de corte según el código sismorresistente E-030 para distintos tipos de suelo.

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO		Vs30 (m/s)
E-030	Tipo de suelo	NEHRP
S ₀	Roca muy rígida	2900
	Roca Sana muy dura	1500
S ₁	Roca rígida	940
	Límite entre suelo muy denso y roca	760
	Roca suave	700
	Roca genérica	620
	Suelo Medianamente Denso	520
	Suelo Homogéneo sobre Roca	500
S ₂	Suelo genérico	310
	Suelo Firme a Medio	255
	Suelo Cohesivo Compacto	180
S ₃	Suelo Cohesivo Blando	<180
S ₄	Suelo Excepcionalmente Flexible	EMS

4. Resultados

La Figura 7, muestra la componente EO del registro sintético de aceleración y los correspondientes registros de velocidad y desplazamiento generados a partir de los parámetros de entrada descritos anteriormente. Nótese que la fase intensa del movimiento se produce entre los 4 y 30 segundos de producida la ruptura, consistente con la duración de fase intensa del registro original. El hecho que la fase intensa se muestre prematura comparada al registro de la estación MOQ001, se debe a la pequeña distancia epicentral (14 km) elegida desde el inicio y su propagación hacia la estación MOQ001 de la ruptura. La aceleración horizontal máxima de este registro sintético se fija en 0.249 g.

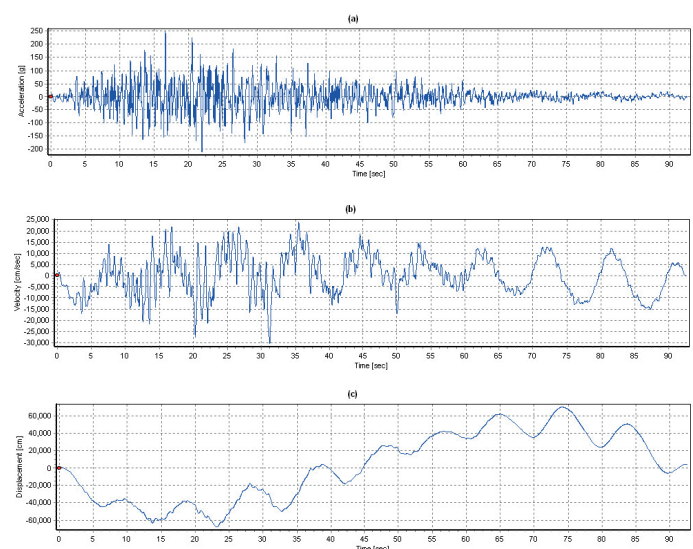


Figura 7. (a) Acelerograma Sintético de la componente EO, del Terremoto de Atico del 2001 para una magnitud de 8.2 M_w y velocidad de onda de corte de 940 m/s a 14 km del epicentro (b) Historia de Tiempo de Velocidad del acelerograma sintético. (c) Registro de desplazamiento obtenido.

La Figura 8 muestra el espectro de amplitudes del registro sintético obtenido que comparando el espectro de la Figura 4, se puede notar que presentan valores máximos de amplitud en el mismo intervalo de frecuencias de 1-3 Hz.

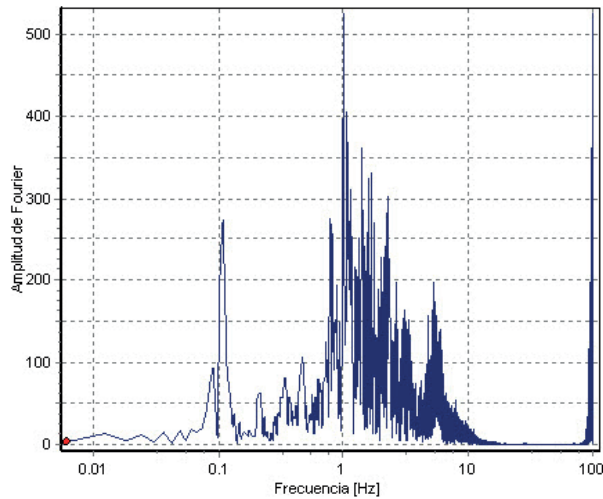


Figura 8. Espectro de amplitudes de Fourier del Acelerograma Sintético corregido.

El contenido de frecuencias del registro sintético principal se utiliza como envolvente para generar el espectro de frecuencias del registro sintético, el mismo que muestra una clara convergencia en el espectro de respuesta de la Figura 9. Los resultados muestran que el análisis frecuencial en campo próximo es relativamente similar a los registros de banda ancha, pero con mayores amplitudes y frecuencias. Sin embargo, este decaimiento de la amplitud no excluye que puedan tener las mismas propiedades.

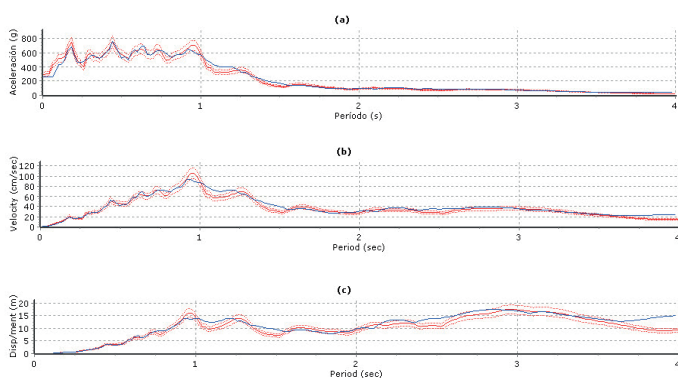


Figura 9. (a) Envolvente del Espectro de Frecuencias del terremoto de Atico del 2001. La línea azul representa el espectro de frecuencias del registro de aceleración sintético corregido, las líneas continuas en rojo superior son las envolventes del espectro de frecuencias del Registro real. (b) Espectro de Respuesta de Velocidades. (c) Espectro de Respuesta de Desplazamiento.

5. Conclusiones

El método del Modelado Específico de Barreras puede ser aplicado con éxito para la generación de registros sintéticos de aceleración para lugares en los cuales no se dispone de dicha información.

Es necesario comprender que la utilización conjunta de observaciones, tanto en campo lejano como en campo próximo, ha permitido establecer modelos de fuente más complejos que han dado lugar a registros de velocidad y aceleración sintéticos más semejantes a los observados.

Una propiedad intrínseca de los registros de aceleración sintética, es que necesitan validarse con datos de campo lejano pues no todos los impulsos observados en los registros pueden ser modelados y permanece el problema de la unicidad en su formulación.

Esta metodología será aplicada para el análisis dinámico de suelos en la ciudad de Arequipa, como parte de la investigación que el autor desarrollará en el presente año.

6. Agradecimientos

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme todas facilidades para desarrollar la presente investigación.

Al Dr. Hernando Tavera, por la confianza depositada en mi persona para lograr los objetivos de este trabajo, así también por su continua motivación y orientación.

7. Bibliografía

- Aki, K. (1967): *Scaling law of seismic spectrum*, J. Geophys.
- Bommer, J y D. Boore (2004): *Engineering Seismology, Encyclopedia of Geology*.
- Brune, J. (1970): *Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes*, J. Geophys.
- Halldorsson B. y A. Papageorgiou (2005): *Calibration of the specific barrier model to earthquake of different tectonic regions*.
- Hanks, T.C. y Wyss, M. (1972): *The use of body-wave spectra in the determination of seismic source parameters*.
- Papageorgiou, A. y K. Aki (1983): *A specific Barrier Model for the Quantitative Description of Inhomogeneous faulting and the Prediction of Strong Ground Motion*.
- Tavera, H. e Y. Antayhua (2002): *Parámetros del terremoto de Arequipa del 23 de junio de 2001 y de tres Réplicas de Magnitud Mayor deducidos del Análisis Espectral de Ondas de Volumen*. CNDG, Instituto Geofísico del Perú.

ANÁLISIS SISMOTECTÓNICO DEL VOLCÁN TICSANI A PARTIR DE DATOS LOCALES

SISMOTECTONIC ANALYSIS OF TICSANI VOLCANO FROM LOCAL DATA

Gisela Pinto Chavez
Universidad Nacional de San Agustín
Facultad de Geología, Geofísica y Minas
gise_463@hotmail.com

Asesor: Dr. Hernando Tavera
Ciencias de la Tierra Sólida - IGP

Resumen

Se realiza el análisis sismotectónico de la zona del volcán Ticsani utilizando información sísmica registrada por dos redes locales que funcionaron alrededor del volcán en diferentes periodos. Esta actividad corresponde al sismo de magnitud 5.3 MI ocurrido en octubre del 2005 (Tavera, 2006) y la registrada en mayo del 2014 (Cruz, 2016). Los resultados obtenidos por Tavera (2006) y Cruz (2016), indican que la actividad tiene su origen en las fallas Ticsani y F2, más no en la reactivación del volcán. Los mecanismos focales sugieren el desarrollo de deformación por extensión con orientación E-O, y en el caso de la falla Ticsani los resultados son coherentes con las deformaciones evaluadas con imágenes INSAR (Gonzales, 2006).

Palabras clave: Sismotectónica, hipocentro, mecanismos focales.

Abstract

The seismotectonic analysis of the area of the Ticsani volcano is carried out using seismic information recorded by two local networks that operated around the volcano in different periods. This activity corresponds to the earthquake of magnitude 5.3 MI occurred in October 2005 (Tavera, 2006) and the recorded in May 2014 (Cruz, 2016). The results obtained by Tavera (2006) and Cruz (2016), indicate that the activity originates in the Ticsani and F2 faults, but not in the reactivation of the volcano. The focal mechanisms suggest the development of deformation by extension with E-O orientation, and in the case of the Ticsani fault the results are consistent with the deformations evaluated with INSAR images (Gonzales, 2006).

Keywords: Seismotectonics, hypocenters, focal mechanisms.

1. Introducción

En Perú la actividad sísmica está asociada al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, el cual se da a una velocidad relativa de 6 a 7 cm/año (DeMets et al., 1990; Norabuena et al., 1999; Kendrick, et al., 2003; Villegas, 2009) generando sismos de variada magnitud y a diferentes niveles de profundidad. La mayor frecuencia y la ocurrencia de eventos de gran magnitud es debida directamente a la convergencia de placas, siendo esta la principal fuente sismogénica en el Perú. Una segunda fuente considera a los procesos de compresión y tensión que soporta la placa continental, y que se manifiesta con continuo plegamiento dando formación a cadenas, montañas y valles transversales; así como, sistemas de fallas. Muchas de estas fallas se encuentran cercanas a los conos volcánicos, sin comprender aún su relación con los procesos eruptivos recientemente producidos, por ejemplo en los volcanes Sabancaya, Ubinas y Ticsani.

El volcán Ticsani se encuentra ubicado al NO de la ciudad de Moquegua (Mapa 1), y tectónicamente, se encuentra cerca de un sistema de fallas de poca longitud y que habrían producido en el pasado importante actividad sísmica. El ultimo evento el 1 de octubre del 2005 ($M_l=5.3$), llegó a producir gran cantidad de réplicas durante un periodo de 15 días e intensidades de VI (MM) afectando localidades como Calacoa, Cuchumabaya y Carumas. En este estudio se analiza y discute los resultados obtenidos por Tavera (2006), Gonzales (2006) y Cruz (2016) a fin de realizar una mejor interpretación de la deformación tectónica que se produce en la región del volcán Ticsani.



Mapa 1. Ubicación del volcán Ticsani.

2. Tectónica

En la región del volcán Ticsani se verifica la presencia de escarpas de fallas con dirección N-S visibles desde el extremo NE del cono volcánico, siendo la escarpa principal conocido como falla Ticsani. Existen también otras fallas antiguas con orientación NO-SE al oeste del volcán y que afectan rocas del Mesozoico, Paleoceno, Eoceno y Oligoceno. El volcán Ticsani está ubicado al este del río Tambo, pero su emplazamiento corresponde con la intersección de fallas con orientación NO-SE, N-S y E-O (Lavallée et al., 2009). De acuerdo a observaciones de campo realizadas por Macedo (2006), la falla denominada como “Ticsani” tendría una orientación $155^\circ N$ y buzamiento de 35° en dirección NE (Figura 1).



Figura 1. Imagen que muestra la falla Ticsani identificada en campo (Foto: O. Macedo 2006).

Históricamente, el volcán Ticsani había registrado tres erupciones explosivas (freatomagmáticas y sub-pliniana), cada una de ellas precedieron al emplazamiento de domos, eyectando entre 0.015 hasta 0.4 km de ceniza y pómez, siendo sus Índices de Explosividad Volcánica (IEV) de 2 a 4 (Mariño, 2002).

La más importante erupción sub-pliniana se realizó hace poco más de 10 600 BP, antes del Holoceno inferior y corresponde a la segunda etapa “Ticsani moderno” (Figura 2). Una segunda erupción habría ocurrido antes de 1600 D.C. como muestran los depósitos de caída de ceniza. La última erupción de tipo freatomagmática que precedió el domo D3 (Figura 2) ocurrió hace menos de 400 años y podría haber presentado una columna eruptiva de hasta 10 km con un IEV entre 2 y 3 de acuerdo a los depósitos de caída pómez del “Ticsani parduzco” (Mariño, 2002)

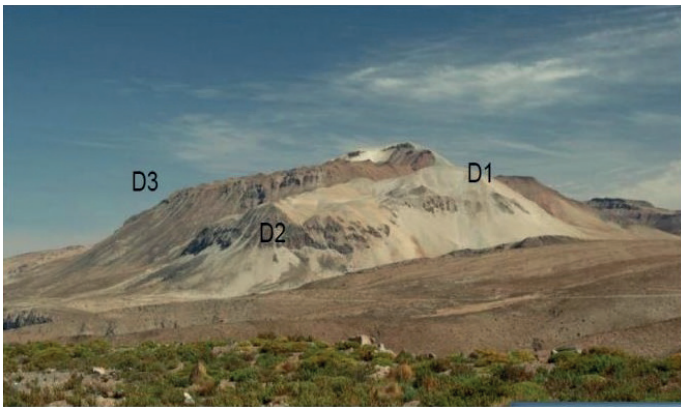
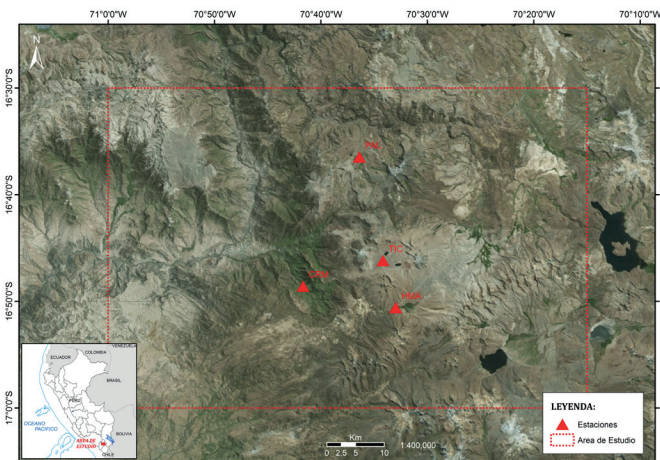


Figura 2. Imagen que muestra las estructuras de los tres domos del volcán Ticsani (Foto:Ingemmet).

3. Redes sísmicas locales

En el año 2005, después de ocurrido el sismo del 1 de octubre (5.3 MI) el Instituto Geofísico del Perú decidió iniciar el monitoreo del volcán Ticsani, y para ello instaló 4 estaciones sísmicas temporales (TIC, PAL, CRM, HMA) (Mapa 2), constituidas por sensores de tipo Guralp-40T de banda ancha (0.01-50Hz) con un amplio rango dinámico, capaces de registrar señales de alta frecuencia y no presentar problemas de saturación. Esta red estuvo operativa durante 10 días a partir del 13 de Octubre del 2005 posterior a la ocurrencia del sismo del 1 de octubre.



Mapa 2. Distribución de estaciones sísmicas en la región del volcán Ticsani (Tavera 2005).

De acuerdo al análisis de la información sísmica registrada, Tavera (2006) determinó que la ocurrencia de sismos en la región del volcán Ticsani se debía a deformaciones corticales asociadas a la existencia de un gran número de trazas de fallas ubicadas alrededor del volcán. El sismo del día 1 de octubre del 2005 y su serie de réplicas fueron debidas a la reactivación de la falla Ticsani. Los mecanismos focales sugieren el desarrollo de procesos de deformación por extensión, coherentes con la geometría de la falla Ticsani (Figura 3); es decir, en dirección NE-SO.

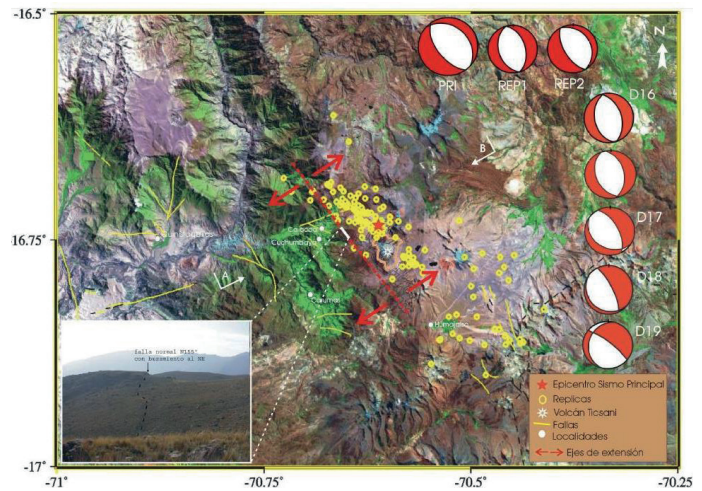


Figura 3. Interpretación sismotectónica del sismo del 1 de octubre de 2005 y de su serie de réplicas ocurridas a la región del volcán Ticsani (Moquegua). Las esferas indican mecanismos focales de tipo extensión, réplicas ocurridas entre los días 16 y 19 de octubre del 2005 (Tavera, 2006)

En el perfil de la Figura 4 se observa que todas las réplicas del sismo de 1 de octubre del 2005 se encuentran por debajo del volcán siguiendo un aparente alineamiento que se iniciaría en la traza de la falla "Ticsani" con una inclinación del orden de 35°, confirmado a partir de los mecanismos focales.

En dicha sección, las flechas sugieren el tipo de deformación; es decir, el bloque en el cual se encuentra el volcán habría descendido en dirección NE, coherente con lo observado en superficie. Las réplicas alcanzan profundidades del orden de 12 km, estando la mayor deformación por encima de los 7.5 km alrededor del epicentro del sismo principal.

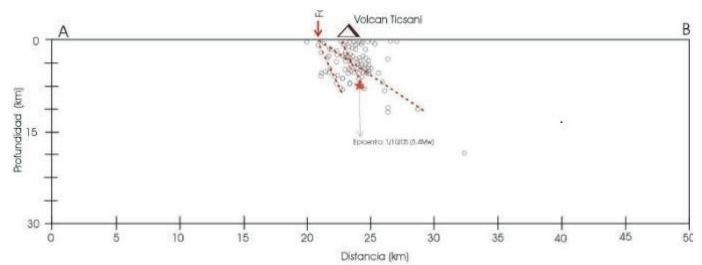


Figura 4. Sección vertical de la sismicidad ocurrida en la región del volcán Ticsani durante el periodo del 16 al 19 de octubre, 2005. La estrella indica el epicentro del sismo del 1 de octubre de 2005, las líneas discontinuas indican posibles trazas de falla (Tavera, 2006).

Posteriormente, Cruz (2016) analiza la información sísmica registrada por una red sísmica temporal compuesta por 5 estaciones (Figura 5) que funcionó alrededor del volcán Ticsani del 01 de mayo al 29 de setiembre 2014. La red tuvo como objetivo monitorear la actividad sísmica de la zona y, eventualmente identificar indicios de alguna intranquilidad del sistema volcánico (Ticsani).

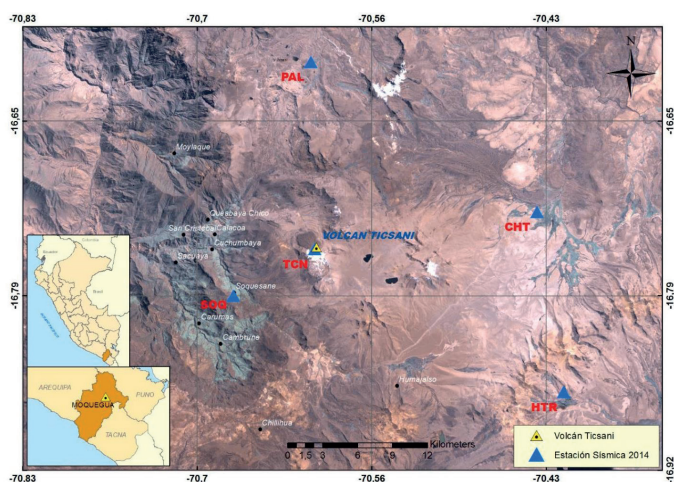
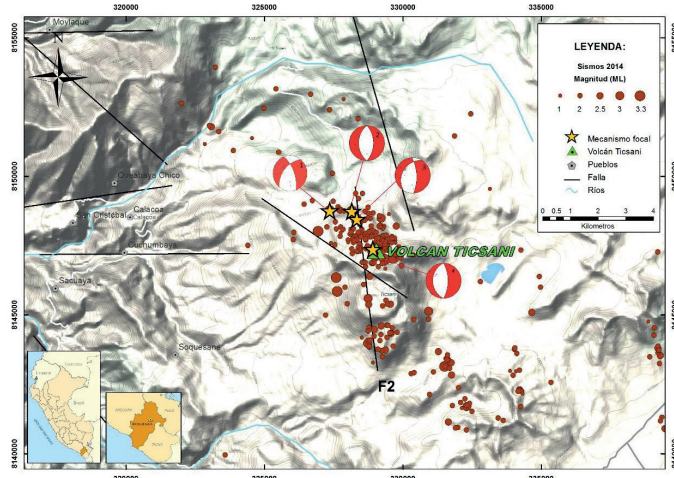


Figura 5. Distribución de las estaciones temporales instaladas (triángulos azules) en la región del volcán Ticsani y sobre el domo reciente (Cruz, 2016).

Cruz (2016) analiza la sismicidad ocurrida sobre un área más restringida al volcán Ticsani y los resultados se presentan en el Mapa 3 junto a los mecanismos focales y el mapa estructural de Lavallée et al. (2009). En esta figura se observa que la sismicidad se concentra sobre la traza de falla F2 con orientación N-S propuesta por de Lavallée et al. (2009). Los mecanismos focales muestran deformaciones de tipo extensivo con una orientación E-O.



Mapa 3. Sismicidad y mecanismos focales de los principales sismos Cruz (2016). Se observa también las fallas determinadas por Lavallée et al. (2009), donde destaca la falla Ticsani y F2.

La interpretación sismotectónica se realiza considerando a la Figura 6, observándose que los sismos se alinean sobre la falla F2 y en profundidad con un buzamiento próximo a los 70° oeste. Los mecanismos focales obtenidos corresponden a sismos ubicados sobre el domo reciente y sobre la falla F2 con planos orientados N-S. Tales mecanismos son de tipo normal, y van acorde con las fallas descritas por Lavallée et al. (2009), así como con la tectónica observada sobre los Andes. Los sismos (círculos marrones) serían generados como consecuencia del ingreso de fluidos magmáticos a la

zona frágil a través de la barrera o sello (horizonte blanco), y que alcanzan a la zona de falla activa F2. La sismicidad se caracteriza por formar en enjambre.

Según Cruz (2016) la presencia de fallas activas en la zona, es concordante con la deformación que se produce en el interior del volcán por el movimiento de fluidos.

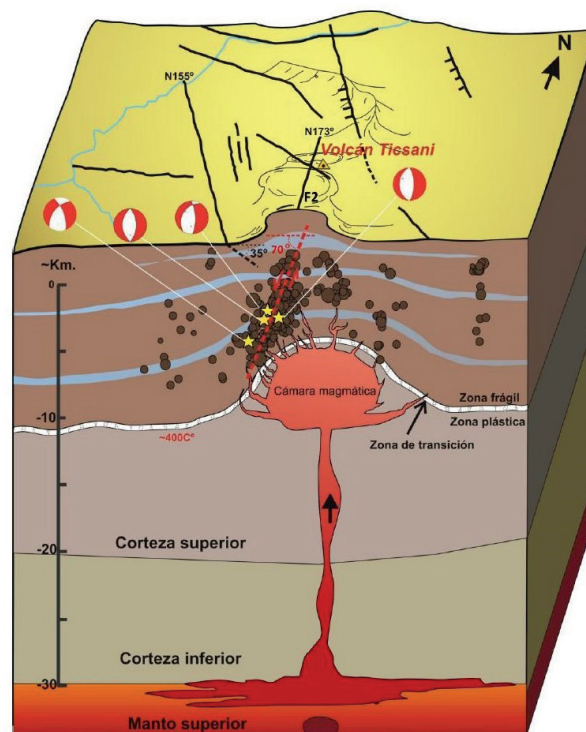
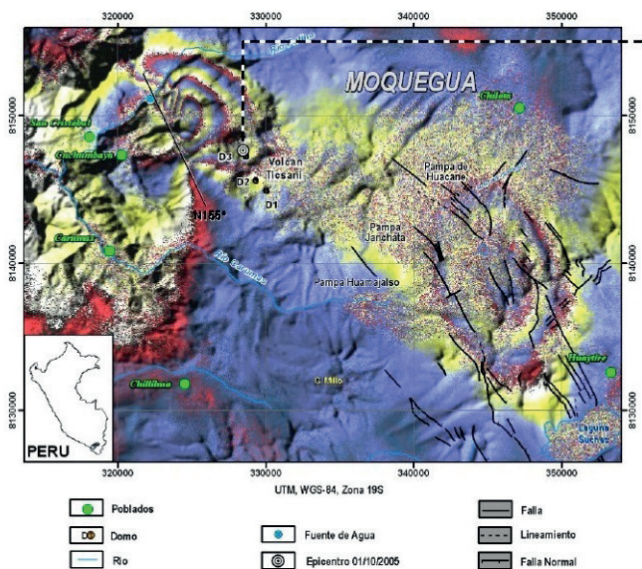


Figura 6. Modelo esquemático de la estructura interna y de la generación de sismicidad de fractura en la zona del volcán Ticsani, realizado a partir del modelo de Fournier (1999). Las estrellas indican la posición de los 4 sismos cuyos mecanismos focales se han calculado (Cruz, 2016).

4. Conclusiones

El análisis de la actividad sísmica ocurrida en la región del volcán Ticsani ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

El sismo del 1 de octubre del 2005 y su serie de réplicas estarían asociadas a la reactivación de la falla Ticsani de tipo normal y orientada en dirección NO-SE, siendo estos resultados coherentes con la interpretación de imágenes INSAR realizado por Gonzáles (2006). Según la Figura 7, las deformaciones observadas en el volcán Ticsani, permite inferir la existencia de una falla normal de dirección $N155^\circ$ sobre el franco occidental del volcán. La sismicidad registrada durante el año 2014 tiene relación directa con la deformación que se produce en el interior del volcán Ticsani, mostrando en superficie la falla F2. La sismicidad sería el resultado del movimiento de la cámara magmática hacia la superficie, siendo sus fluidos quienes producen la reactivación de la falla F2.



Cruz, I. (2016): *Actividad sísmica en la región del volcán Ticsani (Moquegua) para el periodo mayo-setiembre de 2014*. Instituto Geofísico del Perú, Arequipa.

Figura 7. Extracción del interferograma 14443_21958 filtrado y superpuesto al modelo de elevación del terreno, donde se observan franjas de deformación del suelo en dos zonas, una hacia el NO de la cima del volcán Ticsani y la otra hacia el SE del volcán (Gonzales, 2009).

En general, estos resultados indicarían que las deformaciones en la zona del volcán Ticsani son muy compleja y para su comprensión se requiere realizar un nuevo análisis considerando la información utilizada por Tavera (2006), Cruz (2016) y la registrada por el Instituto Geofísico del Perú durante el periodo de setiembre a diciembre del 2006. Este proyecto ya fue iniciado y tiene como responsable a la autora.

5. Agradecimientos

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme todas facilidades para desarrollar mi tema de tesis. Al Dr. Hernando Tavera, por la confianza depositada en mi persona, asesoramiento y por estar a cargo mi capacitación en la realización de mi tesis.

6. Bibliografía

Gonzales, K., Froger, J., Rivera, M., & Audin, L. (2006): *Deformación co-sísmica producida por el sismo Mb=5.4 del 01 de Octubre de 2005 (Carumas Moquegua), detectada por interferometría radar - InSAR*. In XIII Congreso peruano de Geología. Vol, 2005, pp. 488-489.

Gonzales, K., Froger, J.-L., Audin, L., & Macedo, O. (2009): *Ejemplos de deformación producto de la tectónica extensiva en las zonas de Huambo-Cabanaconde en Arequipa y Calacoa-Huaytire en Moquegua, de los Andes Centrales vistos por interferometría Radar – Insar*. Sociedad Geológica del Perú SGP.

Lavallé, Y., De Silva, S., Salas, G., & Byrnes, J. (2009): *Structural control on volcanism at the Ubinas, Huaynaputina, and Ticsani Volcanic Group (UHTVG), southern Peru*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 186 (2009) 253–264.

Tavera, H. (2006): *Características sismotectónicas de la crisis sísmica de octubre del 2005 en la región del volcán Ticsani (Moquegua)*. Instituto Geofísico del Perú, Lima.

Ciencias de la **Atmósfera e Hidrósfera**



Sección **02**

CUANTIFICACIÓN DE LLUVIAS USANDO UN RADAR METEOROLÓGICO DE BANDA Ka

RAINFALL QUANTIFICATION USING A KA BAND WEATHER RADAR

Jairo Michael Valdivia Prado
Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
Facultad de Ingeniería Agraria y Ambiental
jvaldivia@igp.gob.pe

Asesores: Yamina Silva, Ph.D.
Danny Scipión, Ph.D.
Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera - IGP
Radio Observatorio de Jicamarca - IGP

Resumen

La cuantificación de la precipitación a partir de sistemas remotos, como satélites o radares, es uno de los retos más importantes en las ciencias atmosféricas, dada la importancia que esta variable tiene para la sociedad. Por ello, en el presente trabajo se desarrolla un algoritmo para estimación de la lluvia a partir de datos del radar perfilador de nubes y precipitación, ubicado en el Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación –LAMAR, Observatorio de Huancayo. El algoritmo usa los datos del espectro Doppler para calcular la distribución de tamaño de gotas (DSD) y en función de ésta se calculan los diferentes parámetros microfísicos. La intensidad de lluvia estimada es validada usando datos del pluviómetro de la estación meteorológica.

Para el caso de estudio evaluado, el radar tiende a sobreestimar ligeramente la lluvia, sin embargo se requiere una evaluación para un periodo más largo.

Palabras clave: Radar meteorológico de banda Ka, radar perfilador, cuantificación de lluvias, Observatorio de Huancayo, LAMAR-IGP.

Abstract

Rainfall estimation by remote system, such as satellites or radar, is one of the most important challenges in atmospheric sciences, given the importance that water has in our society. This study presents an algorithm for rainfall estimation developed for the MIRA-35C cloud radar installed at the Laboratory of Atmospheric Microphysics and Radiation - LAMAR, Huancayo Observatory. The algorithm uses the Doppler spectra data to calculate the droplet size distribution (DSD) and the different microphysical parameters. Rainfall estimated intensity is validated using rain gauge data from the collocated weather station.

For the case study, the radar tends to overestimate the rainfall rate slightly, however, a longer period is required for better statistics.

Keywords: Ka band weather radar, radar profiler, rainfall quantification, Huancayo Observatory, LAMAR-IGP.

1. Introducción

El interés de este estudio se centra en las precipitaciones debido a que es el conductor primario de la hidrología terrestre y los procesos ambientales están indirectamente relacionados a ella. Así también, las precipitaciones pueden causar deslizamientos, huaycos, inundaciones, erosión de suelos, pérdida de calidad del agua, entre otros, generando gran impacto social y económico. Por ello su estudio es de gran importancia para la comunidad científica; su cuantificación es uno de los grandes retos, así como el entendimiento de su distribución espacial. En los últimos años se han desarrollado técnicas más complejas que pueden mejorar los estudios de las precipitaciones aplicados a la hidrología, así como a la prevención y mitigación de peligros naturales y la gestión de riesgos de desastre de origen natural.

Recientemente, el Instituto Geofísico del Perú, gracias al proyecto “Adquisición de un radar perfilador para estudios de la física, microfísica y dinámica de las nubes y precipitaciones en la zona andina”, instaló en el Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR) en el Observatorio de Huancayo, un radar perfilador de nubes y precipitación (MIRA 35C). Este radar opera en la banda Ka y es capaz de hacer medidas de polarimetría y Doppler, que permite diferenciar hidrometeoros y otras partículas u organismos, los cuales interfieren en la señal, y a partir de la cual se pueden calcular las velocidades de movimiento de los objetos. Usando estos datos con la ayuda de diferentes algoritmos, se puede estimar la intensidad de la lluvia, el contenido de agua e incluso saber si se trata de una simple nube, lluvia, granizo o nieve.

En el presente trabajo se utilizará el espectro Doppler y a partir de éste se calculará la distribución de tamaño de las gotas (DSD), es decir, obtener la cantidad de gotas para cada unidad de tamaño y unidad de volumen. Con la DSD se procederá a calcular los demás parámetros microfísicos, tales como: contenido de agua líquida, reflectividad e intensidad de lluvia.

2. Desarrollo

2.1. Radar de nubes MIRA 35c

El radar MIRA 35c, desarrollado por la empresa “METEK GmbH”, es un perfilador de alta sensibilidad, que opera en banda Ka, es decir, con ondas milimétricas, capaz de detectar nubes y niebla. Éste transmite una señal polarizada (co- y cross-), que son recibidas simultáneamente para detectar el espectro Doppler de la reflectividad. Los detalles técnicos del instrumento se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Detalles técnicos del radar MIRA 35c

Tipo de radar	Mono-estático, pulsado, magnetrón
Frecuencia	34.85 +/- 0.1 GHz
Consumo de potencia	Radar+PC: 180 W
Tipo de antena	Cassegrain (parabólica)
Diámetro de antena	1.0 m
Ancho de haz	0.6°
Rango	150 m – 13000 m
Resolución en altura	31 m
Resolución temporal	5 segundos
Resolución de velocidad espectral	0.16 m/s

2.2. Procesamiento de datos

La programación para el procesamiento de datos se realizó en el lenguaje M, y fue desarrollado en el entorno del software MATLAB, y consta de seis rutinas, las cuales se describen a continuación:

spc_read.m.- Es una función dedicada a la lectura del espectro Doppler (archivos ‘.spc’ o ‘.spca’), que nos da como salida una estructura, la cual tiene información de los parámetros de procesamiento del espectro y matrices de los espectros (co- y cross-).

DSD.m.- También es una función, y puede ser considerada la rutina madre (función principal), puesto que utiliza las demás rutinas que usa de entrada el espectro Doppler y da como salida la distribución del tamaño de gotas, su cantidad y velocidad, también la velocidad radial, el ancho espectral, y la reflectividad equivalente.

get_wetatt.m.- Es un algoritmo desarrollado para compensar las pérdidas por atenuación de la antena mojada. Los fundamentos y detalles técnicos se pueden consultar el reporte de Valdivia (2017).

calc_snr.- Esta función utiliza el espectro Doppler para calcular la relación señal - ruido, la velocidad media y el ancho espectral

mietab.- Es la función encargada de generar matrices con las secciones transversales de retro dispersión para diferentes tamaños y temperaturas.

complexindex.- Calcula los índices complejos de refracción del agua para tamaños definidos dentro del programa.

bhmie.- Esta función es una adaptación para MATLAB del programa de Bohren & Huffman (1983), realizado por Mätzler (2002). Utiliza la teoría de dispersión de Mie para calcular la sección transversal de retro dispersión en función al índice complejo de refracción y diámetro de esferas.

2.3. Metodología

La cuantificación de las lluvias se realiza a partir del espectro Doppler, con una adaptación de la metodología presentada por Peters et al. (2002), la cual se presenta a continuación de forma resumida.

El volumen espectral de reflectividad $\eta(f)$ como función de la frecuencia Doppler f está relacionado a la potencia espectral $p(r,f)$ recibida por el radar desde el rango centrado en r , por:

$$\eta(f, r) = p(f, r) \cdot C \cdot r^2 \quad (1)$$

donde C es una constante que contiene parámetros específicos del radar, como la potencia transmitida y la ganancia.

La velocidad media v_m es calculada como el primer momento del espectro Doppler como:

$$v_m = \frac{\lambda}{2} \frac{(\int p(f) f df)}{\int p(f) df} \quad (2)$$

Para conservar la consistencia con radares convencionales, la terminología "factor de reflectividad equivalente", se define como:

$$Z_e = \frac{\eta(f) df}{\left(\frac{\pi^5}{\lambda^4}\right) |Km^2|} \quad (3)$$

con $|Km^2| \approx 0.9$. Suponiendo que nos encontramos dentro de la aproximación de Rayleigh, donde el diámetro de nuestros objetivos es muy pequeño en comparación a la longitud de onda ($D \ll \lambda$).

La distribución del tamaño de gotas (DSD) está dado por:

$$N(D, r) \Delta D = \frac{\eta(D, r)}{\sigma(D)} \Delta D \quad (4)$$

Donde, $N(D,r)$ es la densidad espectral de gotas a la altura r y $\eta(D,r)$ es el volumen espectral retro dispersado por sección transversal. La sección transversal de una partícula $\sigma(D)$ esférica con diámetro D , es calculada usando la teoría de dispersión de Mie (Mätzler, 2002). Bajo la suposición de que no hay movimiento vertical del aire, la velocidad terminal de una gota, v , puede ser relacionado al diámetro de las gotas por Gunn & Kinser (1949) como:

$$D(v, r) = \frac{1}{0.6} \ln \frac{10.3}{9.65 - v/\delta(r)} \quad (5)$$

La dependencia de la velocidad terminal de caída debido al cambio de densidad del aire $\delta(r)$, es una aproximación polinomial de segundo orden (Foote & Du Toit, 1969), asumiendo que nos encontramos en una atmósfera estándar, dada por:

$$\delta(r) = (1 + 3.68 \times 10^{-5}r + 1.71 \times 10^{-9}r^2) \quad (6)$$

Por lo tanto, el volumen espectral dispersado de sección transversal, puede ser obtenida en el dominio de la velocidad Doppler como:

$$\eta(D, r) = \eta(v, r) \frac{\partial D(v, r)}{\partial v} \quad (7)$$

Donde $\eta(v,r)$ es obtenido directamente desde la medida del espectro Doppler; y otros parámetros como la intensidad de lluvia (R), reflectividad (Z) y contenido de agua líquida (LWC) pueden ser obtenidos usando las formulaciones estándares que envuelven la DSD:

$$Z = \int N(D) D^6 dD \quad (8)$$

$$LWC = \rho_w (\pi/6) \int N(D) D^3 dD \quad (9)$$

$$R = (6 \times 10^5 \times \pi) \int N(D) v(D) D^3 dD \quad (10)$$

Para esta investigación, la intensidad de lluvia (R) será la variable a evaluar, ya que no se cuentan con datos para validar las otras variables.

2.4. Análisis estadístico

Para evaluar si la estimación de lluvias se está realizando correctamente, los datos serán comparados con observaciones realizadas por un pluviómetro automático, ubicado también en el Observatorio de Huancayo, cuya sensibilidad es de 0.254 mm. Se usarán tres indicadores estadísticos: el coeficiente de Pearson, el sesgo y el sesgo porcentual (Tokay et al., 2009):

Coefficiente de Pearson.- Llamado también coeficiente de correlación, es una medida de la asociación entre dos variables. Se calcula como la razón que hay entre la covarianza de dos variables y el producto de sus desviaciones estándares, expresado como:

$$R = \frac{Cov(x,y)}{[Var(x)Var(y)]^{1/2}} \quad (11)$$

Sesgo.- Es el indicativo de la posición de variables respecto a un valor de referencia, y si una de las variables es tomada de referencia el sesgo indica subestimación o sobrestimación con relación a la otra variable. El sesgo entre dos variables indica de cuánto es el error sistemático al realizar la cuantificación, y se define como:

$$\beta = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_k - y_k) \quad (12)$$

donde n es el número de pares de variables (mientras más cercano a 0 sea, mejor).

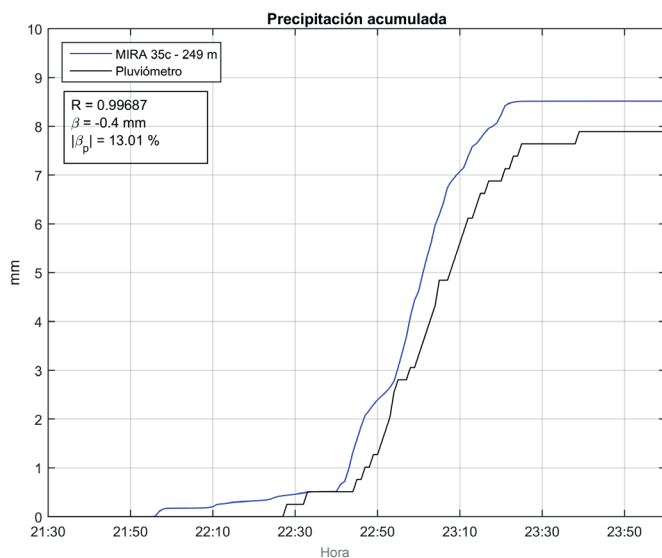


Figura 1. Comparación de la precipitación acumulada para el día 23 de abril del 2016. Datos del radar MIRA 35c (a 249 metros sobre la superficie) en línea azul y el pluviómetro en línea negra.

Sesgo absoluto porcentual.- La relación entre la diferencia absoluta y la variable de referencia, nos indican el error sistemático promedio, el cual es calculado como:

$$|\beta_{porciento}| = \frac{\sum_{k=1}^n |x_k - y_k|}{\sum_{k=1}^n x_k} \quad (13)$$

3. Resultados

3.1. Comparación de datos observados

La estimación de la precipitación acumulada realizada con el programa descrito en la sección 2.1, es comparada con datos del pluviómetro automático. La precipitación estimada por el radar se realizó a 249 metros sobre la superficie para evitar el ruido del suelo. Los resultados indican que el radar sobrestima ligeramente (en 0.6 mm) con relación al pluviómetro (Figura 1).

El análisis estadístico presenta una alta correlación entre la lluvia estimada por el radar y la registrada en el pluviómetro ($R=0.99687$), el sesgo negativo (-0.4 mm) indica que en promedio el radar sobrestima al pluviómetro en 0.4 mm, mientras que el sesgo absoluto porcentual, indica que el radar sobrestima en 13.01%.

Las diferencias entre la estimación realizada por el radar y el pluviómetro puede deberse a diversos factores, entre los cuales se encontrarían principalmente la altura a la cual se estima la lluvia por el radar, las diferencias en la sensibilidad de los instrumentos, los errores que podría producir el viento en la medición del pluviómetro (Nešpor & Sevruck, 1999), e incluso errores producidos en la compensación de atenuación propias del código; temas que deben profundizados en otros estudios.

3.2. Parámetros microfísicos obtenidos

La intensidad de lluvia y el contenido de agua líquida son quizá los parámetros de mayor interés para la cuantificación de lluvia.

En la Figura 2, se muestra la intensidad de lluvia medida en mm/h, donde se puede ver que la mayor intensidad de la lluvia está muy cerca de la superficie hasta 1km de altura. Mientras que el contenido de agua líquida, expresado en $\log(a/m^3)$ presenta una distribución más uniforme hasta los 2.5 km. Con mayores cantidades por debajo de 1 km de altura. Estos parámetros se obtienen bajo el supuesto de que la velocidad vertical del viento es despreciable, y que los hidrometeoros se encuentran en estado líquido. Estas consideraciones son mejor presentadas en precipitaciones de tipo estratiforme, pero podría presentar grandes errores cuando se trata de lluvias convectivas (Peters et al., 2005).

El procedimiento de los parámetros microfísicos, permite también tener datos de la distribución del tamaño de gotas, la velocidad radial y la reflectividad (no mostrados en el presente trabajo).

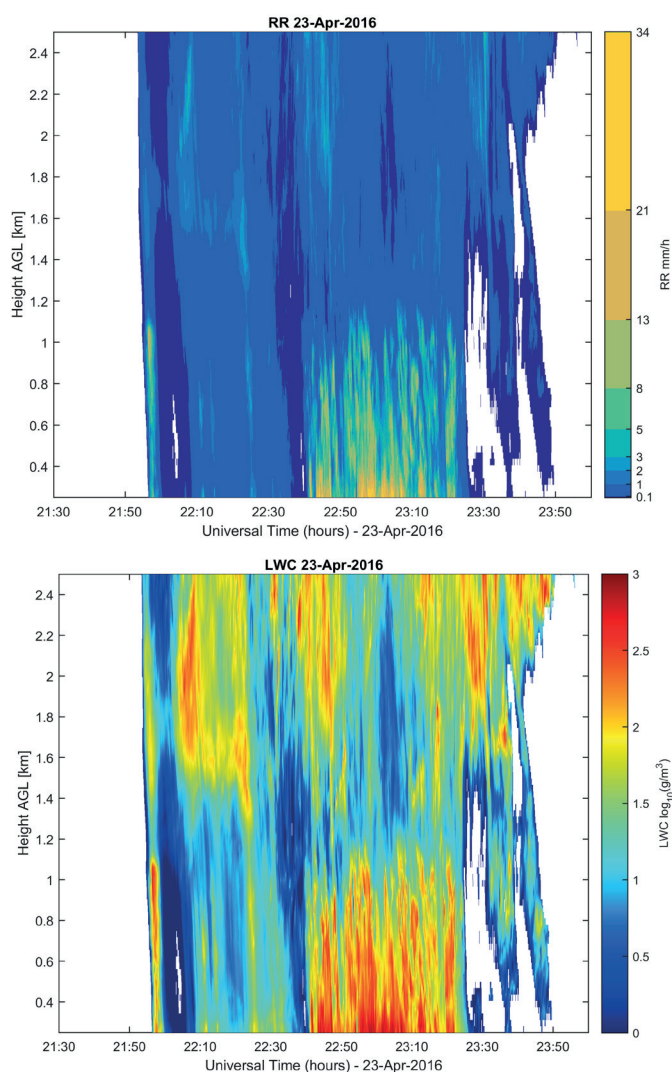


Figura 2. Estructura vertical de la lluvia. Intensidad de lluvia en mm/h (arriba) y contenido de agua líquida en $\log(\text{g}/\text{m}^3)$ (abajo)

4. Conclusiones

El programa desarrollado para la cuantificación de lluvias realiza correctamente el procesamiento del espectro Doppler. El análisis de la precipitación estimada por el radar versus los datos observados con el pluviómetro, para el caso de estudio, indica que existe un sesgo de -0.4 mm, es decir, una ligera sobrestimación por parte del radar, que representa en sesgo absoluto porcentual de 13.01%. Éste es un error sistemático que podrían tener múltiples causas, tanto instrumentales, como de procesamiento. Sin embargo, los resultados son lo suficientemente consistentes para realizar posteriores estudios.

Las características del radar dan la posibilidad de que el programa continúe en desarrollo. Por su parte, las implementaciones de nuevos algoritmos permitirán mejorar los resultados, y obtener nuevos parámetros microfísicos para identificar diferentes objetivos que se estén observando, e incluso desarrollar un código más adecuado para la cuantificación de nubes.

5. Recomendaciones

La alta frecuencia temporal de muestreo y alta sensibilidad del radar hace que la validación de los parámetros microfísicos requiera de otros instrumentos más especializados para éste tipo de estudios. En el presente trabajo se realizó una comparación de los acumulados de lluvia realizados por el radar y el pluviómetro, no obstante, es necesario indicar que el principal objetivo del radar no es estudiar la precipitación en superficie, puesto que existen múltiples instrumentos para dicho propósito.

Las lluvias muy intensas requieren un tratamiento especial al momento de analizarlas, debido a la turbulencia del viento que acompaña a ésta, y a la atenuación que puede producir, tanto al tener agua sobre la antena, como en la trayectoria vertical a través de la lluvia. El presente trabajo incorpora un algoritmo para la corrección de la atenuación por antena mojada, sin embargo, aún no se ha tomado en cuenta la atenuación que se genera en el trayecto, lo cual es un trabajo pendiente.

6. Agradecimientos

A los doctores Yamina Silva y Danny Scipión, por la orientación, amabilidad y apoyo en el desarrollo de la presente investigación.

7. Bibliografía

- Bohren, C. F., & Huffman, D. R. (1983): *Absorption and scattering of light by small particles*. New York (Vol. 98). <https://doi.org/10.1038/ncomms1111>
- Foote, G. B., & Du Toit, P. S. (1969): *Terminal Velocity of Raindrops Aloft*. *Journal of Applied Meteorology*. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1969\)008<0249:TVORA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1969)008<0249:TVORA>2.0.CO;2)
- Gunn, R., & Kinser, G. D. (1949): *The terminal velocity of fall for water droplets in stagnant air*. *Journal of Meteorology*, 6(4), 243–248. Retrieved from [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0469\(1949\)006%3C0243:TTVOFF%3E2.0.CO;2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0469(1949)006%3C0243:TTVOFF%3E2.0.CO;2)
- Mätzler, C. (2002): *MATLAB Functions for Mie Scattering and Absorption*. *IAP Res Rep*, 2002–8, 1139–1151. <https://doi.org/10.1039/b811392k>
- Nešpor, V., & Sevruc, B. (1999): *Estimation of wind-induced error of rainfall gauge measurements using a numerical simulation*. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 16(4), 450–464. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(1999\)016<0450:EOWIEO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(1999)016<0450:EOWIEO>2.0.CO;2)
- Peters, G., Fischer, B., & Andersson, T. (2002): *Rain observations with a vertically looking Micro Rain Radar (MRR)*. *Boreal Environment Research*, 7(4), 353–362.

Peters, G., Fischer, B., Münster, H., Clemens, M., & Wagner, A. (2005): Profiles of Raindrop Size Distributions as Retrieved by Microrain Radars. *Journal of Applied Meteorology*, 44(12), 1930–1949. <https://doi.org/10.1175/JAM2316.1>

Tokay, A., Hartmann, P., Battaglia, A., Gage, K. S., Clark, W. L., & Williams, C. R. (2009): A field study of reflectivity and ZR relations using vertically pointing radars and disdrometers. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26(6), 1120–1134. <https://doi.org/10.1175/2008JTECHA1163.1>

Valdivia, J. M. (2017): Algoritmo para la corrección por antena mojada en el radar MIRA 35c. *Informe Técnico*, 2017-I. IGP.

ESTRUCTURA DE LAS ESPECIES DE MANGLE EN EL SANTUARIO NACIONAL LOS MANGLARES DE TUMBES

STRUCTURE OF MANGROVE SPECIES IN THE NATIONAL SANCTUARY OF TUMBES MANGROVES

Izbet Karel Idrogo Harvey
Universidad Nacional de Piura
Escuela Profesional de Ciencias Biológicas
karelidrogoharvey@gmail.com

Asesor: Blgo. Manuel Charcape
Universidad Nacional de Piura

Resumen

El conocimiento de la estructura de las especies de mangle en el Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes permite mejorar las medidas preventivas, correctivas o de mitigación a impactos causados a esta área natural. En tal sentido, se describe la estructura diamétrica, de alturas y se estimó la cobertura de dichas especies; para lo cual se establecieron mediante un muestreo preferencial, 53 parcelas de 20x10 m y a los individuos con diámetro a la altura del pecho "DAP" \geq 2,5 cm se les midió: DAP, altura total (H) y largo y ancho de copa. En *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* predominaron los individuos con $5 \leq \text{DAP} < 10$ cm, en *Rhizophora harrisonii* los individuos con $\text{DAP} \geq 10$ cm y en *Conocarpus erectus* los individuos con $2,5 \leq \text{DAP} < 5$ cm. En *Rhizophora mangle* y *Rhizophora harrisonii* predominaron los individuos con $8 \leq H < 16$ m, en *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus* los individuos con $H < 8$ m. La distribución de diámetros y alturas presentó una tendencia en "J" invertida (buena regeneración) y evidenció impedimentos en el flujo hacia las clases superiores. La cobertura de *Rhizophora mangle* fue de 26,39 %, de *Rhizophora harrisonii* 11,93 %, de *Avicennia germinans* 9,35 %, de *Laguncularia racemosa* 0,72 % y de *Conocarpus erectus* 0,58 %.

Palabras clave: Dasometría, fisonomía, mangles, Perú.

Abstract

Knowledge of the structure of mangrove species in the National Sanctuary of Tumbes Mangroves improves preventive, corrective or mitigation measures impacts of this natural area. In this regard, the diametric structure, described height and estimated coverage of these species; for which they were established through preferential sampling, 53 plots of 20x10 m and individuals with diameter at breast height "DAP" \geq 2,5 cm were measured: DAP, total height (H), length and crown width. In *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* and *Laguncularia racemosa* predominated individuals with $5 \leq \text{DAP} < 10$ cm, in *Rhizophora harrisonii* the individuals with $\text{DAP} \geq 10$ cm and *Conocarpus erectus* individuals with $2,5 \leq \text{DAP} < 5$ cm. In *Rhizophora mangle* and *Rhizophora harrisonii* predominated individuals with $8 \leq H < 16$ m, in *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* and *Conocarpus erectus* the individuals with $H < 8$ m. The distribution of diameter and height showed a tendency to "J" inverted (good regeneration) and he showed impediments in the flow to the upper classes.

Rhizophora mangle coverage was 26.39 %, of *Rhizophora harrisonii* 11.93 %, of *Avicennia germinans* 9,35 %, of *Laguncularia racemosa* 0,72 % and *Conocarpus erectus* 0,58 %.

Keywords: Mensuration, physiognomy, mangroves, Peru.

1. Introducción

El manglar es un ecosistema costero que se encuentra en las regiones tropicales y subtropicales del planeta, se caracteriza por una vegetación típicamente leñosa que se asocia con otros componentes de la flora y fauna bien adaptados a las condiciones limitantes de salinidad, sustrato no consolidado, poco oxígeno y un hábitat con frecuencia sumergido por las mareas. Tienen alta capacidad de regeneración natural, si las características geomorfológicas e hidrológicas del hábitat no han sido alteradas (Agraz et al., 2006; Hernández, 2010).

La función ambiental dominante de los manglares es el mantenimiento de hábitats costero-marinos y la provisión concomitante de alimento y refugio para una gran variedad de organismos a diferentes niveles tróficos (Yáñez et al., 1998).

La estructura de un bosque es cualquier situación estable o evolutiva de una población o comunidad, en la cual pueda detectarse algún tipo de organización representable por un modelo matemático, ley estadística o distribución. De esta manera, es posible hablar de la estructura diamétrica, estructura de alturas totales, estructura de copas, estructura florística, etc. (Dirección de Fomento Forestal de Nicaragua, 2006).

Los ecosistemas de manglar exhiben gran variabilidad en su estructura, que responde a los factores de concentraciones de nutrientes aportados por los ríos o escurrimientos terrígenos, frecuencia y períodos de inundación por la marea, nivel topográfico, precipitación e intensidad de evaporación y composición del sedimento, y otros como sequías prolongadas, huracanes, historia de la vegetación, intervención humana, etc. (Agraz et al., 2006; Ferrer, 2007).

En el presente estudio se describió la estructura diamétrica, estructura de alturas y estimó la cobertura de dichas especies de mangle en base al área de sus copas.

2. Desarrollo

2.1. Muestreo de campo

En setiembre-octubre del 2013 y enero-febrero del 2014 se establecieron - mediante un muestreo preferencial -, 53 parcelas de muestreo de 20x10 m, distribuidas en las islas Matapalo, Correa, Roncal, Las Almejas y La Chalaquera del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes (SNLMT), el cual está ubicado en el litoral de la costa noroeste del Perú, en la provincia y distrito de Zarumilla de la región Tumbes y tiene como coordenadas geográficas centrales 3°25'37" de Latitud Sur y 80°16'36" de Longitud Oeste. Este santuario tiene una superficie legal de 2972 ha de acuerdo a Decreto Supremo N° 018-88-AG y 2981

ha en base al Sistema de Información Geográfica (INRENA, 2007).

Dentro de las parcelas, a los individuos con diámetro a la altura del pecho "DAP" $\geq 2,5$ cm de las especies *Rhizophora mangle* (Rm), *Rhizophora harrisonii* (Rh), *Avicennia germinans* (Av), *Laguncularia racemosa* (Lr) y *Conocarpus erectus* (Ce), se les registró el DAP en centímetros, altura total en metros, largo y ancho de copa en metros.

2.2. Procesamiento de datos

2.2.1. Caracterización de la estructura horizontal

Para caracterizar la estructura horizontal se clasificó a los individuos de cada especie en tres clases estándar según el diámetro, de acuerdo con lo sugerido por Cintrón y Schaeffer (1992 en Orjuela et al., 2007) para bosques de manglar y se determinó la tendencia de la distribución diamétrica. Los individuos se organizaron arbitrariamente en categorías con 5 cm de amplitud y se tomó a 2,5 cm como el valor mínimo de diámetro y mantuvo el primer intervalo de la clasificación estándar; luego para observar la tendencia se insertó el gráfico de columnas agrupadas en el Excel 2013 (Tabla 1, Figuras 1-5).

2.2.2. Caracterización de la estructura vertical

Para caracterizar la estructura vertical se clasificó a los individuos de cada especie en tres estratos estándar, según la metodología de La Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal (IUFRO), en la cual se definen tres estratos a partir de la altura superior de cada sitio (Dirección de Fomento Forestal de Nicaragua, 2006; Manrow y Vélchez, 2012). En este estudio se trabajó con la altura máxima encontrada para las cinco especies que fue de 24 m.

Asimismo, se determinó la tendencia de la distribución de alturas, donde los individuos fueron organizados arbitrariamente en categorías de altura de 5 m de amplitud y se tomó 2 m como el valor mínimo. Luego para observar la tendencia se insertó el gráfico de columnas agrupadas en el Excel 2013 (Tabla 2, Figuras 6-10).

2.2.3. Estimación de la cobertura

Se estimó la cobertura de cada especie en el SNLMT, definida como la proporción de terreno ocupado por la proyección perpendicular de las partes aéreas de los individuos de la especie considerada y que se expresa como porcentaje de la superficie total (Matteucci & Colma, 1982). Este análisis se hizo en base al área de copa de los individuos y se tuvo en cuenta a 2972 ha como extensión del SNLMT (Tabla 3).

3. Resultados

Tabla 1. Clasificación diamétrica estándar de las especies de mangle en el SNLMT

SP	Indiv Totales	Brinzales		Latizales		Fustales	
		2,5≤DAP<5cm		5≤DAP<10cm		10cm≤DAP	
		N° Indiv	%	N° Indiv	%	N° Indiv	%
Rm	982	46	4.68	560	53.03	376	38.29
Rh	462	1	0.22	91	19.7	370	80.09
Ag	394	69	17.51	244	61.93	81	20.56
Lr	53	19	35.85	34	64.15	0	0
Ce	26	12	46.15	9	34.62	5	19.23

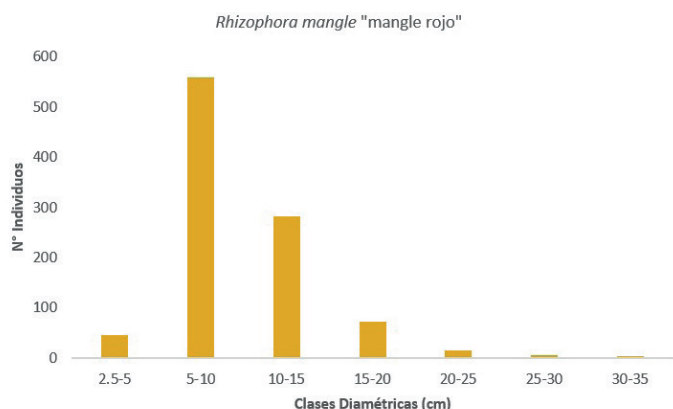


Figura 1. Distribución diamétrica para *Rhizophora mangle*

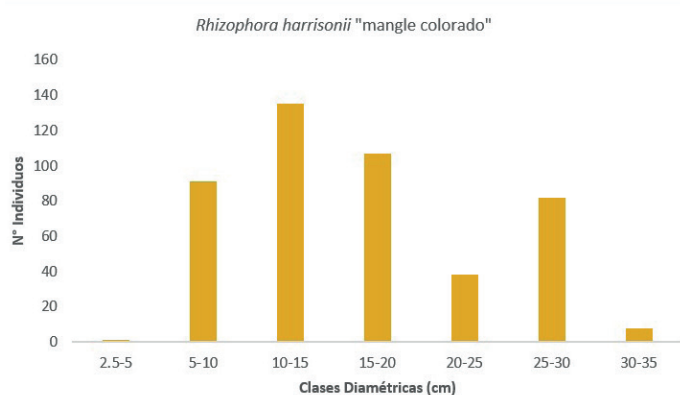


Figura 2. Distribución diamétrica para *Rhizophora harrisonii*

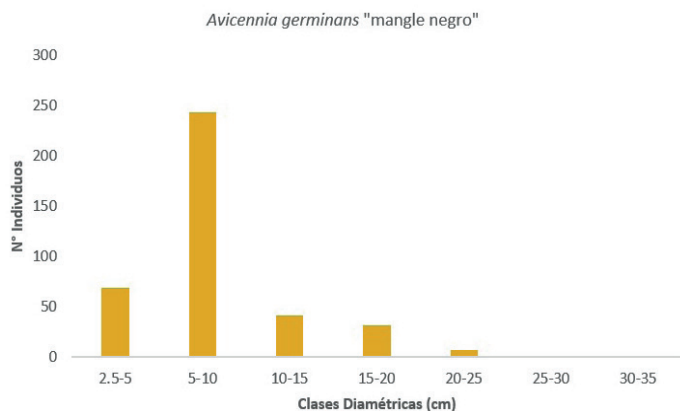


Figura 3. Distribución diamétrica para *Avicennia germinans*

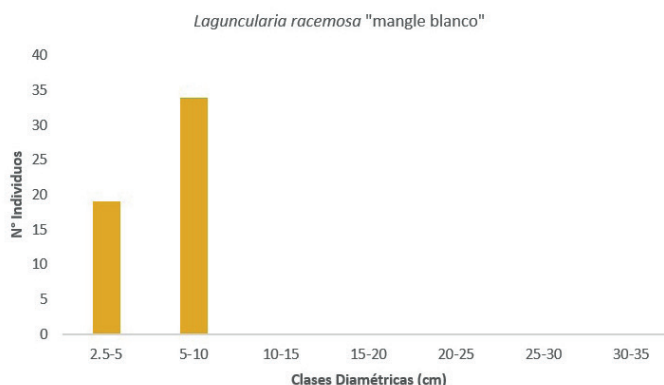


Figura 4. Distribución diamétrica para *Laguncularia racemosa*

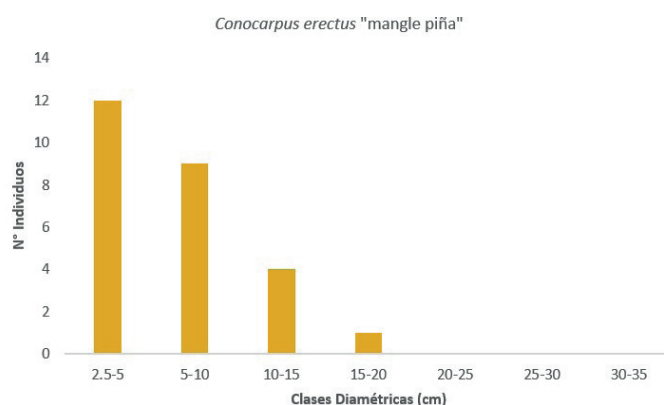


Figura 5. Distribución diamétrica para *Conocarpus erectus*

Tabla 2. Clasificación estándar de la altura de las especies de mangle en el SNLMT

SP	Indiv. Totales	Estrato Inferior (h<8m)		Estrato Medio (8≤h<16m)		Estrato Superior (16m≤h)	
		N° Indiv	%	N° Indiv	%	N° Indiv	%
		Rm	982	327	33.3	655	66.7
Rh	462	10	2.16	282	61.04	170	36.8
Ag	394	290	73.6	104	26.4	0	0
Lr	53	53	100	0	0	0	0
Ce	26	26	100	0	0	0	0

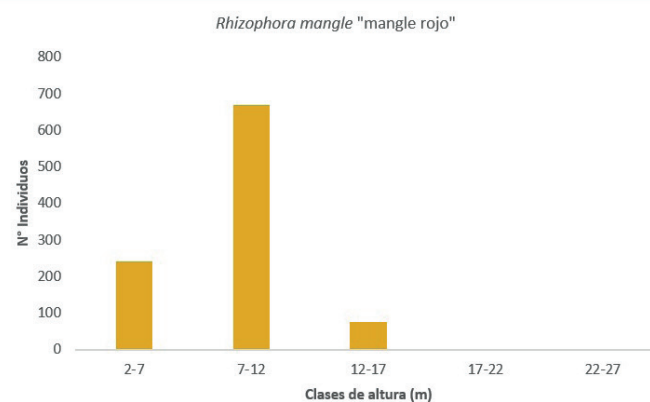


Figura 6. Distribución de alturas para *Rhizophora mangle*

Tabla 3. Cobertura de las especies de mangle en el SNLMT

Atributo	Rm	Rh	Ag	Lr	Ce	Total
C/ha (%)	26.39	11.93	9.35	0.72	0.58	48.97
Ext. (ha)	784.42	354.55	277.96	21.5	17.25	1455.68

4. Discusión

Las distribuciones de los diámetros y de las alturas, en general (Figuras 1-6), presentaron una tendencia o comportamiento en “J” invertida. En esta tendencia, según Villa & Ramírez (2005), existe una reserva de individuos jóvenes que en un futuro podrán reemplazar a los árboles de mayor tamaño que vayan desapareciendo, asegurando su regeneración.

Se evidenció que hay una buena regeneración (brinzales y latizales) de las especies de mangle en el SNLMT, pero hay impedimentos en el flujo de los individuos hacia las clases superiores. Esto es importante, ya que los individuos de dimensiones grandes son naturalmente exitosos y por lo tanto genéticamente superiores y los manglares mejor desarrollados pueden cumplir mucho mejor con su importancia ambiental (Villa & Ramírez, 2005).

La escasez de mangles en las clases superiores de diámetro y altura se atribuyó a la modificación de los flujos de agua por la apertura de canales o desvíos realizados por las langostineras que funcionan en la Zona de Amortiguamiento del SNLMT, que altera el flujo y reflujos de mareas, agua dulce, sedimentos y nutrientes en los esteros, ocasionando que estas especies no alcancen mayores dimensiones o mueran, tal como sostiene INRENA (2007).

El crecimiento de los mangles en el SNLMT es afectado también por la agricultura que se desarrolla en las márgenes del río Zarumilla, por las aguas de irrigación contaminadas que pueden llegar a través de los esteros (INRENA, 2011), pues según Jiménez (s.f.) estas plantas pueden morir con bajas concentraciones de herbicidas basados en auxinas que perturban los mecanismos osmoreguladores, sobre todo en *Rhizophora* y *Avicennia*.

La cobertura total de mangle en el SNLMT fue del 48,98 %, aproximadamente 1 455,69 ha (Tabla 3). Según INRENA (2007), en el SNLMT los bosques de mangle y vegetación xerófila cubren 1172 ha, mientras que los esteros (canales y riachuelos) suman 1800 ha. Sin embargo, según este estudio, los bosques de mangle cubren 1 455,69 ha y la vegetación xerófila junto con los esteros cubren 1 516,31 ha.

5. Conclusiones

En *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* predominaron los latizales, en *Rhizophora harrisonii* los fustales y en *Conocarpus erectus* los brinzales.

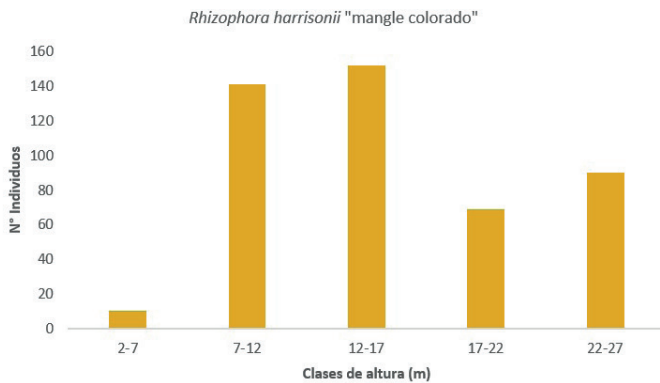


Figura 7. Distribución de alturas para *Rhizophora harrisonii*

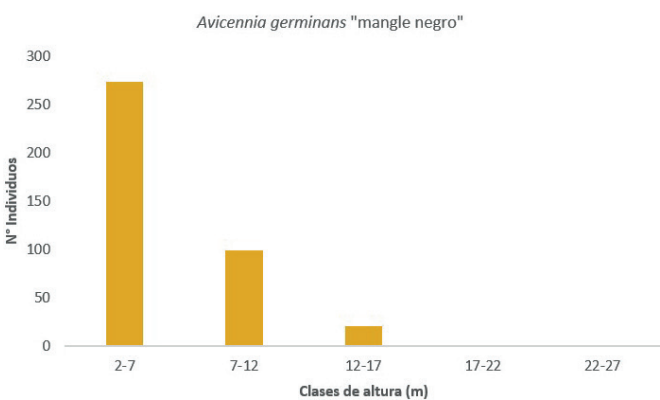


Figura 8. Distribución de alturas para *Avicennia germinans*

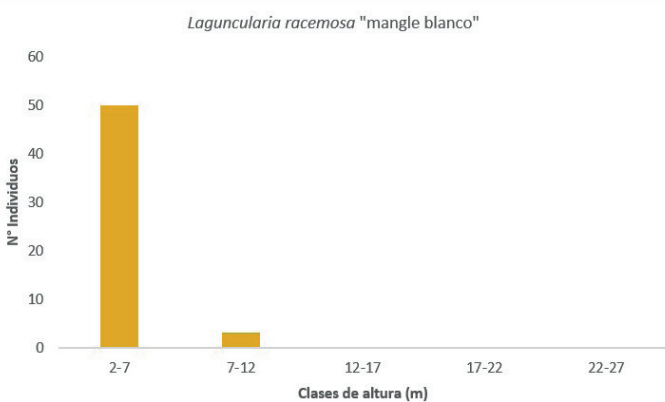


Figura 9. Distribución de alturas para *Laguncularia racemosa*

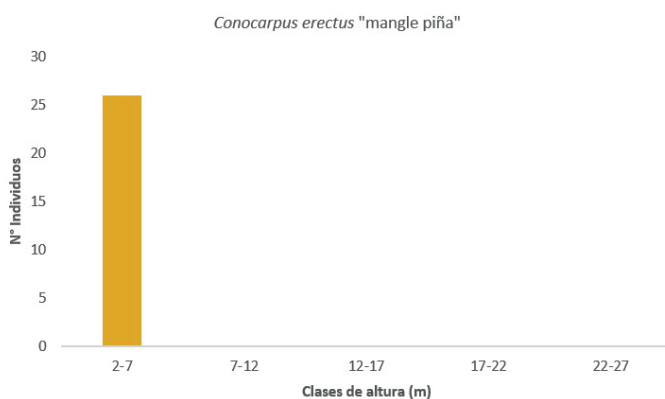


Figura 10. Distribución de alturas para *Conocarpus erectus*

En *Rhizophora mangle* y *Rhizophora harrisonii* predominó el estrato medio, en *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus* el estrato inferior.

La tendencia en “J” invertida de la distribución diamétrica y de las alturas mostró una buena regeneración (brinzales y latizales) de las especies de mangle en el SNLMT, pero evidenció impedimentos en el flujo de los individuos hacia las clases superiores.

La cobertura total de mangle en el SNLMT fue del 48,98 %, aproximadamente 1 455,69 ha, donde *Rhizophora mangle* tuvo la mayor cobertura con el 26.39 %.

6. Recomendaciones

Evaluar a largo plazo el desarrollo estructural y cobertura de las especies de mangle en el SNLMT, incluyendo los individuos de DAP menor a 2,5 cm y tipo matorral, junto con el monitoreo de la salinidad intersticial y análisis de nutrientes, con lo cual se podrían definir las áreas potenciales para iniciar o continuar programas de reforestación.

Identificar las fuentes o cursos de agua que han sido alteradas en el SNLMT, que pueden inhibir el crecimiento de las especies de mangle, así como la dispersión de sus semillas y la supervivencia de sus plántulas.

7. Agradecimientos

Al Ing. Rodolfo Rodríguez Arisméndiz, Mgtr. de la Universidad de Piura (UDEP), por su coasesoría.

Al Dr. Ken Takahashi Guevara del Instituto Geofísico del Perú (IGP) y director general del Proyecto “Impacto de la Variabilidad y Cambio Climático en los Manglares de Tumbes-Perú”, a través del cual brindó el apoyo económico.

Al Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP) del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes, en especial al Ing. Eduardo Ríos Girón y guardaparques Carlos Ricardi Benites, Martín Silva Sernaqué, Isidoro Aguirre Hidalgo y Edgar Espinoza Córdova; por su cordialidad y facilidades otorgadas en el desarrollo del trabajo de campo.

8. Bibliografía

Agraz, C. Noriega, R. López, J. Flores, F. Jiménez, J. (2006): *Guía de Campo. Identificación de los Manglares en México*. Recuperado de <http://epomex.uacam.mx/?mos&accionesmicrositio=descargar&archivo=modulos/paginas/archivos/14/adjuntos/GuiaManglarpdf&vistafullmicrositio=yes>

Dirección de Fomento Forestal-República de Nicaragua (2006): *Elaboración de planes de manejo y planes operativos de aprovechamiento en bosques húmedos latifoliados*. Recuperado de <http://www.inafor.gob.ni/images/documentos/publicaciones/pdf/Elaboracion%20de%20planes%20de%20manejo%20y%20planes%20operativos%20de%20aprovechamiento%20en%20bosques%20humedos%20latifol.pdf>

Ferrer, P. (2007): *Base estructural de un hábitat. Principios para su definición y diagnosis*. Recuperado de <http://www.uv.es/elalum/documents/BaseEstructuralHabitat.pdf>

Instituto Nacional de Recursos Naturales-INRENA (2007): *Plan Maestro del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes 2007-2011*. Recuperado de http://www.darwinnet.org/doc/s/PlanM_SNLMT.pdf

Jiménez, J. [s.f.]. *Rhizophora mangle L. Red mangrove. SO-ITF-SM-2*. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 7 p. Recuperado de <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Rhizophoramangle.pdf>

Jiménez, J. Lugo, A. [s.f.]. *Avicennia germinans (L.) L. SO-ITF-SM-4*. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 6 p. Recuperado de <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Avicenniagerminans.pdf>

Manrow, M. Vilchez, B. (2012): *Estructura, composición florística, biomasa y carbono arriba del suelo en lo manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín, Limón, Costa Rica*. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú (Costa Rica)* Vol. 9. N° 23. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5123321.pdf>

Orjuela, A. Villamil, C. Sanjuan, A. (2007): *Cobertura y estructura de los bosques de mangle en la baja Guajira, Caribe Colombiano*. *Boletín 40 (2)*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR). Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/mar/v40n2/v40n2a09>

Villa, A. Ramírez, J. (2005): *Caracterización diamétrica de las especies maderables en bosques primarios del Cerro Murrucucú*. [Trabajo de grado realizado para optar el título de ingenieros forestales]-Universidad Nacional de Colombia-Facultad de Ciencias Agropecuarias-sede Medellín.

Yáñez, A. Twilley, R. Lara, A. (1998): *Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global*. *Madera y Bosques*, vol. 4, Núm. 002. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, México. pp. 3-19. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/617/61740202.pdf>

MEDICIÓN DE CARBONO NEGRO EN LOS AEROSOLES ATMOSFÉRICOS COLECTADOS EN EL OBSERVATORIO DE HUANCAYO

MEASUREMENT OF BLACK CARBON IN ATMOSPHERIC AEROSOLS COLLECTED AT THE OBSERVATORY OF HUANCAYO

Christian Manuel Torres Ramos
Universidad Alas Peruanas – Filial Huancayo
E.A.P. de Ingeniería Ambiental
christian010194@gmail.com

**Asesor: Ing. Luis Suárez;
Yamina Silva, Ph.D.**
Ciencias de la Atmosfera e Hidrosfera - IGP

Resumen

El carbono negro (CN) es una fracción de los aerosoles atmosféricos, y afecta principalmente al clima en dos maneras: calienta la parte baja de la atmósfera al absorber eficientemente la radiación solar y por otro lado, al depositarse en la nieve modifica su albedo, generando un mayor calentamiento y acelerando el descongelamiento de los glaciares. En este estudio, se presentan los resultados de las primeras mediciones de CN en los aerosoles atmosféricos colectados en el Observatorio de Huancayo (OHY) desde junio a diciembre del 2015 y también se identificaron las zonas de donde estarían viniendo estos compuestos al OHY. La concentración de CN fue registrado con un aethalómetro obteniéndose un promedio de $0.81 \pm 0.22 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. También, basado en el algoritmo de Sandradewi, se estimó que el 41.27% del CN se relaciona con las fuentes de quemadas de biomasa. Haciendo uso de la librería OpenAir del software R, fue posible identificar que las principales fuentes de CN provienen de la parte NE, E y SE donde se ubican las ciudades importantes de la región (Sicaya, Huancayo y Chupaca).

Palabras clave: Observatorio de Huancayo, carbono negro, quema de biomasa.

Abstract

Black carbon (BC), is a fraction of the atmospheric aerosols, and affects mainly to climate in two ways: It heats the lower part of the atmosphere as being very effective on absorbing solar radiation and on the other side, as it is deposited over glaciers it could be modifying the albedo and promoting snow melting. This work presents first measurements of BC at atmospheric aerosols collected at the Huancayo Observatory (OHY) performed from June to December 2015 and also it was identified the main source regions close to OHY. BC concentration was registered with an aethelometer registering a mean of $0.81 \pm 0.22 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Also, based on the algorithm of Sandradewi, it was estimated that 41.27% of the BC is related to biomass burning sources. Making use of OpenAir library from R software it was possible to identify that main BC sources come from NE, E and SE where important cites in the region are located (Sicaya, Huancayo and Chupaca).

Keywords: Huancayo Observatory, balck carbon, biomass burning.

1. Introducción

El carbono negro (CN) es formado por la combustión incompleta de combustibles fósiles, tiene propiedades físicas únicas, absorbe fuertemente la luz visible especialmente a 880 nm, es refractario con una temperatura de vaporización cerca de 4 000°K, es insoluble en agua y disolventes orgánicos y en la atmósfera se encuentra en forma de agregados (Bond et al., 2013).

El CN afecta principalmente al clima de dos maneras: por un lado, al estar suspendido en la atmósfera, produce un forzamiento radiativo positivo debido a que absorbe fuertemente la radiación haciendo que la atmósfera se caliente. Bond et al. (2013) han evaluado el forzamiento radiativo directo del CN, llegando a estimar 0,71 W·m⁻² con un nivel de incertidumbre del 90%.

De otro lado, al depositarse el CN en la nieve y en el hielo por vía seca o húmeda, reduce el albedo ocasionando mayor calentamiento y por ello mayor fusión. En un estudio realizado por Jacobi et al., (2015) en los glaciares del Himalaya estimaron mediante modelos que la deposición de CN puede reducir el albedo en 2.70% y 6.00% en presencia de 100 y 300 ng CN por g⁻¹ de H₂O. También Yasunari et al., (2010) en la misma región, estimaron que la reducción del albedo en 2.00% y 5.20% siendo continua para todo el año, lo que daría lugar a un aumento de la escorrentía entre 70-204 mm.

En la salud el CN tendría potencialmente serios efectos respiratorios a largo plazo luego de la

inhalación debido a que es extremadamente fino y ligero y tiende a acumularse en los organismos. La limitada evidencia de reacción en humanos y animales sugiere que los efectos pulmonares son significativos e irreversibles, estos pueden ocurrir con exposiciones a altas concentraciones por vía aérea (10-100 µg·m⁻³), según CCOHS (2006).

Debido a su importancia tanto en el clima como en la salud, en este estudio se mostraran las primeras mediciones de CN realizadas en el Observatorio de Huancayo desde junio hasta diciembre del 2015 y se identificarán las principales zonas de donde proviene este compuesto.

2. Desarrollo

2.1. Sitio de monitoreo y meteorología

2.1.1. Descripción de la zona de monitoreo

El Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR) se ha instalado recientemente en el Observatorio de Huancayo (OHY, latitud 12° 02' 18" Sur, longitud 75° 19' 22" Oeste, altitud 3 330 msnm). LAMAR realiza mediciones de propiedades físicas y microfísicas de los aerosoles atmosféricos, teniendo especial interés en el CN. La Figura 1 muestra la ubicación del OHY respecto a las poblaciones asentadas a su alrededor, entre las principales están las ciudades de Huancayo (HYO), Chupaca (CCA), Sicaya (CYA) y Huayao (HAO). En las áreas colindantes al OHY se practica la agricultura intensivamente.

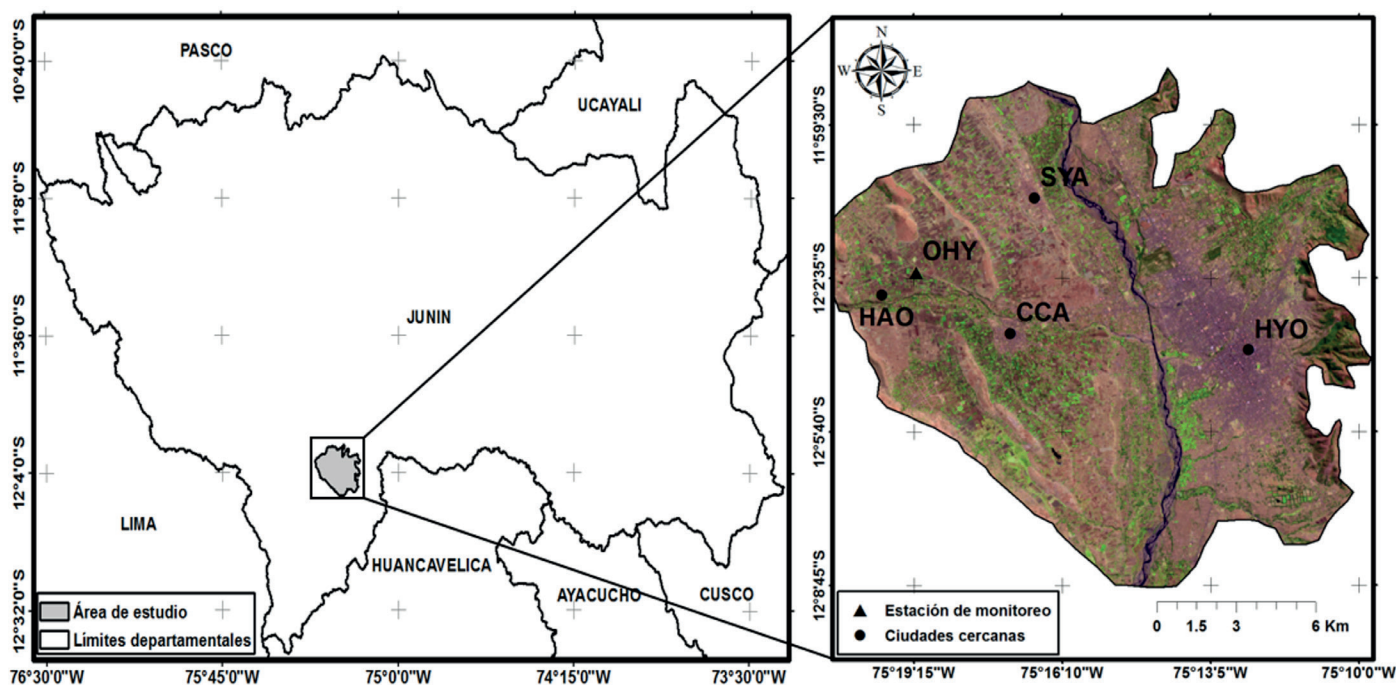


Figura 1. Ubicación del observatorio de Huancayo y las poblaciones asentadas a su alrededor.

2.1.2. Climatología del sitio

La temperatura media del aire presenta valores más bajos en julio y los máximos en noviembre, del mismo modo las precipitaciones tienen gran variabilidad estacional, estando enmarcados por una estación seca entre mayo y agosto, y una estación lluviosa entre septiembre y abril. Cerca del 86% de la precipitación anual ocurre de septiembre a abril. Casi la mitad de la precipitación anual (49%) se concentra en los meses de enero-marzo (Figura 2), periodo considerado como el pico de la estación lluviosa (Silva et al., 2010).

2.2. Instrumentación

2.2.3 Aethalometer

Mediciones continuas de CN se llevaron a cabo con un aethalómetro modelo AE33 fabricado por Magee Scientific de Eslovenia.

El aethalómetro utiliza una técnica de transmisión óptica, mide las pérdidas de señales en 7 longitudes de onda (370, 470, 520, 590, 660, 880 y 950 nm) debido a la absorción de las partículas cargadas en un filtro. El instrumento aspira el aire desde una altura de 2 metros del nivel del techo, y de unos 3 metros del nivel del suelo. En la entrada de la muestra se colocó un ciclón para aerosoles de 2.5 μm . Las partículas en el flujo de aire entrante se depositan en el filtro de tetrafluoroetileno (TFE), que opera continuamente a una velocidad de flujo de 5 LMP y las mediciones se registran para una solución de tiempo de 1 minuto de duración a condiciones

estándar (1 013,25 hPa y 25°C), durante todo el día. Más detalles del instrumento y su funcionamiento se discuten en Drinovec et al., (2015).

La concentración de CN se calcula a partir del cambio de atenuación óptica (ATN) a 880 nm en cualquier intervalo de tiempo seleccionado con una sección transversal de absorción de masa (σ) de 7,77 $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$. A esta longitud de onda, otros aerosoles (carbonáceos o minerales) absorben significativamente menos y la absorción se puede atribuir solo al CN (Sandradewi et al., 2008). Para calcular ATN en el filtro cargado de partículas se emplea la ecuación 1.

$$ATN = -100 \cdot \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (1)$$

Donde I es la intensidad de señal que ha interactuado con el filtro cargado de partículas e I_0 es la intensidad de señal que ha interactuado con el filtro sin partículas. 100 es el factor por conveniencia (Gundel et al., 1984). Para calcular la concentración de CN se emplea la siguiente ecuación (4).

$$CN = \frac{S \cdot \left(\frac{\Delta ATN_1}{100}\right)}{F_1(1-\xi) \cdot \sigma \cdot C \cdot (1-k \cdot ATN_1) \cdot \Delta t} \quad (4)$$

Donde S es el área donde se recolectan las partículas en el filtro, F_1 es el flujo de aire que pasa por el filtro, ξ es el factor de fugas de aire, C es la respuesta del material del filtro $C_{TFE}=1.57$, Δt es el tiempo de cálculo, k es el parámetro del efecto de carga, ATN_1 es la atenuación determinada por la ecuación 1. Del mismo modo se determinan $k(\lambda)$ y $b_{\text{abs}}(\lambda)$ para todas las longitudes de onda, teniendo en cuenta que σ varía para cada longitud de onda según Sandradewi et al. (2008) y Bond et al. (2013).

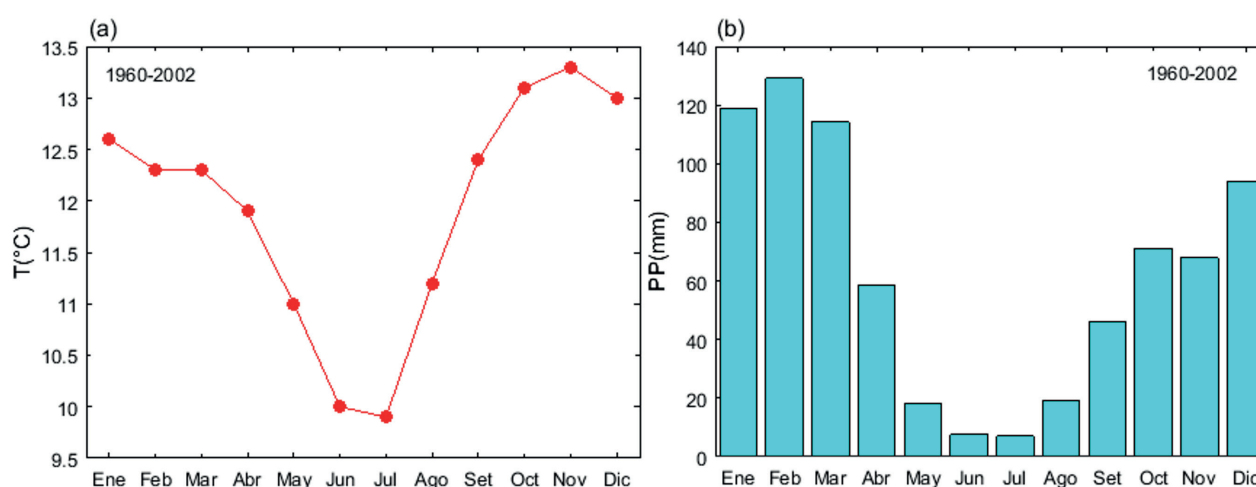


Figura 2. Climatología de temperatura media del aire a 2 metros (a) y precipitación (b) en el Observatorio de Huancayo. Fuente: datos del SENAMHI e IGP.

2.2.4. Anemómetro ultrasónico

Mediciones continuas de velocidad y dirección de viento se llevaron a cabo con un anemómetro ultrasónico modelo 81000 fabricado por Young de Estados Unidos.

Este anemómetro opera en modo de impulsos acústicos, mide las tres componentes ortogonales (u_x, u_y, u_z) del viento y la velocidad del sonido (C) a una frecuencia máxima de 32Hz.

2.2.5. Modelo de dispersión

Para identificar las zonas de donde proviene el CN se utilizó un modelo de dispersión, el cual consiste en mostrar la evolución de algún contaminante con respecto a la distribución de velocidad y dirección del viento. Para determinar las componentes bivariantes del viento (u) y (v) se emplean la ecuación (8).

$$u = \bar{u} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\theta}\right), v = \bar{u} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\theta}\right) \quad (8)$$

Donde \bar{u} es la velocidad media del viento y θ es la dirección media del viento por hora. Para evaluar la evolución de algún contaminante con respecto a una interacción con la velocidad y dirección del viento se emplea la ecuación (9).

$$\sqrt{C_i} = f(u, v) + e_i \quad (9)$$

Donde C_i es la concentración del contaminante y e_i es un residual. Aplicando un modelo aditivo generalizado se encuentran las frecuencias para las mediciones. Para nuestro estudio se empleó la librería Openair de Carslaw et al., (2006) del software estadístico R y la función polarplot el cual contiene todas las ecuaciones para identificar las zonas de donde provienen los contaminantes.

2.3. Procesamiento de datos

Para el procesamiento de los datos de CN adquiridos con el aethalometer se revisó el flujo de la muestra, debiendo estar entre 1 LMP y 8 LMP, también se revisó

las concentraciones de CN debiendo estar entre $0.1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ y $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Debido a que se pretende entender la variación temporal de CN a escala regional las mediciones por minuto que superaban $4.5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ fueron eliminados, al superar estos valores posiblemente se debieron a fuentes locales, tales como un vehículo o un incendio cerca (Hansen, comunicación personal).

El procesamiento de los datos de velocidad y dirección de viento adquiridos con el anemómetro sónico, consistió en revisar que no tuvieran valores anómalos y solo se utilizó el componente zonal (u_x) del viento. Se construyó un fichero con datos de velocidad y dirección de viento y concentración de CN por minuto en formato comma-separated values (CSV) para su fácil manejo en software R y Matlab.

3. Resultados

3.1 Variación temporal de carbono negro

Los promedios mensuales de CN de junio hasta diciembre del 2015 se presentan en la Tabla 1. El rango de los valores se encuentra entre 0.60 y $1.23 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, el valor medio obtenido es de $0.81 \pm 0.22 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, el valor máximo se obtuvo el 24 de junio a las 20 horas con $5.50 \pm 0.58 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ y el valor mínimo fue el 13 de diciembre a la 1 hora con $0.11 \pm 0.01 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Con respecto a la variación horaria se muestra la variabilidad a lo largo del día (Figura 3), con dos picos muy marcados: el primero entre 6 y 9 horas, y el otro entre 17 y 21 horas. Ambos estarían este relacionados a la combustión incompleta de los combustibles fósiles ya que en esas horas el tráfico vehicular se intensifica en las ciudades cercanas al OHY. También sería por las emisiones por quema de biomasa por parte de las (pollerías a carbón, restaurant, entre otros).

Hay que precisar que hubo días donde no se realizaron mediciones. Como es el caso del mes de agosto con solo 3 días de registro donde muestra el promedio mensual más alto $1.23 \pm 0.56 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ siendo una tendencia atípica de CN. Por otro lado el mes de septiembre al parecer sí muestra una tendencia normal pese a haber solo 7 días de mediciones.

Tabla 1. Media, desviación estándar (Desv. St.), Máximo valor (Max) expresados en ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) y número de días medidos (N) en el Observatorio de Huancayo

Mes/Estadístico	Media	Desv. St.	Max.	N
Junio	0,95	$\pm 0,59$	5,50	30
Julio	0,91	$\pm 0,54$	4,56	31
Agosto	1,23	$\pm 0,56$	2,85	3
Septiembre	0,65	$\pm 0,34$	2,13	7
Octubre	0,61	$\pm 0,33$	2,16	31
Noviembre	0,72	$\pm 0,47$	3,51	30
Diciembre	0,60	$\pm 0,47$	4,32	22
General	0,81	$\pm 0,22$		

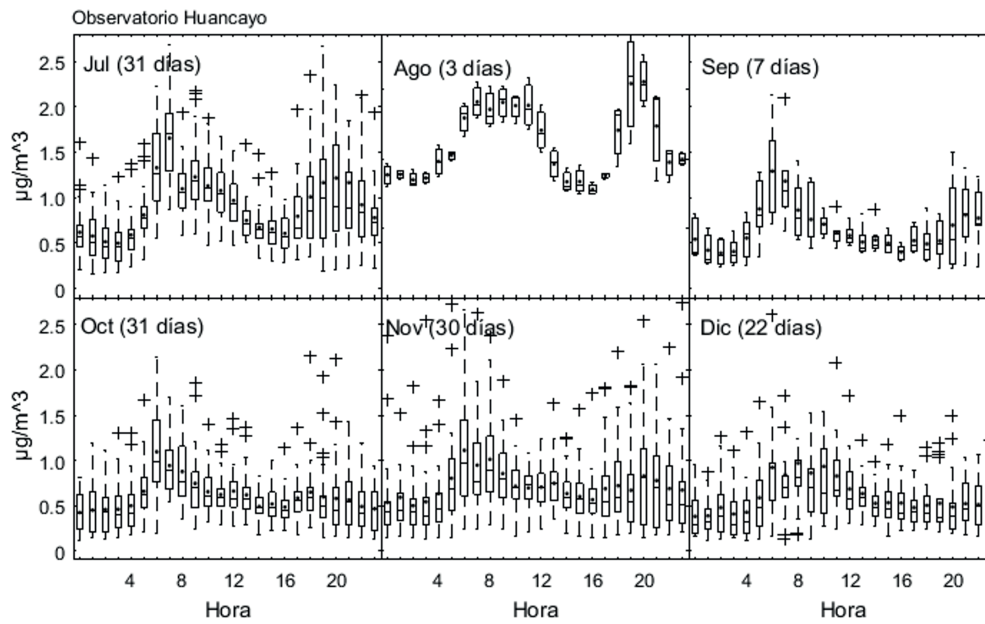


Figura 3. Variación horaria de carbono negro en el Observatorio de Huancayo.

3.2. Identificación de las principales zonas contribuyentes de carbono negro

Para identificar las zonas de donde proviene el CN hay que tener en consideración los parámetros más importantes como velocidad y dirección de viento. Una opción para identificar y observar de qué dirección provienen las partículas de CN es empleando gráficas polares. Para obtener las gráficas se ingresaron los datos de velocidad y dirección de viento y también las concentraciones de CN por minuto.

Hay que precisar que solo se tomó en cuenta la velocidad del viento entre 0.001 y $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ debido a

que en este rango se concentran mayormente los datos. Los resultados están representados en la Figura 4, donde se observa que las concentraciones de CN provienen del este, en esta dirección se encuentran las ciudades principales de la región (Huancayo, Sicaya y Chupaca), tal como se observa en la Figura 1.

Además, se evaluó el viento para los 6 meses, considerando los valores de viento mayores a $1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, debido a que cuanto más veloz sea el viento podrá transportar más lejos los contaminantes. Los vientos fueron representados en la Figura 5, donde se observa que el viento predomina mayormente de NE, E y SE.

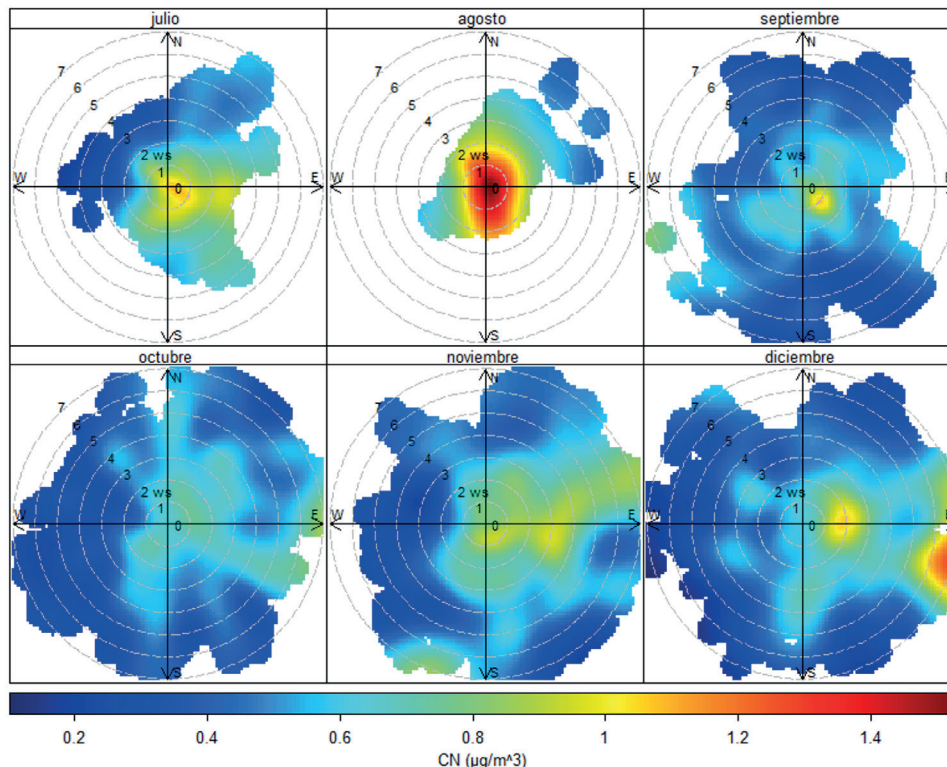


Figura 4. Rosa de concentración de carbono negro en Observatorio de Huancayo.

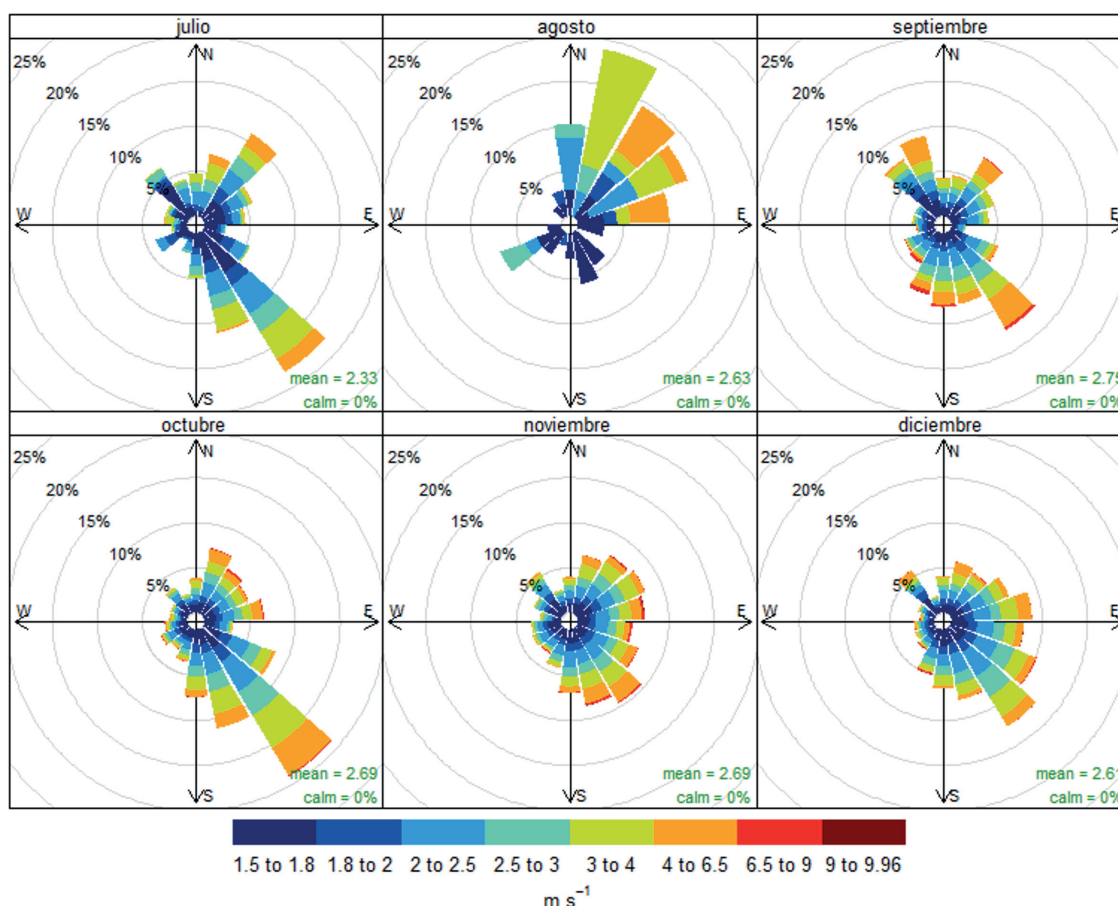


Figura 5. Rosa de viento mayor a 1,5 m·s⁻¹ en Observatorio de Huancayo.

4. Discusión

Se observó que la concentración promedio de CN en el OHY durante el periodo de estudio fué de $0.81 \pm 0.22 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, que es similar a los valores reportados en otros estudios realizados como en India (Panwar et al., 2013; Allen, 2014), con promedios anuales de $0.85 \pm 0.66 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ y $0.70 \pm 0.21 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, respectivamente; esto es debido a que sus estaciones están ubicadas en ambientes rurales o alejadas de la población urbana.

Comparando con otros estudios, nuestro valor promedio es más bajo que los reportados en China (Feng et al., 2014) y también en la India (Reshma et al., 2015), con promedios anual de $3.80 \pm 0.89 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ y $2.20 \pm 0.21 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, respectivamente, debido a que sus estaciones están ubicadas en zonas urbanas.

Las zonas identificadas se encuentran ubicadas en la parte NE, E y SE del OHY. Es lógico hacer esta afirmación ya que las ciudades principales; Huancayo, Sicaya y Chupaca se encuentran en estas direcciones (Figura 1), y toda las emisiones de CN producidas en estos ambientes urbanos son transportados al OHY, debido a la circulación del viento mayor a $1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en el OHY provienen de NE, E y SE (Figura 5), con respecto a la dirección predominante del viento, son similares a lo descrito por Mamani (2013).

5. Conclusiones

Las mediciones de carbono negro realizadas en el Observatorio de Huancayo muestran variabilidad a lo largo del día adoptando dos picos bien marcados, el primero pico se presenta entre 5 y 9 horas y el segundo pico entre 17 y 21 horas.

Se identificaron las zonas de donde proviene el carbono negro, estas se ubican en la parte NE, E y SE. En esta dirección se encuentran las ciudades principales de la región Sicaya, Huancayo y Chupaca. Las emisiones que se generan son transportadas al Observatorio de Huancayo, debido a que la dirección del viento mayor a $1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ predomina en ese sentido.

6. Recomendaciones

En el estudio se evaluaron 7 meses, de los cuales los meses de agosto y setiembre presentaron una alta ausencia de datos. Se recomienda evaluar las mediciones al menos para un año, para observar mejor la variabilidad del carbono negro.

7. Agradecimientos

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme las facilidades para desarrollar de mi tema de tesis. Al proyecto PEER Aerosoles financiado por USAID de EE.UU.

8. Bibliografía

- Allen, G. (2014): *Analysis of Spatial and Temporal Trends of Black Carbon in Boston*, EE UU.
- Begam, G. R.; Viswanath, C.; NazeerAhammed, V. Y.; Kumar, K. R.; Babu, S.; and R.R. Reddy (2015): *Measurement and analysis of black carbon aerosols over a tropical semi-arid station in Kadapa, India*. *Atmos. Res.*, 171, 77–91.
- Bond, T. C.; Doherty, S. J.; Fahey, D. W.; Forster, P. M.; Berntsen, T.; DeAngelo, B. J.; Flanner, M. G.; Ghan, S.; Kärcher, B.; Koch, D.; Kinne, S.; Kondo, Y.; Quinn, P. K.; Sarofim, M. C.; Schultz, M.; Venkataraman, C.; Zhang, H.; Zhang, S.; Bellouin, N.; Guttikunda, S. K.; Hopke, P. K.; Jacobson, M. Z.; Kaiser, Klimont, Z.; Lohmann, U.; Schwarz, J. P.; Shindell, D.; Storelvmo, T.; Warren, and Zender, C. S. (2013): *Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment*, *J. Geophys. Res.*, 118, 5380–5552.
- Canadian Centre for Occupational Health and Safety (2006): *Black Carbon-Effects in the Health*, Canadian National Resource for Occupational Safety and Health.
- Carslaw, D. C.; Beevers, S. D.; Ropkins, K., and M. C. Bell (2006): *Detecting and quantifying aircraft and other on-airport contributions to ambient nitrogen oxides in the vicinity of a large international airport*. In: *Atmospheric Environment* 40-28. 5424–5434.
- Drinovec, L.; Močnik, G.; Zotter, P.; Prévôt, A. S. H.; Ruckstuhl, C.; Coz, E.; Rupakheti, M.; Sciare, J.; Müller, T.; Wiedensohler, A. and A. D. A. Hansen (2015): *The “dual-spot” Aethalometer: an improved measurement of aerosol black carbon with real-time loading compensation*, *Atmos. Meas. Tech.*, 8, 1965-1979.
- Feng, J.; Zhong, M.; Xu, B.; Du, Y.; Wu, M.; Wang; and C. Changhong (2014): *Concentrations, seasonal and diurnal variations of black carbon in PM2.5 in Shanghai, China*. *Atmos. Res.*, 147-148, 1–9.
- Gundel, L. A.; Dod, R. L.; Rosen, H, and T. Novakov (1984): *The relationship between optical attenuation and black carbon concentration for ambient and source particles*, *Sci. Total Environ.*, 36, 197–202.
- Jacobi, H. W.; Lim, S.; Ménégos, M.; Ginot, P.; Laj, P.; Bonasoni, P.; Stocchi, P.; Marinoni, A.; and Y. Arnaud (2015): *Black carbon in snow in the upper Himalayan Khumbu Valley, Nepal: observations and modeling of the impact on snow albedo, melting, and radiative forcing*, *The Cryosphere.*, 9, 1685-1699.
- Mamani, D. (2013): *Simulación de la circulación atmosférica a nivel superficial para la cuenca del río del Mantaro usando el modelo atmosférico de mesoescala MM5*. Tesis pregrado, UNMSM.
- Panwar; T. S.; Hooda, R. K.; Lihavainen, H.; Hyvarinen, A. P.; Sharma, V. P. and Y. Viisanen (2013): *Atmospheric aerosols at a regional background Himalayan site — Mukteshwar, India*. *Environ. Monit. Assess.*, 185, 4753–4764.
- Sandradewi, J.; Prévôt, A. S. H.; Weingartner, E.; Schmidhauser, R.; Gysel, M. and U. Baltensperger (2008): *A study of wood burning and traffic aerosols in an Alpine valley using a multi-wavelength aethalometer*, *Atmos. Environ.*, 42, 101–112.
- Silva, Y.; Trasmonte, G. and L. Giraldez (2010): *Variabilidad de las precipitaciones en el valle del río Mantaro, investigaciones realizadas en el Instituto Geofísico del Perú (IGP)*.
- Uria I. y Carslaw C. (2014): *Conditional bivariate probability function for source identification*. *Environmental Modelling and Software.*, 59, 1–9.
- Yasunari, T. J.; Bonasoni, P.; Laj, P.; Fujita, K.; Vuillermoz, E.; Marinoni, A.; Cristofanelli, P.; Duchi, R.; Tartari, G.; and K.-M. Lau (2010): *Estimated impact of black carbon deposition during pre-monsoon season from Nepal Climate Observatory – Pyramid data and snow albedo changes over Himalayan glaciers*, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 6603-6615.

RELACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR TROPICAL EN UN MODELO ATMOSFÉRICO GLOBAL

RELATIONSHIP BETWEEN PRECIPITATION AND TROPICAL SEA SURFACE TEMPERATURE IN A GLOBAL ATMOSPHERIC MODEL

José Esteban Obregón Yataco
Universidad Nacional Agraria La Molina
Facultad de Ciencias
jobregyat@gmail.com

Asesor: Ken Takahashi, Ph.D.
Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera - IGP

Resumen

En este estudio se presentan los resultados preliminares de 5 corridas (1970-2010) con diferentes configuraciones de acoplamiento llevadas a cabo con el modelo atmosférico global SPEEDY. Posteriormente se utilizaron las salidas de precipitación y temperatura superficial del mar (TSM) para evaluar la relación no lineal sobre los océanos en la región tropical (20°S – 20°N) y calcular la TSM umbral (T_c), por encima de la cual se observa convección profunda, mientras que por debajo, la precipitación es cercana a cero.

Palabras clave: Convección profunda, GCM, temperatura umbral, precipitación tropical, ZCIT.

Abstract

In this study we present the preliminary results of 5 runs (1970-2010) with different coupling configurations carried out with the SPEEDY global atmospheric model. The sea surface temperature (SST) and precipitation output were then used to evaluate the nonlinear relationship on the oceans over the tropical oceans (20°S - 20°N) and calculate the threshold SST (T_c) above which deep convection is observed, while below, the precipitation is close to zero.

Keywords: Deep convection, GCM, threshold temperature, tropical precipitation, ITCZ.

1. Introducción

Es conocido que existe una relación no-lineal aproximada entre la TSM y la precipitación mensual en los trópicos, según la cual, para que ocurra precipitación convectiva, la TSM debe exceder un valor umbral de alrededor de 27.5 °C (Graham & Barnett, 1987; Xie & Philander, 1994; Johnson & Xie, 2010; Jáuregui & Takahashi, 2016). Para evaluar dicha relación se utilizará el modelo atmosférico de circulación general (GCM) SPEEDY del ICTP.

2. Metodología

2.1. Condiciones de frontera y opciones de acoplamiento

El modelo SPEEDY tiene una resolución horizontal espectral T30 (~3.75° en una grilla gaussiana), con 8 niveles verticales y parametrizaciones físicas simplificadas que disminuyen notablemente los altos requerimientos computacionales de los GCM más sofisticados (Moleteni, 2003). Como todo GCM tiene sus condiciones de fronteras en superficie (orografía, vegetación, temperatura superficial, humedad del suelo, etc.) que pueden ser prescritas o proporcionadas mediante el acoplamiento de otros modelos. SPEEDY nos permite las siguientes opciones de acoplamiento:

- Acoplamiento con el modelo de superficie del suelo en continente (L)
- Acoplamiento con el modelo oceánico tipo “slab” (capa de mezcla idealizada: S)
- Acoplamiento con el modelo de hielo marino tipo “slab” (I)
- Prescripción de TSM observada con variaciones interanuales (A)

El modelo “slab” representa el océano con una distribución homogénea y con una profundidad prescrita (entre 40 y 60m). El uso de una profundidad de capa mixta prescrita sin ninguna tolerancia para el movimiento horizontal y vertical es inadecuado para la simulación del ciclo anual de almacenamiento de calor zonal y por lo tanto no genera una buena representación de la distribución de hielo marino y de la TSM, especialmente en los trópicos, y no pueden ofrecer información sobre fenómenos como El Niño, ya que esto requiere el acoplamiento de un modelo oceánico con el campo de viento atmosférico (McGuffie & Henderson-Sellers, 2005).

Se utilizaron cinco configuraciones del modelo según las combinaciones de las opciones antes mencionadas, las cuales se indican en la Tabla 1, y se corrieron en el periodo 1970 – 2010.

Tabla 1. Resumen de configuraciones

Configuración	Opciones	Descripción
SPEEDY1	L-I-A	TSM observada con variaciones interanuales, cobertura de hielo, temperatura y humedad del suelo generados por los modelos acoplados.
SPEEDY2	Ninguna	TSM, cobertura de hielo, temperatura y humedad del suelo climatológicas prescritas.
SPEEDY3	L	Temperatura y humedad del suelo generados por el modelo acoplado, TSM y cobertura de hielo climatológicas prescritas.
SPEEDY4	L-S-I	TSM, cobertura de hielo, temperatura y humedad del suelo generados por los modelos acoplados.
SPEEDY5	A	TSM observada con variaciones interanuales, cobertura de hielo, temperatura y humedad del suelo climatológicas prescritas.

2.2. Diagnóstico del GCM SPEEDY

Antes de realizar los experimentos, se hicieron corridas cortas con las 5 configuraciones para corroborar las variaciones interanuales de la TSM. Para ello se hicieron series de tiempo de un promedio espacial (20°S - 20N, 0° - 360°W) con las salidas de precipitación y TSM.

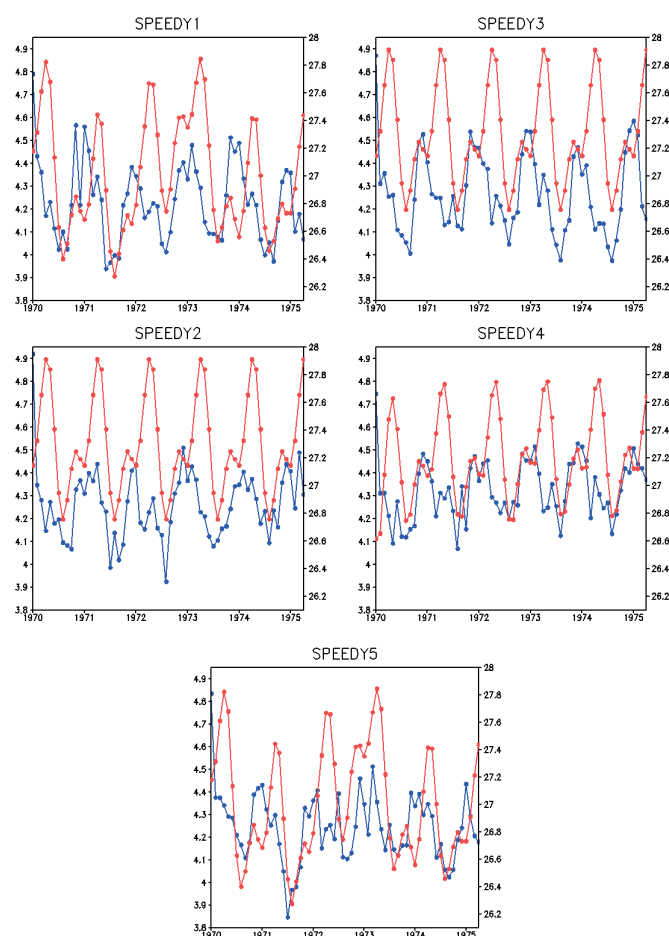


Figura 1. Series de tiempo de precipitación (mm/día) y TSM (°C) media espacial mensual. La curva roja (azul) corresponde a la TSM (precipitación) y su escala se encuentra en el eje derecho (izquierdo).

Como se puede observar en la Figura 1, las 5 configuraciones inician con valores altos de precipitación entre 4.75 y 4.95 mm/día en el primer mes, esto se debe a que el modelo parte de un estado de reposo y tarda un tiempo en estabilizarse. También se puede observar que en las configuraciones SPEEDY 2 y 3 la TSM es climatológica (periódica). Mientras que las configuraciones SPEEDY 1 y 5 tienen el mismo comportamiento de TSM, ya que

ambas están acopladas a las anomalías observadas. Finalmente SPEEDY4 es la única configuración que no tiene una TSM prescrita, sino más bien se genera del acoplamiento con el modelo oceánico, es por ello que la TSM al inicio parte de una temperatura de referencia mínima que con el tiempo se estabiliza, y es ligeramente más fría (-0.1°C) que la TSM climatológica.

Para evaluar la climatología del modelo se compara la precipitación promedio (1979-2010) para el verano (DEF) e invierno (JJA) austral simulado por el modelo con los datos observacionales mensuales del GPCP sobre la región (20°S – 20°N) interpolados a la grilla del modelo.

2.3. Estimación de la temperatura umbral para la convección

En el modelo no lineal simple se asume que la precipitación sobre los océanos tropicales es cero cuando la TSM es menor o igual a la T_c , y que aumenta linealmente con la TSM cuando esta supera a la T_c (Xie & Philander, 1994; Back & Bretherton, 2009b; Johnson & Xie, 2010; Jauregui & Takahashi, 2016).

$$P = \begin{cases} 0 & ; TSM \leq T_c \\ a(TSM - T_c); TSM > T_c \end{cases} \quad \text{ec. 1}$$

Los parámetros “ T_c ” y la pendiente (“ a ”) se estiman minimizando el valor de la raíz del cuadrado medio del error (RMSE).

3. Resultados y discusiones

3.1. Climatología del modelo

En general, el modelo SPEEDY reproduce razonablemente bien la distribución climatológica de las precipitaciones, por lo que en esta sección nos centraremos en los errores durante el verano e invierno.

3.1.1. Estado promedio en el verano austral

En la Figura 2 se muestra el error en la precipitación promedio con respecto a los datos del GPCP. Podemos observar que las 5 configuraciones muestran una distribución similar, donde el modelo representa bien las áreas secas como el Pacífico sureste, el Atlántico noreste y sureste, y parte del océano Índico sureste.

Sin embargo, la zona de convergencia Pacífico sur (ZCPS) es demasiado zonal en todas las configuraciones, mientras que en la piscina cálida del Pacífico oriental y al sur del océano Índico la precipitación es sobrestimada hasta en 10 mm/día (SPEEDY 2 y 5).

La convección en el Pacífico ecuatorial occidental y ZCIT en el Atlántico también son sobrestimadas. Aunque también presenta pequeñas regiones de subestimación en las costas de Indonesia (SPEEDY 1, 2 y 5) y al noroeste de Australia en todas las configuraciones.

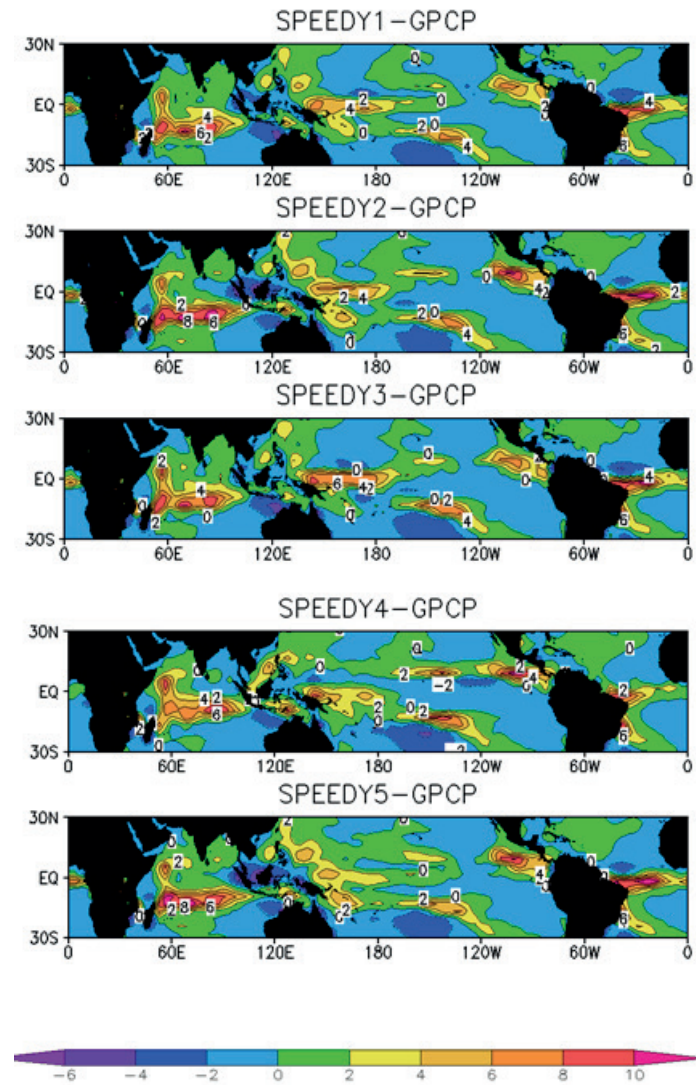


Figura 2. Diferencia (SPEEDY-GPCP) de precipitación promedio (1979-2010) en mm/día en el verano austral.

3.1.2. Estado promedio en el invierno austral

En la Figura 3 podemos observar que si bien sigue existiendo una sobrestimación en la ZCPS, esta aparece un poco más meridional a diferencia del verano donde la ZCPS se muestra más paralela a la ZCIT. Al igual que la Figura 1 las regiones secas son bien representadas. Mientras que las pequeñas áreas de subestimación se intensifican y pasan al hemisferio norte.

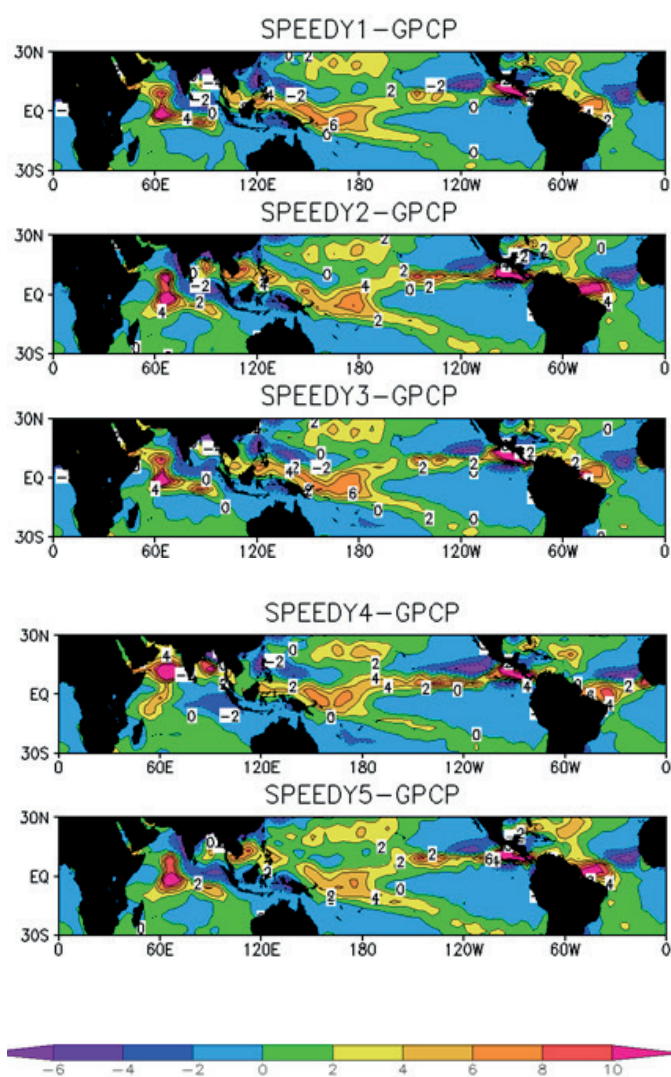


Figura 3. Diferencia (SPEEDY-GPCP) de precipitación promedio (1979-2010) en mm/día en el invierno austral.

3.2. Temperatura umbral del modelo

Físicamente la diferencia entre la TSM promedio y la Tc nos da una medida aproximada de la estabilidad atmosférica climatológica, es decir nos da una idea de cuan cerca está la TSM para que caliente a una parcela de aire subyacente lo suficiente, de modo que cuando ascienda y se enfríe, esta siga siendo más cálida que la temperatura del aire en los diferentes niveles que alcance durante su ascenso.

A continuación se presentan los resultados de estimación de la Tc en el periodo (1971-2010).

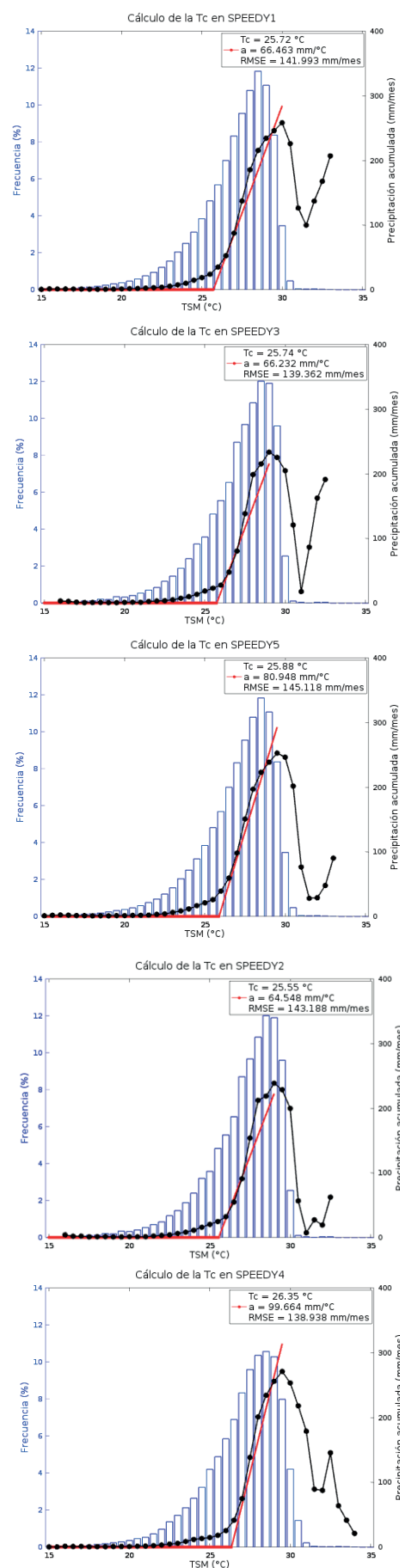


Figura 4. Histograma de frecuencia de la TSM dividido en 0.5°C, modelo no lineal (rojo) entre la precipitación y la TSM, y precipitación promedio (negro).

De la Figura 4 se puede observar que el modelo no lineal es una aproximación razonablemente buena a las precipitaciones simuladas por el modelo en todas las configuraciones. En la Tabla 2, notamos que no hay diferencia significativa en la temperatura media de las 5 configuraciones como se esperaría. Sin embargo sí se observan diferencias en la T_c , la pendiente (“a”) y la precipitación media, tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de parámetros

Configuración	T_c (°C)	a (mm/mes)	RMSE (mm/mes)	T_{med} (°C)	P_{med} (mm/mes)
SPEEDY1	25.77	66.46	142.06	27.03	120.28
SPEEDY2	25.55	64.55	143.35	27.09	126.84
SPEEDY3	25.74	66.23	139.21	27.09	120.59
SPEEDY4	26.35	99.66	138.90	27.04	123.25
SPEEDY5	25.92	80.95	145.26	27.03	126.45

En la Figura 5 observamos que en SPEEDY2 la diferencia de la TSM promedio y la T_c es la más alta, lo cual indica mayor inestabilidad atmosférica, y esto se refleja en la precipitación media, cuyo valor es el más alto de todas las configuraciones. Además notamos que cuando la T_c disminuye, la precipitación aumenta (SPEEDY 2 y 5), y cuando aumenta la T_c (SPEEDY 1 y 3), la precipitación media disminuye. Sin embargo esto no sucede en SPEEDY4, ya que cuando la T_c aumenta, también lo hace la precipitación media.

Este caso es distinto que los anteriores ya que utiliza un modelo oceánico tipo “slab” o “capa mixta” y la distribución de la TSM es climatológicamente distinta a la de otros. Además, observamos que la pendiente está directamente relacionada con la T_c , obteniendo su valor más alto en SPEEDY4. Esta correlación es consistente con las halladas por Jáuregui y Takahashi (2016) entre modelos de CMIP5.

4. Conclusiones

El modelo SPEEDY reproduce las principales características de la distribución de la precipitación tropical climatológica, además, presenta una relación no lineal entre la precipitación y la TSM comparable con la observada.

La TSM promedio de las 5 configuraciones no difieren significativamente, pero sí difieren en la precipitación media y sus respectivas temperaturas umbrales, siendo SPEEDY4 con el mayor valor de TC. Sin embargo esta configuración está acoplada a un modelo oceánico Slab, lo cual produce una TSM tropical distinta a la de las demás configuraciones, por lo que no es tan directamente comparable. La T_c promedio de las 4 configuraciones es de 25.75 °C (sin considerar SPEEDY4), valor que se acerca al encontrado por Jáuregui y Takahashi (2016) entre los modelos CMIP5.

5. Agradecimientos

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme las facilidades para desarrollar mi tema de tesis. Al Dr. Ken Takahashi y a la Ing. Yakelyn R. Jáuregui por brindarme su asesoría, al equipo técnico y científico del HPC por brindarme acceso al Cluster, y por último y no menos importante a mis amigos de SCAH.

Ese trabajo fue hecho utilizando los recursos computacionales HPC-Linux-Cluster del Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos Computacionales del Instituto Geofísico del Perú (fondos concursables 101-2014-FONDECYT, SPIRALES2012 IRD-IGP, Manglares IGP-IDRC, y el programa presupuestal 068).

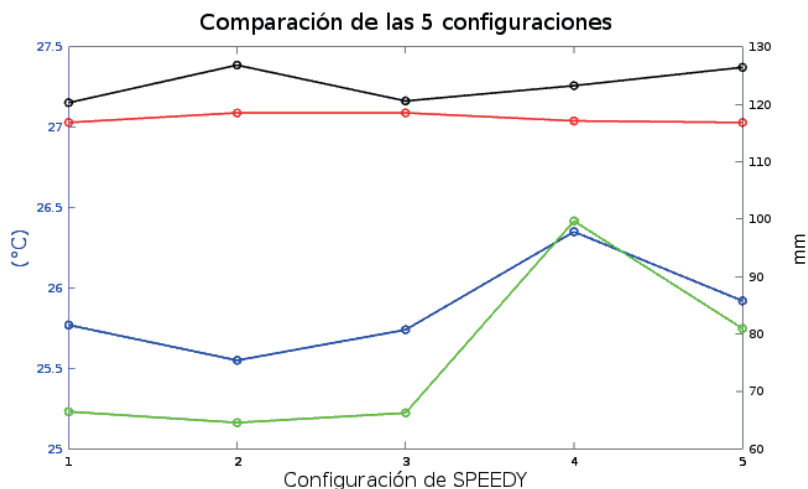


Figura 5. Comparación entre las 5 configuraciones de T_c (azul) y TSM media (rojo) en °C, pendiente (verde) en mm/mes/°C y precipitación media (negro) en mm/mes.

6. Bibliografía

Back, L.E., Bretherton, C.S. (2009): *A simple model of climatological rainfall and vertical motion patterns over the tropical oceans.* *J Clim* 22:6477-6497.

Graham, N. E., & Barnett, T. P. (1987): *Sea Surface Temperature, Surface Wind Divergence,* 238(4827), 657–659.

Jauregui, Y. R., Takahashi, K. (2016): *Simple physical-empirical model of the precipitation distribution in the tropical oceans and the effects of climate change.* *Sometido a Climate Dynamics.*

Johnson, N.C., Xie, S.P. (2010): *Changes in the sea surface temperature threshold for tropical convection.* *Nat Geosci* 3:842-845.

McGuffie, K., Henderson-Sellers, A. (2005): *A Climate Modelling. Primer, Third Edition-Wiley.*

Molteni, F. (2003): *Atmospheric simulations using a GCM with simplified physical parameterizations. I. Model climatology and variability in multi-decadal experiments,* *Climate Dynamics,* 20 , 175-191.

Xie, S., Philander, S. (1994): *A coupled ocean-atmosphere model of relevance to the ITCZ in the eastern Pacific.* *Tellus* 46A:340-350.

VARIABILIDAD ESTACIONAL DE LA RADIACIÓN SOLAR Y ATMOSFÉRICA EN EL OBSERVATORIO DE HUANCAYO Y SU EFECTO EN LA TEMPERATURA DEL AIRE Y SUELO

SEASONAL VARIABILITY OF THE ATMOSPHERIC AND SOLAR RADIATION IN OBSERVATORY OF HUANCAYO AND ITS EFFECT ON AIR TEMPERATURE AND SOIL

André William Galdos Segura
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Facultad de Ciencias Físicas
gal2.pe@gmail.com

Asesores: Yamina Silva, Ph.D.
Lic. Miguel Saavedra
Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera - IGP

Resumen

En el presente trabajo se hace un análisis de la radiación solar e infrarroja atmosférica desde noviembre del 2014 a octubre del 2015 y su impacto en las temperaturas del aire y del suelo usando los datos del Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación – LAMAR, en el Observatorio de Huancayo, perteneciente al Instituto Geofísico del Perú. Entre los resultados más importantes está el aumento de la radiación infrarroja durante los días de verano (DEF) y primavera (SON) en relación con la disminución de la temperatura tanto del aire como del suelo.

Palabras clave: Radiación infrarroja atmosférica, radiación solar.

Abstract

In this paper we analyze solar and infrared atmospheric radiation from November 2014 to October 2015 and its impact on air temperatures and soil using data Laboratory Microfísica and Atmospheric Radiation, LAMAR, in the Huancayo Observatory, belonging to the Geophysical Institute of Peru. Among the most important results is increased infrared radiation during the spring and summer days in relation to the temperature decrease both air and ground.

Keywords: Atmospheric infrared radiation, solar radiation.

1. Introducción

La radiación es la energía que proviene de los campos magnéticos y eléctricos oscilantes que pueden transferirse a través del espacio vacío y una vez interceptada por una superficie se expresa por lo general en términos de energía por unidad de tiempo y por unidad de superficie.

La importancia de este estudio radica en la necesidad de cuantificar la dependencia entre la radiación solar (onda corta), radiación infrarroja atmosférica (onda larga) y la temperatura del aire y del suelo durante las diferentes estaciones del año.

Estudios previos indican que uno de los principales factores que influyen en la variación de la temperatura superficial son el porcentaje de humedad del suelo y la radiación infrarroja atmosférica que alcanza la superficie terrestre durante las noches (Saavedra, 2013).

El presente documento es parte de una tesis de Licenciatura del mismo autor, actualmente en proceso, titulada: "Variación estacional de la radiación infrarroja, humedad del suelo y su efecto sobre la temperatura mínima superficial en el Observatorio de Huancayo, Junín-Perú".

2. Conceptos generales

2.1. Nubosidad

El vapor de agua, una vez condensado en forma de nube refleja la radiación solar hacia el exterior provocando que la superficie terrestre no aumente su temperatura considerablemente mientras que por las noches la presencia de las nubes son indispensables para mantener la tierra cálida, absorbiendo y re-emitiendo la radiación infrarroja terrestre, esto

último es el llamado efecto invernadero (Hartmann, 1994). En este contexto la nubosidad es un factor muy importante en el aumento o disminución de la temperatura del suelo y por tanto del aire.

En los primeros milímetros sobre el suelo la transferencia es casi en su totalidad por choques moleculares. Luego más arriba de esto, se da por mezcla de aire en capas superiores con las inferiores (flujo de calor sensible). Esta es una de las razones por las cual la variabilidad de la temperatura del aire es menor que la de la superficie que se calienta directamente por radiación (Wallace & Hobbs, 2006).

2.2. Transferencia de energía

Existen tres mecanismos de transferencia de energía:

- Por radiación, No hay intercambio de masa y no necesita de un medio para transferirse; la energía viaja a velocidad de la luz.
- Por conducción, no hay intercambio de masa, pero se necesita de un medio para transferir calor por colisión entre los átomos o moléculas.
- Por convección, hay un intercambio de masa, solo se da en los fluidos, donde la parte más caliente asciende y la más fría desciende.

2.3 Lugar de estudio

El área de estudio es en el valle del Mantaro, situada en la región central andina del Perú, departamento de Junín, específicamente en la localidad de Huayao en donde se encuentra el observatorio de Huancayo a unos 3313 m.s.n.m. y con coordenadas 12°02' latitud sur y 75° 19' longitud oeste, tal como se muestra en la Figura 1.

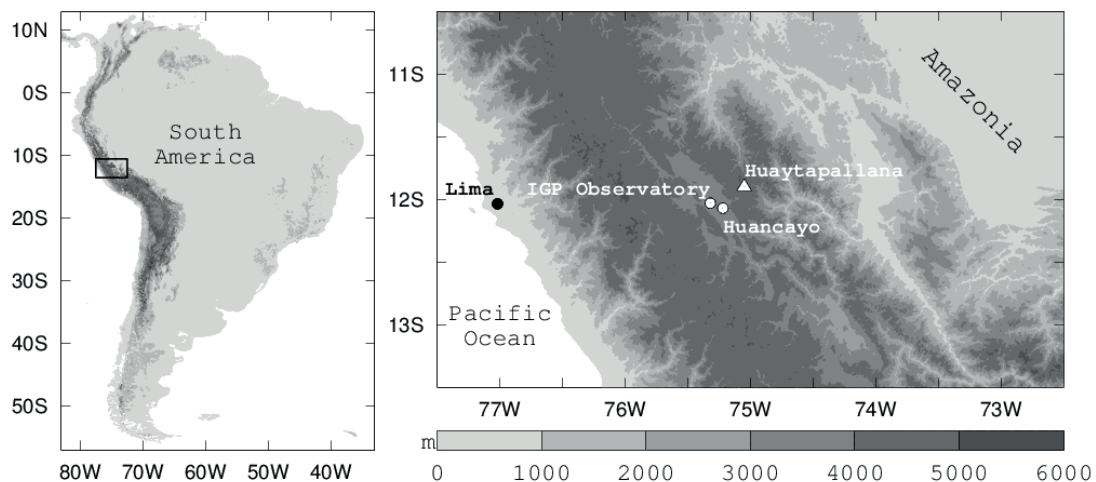


Figura 1. Ubicación geográfica del Observatorio de Huancayo del Instituto Geofísico del Perú. Latitud sur: 12°02', longitud oeste: 75°19', 3313 m.s.n.m. (cortesía del Lic. Miguel Saavedra)

2.4. Datos

Para este trabajo se han usado los datos de la estación meteorológica del Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación – LAMAR, instalado en el Observatorio de Huancayo (Tabla 1).

Tabla 1. Sensores y variables

Sensores	Variables	Unidades
Pirgeómetro	Radiación infrarroja	Wm^{-2}
Piranómetro	Radiación solar	Wm^{-2}
Termómetro	Temperatura del aire	$^{\circ}C$
Radiómetro	Temperatura superficial	$^{\circ}C$

Se tomaron los datos de la estación meteorológica a nivel horario desde noviembre del 2014 a octubre del 2015.

2.5. Metodología

En vista que deseamos analizar el efecto de la radiación atmosférica y solar en las temperaturas del aire y suelo, separaremos el análisis en función de las temperaturas durante el día (7 y 18 horas) y durante la noche. Asimismo los valores horarios de las variables serán promediadas en estos intervalos de horas, uno para el día y otro para la noche.

Para el ciclo estacional se han tomado el promedio corrido cada 30 datos (un promedio por día) para filtrar las fluctuaciones y quedarnos con la tendencia general.

En el análisis de variabilidad, se grafican los percentiles 10, 25, 50 (mediana), 75 y 90. Estas gráficas nos proporcionan una visión general de la distribución de los datos. Con el fin de que la variabilidad sea más representativa se han tomado grupos de tres meses: verano (DEF), otoño (MAM), invierno (JJA) y primavera (SON), de tal manera que por cada estación se tengan 90 datos.

3. Resultados

En la Figura 2 se representa el ciclo estacional de cada variable durante el día y durante la noche. La disminución de la radiación solar durante los meses DEFMAM probablemente sea causada por la reflexión de la radiación sobre las nubes hacia el exterior, dejando pasar solo una poca cantidad de energía hacia la tierra. Se observa además que la radiación atmosférica durante la noche es mucho menor que el día durante los meses JJA; esto coincide con la

ausencia de nubosidad en esa época.

3.1. Ciclo estacional

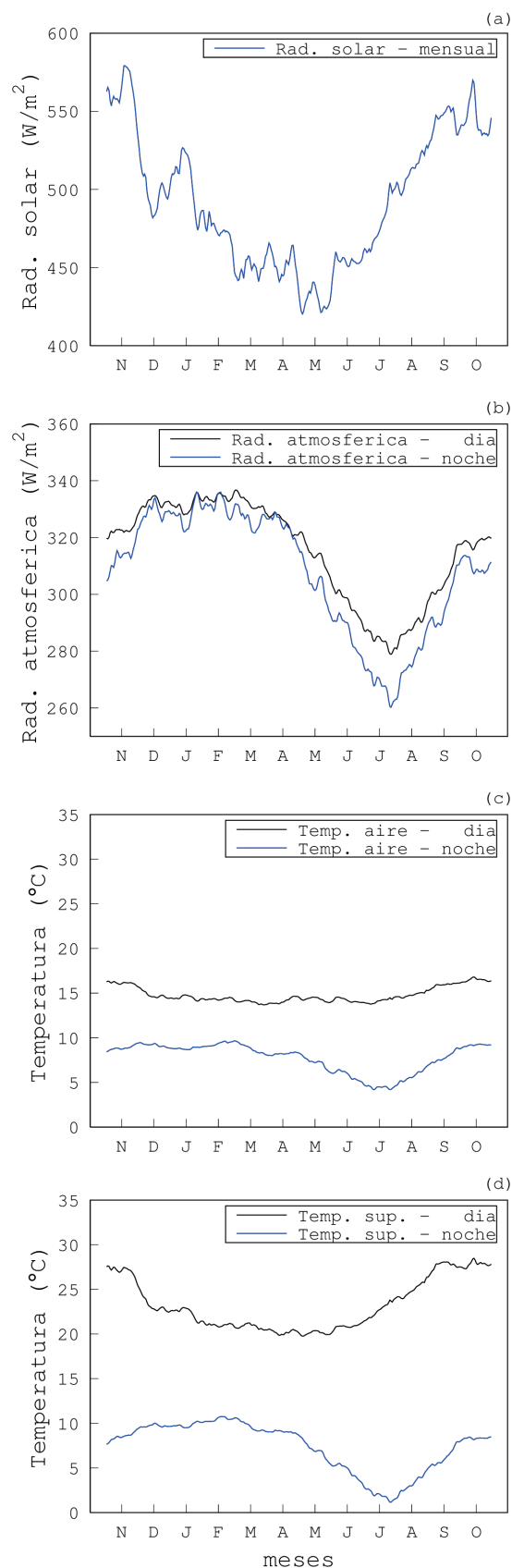


Figura 2. Ciclo estacional de las variables involucradas para el periodo noviembre del 2014-octubre del 2015.

3.1. Ciclo estacional

La estacionalidad de la temperatura del aire durante el día no es muy marcada comparada con la temperatura durante la noche (Figura 2c). Durante el día los valores máximos se presentan entre setiembre y diciembre con valores de 16.5°C aproximadamente, mientras que entre diciembre y julio la temperatura es en promedio constante (15°C). Durante la noche el valor mínimo se presenta en el mes de julio con 4.2°C y el máximo en el mes de febrero con 9.7°C.

En las temperaturas superficiales sí hay una estacionalidad muy marcada tanto de día como de noche (Figura 2d), llegando a valores máximos durante el día entre los meses de setiembre y noviembre con valores aproximados de 28°C. Durante los meses MAMJ la temperatura es casi constante a 22°C. Para la noche la temperatura superficial alcanza un valor máximo en el mes de febrero con un valor de 10.7°C. y el mínimo en el mes de julio con 1.2°C. Además se observa que la estacionalidad de la radiación atmosférica (Figura 2b) es similar a la de las temperaturas durante la noche, paralelamente la estacionalidad de la radiación solar y las temperaturas de día son similares.

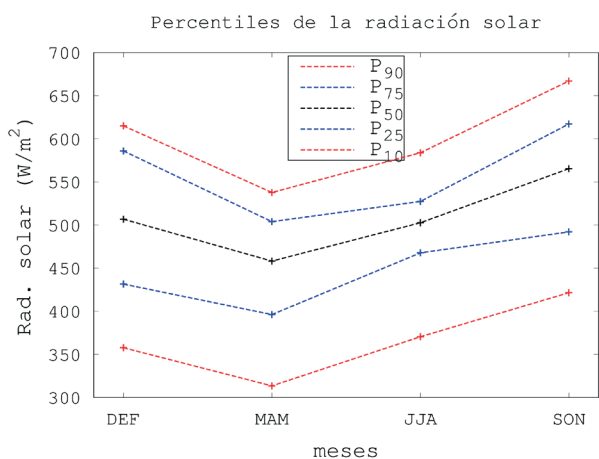


Figura 3. Variabilidad estacional de la radiación solar en el periodo noviembre del 2014-octubre del 2015.

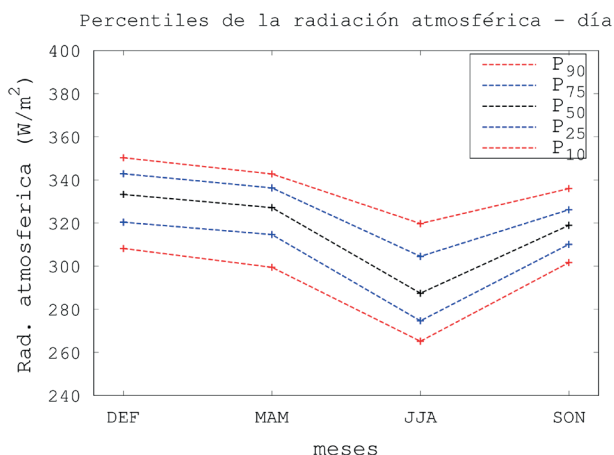


Figura 4. Variabilidad estacional de la radiación atmosférica durante el día para el periodo noviembre del 2014-octubre del 2015.

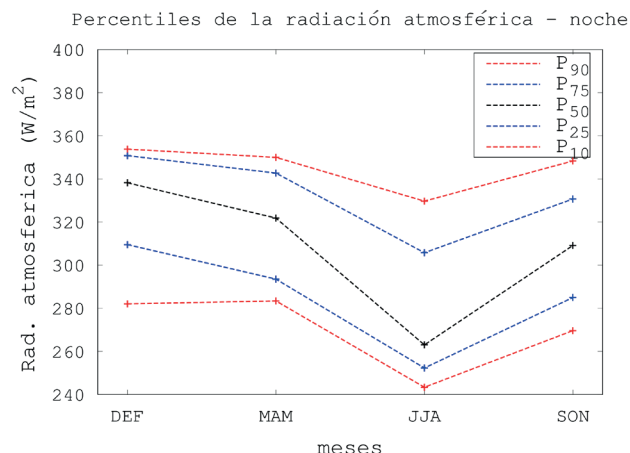


Figura 5. Variabilidad estacional de la radiación atmosférica durante la noche para el periodo noviembre del 2014-octubre del 2015.

3.2. Variabilidad de temperatura y radiación

En las Figuras 3 y 4 se representa la variabilidad de la radiación solar e infrarroja durante las horas del día. Si consideramos el rango intercuartil (IQR), se observa que la radiación solar presenta menor variabilidad cuando la radiación infrarroja presenta más, esto es durante los meses de JJA. Durante los siguientes tres meses (SON), la variabilidad de la radiación infrarroja durante el día es menor que durante los otros meses, mientras que la radiación solar ha aumentado su variabilidad y llega su máximo durante los meses de DEF.

En la Figura 5, durante la noche, observamos claramente que en la época seca (JJA) hay una disminución de radiación infrarroja, a pesar de que el IQR es similar en todas las estaciones. Sin embargo esta disminución es considerable ya que los datos están distribuidos principalmente entre 240 y 270 Wm², lo que indica cielos con menor cobertura nubosa.

La temperatura del aire durante el día parece tener un rango de variabilidad casi constante (Figura 6a) entre 13 y 18°C aproximadamente durante todo el año, aunque durante los meses de SON todos los percentiles aumentan en una unidad. En la temperatura superficial durante el día (Figura 6c), se observa que el IQR permanece casi constante durante todas las estaciones, aunque durante los meses MAM el rango de variabilidad disminuye con el percentil 90 llegando a valores de temperatura menores con respecto a los percentiles de los demás meses.

Por la noche, ambas temperaturas son muy variables durante los meses JJA, pero durante SON y DEF el rango de variabilidad disminuye entre 7 y 10°C aproximadamente para la temperatura del aire (Figura 6b), y entre 5 y 11°C para la temperatura superficial (Figura 6d), esto se debe probablemente a las condiciones cálidas relacionadas con el aumento de nubosidad propias de la estación húmeda.

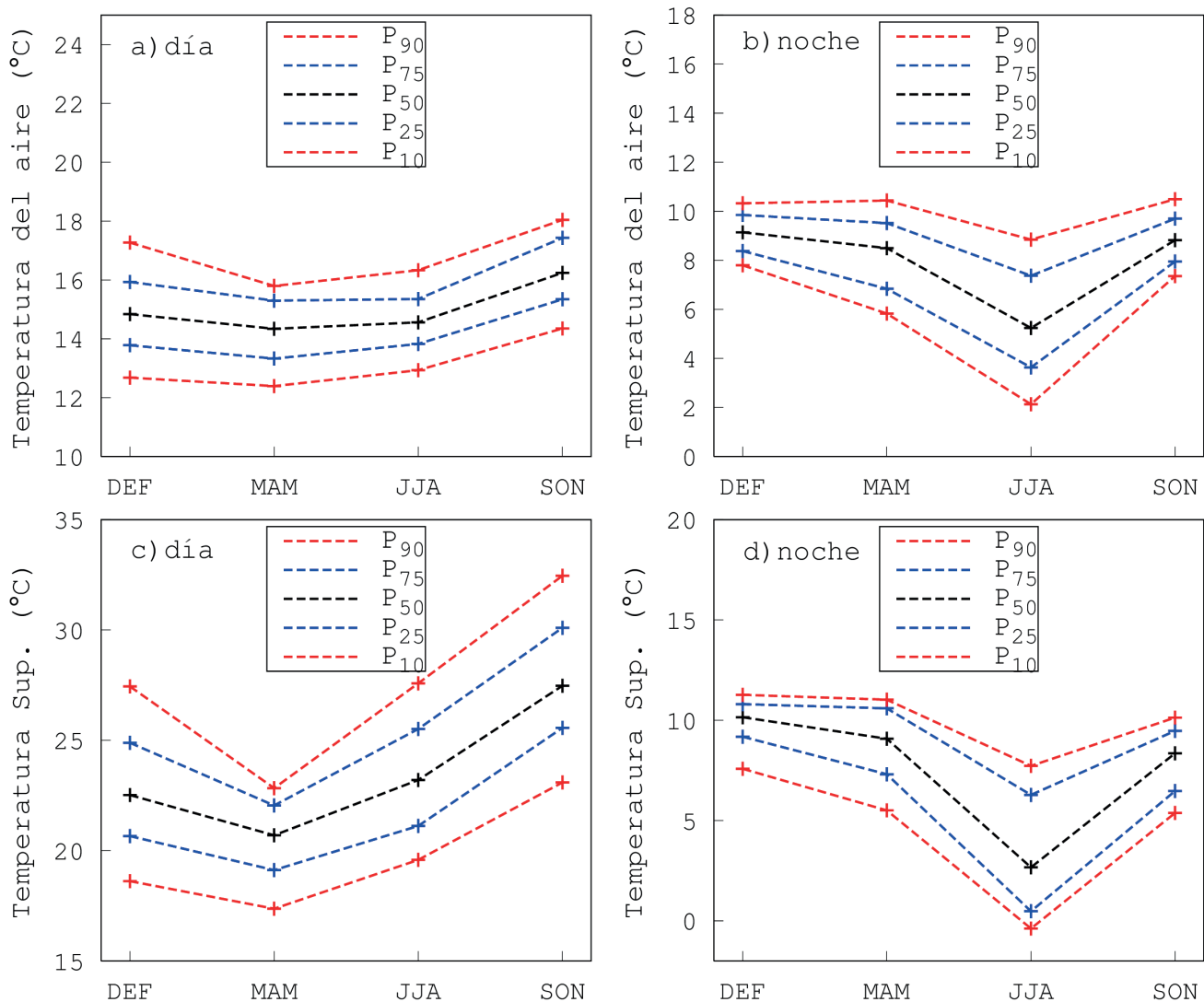


Figura 6. Variabilidad estacional de las temperaturas del aire, de la superficie, durante el día y la noche.

3.3. Análisis de dispersión

En relación con la radiación solar y la temperatura del aire (Figura 7), se observa que las correlaciones son buenas, por encima de 0.65 durante los meses de JJA; mientras que las correlaciones con respecto a las temperaturas superficiales están por encima de 0.82 (en JJA). Estas correlaciones apoyan el hecho de que cuanto más disponibilidad de radiación solar haya durante el día entonces la temperatura superficial aumentará y por ende también la del aire.

En la Figura 8 se observa que las correlaciones entre la radiación atmosférica y la temperatura del aire durante el día tienen una correlación inversa por encima de -0.51 (en MAM) excepto durante los meses de JJA donde prácticamente no hay correlación.

De igual manera con respecto a las temperaturas superficiales los valores de las correlaciones están por encima de -0.46 (en MAM), excepto durante los meses de JJA, el cual tiene un valor de -0.09. Esta correlación inversa obedece al hecho de que mientras más nubes haya durante el día menor será la energía solar que alcanza la superficie terrestre y por tanto menor la temperatura.

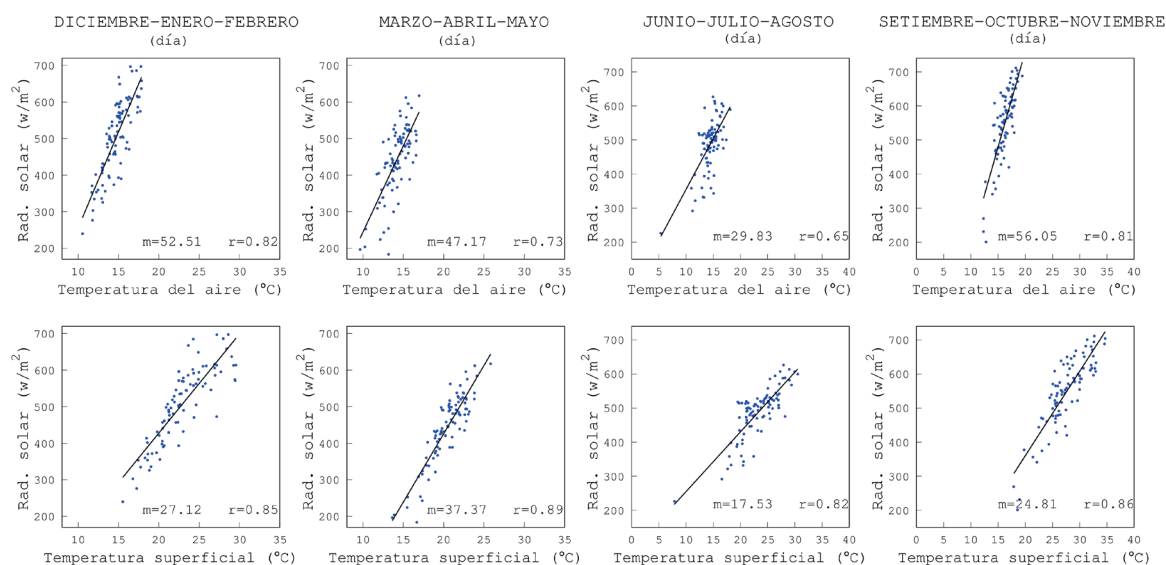


Figura 7. Dispersión de la radiación solar vs las temperaturas en las diferentes estaciones.

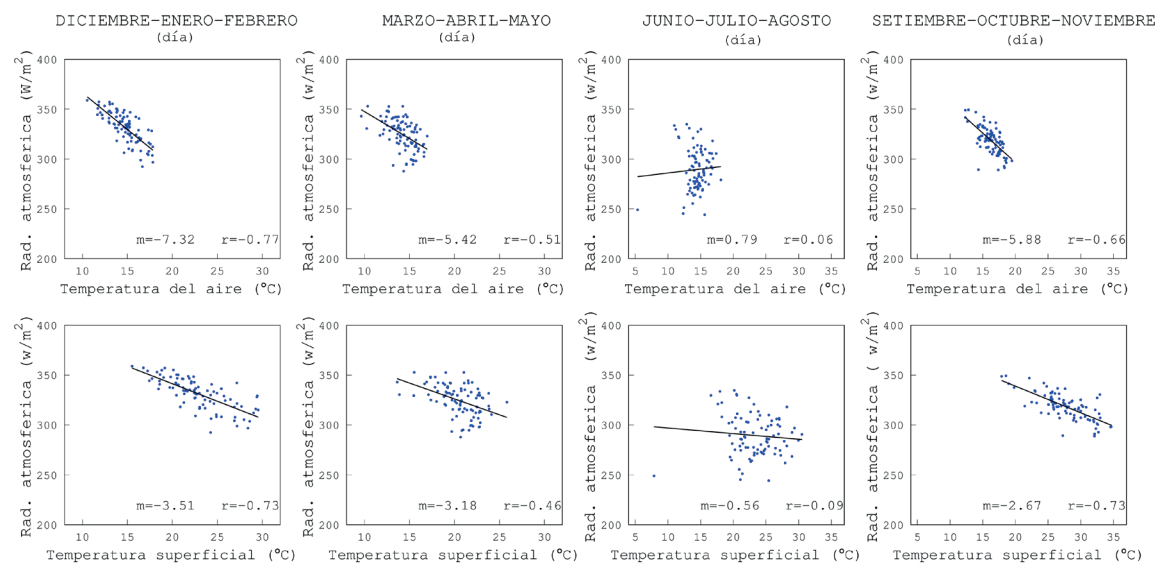


Figura 8. Dispersión de la radiación atmosférica de día vs las temperaturas en las diferentes estaciones.

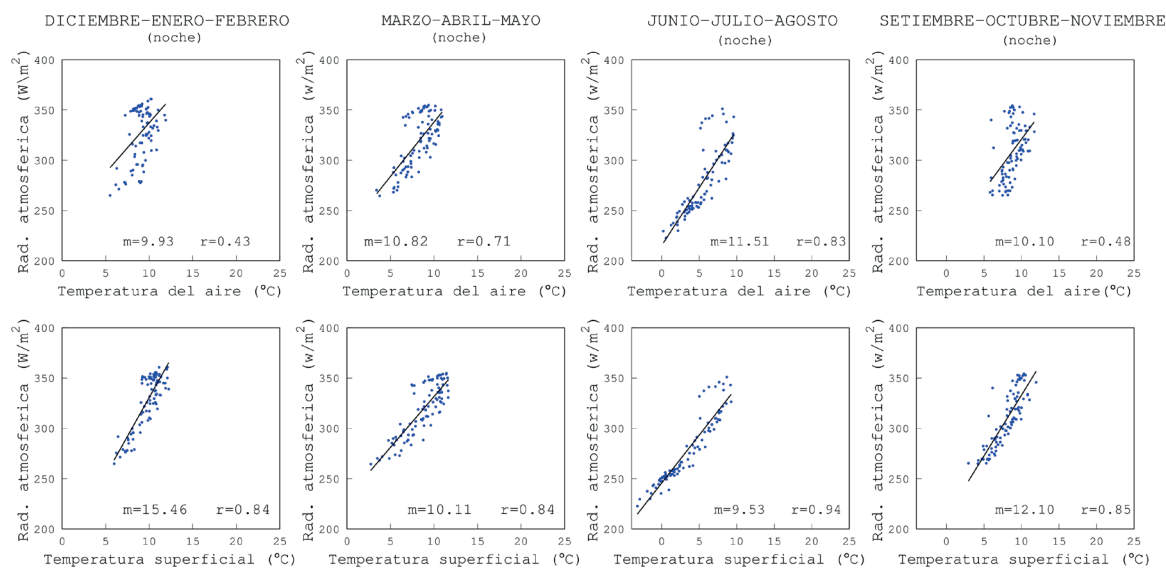


Figura 9. Dispersión de la radiación atmosférica de noche vs las temperaturas en las diferentes estaciones

La correlación entre la radiación atmosférica y las temperaturas superficiales (Figura 9) están por encima de 0.84, mientras que la correlación con la temperatura del aire están por encima de 0.71, excepto durante los meses SON y DEF con 0.48 y 0.43 respectivamente. Esto probablemente obedece a la presencia de lluvias durante esos meses. Cabe resaltar que durante los meses JJA la radiación infrarroja atmosférica y la temperatura superficial tienen un grado de correlación igual a 0.94.

4. Conclusiones

La correlación negativa entre la radiación infrarroja y las temperaturas durante el día indican la presencia de nubosidad, debido a que las nubes no permiten el paso directo de la radiación solar, causando una disminución de la temperatura. Esta correlación negativa existe durante todo el año, excepto durante JJA, donde la poca cobertura de día probablemente permite a la radiación solar ser la principal fuente de energía para elevar la temperatura superficial y del aire.

La radiación infrarroja durante JJA tiene una fuerte influencia sobre las temperaturas solo durante la noche. Esta disminución de radiación ayuda al enfriamiento de la tierra durante la noche, registrándose en algunos casos temperaturas por debajo de cero grados Celsius en esta época del año.

El análisis de las correlaciones nos da una idea somera de lo que ocurre con la energía radiativa, aunque en el proceso quizá intervengan otros factores.

5. Recomendaciones

Se recomienda hacer un análisis de la correlación entre la radiación infrarroja y la radiación solar. Una posibilidad sería cuantificar a grandes rasgos la influencia de la presencia de las nubes sobre la radiación solar que llega a la superficie, es decir la correlación debería ser negativa, y ver que variable influye más sobre las temperaturas.

6. Agradecimientos

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme las facilidades para desarrollar mi tema de tesis.

A la Dra. Yamina Silva Vidal, y al Lic. Miguel Saavedra por el asesoramiento y todo el conocimiento brindado.

Al todo el personal del Observatorio de Huancayo por las facilidades y su colaboración durante nuestra permanencia en el Observatorio.

7. Bibliografía

Arya, S. P. (2001): *Introduction to Micrometeorology*, Academic Press, Volume 79.

Geiger, R., Aron, R. H., and Thounder, P. (2003): *The climate near the ground*, Rowman & Littlefield.

Hartmann, D. L. (1994): *Global Physical Climatology*, Academic Press.

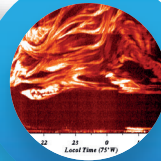
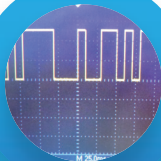
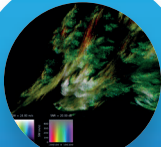
Hillel D. (2004): *Introduction to environmental Soil Physics*, Elsevier/Academic Press.

Liou, K. N. (2002): *An Introduction to Atmospheric Radiation*, Academic Press/Elsevier.

Saavedra, M. (2013): *Caracterización Física de Heladas Radiativas en el Valle del Mantaro*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Tesis de Licenciatura.

Wallace, J., Hobbs, P. (2006): *Atmospheric Science: An Introductory Survey*, Academic Press/Elsevier.

Ciencias de la **Alta Atmósfera y Astronomía**



Sección **03**

ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS PARA LA ESTIMACIÓN DE VIENTOS Y PRECIPITACIÓN DE UN RADAR PERFILADOR DE VIENTOS QUE OPERA EN UHF (RESULTADOS PRELIMINARES)

ANALYSIS AND DATA PROCESSING FOR WIND ESTIMATION AND PRECIPITATION OF A WIND PROFILER RADAR OPERATING IN UHF (PRELIMINARY RESULTS)

Erick Bocanegra Salas

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas
Facultad de Electrónica y Telecomunicaciones
erick.bocanegra@jro.igp.gob.pe

Asesor: Danny Scipión, Ph.D.

Radio Observatorio de Jicamarca - IGP

Resumen

El Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ), sede científica del Instituto Geofísico del Perú, está construyendo un radar perfilador de viento llamado CLAIRE por sus siglas CLear-Air and Rainfall Estimation que opera en la banda UHF a 445MHz. El objetivo de este radar es de estudiar la atmosfera y a través de procesamiento de señales determinar la velocidad de los vientos, su dirección y cuantificar la cantidad de precipitación. Este trabajo describe los pasos para lograr las estimaciones deseadas. Los algoritmos estan desarrollados en lenguaje Python y utiliza Signal Chain, biblioteca que es utilizada para procesar los datos de los distintos radares del ROJ. Finalmente, los resultados deberán ser validados con los radares BLTR para vientos y MIRA-35C para precipitación.

Palabras clave: CLAIRE, signal chain, perfilador de vientos, antena espaciada.

Abstract

The Jicamarca Radio Observatory (JRO), scientific facility of the Geophysical Institute of Peru, is building a wind profiler called CLAIRE CLear-Air and Rainfall Estimation that operates in the UHF band at 445MHz. The objective of this radar is to study the atmosphere and through signal processing determine the speed of the winds, its direction and the amount of precipitation. The present work describes the steps to follow to achieve the final estimates. The algorithms are developed in Python and uses Signal Chain (JRO open source), library that is used to process the data of its different JRO radars. Finally, the results will be validated with BLTR radar for wind and MIRA-35C for precipitation.

Keywords: Keywords: CLAIRE, signal chain, wind profiler, spaced antenna.

1. Introducción

El radar CLAIRE por sus siglas CLear-Air and Rainfall Estimation está en fase de pruebas. Éste es la posible solución ante la carencia de un sistema que permita estudiar las condiciones climáticas instantáneas con alta resolución espacial y temporal para los investigadores del Instituto Geofísico del Perú (IGP).

CLAIRE es un radar perfilador de vientos que opera a una frecuencia de 445MHz, en la banda UHF que es sensible a los ecos de aire claro y precipitación. Este radar está compuesto de un arreglo de antenas transmisoras y tres arreglos de antenas receptoras; su distribución es pseudo monoestática y la configuración de sus antenas receptoras permite la estimación de vientos utilizando la técnica de Antena Espaciada. La señal que analiza CLAIRE es en frecuencia ya que los procesos de vientos y precipitación son aleatorios.

La estimación de las velocidades de vientos en sus tres componentes (zonal, meridional, vertical) es a través del algoritmo de Full Spectral Analysis (FSA) (Briggs and Vincent, 1992). Técnica basada en otro método que usa la correlación entre canales en el dominio del tiempo llamada Full Correlation Analysis (FCA) (Briggs, 1984). Estas técnicas son usadas para radares con antenas espaciadas. Se consideró que CLAIRE opere en frecuencia ya que de esta manera es más simple la discriminación entre los ecos de precipitación y vientos.

2. Desarrollo

2.1. Radar CLAIRE

El radar CLAIRE es un radar del tipo antena espaciada que opera a una frecuencia de 445MHz. Su diseño fue planificado para un radar económico como solución. En la Figura 1, se presenta la arquitectura del radar CLAIRE. Éste presenta una separación entre sus antenas receptoras; la separación entre ellas dependerá de la comparación entre el cruce espectral que se realizará con sus señales en su procesamiento.

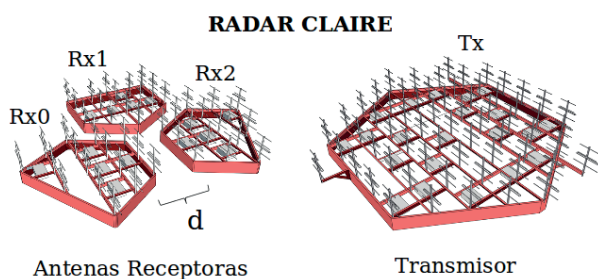


Figura 1. Arquitectura del Radar CLAIRE

Ya que fue diseñado para funcionar en UHF, puede detectar ecos de precipitación y ecos de viento. Estos ecos son visibles porque la longitud de onda λ es más pequeña y se utiliza la aproximación Rayleigh.

El ajuste de doble Gaussiana que se ejecutará sobre la señal adquirida permitirá discriminar el eco de viento y el de precipitación. Porque la precipitación tiene una velocidad mayor que la velocidad vertical del viento, se observaría un desfase mayor en el desplazamiento Doppler del eco de precipitación; mientras que el eco de vientos es próximo a cero. Estos ecos solo podrán distinguirse en espectros; por este motivo, el procesamiento de CLAIRE es en el dominio de la frecuencia.

2.2. Full Spectral Analysis

Esta técnica es descrita con mucho detalle por *Briggs and Vincent* (1992), discutida por *Holdsworth* (1997) y verificada con radares de antena espaciada. El concepto parte de la técnica FCA, establece que contornos de igual correlación espacio temporal pueden ser aproximadas por una familia de elipsoides en una formula general (e.g., *Briggs*, 1984). La arquitectura del radar CLAIRE es explicada por la siguiente ecuación:

$$\rho(\zeta, \eta, \tau) = \rho(A\zeta^2 + B\eta^2 + C\tau^2 + 2H\zeta\eta + 2(F\zeta + G\eta)\tau) \quad (1)$$

Figura 1. Arquitectura del Radar CLAIRE

Donde las variables [A,...,H] son parámetros de las elipsoides. Para trabajar con éstos en el dominio de la frecuencia se tuvo que asumir una función que exprese a esta función de correlación en espacio temporal. Por este motivo, se aprovecha la forma gaussiana de la correlación cruzada obtenida por dos receptores espaciados (i, j) separados con una distancia vectorial (ξ_{ij}, η_{ij}) se les puede aplicar la transformada de Fourier para obtener el CrossSpectra (espectro cruzado). [e.g. *Briggs and Vincent, 1992*]. Donde el valor máximo de la magnitud del CrossSpectra w_{ij} es dado por:

$$W_{ij} = \left(\frac{\pi}{C}\right)^{1/2} \exp - \left[A\xi_{ij}^2 + B\eta_{ij}^2 + 2H\xi_{ij}\eta_{ij} + \frac{(F\xi_{ij} + G\eta_{ij})^2}{C} \right] \quad (2)$$

El e^{-t} del CrossSpectra, denominado ancho medio f_s :

$$f_{ij} = \frac{C^{1/2}}{\pi} \quad (3)$$

La pendiente de fase del espectro cruzado m_{ij} :

$$m_{ij} = -2\pi \left[\frac{F\xi_{ij}}{C} + \frac{G\eta_{ij}}{C} \right] \quad (4)$$

En la Figura 2 se ejemplifica la forma general del espectro cruzado:

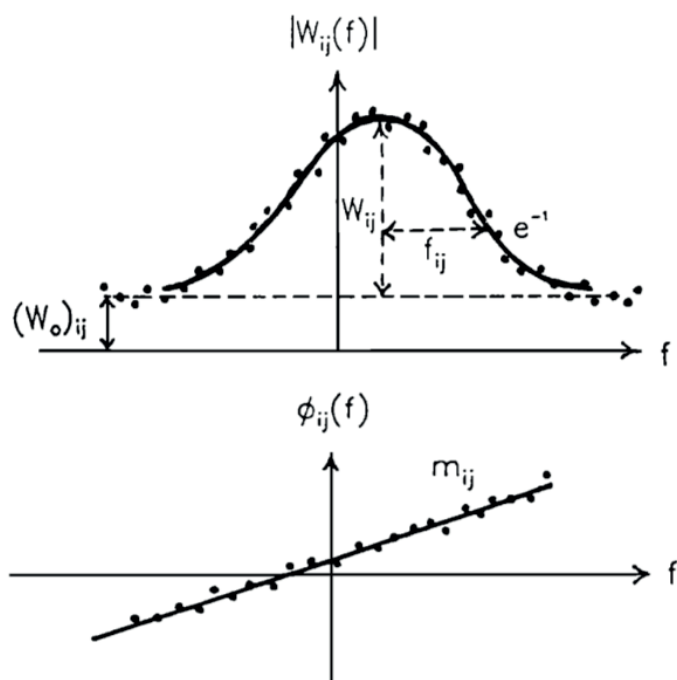


Figura 2. Forma general del espectro cruzado asumido por la técnica FSA. Magnitud (gráfico superior) y fase (gráfico inferior). Fuente: [Briggs and Vincent, 1992]

Como es conocido que existen tres canales de recepción, se pueden obtener tres espectros cruzados y los parámetros de las elipsoides podrán ser hallados por álgebra lineal matricial. Las velocidades horizontales del viento se obtienen a partir de estos parámetros y es explicado en Briggs (1984). A una altura específica se obtendría lo siguiente:

$$AV_x + HV_y = -F, \quad (5)$$

$$HV_x + BV_y = -G, \quad (6)$$

Siendo V_x la velocidad zonal y V_y la velocidad meridional.

Es importante mencionar que estos datos obtenidos del espectro cruzado deberán ser normalizados antes de ser procesados para hallar sus velocidades. El proceso de normalización del espectro cruzado se menciona en Briggs and Vincent (1992):

$$w_o(f) = \frac{S(f)S^*(f)}{\sqrt{\int |S(f)|^2 df \int |S^*(f)|^2 df}} \quad (7)$$

Donde S es la transformada de Fourier obtenida de la señal de un canal, y la comilla indica su conjugada compleja.

Las velocidades verticales se obtienen con el desplazamiento Doppler con la ecuación (8). Éste se adquiere tomando el primer momento.

$$(vs_o + wc_o) \quad (8)$$

Donde vs_o es el vector de velocidad horizontal multiplicado por el seno del ángulo de zenit y Wc_o es la velocidad vertical multiplicado por el coseno del ángulo de zenit.

2.3. Radar BLTR

Se consideró buena idea utilizar un radar perfilador de vientos que trabaje con la técnica de antena espaciada similar a CLAIRE para hacer las pruebas de validación del algoritmo de FSA para estimar la velocidad de los vientos. Los datos que son procesados están en frecuencia y su operadora a 445MHz. El radar BLTR (por sus siglas Boundary Layer and Tropospheric Radar), ubicado en el Observatorio de Huancayo, presenta las siguientes similitudes:

Primero, el radar BLTR es un perfilador de vientos que opera en antena espaciada y cuyos resultados han sido validados. Segundo, BLTR entrega datos en raw data (datos crudos) y en espectro; por lo tanto, el algoritmo FSA puede ser aplicado. Tercero, se tiene mucha información adquirida por este radar en diferentes fechas. Cuarto, el algoritmo que se utilice para procesar datos en espectros del radar BLTR pueden utilizarse con el radar CLAIRE. No obstante, éste radar funciona a una frecuencia de 50MHz. A esta frecuencia la aproximación de Rayleigh no puede ser aplicada ya que longitud de onda es muy grande y las partículas de lluvia no podrían ser detectadas. (Atlas, Srivastava y Sekhon, 1973).

En consecuencia, el eco de precipitación no sería observado por este radar. Para validar el algoritmo que calcule la precipitación será necesario las primeras pruebas con CLAIRE, realizar el ajuste Gaussiano entre estos ecos y validar la precipitación con el radar MIRA35-C. Éste es un radar meteorológico que funciona a una frecuencia de 35GHz, y puede medir la precipitación. Estos resultados validarán el cálculo obtenido por el algoritmo del procesamiento de CLAIRE para la precipitación.

Debido a que el radar BLTR concede que la validación del algoritmo FSA, los primeros resultados de este proyecto fueron procesando datos del radar BLTR. A continuación los primeros resultados con este algoritmo de procesamiento.

3. Resultados

En el Radio Observatorio de Jicamarca se procesan los datos de sus radares en Signal Chain; una biblioteca desarrollada en el mismo Radio Observatorio. Esta biblioteca permite estandarizar el procesamiento de diferentes radares, sus resultados son visualizados por unidades de procesamiento de esta biblioteca en lenguaje Python.

3.1. Espectro (Self Spectra)

El primer paso para procesar los datos en el dominio de la frecuencia brindados por el radar BLTR, es poder mostrar el espectro de un canal como es mostrada en la Figura 3. La Figura 4 muestra el RTI (Range Time Intensity) del radar tomados el día 24 de noviembre del 2016, donde se observa la intensidad de los vientos en los rangos de altura de 0 a 4000 metros sobre el radar.

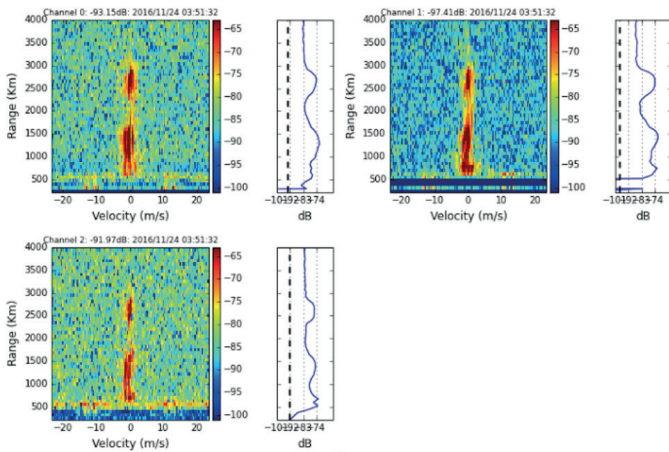


Figura 3. Gráficos de espectro (Self-Spectra) en sus 3 canales del radar BLTR. Datos tomados en noviembre del 2016.

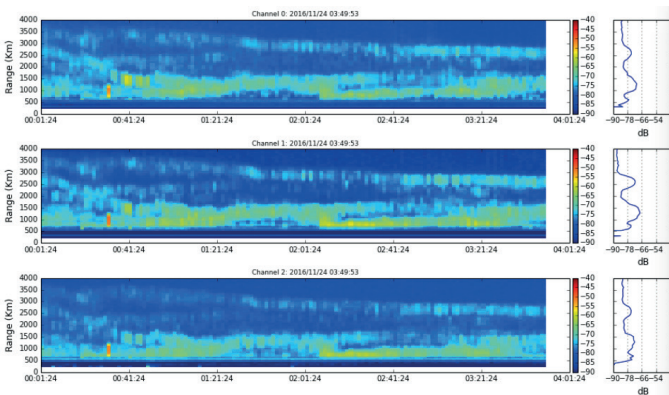


Figura 4. Gráficos del RTI en sus 3 canales del radar BLTR tomados el 24 de noviembre del 2016.

3.2. Espectro cruzado (Cross Spectra)

Una vez procesados los datos obtenidos en espectros del radar BLTR, se hizo un cruce de espectros entre los tres canales (CrossSpectra). La Figura 5, muestra en la parte izquierda los espectros (SelfSpectras) y en la parte derecha se muestran la magnitud y fase del espectro cruzado. La gráfica de magnitud presenta las zonas donde el par de canales cruzados son más semejantes y su gráfica de fase muestra la variación que ocurre entre canal y canal, esta variación se observa en los colores en un arreglo de altura determinada. El rango de alturas parte desde los 225 metros hasta los 10 kilómetros.

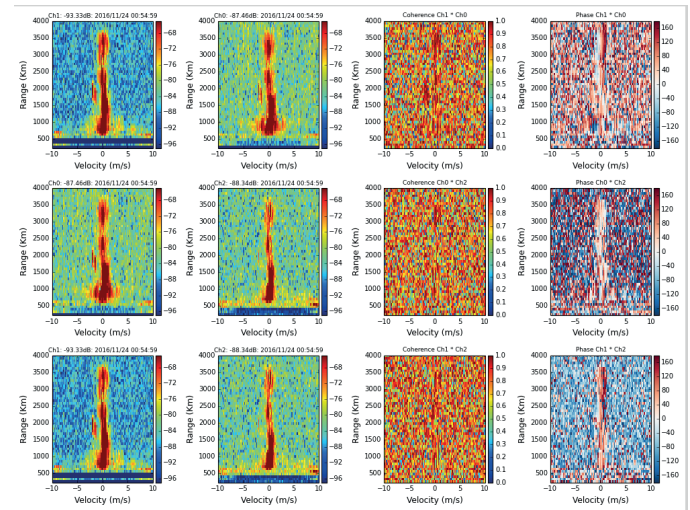


Figura 5. Gráfica del espectro cruzado (CrossSpectra) en sus 3 pares de canales del radar BLTR. Datos tomados el 24 de noviembre de 2016.

3.3. Velocidades en FSA

Para obtener las velocidades horizontales por la técnica de Full Spectral Analysis, es necesario tomar cada arreglo de altura y realizar un suavizado ya que éste presenta mucho ruido. Como se muestra en la Figura 6. Luego se deberá hacer un ajuste Gaussiano para ser procesados de una manera más práctica. Este ajuste Gaussiano deberá ser producido por el espectro promediado de los tres canales de recepción. En la Figura 7 se muestra este ajuste. El suavizado fue hecho con la técnica de promediación en movimiento.

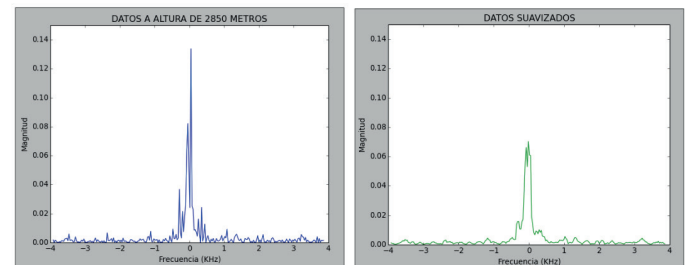


Figura 6. Gráfica de magnitud vs frecuencia del espectro de un canal a una altura de 2850 metros sobre el radar BLTR.

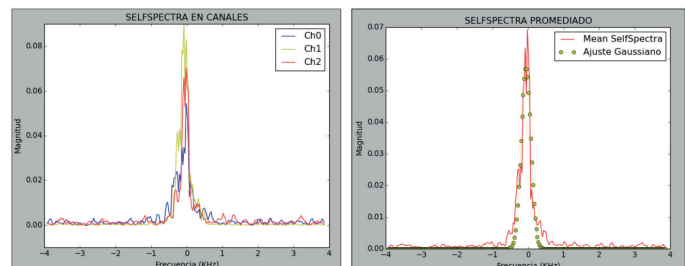


Figura 7. Promediación de los tres canales de espectros para su posterior ajuste Gaussiano a una altura de 2850 metros sobre el radar BLTR.

Para el procesamiento por FSA se debe contar con los valores de las distancias físicas entre los receptores \mathcal{E}_{ij} , u_{ij} , el desfaseamiento Doppler para obtener la velocidad vertical del viento, el ancho e^{-1} que se obtiene del espectro promediado, el valor máximo u_{ij} que se obtiene del espectro cruzado de dos canales y la pendiente de fase m_{ij} .

La pendiente de fase se obtiene por una dispersión lineal dentro de la Gaussiana. En la Figura 8 se muestra un ejemplo realizado de la fase del espectro cruzado de los canales [0,1] donde el ajuste Gaussiano se encontraba entre los [-0.7:0.5]KHz a una altura de 3200 metros.

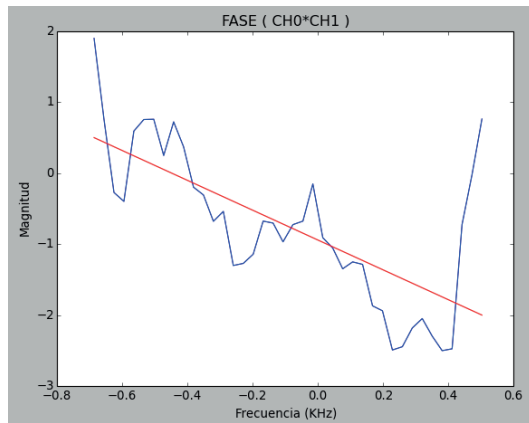


Figura 8. Regresión lineal para obtener la pendiente de fase en el espectro cruzado de dos canales de una altura determinada del radar BLTR.

Una vez aplicados los valores obtenidos por los espectros, espectros cruzados y los datos físicos del radar, se pueden obtener los parámetros de las elipsoides [A,...,H] mencionadas en (1). Finalmente obtener las velocidades en sus tres dimensiones (zonal, meridional y vertical) con (5), (6) y (8).

Una vez obtenidas las velocidades, en sus tres dimensiones, éstas son graficadas por Signal Chain y los primeros resultados son mostrados en la Figura 9; además estos valores son comparados con los resultados validados por el radar BLTR en la Figura 10. La explicación de los resultados mostrados en las siguientes figuras son detalladas en la sección 5 y 6.

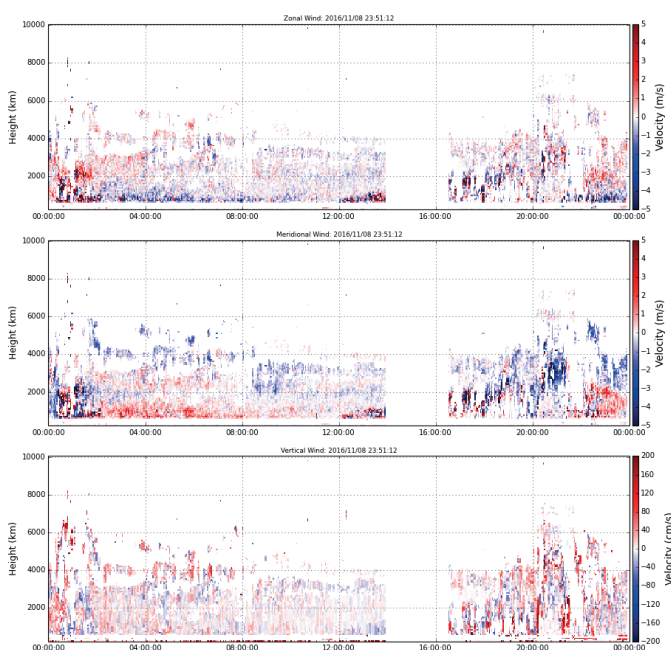


Figura 9. Resultado del procesamiento con FSA para adquirir las velocidades de viento del radar BLTR con datos tomados el día 8 de noviembre de 2016.

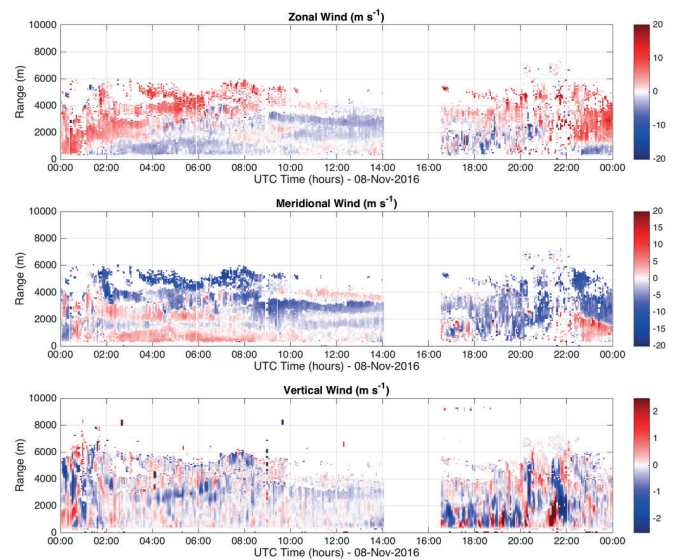


Figura 10. Resultados del procesamiento que el radar perfilador de vientos BLTR del Observatorio de Huancayo. Datos tomados el día 8 de noviembre de 2016.

4. Discusión

La técnica de Full Spectral Analysis tiene otros métodos desarrollados por diferentes autores. Holdsworth menciona algunos de ellos y los denomina según sus autores: Briggs and Vincent (1992) (BVFSA), Liu and Pan (1993) (LPFSA) basado en Briggs (1984), Sheppard and Larsen [1992] (SLFSA) basado en el FCA de Meek (1980) que produce resultados muy similares al FCA de Briggs (1984). (Holdsworth, 1997). La técnica que se utiliza en este proyecto es la de Briggs y Vincent (1992) ya que es la más fiel a su técnica original.

Los resultados del algoritmo de FSA es inferior a los resultados obtenidos del procesamiento comercial del radar BLTR. Para la estimación de los vientos presentan similitud respecto a su dirección; sin embargo, los resultados no fueron favorables respecto a la magnitud del viento. Es posible que BLTR utilice una variación en su procesamiento.

5. Conclusiones y recomendaciones

Respecto a los resultados oficiales brindados por el procesamiento interno que realiza el radar BLTR de Huancayo y los primeros resultados obtenidos por el algoritmo con la técnica FSA se indica lo siguiente:

- Los datos en frecuencia que fueron tomados tuvieron una resolución de 256 puntos por muestra, las condiciones para filtrar el ruido generaron pérdida de señal que no se observa en el resultado final.
- Los valores de la velocidad vertical se presentan próximos, la magnitud de estos aún no es exacta, pero se observa un notable parecido.

- El Observatorio de Huancayo presenta el clima más indicado para realizar estas pruebas.

6. Trabajos futuros

Aún es necesario hacer pruebas con el radar CLAIRE, el objetivo es procesar con sus datos. Los primeros resultados con este radar deberán ser comparados con los resultados del radar BLTR y con estos obtener una mejor comparación con respecto a la técnica y el algoritmo de procesamiento.

La causa de las diferencias entre las magnitudes en los resultados de las velocidades aún debe ser investigada.

El ajuste de doble Gaussiana, será el primer objetivo para discriminar y posteriormente procesar los ecos de viento y precipitación.

La estimación de la precipitación se realizará con los datos de CLAIRE y sus resultados serán comparados con el radar MIRA-35C.

7. Agradecimientos

Se agradece al Instituto Geofísico del Perú que dio inicio a este proyecto, al equipo del Radio Observatorio de Jicamarca que diseñó, desarrolló e implementó el proyecto de Radar UHF.

Así mismo al Dr. Danny Scipión, a los ingenieros Julio Oscanoa y Christian Castillo que encaminaron el proyecto. Además del grupo de técnicos del Radio Observatorio de Jicamarca que de alguna manera apoyaron en la implementación del mismo.

8. Bibliografía

Briggs, B.H. (1984): The analysis of spaced sensor records by correlation techniques. Adelaide, Australia: Handbook for MAP, volume 13, 166-185.

Briggs, B.H. y Vincent, R.A. (1992): Spaced-antenna analysis in the frequency domain. Adelaide, Australia: Radio Science, volume 27, 117-129.

Atlas, D.; Srivastava, R.C. y Sekhon, R.S. (1973): Doppler Radar Characteristics of Precipitation at Vertical Incidence. University of Chicago, Reviews of Geophysics and Space Physics, volume 11, 1-35.

Holdsworth, D. A. (1997): An investigation of biases in the full spectral analysis technique. Adelaide, Australia: Radio Science, volume 32, 769-782.

Vincent, R.A, May, P.T; Hocking, W. K.; Elford, W. G., Candy, B. H.; Briggs, B. H. (1987): First results with the adelaide VHF radar: spaced antenna studies of tropospheric winds. Adelaide, Australia: Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, volume 49, 353-366.

Doviak, R.J. y Zrnic, R. (1993): Doppler radar and weather observations. 2nd ed., San Diego, Academic Press.

DESARROLLO DE GENERADOR DE SEÑALES DE CLOCK PROGRAMABLE POR WEB

DEVELOPMENT OF WEB-PROGRAMMABLE CLOCK SIGNAL GENERATOR

Giancarlo Patiño Ortega
Universidad de Ingeniería y Tecnología
Facultad de Electrónica
giancarlo.patino@utec.edu.pe

Asesor: Ing. Joaquín Verástegui
Radio Observatorio de Jicamarca - IGP

Resumen

Sincronizar varios dispositivos de radar desde una interfaz web precisa integrar varias herramientas de configuración de hardware, a esta interfaz se le conoce como Sistema integrado de Radar, el cual a través del sistema diseñado y desarrollado en el documento a continuación, permite sincronizar las señales de reloj generadas desde un circuito integrado específico. El cual las adapta tanto entrada como salidas a través del arreglo de componentes electrónicos propuesto y los protocolos físicos a usar. A nivel de programación permite su configuración a través de comandos REST actuando como un servidor local que se comunica a través de mensajes con formato JSON.

Palabras clave: Interfaz web, sistema integrado de radar, generador de clock, comando REST, configurar señales.

Abstract

Synchronizing several radar devices from a web interface needs to integrate various hardware configuration tools, this interface is known as Integrated Radar System, which through the system designed and developed in the document below, allows to synchronize the signals of Clock generated from a specific integrated circuit. Which adapts both input and output through the arrangement of proposed electronic components and physical protocols to use. At the programming level it allows its configuration through REST commands acting as a local server that communicates through messages with JSON format.

Keywords: Web interface, integrated radar system, clock generator, REST commands, signal configuration.

1. Introducción

Periódicamente se realizan experimentos con los distintos radares del Radio Observatorio de Jicamarca, sede del Instituto Geofísico del Perú. Cada uno precisa de cierta configuración tanto de funcionamiento, arreglo de emisores/receptores y sincronización con componentes internos y externos. Desde hace ya un tiempo se viene desarrollando una tecnología para estandarizar los procesos de configuración y poder realizarlos remotamente, y es como se da a conocer el Sistema Integrado de Radar (SIR) el cual viene a ser una especie de servidor con interfaz web a la cual se conectan distintos dispositivos de los radares y usuarios, quienes están encargados de su configuración y monitoreo.

Cada uno de los radares opera con relojes de distintas frecuencias, cada uno obtenido de una onda cuadrada de reloj externo, sincronizados comúnmente a través de GPS, obteniendo valores de 10 MHz y 60 MHz aproximadamente. Por lo cual uno de los objetivos del proyecto es generar ocho señales de reloj independientes para cada uno de los sistemas a sincronizar, permitiendo realizar la configuración adecuada en el SIR, el cual se comunica con el generador de reloj a través de mensajes REST sobre un protocolo Ethernet con formato HTTP, donde el sistema generador actúa como un servidor remoto que recibe solicitudes del SIR.

Implementar este generador de reloj consta de dos piezas clave. Tiva Launchpad es una tarjeta de evaluación y prototipado rápido similar a un

Arduino, pudiendo incluso usar las librerías de éste, con la diferencia de tener más periféricos conectados y velocidad de procesamiento, siendo la primera pieza clave su integración con el módulo Ethernet y conector RJ45. Esta tarjeta también integra módulos de circuitos inter-integrados (I2C por sus siglas en inglés) para controlar la segunda pieza clave de la implementación, el generador de reloj Si5351C el cual ha de ser montado en la placa de circuito impresa, la cual fue desarrollada en paralelo al proyecto (Figura 1).

El dispositivo desarrollado tiene las siguientes funciones:

- Configurar ocho canales de reloj de onda cuadrada independientes.
- Configurar el generador de reloj vía Ethernet bajo protocolo HTTP y USB serial.
- Programación mediante comandos de Transferencia de estado representacional (o REST por sus siglas en inglés) con el SIR.
- Sincronización con reloj interno del integrado o reloj externo de referencia.
- Sincronizar los canales de salida con una referencia de entrada externa.
- Mostrar información del sistema y parámetros de red en LCD.
- Adaptación de señales mediante shield desarrollado.

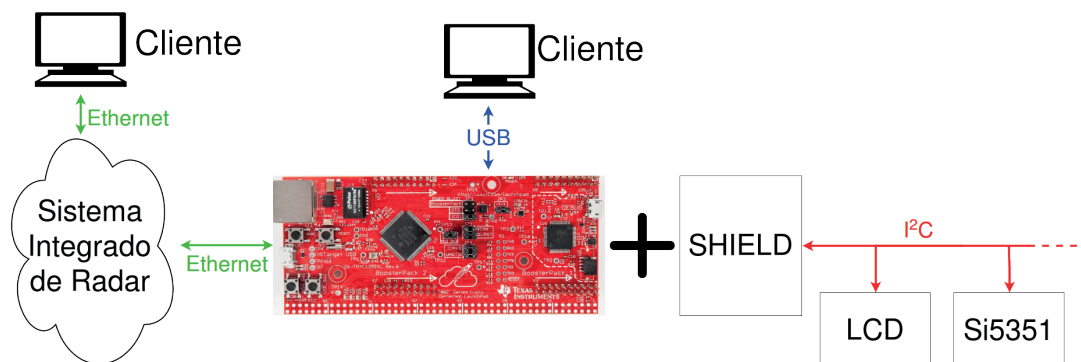


Figura 1. Esquema general del sistema generador de clock programable por Web.

2. Métodos

2.1. Generador basado en Tiva Launchpad TM4C129XL

Debido a la facilidad de desarrollo se usa una tarjeta de evaluación Tiva Connected Launchpad de Texas Instruments, la cual presenta las siguientes características:

- Procesador ARM Cortex M4F de 32 bits y 120 MHz.
- Conectividad Ethernet integrada con Ethernet MAC 10/100
- Extensión I/O a través de 4 conjuntos de 20 pines
- Módulos I2C
- ALIMENTACION 5V

Es clave la integración con el puerto de conexión Ethernet, ya que el proyecto busca tener todos los dispositivos conectados a una misma red usando este estándar físico. A través del cual se enviarán mensajes con protocolo HTTP usando la arquitectura REST (Representational State Transfer).

La adaptación de señales provenientes del generador de reloj se da mediante una tarjeta que va puesta sobre dos conjuntos de pines I/O utilizando un módulo I2C y alimentación a 5v.

2.1.1. REST API

La interfaz de programación de aplicación (API) con arquitectura REST permite configurar el generador de reloj.

Existen varios comandos HTTP dirigidos a una URL,

- Tipo GET. permite al usuario extraer información sobre el estado de cada una de las salidas del generador de reloj, o las frecuencias que se están generando en ese momento. El servidor implementa dos comandos GET.

Status: devuelve el estado de cada una de las salidas, si está habilitado o no.

Read: devuelve el valor de las frecuencias en cada una de las salidas, las cuales se actualizan cada vez que un comando de configuración de canal es ejecutado.

Método POST. A diferencia de GET donde el servidor solo envía data, POST permite enviar datos al servidor, con la finalidad de realizar cambios en la configuración.

- Lo más importante para el desarrollo del proyecto es configurar las frecuencias de los distintos canales disponibles, los cuales deben modificar la frecuencia y resolver si están en estado habilitado o deshabilitado. Por lo cual el código a continuación modifica parámetros en los registros del integrado generador de reloj
- Otra configuración a realizar a partir de comandos REST - POST en el servidor es cambiar los parámetros de red remotamente, haciendo el sistema mucho más flexible y modular.
- Se menciona a lo largo del documento la sincronización que precede en el generador de reloj, el cual es configurado con el código a continuación, donde el comando REST solicita cambiar entre reloj de referencia interno o externo.

2.1.2. Generador de reloj

Para generar los ocho canales de frecuencia independiente se usa el circuito integrado si5351C fabricado por Silicon Labs, Su rango para generar ondas de reloj cuadradas oscila entre 2.5 KHz y 200 MHz usando registros de multiplicadores y divisores, evitando así el manejo de decimales. La referencia de entrada es obtenida configurando dos PLL (Phase Locked-Loop) con frecuencias de 25 y 27 Mhz respectivamente, siendo ambos un reloj interno de referencia, Este IC permite una señal de referencia externa, para así sincronizar el dispositivo en sus salidas.

La comunicación la lleva a cabo sobre un protocolo físico I2C donde su dirección en modo esclavo es 0x6a.

En la Figura 2 se observa que CLK0, CLK1, CLK2, CLK3, CLK4, CLK5, CLK6 y CLK7 son salidas independientes de reloj. Todas se sincronizan con una entrada externa con etiqueta CLKIN para cada PLL interno en caso se seleccione el modo de reloj externo. SCL y SDA son los puertos de comunicación I2C y finalmente se tiene un pin de alimentación por cada dos canales de reloj.

El modo de operación del integrado está basado en multiplicación y división de valores en registro. La fórmula que usa para generar una determinada frecuencia es:

$$f = (\llbracket PLL \rrbracket _mult * 25MHz) / Divider$$

Donde el multiplicador PLLmult es un valor entero que multiplica la frecuencia del registro, tomando valores entre 15 y 90. 25MHz hacen referencia a la frecuencia del PLL del circuito integrado y finalmente Divider es otro entero positivo que realiza la última

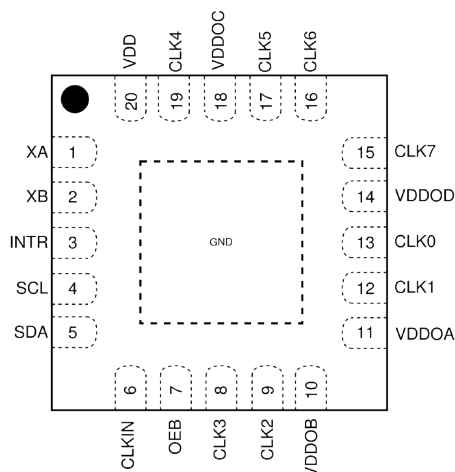


Figura 2. Mapa de pines del Circuito integrado Si5351C

división antes de la salida definitiva del circuito integrado.

Se establece una frecuencia fija en 900 MHz a 3.3v pico a pico, el cual permite recrear las señales de onda cuadrada a las salidas del generador de reloj.

2.1.3. Información en LCD

El LCD es un NHD-C0220BiZ-FSW-FBW-3V3m que posee un módulo LCD Chip On Glass con controlador ST7036 de 20 columnas y 2 filas. Todo el sistema necesita mostrar información in situ (donde se instalará el generador de reloj) como por ejemplo datos de red: dirección IP, puerta de enlace, máscara de subred. Y también información del sistema, si esta activo o no. Por lo que se generó una librería en C, la cual contiene los comandos listados a continuación:

- Begin() configuración de inicio.
- Position(row, col) Configuración de la posición del puntero.
- put_Num(number) coloca en pantalla valores de 0 a 255.
- Text(char) imprime texto en pantalla.

2.1.4. Circuito adaptador

Para empezar el listado, el medio físico a usar, tanto para las pruebas de concepto como para la implementación final, debe ser el adecuado según las especificaciones de los circuitos a conectar, se considera aquí las conexiones para los dispositivos de radar y la entrada de señal de sincronización.

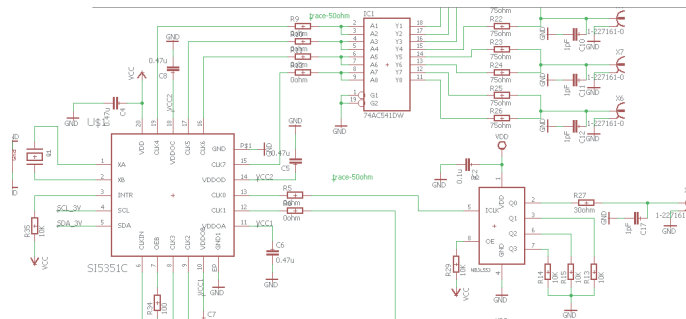


Figura 3. Circuito esquemático

3. Resultados

Ya que se distingue el desarrollo de hardware de adaptación física, y el software para procesamiento de solicitudes a servidor, configuración de sistema y monitoreo de estado general del mismo.

3.1. Hardware

Considérese el desarrollo de la tarjeta de adaptación y las señales generadas como resultado del hardware. ambos presentan las características solicitadas como requerimientos durante el planteamiento de objetivos del proyecto al inicio de la investigación, desarrollo e implementación del sistema generador de reloj.

3.1.5. Shield para Tiva

Una gran ventaja de usar componentes con tecnología de montaje superficial (SMD) radica en el volumen reducido que requieren. por lo que al ser un shield que va sobre la tarjeta de evaluación a un centímetro de distancia de separación. permite la ubicación de componentes en ambas capas. reduciendo su expansión en área.

Se establecieron límites para la separación entre pistas, vías y agujeros donde el tamaño mínimo no es menor a 12 mil de separación. Los circuitos de la Figura 4 corresponden a la placa o shield que se conectará directamente a dos conjuntos de pines de expansión I/O de la Tiva.

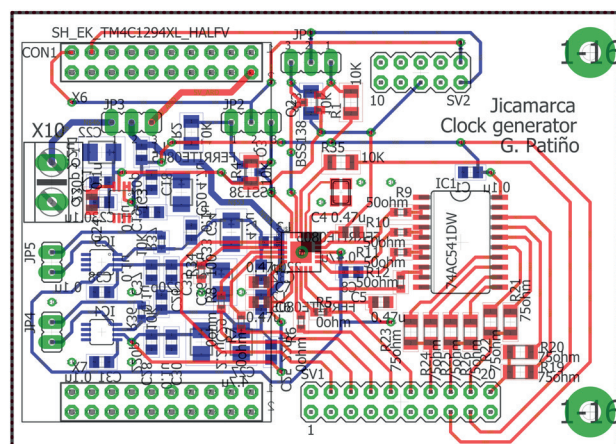


Figura 4. Diseño de circuito de shield

Como se observa en la Figura 4 de color rojo, se observa la capa superior de la placa, allí se encuentran los circuitos de comunicación I2C, entradas y salidas de señales de reloj y alimentación del IC. De color azul, se observa la capa inferior, la cual contiene tres módulos para regular el voltaje de alimentación de 5v a 3.3v. Todos a través de un arreglo de resistencias y capacitores. En la parte superior se observa componentes para la adaptación de la señal I2C.

Los circuitos de la Figura 5 corresponden a la placa de expansión del shield, el cual conecta las salidas de los relojes del IC Si5351 a los circuitos adaptadores de reloj y conectores BNC de salida final del sistema generador de reloj.

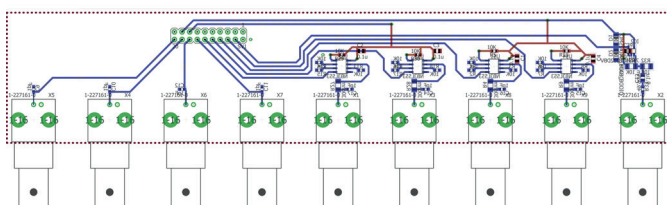


Figura 5. Diseño de circuito de extensión

De la Figura 5, se observa la utilización de líneas de alimentación para los circuitos integrados controladores de reloj en la capa superior. Mientras en el reverso se encuentran todas las líneas de transmisión de reloj provenientes de la placa shield que va directamente conectada a la tarjeta de evaluación.

3.1.6. Señales generadas

El generador puede alcanzar señales desde 3 MHz hasta 60 MHz estables. comprobadas con una carga de 50 ohm para adaptar la señal de la tarjeta Adafruit usada durante las pruebas de funcionamiento.

En la Figura 6 se muestran 3 señales de 15MHz (amarillo) 30MHz (azul) y 60 MHz (verde) las cuales funcionan independientemente de las otras. Estas

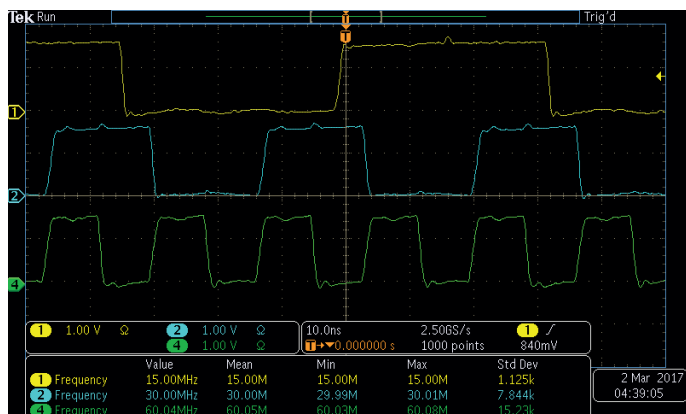


Figura 7. Tres canales de señal generadas desde el sistema

señales se obtienen del PLL de 25MHz multiplicado por un número entero igual a 36 obteniendo una señal de 900MHz, la cual se divide con otro entero igual a 15, obteniendo así 60 MHz.

3.2. Software

3.2.7. Servidor REST

Los comandos HTTP enviados sobre la arquitectura REST se comprobaron usando “Postman” y “Advanced REST” los cuales son programas cliente que envían y reciben información sobre el protocolo HTTP.

Tabla 1 Comandos REST

Type	URL	Send	Receive
GET	Status	JSON	-
	Read	JSON	-
POST	Frequency	JSON	JSON
	Start	JSON	-
	Stop	JSON	-
	Reset	JSON	-
	Change IP	JSON	JSON
	External Clock	JSON	JSON

Según la Tabla 1, las URL “Frequency”, “Change IP” y “External Clock” son las únicas que reciben datos de configuración. Todos los demás envían datos en formato JSON, un mensaje de error o confirmación.

4. Discusión

Se observa en las imágenes de osciloscopio un rizado durante la alta o baja de voltaje, debido a la señal de reloj no adaptada mediante un correcto circuito RC (resistencia + capacitor), el cual evita el efecto y los problemas que se puedan ocasionar debido a éste.

5. Conclusiones

Se llegó a diseñar la placa que conforma el shield para la tarjeta de evaluación Tiva, más no se implementó debido al tiempo que demora importar los componentes necesarios.

Todos los resultados se basan en una tarjeta de evaluación con un equivalente del circuito integrado Si5351, alcanzando frecuencias en el rango de 3 MHz hasta 60 MHz probadas con un osciloscopio de mayor rango de funcionamiento.

La configuración del sistema se realiza desde una interfaz Web, comunicada a través de mensajes JSON sobre el protocolo HTTP, la cual permite montar el sistema dentro de una red de área local.

Información sensible que se pierde durante un corte de energía u otro percance, se reestablece debido a la escritura en EEPROM instalada en el módulo

6. Recomendaciones

Tener en cuenta la relación de resistencias, tanto en el osciloscopio, como en el circuito.

De acuerdo a la cantidad de corriente que circula por un circuito se establece el tamaño de área cubierta por material conductor a usar.

7. Agradecimientos

Al Radio Observatorio de Jicamarca por brindarme las facilidades para desarrollar mi proyecto.

Al Ing. Joaquín Verástegui, por estar a cargo de mi proyecto en el Radio Observatorio de Jicamarca.

8. Bibliografía

Texas instruments (2014): Tiva C series TM4C1294 connected Launchpad Evaluation Kit, Rev.1, Texas instruments Inc., Dallas, Texas.

Silicon Labs (2015): I2C-Programable Any-Frequency CMOS Clock Generator + VCXO, Rev.1.0, Silicon Laboratories Inc. Austin, Texas.

Newheaven (2014): COG character LCD module, Rev.4.0, Newheaven display Inc. Elgin, Illinois.

L. Ada (2016): Adafruit Si5351 Clock Generator Breakout, Adafruit Industries.

DESARROLLO DE UNA INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN DE APLICACIÓN (API REST) PARA EL DDS-AD9854

DEVELOPING OF AN APPLICATION PROGRAM INTERFACE (API REST) FOR DDS-AD984

Jose Avalos Villa

Universidad de Ingeniería y Tecnología – UTEC
Facultad de Ingeniería Electrónica
jose.avalos@utec.edu.pe

Asesor: Ing. Juan Carlos Espinoza

Radio Observatorio de Jicamarca - IGP

Resumen

Entre los componentes de un radar, se ubica el generador de señal RF, el cual es controlado por el hardware DDS. En base a ello, el siguiente trabajo tiene como objetivo mostrar el desarrollo y funcionamiento de una API REST que permita al usuario controlar el funcionamiento del DDS-AD9854 a través del envío de mensajes tipo JSON. Esto con el fin de uniformizar la comunicación (envío y recepción de información) de todos los componentes que conforman el radar principal de ROJ.

Para ello se ha empleado el microcontrolador Tiva TM4C129 que permite; la comunicación por ethernet, para envío y recepción de mensajes del usuario; la comunicación por SPI, que permite la escritura en los registros DDS; y complementariamente la comunicación por I2C, empleada para la visualización del estado del DDS mediante un LCD. Las pruebas realizadas demostraron una alta precisión en el orden de Mhz con error menor a 5 hz.

Palabras clave: DDS, RF, API, SPI, I2C, mensaje JSON, Sistema Integrado de Radar.

Abstract

Among the sections of a radar, is located the RF signal generation, controlled by the DDS hardware. This work demonstrates the development and operation process of a API REST that allows to user control the DDS-AD9854 mode operation using JSON messages. This in order to standardize the communication (sending and receiving states) of all the components in the main radar of JRO.

For this purpose, Microcontroller Tiva TM4C129 has been employed that lets us; Ethernet communication, for sending and receiving user message; SPI communication, which allows write in DDS registers; and complementarily I2C communication, used for the visualization of the DDS state to the user with an LCD. The tests performed showed high precision in the order of Mhz with variations less than 5 hz.

Keywords: DDS, RF, API, SPI, I2C, JSON message, Integrated Radar System

1. Introducción

El funcionamiento del radar del Radio Observatorio de Jicamarca requiere de un generador de señal de radio frecuencia (RF) sincronizada con el Controlador de Radar (CR). El equipo que genera dicha señal es el sintetizador digital programable (DDS). Actualmente, el DDS del ROJ se basa en la tarjeta de evaluación modelo AD9854 de Analog Device.

El método de programación es flexible: en la v.1, se programaba por medio de una interfaz usb; en la v.2, la comunicación se realizaba por socket. Finalmente, para el Sistema Integrado de Radar (SIR) (proyecto que busca uniformizar el control de todos los dispositivos que conforman y monitorean el radar) se desea la comunicación por medio de ethernet (v2.1).

Para tal propósito se diseñó una interfaz de hardware y software que permite la transferencia de los registros por medio de mensajes JSON. Por ellos, el módulo DDS emplea el uC Tiva TM4C1294XL, que permite la comunicación SPI y ethernet junto al periférico LCD (Figura 1).

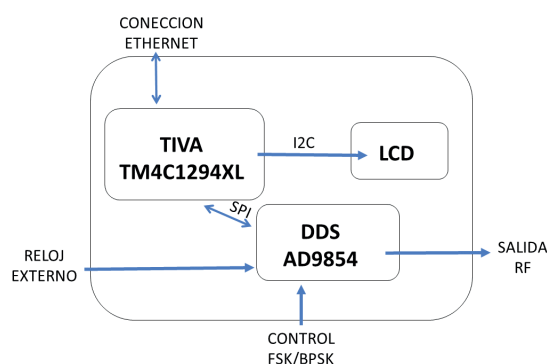


Figura 1. Representación de las comunicaciones entre hardware para el desarrollo de la API.

2. Desarrollo

2.1. Tiva TM4C1294XL

A partir de los requerimientos del proyecto, se evidenció la necesidad de encontrar un microcontrolador que ejecute protocolos de comunicación tipo SPI, I2C y Ethernet. Entre muchas opciones se escogió el modelo TM4C1294XL ya que es programable por interface modificada de arduino, ENERGIA, lo que permite aprovechar la documentación de su comunidad global.

2.1.1. Configuración de PIN

Al igual que un arduino, emplear un PIN implica declarar la salida como output y usar variables como HIGH o LOW. A fin de evitar ellos se creó una librería que permita acelerar el uso de los pines como objetos.

2.1.2. Configuración de Ethernet

La librería <Ethernet.h> del TIVA permite la creación de un puerto a partir de la dirección IP, DNS, GATEWAY y SUBNET. De esta manera el DDS a través del microcontrolador es accesible desde cualquier computador conectado a la red del ROJ.

2.1.3. Configuración I2C

La biblioteca <Wire.h> de ENERGIA permite comunicarse con dispositivos I2C / TWI. La cual, hereda de las funciones de Stream, haciéndolo coherente con otras bibliotecas de lectura o escritura. La tarjeta cuenta con 4 salidas de este tipo.

2.2. LCD

La pantalla LCD es un modelo desarrollado en ROJ, comprendido por driver display ST7036. Su control se basa en la comunicación I2C. Se desarrolló una librería que permitiera su rápido uso al declarar su dirección y la acción que se desea realizar.

2.3. DDS

La tarjeta de desarrollo AD9854EVB permite la generación de simultáneas señales de hasta 150Mhz que se puede ajustar digitalmente a una velocidad de hasta 100 millones de nuevas frecuencias por segundo. La sección más importante de esta tarjeta es el chip AD9854, conformado por dos grupos de registros internos de 48 bits para la configuración individual de las frecuencias de trabajo, además de otros registros que, por ejemplo, permiten modificar la amplitud o fase de la salida. La tarjeta cuenta con un terminal de datos que da acceso físico a los pines de programación del chip lo que facilita las conexiones con el microcontrolador.

2.3.1. Configuración del DDS

La reproducción de la señal RF en el DDS se da a partir de los valores que se encuentran en sus registros. Para modificarlos se emplean dos tipos de comunicación: de forma paralela o serial.

Este proyecto emplea la comunicación serial ya que permite disminuir las direcciones de los registros al poder enviar diferentes cadenas en un solo envío. Los datos para configurar al chip AD9854 se ubican en la dirección 0X07 con 5 bytes. En esta dirección se configura:

- El tipo de comunicación SPI: por SDO (4 conexiones) o SDIO (3 conexiones).
- El modo de lectura del byte: MSB o LSB.

- Control de la amplitud de la señal de salida con una resolución.
- Uso de reloj interno o de reloj externo.
- Configuración del modo de operación (Tono simple, FSK, BPSK).
- Activación de parámetros para el modo FSK.
- Multiplicador interno. Valores oscilan entre 4 y 20, siempre y cuando el valor no supere los 300 Mhz.

2.3.2. Comunicación SPI

La configuración serial por defecto en el DDS incluye emplear el modo SDIO. Asimismo, la conexión SPI tradicional es insuficiente para el control total del DDS, debido a ello se emplea pines adicionales del microcontrolador (Figura 2). Los puertos adicionales consisten en:

- CS, Selección de Esclavo el cual debe de mantenerse inactivo durante el tramo de envío y recepción de datos.
- UD CLK, Un flanco ascendente transfiere el contenido de los buffers a los registros de programación.
- IO RESET, genera un reset sin borrar los valores previos en los registros.
- Master RESET, genera un reset y configura los registros a los valores por defecto.

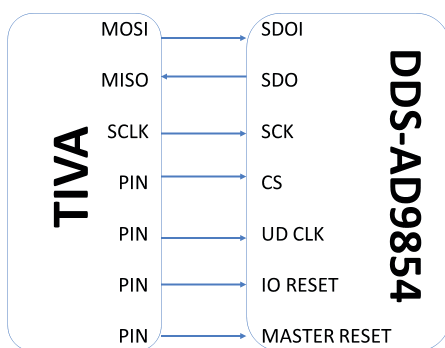


Figura 2. Representación de los puntos de conexión entre el microcontrolador y el DDS para el control total de sus funciones.

En la Figura 3, la primera línea representa el CS, continuado de la línea del reloj; en la tercera línea se envía el valor 0x87, que se traduce al leer los valores del registro 0x07 del DDS. Seguido de este se observa la respuesta por medio de la línea SDO de 4 bytes.

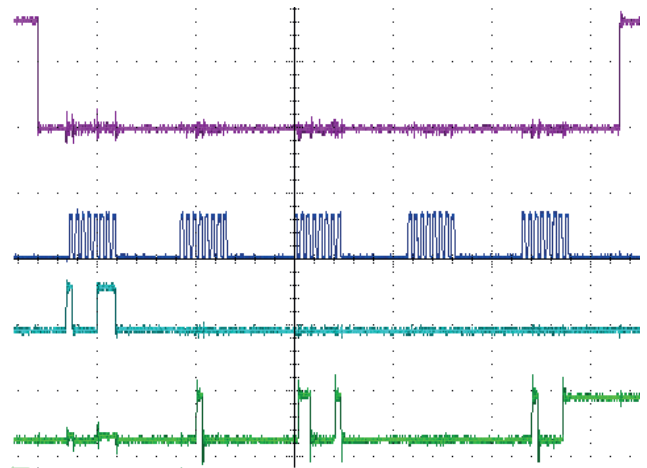


Figura 3. Representación de la comunicación SPI entre el DDS y el microcontrolador.

2.3.3. Modos de operación

En cualquier modo de configuración se suele emplear el multiplicador, dicho producto (frecuencia de entrada y multiplicador) no debe superar los 300 Mhz de acuerdo a la hoja de datos. A su vez, la frecuencia de salida siempre será menor o igual a la mitad de dicho producto.

La configuración del DDS presenta 5 modos de operación; para este proyecto se analizaron los 3 principales modelos: tono simple, FSK y BSK. El primer modelo, reproduce la frecuencia que se programó en el registro de la frecuencia 1. El segundo modelo, FSK, consiste en el switch entre la frecuencia 1 y la frecuencia 2. El último modelo, BPSK, se relaciona con las fases que se programa a la señal de salida, al igual que el segundo modelo, necesita una señal digital externa.

2.4. API-Web Client

Para controlar el DDS por medio de datos publicados a una IP, es necesario parametrizar que métodos se emplearán, así como las acciones que realizarán a partir de cada uno. En la Tabla 1 se resumen los métodos empleados. Los parámetros a editar son:

- frequencyA_hz, corresponde al valor de la frecuencia en el registro 1.
- frequencyB_hz, corresponde al valor de la frecuencia en el registro 2.
- amplitudel, valor de la amplitud de la señal entre 0 y 1.
- mode, se inserta el modo de operación.
- clock, actualiza el valor de reloj de entrada.
- multiplier, valor de multiplicador entre 4 -20.

Tabla 1. Comandos del API-Web

Comando	Método	Descripción
READ	GET	Devuelve el valor del índice enviado
WRITE	POST	Cambia el valor de los índices enviados
STATUS	GET	Devuelve el valor la configuración actual del DDS
START	POST	Inicia la generación del RF a partir de la configuración previa.
STOP	POST	Detiene la generación del RF a partir de la configuración previa.
CHANGEIP	POST	Cambia los valores ethernet.

El método READ puede leer cada variable de la lista de parámetros. En el caso de WRITE, se pueden enviar la cantidad indeterminada de variables y será aceptada siempre y cuando cumplan con las condiciones matemáticas del DDS.

3. Resultados

Se realizaron diferentes test previos a la versión final. Se empleó PostMan como tester para la API. Se complementó la comunicación con distintos mensajes por defecto, en casos de típicos errores externos:

- No exista conexión con el DDS.
- Incorrecto valor de parámetros.
- La IP es restringida o se encuentra empleada.

Exceptuando de estos casos, se comprobó la configuración inicial al generar la señal sinodal de 49.92 Mhz. El comando WRITE fue operado con distintos mensajes a fin de comprobar todas las posibles incongruencias.

La Figura 4 muestra la generación de 1 Mhz con un multiplicador de 4, mientras que la Figura 5 resulta del escribir 120 Mhz con un multiplicador de 5.

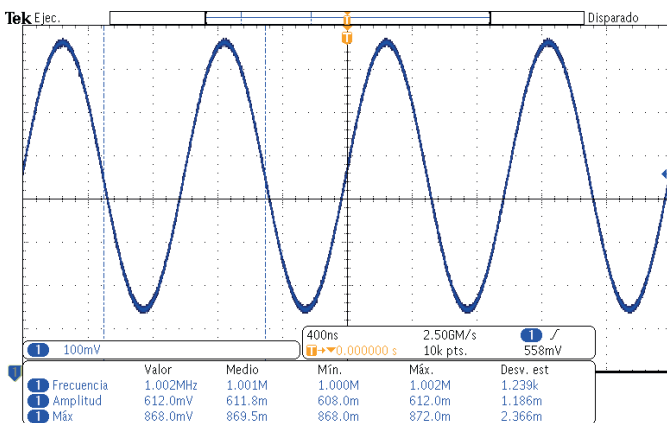


Figura 4. Resultado del osciloscopio al generar una señal de 1 Mhz con un multiplicador de 4.

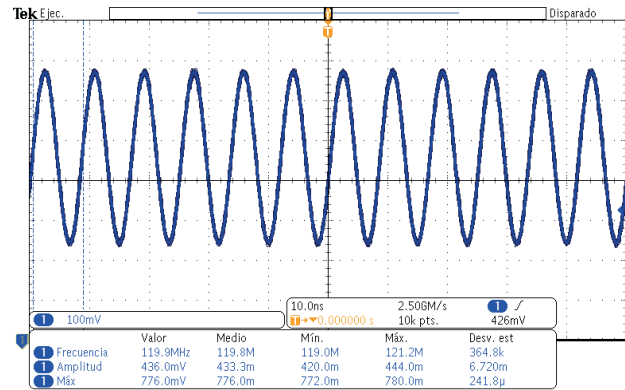


Figura 5. Resultado del osciloscopio al generar una señal de 120 Mhz con un multiplicador de 5.

Si bien a través del osciloscopio se observa que la frecuencia oscila alrededor del valor deseado, este no garantiza la precisión deseada. Por tanto, se emplea un analizador de espectro Agilent fieldfox, las Figuras 6 y 7 muestran la señal de salida de la configuración por defecto. El resultado se encuentra en escala ln con un span de 10 KHz por lo cual se garantiza que la señal se encuentra en el margen aceptable.

El span en el análisis puede ser reducido a 50 hz para un análisis exhaustivo. La Tabla 2 demuestra los valores obtenidos. La segunda columna es la correspondiente al mensaje que devuelve luego de emplear el comando WIRTE.

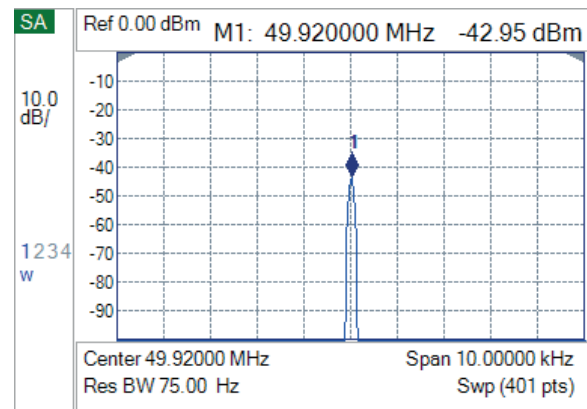


Figura 6. Representación de espectro al generar una señal de 49.92 Mhz con un multiplicador de 4.

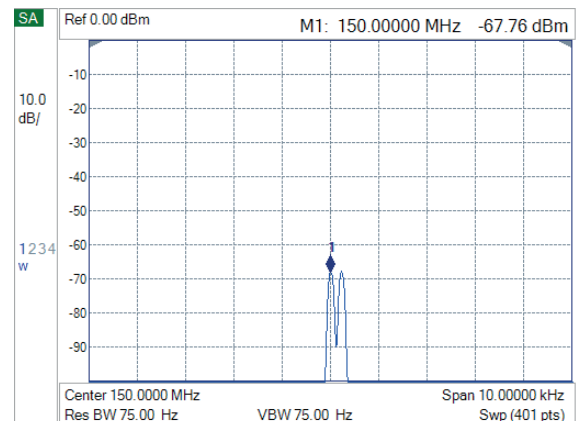


Figura 7. Representación de espectro al generar una señal de 150 Mhz con un multiplicador de 5.

Tabla 2. Comandos del API-Web

Frecuencia deseada (hz)	Frecuencia en cálculos	Frecuencia obtenida (hz)
49920000	49920000	49920000
49920005	49920004	49920003
49920004	49920004	49920003
10000000	10000000	10000000
30000000	30000000	30000000
50000000	50000000	50000000
12345678	12345679	12345679
87654321	87654319	876543218

Respecto al modo BSK, el usuario debe de escribir en la frecuencia A como B, a fin de intercalar entre ambos valores. En la Figura 8 se observa el cambio de frecuencia de la onda a partir de la variación del impulso (comparación en 5 hz y 25 hz). Otro medio para comprobar dicho cambio de frecuencias es por medio de espectrograma, se emplea la misma señal externa, pero se configura la primera frecuencia con 50.5 Mhz y la segunda con 49.5 Mhz.

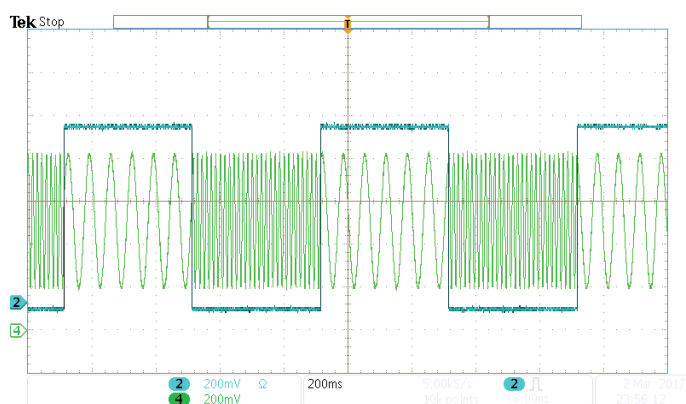


Figura 8. Representación en el osciloscopio del modo FSK.

Para emplear el modo BPSK se modifican las fases de las dos frecuencias. Para este ejemplo se establecen las mismas frecuencias, pero con un desfase de 180 de una sobre otra. En la Figura 9 se observa como después del medio ciclo de la señal cuadrada iniciar una segunda, pero con un desfase de 180. Este efecto se reproduce consecutivamente.

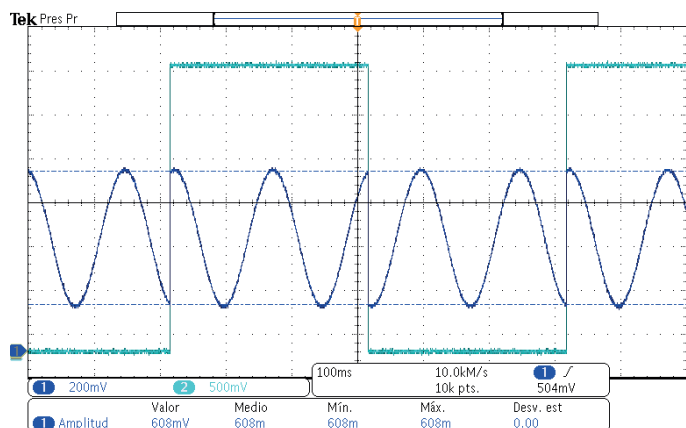


Figura 9. Representación en el osciloscopio del modo BPSK.

4. Discusión

Se ha empleado 3 modos de configuración del DDS basado en AD9854. Debido a actividades desarrolladas en el ROJ, las pruebas han empleado un reloj de orden de Mhz. En el primer modo se obtuvieron las frecuencias con márgenes despreciables de error. A esto se añade el ruido presente en la salida cuando se busca llegar a sus valores límites, por defecto el valor límite del DDS es 150 Mhz; al generarlo se observó que la señal no logro ser filtrada en su totalidad (Figura 8).

Consecutivamente, para los otros modos de operación es necesario un control externo por medio de inserción de una señal digital. El método FSK, permite la interacción de ambas frecuencias con un tiempo mayor de 400 us. En muchos casos, este retraso es insuficiente para una aplicación por lo cual se deja al usuario confirmar posibles aplicaciones. De la misma manera para el método BPSK, el cual se enfoca en demostrar el control con las fases. Se deja al usuario la libertad de emplearlos como mejor convenga al proyecto.

5. Conclusiones

Luego de continuas pruebas con el API- DDS a través del envío del mensaje JSON se pudo observar que los 48 bits de resolución permiten alcanzar una amplia precisión en la frecuencia de salida.

Este trabajo se enfocó en generar señales de orden Mhz (modo tono simple); partiendo de eso, el error en la salida representa menos del 0.00001 %, esto se debe a típicos errores de instrumentos de medición, por lo cual se garantiza la obtención de la frecuencia enviada.

De la misma manera se realizaron pruebas con los modos FSK/ BFSK, los cuales fueron eficientes. En conclusión, se logró desarrollar una API REST que permite la configuración y monitoreo del DDS utilizando mensajes JSON.

6. Recomendaciones

Se recomienda usar un analizador de espectro para garantizar la frecuencia de salida.

La precisión de salida también se debe a la entrada de datos, por tanto, configurar el dato clock con la mayor precisión posible.

7. Agradecimientos

A Ciencia Internacional y el Instituto Geofísico del Perú por brindarme la oportunidad de desarrollar mis prácticas pre-profesionales.

Al Ing. Juan Carlos Espinoza y al equipo de IDI por su constante apoyo en el desarrollo de este proyecto.

8. Bibliografía

Salazar, M. y Rojas, R. (2010). Reporte Modulo DDS-USB. IGP.

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ASTROFÍSICOS FUNDAMENTALES DEL PLANETA EXTRASOLAR COROT-2 B

DETERMINATION OF FUNDAMENTAL ASTROPHYSICAL PARAMETERS OF EXTRASOLAR PLANET COROT-2 B

Jose Luis Ricra Mayorca
Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ciencias
jricram@uni.pe

Asesor: Dr. Antonio Pereyra
Observatorio de Huancayo - IGP

Resumen

En este trabajo presentamos observaciones realizadas del planeta extrasolar Corot-2 b, obtenidas con el telescopio de 0.5m del Observatorio Astronómico UNI (OAUNI). La curva de luz fue modelada usando los códigos TAP y JKTEBOP, siendo los parámetros obtenidos con TAP los que estuvieron más acorde con los valores de referencia. El ajuste se realizó fijando los parámetros P , e , u_1 y u_2 ; y se obtuvo valores de $R_p/R_s=0.167^{(-0.005)}_{(+0.005)}$ para la razón del radio del planeta y el radio de la estrella, $a/R_s=6.8^{(-0.2)}_{(+0.1)}$ para el semieje mayor normalizado, $i=88.8^{(-1.2)}_{(+0.8)}$ para la inclinación y $T_c=2457606.7494^{(-0.0007)}_{(+0.0007)}$ (BJD) para el tiempo central del tránsito.

Palabras clave: Corot-2 b, exoplanetas, tránsito.

Abstract

In this work we present observations of the extrasolar planet Corot-2 b, gathered with the 0.5m telescope of the UNI Astronomical Observatory (OAUNI). The light curve was modeled using the TAP and JKTEBOP codes, being the TAP parameters more in agreement with the reference values. The fit was made fixing the parameters P , e , u_1 ; and u_2 and yielded values of $R_p/R_s=0.167^{(-0.005)}_{(+0.005)}$ for the planet-star radius ratio, $a/R_s=6.8^{(-0.2)}_{(+0.1)}$ for the normalized semimajor axis, $i=88.8^{(-1.2)}_{(+0.8)}$ for the inclination and $T_c=2457606.7494^{(-0.0007)}_{(+0.0007)}$ (BJD) for the central transit time.

Keywords: Corot-2 b, exoplanets, transit.

1. Introducción

El estudio de planetas extrasolares o exoplanetas es un campo de investigación joven de la astrofísica que ha tomado gran importancia en las últimas décadas debido a la gran variedad de sistemas planetarios descubiertos cuyo origen y formación aún no es plenamente comprendido. El primer descubrimiento de un planeta extrasolar se produjo en 1992 cuando Wolszczan & Frail (1992) descubrieron dos planetas orbitando alrededor del pulsar PSR B1257+12. Más tarde, en 1995 se produciría el descubrimiento 51 Pegasi b, el primer planeta extrasolar orbitando alrededor de una estrella de Secuencia Principal similar a nuestro Sol (Mayor & Queloz 1995). Hoy en día, se tienen 3472 planetas extrasolares confirmados¹ y en la lista de espera aguardan más de 4400 candidatos a ser analizados.

En el Perú, no se tiene registro del estudio de planetas extrasolares, sin embargo se han realizado investigaciones que emplean técnicas similares como es el caso de la técnica de análisis de eclipses empleada en el estudio de estrellas binarias eclipsantes (Ferrero, 2007; Tello, 2001). Esta técnica, que para el caso de planetas extrasolares consistiría en el análisis de tránsitos, permite obtener algunos parámetros físicos del planeta y de la estrella hospedera a partir del análisis de la variación de flujo del sistema en el momento en que el planeta pasa delante de su estrella (tránsito). La caída de flujo del sistema durante el tránsito por lo general es menor al 4%, por lo que se requiere de una fotometría de alta precisión. Según Cori (2016), este nivel de precisión estaría al alcance de los equipos del OAUNI (Meza et al., 2009). Es por esto que se decide iniciar el estudio de estos objetos con datos propios tomados desde el OAUNI teniendo como primer objetivo reproducir parámetros físicos de sistemas extrasolares conocidos de la literatura empleando la técnica de tránsito.

Corot-2 b

Uno de los primeros planetas extrasolares detectados desde el OAUNI fue Corot-2 b. Este planeta extrasolar fue descubierto en 2008 por el telescopio espacial COROT² usando la técnica de tránsito (Alonso et al. 2008). El planeta orbita la estrella Corot-2 ($V_R=12.2$ mag, Tipo espectral=G7V) con un periodo de ~ 1.74 días y a una distancia de ~ 0.028 UA, además posee una masa de $\sim 3.31 M_J$ y un radio de $\sim 1.46 R_J$. Estas características hacen que Corot-2 b pertenezca al tipo de planetas extrasolares conocidos como “júpiteres calientes”.

Determinación de parámetros

Existe una gran variedad de códigos para el modelamiento de tránsitos de planetas extrasolares. En este trabajo se ha empleado dos códigos de ajuste comúnmente usados en la literatura. Uno de estos códigos es JKTEBOP (Southworth et al., 2004a, b), que es una versión modificada del software EBOP (Popper & Etzel, 1981) y está basado en el modelo para estrellas binarias eclipsantes de Nelson–Davis–Etzel (Nelson & Davis, 1972). EBOP toma en cuenta la no esfericidad que pudieran tener los componentes de un sistema binario y aproxima su forma a un elipsoide biaxial, además modela la curva de luz integrando numéricamente círculos concéntricos sobre cada componente.

A diferencia de EBOP, JKTEBOP incorpora diversos métodos de ajuste no lineal para la oscuridad de limbo, un algoritmo de optimización Levenberg - Marquardt (Press et al., 1992) y técnicas rigurosas de cálculo de errores como: simulaciones Monte Carlo, *bootstrapping* y permutación residual.

El segundo código empleado fue el Transit Analysis Package (TAP), este código fue desarrollado por Gazak et al. (2012) y está basado en el modelo analítico de Mandel & Agol (2002). TAP usa una ley cuadrática para el ajuste de oscuridad de limbo y emplea simulaciones de Cadenas de Markov Monte Carlo (MCMC, por sus siglas en inglés) junto con una función de verosimilitud basada en wavelet (Carter & Winn, 2009) para el cálculo de incertidumbres de cada parámetro mediante el ajuste de ruido correlacionado³ (ruido rojo) y ruido no correlacionado (ruido blanco).

2. Observaciones

Las observaciones se realizaron desde el OAUNI (Lat. 12°02'12" Sur, Long. 75°19'07" Oeste, 3300msnm), ubicado en las instalaciones del Instituto Geofísico del Perú (IGP) con sede en Huancayo, Junín; durante la noche del 05 de agosto de 2016. Se utilizó una cámara CCD SBIG STXL6303E, un telescopio Ritchey-Chrétien f/8.2 de 0.51m (RCOS20), una montura Paramount ME II y un filtro R_c perteneciente al sistema fotométrico Johnson-Cousins. La escala de placa equivalente obtenida fue de 0.45"/pix con un FOV de 23 arcmin x 15 arcmin. Se tomaron un total de 478 imágenes objeto en modo *Full Frame* con exposiciones de 20 segundos e imágenes de calibración *darks* y *flats*. El tiempo total de seguimiento del tránsito fue de ~ 3.3 horas.

¹Es la cifra oficial reportada hasta el 30/03/2017 por la base de datos de la NASA Exoplanet Archive (<http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu>).

²COROT es un telescopio espacial lanzado en 2006 por la Agencia Espacial Europea (ESA) y el Centro Francés de Estudios Espaciales (CNES) para realizar estudios de astrosismología y planetas extrasolares.

³El ruido correlacionado o ruido rojo son aquellos puntos adyacentes a la curva de luz que están correlacionados y que no fueron eliminados durante el proceso de reducción o fotometría diferencial. Es causado por variabilidad instrumental, atmosférica o estelar y puede ser removido ajustando funciones de tipo sinusoidal a la serie de datos.

3. Procesamiento de datos

Todo el procesamiento de datos se realizó usando el software IRAF⁴, solo en el caso del alineamiento de imágenes se usó el software Maxim DL 5⁵. Durante el proceso de reducción de datos se realizaron correcciones rutinarias por overscan, trimsec, darks y flats empleando las tareas *CCDPROC*, *DARKCOMBINE*, y *FLATCOMBINE*.

Luego de alinear las imágenes con Maxim DL 5, se obtuvo medidas de *seeing*, masa de aire y día juliano heliocéntrico (HJD, por sus siglas en inglés) empleando las tareas *PSFMEASURE*, *ASTHEDIT* y *SETJD*, respectivamente. Todas las medidas de *seeing* fueron corregidas por variación de ángulo cenital (γ), según la Ecuación 1.

$$FWHM_{corr} = FWHM_{obs} \cdot \cos(\gamma)^{3/5} \quad (1)$$

Donde la masa de aire $X = \cos(\gamma)^{-1}$. En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos del *seeing* para el intervalo monitoreado. El valor medio de *seeing* corregido fue de 1.7 arcsec.

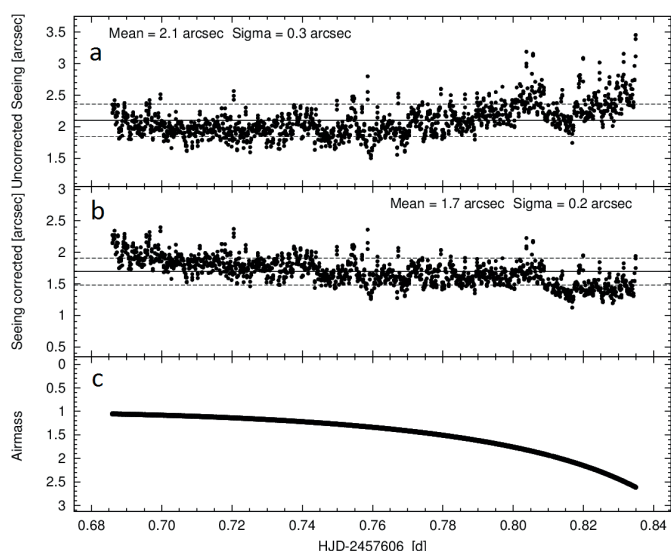


Figura 1. (a) Medidas de *seeing* sin corrección por ángulo cenital. (b) Medidas de *seeing* corregidas por ángulo cenital. (c) Masa de aire calculada.

Para obtener las medidas de magnitud instrumental se realizó fotometría de abertura empleando la tarea *PHOT* del paquete DAOPHOT y las tareas *TFDIF* y *FDIF* del paquete LP-IRAF (Cellone, 2014). Para cada estrella se eligió el radio de abertura que brindara la mejor precisión y exactitud en las medidas instrumentales. Esto fue posible de hacer analizando la variación del promedio de exactitud y precisión a distintos radios de abertura para toda la serie temporal. De esta manera, se obtuvieron medidas de magnitud instrumental para la estrella

objetivo y otras ocho estrellas candidatas a estrellas de comparación que fueron identificadas como no variables en la base de datos astronómica SIMBAD⁶. La fotometría diferencial respecto de cada una de ellas permitió descartar cualquier tipo de variabilidad y sobre todo permitió encontrar aquellas estrellas que brindarían la menor dispersión en su curva de luz. Finalmente, de las ocho estrellas candidatas quedaron sólo dos como estrellas de comparación (Figura 2).

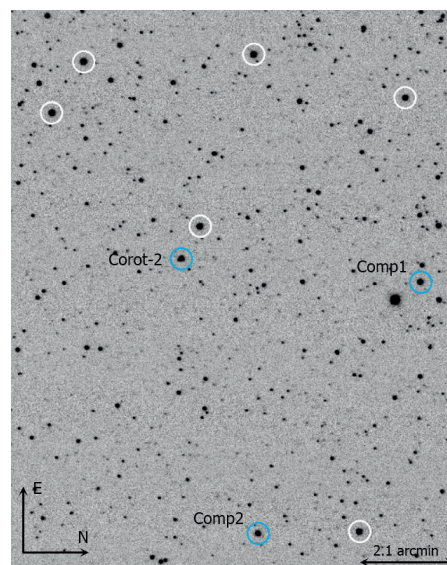


Figura 2. En círculos blancos se indica las estrellas que se descartaron como estrellas de comparación, en círculos azules se indica las estrellas consideradas en el análisis.

Con el fin de minimizar los errores sistemáticos y aleatorios se estableció como criterio descartar aquellas imágenes que ofrecían magnitudes instrumentales fuera de un ancho de 2σ del valor medio de la magnitud instrumental fuera de la atmósfera (m_0). Además, se descartaron aquellas imágenes donde la posición de pixeles calientes o rayos cósmicos coincidía con la posición de algunas de las estrellas.

Luego, para mejorar el nivel de precisión fotométrica se promediaron imágenes en grupos de a tres, y para minimizar aún más los errores sistemáticos se hizo la fotometría diferencial de la estrella objeto respecto de la magnitud combinada de las dos estrellas de comparación. Si bien la fotometría diferencial elimina el factor de extinción a primer orden, la diferencia de color entre las estrellas puede generar una tendencia en la curva de luz. Esta tendencia se puede remover ajustando las medidas fuera del tránsito a una función lineal dependiente de la masa de aire de la forma:

$$\delta m = b (1 - X) + b \quad (2)$$

⁴IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) es un software para uso astronómico desarrollado por la National Optical Astronomy Observatories (NOAO), disponible en: <http://iraf.noao.edu>.

⁵Maxim DL 5 es un software para uso astronómico diseñado por Cyanogen Imaging, disponible en: <http://diffractionlimited.com/product/maxim-dl>.

⁶SIMBAD es una base de datos astronómica administrada por el Centre de Données astronomiques de Strasbourg (CDS) disponible en: <http://simbad.u-strasbg.fr>.

Donde b y d son constantes obtenidas del ajuste y δm es la magnitud de corrección que hay que restar a cada medida. Finalmente, se normalizaron las medidas usando el valor medio de magnitud fuera del tránsito.

4. Modelamiento

El modelamiento de la curva de luz se realizó tomando como parámetros fijos el periodo (P) y la excentricidad (e) obtenidos por Alonso et al. (2008). Además, se fijaron los coeficientes lineal y cuadrático de oscuridad de limbo (u_1 y u_2), que fueron obtenidos por interpolación a partir de los valores indicados para el filtro R de las tablas de oscuridad de limbo de Claret & Bloemen (2011). Los parámetros de la estrella considerados para la interpolación fueron: $T_{\text{eff}} = 5575 \pm 66 \text{ K}$, $[Fe/H] = -0.04 \pm 0.08$ y $\log(g) = 4.51 \pm 0.04$, los que fueron obtenidos de Torres et al. (2012). Se corrieron 10 cadenas con 10^6 muestras en TAP y 10^4 simulaciones Monte-Carlo en JKTEBOP. En la Figura 3 se muestra el mejor ajuste de datos obtenido con TAP, mientras que en la Figura 4 el mejor ajuste obtenido con JKTEBOP.

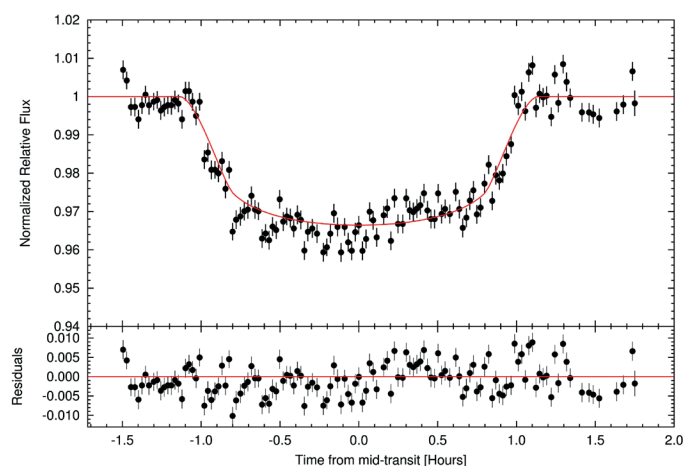


Figura 3. Curva de ajuste y residuales obtenidos con TAP.

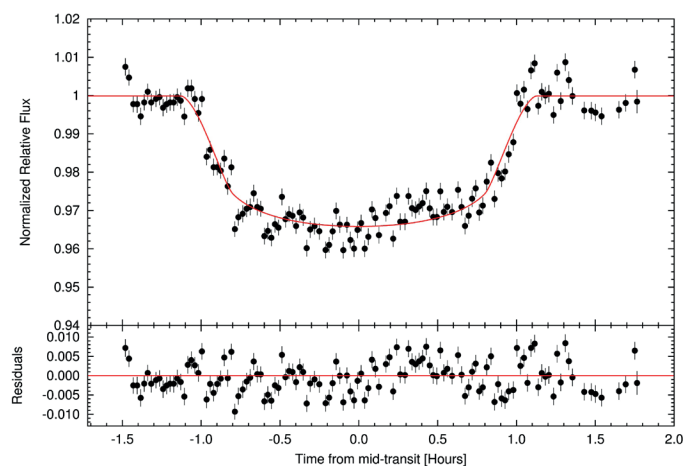


Figura 4. Curva de ajuste y residuales obtenidos con JKTEBOP.

En la Tabla 1 se muestran los valores fijados de P , e , u_1 y u_2 , mientras que en la Tabla 2 se muestran los valores encontrados para R_p/R_s , i , a/R_s y T_c obtenidos con ambos códigos y comparados con los valores de referencia (Alonso et al. 2008).

Tabla 1 Parámetros fijados.

Parámetro	Valores fijados
P (d)	$1.742996 \pm 0.2 \times 10^{-5}$
e	0
u_1	0.39956
u_2	0.26109

Tabla 2 Parámetros deducidos.

Parámetro	TAP	JKTEBOP	Ref.
R_p/R_s	$0.167^{+0.005}_{-0.005}$	$0.168^{+0.002}_{-0.001}$	$0.1667 \pm 0.6 \times 10^{-3}$
i ($^\circ$)	$88.8^{+9.8}_{-1.2}$	$90.0^{+9.7}_{-1.5}$	87.8 ± 0.1
a/R_s	$6.8^{+0.1}_{-0.2}$	$6.92^{+0.07}_{-0.20}$	6.70 ± 0.03
T_c (BJD)	$2457606.7494^{+0.0007}_{-0.0007}$	$2457606.7488^{+0.0002}_{-0.0002}$	2457606.748 ± 0.003

5. Discusión

Los valores de R_p/R_s , a/R_s y T_c obtenidos con TAP y JKTEBOP no muestran diferencias significativas y están dentro del margen de error de los valores de referencia. Sin embargo, si observamos los valores de la inclinación obtenida vemos que TAP brinda un valor de inclinación dentro del margen de error de la referencia mientras que JKTEBOP no. Este resultado podría explicarse por la presencia de ruido correlacionado en la curva de luz cuyo efecto es considerado por TAP y no por JKTEBOP.

En las Figuras 3 y 4 se puede apreciar que a pesar de no estar a una masa de aire elevada existe un conjunto de puntos en el intervalo de 0 a 0.7 horas del diagrama de residuos que presentan un nivel de dispersión mayor a lo esperado, este tipo de comportamiento se puede interpretar como ruido correlacionado (ruido rojo) y su causa puede deberse a varios factores tales como: variaciones repentinas de *seeing*, errores de *tracking*, errores relativos de *flat*, variaciones intrínsecas de la estrella o la combinación de estos. En nuestro caso, solo se puede descartar el efecto de variaciones repentinas de *seeing* ya que si bien a lo largo de la noche el *seeing* tuvo un comportamiento atípico (Figura 1), durante el intervalo mencionado no se observó cambios significativos.

6. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que los equipos del OAUNI están en condiciones adecuadas para detectar y caracterizar planetas extrasolares.

El código que brindó mejores resultados para el ajuste de parámetros fue TAP por considerar el ruido correlacionado en su ajuste. Esto no descarta que JKTEBOP pueda desempeñarse mejor en ausencia de este tipo de ruido.

Los parámetros del planeta extrasolar Corot-2 b obtenidos en este estudio fueron: $R_p/R_s = 0.167^{(+0.005)}_{(-0.005)}$ para la razón del radio del planeta y el radio estelar, $a/R_s = 6.8^{(-0.2)}_{(+0.1)}$ para el semieje mayor normalizado,

$i=88.8^{+0.8}_{-1.2}$ para la inclinación y $T_c=2457606.7494^{+0.0007}_{-0.0007}$ (BJD) para el tiempo central del tránsito.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), a la Academia Mundial de Ciencias (TWAS, por sus siglas en inglés), a Cienciactiva (Convenio 102-2015 Fondecyt) y al Instituto Geofísico del Perú (IGP) por el apoyo y financiamiento brindado para esta investigación.

8. Bibliografía

- R. Alonso, M. Auvergne, A. Baglin, M. Ollivier, C. Moutou, D. Rouan, H. J. Deeg, S. Aigrain, J. M. Almenara, M. Barbieri, P. Barge, W. Benz, P. Bordé, F. Bouchy, R. De la Reza, M. Deleuil, R. Dvorak, A. Erikson, M. Fridlund, M. Gillon, P. Gondoin, T. Guillot, A. Hatzes, G. Hébrard, P. Kabath, L. Jorda, H. Lammer, A. Léger, A. Llebaria, B. Loeillet, P. Magain, M. Mayor, T. Mazeh, M. Pätzold, F. Pepe, F. Pont, D. Queloz, H. Rauer, A. Shporer, J. Schneider, B. Stecklum, S. Udry and G. Wuchterl, (2008): *Transiting exoplanets from the CoRoT space mission II. CoRoT-Exo-2b: a transiting planet around an active G star.* *A&A*, 482 (3), 21-24.
- Carter, J. A. & Winn, J. N. (2009): *Parameter Estimation from Time-series Data with Correlated Errors: A Wavelet-based Method and its Application to Transit Light Curves.* *ApJ*, 704, 51.
- Cellone, S. (2014): *Paquete de tareas "La Plata" para IRAF Versión 2014.1.* Disponible en: http://www.fcaglp.unlp.edu.ar/~scellone/CGGE/Soft/cgge_IRAF.html.
- Claret, A. & Bloemen, S. (2011): *Gravity and limb-darkening coefficients for the Kepler, CoRoT, Spitzer, uvby, UBVRIJHK, and Sloan photometric systems.* *A&A*, 529, A75.
- Cori, W. (2016): *Implementación del Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Ingeniería.* Tesis. Facultad de Ciencias UNI, Lima, Perú.
- Ferrero, G. (2007): *Análisis de periodicidad de la estrella variable V645 Her.* Monografía (Lic.). Facultad de Ciencias Físicas UNMSM, Lima, Perú.
- Gazak, J. Z., Johnson, J. A.; Tonry, J., Dragomir, D.; Eastman, J., Mann, A. W., and E. Agol (2012): *Transit Analysis Package: An IDL Graphical User Interface for Exoplanet Transit Photometry.* *Adv. Astron.*, 697, 967.
- Mandel, K. & Agol, E. (2002): *Analytic Light Curves for Planetary Transit Searches.* *ApJ*, 580, L171.
- Mayor, M. & Queloz, D. (1995): *A Jupiter-mass companion to a solar-type star.* *Nature*, 378, 355-359.
- Meza, E., Ricra, J. & Pereyra, A. (2009): *OA-UNI: an astronomical observatory at the Peruvian Andes.* IAU XXVIIth GENERAL ASSEMBLY Abstract Book, 407.
- Nelson, B. & Davis, W. D. (1972): *Eclipsing-Binary Solutions by Sequential Optimization of the Parameters.* *ApJ*, 174, 617.
- Popper, D. M. & Etzel P. B. (1981): *Photometric orbits of seven detached eclipsing binaries.* *AJ*, 86, 102-120.
- Press W. H.; Teukolsky, S. A.; Vetterling, W. T.; and Flannery, B. P. (1992): *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing, Second Edition.* New York: Cambridge University Press.
- Southworth, J.; and J.V. Clausen (2004a): *Eclipsing binaries in open clusters – I. V615 Per and V618 Per in h Persei.* *MNRAS*, 349, 547-559.
- Southworth, J.; Maxted, P. F. L., and Smalley, B. (2004b): *Eclipsing binaries in open clusters - II. V453 Cyg in NGC 6871.* *MNRAS*, 351, 1277-1289.
- Tello, J. (2001): *Estudio de la estrella binaria V505 Sgr por el método de fotometría diferencial.* *REVCUNI*, 5, 52.
- Torres, G. (2012): *Improved spectroscopic parameters for transiting planet hosts.* *ApJ*, 757, 14.
- Wolszczan, A. & Frail, D. A. (1992): *A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257+12.* *Nature*, 355, 145-147.

DISEÑO DE UN SISTEMA MECÁNICO DE RADAR DE APERTURA SINTÉTICA PORTÁTIL CON CONTROL DE APUNTE PARA MODOS STRIPMAP Y SPOTLIGHT

Design of a portable synthetic aperture radar mechanical system with point control for Stripmap and Spotlight modes

Camilo Daniel Ortecho Huamanchumo

Universidad Nacional Federico Villarreal
Facultad de Ingeniería Electrónica e Informática
daniel.ortecho@jro.igp.gob.pe, daniel.ortecho.jro@gmail.com

Asesor: Marco Milla, Ph.D.

Radio Observatorio de Jicamarca - IGP

Resumen

El cambio climático afecta diversos ecosistemas alrededor del mundo, siendo el deshielo de los nevados una de las consecuencias más graves. En el Radio Observatorio de Jicamarca se está desarrollando un sistema mecánico de radar de apertura sintética portátil, que posteriormente se utilizará para realizar mediciones de la variación de capas de nieve de los nevados. Esta técnica de radar presenta grandes mejoras respecto a los métodos tradicionales (estacas de madera, radares de baja frecuencia, etc.) debido a que el monitoreo se realiza desde un punto lejano y no directamente sobre el nevado, además que permite obtener imágenes de zonas extensas del nevado con distintas resoluciones, media (modo STRIPMAP) y alta (modo SPOTLIGHT).

Palabras clave: Apertura sintética, stripmap, spotlight, antena, Radio Observatorio de Jicamarca.

Abstract

Climate change affects several ecosystems around the world, with snow melting being one of the most serious consequences. A portable synthetic aperture radar mechanical system is being developed at the Jicamarca Radio Observatory, which will subsequently be used to carry out measurements of the variation of layers of snow from the snow-capped areas. This radar technique has some advantages compared to traditional methods (wooden stakes, low frequency radars, etc.) because the monitoring is done from a distant point and not directly on the snow, also allows to obtain images of mountains snowy zones with different resolutions, medium (STRIPMAP mode) and high (SPOTLIGHT mode).

Keywords: Synthetic aperture, stripmap, spotlight, antenna, Jicamarca Radio Observatory.

1. Introducción

Antiguamente para poder tomar mediciones del nivel del manto nevoso se utilizaban métodos rústicos con poca precisión (estacas de madera), que en aquellos tiempos eran muy rentables; sin embargo el operador debe de estar presente en el nevado para obtener las mediciones, colocando su vida en peligro.

Otra forma de medir la nieve, es con un pluviómetro, que es un sistema mecánico para medir precipitaciones; sin embargo, la presencia del operador en el nevado sigue siendo vital.

En EEUU a comienzos de los años 60, se comenzó a difundir el uso de colchones de nieve, que se trata de un sensor compuesto por 2,4 o 6 recipientes planos a la forma de un raviol delgado, de 1 metro de lado, que contienen un cierto líquido (Figura 1).

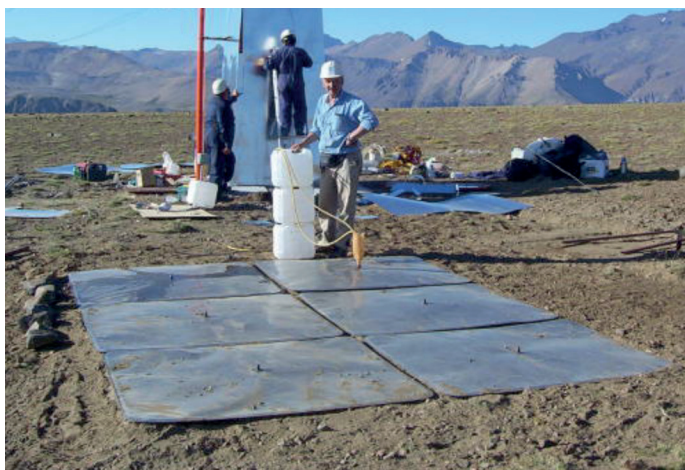


Figura 1. Mantenimiento durante el verano del colchón de nieve de seis paneles instalado en la pampa de Chacaico, cuenca del Alto Neuquén. Cortesía de la AIC.

En búsqueda de un sistema que realice mediciones de nieve, sin poner en peligro al operador, se comenzó a difundir el uso de los radares para la medición de velocidad, desplazamiento, etc.

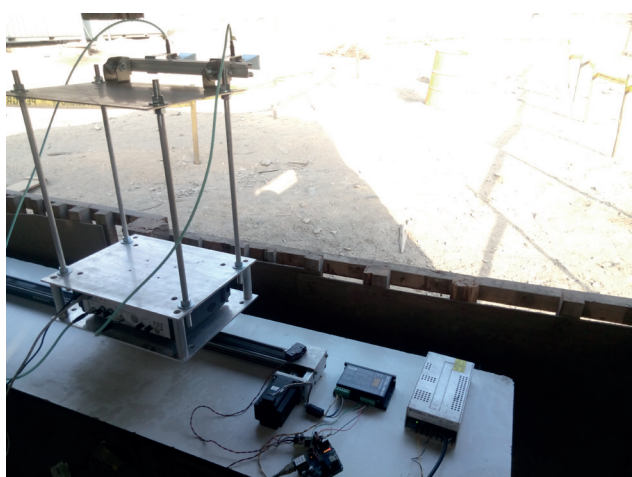


Figura 2. Sistema de radar de apertura sintética del Radio Observatorio de Jicamarca.

Entre la variedad de radares se encuentran los de apertura sintética (Figura 2), que utilizan antenas de bocina, y que montadas en un riel, que realiza un movimiento horizontal, toma medidas en distintos instantes de tiempo, y luego compara cada imagen generada.

2. Desarrollo

2.1 Diseño e Implementación de las antenas de transmisión y recepción

Para la selección de la banda de frecuencias del radar, se valió del estudio realizado por el Dr. Martínez en su tesis "Snow cover monitoring techniques with GB-SAR" y se tomó en consideración, dimensiones de una guía de onda comercial.

Se utilizó la guía de onda rectangular PE9831 de la empresa PASTERNAK para el diseño de la bocina.

Parámetros Iniciales:

$G=20$ dBi $20=10 \log g$ $g=100$
Banda de frecuencia=4-8 GHz

$f_c=5.3$ GHz

Se halla la longitud de onda para $F_c=5.3$ GHz (c: velocidad de la luz)

$$\lambda = v/f_c \quad \lambda = 3 \times 10^8 / 5.3 \times 10^9 = 5.66 \text{ cm}$$

Se halla el coeficiente de calibración:[1]

$$X_1 = \frac{g}{2\pi * \sqrt{2\pi}} = 6.349(\text{adimensional})$$

Distancia a lo largo de la superficie de la antena [1]

$$Pe = \lambda * X_1 = 5.66 * 6.349 = 35.935 \text{ cm}$$

$$Ph = \frac{g^2 * \lambda}{8\pi^3 * X_1} = \frac{100^2 * 5.66}{8\pi^3 * 6.349} = 34.437 \text{ cm}$$

Parámetros de la apertura de la bocina [1]

$$a_1 = \sqrt{3 * \lambda * Ph} = \sqrt{3 * 5.66 * 34.437} = 24.18 \text{ cm}$$

$$b_1 = \sqrt{2 * \lambda * Pe} = \sqrt{2 * 5.66 * 35.935} = 20.16 \text{ cm}$$

Tiene que cumplir que Re y Rh sean iguales, ya que son las distancias desde la apertura hasta la guía de onda [1]

$$Re = (a1 - a) * \sqrt{\left(\frac{Pe}{a1}\right)^2 - 0.25}$$

$$Re = (24.18 - 4.039) * \sqrt{\left(\frac{35.935}{24.18}\right)^2 - 0.25} = 28.1857 \text{ cm}$$

$$Rh = (b1 - b) * \sqrt{\left(\frac{Ph}{b1}\right)^2 - 0.25}$$

$$Rh = (20.66 - 2.019) * \sqrt{\left(\frac{34.437}{20.66}\right)^2 - 0.25} = 29.64 \text{ cm}$$

Las distancias Rh y Re no coinciden, por lo tanto para $X_1=6.349$ no sería el valor indicado.

Sin embargo, con un valor para $X_1=6.632963$ cumple con la condición de $Rh = Re$, [1] con éste valor se hallaron los demás parámetros de la antena:

Pe= 37.54 cm	Ph= 34.40 cm
A1= 24.17 cm	B1= 20.61 cm
Re= 29.61 cm	Rh= 29.61 cm

Con éstas medidas, se realizó la simulación de la antena horn en el software Feko (Figura 3), obteniendo un VSWR de 1.42 a 6.66GHz.

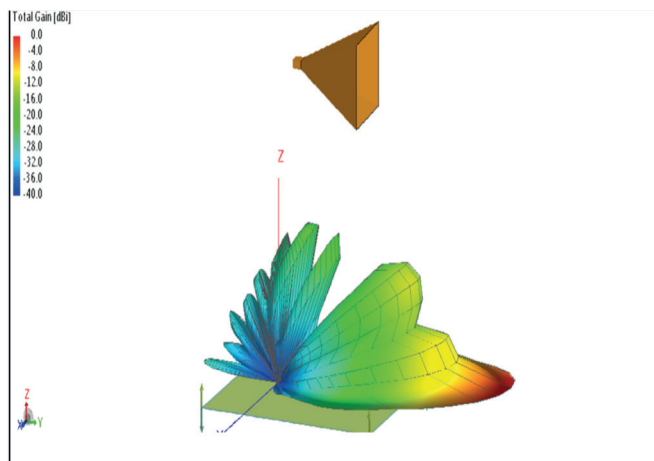


Figura 3. Análisis y simulación de antena de bocina en el software FEKO.

Una vez simulado en FEKO, se toma las medidas para diseñarlo en el software Autodesk Inventor Professional 2015, para obtener los planos de cada parte de la antena (Figura 4).

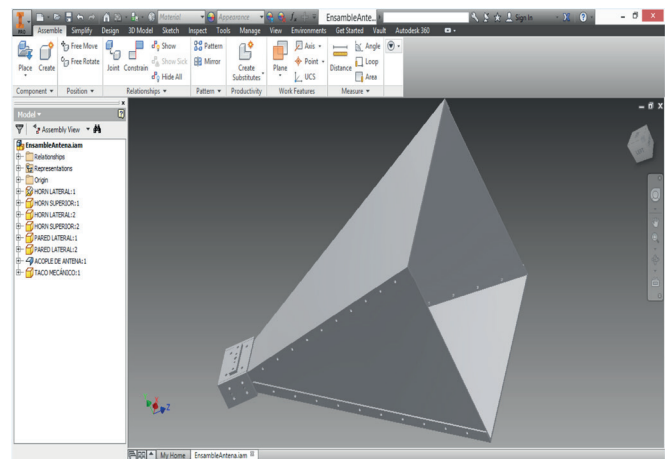


Figura 4. Diseño del ensamblaje de la antena de bocina con uniones de remache en Autodesk Inventor Professional 2015.

2.2. Diseño e implementación del sistema de posición, soporte y alabeo de antenas.

Para el diseño del sistema de posición y soporte de las antenas se realizó una selección del tipo de transmisión a utilizar y de los materiales que se emplearán para la fabricación de la estructura de soporte

2.2.1. Estructura de soporte y alabeo

En el diseño del mecanismo para soporte y alabeo de las antenas, se tomó en cuenta el tamaño de las antenas diseñadas en el software Autodesk Inventor.

Posteriormente, se analizó la forma de empotrar las antenas y variar su ángulo de inclinación.

Seguidamente, se realizó el diseño de la estructura que llevará y soportará el compartimiento del motor DC, del microcontrolador, de la fuente de energía y del mecanismo de alabeo.

La forma de diseño que se optó para éste trabajo fue escalonado, partiendo desde el espacio que ocupa las antenas, hasta el espacio del compartimiento.

Análisis de esfuerzos y deformaciones

Se realiza el análisis de esfuerzos y deformaciones en las piezas, para verificar su resistencia sometida a una cierta fuerza.

En la Figura 5, se muestra el análisis de la pieza **Base – Antena**, diseñada con una plancha de aluminio de 1/8”.

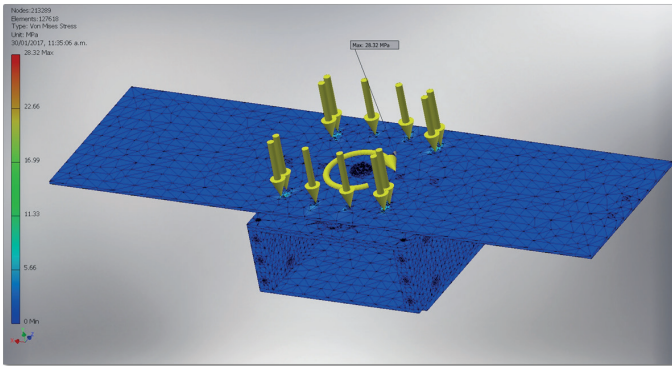


Figura 5. Se muestra el análisis de esfuerzo aplicado a la plancha Base - Antena.

Como se puede apreciar en la imagen, se le aplica una fuerza perpendicular a la base de **57 N**, que es la cantidad de peso del mecanismo de las antenas afectado por la gravedad. Y también se le aplica un momento de **2.1 N.m**, originado por el actuador.

En la Figura 6 se muestra la deformación de la pieza, afectado por la fuerza indicada.

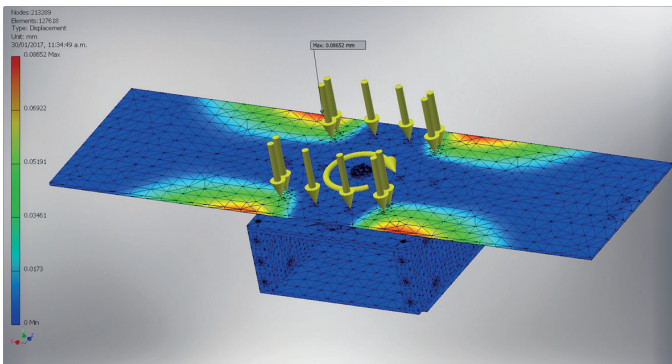


Figura 6. Se muestra los puntos de deformación de la pieza, afectados por $F= 57\text{ N}$ y $M= 2.1\text{ N.m}$.

En la Figura 7 se puede visualizar que los puntos de desplazamientos, ocurren a mediados de los extremos de la plancha, siendo su máximo desplazamiento o deformación de **0.08652 mm**. En este caso, se puede apreciar un efecto de pandeamiento en la pieza seleccionada.

El análisis de la pieza, no concluye en visualizar la deformación de ésta misma, sino en poder ver el grado de robustez o también llamado factor de seguridad, que nos calcula Inventor, para una fuerza de **57 N** y **2.1 N.m**.

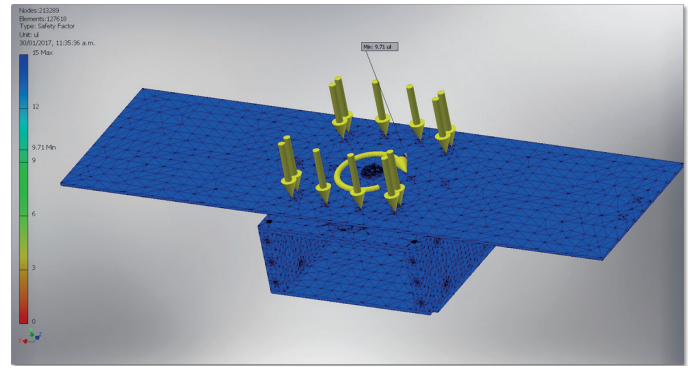


Figura 7. Se muestra el factor de seguridad máximo para ésta pieza, que es de material aluminio 1/8".

Se puede apreciar, que el factor de seguridad máximo, es de **9.71 (adimensional)**.

Se realiza el cálculo para hallar la máxima fuerza de carga sometida a ésta pieza. [4]

$$\begin{aligned} \text{Carga Admisible} &= F_a \\ \text{Factor de Seguridad} &= F_s \\ \text{Carga última} &= F_m \end{aligned}$$

$$F.S = \frac{\text{Carga última}}{\text{Carga admisible}}$$

$$F_a \times F_s = F_m$$

$$57\text{ N} \times 9.71 = 553.47\text{ N}$$

La fuerza máxima es de **553.47 N** antes que la pieza tenga deformaciones permanentes (ruptura del Límite elástico).

2.2.2. Sistema de posición - Tipos de transmisión lineal

Con el objetivo de que el sistema sea fácil de implementar, de bajo costo y preciso, se realizó un análisis sobre los tipos de transmisión que existían en el mercado para movimientos lineales. Entre los cuales, escogimos el tipo de transmisión por correa dentada o por husillo roscado. [5]

Las ventajas y desventajas de los dos tipos de transmisión se presentan a continuación. [5]

Transmisión por husillo roscado

Ventajas:

Resistencia a la suciedad	- Alta
Facilidad de Instalación	- Alta
Precisión	- Alta
Fuerza de Carga	- Alta

Desventajas:

Mantenimiento	- Medio
---------------	---------

Factor de Ruido - Medio

Transmisión por correa dentada

Ventajas:

Resistencia a la suciedad - Alta
Factor de Ruido - Bajo
Precisión - Alta

Desventajas:

Fuerza de Carga - Medio
Mantenimiento - Medio
Facilidad de Instalación - Medio

Otro factor importante para la selección del tipo de transmisión, es que trabajen a la mínima velocidad de operación de los radares SAR. En éste caso, se toma una velocidad de 0.010 m/s, que equivale a mover las antenas a 10 mm en 1 segundo.

Complicidad del sistema a 0.010 m/s

Por Husillo Roscado - Adecuado
Por Correa Dentada - Adecuado

Como nos podemos percatar, en los dos tipos de transmisión es posible el movimiento del sistema a esa velocidad. En este caso se elige la transmisión por husillo roscado, por cumplir los puntos mencionados anteriormente.

3. Resultados

3.1. Etapa de diseño e implementación de las antenas

Las antenas fabricadas se implementaron utilizando planchas de aluminio de 2 mm de grosor, con remaches de 1/8". Quedando las dos antenas (transmisión y recepción) de la forma mostrada en la Figura 8.



Figura 8. Antenas remachadas fabricadas en el Radio Observatorio de Jicamarca.

A su vez, se midió el VSWR, con un Analizador Vectorial de Redes, para poder contrastar con el resultado de la simulación, y se obtuvo un VSWR de 1.00 a 5.3 GHz con nuestras antenas fabricadas.

3.2. Etapa de diseño e implementación del sistema de posición, soporte y alabeo de antenas

El diseño mecánico final del posicionador lineal se presenta en la Figura 9, el cual será implementado con un mecanismo de transmisión de tipo husillo roscado y realizado con materiales como el aluminio, madera tipo tornillo y acrílico.

Se obtuvo un peso del mecanismo en su totalidad de **33.46 Kg.**

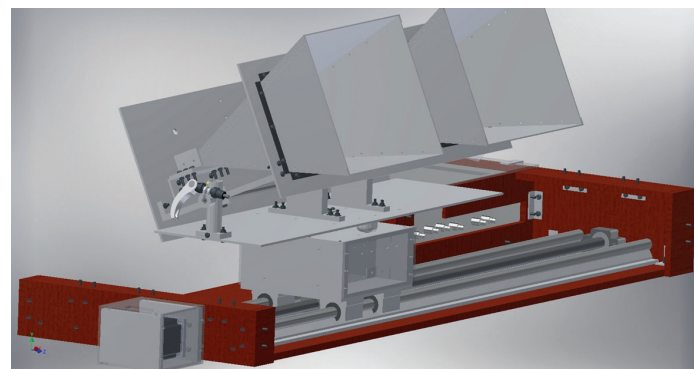


Figura 9. Diseño final del sistema de Radar de Apertura Sintética Portátil. Se puede apreciar el mecanismo de posición y las antenas de transmisión y recepción.

Para su posterior implementación, se realizaron los planos a detalle de cada pieza. En este caso, en la Figura 10, se muestra el plano a detalle de la pieza llamada Base – Tornillo, la cual se encarga de mover las antenas y su estructura de sostén.

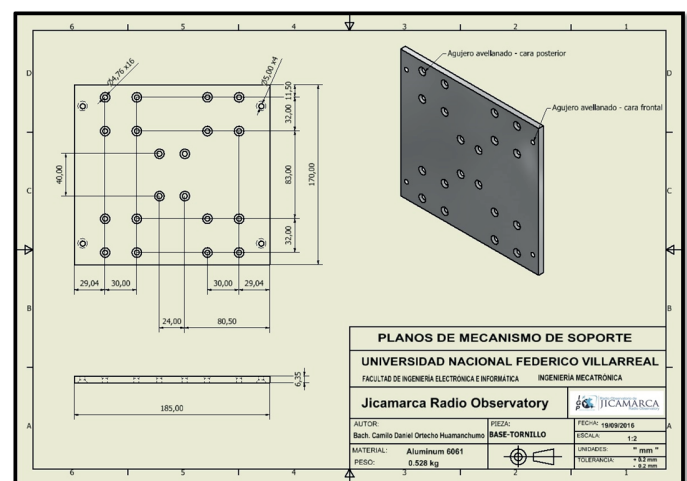


Figura 10. Plano de la pieza Base – Tornillo, para su posterior implementación. Se muestra en el rótulo, varias características a tomar en la fabricación.

4. Discusión

Se puede comprobar que los resultados obtenidos al término de la fabricación de las antenas, son mejores que los calculados con el software Feko. A su vez una de los grandes aportes del radar de apertura sintética, es que obtiene mejores mediciones en precisión, y asegura la vida del operador; lo que no se puede con los métodos tradicionales. Una de las limitaciones del sistema, es que el radar debe posicionarse en un punto determinado, sin que se alteren las condiciones de éste lugar. El presente trabajo se basa en un análisis, diseño e implementación del sistema mecánico de radar y sus modos de apunte, pero no llega a extenderse al estudio de los datos obtenidos por el sensor; con unas pruebas de campo y el análisis en el procesamiento de la data, así como de sus beneficios de apunte, se llegaría a validar que el radar no solo podría medir manto nevoso (Stripmap o Spotlight), sino también a ayudar en la búsqueda de personas que se encuentren atrapadas en la nieve (Spotlight).

5. Conclusiones

El diseño de antenas para cualquier radar, depende de la banda de frecuencias en la que trabaje, en éste sistema la antena de transmisión y recepción, trabajan en Banda C (4 – 8 GHz).

La forma de fabricación de las antenas que se implementadas en el Radio Observatorio de Jicamarca, demostraron que se puede fabricar con planchas de aluminio con uniones de remache, obteniendo un VSWR bastante aceptable (VSWR = 1) y a su vez reduciendo los costos de fabricación.

Para elegir el tipo de transmisión, se debe evaluar los requisitos que demanda el sistema, en este caso, la transmisión por husillo dentado es la adecuada.

Además, el poder diseñar cada parte del sistema mecánico del radar en un software profesional de diseño, nos ayudó para poder revisar si es que existiera alguna coalición entre piezas, deformación de material, etc.

6. Recomendaciones

Para diseñar estructura mecánicas, se recomienda utilizar los programas Autodesk Inventor o Solidwork, debido a que permiten realizar múltiples análisis en el diseño mecánico de la estructura; simulación dinámica para verificar si existe colisión, análisis de deformación y factor de seguridad de las piezas diseñadas, etc.

Para el diseño de antenas, se recomienda utilizar algoritmos genéticos, que realizan el diseño para una antena bastante eficiente.

7. Agradecimientos

Se agradece al Radio Observatorio de Jicamarca, sede del Instituto Geofísico del Perú, por darme la oportunidad de pertenecer a éste proyecto.

Así mismo al Dr. Marco Milla Bravo, al Ing. André Florentino, al Tec. Edward Arboleda, al Ing. César De La Jara Sánchez y a todo el personal del área CIELO del Radio Observatorio de Jicamarca, por la ayuda brindada en el desarrollo del presente proyecto.

8. Bibliografía

Constantine A. B. (1997): *Antenna Theory - Analysis and Design*, pp 739-780

Martínez, A. (2008): *Snow cover monitoring techniques with GB-SAR. Ph.D. Dissertation. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.*

Lascano, M (2007): *Dónde y cómo se mide la nieve en los Andes*, Departamento de Ccs de la Atmósfera - UBA, Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, IANIGLA CONICET

Pytel, F; Singer, Al. (1987): *Resistencia de Materiales. México: Alfaomega Grupo Editor.*

Castiglione, N. (2011): *Transmisión del movimiento a los ejes de los CNC-Routers. En: www.revistaletreros.com/pdf/108-034a039.pdf*

De La Asunción López, E. ; Zurek, E. ; Ripoll, L. ; Hernández, J. (2009): *Algoritmos genéticos aplicados a la optimización de antenas yagi-uda. Universidad de Medellín.*

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE RECARGA AUTÓNOMA PARA UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA EL MONITOREO DE VOLCANES – PARTE II

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN AUTONOMOUS RECHARGING STATION FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR VOLCANO MONITORING – PART II

Alessandro Morales Saravia

Universidad Nacional del Callao
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
alessandro.morales@jro.igp.gob.pe

Asesor: Danny Scipión, Ph.D.

Radio Observatorio de Jicamarca - IGP

Resumen

Se enviará un vehículo aéreo no tripulado al cráter del volcán Ubinas (5672 m.s.n.m.) para estudiar y caracterizar la actividad volcánica, mediante la captura de fotos y videos a través de una cámara óptica y una cámara térmica. Este vehículo sólo proporciona una autonomía de vuelo de máximo 20 minutos, principalmente debido al alto consumo energético que se genera por la baja densidad de aire que se encuentra a esta altura. Ya que este tiempo no es el suficiente para completar la ruta de vuelo deseada, se plantea el diseño y la implementación de un sistema de recarga de energía para garantizar que el vehículo aéreo no tripulado complete la misión de monitorear el volcán.

Palabras clave: sistema de recarga, uav, autonomía de vuelo, monitoreo de volcanes.

Abstract

An unmanned aerial vehicle (UAV) will be sent to the crater of the Ubinas volcano (elevation 5672 m) to study and characterize volcanic activity by taking photos and videos through both an optical camera and a thermal camera. The UAV only provides a maximum flight time of 20 minutes, mainly due to high energy consumption caused by flying in low air densities found at this altitude. Because the initial estimated flight time is not sufficient to complete the desired flight path, it necessitates the design and implementation of a charging power system to ensure that the UAV can complete the mission to monitor the volcano.

Keywords: Keywords: recharging system, uav, flight range, volcano monitoring.

1. Requerimientos del sistema

El sistema cuenta con los siguientes requerimientos.

- Poseer alimentación autónoma mediante un sistema fotovoltaico.
- Integrar un adaptador para la conexión autónoma de las baterías con el sistema.
- Iniciar y controlar el proceso de recarga de manera automática.
- Cargar las baterías del dron para continuar con la ruta de vuelo programada.
- Permitir el monitoreo remoto del estado de la recarga.

Dados los requerimientos del sistema es posible comparar y seleccionar el tipo de sistema de recarga más idóneo, de acuerdo a sus características y a los recursos que se poseen para su desarrollo (Tabla 1).

Tabla 1. Comparativo entre los tipos de sistema de recarga considerados en los antecedentes

Tipo de Sistema	Magnético ^a	Láser ^b	Swap ^c	Pad ^d
Integración de sistema fotovoltaico	✓	X	✓	✓
Implementar funcionamiento autónomo	✓	X	X	✓
Inicio de recarga automático	✓	✓	✓	✓
Tiempo de recarga óptimo	X	✓	✓	✓
Monitoreo remoto de la recarga	✓	✓	✓	✓
Costo de diseño e implementación	✓	X	X	✓
Tiempo de diseño e implementación	✓	X	X	✓

^a Carga mediante acoplamiento magnético ^b Carga láser ^c Cambio/Recarga de baterías
^d Carga usando pad conductor

De acuerdo a la evaluación se seleccionó el sistema de recarga con base en el modelo de carga que usa pad conductor. Las variables que componen el sistema son las siguientes (Figura 1).

- Referencia: Valor de voltaje de carga requerido.
- Sensor: Detección de presencia del dron y medición del voltaje de carga.
- Salida: Voltaje de carga del cuadricóptero.

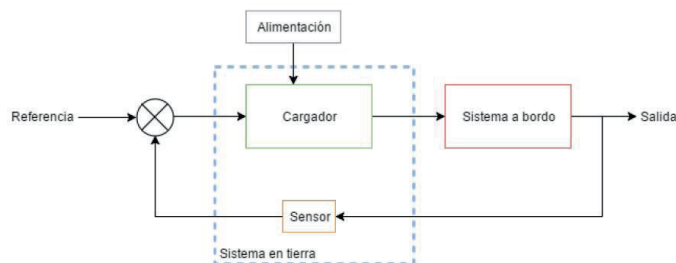
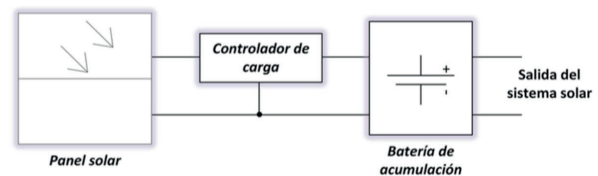


Figura 1. Diagrama de bloques general del sistema de recarga.

2. Diseño e implementación

2.1. Alimentación del sistema de recarga

Debido a que en la zona donde se ubicará la estación de recarga no se cuenta con toma de energía eléctrica comercial, se incorporará un sistema fotovoltaico para proveer energía de manera autónoma. Los elementos que comprenden el sistema son: el panel solar, el controlador de carga y la batería de acumulación (Figura 2).



Consumo: 2 baterías LiPo de 6S (22.2 V) y 16000 mAh

Potencia de consumo	710.4 W
Voltaje de operación	36 V
Nº de paneles, voltaje, potencia	3 paneles - 12 V - 80 W
Corriente del controlador	35 A
Nº de baterías, voltaje, capacidad	3 baterías - 12 V - 108 Ah

Figura 2. Esquema referencial de composición del sistema fotovoltaico con sus características técnicas.

Para implementar el sistema fotovoltaico se debe seguir el esquema de instalación mostrado en la Figura 3.

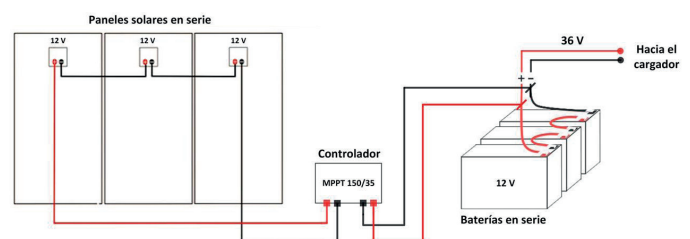


Figura 3. Diagrama de conexión del sistema fotovoltaico.

En la Figura 4 se puede observar el sistema fotovoltaico que se utilizará para alimentar el sistema de recarga.

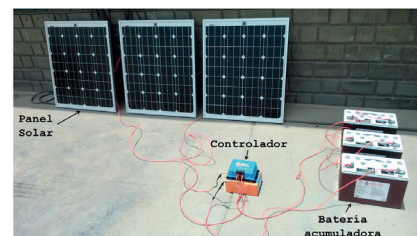


Figura 4. Sistema fotovoltaico que sirve como alimentación para la estación de recarga.

2.2. Sistema de recarga en tierra

La función principal de este bloque es recargar las baterías del dron. Para ello incorpora tanto elementos de recarga como elementos de control (Figura 5).

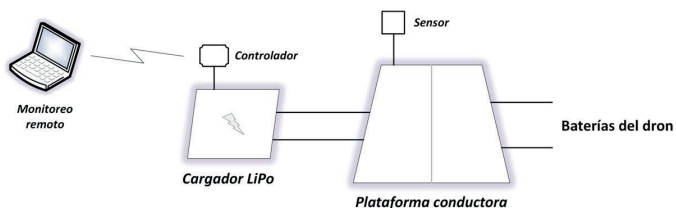


Figura 5. Diagrama de bloques del sistema de recarga en tierra.

El cargador se conectará a una plataforma o pad de material conductor que permitirá el aterrizaje del dron y servirá de puente eléctrico entre el cargador (en tierra) y las baterías del dron (a bordo) a través de una interfaz de contacto eléctrico. La plataforma conductora se compone de una lámina de cobre con medidas 1 m x 1 m x 0.80 mm, con recubrimiento de plata para mejorar la conductividad y obtener un mejor rendimiento en el proceso de recarga. La superficie de la plataforma, a su vez, habilita una zona de aterrizaje de área propicia para el dron (Figura 6). La lámina es dividida en dos partes de igual superficie, las cuales son polarizadas con las cargas positiva y negativa provenientes del cargador.

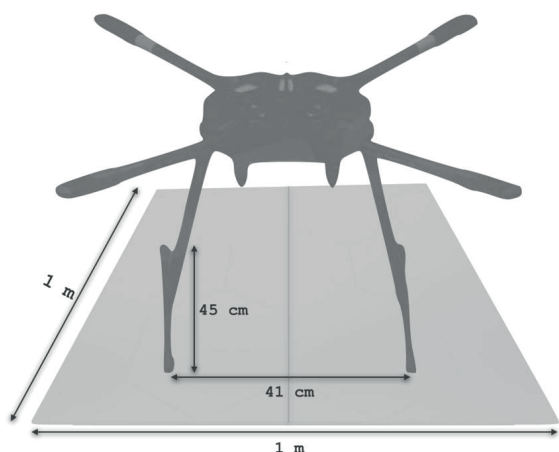


Figura 6. Medidas de la plataforma conductora.

Para la construcción de la plataforma conductora, se debe fijar ambas láminas en una base de madera. Esto se puede realizar con tornillos, de manera que luego estos sirvan para polarizar cada una de las placas metálicas (Figura 7).

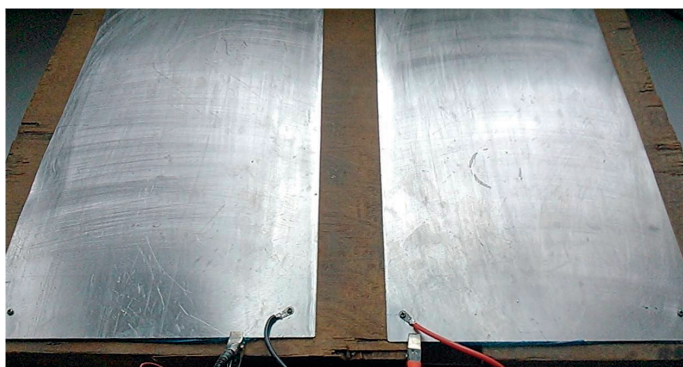


Figura 7. Plataforma conductora compuesta de dos láminas metálicas atornilladas a una.

Continuando con el análisis del bloque correspondiente al cargador LiPo. Se sabe que este tipo de cargadores requiere de ser configurado manualmente para que pueda iniciar el proceso de recarga. Para lograr el inicio automático del cargador se utilizó un microcontrolador conectado a la interfaz botón del cargador (Figura 8). La finalidad de ello es contribuir al funcionamiento autónomo del sistema de recarga, de manera que cuando el dron aterrice en la plataforma el cargador inicie el proceso de recarga automáticamente.

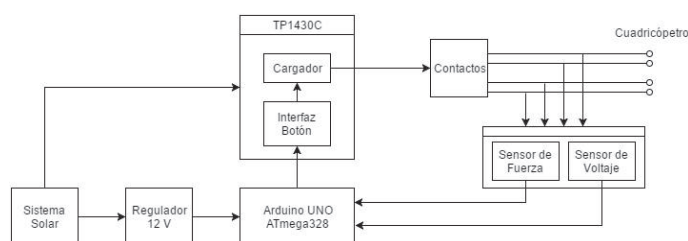


Figura 9. Diagrama de flujo de inicio y finalización del proceso de recarga.

Para la detección del aterrizaje del dron se hace uso de un sensor de fuerza FSR 406 [2]. Este posee una sensibilidad de 0.1 – 100 Newtons que equivale a la detección de pesos desde 100 g hasta 10 kg y puede trabajar en temperaturas de -30 a +70°. Para poner en funcionamiento este sensor sólo es necesario conectarlo a la entrada de un ADC con una resistencia pull down. Se debe colocar el sensor en el pad conductor de manera que cuando el dron aterrice, la fuerza ejercida por su peso active el sensor y autorice el inicio de la recarga (Figura 9).

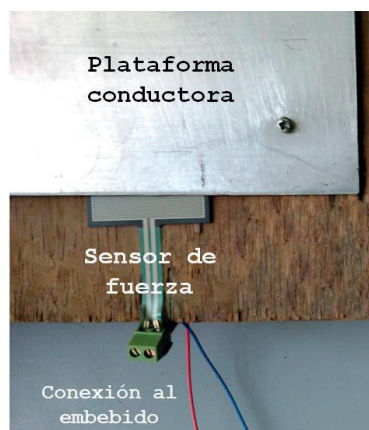


Figura 9. Sensor de fuerza colocado para detectar el aterrizaje del dron en la plataforma.

Luego de implementar el control de recarga se debe conectar la plataforma conductora con el cargador, haciendo uso de cables con conectores tipo ojal (lado de plataforma) por un extremo, y por el otro con conectores tipo banana (lado del cargador).

2.3. Sistema de recarga en tierra

El sistema de recarga a bordo posee dos funciones, primero la de asegurar el aterrizaje sobre la plataforma conductora y segundo la de acoplar o adaptar las

baterías del dron, para que puedan ser conectadas a la plataforma a través de contactos eléctricos en las patas del cuadricóptero.

Analizando la primera función, se conoce que el autopiloto adquiere el parámetro de posicionamiento horizontal del módulo GPS. Este módulo posee una precisión de 2.5 m con un error circular probable (CEP) de 50%, es decir, existe un 50% de probabilidad que el dron aterrice en un círculo de 2.5 m de radio con un nivel de señal de -130 dBm y un conteo mayor a 6 satélites.

De esto puede determinarse que si se desea aterrizar el dron en una plataforma cuadrada, esta debería tener una superficie mayor a 6 metros cuadrados. Sin considerar que se pueden presentar errores de posicionamiento por interferencia electromagnética, baja señal de recepción GPS o conteo reducido de satélites. Este nivel de precisión no es el óptimo para la aplicación requerida, debido a la gran dimensión que debería tener la plataforma conductora y la precisión en el punto de aterrizaje. Es por ello que se planteó reducir el nivel de incertidumbre haciendo uso del módulo IR-LOCK, el cual está basado en el sensor de visión Pixy [3]. El sensor Pixy tiene modificado el filtro y el lente de la cámara para detectar emisiones de luz infrarroja (IR), con eso puede rastrear (tracking) emisores o marcadores IR, para lograr una mayor precisión en la detección del punto de aterrizaje. Este sensor de visión se debe colocar con el lente hacia abajo del cuadricóptero.

Para habilitar la recarga por medio de las patas del dron, se escogió como medio de contacto un arreglo de 6 pines con resorte interno. Cada uno de estos pines soporta 2 A, lo que permite una conducción de corriente total de 12 A. Estos pines se colocan en las patas del dron de manera que el resorte se contraiga y ejerza presión sobre la plataforma conductora luego de que el dron aterriza. Esto permite un mejor contacto entre la plataforma y el conector de manera que se asegure la conexión para la recarga.

3. Resultados

Se realizaron diversas pruebas del sistema de recarga, con la finalidad de conocer el comportamiento de cada una de las etapas y realizar observaciones para futuras mejoras.

3.1. Autonomía energética

Para estas pruebas se consideró el sistema fotovoltaico mostrado en la Figura 4. Se demostró que este sistema brinda suficiente energía como para operar el sistema de recarga por 4 veces consecutivas sin necesidad de utilizar energía solar.

Esto ratifica que el cuadricóptero que se encuentra en desarrollo, que posee dos baterías de 6S y 16000 mAh en serie, puede volar y recargarse hasta por 4 veces sin interrumpir extensamente la misión que realiza.

Aunque si se considera la recarga del cuadricóptero F450, que posee una batería LiPo de 3S y 2600 mAh, brinda más de una veintena de recargas. Cabe resaltar que la ventaja principal de este sistema fotovoltaico se encuentra en la capacidad de las baterías acumuladoras que se utilizaron (108 Ah).

3.2. Precisión en el aterrizaje

En este punto se realizaron tanto pruebas de aterrizaje mediante GPS, como a través del módulo de aterrizaje de precisión. En ese sentido, se destaca que al momento de ejecutar vuelos autónomos en las instalaciones del ROJ, la precisión en el punto de aterrizaje programado fue de 1–2 metros. Nivel de precisión lo suficiente bajo como para optar por la utilización del módulo de aterrizaje con sensor de visión, que brinda una precisión de 5 – 30.

3.3. Tiempo de recarga

Dentro de las pruebas de recarga, se midió el tiempo que demoraba el proceso para recargar la batería del cuadricóptero F450. Luego de una serie de ensayos se determinó que el tiempo promedio de recarga es de 52 minutos, cuando la batería se encuentra a menos del 30% de capacidad. Cabe señalar que esto puede disminuirse notablemente si se aumenta la corriente de carga de 1C a 2C, para el presente caso esto equivaldría a recargar las baterías aproximadamente en la mitad de tiempo.

3.4. Respuesta del sistema de control

En cuanto al sistema de control, se puede afirmar que el proceso configurado en el embebido posibilitó la lectura correcta del sensor de fuerza (detección de aterrizaje) y del sensor de voltaje (monitoreo de estado de recarga). Además, no se presentó ningún error ejecutando el proceso automatizado de inicio de recarga, es decir, la configuración del cargador se efectúa automáticamente sin inconvenientes.

3.5. Monitoreo de recarga

Para el monitoreo de recarga se usa principalmente los datos obtenidos del sensor de voltaje conectado al sistema embebido. Estos datos fueron adquiridos cada 1000 ms, el muestreo culmina cuando el valor de la lectura alcanza el nivel de voltaje máximo de carga de la batería (12.6 V, para el ejemplo).

4. Conclusiones y recomendaciones

Luego de determinar que se cumplió la hipótesis y que se alcanzaron los objetivos propuestos, se finaliza la investigación manifestando las siguientes conclusiones y recomendaciones.

La presente investigación determina que es posible recargar las baterías de un cuadricóptero de manera autónoma en un lapso menor a 1 hora, con la finalidad de permitir que se complete la misión de monitoreo en el volcán Ubinas. Esto se realiza con un sistema de recarga que incorpora alimentación autónoma, aterrizaje de precisión y control de recarga.

La utilización del sistema de recarga en el contexto geográfico del volcán Ubinas planteó un desafío poco estudiado hasta el momento, lo que resultó en una mayor exigencia para el diseño e implementación del sistema. En base a ello, este trabajo propone consideraciones que pueden ser utilizadas posteriormente para misiones con exigencias similares.

Existe una notoria desventaja en el tiempo de recarga, comparado con los sistemas de recarga láser y por swap, aunque para el presente proyecto esto no fue crítico. Sin embargo, para futuras investigaciones, se debe analizar el tiempo de recarga óptimo requerido para el desarrollo de la misión.

A manera de recomendación, a futuro se debe considerar la incorporación de una estructura protectora automatizada para brindar seguridad a los equipos. Principalmente para salvaguardar la integridad de los equipos del desgaste ocasionado por el medio ambiente o por el impacto de una roca proveniente del volcán.

5. Agradecimientos

Deseo agradecer al Radio Observatorio de Jicamarca, sede del Instituto Geofísico del Perú por facilitar los recursos necesarios para la realización de la presente investigación, la cual sirvió para optar por el título de ingeniero electrónico. De esta manera logré uno de los objetivos profesionales más importantes hasta el momento.

A su vez, agradecer al Dr. Danny Scipión por su apoyo y motivación constante.

6. Bibliografía

THUNDER POWER RC. TP1430C Instruction/ Operation Manual. Disponible en: <http://www.atlantahobby.com/images2/ThunderPower/TP1430CManualandInputOutputchart.pdf>. Datasheet. Consultado el 05 de julio del 2016.

INTERLINK ELECTRONICS. FSR 406 Data Sheet – FSR 400 Series Square Force Sensing Resistor. Disponible en: <http://www.trossenrobotics.com/productdocs/2010-10-26-DataSheet-FSR406-Layout2.pdf>. Datasheet. Consultado el 11 de julio del 2016.

ARDUPILOT. Precision Landing with IR-LOCK. Disponible en: <http://ardupilot.org/copter/docs/precision-landing-with-irlock.html>. Artículo web. Consultado el 01 de diciembre del 2016.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES EN EL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE HUAYCOS EN LA QUEBRADA DE JICAMARCA, DISTRITO DE HUAROCHIRÍ, DURANTE EL AÑO 2016.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A WIRELESS NETWORK OF SENSORS IN THE FLOODS' EARLY WARNING SYSTEM IN THE BROADCAST OF JICAMARCA, HUAROCHIRI DISTRICT, DURING THE YEAR 2016.

Leonardo Atúncar Chumbiauca
Universidad Nacional Federico Villareal
Facultad de Ingeniería Electrónica e Informática
Leonardo.atuncar@gmail.com

Asesor: Marco Milla, Ph.D.
Radio Observatorio de Jicamarca - IGP

Resumen

El Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ), sede del Instituto Geofísico del Perú, tiene una ubicación cercana a los cauces del Río Seco y Huaycoloro, lo cual le ha permitido que a partir de 1960 se pueda presenciar y observar la llegada de huaycos por estos cauces.

Esto conllevó al ROJ a trabajar conjuntamente con SEDAPAL, convenio que sigue en vigencia y se renueva año tras año, así nació el Sistema de Alerta Temprana de Huaycos (SATH); a fines del 2014 se empieza a trabajar en mejoras al SATH gracias al financiamiento de Innóvate Perú, una de estas mejoras incluye el diseño e implementación de la red inalámbrica del SATH, en los puntos de monitoreo establecidos con sistema autónomo de energía.

Palabras clave: Puntos de monitoreo, sistema autónomo de energía, red inalámbrica.

Abstract

The Jicamarca Observatory Radio (ROJ), a research facility of the Geophysical Institute of Peru, has a location close to the Río Seco and Huaycoloro riverbeds, which has allowed it to be able to witness and observe the arrival of huaycos by these channels.

This led to the ROJ to work together with SEDAPAL, an agreement that is still in force and renewed year after year, and The Huaycos Early Warning System (SATH) was born; By the end of 2014, work is begun on improvements to the SATH thanks to Innovavate Peru financing, one of these improvements includes the design and implementation of SATH's wireless network,

Keywords: Monitoring spots, autonomous power system, wireless network.

1. Introducción

El Sistema de Alerta Temprana de huaycos (SATH) está conformado por cuatro puntos de monitoreo a lo largo de los cauces Huaycoloro y Rioseco (Figura 1). Los puntos de monitoreo están conectados a un punto común conocido como Estación Cliente, el cual sirve de nexo entre los componentes del campo y el equipo central ubicado en las oficinas del ROJ. Existen dos estaciones cliente: Huaycoloro y Rioseco (Figura 2).

En cada punto de monitoreo están instalados los diversos sensores, usualmente cerca del cauce del huayco. Es esta la forma de trabajo en el SATH. Puntos importantes a considerar son la comunicación entre puntos de monitoreo y estación cliente, en esta era por medio cableado pero actualmente se trabaja inalámbricamente.

Se toman protocolos inalámbricos de comunicación como base de desarrollo para los puntos de monitoreo que usen protocolos de comunicación alternativos al wifi.

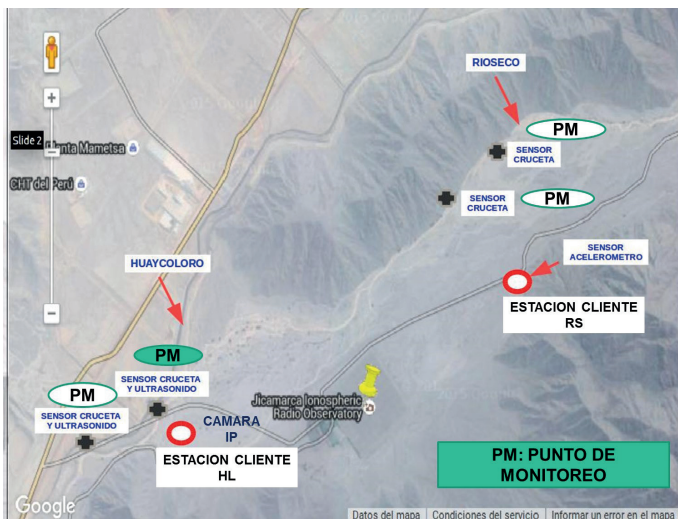


Figura 1: Ubicación del Sistema de Alerta Temprana de Huaycos.



Figura 2: Descripción geográfica, quebradas Huaycoloro y Río Seco.

2. Problema

La geografía del lugar condiciona a instalar equipos que usen ciertos rangos de frecuencia de operación, la distancia a las oficinas y a alguna toma de corriente, esto supuso emplear energías alternativas para el funcionamiento total de las estaciones clientes de Huaycoloro como de Río Seco. Por las condiciones medioambientales de esta zona se adquirieron equipos que se adecuen mejor a estas.

Se consideraron las siguientes variantes para la adquisición e instalación de equipos en los puntos de monitoreo y estaciones cliente. La problemática de los protocolos a emplear, se llevó a cabo un análisis según estas otras variantes.

- Ancho de banda
- Alcance
- Consumo energético
- Costo de los equipos
- Modularidad

Hecho el análisis de protocolos inalámbricos. Se decidió por adquirir y trabajar en base a tres tecnologías. Estos protocolos son: RF, WiFi y GSM

Módulo de comunicación RF más Arduino:

Ambos elementos se colaron dentro de una caja de paso hermética, alimentada por un mini panel solar a 5 V de alimentación (Figura 3).

Las pruebas llevadas a cabo consistieron en enviar y recibir paquetes de información durante cortos períodos de tiempo. Esto forma parte del trabajo realizado en campo hasta el momento.



Figura 3. Hardware del módulo RF

Módulo de comunicación WiFi más Arduino:

También se colocaron ambos dispositivos dentro de una caja de paso, dada la necesidad de proteger los equipos de la intemperie (Figura 4), para trabajar con WiFi se empleó un node MCU.

Al igual que en el caso anterior se hicieron pruebas de envío y recepción de paquetes de información por cortos períodos de tiempo, todo esto realizado en campo, en la ubicación física de los puntos de monitoreo.

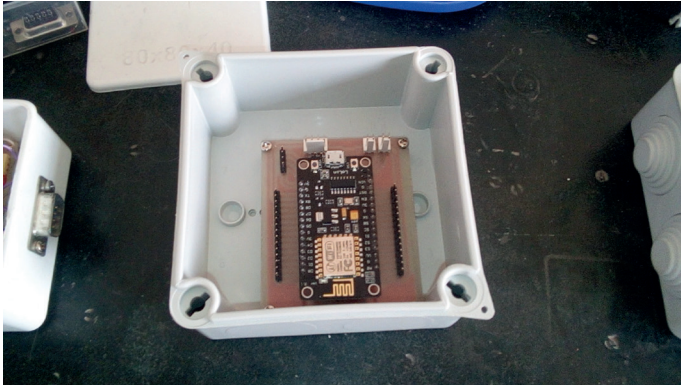


Figura 4: Hardware del módulo wifi.

Módulo de comunicación GSM más Arduino:

El elemento GSM en este escenario es un módulo GSM/GPRS sim 800. La banda de operación de este SIM dependerá de la tarjeta SIM o chip adquiridos, por lo tanto dependerá de la operadora de telefonía móvil con la que desee trabajar, para este caso en particular se usó Movistar (Figura 5). También se realizaron pruebas en campo con este módulo de comunicación, las cuales consistieron al igual que las otras, en envío y recepción de paquetes de información.

El detalle más importante a tomar en cuenta es el área de cobertura para GSM, ya que la geografía de Jicamarca supone restricción moderada en las comunicaciones móviles, traducido en que solo se podrán ubicar estos módulos y operarlos correctamente solo en zonas de cobertura, se identificó como zonas de cobertura las aledañas al puente cerca de la primera tranquera.

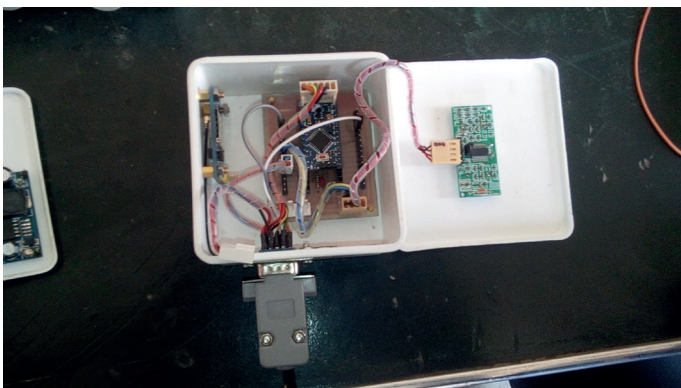


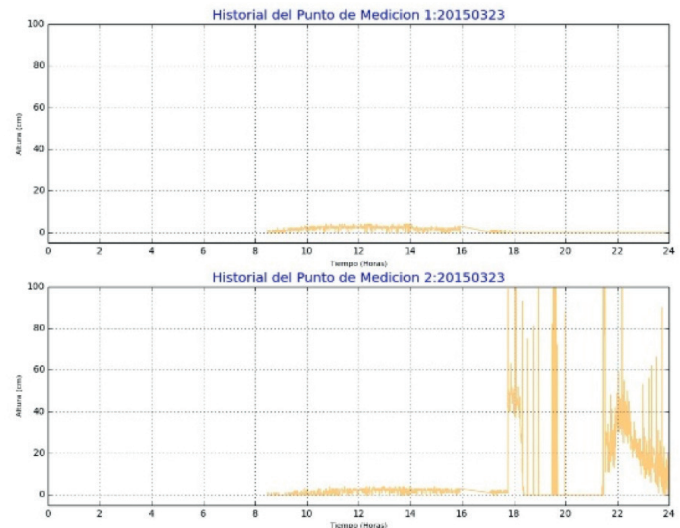
Figura 5: Hardware del módulo GSM

3. Antecedentes

La versión del SATH en la cual se continúa trabajando y haciendo mejoras tiene como antecedente a las versiones anteriores del mismo sistema. Desde

que la primera versión fue puesta en operación han habido múltiples reportes de evento.

Se tienen registros de data registrada por sensores de ultrasonido, dichos sensores miden el nivel de agua o barro del huayco por efecto doppler y también mide la temperatura ambiental, los cuales son presentados en la Figura 7.



FFigura 6: Nivel de caudal, cauce Huaycoloro.

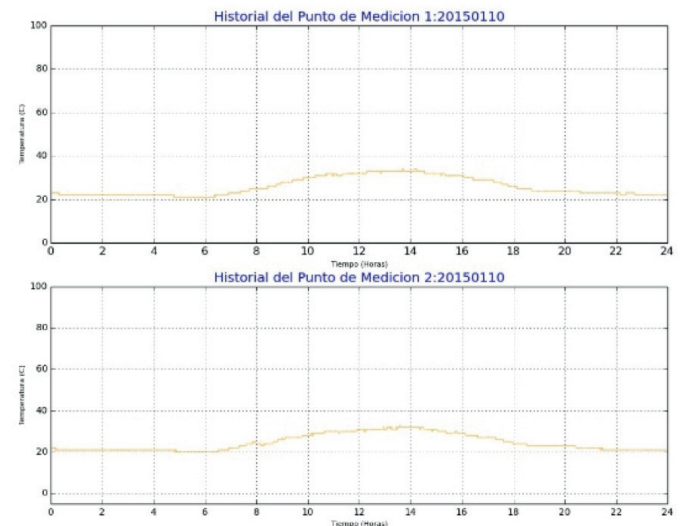


Figura 7: Nivel de caudal, cauce Huaycoloro.

4. Discusión

Para elegir uno u otro protocolo inalámbrico de comunicación se tuvo que comparar el desempeño de cada una de estas, efectuadas en campo y fuera de él (Tabla 1).

Tabla 1.Comparación según consumo de energía

Items	Descripcion	Corriente (mA)	Voltaje (V)	Potencia (W)
Consumo	Consumo total	30	20	0.15
Equipos	NRF24L01	15	5	0.075
	Arduino	5	0	0.025
	us-100	5	0	0.025
	Acelerómetro	5	0	0.025
	Otro	0	0	0
Sensado por período	Tiempo de sensado(m)	1		
	Tiempo de respuesta de los sensores (s)	5		
Consumo	%Potencia encendido Arduino	0.85		
	Consumo total(mw)	14.71		
Batería	Batería Amper-Hora(mAh)	800		
	Eficiencia (%)	60		
	Pérdidas(%)	0		
	Batería Voltaje(Volt)	5		
Duración	Capacidad Batería(mWh)	24000		
	Horas de funcionamiento	1632		
	Días de funcionamiento	68.00		
	Meses	2.27		
Consumo	Consumo total mW	150		
Duración	Horas de funcionamiento	160		
	Días de funcionamiento	6.666666667		
	Meses	2.222222222		

También se analizaron anchos de bandas según protocolo, probados en campo con recepción de datos satisfactoria.

5. Conclusiones

Luego de numerosas pruebas en campo y pruebas de funcionamiento de los módulos para puntos de monitoreo se infiere que el protocolo de comunicación más adecuado para la quebrada de Jicamarca es el que emplea RF.

Esto no es concluyente para otro escenario, en caso de ser una configuración geográfica distinta, ninguno de los tres presentó fallas al ejecutarse las pruebas correspondientes, son parámetros a tomar en cuenta: la geografía principalmente, el consumo energético de los elementos que componen el sistema y como se energizarán los elementos de no haber tomas de energías cercanas o carecer completamente de ellas.

6. Recomendaciones

Es importante tener en cuenta los escenarios en los cuales pueden operar estos módulos, debido a que al trabajar con sistemas de alerta temprana de huaycos, necesariamente los equipos van a estar expuestos a ciertos riesgos propios del escenario donde se les ubique. En la cuenca de Jicamarca el terreno no es altamente riesgoso sin embargo los puntos de monitoreo al estar tan cerca de los cauces, es de tener cuidado, no solo por los propios equipos sino también por el personal involucrado.

Cabe resaltar que la autonomía de la estación cliente está garantizada para cualquiera de los módulos que se deseen implementar, cuenta con el tamaño ideal para instalarse en lugares de difícil acceso con los menores inconvenientes posibles.

7. Agradecimientos

Se agradece al Instituto Geofísico del Perú y al programa Innóvate Perú por facilitar los recursos necesarios y darme la oportunidad de formar parte del proyecto "Sistema de Alerta Temprana de Huaycos".

Así mismo al Ing. Fernando Montenegro Díaz, Cristóbal Herbozo, Erick Vagas así como a otras personas involucradas en el desarrollo de la presente investigación.

8. Bibliografía

Sohraby, K.; Minoli, D. and Znati, T. (2007): *Wireless Sensor Networks*. Wiley, 2007 edition.

Akyildiz, I.F.; Su, W.; Sankarasubramaniam, Y. and Cayirci, E. (2001): *Wireless sensor networks : a survey*. *Computer Networks*, 38:393–422, 2002.

Tampere University of Technology. Project - http://www.tkt.cs.tut.fi/research/daci/cp_wirepas_overview.html, 2011

“FORMACIÓN DE IMÁGENES A PARTIR DEL PROCESAMIENTO DE SEÑALES DEL RADAR DE APERTURA SINTÉTICA (SAR) DEL RADIO OBSERVATORIO DE JICAMARCA (ROJ) PARA LA MEDICIÓN DE DESLIZAMIENTOS”

Image formation from signal processing of the Jicamarca Radio Observatory (JRO) Synthetic Aperture Radar (SAR) to measure landslides.

Luis Saul Charapaqui Miranda
Universidad San Martín de Porres
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
saul.charapaqui@gmail.com

Asesor: Marco Milla, Ph.D.
Radio Observatorio de Jicamarca - IGP

Resumen

Este proyecto de investigación y desarrollo tecnológico, llamado “Sistema remoto de monitoreo y alerta temprana de deslizamientos de grandes masas de tierra” propuesto por el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ), nace de la necesidad de los Geólogos por utilizar herramientas de monitoreo de deslizamientos más efectivas, seguras y eficientes en comparación a las herramientas tradicionales. El monitoreo de deslizamiento de grandes masas de tierra son fenómenos naturales que ocurren lentamente en el transcurso del tiempo; sin embargo, se debe tener conocimiento de su estado actual para prevenir y salvaguardar los bienes materiales y humanos de la zona. Es por ello, que se necesita una herramienta con las características de ser: portable, que sea capaz de monitorear varios puntos en una zona determinada, monitoreo constante (día y noche), y sea remoto para resguardar la seguridad de los trabajadores que realizan esta labor. Por lo tanto, el trabajo de tesis es una consecuencia de este proyecto donde se explicaran la situación problemática, formación de imágenes de radar, técnica de medición de desplazamientos, los resultados obtenidos y conclusiones.

Palabras clave: Formación de imágenes por radar, Radar de Apertura Sintética, Interferometría Diferencial.

Abstract

This research and technological development project, called “Sistema remoto de monitoreo y alerta temprana de deslizamientos de grandes masas de tierra” planned by the Jicamarca Radio Observatory (JRO), borns from the necessity from geologists to use better, effective, and safer landslide monitoring tools than traditional monitoring techniques. Landslide monitoring of big mass movements is a natural phenomenon which occur slowly over time, but it is important to take under control its actual status to prevent and safe material and human resources. Because of that, it is needed to develop a tool with the following characteristics like: portable, be able to manage several monitoring points over a desired zone, all-day monitoring capability, and remote system to resave the security of the people who set up this system. Therefore, the thesis research come in consequence of this project where this will explain the problematic situation, imaging radar, displacements measure technique, final results and conclusions.

Keywords: Radar imaging, Synthetic Aperture Radar (SAR), Interferometry differential.

1. Introducción

El presente trabajo se basa en el desarrollo e implementación de un radar de apertura sintética terrestre para el monitoreo remoto de grandes masas de tierra, como los deslizamientos. Se plantea medir el desplazamiento milimétrico de la región de interés como cerros o laderas utilizando imágenes formada por señales de radar. La resolución necesaria es conseguida aplicando la técnica de apertura sintética, teniendo como ventaja el monitoreo constante de las condiciones atmosféricas durante las 24 horas, al usar ondas electromagnéticas en el orden de las microondas.

El sistema de radar y mecánico fue adquirido por el Radio Observatorio de Jicamarca. En el desarrollo del proyecto de tesis se implementó e investigó los algoritmos de formación de imágenes de señales de SAR, se realizó la validación de las resoluciones en rango y azimut obtenidas, mejoras de la carga computacional, disminución de distorsiones en las imágenes aplicando técnicas de windowing usado en el procesamiento digital de señales. Por último, se implementó la metodología para realizar pruebas de laboratorio con objetivos metálicos para obtener las imágenes de radar y concluir la capacidad del sistema de radar de medir desplazamientos milimétricos utilizando la técnica de interferometría diferencial.

2. Situación Problemática

Se plantea un sistema tecnológico que sea capaz de evaluar la situación de un desastre natural específico, que son los deslizamientos, midiendo la evolución periódica de grandes masas de tierra en una zona de posibles deslizamientos.

Existen muchas viviendas de familias en un constante riesgo ante la ocurrencia de eventos naturales como deslizamientos y huaycos, estas carencias son principalmente causadas debido a un crecimiento descontrolado de la población, desigualdades económicas y la falta de políticas de prevención. En este caso se estudiara los peligros de movimientos en masa, los cuales comprenden los deslizamientos y huaycos. Sin embargo, ambos fenómenos se presentan con algunas diferencias. Los deslizamientos se definen como movimientos de masas de tierra progresivos por la inestabilidad del talud causado por el humedecimiento de las lluvias, movimientos sísmicos y actividad humana. En cambio, los huaycos se definen como movimientos repentinos de grandes masas de lodo, vegetación y piedras, en taludes causados por fuertes lluvias durante los meses de lluvia.

Según el “Plan de acciones en gestión del riesgo de desastres priorizados para el periodo 2015-

2016” que realiza la Presidencia del consejo de ministros, INDECI y CENEPRED, se observa que los deslizamientos presentan los números más grandes con respecto a la mayor cantidad de personas afectadas, damnificadas y fallecidas, viviendas afectadas y destruidas con respecto a los derrumbes, aludes y aluviones (Tabla 1). Con estos datos y definiciones sustentadas, se presenta la situación real del problema y la motivación del problema planteado.

Tabla 1. Impacto de los desastres en población y viviendas según tipo de Peligro, periodo 2003-2012 [1].

TIPO DE PELIGRO	PERSONAS AFECTADAS	PERSONAS DAMNIFICADAS	PERSONAS FALLECIDAS	VIVIENDAS AFECTADAS	VIVIENDAS DESTRUIDAS
GEODINÁMICA INTERNA					
ACTIVIDAD VOLCANICA	7404	39	0	0	64
SISMO (*)	289466	442753	608	54340	94109
GEODINÁMICA EXTERNA					
ALUD	1029	0	14	55	0
ALUVION	5852	2833	18	1171	432
DERRUMBE DE CERRO	53972	5013	52	768	902
DESPLAZAMIENTO	172500	21772	146	6172	3913
ORIGINADOS POR EL HOMBRE					
COLAPSO DE CONSTRUC.	14482	10971	45	1976	2490
CONTAMINAC. AGUA	53288	0	5	0	0
CONTAMINAC. SUELO	4950	0	0	0	0
EXPLOSION	5033	224	71	791	48
DERRAME SUST. NOCIVAS	2277	15	6	0	3
INCENDIO FORESTAL	9003	3418	13	431	422
INCENDIO URBANO	27267	101210	304	5288	19146
HIDROMETEOROLÓGICO					
CRECIDA DE RÍO	34470	10654	11	5301	2124
GRANIZADA	519016	17631	13	14843	1687
HELADA	2608024	52286	49	16118	212
HUAYCO	263857	17983	60	6152	2081
INUNDACIÓN	1227176	432288	102	256706	23724
LLUVIA INTENSA	1928295	176753	156	311581	31201
MAREJADA (MARETAZO)	16444	71	0	918	10
NEVADA	261469	4802	4	14440	649
SEQUIA	1212801	42671	0	3640	0
TORMENTA ELÉCTRICA	1314	1625	33	191	135
VIENTO FUERTE	206681	41946	27	34021	6821
BIOLÓGICO					
EPIDEMIA	41533	0	53	726	0
PLAGA	381650	0	9	0	0
OTRO 1/	261746	25713	175	6611	3727
TOTAL	9610999	1412671	1974	742240	193900

3. Formación de imágenes

Como ya se describió en los capítulos anteriores las ventajas de formar imágenes por medio de un sistema de radar, se debe tener en consideración la característica más influyente a la hora de una imagen que es la resolución de la misma. En ese sentido, un sistema de radar tradicional estático no cuenta con una buena resolución.

3.1. Hardware

El hardware se encuentra compuesta de un sistema de generación, transmisión, recepción y almacenamiento de ondas electromagnéticas de microondas montado sobre un sistema mecánico. Este sistema mecánico permite recolectar las señales reflejadas en diversas posiciones todo el recorrido del riel, como se observa en la Figura 1. A esta técnica se le conoce como “Radar de Apertura

¹Presidencia del consejo de ministros, INDECI, CENEPRED. Plan de acciones en gestión del riesgo de desastres priorizados para el periodo 2015-2016 [Internet]. 2015 [citado el 28 de Septiembre del 2015]; Pagina: 12, 55-59. Disponible en: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.n24C35B96D62B017505257EAD006AE801/\\$FILE/PLAN-DE-ACCIONES-GESTION-RIESGO-DE-DESASTRES-2015-2016.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.n24C35B96D62B017505257EAD006AE801/$FILE/PLAN-DE-ACCIONES-GESTION-RIESGO-DE-DESASTRES-2015-2016.pdf)

Sintética” (SAR, por sus siglas en inglés), la cual su principal ventaja es la de aumentar enormemente la resolución de la región iluminada por el radar.

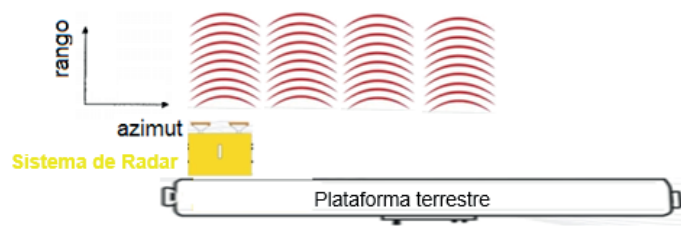


Figura 1. Radar de Apertura Sintética.

Además de describir la forma de operación de un Radar de Apertura Sintética, se debe tomar conocimiento que un radar SAR después de combinar coherentemente la data obtenida en cada posición en el procesador digital de señales se puede representar como un “arreglo de antenas” (phased array antennas).

Es importante recalcar que el sistema de control de movimiento del radar SAR y la recepción de los datos del radar han sido culminados satisfactoriamente en el Radio Observatorio de Jicamarca, como se muestra en la Figura 2.

3.2. Algoritmo de formación de imágenes

Los algoritmos de procesamiento de señales SAR modelan la región de interés como un arreglo de puntos discretos. Siguiendo esta premisa, se dice que los campos electromagnéticos dispersados o reflejados por los objetivos no interactúan entre ellos. Esta suposición permite tratar a las reflexiones por la escena como lineal y considerar cada objetivo individualmente. En conclusión, no se tiene que buscar todas las posibles combinaciones de la escena lo cual se convierte en una tarea intratable [2].

En general, existen diversos algoritmos de formación de imágenes que dependen la carga computacional, detalles de la imagen, modos de operación y parámetros del sistema como el tipo de compresión de pulso utilizado. En ese sentido, se planteó utilizar el algoritmo del paper Pieraccini y Luzi (2001), ya que utiliza un Analizador Vectorial de Espectros como sistema de radar SF-CW (onda continua de frecuencia escalonada) al igual como el sistema planteado en este trabajo de tesis.

En este trabajo, se explica de manera concreta la formación de imágenes usando señales de radar llamado algoritmo de focalización. Este algoritmo empieza delimitando la región de interés como una grilla de puntos discretos, cada uno de estos puntos representaran distancias n determinadas desde cada una de las posiciones del radar. Después, los componentes demodulados y procesados en fase I^m y en cuadratura Q^m son obtenidos por cada frecuencia

y por cada posición del sistema del radar durante el total recorrido del riel. Por lo tanto, se dice que la apertura sintética en azimut y rango se obtiene de $E_{\mathbb{R}}=I_{\mathbb{R}}+Q_{\mathbb{R}}$. Siendo i el numero de frecuencia y k la posición del radar. Además, es importante recalcar que para obtener una imagen compleja de radar por cada punto n se tiene que operar todas las contribuciones de la señal (Pieraccini y Luzi, 2001), en otras palabras utilizar los valores de complejos durante todo el algoritmo.



Figura 2. Sistema de Radar de Apertura Sintética implementado en el Radio Observatorio de Jicamarca.

Primero se forma el arreglo de matrices $F_n(k)$ según la grilla formada $R_{n,k}$ de la ecuación (2.1). Donde por cada posición n se procesa en la misma posición del riel k y se realiza la sumatoria de todos los valores obtenidos por el perfil de rango $E_{i,k}$ y sus respectivos valores de frecuencia f_i . R_0 es el retraso de la señal por la distancia de los cables del sistema del radar hacia las antenas.

$$F_n(k) = \sum_i E_{i,k} \exp(j \frac{4\pi f_i}{c} (R_{n,k} - R_0)) \quad (2.1)$$

Finalmente, la imagen compleja en cada posición n es obtenida de la ecuación (2.2) operando la grilla y el arreglo de matrices obtenido anteriormente sumando todos los valores complejos en cada posición k y promediando con n_f el número de frecuencias utilizado y n_p el número de posiciones en la riel.

$$I_n = \frac{1}{n_f n_p} \sum_k R_{n,k}^2 F_n(k) \quad (2.2)$$

4. Pruebas de imágenes

La técnica de formación de imágenes, se implementó en el lenguaje de programación Python, fue planteada de un trabajo realizado por un grupo de investigadores en Italia. Los cuales extraen información geofísica usando la misma instrumentación planteada. Las pruebas de laboratorio fueron realizadas usando bloques de material metálico, porque una imagen de radar representa un mapa de reflectividad de la zona iluminada.

²SAR algorithms. SAREDU Remote Sensing Education initiative. Disponible en: <https://saredu.dlr.de/unit>

En la Figura 3 se puede observar la imagen resultante, donde se tiene la ubicación, y un mapa de colores que representa el nivel de reflectividad. Además, se observa la comprobación de la resolución obtenida con la resolución teórica calculada.

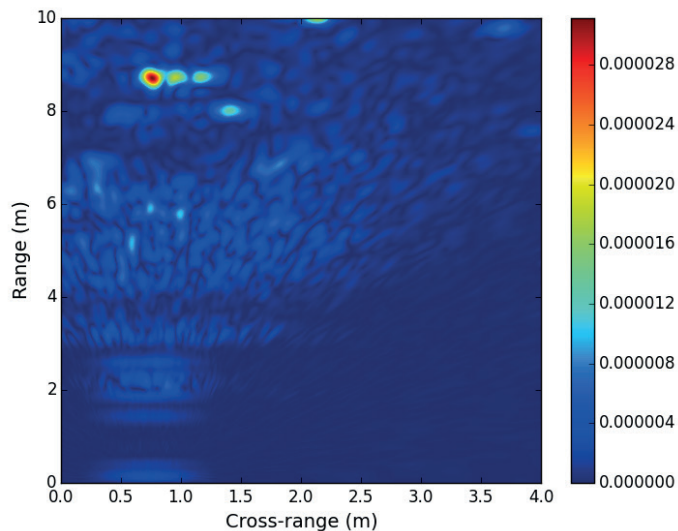


Figura 3. Imagen resultante del radar.

Para comprobar la resolución teórica en azimut o cross-range y en rango, se debe utilizar las siguientes ecuaciones brindadas por las ecuaciones en rango y azimut en (4.1) y (4.2), respectivamente.

$$\Delta R = \frac{c}{2B} \cdot \quad (4.1)$$

$$\Delta x = R\theta = R \frac{\lambda_c}{2L_s} \cdot \quad (4.2)$$

Se identifica el ancho de banda de la señal transmitida como B, la longitud de onda central como λ_c y la longitud total del riel como L_s . Según los parámetros de operación del sistema de radar utilizados como se muestra en la Tabla 2, se obtiene los siguientes valores de resolución teórica como se observa en la Tabla 3.

Tabla 2. Parámetros del sistema.

Potencia Transmitida	P_0	-3 dBm
Ganancia de la antena	G	15 dB
Frecuencia Central	f_c	16 Ghz
Rango de frecuencias	$f_i - f_f$	[15.5-16.5] Ghz
Ancho de Banda	B	1 Ghz
Número de frecuencias	N_f	4001
Distancia del riel	L	0.75 m
Numero de posiciones	N_p	75
Altura del radar sobre la escena	h	1.24 m
3dB Ancho del haz @16Ghz		28.17°

Tabla 3. Resolución teórica.

Resolución en rango	ΔR	15 cm.
Resolución en azimut	Δx	12 cm.

Por lo tanto, para esta prueba se utilizó dos objetivos metálicos, los cuales se pusieron a una distancia de 9 metros aproximadamente del radar SAR, como se observa en la Figura 4. Se observó en la imagen resultante de la Figura 5 que a una distancia de 14 centímetros entre cada eje de rango y azimut de los dos objetos metálicos, el sistema de radar era capaz de resolver ambos objetos sin que estos se traslapen. Esto comprueba la teoría de resolución, que se define como la distancia mínima para detectar más de un objeto en cada uno de sus ejes.

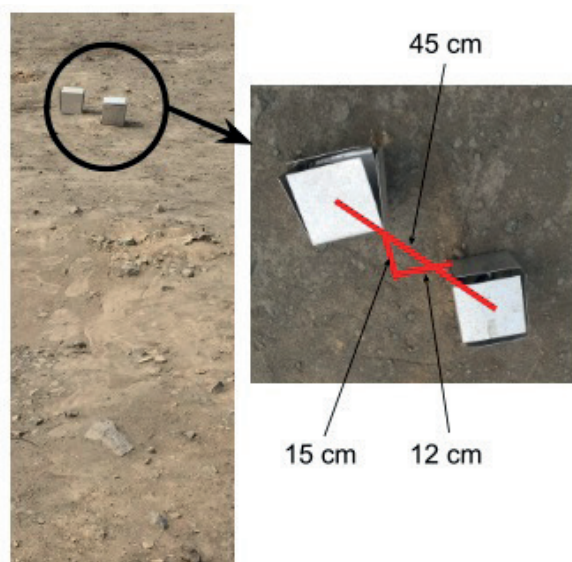


Figura 4. Vista de los objetivos, ubicados en 9.6 m y 9.8 m respectivamente.

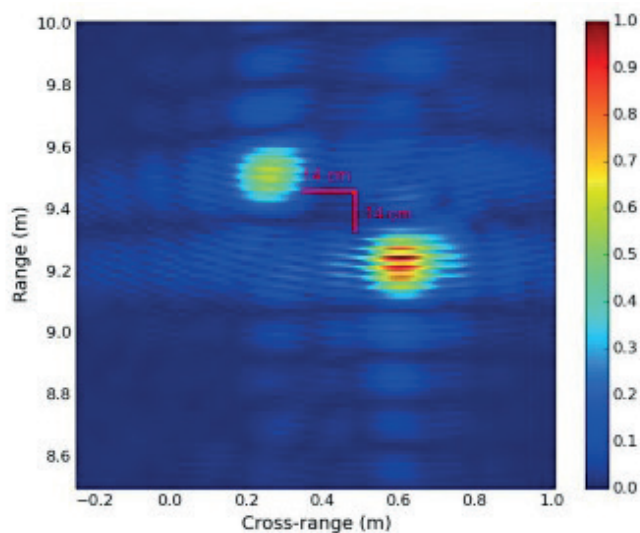


Figura 5. Imagen de radar. La escala de colores esta normalizado.

5. Mapas de desplazamientos

Se utiliza la técnica de Interferometría diferencial para medir desplazamientos milimétricos de una región de interés. La interferometría diferencial utiliza la diferencia de fase de la operación entre 2 imágenes consecutivas de radar complejas adquiridas en distintos instantes de tiempo para calcular el desplazamiento temporal de distancia. Primero se utiliza la ecuación (5.1) para calcular la diferencia de fase y se reemplaza en la ecuación lineal (5.2) para obtener el resultado final, el cual es un mapa de desplazamientos.

$$\Delta\phi = \frac{I_1 \times I_2^*}{|I_1| \times |I_2|} \quad (5.1)$$

$$\Delta x = \frac{\Delta\phi \times \lambda}{4\pi} \quad (5.2)$$

Para comprobar la eficacia del algoritmo implementado de estas pruebas se montó un objeto metálico y se movió manualmente 2 milímetros de distancia hacia el radar durante cada adquisición del sistema de un objeto metálico. Obteniendo así,

los mapas de desplazamientos del objeto de interés como se muestra en la Figura 6. Se puede observar que en la misma ubicación del objeto metálico de la imagen de reflectividad, se tiene el mismo color que representa el desplazamiento temporal de 2 milímetros. Además los valores obtenidos negativos representan que el objeto se ha desplazado más cerca del radar y los valores positivos representan que se el objeto se ha alejado del radar.

6. Conclusiones

Se ha concluido el funcionamiento operacional del Radar de Apertura Sintética del Radio Observatorio de Jicamarca.

Se ha demostrado las ventajas de la aplicación de la apertura sintética en los datos de un sistema de radar. Además del algoritmo de formación de imágenes implementado.

Además se ha efectuado pruebas para detectar desplazamientos milimétricos utilizando interferometría diferencial en pruebas de laboratorio.

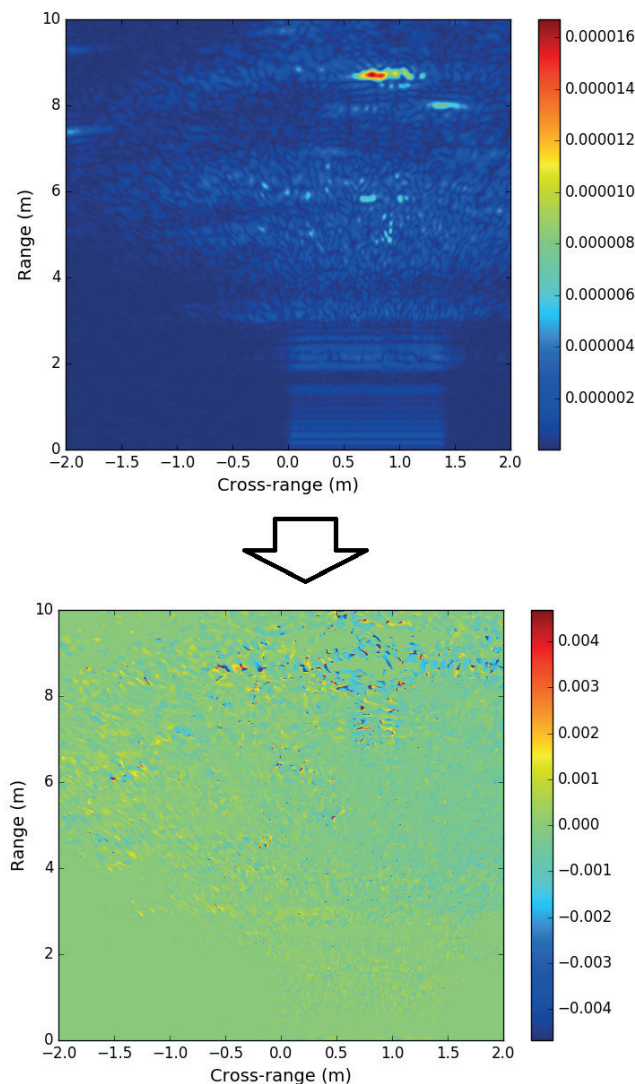


Figura 6. Mapa de desplazamientos usando Interferometría diferencial.

7. Agradecimientos

Un especial agradecimiento a todo el personal del área de CIELO (Cluster of Instruments for Equatorial & Low-Latitude Observations) del ROJ por su apoyo en la elaboración de las pruebas correspondientes.

Ademas a mi asesor Dr. Marco Milla por su asesoría y consejos durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

8. Bibliografía

Terrain Mapping by Ground-Based Interferometric Radar.
Massimiliano Pieraccini, Guido Luzi. Florence. Italy. 2001.

INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE RADAR DE APERTURA SINTÉTICA AL INTERNET USANDO PROTOCOLOS DE INTERNET DE LAS COSAS.

INTEGRATION OF A SYNTHETIC APERTURE RADAR SYSTEM TO THE INTERNET USING INTERNET PROTOCOLS OF THINGS

Moises Stevend Meza Rodriguez
Universidad Nacional del Callao
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
moises.meza@jro.igp.gob.pe

Asesores: Marco Milla, Ph.D.
Radio Observatorio de Jicamarca - IGP

Resumen

La presente tesis radica en desarrollar una plataforma web para un Radar de apertura sintética que mide deslizamientos de laderas del Radio Observatorio de Jicamarca, sede del Instituto Geofísico del Perú. Este radar estara constantemente monitoreando los deslizamientos en diferentes partes del Perú y cada toma nos dara información vital de la escena y saber si habra un deslizamiento; este radar enviara la data por internet a los servidores de jicamarca, usara protocolos de IoT y por medio de la plataforma web poder visualizar la data en graficas.

Esta plataforma web tendra una API-REST para que software de terceros puedan realizar peticiones de la data del radar de esta manera por medio de los metodos

Palabras claves: API-REST, IoT, GET, POST, PUT, DELETE.

Abstract

The present thesis aims to develop a web platform for a Synthetic Aperture Radar for landslide monitoring, which is under development at the Jicamarca Radio Observatory. This radar will be constantly monitoring the landslides in different parts of Peru and each take will give us vital information about the scene and know if there will be a landslide; The instrument will send the data over the internet to the servers of jicamarca, using IoT protocols and a web platform to be able to visualize the data in graphs.

This web platform will have an API-REST implemented so that third-party software can make requests of the radar data in this way by means of the GET, POST, PUT, DELETE methods to make radar queries.

Keywords: API-REST, IoT, GET, POST, PUT, DELETE.

1. Introducción

Los radares de apertura sintética (SAR) sirven para obtener información de objetos a distancia desplazándose en una faja y creando sintéticamente una antena grande.

Esta técnica de radar es usada por un proyecto del Radio Observatorio de Jicamarca para medir deslizamientos de laderas. Estos monitoreos pueden hacerse durante largos periodos de tiempo (incluso años), y la información obtenida debe ser enviada constantemente a Jicamarca.

Con lo expuesto anteriormente se puede notar que la comunicación permanente entre el radar y el Radio Observatorio de Jicamarca es un tema crítico; para esto lo planteado es usar el internet como medio de comunicación ya sea mediante ethernet, wifi, 2G, 3G, etc.

Existen variedad de alternativas de protocolos con la cual poder enviar esta data. Una filosofía que está tomando gran acogida actualmente es el concepto de Internet de las cosas (IoT), plantea el poder comunicar los objetos cotidianos a internet, para esto hace uso de protocolos exclusivos para el envío instantáneo de datos y consumir recursos mínimos de RAM [1].

Entre los protocolos usados para el proyecto tenemos API-REST (RestFul), MQTT. Por la parte de los API-Rest llamado también API-RestFul o RestFul, actualmente están dando una gran revolución en el mundo web, ya que actualmente casi toda web maneja este protocolo, así mismo empresas como Facebook, Twitter, BBVA, New York Times, El Comercio, la NASA, Google, Gmail, etc. Sirven sus APIs para conectarse y hacer consultas de datos. Bajo este modelo la data se distribuye libremente.

API-REST:

Este protocolo cliente/servidor está basado en envío de datos por medio de peticiones, donde el cliente para acceder a la data usa métodos de HTTP como GET, POST, PUT, DELETE (Figura 1).

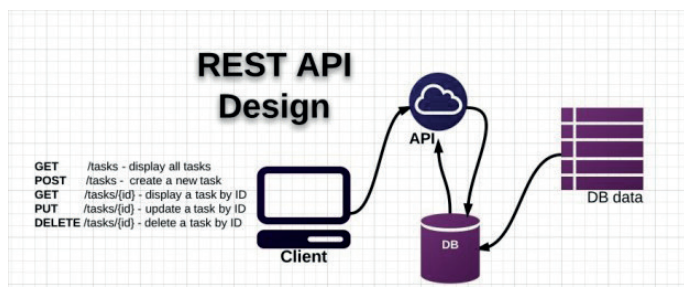


Figura 1. Diseño de una API-REST [2]

MQTT:

Protocolo cuyo modelo de se basa en suscriptores y publicadores donde en el encargado de gestionar estos datos se llama broker. En este protocolo los datos fluyen mientras la comunicación exista por medio de un tópico o asunto (Figura 2).

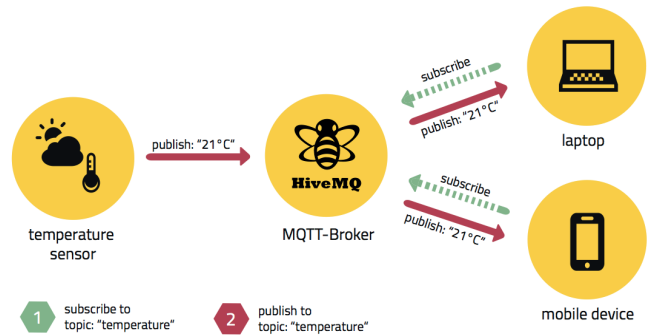


Figura 2. Modelo de comunicación bajo el protocolo MQTT. [3]

2. Desarrollo

El desarrollo del proyecto se dividió en 2 partes: Hardware y Software.

Hardware:

El modelo propuesto para adquirir la data del radar y enviarlo por internet fue usar una Raspberry Pi 3 como sistema embebido ya que puede gestionar los diferentes protocolos de IoT y además puede adquirir la data del radar (Figura 3).

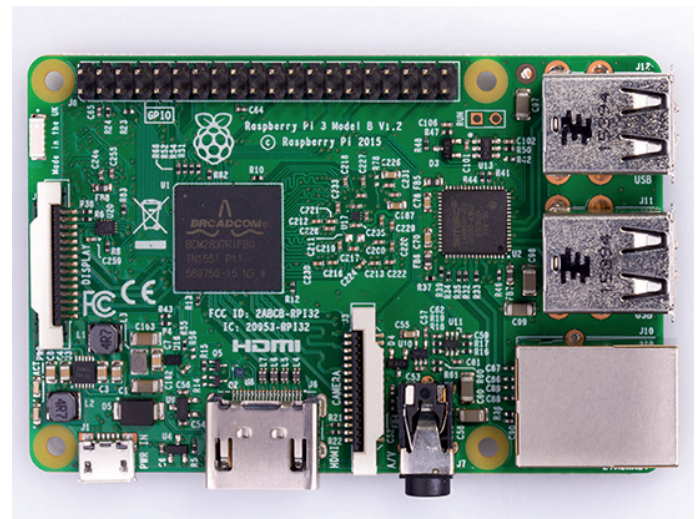


Figura 3. Raspberry Pi3 [4]

El diagrama del radar SAR es básicamente un VNA (vector network analyzer) que irá desplazándose sobre un riel y estaría tomando datos de la escena mientras recorre el riel, para esto cuenta con un microcontrolador de 8 bits encargado de controlar los pasos de motor por medio de PWM (Figura 4).



Figura 4. shield para controlar la faja del VNA.

Se diseñó una shield para el raspberry pi3 basado en un microcontrolador AVR de la empresa ATMEL, este microcontrolado es de 8bits y con este gestionamos lo que es PWM en un modo en la cual cuente los pulsos y pueda controlar la faja para que el VNA pueda hacer las tomas (Figura 5).

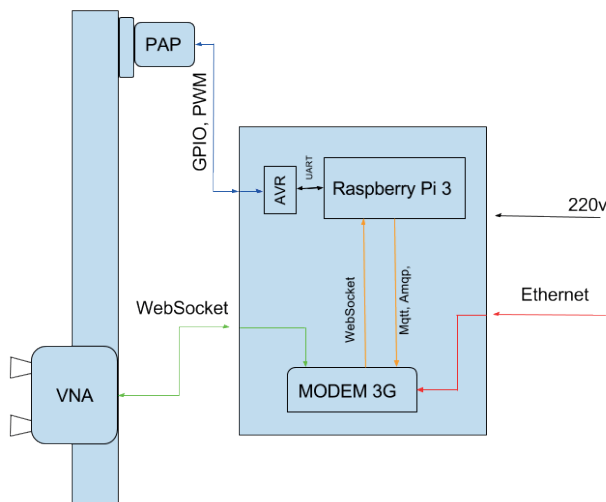


Figura 5. Módulo controlador del RADAR.

La data es enviada por el protocolo MQTT por medio de paquetes JSON usando python como el encargado de obtener la data, empaquetar y enviar por MQTT. Ademas tendra la opción de conexión al internet por medio de wifi, ethernet o red GSM.

Meteorjs gestiona en la parte del frontend lo que es Reactjs que es una tecnologia para reutilizar codigo en html y estructurar el html de una forma virtualizada. En react se gestiona todo lo que es frontend exclusivamente.

Para la parte de la base de datos se esta utilizando mongodb por su facil integración con meteorjs, ademas como es una base de datos no relacional recorre mas rapido la busqueda de items y la

estructura para guardar archivos es median paquetes tipo json que son básicamente con lo que trabajan los protocolos como MQTT y Rest.

MeteorJS ya te separa los directorios del proyecto en lado del cliente y lado del servidor, de esta manera ordena la parte del FrontEnd con la parte del BackEnd.

Meteor puede gestionar sus propias rutas usando Iron Router o React Router, la ventaja se usar React-router es por que permite direccionar facilmente las URIs de la web, y por partes de IronRouter crear la API-Rest (Figura 6).

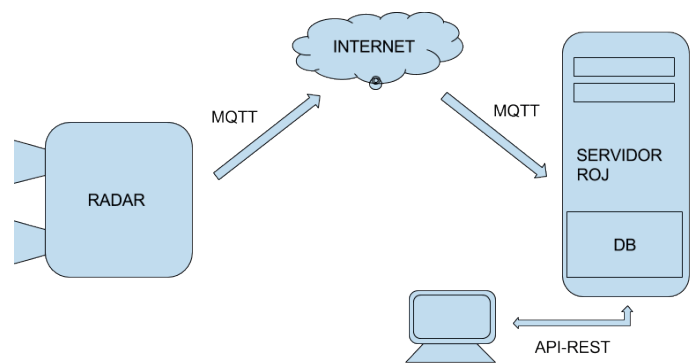


Figura 6. Modelo de envio de datos por internet usando Mqtt y consultas por medio de una API-REST.

También podremos dividir la parte del software del servidor en dos partes: FrontEnd y BackEnd.

FrontEnd.-

- **React:** para gestionar el HTML, CSS, JavaScript.
- **PlotlyJs:** Para la parte de gráficas en tiempo real.

BackEnd.-

- **MongoDB:** Para gestionar la base de datos.
- **IronRouter:** para crear la API para las consultas.

3. Resultados

En meteor se llego a realizar la graficación usando PlotlyJs, obteniendo la data almacenada (Figura 7 y 8).

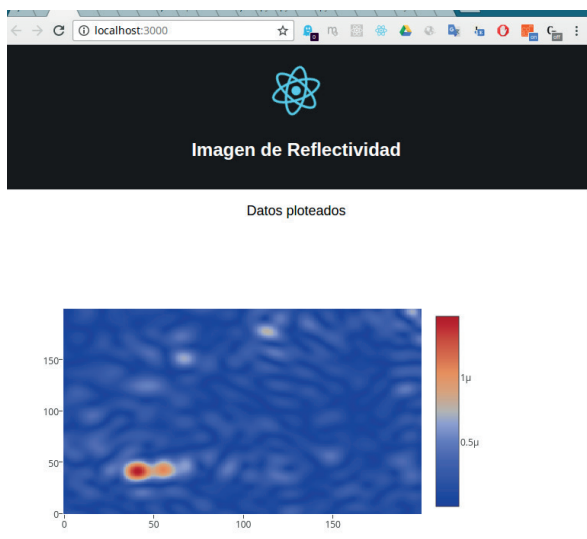


Figura 7. Graficación de data almacenada.

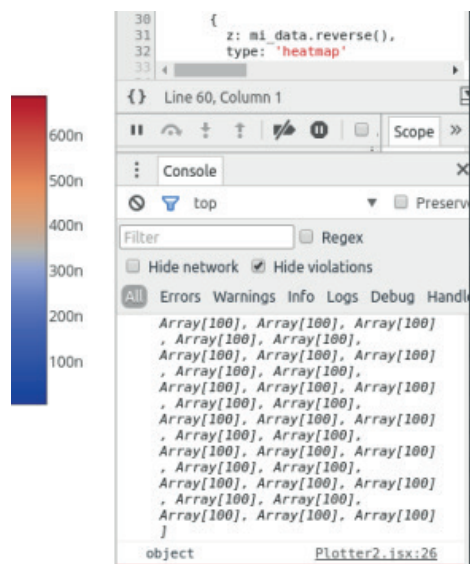


Figura 8. Llegada de la data a la web. visualización por Array.

4. Discusión

Existen en general diferentes tipos de protocolos de IoT como COAP, XMPP, ZerMQ, AMQP, SMQTT, etc. Cuya arquitectura se basa en publicadores y suscriptores, las pruebas realizadas para la presente tesis se hicieron usando API-REST, MQTT, XMPP. Se consideraría realizar pruebas con los restantes para evaluar la respuesta en temas de tiempo, esto se realizara en futuras pruebas.

Para la elección de la librería de graficación se trabajo con 3 librerías gráficas:

- D3js, MorrisJs, PlotlyJs.

La librería D3js esta especializada en la generación de graficas mediante arrays y tiene una gran variedad de plantillas. Es un poco mas complejo la construcción de la gráfica. Soporta solo javascript.

La librería MorrisJs esta especializada en la graficación tipo histogramas, disco, etc. Tiene una mala documentación. Soporte solo javascript.

La librería Plotly tiene una alta variedad de plantillas para la generación de imagenes con escala de colores. La graficación es mediante arrays. Tiene versión con python, R, nodejs, javascript, etc.

Las tres pueden trabajar con javascript, pero se opto por trabajar con Plotly por su facilidad de generar imagenes y alta documentación

Para la elección del embebido se buscó uno para cumplir con las tarea de gestionar los protocolos de envio de data al internet y opcionalmente controlar la faja.

Se probó tarjetas como:

- NodeMCU, RaspberryPi3, ArduinoYun.

La NodeMcu es un microcontrolador de 32 bits, que esta orientada mas a hacktivistas, no tiene un buen control a bajo de nivel de sus GPIO. Soporta protocolos como REST, MQTT.

El arduino Yun es una combinación de un microcontrolador de 8 bits con un procesador de 32bits que soporta un linux llamado LILINO. La comunicación entre estos es lento, esta orientado a proyectos muy ligeros.

La raspberry pi es un procesador de 64bits que soporta un linux, tiene una distribución orientada exclusivamente a sus uso (manejo de GPIO, control de perifericos).

Actualmente el raspberry pi3 respondo bien con las pruebas efectuadas.

En futuras pruebas se trabajará con otras tarjetas como BeagleBone, Odroid, Pantaboard, etc.

5. Conclusión

Trabajar el envio de datos por MQTT es preferible usar un embebido que soporte linux por el tema que puede ejecutar multiprocessing y ademas efectuar varios script al mismo tiempo.

Es mejor realizar consultas mediante una API-Rest y no por MQTT ya que la arquitectura misma de API-Rest esta diseñada para este fin, en cambio MQTT esta diseñado para el flujo de datos pero no hay un tema de orden ni almacenamiento despues del envio de datos.

6. Agradecimiento

Deseo expresar mi agradecimiento al Radio Observatorio de Jicamarca por permitirme realizar mi tesis universitaria en la institución, así también al equipo del proyecto SAR por el apoyo para la realización de la presente tesis. A su vez, agradecer al Dr. Marco Milla por su apoyo y motivación constante.

7. Bibliografía

1. Jayavardhana Gubbi, Rajikumar Ene.2016 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X13000241>
2. Victor Kane. *Un API REST. Día del Programador.* set.2015. <http://awebfactory.com>
3. The HiveMQ Team. *MQTT. How to Get Started with the lightweight IoT Protocol.* May.2015 <http://www.hivemq.com/blog/how-to-get-started-with-mqtt>
4. RaspberryPiFoundation. FEB.2016 <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>

INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN POR ETHERNET PARA DIVISOR DE PPS

ETHERNET PROGRAMMING INTERFACE FOR PPS DIVIDER

Luis De La Cruz Painado
Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
ldelacruzp@uni.pe

Asesores: Bach. Luis Gonzales
Radio Observatorio de Jicamarca - IGP

Resumen

El presente trabajo describe la realización de un dispositivo divisor de PPS configurable vía Ethernet, es decir, el dispositivo generará a su salida señales sincronizadas con su entrada, la cual será una señal cuadrada de periodo 1s (PPS) proveniente de un equipo GPS. Las salidas también serán señales cuadradas con periodo múltiplo de la entrada (divisores) configurables vía Ethernet. Finalmente se describirá el desarrollo de una API REST de configuración del equipo.

Palabras clave: GPS, Sincronización, PPS, Divisor, API, REST.

Abstract

This paper describes the realization of a PPS divisor device that might be configured via Ethernet. In other words, this device will generate signals on its outputs synchronized with its input, a square signal of period 1s (PPS) from a GPS device. The outputs will also be square signals but its period will be an integer number multiple of the input's period (divider), these dividers will also be configured via Ethernet. Finally, the development of an API REST for setting up the device will be described.

Keywords: GPS, Synchronization, Divider PPS, API, REST.

1. Introducción

Los radares ionosféricos, como los que posee el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ), están formados principalmente por una antena principal o arreglo de antenas los cuales se encargan del envío o recepción de información y por un conjunto de equipos electrónicos. Estos se encargan del acondicionamiento de la señal para su posterior envío por la antena, si se está transmitiendo, o para su recuperación y posterior procesamiento en recepción.

La mayoría de estos equipos electrónicos necesitan trabajar conjuntamente y en secuencia para realizar alguna medición. Para esto es necesario que haya una señal periódica que dé inicio a la secuencia y que lo repita cada cierto tiempo, este dispositivo es un divisor de PPS y en el presente trabajo se explicará el diseño, construcción y programación de este dispositivo.

Este dispositivo tendrá principalmente 2 entradas, una de las cuales será un PPS (señal cuadrada de periodo un segundo) proveniente de un módulo GPS, y 8 salidas sincronizadas con una de las 2 entradas con periodo variable configurable vía Ethernet. Cabe mencionar que el periodo variable de las salidas son múltiplos enteros de la entrada (llamados divisores), es decir si una de las entradas es un PPS entonces el periodo de las señales de salida podrían ser 1, 2, 3, etc. Los divisores y algunos otros parámetros más del dispositivo serán configurados vía Ethernet mediante una API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) haciendo uso de comandos REST.

El dispositivo funcionará en 2 modos: modo Horario (Figura 1) y modo no Horario (Figura 2). En el modo no Horario el usuario determinará cuando inicia la secuencia de pulsos de salida mediante un comando de "inicio" y en el modo Horario se le programará al dispositivo una fecha de inicio y una fecha de finalización para la generación de señales. Este último modo permite que 2 sistemas diferentes y no necesariamente cercanos, como 2 radares en lugares distantes, pueden iniciar sus secuencias al mismo tiempo.

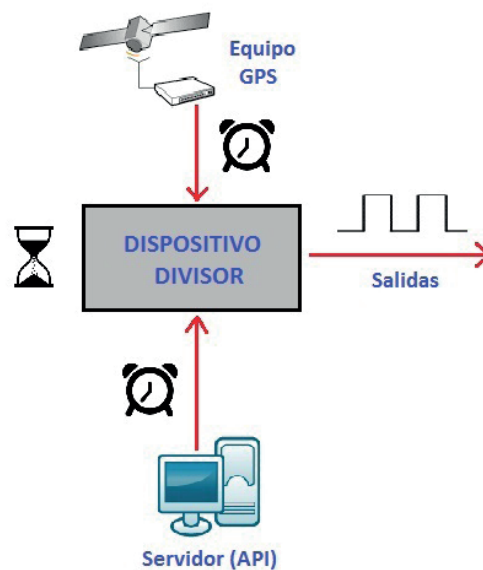


Figura 1. Modo Horario



Figura 2. Modo No Horario

2. Desarrollo

2.1. Descripción del Sistema

El dispositivo que se desarrollará tendrá las siguientes características:

En hardware:

1. Ocho salidas configurables en niveles TTL
2. Dos entradas de referencia en niveles TTL: una entrada de PPS proveniente del equipo GPS y la otra entrada de una frecuencia distinta (Max. de 10Hz)
3. Indicadores leds para el estado de configuración y operación
4. Visor LCD de datos de red y divisores
5. Memoria y carga de la última configuración
6. Divisor entero por canal (Mínimo: 1 - Máximo: 65535)
7. Programación de fecha y hora para el modo Horario

En software:

1. Interfaz de configuración Ethernet mediante la creación de una API REST. En esta API se podrán configurar:

- Divisores
- Hora de inicio y fin para el modo Horario
- Parámetros de red
- Modo de operación
- Referencia de salidas respecto a la entrada 1 ó 2
- “Start” y “Stop” para el modo no horario.

A la vez con esta API se podrá obtener información del dispositivo en ese instante dado como divisores, modo de operación, entre otros.

2.2. Herramientas de Hardware y Software usados

Herramientas de Hardware:

Los principales equipos y herramientas de hardware que se usaron fueron:

Tiva C TM4C1294

Es una plataforma de evaluación de bajo costo para los microcontroladores basados en ARM Cortex-M4. Entre sus características más importantes resaltan:

- CPU ARM Cortex-M4 de 120 MHz
- EEPROM de 6 KB
- MAC+PHY Ethernet 10/100 integrado
- Interfaces de comunicación seriales adicionales como I2C, UART, SPI.

Equipo GPS Trimble Thunderbolt Kit

El equipo GPS Trimble Thunderbolt Kit es un dispositivo requerido para la sincronización de dispositivos con GPS. Entre sus características más importantes están:

- Una salida estable de pulso por segundo (PPS)
- Una salida estable de 10MHz
- Conector RS232 para comunicarse por serial con otro dispositivo.

Herramientas de Software:

Energía:

Es una plataforma open source de desarrollo electrónico creado con el propósito de brindar la misma estructura y conexión que Arduino a las placas de desarrollo Texas Instruments MSP430 basados en LaunchPad.

Advanced Rest Client y Postman:

Estas dos aplicaciones de Chrome permiten lanzar peticiones a servicios o APIs RestFul. Se puede hacer cualquier tipo de petición además de las habituales GET, POST, PUT y DELETE. Se usarán para probar los comandos del API REST que se crearán.

2.3. Desarrollo del Hardware

En la Figura 3 se muestra el diagrama de bloques de la tarjeta que se desarrollará.

Algunas características de este diagrama son:

El bloque “Convertor RS232-UART” servirá para la comunicación del equipo GPS (Thunderbolt Trimble Kit) con el microcontrolador, y será realizado por el integrado MAX 3232.

El bloque “Reductor 5V-3.3V” se puso debido a que la salida PPS es TTL, mientras que el microcontrolador soporta máximo 3.3V en sus entradas, así que es necesario esta conversión, y serán realizados por un circuito Shift Level.

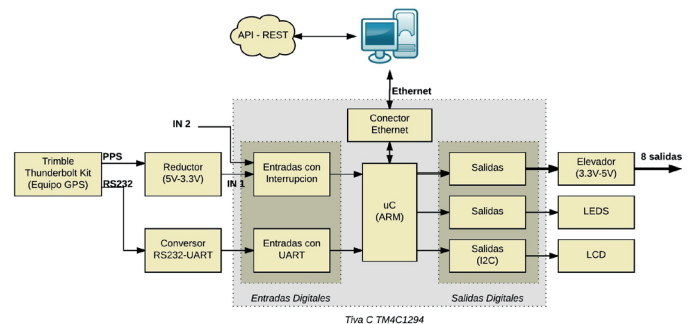


Figura 3. Diagrama de bloques del hardware

El LCD con el que se está trabajando se comunica por I2C, es por eso que va conectado a unos pines I2C.

Las salidas requieren ser TTL, es por eso que se les puso el bloque “Elevador 3.3V-5V”, debido a la misma razón anterior de que el microcontrolador solo genera máximo 3.3V en sus salidas.

Escogiendo los pines adecuados de la Tiva C TM4C1294 que cumplan los requerimientos de la Figura 3, se realizará un pequeño bosquejo del diagrama de conexiones mostrada en la Figura 4, cabe mencionar que tanto las entradas como las salidas son digitales.

Para la realización de las placas en Eagle se procedió a elaborar las siguientes 3 tarjetas:

Tarjeta de entradas

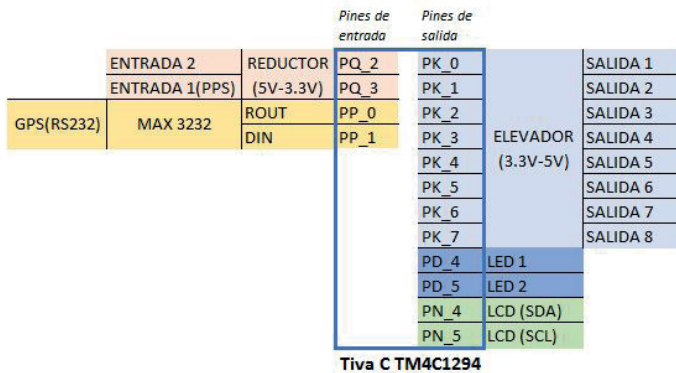


Figura 4. Diagrama de conexiones

Aquí se incluirán las 2 entradas con su circuito reductor de nivel de tensión (5V-3.3V), los cuales tendrán un conector coaxial cada uno.

Tarjeta de salidas

Aquí se incluirán las 8 salidas, los cuales tendrán también conector coaxial por cada uno.

Tarjeta del shield principal

Aquí irán el resto de las conexiones de los periféricos como: LCD y leds, así como también los pines para conectarse con la placa de entradas y salidas. Finalmente, esta placa irá montada en la Tiva C TM4C1294.

2.4. Desarrollo del Software

El código para este proyecto fue desarrollado en Energía y consta básicamente de 2 partes: código para la interacción con los periféricos y el código para los comandos REST.

Código para los comandos REST

Definición de REST

REST es una especificación cualquier interfaz entre sistemas que de comunicación sobre HTTP para obtener datos o generar operaciones sobre esos datos en todos los formatos posibles, como XML y JSON. Las operaciones más importantes son cuatro: POST (crear), GET (leer y consultar), PUT (editar) y DELETE (eliminar).

Comandos REST usados

En el programa de Energía se crearán varios comandos REST, basados en los métodos POST y GET escritos en formato JSON. Los comandos basados en el método POST se usarán para cambiar valores como: divisores, parámetros de red, entre otros y enviarlos al microcontrolador, por su parte los comandos basados en el método GET se usarán para leer valores actuales que ya han sido configurados. En la Figura 5 se muestran todos los comandos REST creados.

Para probar estos comandos REST (Tabla 1), se hizo uso de las aplicaciones Advanced Rest Client o Postman. A continuación, se mostrará un ejemplo de cómo se envía un comando REST por la Aplicación Postman, se enviará el comando "stop":

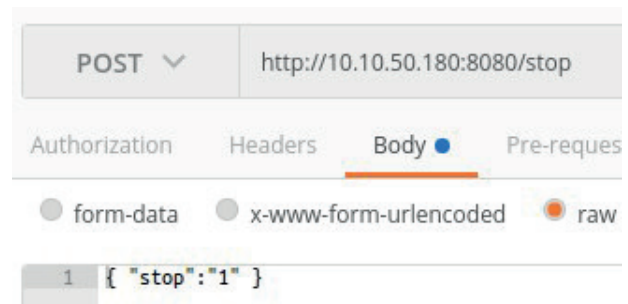


Figura 5. Envío comando "stop"

Por respuesta, el Postman regresa un valor previamente programado, en este caso "Ok".

Tabla 1. Comandos REST

Comando	Tipo	Descripcion
status	Get	Verifica la correcta conexion.
currenthour	Get	Lee la hora actual dada por el GPS.
wantedhour	Get	Lee la hora de inicio para el modo alarma GPS.
readdiv	Get	Lee los divisores actuales.
readip	Get	Lee los parametros de red actuales.
readmode	Get	Lee el modo en el que está configurado: manual o alarma GPS.
verstate	Get	Lee el estado de las señales de salida: generando o parado.
writediv	Post	Configura nuevos valores a los divisores.
changeip	Post	Configura nuevos parámetros de red.
starttime	Post	Configura la hora de inicio de generación de señal.
endtime	Post	Configura la hora de fin de generación de señal.
setmode	Post	Configura el modo deseado: manual o alarma GPS - En el modo "manual", la generacion se da con el comando "start", y se para con el comando "stop". - En el modo "alarma GPS", la generacion se da con una hora de inicio, y se para con una hora de fin, estas horas son programadas anteriormente por comandos.
start	Post	Comando para empezar la generacion de señales en el modo manual.
stop	Post	Comando para finalizar la generacion de señales en el modo manual.
signalwidth	Post	Configura el ancho del pulso de salida, el valor a escribir se dará en us.
referencia	Post	Configura la referencia de entrada sobre el cual se generaran las salidas: Puede ser 1 o 2

Código para la interacción con los periféricos

El código para este proyecto fue realizado en Energía y a continuación se explicará la lógica de programación. El programa se divide en tres partes: generación de salidas con interrupción externa, funcionamiento del LCD con interrupción de timer y el programa de ejecución del REST y otras tareas.

Cabe mencionar que como se está haciendo uso de interrupciones, estas tendrán un orden de ejecución, ejecutándose primero la interrupción externa, luego la interrupción del timer y finalmente el REST y las otras tareas. Esta es la razón principal por la que se hizo uso de interrupciones, ya que se prioriza la generación de las salidas con los divisores correctos sobre las otras tareas.

El código empieza cargando parámetros iniciales de la memoria EEPROM como: parámetros de red, divisores, modo, referencia, entre otros. Luego se verifica si hay algún dato enviado por REST y se actualizan estos parámetros. En base a algunos parámetros como la referencia, el modo y otros asociados al modo (start, stop, hora de inicio y fin) se habilitarán o deshabilitarán las interrupciones externas. Una vez habilitadas, estas empezarán la generación de salidas con los divisores configurados anteriormente hasta esperar que se deshabiliten (enviando el comando "hora fin" o "stop"). La interrupción por timer por su parte estará mostrando información en la pantalla del LCD cada cierto tiempo.

3. Resultados

Del desarrollo del hardware, de la programación y de las pruebas hechas se tienen los siguientes resultados:

Placas en Eagle

Como se mencionó en la parte de desarrollo, se elaboraron 3 placas, y a continuación se muestra el board en Eagle de cada una de ellas (Figuras 6, 7 y 8):

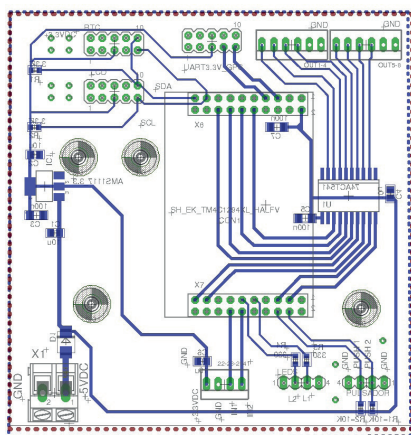


Figura 6. Placa del Shield Principal (Board)

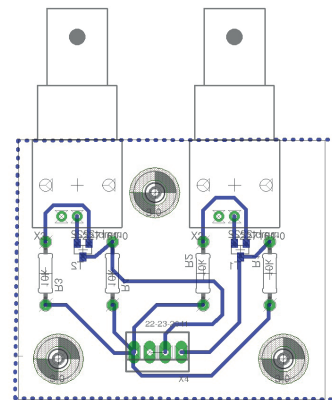


Figura 7. Placa de Entradas (Board)

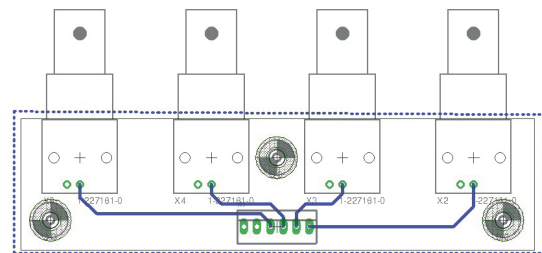


Figura 8. Placa de Salidas (Board)

Divisores de salida

En la Figura 9 se muestra la generación de las salidas con sus respectivos divisores. La señal de color naranja es la entrada PPS, la salida 1 es la señal de color celeste con divisor de 3 y la salida 2 es la señal de color rosado con divisor 2.

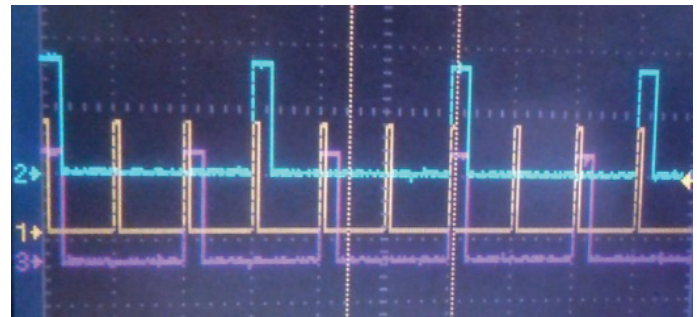


Figura 9. Generación de salidas con divisor 2 y 3.

En la Figura 10 se muestra la latencia, que en este caso es de 742 ns, el cual es un valor adecuado ya que está dentro del 1 μ s de requerimiento:

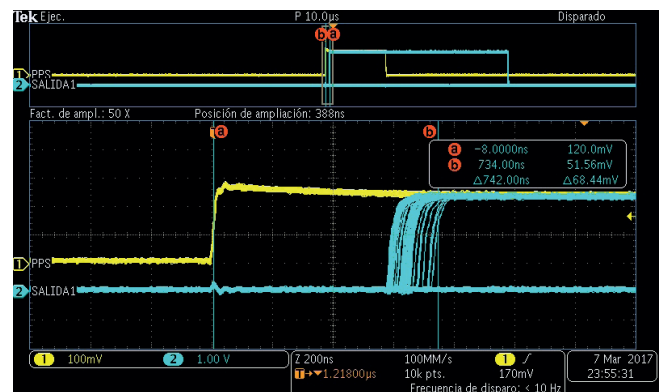


Figura 10. Latencia de las salidas.

Comandos REST y modos de operación

Se probaron todos los comandos REST funcionando correctamente. Así como también los modos de operación: Horario y No Horario.

4. Discusión

El dispositivo diseñado funciona correctamente cuando la entrada es un PPS ($f=1\text{Hz}$), a frecuencias mayores (100Hz - 150Hz) la información en la pantalla del LCD no se actualizará. Actualmente en el Radio Observatorio de Jicamarca existe también un dispositivo divisor de PPS que puede trabajar a frecuencias mayores ($f=150\text{Hz}$) en una de sus entradas con una latencia menor, pero no posee un LCD y la configuración de sus parámetros se hace vía serial. El dispositivo presenta ventajas sobre este como poseer una pantalla LCD para monitorear los distintos parámetros. Además de que la configuración de sus parámetros se realiza vía Ethernet mediante comandos REST.

5. Conclusiones

Se logró obtener las 8 salidas con sus respectivos divisores, obteniéndose un tiempo de latencia máximo de 742 ns.

Se implementaron dos modos de trabajo: modo Horario y el modo No Horario. El modo Horario fue pensado para realizar la generación de señales de salida a una hora de inicio y hora de fin programados por comandos REST. Mientras que el modo No Horario fue pensado para que el usuario inicie la generación al enviar un comando REST de "start".

Se logró implementar una serie de comandos REST, usando los métodos GET y POST los cuales se comunican con el microcontrolador vía Ethernet.

Se probó el funcionamiento del dispositivo con una de las entradas de PPS, trabajando todo correctamente. Con respecto a la otra entrada se probó que esta no debe de ser mayor a 10 Hz.

6. Recomendaciones

Se recomienda desarrollar un shield adicional basado en FPGA exclusivo para la generación de las salidas, dejando el microcontrolador para realizar las tareas del LCD, leds y la API REST. Esto ayudaría a disminuir el tiempo de latencia y evitaría el problema del LCD a frecuencias mayores a 1 Hz.

7. Agradecimientos

Al Radio Observatorio de Jicamarca por brindarme la oportunidad de realizar mis practicas pre profesionales en esta institución.

A mi asesor, Luis Gonzales Miranda, por brindarme la ayuda y darme el seguimiento en el desarrollo de mi proyecto.

8. Bibliografía

Texas instruments (2013): TivaWare Peripheral Driver Library User's Guide, Texas instruments Inc., Dallas, Texas.

Trimble (2012): Trimble ThunderBolt E GPS Disciplined Clock, Sunnyvale, USA.

LIBRERÍA GRÁFICA PARA APLICACIONES WEB

GRAPHIC LIBRARY FOR WEB APPLICATIONS

Silke Teresa Donayre Holtz
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas
Facultad de Ingeniería
silkedonayre@gmail.com

Asesores: Ing. José Chávez
Radio Observatorio de Jicamarca - IGP

Resumen

El presente trabajo explica el desarrollo y funcionamiento de una librería gráfica web interactiva, que permite al usuario realizar acciones como zoom, traslado, guardado, actualizado y realización de funciones al hacer clic en la gráfica. La librería está escrita en el lenguaje Javascript. Se utilizó el protocolo MQTT para el envío de datos obtenidos por el radio observatorio (probado con data procesada por Signal Chain, librería desarrollada en el Radio Observatorio de Jicamarca). Para luego ser plotados en tiempo real, adicionalmente, contiene funciones que permiten el pausado y ejecución del gráfico. Se crearon distintas clases de los tipos de gráficos más utilizados en el radio observatorio de Jicamarca, que fueron: RTI (Range Time Intensity), espectrograma, series de tiempo, barras de error y de doble eje vertical. Para un mejor entendimiento, se creó una aplicación web demostrativa para tener conocimiento de los tipos de datos que se deben de ingresar en los parámetros y su funcionamiento.

Palabras clave: gráfica, librería, interactiva, web, tiempo real, RTI, espectrograma, series, tiempo, MQTT.

Abstract

The present work explains the development and operation of an interactive web graphic library, which allows the user to perform actions such as zooming, moving, saving, updating and assigning functions when clicking the plotted plot. The library is written in Javascript. MQTT protocol was used for the sending of data obtained by the radio observatory (Tested with data processed by the signal chain library, developed in the radio observatory of Jicamarca.) to be plotted in real time, it also contains functions that allows the pause and execution of the graph. Different types of graphs were used in the Jicamarca Radio Observatory, which were: RTI (Range Time Intensity), spectrogram, time series, error bars and double vertical axes. For a better understanding, a demo web application was developed in order to know the types of data that must be entered into the parameters and their operations.

Keywords: Graphic, library, interactive, web, real time, RTI, spectrogram, series, time, MQTT.

1. Introducción

En el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ) se procesan distintos tipos de datos que provienen de diferentes métodos de procesamiento de señales (obtenidas de instrumentos). Estos requieren de varios tipos de gráficas para su posterior interpretación. Actualmente, estos gráficos se muestran en la página web del Radio Observatorio de Jicamarca y en la base de datos MADRIGAL. Estos son procesados en su mayoría por signal chain, librería desarrollada en Jicamarca. Los tipos de gráficos más utilizados son:

- RTI (Range Time Intensity)
- Barras de error
- Perfil de ruido
- Series de tiempo
- Espectrogramas
- Series de tiempo con doble eje vertical

RTI (Range Time Intensity)

El gráfico RTI, se caracteriza por ser un plot de tipo heatmap. Este presenta tres valores de entrada: el tiempo(eje X), el rango(eje Y) y la intensidad (eje Z).

Perfil de ruido

Muestra el SNRo (Signal to noise ratio). Son del gráfico tipo scatter.

Barras de error

El tipo de gráfico de barras de error consta de líneas con marcadores que se usan para indicar el error que se estima en una medida; es decir, una barra de error indica la incertidumbre de un valor. Una serie del tipo de gráfico de barras de error tiene tres valores o dos valores.

Espectrograma

Los espectrogramas muestran el espectro de la señal obtenida, es de tipo heatmap, similar al RTI. Series de tiempo

Series de tiempo

Una gráfica de series de tiempo que muestra observaciones en el eje Y con respecto a intervalos de tiempo con igual separación en el eje X.

Series de tiempo con doble eje vertical

Un gráfico de doble eje vertical permite resumir o representar dos variables en el eje Y que tengan rangos diferentes, pero un mismo dominio. Es del tipo *scatter*.

2. Desarrollo

2.1. Herramientas de software

Como herramientas de software se utilizaron:

- Protocolo MQTT
- Signal Chain
- Atom
- Plotly.js
- Node.js

2.2. Pruebas preliminares

2.2.1. Conexión MQTT

Se hicieron las pruebas del protocolo de comunicación, realizando una conexión entre dos computadoras, donde la primera enviaba los datos y la segunda recibía (Figura 1).

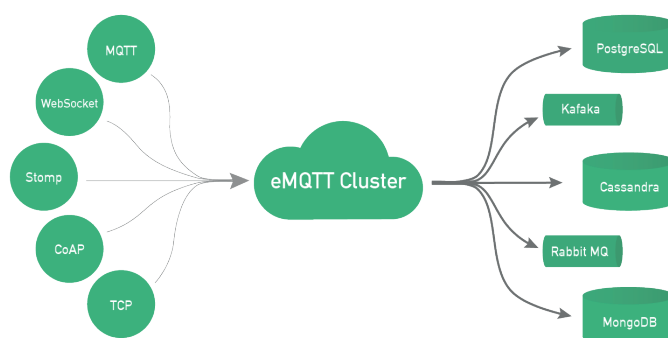


Figura 1. Funcionamiento del protocolo eMQTT.

Signal Chain es el que publica y la librería gráfica es la que se suscribe. Para realizar una conexión exitosa es necesario colocar los sgtes. parámetros:

- URL (e.g “10.10.10.82”)
- Número de puerto (e.g. “8083”)
- Nombre del canal (e.g. “schainnoise”)
- Id. de cliente (e.g. “RTIuser”)

2.3. Diseño del Programa

El programa se escribió en Javascript, basándose en clases y funciones. Las clases se dividieron por el tipo de gráfico a realizar y las funciones según las principales acciones del ploteo. Cada clase tiene distintos parámetros de entrada, las cuales deben estar en el correcto formato. Hay dos formas de poder graficar, la primera es estática; es decir, no estará conectada a ningún servidor, y solo se deberá ingresar un vector con los datos a plotear. La segunda, en tiempo real, requiere del ingreso de un solo dato (vector) que irá acoplándose cada vez que llega un nuevo dato por el protocolo MQTT. Una ventaja de utilizar el protocolo MQTT es que permite el envío de los datos por múltiples canales, por ende, también se

pueden graficar varios datos simultáneamente e.g. se podrá graficar desde múltiples fuentes de datos, pudiendo abrir diferentes procesos en diferentes lapsos para un mismo experimento. Las funciones que el usuario puede utilizar son las de mostrar el gráfico, pausarlo y reanudarlo cuando esté en el modo realtime.

2.4. Creacion de clases

Cada clase está formada por una serie de parámetros, descritos a continuación:

Connection.js

```
Connection({ clientId, urlName, portNum, canName, callback })
```

Spectrogram.js

```
Spectrogram({ data, timeIni, timeDelta, bw, xRange, zmin, zmax, title, xAxisTitle, yAxisTitle, yData, xData, yRange, div})
```

RTI.js

```
RTI({ data, realTime, title, xAxisTitle, xData, xRange, yAxisTitle, yRange, obj, yData, zmax, zmin, div, callback })
```

ErrorBar.js

```
ErrorBar({ year, month, day, hour, min, sec, data, error, yAxisColor, title, xAxisTitle, yAxisTitle, div })
```

NoisePoints.js

```
NoisePoints({ data, title, xAxisTitle, yAxisTitle, obj, legend, numNoise, xRange, yRange, div })
```

Profile.js

```
Profile({ data, title, xAxisTitle, yAxisTitle, xRange, yRange, yData, div })
```

TimeSerie.js

```
TimeSerie({ year, month, day, hour, min, sec, data, numTraces, legend, type, yAxisColor, title, xAxisTitle, yAxisTitle, div })
```

DoubleYScatter.js

```
DoubleYScatter({ year, month, day, hour, min, sec, data1, legend1, yAxisColor1, data2, legend2, yAxisColor2, title, xAxisTitle, yAxisTitle1, yAxisTitle2, yRange1, yRange2, div })
```

2.5. Funciones de la clase

Plot()

Grafica el plot. Si no se llama la función solo se creará el objeto mas no se visualizará.

startPlot()

Reanuda el ploteo. Cuando se ha pausado el ploteo de la gráfica, al llamar esta función se reinicia, graficando todos los datos almacenados hasta el momento.

stopPlot()

Detiene el ploteo. Los datos seguirán almacenándose, mas no se graficará.

3. Resultados

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Gráfico de espectrograma (Figura 2):

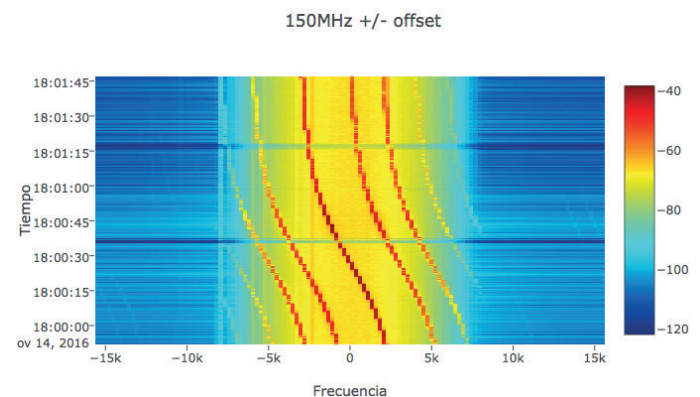


Figura 2. Espectrograma resultante.

Gráfico de RTI (Figura 3):

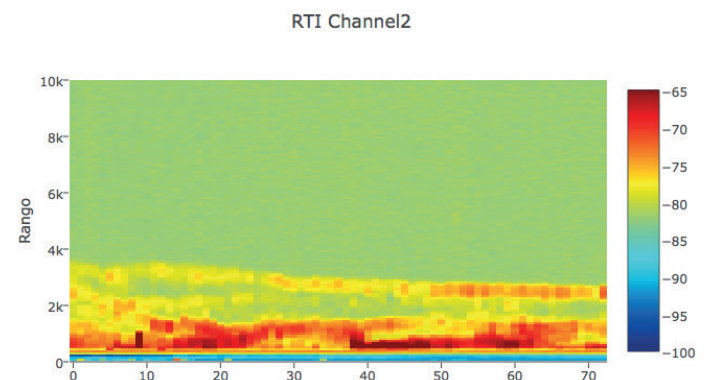


Figura 3. RTI resultante.

Gráfico de tiempo real (Figura 4):

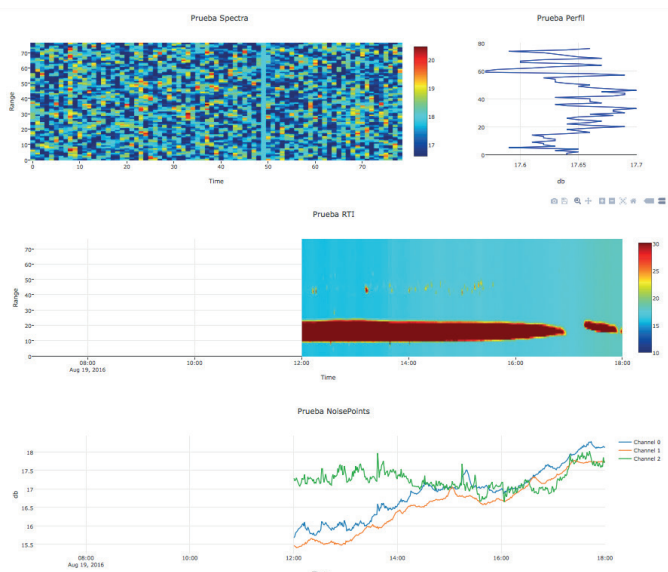


Figura 4. Graficado en tiempo real.

Gráfico de perfil de ruido (Figura 5):

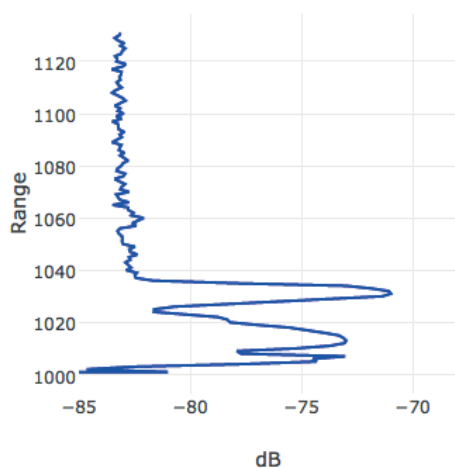


Figura 5. Perfil de ruido resultante.

Gráfico de barras de error (Figura 6):

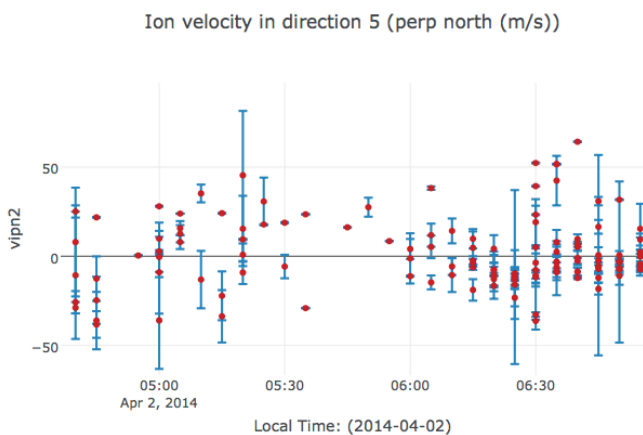


Figura 6. Barras de error resultante.

Gráfico de serie de tiempo (Figura 7):

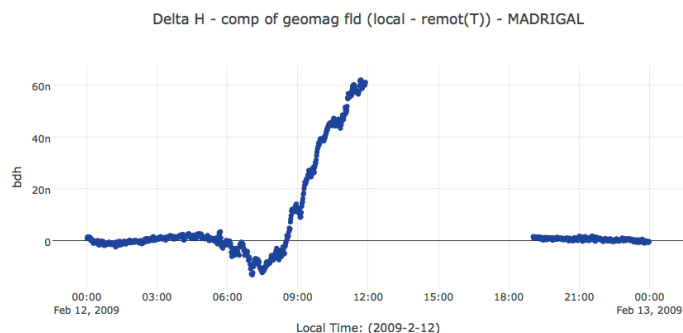


Figura 7. Barras de error resultante.

Gráfico de doble eje vertical (Figura 8):

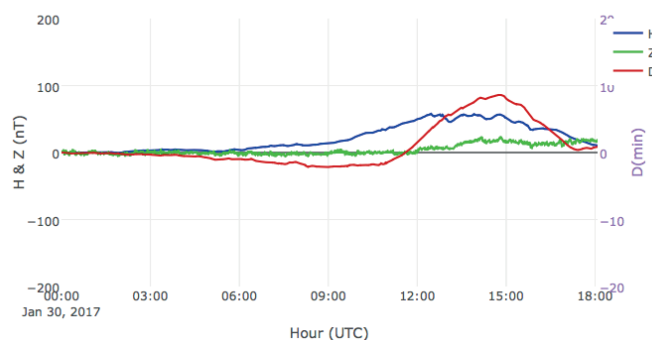


Figura 8. Doble eje vertical resultante.

Demostración (Figura 9):

Sobre la librería

Es interactiva. Ha sido desarrollada para poder realizar distintos tipos de graficos que se necesitan visualizar en Jicamarca.

La librería contiene distintos tipos de graficas como: Spectrogramas, RTI, desviación estándar, SNR, etc. Los datos que se ingresan son los obtenidos de los radares, aparte del tiempo, ancho de banda, latitudes, etc. La mayoría procesadas previamente por Signal Chain, o el programa a cargo de aquellos datos.

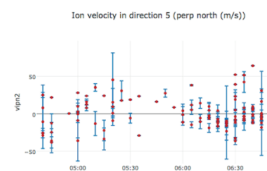


Figura 9. Inicio de la demostración.

4. Discusión

Los gráficos generados por Signal Chain u otros programas en el Radio Observatorio de Jicamarca están en formato de imagen, ya sea JPEG, PNG, etc. Con ello no es posible poder realizar un acercamiento o alejamiento para una mejor visualización; saber el valor exacto de cada dato como la frecuencia, el tiempo, la intensidad, etc; desplazarla por el tiempo. En otras palabras, no es interactivo ni se adecúa a las necesidades del usuario, solo permite un plano estático del gráfico.

5. Conclusiones

Se desarrolló una librería gráfica interactiva para aplicaciones web permitiendo al usuario poder realizar acciones como acercamiento, alejamiento y desplazamiento, a su vez, permitiendo observar los datos de una forma exacta ya sea en tiempo, velocidad, frecuencia, intensidad, error, etc. haciendo que sea mucho más fácil la visualización de datos y su entendimiento.

También que contenga la opción de poder guardar el gráfico en formato PNG según la escala en la que se le haya dejado con una buena resolución.

Se estableció el envío de datos de Signal Chain a la interfaz gráfica web para el ploteo en tiempo real con el uso del protocolo de comunicación MQTT.

6. Recomendaciones

Se recomienda establecer un formato JSON estándar para el procesamiento y guardado de datos, esto haría que el desarrollo y utilización de la librería sea mucho más sencilla. Por ejemplo el tipo de ingreso de datos del tiempo, no se diferenciaría entre ingresar el formato en milisegundos, o por fecha y hora ya que estaría con un mismo formato que sería por timestamp.

7. Agradecimientos

Al Radio Observatorio de Jicamarca por brindarme las facilidades para desarrollar mi proyecto como practicante.

Al Ing. José Chávez por haberme asesorado en el transcurso de las prácticas.

Al personal de las áreas de I+D&I, operaciones de radar y CIELO por brindarme los datos necesarios para poder realizar mi proyecto.

8. Bibliografía

J. Oscanoa, D. Suarez y D. Scipión (2015): *Software para procesamiento de datos de radar. Signal Chain, Lima, Peru.* <http://jro.igp.gob.pe/programaEIDU-ROJ/images/presentaciones2015/SignalChain.pdf>

MQTT Protocol (2017): <http://mqtt.org>

Atom (2017): <https://atom.io>

Plotly.js (2017): <https://plot.ly/javascript/>

Node.js (2017): <https://nodejs.org/>

Base de Datos Madrigal (2016): <http://jro-db.igp.gob.pe/madrigal/>

OBTENCIÓN DE IMÁGENES DE RADAR USANDO EL RADAR PRINCIPAL DE JICAMARCA Y ARREGLO DE ANTENAS COCO APLICANDO COMPRESSED SENSING

RADAR IMAGING WITH COMPRESSED SENSING WITH JICAMARCA'S MAIN RADAR AND COCO ANTENA ARRAY

Karla Fiorella Quino Omonte

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas
Facultad de Ingeniería Electrónica
fiorella.quino@jro.igp.gob.pe

Asesor: Marco Milla, Ph.D.

Radio Observatorio de Jicamarca - IGP

Resumen

La obtención de imágenes por radar es una de las principales aplicaciones que se realizan en el Radio Observatorio de Jicamarca para el estudio de las irregularidades de plasma en la región ecuatorial F de la ionósfera. En el presente informe se desea obtener imágenes de la ionósfera usando la mayor resolución angular que proporciona el radar principal de Jicamarca con el amplio ancho de haz que brinda el arreglo de antenas COCO. Asimismo, se propone el método de Compressed Sensing para obtener la imagen con mayor fidelidad del objeto (también llamada función de Brillo) debido a que la señal (función de Visibilidad), que se obtiene por interferometría de radar, es la transformada de Fourier de dicho objeto a analizar.

Palabras clave: Radio Observatorio de Jicamarca, antenas COCO, compressed sensing, Radar, Interferometría, Transformada de Fourier, función de Visibilidad, función de Brillo.

Abstract

Radar imaging is one of the main applications performed at Jicamarca Radio Observatory for the study of plasma irregularities in the equatorial F region of the ionosphere. In this report it is desired to obtain images of the ionosphere using the higher angular resolution provided by the main radar of Jicamarca with the wide beam width provided by of COCO antennas array. Also, we propose Compresses Sensing method to obtain the image with greater fidelity of the object (also called Brightness function) because the signal (Visibility function), that is obtained by radar interferometry, is the Fourier transform of this object.

Keywords: Jicamarca Radio Obsevatory, COCO Antenna, compressed sensing, radar interferometry, Fourier transform, Visibility function, Brightness function.

1. Introducción

Interferometría

La interferometría de radar es una técnica de dispersión desarrollada en el Radio Observatorio de Jicamarca para estudiar las irregularidades del plasma en la ionósfera. El resultado de este método son imágenes bidimensionales: altitud y longitud magnética (Farley, 1981).

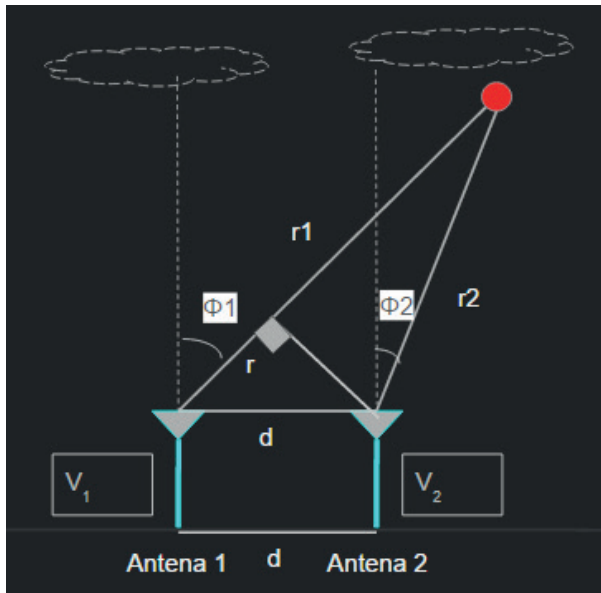


Figura 1. Representación de la Interferometría de Radar en dos antenas.

En la Figura 1 se observan dos antenas separadas por una distancia d , recibiendo ecos del objeto de color rojo que se encuentra en el espacio. Se asume que, debido a la lejanía del objeto en cuestión, los ángulos de arribo se consideran de igual magnitud. Además, el resultado es una correlación cruzada de esas dos señales (V_1 y V_2) procedentes de las antenas (Harding, 2012).

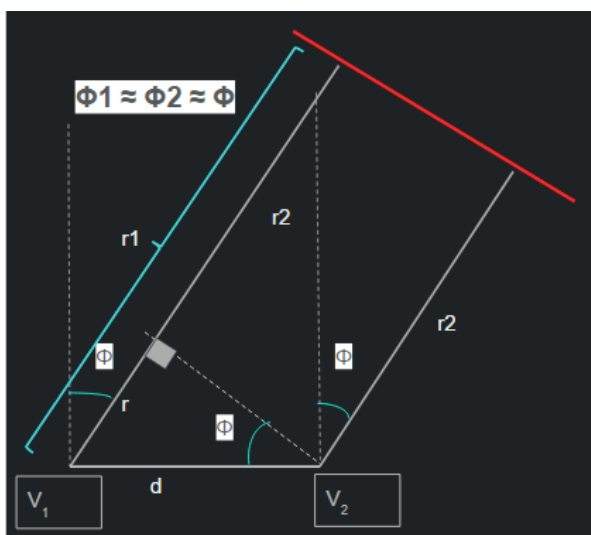


Figura 2. Representación de la Interferometría de Radar asumiendo ángulos de arribo similares.

De la Figura 2 se desprende que:

- Número de onda: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$
- $r = r_1 - r_2 \rightarrow r = d \times \sin(\phi)$
- V_1 y V_2 son señales procedentes de un par de antenas receptoras.

Se obtiene:

- Correlación cruzada: $\langle V_1, V_2 \rangle$
- Fase de la correlación cruzada: $\angle \langle V_1, V_2 \rangle = \frac{2\pi}{\lambda} \times d \times \sin(\phi) \rightarrow k \times d \times \sin(\phi)$
- Asumiendo que ϕ es ángulo pequeño, entonces: $\angle \langle V_1, V_2 \rangle = k \times d \times \phi$

En el caso de una sola dimensión, la correlación cruzada, también llamada función de Visibilidad, se puede expresar:

$$\langle V_1, V_2 \rangle \equiv g(kd) = \int_{\phi_1}^{\phi_2} B(\phi) e^{jkd\phi} d\phi \quad (1)$$

Donde:

- $B(\phi)$ es función de brillo, imagen real o función objetivo, ya que representa a la estructura del objeto en el espacio.
- $g(kd)$ es función de Visibilidad

Radar Imaging

Radar Imaging es una técnica con la cual se pueden obtener imágenes tridimensionales de dispersión coherente: la primera dimensión es distancia y las otras dos son ángulos cenitales obtenidos por interferometría. Se sabe que el resultado de la correlación cruzada de dos antenas es una muestra de la transformada de Fourier de la función de Brillo $B(\phi)$ considerando una dimensión como se observa en la ecuación (1) (Woodman, 1997).

Para saber la estructura del cuerpo a analizar, el objetivo principal es hallar la función de Brillo $B(\phi)$, también llamada distribución angular.

2. Problema

La obtención de imágenes con radar por interferometría proporciona una muestra de la transformada de Fourier por cada combinación de un par de antenas. El radar principal de Jicamarca cuenta con 8 antenas receptoras (Figura 3); por lo tanto, el total de combinaciones de pares de antenas sin repetir son 28 ($M=28$) por cada rango (Harding, 2012).

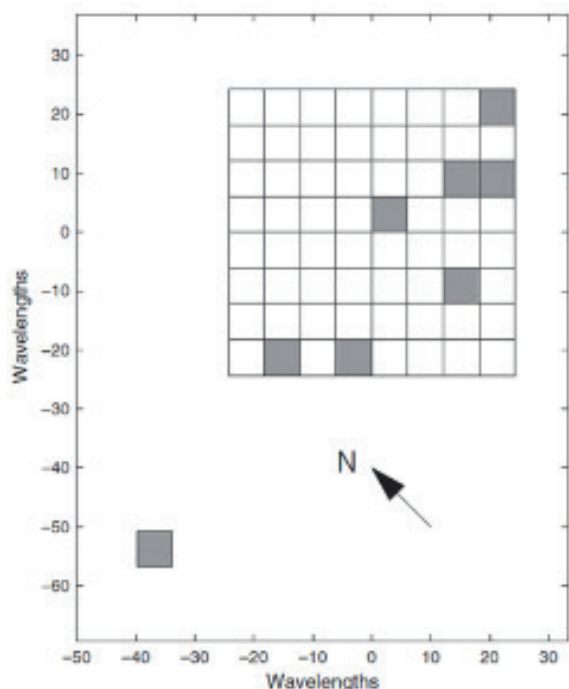


Figura 3. Imagen de la distribución de las antenas en el radar principal de Jicamarca.

El objetivo principal de radar imaging es estimar la función de brillo o imagen real a partir de estas 28 mediciones (Figura 4). Así que como primera opción se considera usar la transformada inversa de Fourier.

$$\langle V_1, V_2 \rangle \equiv g(kd) = F[B(\phi)] \quad (3)$$

$$B'(\phi) \equiv F^{-1}[g(kd)] \quad (4)$$

Sin embargo, la función de visibilidad es indeterminada pues solo se conoce para algunas distancias, los valores no medidos se consideran como cero. Por lo tanto, no se obtendrá una buena estimación de $B(\theta)$ (Woodman, 1997).

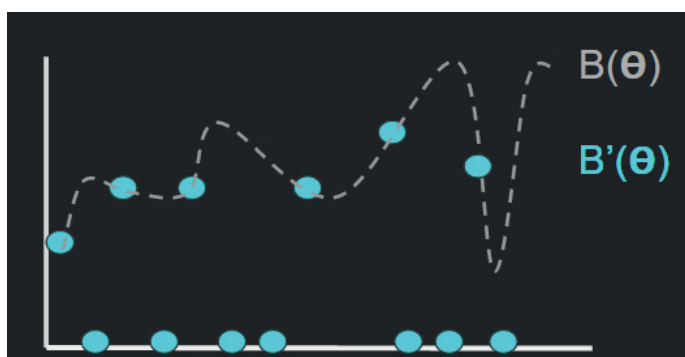


Figura 4. Representación del problema de estimación de la función de Brillo usando transformada inversa de Fourier. En la función de Brillo estimada $B'(\theta)$ algunos de sus valores se asumen como cero.

El presente proyecto propone Compressed Sensing como método de inversión adecuado para obtener la función de Brillo con la mayor fidelidad posible.

3. Métodos de Inversión

3.1. Métodos de Inversión Actuales

El método de Capón propone una función de ponderación que se adapta a los datos; puede considerarse como un problema de optimización restringida. Mientras tanto, el Método de Máxima Entropía interpola o extrapola la función de Visibilidad, obteniendo así una mayor resolución de la imagen real (Yu, 2000).

En la Figura 5 se muestra una comparación entre la reconstrucción con ambos métodos usando como imagen real a recuperar una gaussiana.

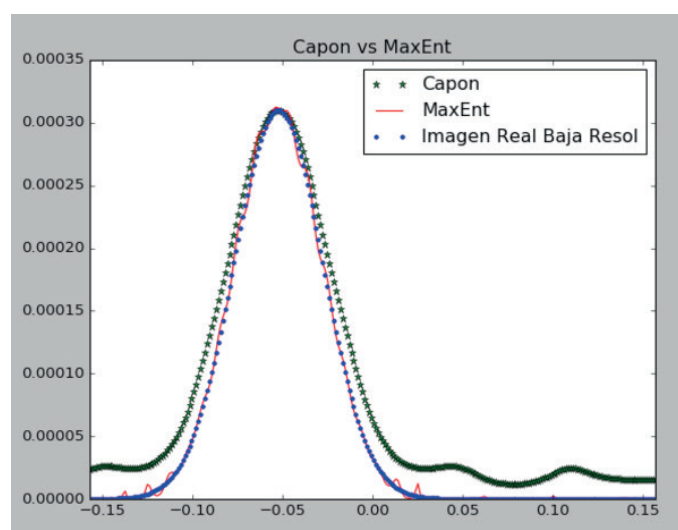


Figura 5. Método de Capón vs Método de Máxima Entropía. Código elaborado en Python

3.2. Compressed Sensing

Con este método se busca una mayor fidelidad en la reconstrucción de la imagen real al usar las antenas receptoras del radar principal del Radio Observatorio de Jicamarca. Se sabe que se necesita pocas muestras de una señal para recuperar o estimar la original, siempre y cuando esta señal no ocupe completamente el espectro. En esta premisa se basa el método Compressed Sensing, también llamado Compressive Sampling, el cual propone ir de un enfoque de ancho de banda en el espacio de Fourier a una escasez de coeficientes de transformación lineal considerando que cualquier señal es escasa (la mayoría de valores que componen la señal no son diferentes de cero como se muestra en la Figura 6) si es expresada en la base adecuada (Harding, 2013).

$$f = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Figura 6. Ejemplo de vector de imagen escaso.

La siguiente ecuación es la ecuación (1) discretizada.

$$\vec{g} = \mathbf{H}\vec{f} \quad (5)$$

Donde:

- \vec{f} : función de Brillo discretizada
- \vec{g} : función de visibilidad discretizada
- \mathbf{H} : Matriz de muestro discretizada

Como se mencionó en líneas anteriores, cualquier señal presenta escasez si es expresada en la base correcta. Para este fin:

$$\vec{f} = \Psi \times \vec{s} \quad (6)$$

Donde:

- Ψ : es una matriz ortogonal donde la escasez de \vec{f} es expresada.
- \vec{s} : función de Brillo discretizada
- \vec{f} : función que representa la escasez de la función de Brillo discretizada

Por lo tanto, se obtiene:

$$\vec{g} = \mathbf{H} \times \Psi \times \vec{s} \quad (7)$$

4. Agradecimientos

Se agradece al Instituto Geofísico del Perú por brindarme las facilidades para desarrollar mi tema de tesis.

Asimismo al Dr. Marco Milla por su orientación y asesoramiento en el presente proyecto en el Radio Observatorio de Jicamarca.

5. Bibliografía

Farley D., Ierick H. and Fejer B. (1981): *Radar Interferometry: A New Technique for Studying Plasma Turbulence in the Ionosphere*, Vol 86, No A3, School of Electrical Engineering, Cornell University, Ithaca, NY, USA.

Harding B. (2012): *Maximun Entropy and Compressed Sensing with Applications to Radar Imaging*, Jicamarca Radio Observatory, Lima, Instituto Geofísico del Perú, Vol 32, N° 6, Jicamarca Radio Observatory, Lima, Instituto Geofísico del Perú.

Harding B. and Milla M. (2013): *Radar Imaging with Compressed Sensing*, Vol 45, Radio Science.

Priest E. (1982): *Solar Magnetohydrodynamics, Cap.1*, Edited by B.M. McCormac, Lockheed Palo Alto Research Laboratory, Calif. USA.

Woodman R. (1997): *Coherent radar imaging: Signal Processing and statistical properties*, Vol 32, N° 6, Jicamarca Radio Observatory, Lima, Instituto Geofísico del Perú.

Yu T. and Palmer R. (2000): *A Simulation Study of Coherent Radar Imaging*, Vol 35, N° 5, Department of Electrical Engineering and Center for Electro-Optics, University of Nebraska, Lincoln, USA.

OPTIMIZACIÓN DE ALGORITMO PARA SEGMENTACIÓN DE SEÑALES SATELITALES DURANTE EVENTOS DE PASES SIMULTÁNEOS

OPTIMIZATION ALGORITHM FOR SATELLITE PASSES SEGMENTATION DURING SIMULTANEOUS EVENTS

José Manuel Suclupe Osorio

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ciencias
josesuclupe@uni.com

Asesores: Edgardo Pacheco, Ph.D.;

Ing. JoseMaría Gómez

Radio Observatorio de Jicamarca - IGP

Resumen

Este trabajo es parte del proyecto “Desarrollo de Instrumentación para Nanosatélites y Mediciones Ionosféricas” desarrollado en el Radio Observatorio de Jicamarca, sede del Instituto Geofísico del Perú. El presente trabajo presenta la optimización al algoritmo del procesamiento de las señales satelitales para la obtención del rTEC. El algoritmo desarrollado en este trabajo fue implementado en python 2.7 y permite la identificación y segmentación de pases satelitales de baja órbita cuando dos de estos se encuentran transmitiendo sobre la estación receptora simultáneamente y además realiza el filtraje de interferencias. De esta manera el algoritmo permite así el cálculo correcto del rTEC para cada pase por separado. El algoritmo contiene métodos de procesamiento de imágenes y se divide en tres partes: Umbralización, separación de pases e identificación de cada pase.

Palabras clave: rTEC, segmentación, pases satelitales.

Abstract

This work is part of the project “Development of Instrumentation for Cubesat and Ionospheric Measurements” developed in the Jicamarca Radio Observatory (JRO). This work presents the optimization of the satellite signal processing algorithm to obtain rTEC. The algorithm developed in this work was implemented in python 2.7 and allows the identification and segmentation of low Earth orbit satellite passes when two of the satellites are transmitting simultaneously over the receiving station and the interference filtering. Thus, the algorithm allows the right calculation of rTEC for each pass separately. The algorithm contains Image Processing Techniques and it is divided in three parts: Thresholding, Separation of passes and Identification of each pass.

Keywords: rTEC, segmentation, satellite passes.

1. Introducción

En el ROJ, se ha desarrollado el proyecto “Desarrollo de Instrumentación para Nano satélites y Mediciones Ionosféricas” que consiste en el desarrollo, diseño y construcción de un sistema de instrumentación para nano satélites y estaciones receptoras terrenas que sean de utilidad para investigaciones de la alta atmósfera e ionósfera (Pacheco et al., 2014; Pacheco et al., 2016; Gómez, 2017).

La estación receptora registra señales de los transmisores de radio beacon de satélites, la estación opera alrededor de 150 MHz y 400 MHz.

2. Marco teórico

2.1. Obtención del rTEC

2.1.1. TOTAL ELECTRON CONTENT

Se define el contenido total de electrones entre dos puntos A y B, como el número total de electrones libres contenidos en una columna de un 1m^2 que une A con B, es decir:

$$TEC = \int_A^B Ne dz, \quad (1)$$

donde Ne es la densidad electrónica en e/m^3 y la integral se calcula a lo largo del camino que une los puntos A y B.

2.1.2. Relative Total Electron Content

La técnica que usa el receptor para poder calcular el TEC relativo (rTEC) se llama Doppler Diferencial y mantiene el principio de medir la diferencia de fases de dos señales. La diferencia de fases se basa en la medición de fase de cada señal para después compararlas. La ecuación que se usa para hallar el TEC relativo a partir de la diferencia de fase ∇w_d de dos señales de frecuencias $f_1=q_1$ y $f_2=q_2f$ es:

$$\nabla w_d = \frac{80.6 \pi}{c f} \left[\frac{q_2}{q_1} - \frac{q_1}{q_2} \right] \frac{dTEC}{dt}, \quad (2)$$

donde $\frac{dTEC}{dt}$ es el TEC relativo y c es la velocidad de la luz en el vacío. Más detalles sobre la derivación de la ecuación anterior se encuentran en la publicación de Yamamoto (Yamamoto, 2008).

2.2. Cross spectrogram

El método utilizado para calcular el espectrograma de las señales satelitales es la Transformada de Fourier en Tiempos Cortos (STFT por sus siglas en inglés), el espectrograma muestra en un eje (horizontal) la frecuencia de la señal, en el eje vertical, el tiempo (ventanas) y guarda como valor la potencia de la señal (en dB). Se obtiene un espectrograma para

cada una de las frecuencias de 150 MHz y 400 MHz. Teniendo en cuenta la escala adecuada se obtiene el cross spectrogram producto de los espectrogramas de cada frecuencia. En todos los casos se utiliza el tiempo universal (UT) para este trabajo.

La Figura 1 muestra el espectrograma cruzado o cross spectrogram de un pase doble de los satélites CASSIOPE y DMSP F15 el día 27/10/2016 a las 19:21 horas.

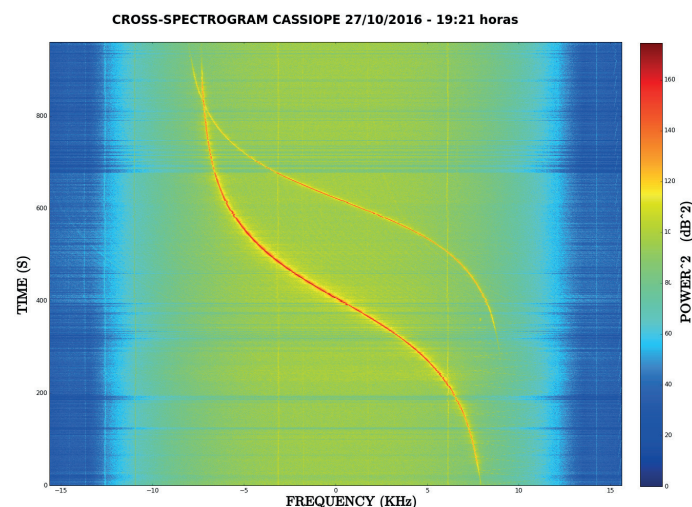


Figura 1. Cross spectrogram de un pase doble de los satélites CASSIOPE y DMSP F15 registrados el día 27/10/2016 a las 19:21 horas. Pase doble real.

En el espectrograma se puede apreciar el efecto doppler de las señales, debido a la apreciable velocidad de los satélites, si en caso se presentan interferencias de alguna fuente que no tiene movimiento, como el radar principal del ROJ, estas aparecen como una línea vertical (sin efecto doppler) tal como aparecen en la figura 2, la cual muestra un cross spectrogram de un pase doble simulado a partir de los pases simples de los satélites CASSIOPE y DMSP F15 registrados el 15/10/2016 a las 9:15 horas y el 11/01/2016 a las 6:49 horas respectivamente.

2.3. Optimización al algoritmo

El algoritmo del procesamiento de señales para el cálculo del rTEC en su etapa inicial calcula el espectrograma cruzado (cross-spectrogram) de las señales de frecuencia de 150 y 400 MHz. A partir del espectrograma cruzado el algoritmo de procesamiento de señales realiza un recorrido fila a fila (ventana a ventana temporal, cada ventana tiene 0.131 segundos de información) y guarda la posición donde el valor (potencia al cuadrado) es máximo, seguidamente realiza un ajuste por mínimos cuadrados de los puntos guardados a la función tangente hiperbólica a fin de obtener la posición de la señal (Figura 2).

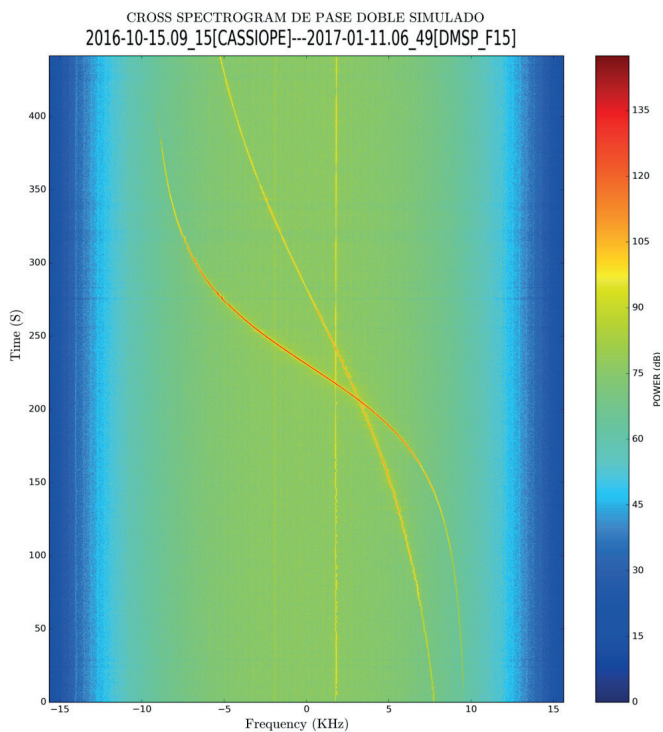


Figura 2. Cross spectrogram de un pase doble simulado a partir de los los satélites CASSIOPE y DMSP F15 registrados el 15/10/2016 a las 9:15 horas y el 11/01/2016 a las 6:49 horas respectivamente.

El algoritmo realiza dos procesos de descarte de los puntos que están alejados de la función ajustada, y vuelve a realizar el ajuste después de cada descarte, para así mejorar la función de ajuste. El método anteriormente señalado funciona a la perfección cuando hay un solo pase satelital, pero puede fallar cuando presenta señales de interferencias (las cuales aparecen en el espectrograma como líneas verticales) y/o cuando se tienen dos pases satelitales porque en tal caso se ajustará a uno de los pases o se tendrá un ajuste intermedio.

El motivo por el cual el algoritmo requiere un buen ajuste de las señales es debido a que más adelante realiza una búsqueda por ventana temporal, alrededor de esta curva ajustada y registra la posición del máximo valor en ese rango de búsqueda, seguidamente se realiza un filtro pasa banda alrededor de estos valores máximos. Finalmente se realiza una transformada de fourier rápida inversa por ventana para proceder a medir la diferencia de fase de ambas señales (se realiza un artificio para poder comparar ambas señales). Finalmente con la diferencia de fase medida, se usa la fórmula (2) para estimar el rTEC.

El algoritmo propuesto tiene como objetivo separar ambos pases, teniendo como entrada el cross spectrogram de un pase doble satelital. Se obtiene como salida dos cross spectrogram, uno para cada pase. El algoritmo usa técnicas de tratamiento de imágenes y se divide en tres partes:

- Umbralización y Filtro de Interferencia.
- Separación de pases satelitales.
- Identificación de cada pase.
-

3. Algoritmo Propuesto

3.1. Umbralización y filtro de interferencia

Los métodos de umbralización y filtro de interferencia son suficientes para el cálculo del rTEC de cada pase satelital.

3.1.1. Umbralización

En este trabajo se propone un método para umbralizar las señales, consiste en buscar el umbral global a partir de un análisis del histograma de la imagen.

PASO 1: Convertir la imagen del cross spectrogram a escala de gris.

PASO 2: Obtener el histograma de la imagen.

PASO 3: Umbralizar a partir de 10 valores seguidos del valor más frecuente del histograma.

PASO 4: Eliminar objetos pequeños (erosionar y reconstruir).

PASO 5: Etiquetar objetos.

PASO 6: Volver al PASO 3 con el valor del umbral aumentado en 1, si la cantidad de objetos etiquetados aumenta, entonces terminar, y el último umbral evaluado es el umbral global óptimo.

Convertir la imagen en escala de grises significa convertir la imagen en una escala de 0 a 255. La Figura 3 muestra el histograma de un cross spectrogram en escala de grises. Notamos que el valor más frecuente viene a ser ruido.

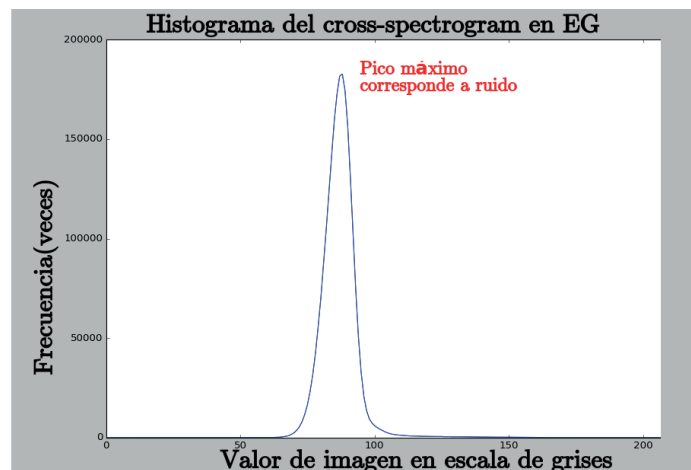


Figura 3: Histograma típico de un Cross spectrogram en escala de grises

Umbralizar significa colocar 1 en los pixeles cuyo valor es mayor o igual a un valor umbral y colocar a cero los valores menores a dicho valor.

Etiquetar significa agrupar los pixeles por cercanía y colocar el mismo número a los pixeles de un mismo grupo. Esto se consigue con el método label de las librerías ndimage o mahotas de python.

La lógica que sigue este algoritmo de umbralizar es que a medida que vamos aumentando el valor umbral iremos desgastando la señal de los pases y cuando esto suceda, estos se volverán más angostos y se terminarán partiendo, y como consecuencia aumentará el número de objetos.

La Figura 4 muestra el resultado de umbralizar el cross spectrogram simulado de la Figura 2.

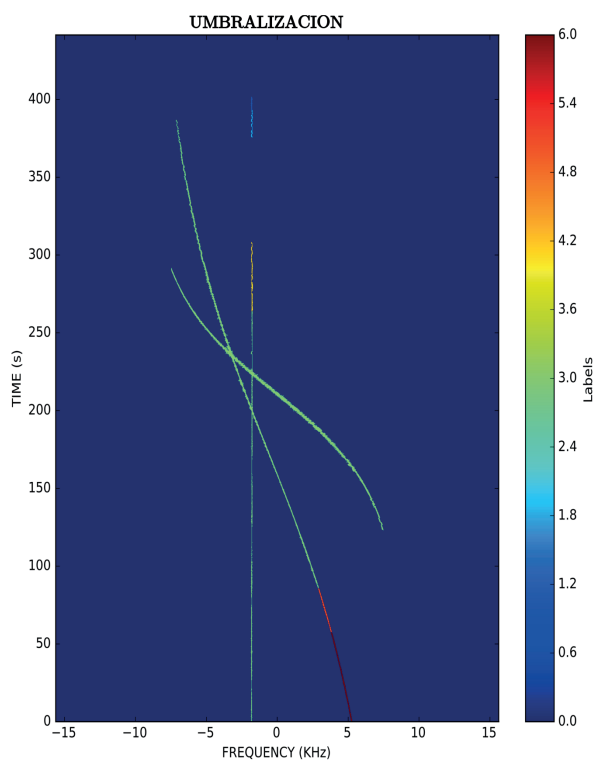


Figura 4. Umbralización del cross spectrogram simulado de la figura 2. Notamos la presencia de interferencias.

3.1.2. Filtro de Interferencia

Este algoritmo se adoptó de un algoritmo que elimina las líneas de los pentagramas y deja las notas musicales en un pentagrama musical (Low and Change, 2012).

PASO 1: Hallar el histograma por columnas-ubicar las interferencias.

PASO 2: Eliminar interferencias recorriendo fila a fila.

El algoritmo procede a contar la cantidad de pixeles que no son ceros. Las columnas donde aparecen interferencias se caracterizan por tener valores de histograma más altos, de esta

forma identificamos las posiciones donde hay interferencias. Adicionalmente se tiene la excepción de que las posiciones donde el histograma tiene un pico y en las columnas vecinas se tiene una variación suave en el histograma, entonces en este caso no hay una interferencia, esto último es para evitar hacer cortes innecesarios cuando la señal es gruesa. Seguidamente para cada columna donde hay interferencia se hace un recorrido fila a fila en la imagen y se elimina la interferencia si en una columna antes o una columna después el valor del pixel es cero.

La Figura 5 muestra la aplicación del filtro de interferencia aplicado al cross spectrogram umbralizado de la Figura 4.

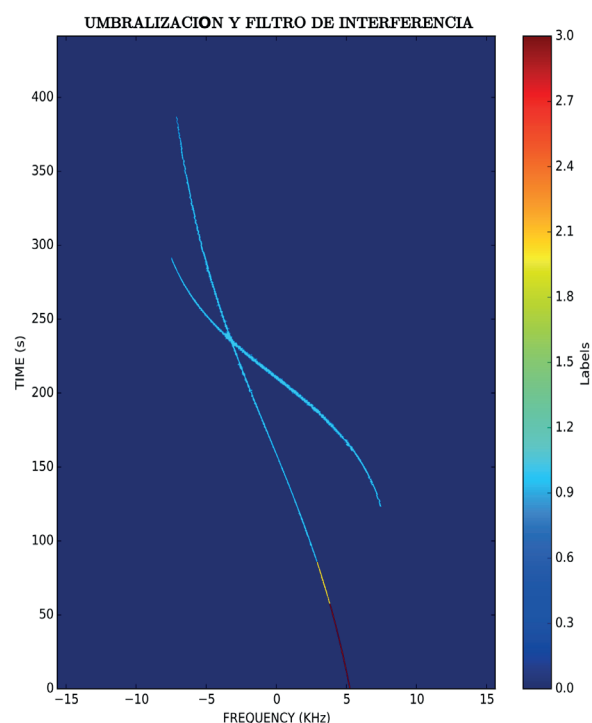


Figura 5. Filtro de interferencia aplicado al cross spectrogram umbralizado de pase doble simulado de la figura 4.

3.2. Separación de pases satelitales

Esta parte del algoritmo recibe la imagen umbralizada, filtrada de interferencias y etiquetadas. Aquí consideramos dos casos:

Pases superpuestos: Existen pases que se superponen en la imagen, como en la figura 5.

Pases no superpuestos: También puede darse el caso que los pases no se superpongan o crucen.

PASO 1: Identificar si hay algún objeto superpuesto y separar ambos objetos.

PASO 2: Criterio de ajuste por mínimos cuadrados a una curva tangente hiperbólica- Agrupar objetos en el pase1 y pase2.

Aquí se van agrupando los objetos de la lista de slices (los slices son las coordenadas de las secciones o rectángulos que contienen a cada objeto), el criterio para agrupar es primero ubicar el objeto más grande de la lista (el tamaño se mide en filas) y unir este objeto al pase 1, inmediatamente calcular el error de ajuste.

Este cálculo consiste en hallar el promedio de la separación de cada punto intermedio (punto intermedio de los píxeles del objeto en cada fila de la imagen) con la curva ajustada a la tangente hiperbólica, luego se procede a buscar el segundo objeto más grande y hallar el error que este último objeto unido al pase 1 (a los objetos del pase1) genera a la curva ajustada, si el error es 4 veces o más que el error previo (antes de unir el objeto al pase1) entonces se habrá encontrado el primer objeto del pase2, si no lo es entonces este objeto pertenecerá al pase1.

Una vez encontrado el primer objeto del pase2 se procede a hallar el error respectivo, de esta forma vamos uniendo los objetos bajo el criterio, que el error disminuya cada vez que uno un nuevo objeto.

La Figura 6 muestra los pases separados.

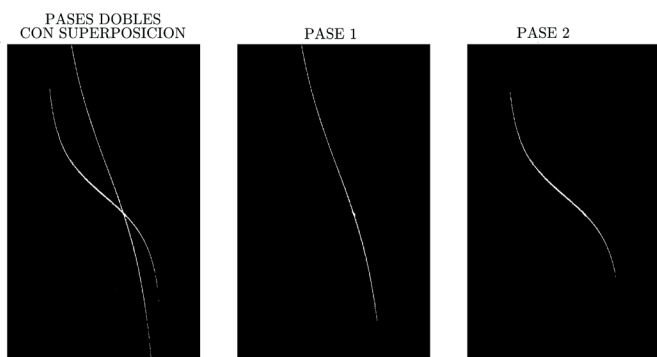


Figura 6. Pases dobles separados en cada pase satelital.

4. Resultados

4.1. Eficiencia de separación de los pases satelitales

El algoritmo de separación fue probado para 31 pases dobles entre simulados y reales, de los cuales solo en el caso mostrado en la figura 7 no se pudo separar adecuadamente. Por lo que según nuestras pruebas se tiene un 97% por ciento de eficiencia.

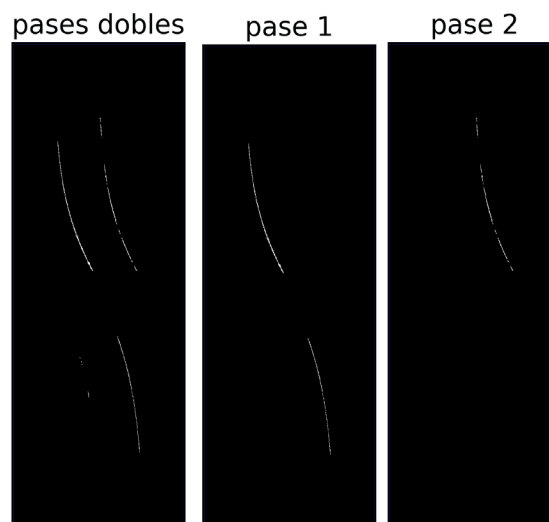


Figura 7. Pase satelital simulado en el cual falla el algoritmo de separación. En este caso especial proveniente de dos satélites COSMOS cuyas señales principales forman una tangente hiperbólica, el algoritmo las detecta como si fueran del mismo pase.

4.2. Cálculo del rTEC e identificación de cada pase

Si bien se logran separar los pases satelitales, no se puede saber a priori qué satélite le pertenece a cada pase, aún buscando en el archivo “passes.txt” donde se tiene el tiempo programado para que la estación receptora empiece a grabar. Se podría decir qué satélite pasa primero que el otro, pero esta predicción no siempre es precisa, y más aún cuando ambos se acercan más a la estación en instantes cercanos la incertidumbre aumenta.

Por ese motivo, se creó un script que a partir de los archivos .pass (estos archivos contienen parámetros que permiten la predicción de la trayectoria de los satélites), busca las trayectorias y calcula el instante de máximo acercamiento a la estación (que es donde la velocidad es mínima y la aceleración es máxima (medidas en la línea que une la estación con el satélite) calculando el instante de máximo acercamiento y la aceleración en dicho instante para cada curva (a partir del corrimiento doppler se calcula la velocidad del satélite) ajustada a cada pase ya separado.

Luego se correlacionaron estas aceleraciones obtenidas en ambos casos y se relaciona el satélite que predice mayor aceleración máxima con el pase que da mayor aceleración máxima, y de esta forma se llegan a identificar los pases satelitales (Figuras 8, 9 y 10).

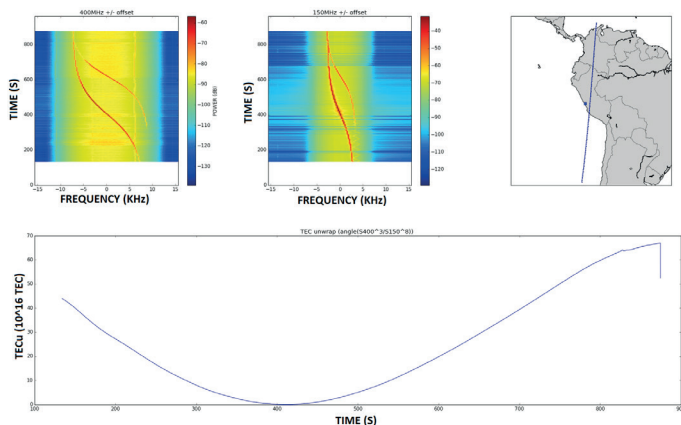


Figura 8. Antes de optimizar el algoritmo, el programa solo podía calcular el rTEC para el pase satelital más intenso y no identifica el correspondiente satélite para cada pase.

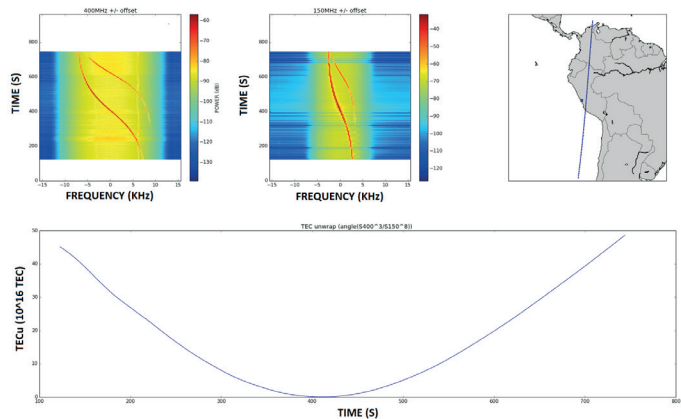


Figura 9. Cálculo del rTEC del primer pase satelital y se encuentra que este corresponde a CASSIOPE, registrado el día 27/10/2016 a las 19:21, además se grafica su trayectoria estimada.

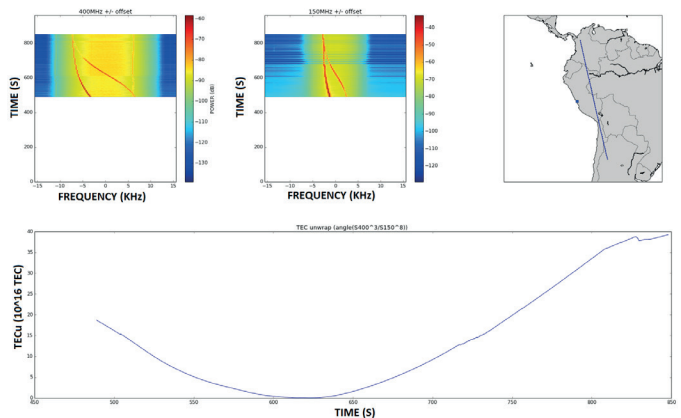


Figura 10. Cálculo del rTEC del segundo pase satelital y se encuentra que este corresponde a DMSP F15 registrado el día 27/10/2016 a las 19:26, además se grafica su trayectoria estimada.

5. Conclusiones

El presente algoritmo desarrollado identifica y segmenta pases satelitales de baja órbita cuando dos de estos se encuentran transmitiendo sobre la estación receptora simultáneamente y calcula el rTEC con una eficiencia del 97%. El algoritmo de umbralización y filtro de interferencia puede servir también para filtrar las interferencias en los pases simples y así calcular adecuadamente el rTEC en los casos donde originalmente no se podía.

6. Agradecimientos

Al Radio Observatorio de Jicamarca; a mi asesor el Dr. Edgardo Pacheco; a mi coasesor, el ingeniero José María Gómez, y al ingeniero José Chávez por su guía y motivación, además del apoyo brindado durante todo el periodo de prácticas.

7. Bibliografía

Gómez Sócola, J. (2017): *Diseño e implementación de un sistema receptor para la estimación del Contenido Total de Electrones (TEC) relativo*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima, Perú. Tesis de Ingeniero Electrónico.

Yamamoto, M. (2008): *Digital beacon receiver for ionospheric TEC measurements developed with GNU radio*. *Earth, Planets and Space*, 60(11).

Pacheco, E., Chávez, J., Villanueva, F., Gómez, J., Milla, M., Valladares, C., De la Jara, C., and Rodrigues, F. (2016): *Beacon receivers for cubesat missions and ionospheric studies*. 2nd Latin American CubeSat Workshop Florianopolis, Brazil, IAA-BR-16-0S-0P.

Pacheco, E., Valladares, C., and Milla, M. (2014): *Space instrumentation at the jicamarca radio observatory for cubesat applications*. 1st IAA Latin American CubeSat Workshop Brasilia DF.

PROCESAMIENTO DE DATOS DE JASMET Y PUBLICACIÓN EN MADRIGAL

JASMET DATA PROCESSING AND PUBLICATION IN MADRIGAL

Marco Paul Enrique Apolinario Lainez
Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
marco.apolinario.i@gmail.com

Asesor: Danny Scipión, Ph.D.
Radio Observatorio de Jicamarca - IGP

Resumen

El Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ), sede científica del Instituto Geofísico del Perú (IGP), tiene por objetivo principal el estudio de la ionosfera. Para poder realizar esta labor cuenta con una serie de instrumentos de medición, siendo los principales radares. El presente trabajo se enfoca en el procesamiento de datos adquiridos con el radar JASMET (Jicamarca All-Sky Specular Meteor), el cual se usa para el cálculo de vientos MLT (Mesosphere Lower Thermosphere) en base a meteoros especulares. El procesamiento de datos se realizó en varias etapas desde la detección de meteoros, la calibración de fases hasta la estimación de los vientos MLT zonales y meridionales. La implementación de estos algoritmos fue desarrollada usando el lenguaje de programación Python y la biblioteca Signal Chain, la cual es un proyecto open source desarrollada en el ROJ que engloba las rutinas de procesamiento de datos de los diferentes radares científicos. Al igual que todos los experimentos y estudios realizados en el ROJ los resultados finales se publican para servir de material de estudio a otros centros de investigación similares, en este caso las estimaciones de los vientos MLT se publicaron en una base de datos pública.

Palabras clave: JASMET, meteoros especulares, vientos, radar.

Abstract

The Jicamarca Radio Observatory (JRO), scientific facility of the Geophysical Institute of Peru (IGP), has as its main objective the study of the ionosphere mainly through the use of atmospheric radars. The present work focuses on the processing of the JASMET (Jicamarca All-Sky Specular Meteor) radar system to estimate MLT (Mesosphere Lower Thermosphere) winds based on detection of specular meteors. The data processing was performed in several stages: starting from the meteor detection, through the phase calibration, and ending in the estimation of zonal and meridional winds. The implementation of these algorithms was developed using the Signal Chain library, an Python open source project that encompasses the processing routines for the different scientific radars at JRO. Like all experiments and studies conducted at JRO, final results are openly published to the scientific community. In this case, estimates of the MLT winds were published in a public upper atmospheric science database.

Keywords: JASMET, specular meteor, winds, radar.

1. Introducción

La observación de meteoros usando técnicas de radares es un campo de estudio con mucho tiempo de existencia, por lo que existe una enorme cantidad de métodos e información disponibles para desempeñar exitosamente esta labor. Este desarrollo en combinación con el avance de la electrónica ha permitido obtener un conocimiento más profundo de los fenómenos que ocurren en la atmósfera, a partir de ello es posible desarrollar una amplia variedad de aplicaciones desde modelos climatológicos hasta técnicas en telecomunicaciones.

En este trabajo se desarrolla el procesamiento y recopilación de los datos adquiridos por el radar JASMET (Jicamarca All-Sky Specular Meteor) a lo largo de los últimos años. La información adquirida son los ecos producidos por los meteoros especulares que ingresan a la atmósfera, a partir de ellos es posible realizar una estimación de la velocidad de los vientos MLT. El tratamiento de esta información se desarrolla en tres etapas, la detección de meteoros, la calibración de fases y finalmente la estimación de los vientos; el resultado final es publicado en la base de datos Madrigal la cual es compartida por muchos observatorios en el mundo.

2. Desarrollo

2.1. Herramientas software usadas

2.1.1. IDE Eclipse

Se hizo uso de la herramienta IDE Eclipse, la cual es un proyecto de software libre multiplataforma, debido a que era necesario usar el software Subversion (SVN) para importar la biblioteca Signal Chain.

2.1.2. Python

Python es un lenguaje de programación de propósito general multiparadigma, en la actualidad es muy popular y cuenta con una gran comunidad de desarrolladores. La principal ventaja de este lenguaje es su sintaxis sencilla, esto reduce la curva de aprendizaje necesaria para poder hacer uso de este, debido a ello Python tiene múltiples aplicaciones en diversas áreas; entre ellas la de computación científica pues permite realizar complejos cálculos en unas pocas líneas de código.

Entre los diversos proyectos orientados al campo científico, el proyecto scipy es de los más populares y usados pues cuenta con un conjunto de librerías (numpy, scipy, matplotlib, etc.) que permiten realizar análisis de datos en poco tiempo.

2.1.3. Signal Chain

Signal Chain (SCh) es un proyecto del Radio Observatorio de Jicamarca que tiene como objetivo desarrollar bibliotecas open source para el procesamiento de señales de la información adquirida con radares científicos. El propósito final de estas bibliotecas es compartirlas con la comunidad científica que utiliza estos dispositivos, de esta manera fomentar la colaboración entre las diferentes instituciones involucradas en este campo de estudio.

Signal Chain es enteramente desarrollado en Python con un enfoque de procesamiento orientado a objetos, por lo que cálculos muy complejos pueden ser implementados usando bloques básicos de procesamiento.

2.2. Scripts de procesamiento

Los datos adquiridos por JASMET pasan por diferentes etapas de procesamiento antes de poder lograr la estimación de los vientos. A continuación, se detallan cada una de las etapas.

2.2.1. Detección de meteoros

En esta etapa se realiza una detección de ecos inicial con la totalidad de los datos adquiridos en un periodo de tiempo, como se muestra en la Figura 1.

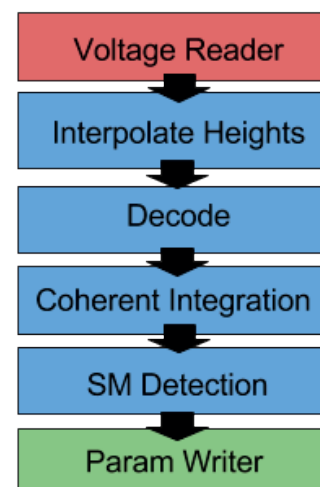


Figura 1: Diagrama de Bloques Detección de Meteoros

- Voltage Reader, lee los datos en bloques de 100 s.
- Interpolate Heights, realiza una interpolación de alturas para evitar la interferencia de otros radares que funcionan simultáneamente con JASMET.
- Decode, decodifica la señal.

- Coherente Integration, se integra para aumentar el SNR.
- SM Detection, se procede a la detección de ecos en bloques de 100 s.
- Param Writer, los ecos obtenidos se guardan en un archivo de formato HDF5 que luego será usado para la estimación de vientos y calibración de fases.

2.2.2. Calibración de fases

Con los ecos obtenidos, se debe de hallar los offsets de fase óptimos para cada canal y de esta forma calibrarlos, el proceso seguido se muestra en la Figura 2. Los resultados de los cálculos realizados se almacenan en un archivo con formato HDF5.

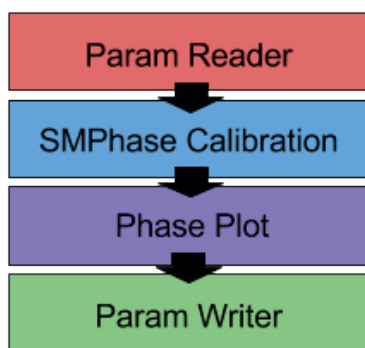


Figura 2. Diagrama de Bloques Calibración de Fases

- Param Reader, lee los ecos almacenados en los archivos HDF5.
- SM Phase Calibration, estimación de offsets de fases óptimas.
- Phase Plot, grafica los offsets calculados (Figura 3).
- Param Writer, almacena los offsets en archivos HDF5.

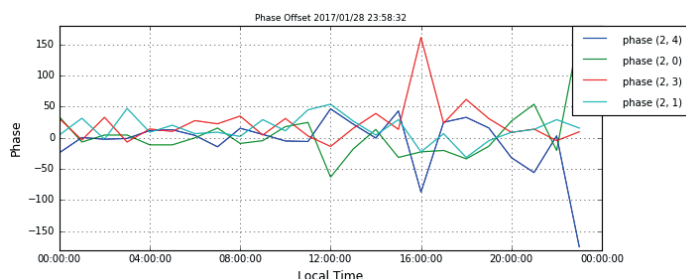


Figura 3: Offsets por canal

2.2.3. Estimación de vientos

Una vez obtenidos los ecos y realizada la calibración de fases se procede a estimar los vientos siguiendo los pasos mostrados en la Figura 4.

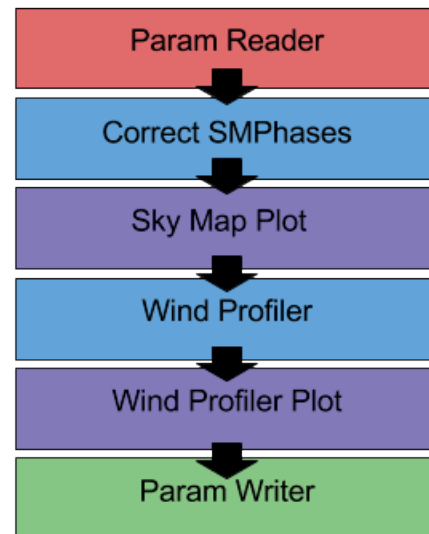


Figura 4. Diagrama de Bloques Estimación de Vientos

- Param Reader, lee los ecos almacenados en los archivos HDF5.
- Correct SM Phases, Se corrigen los offsets de cada canal.
- Sky Map Plot, se grafica los ecos de los meteoros detectados y sus coordenadas polares.
- Wind Profiler, estima los vientos horizontales a partir de los ecos de meteoros.
- Wind Profiler Plot, se grafica las estimaciones de los vientos calculados.
- Param Writer, se almacenan los vientos en archivos HDF5 para un posterior análisis.

2.3. Base de datos Madrigal

Madrigal es una base de datos de mediciones y experimentos en la alta atmósfera utilizada por grupos de todo el mundo. Madrigal es un robusto sistema basado en la World Wide Web capaz de administrar y servir datos archivados y en tiempo real, en una variedad de formatos, de una amplia gama de instrumentos para el estudio de la alta atmósfera.

Los datos en cada sitio de Madrigal son controlados localmente y se pueden actualizar en cualquier momento, pero la metadata compartida entre los sitios de Madrigal permite la búsqueda de todos los sitios de Madrigal a la vez desde cualquier sitio de Madrigal.

Los datos de los vientos obtenidos en la última etapa del procesamiento de datos de JASMET fueron publicados en Madrigal siguiendo un formato específico, por lo que fue necesario desarrollar un script que convirtiera los datos del formato HDF5 a un formato CEDAR (Figura 5).

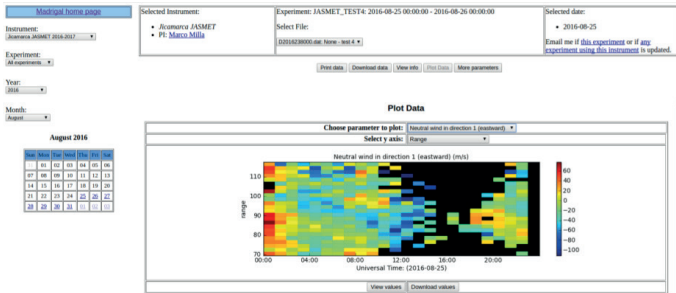


Figura 5. Interfaz web para la visualización de datos de los vientos MLT publicados en Madrigal

3. Errores obtenidos

Durante el procesamiento de los datos de JASMET se obtuvieron una serie de errores los cuales son importantes poder identificar y hallar su causa.

Un problema común es realizar una mala calibración de fases lo que nos podrá generar errores al calcular la posición de los meteoros, esto lo podemos ver en la Figura 6 donde la distribución de meteoros no es uniforme. Un gráfico correcto es como el que se muestra en la Figura 7.

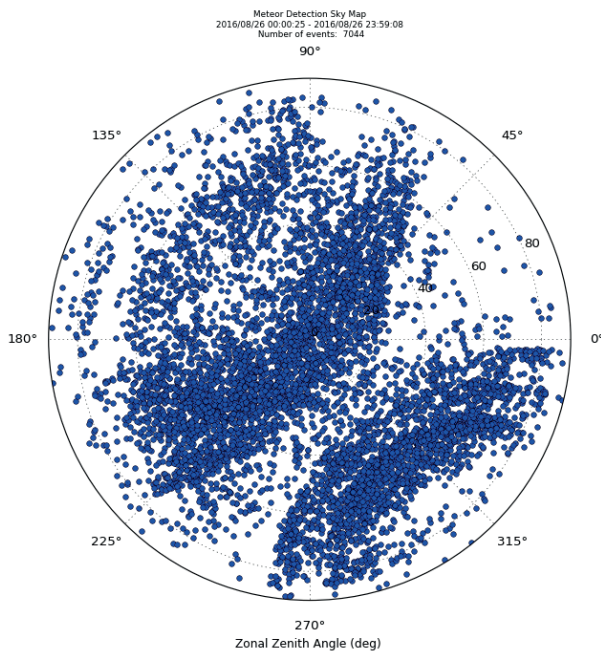


Figura 6. Distribución errónea de meteoros causado por un error en la calibración de fases

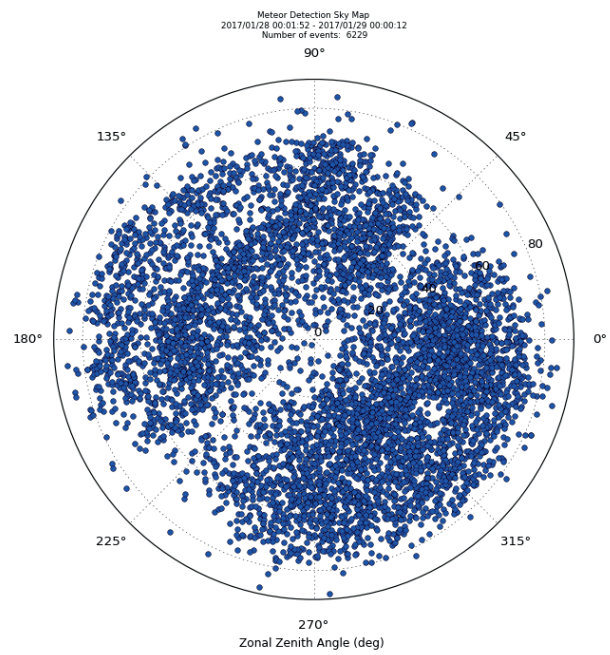


Figura 7. Distribución uniforme de los meteoros detectados

Otro posible error aparece al intentar hallar los offsets óptimos por canal, para esto se requiere que los offset se mantengan relativamente estables durante algún periodo de tiempo, la Figura 9 muestra offsets inestables donde será difícil encontrar un óptimo a diferencia de la Figura 10 si sería posible.

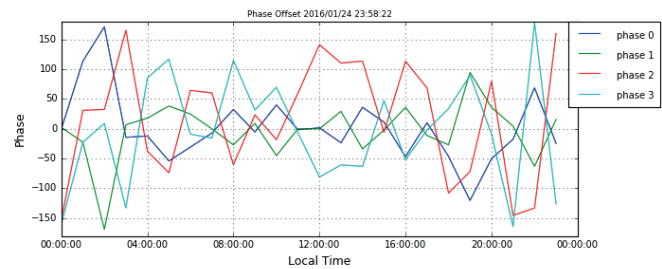


Figura 8. Offsets Inestables

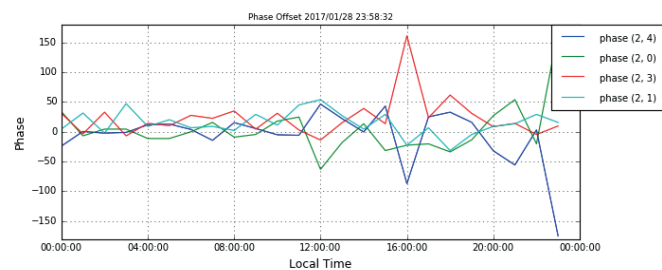


Figura 9. Offsets Estables

4. Resultados

Los resultados obtenidos del proyecto son los siguientes:

- Se realizó ajustes en los scripts de procesamiento.
- Se procesó los datos de las campañas de agosto y septiembre del año 2016.
- Se modificó los scripts que generan los plots de offsets, Vientos y Sky Map para obtener una mejor presentación de los resultados
- Se desarrolló un script para la conversión de los archivos HDF5 de estimación de vientos a un formato cedar compatible con la base de datos Madrigal.
- Se agregó las variables metadata faltantes del instrumento en Madrigal.
- Se realizó la publicación de los datos obtenidos en las campañas del 2016 en Madrigal
- Se procesó los datos obtenidos en la campaña de enero del 2017

5. Conclusiones

Los Scripts de procesamiento usados funcionan de manera óptima, sólo se requiere la configuración de algunos parámetros básicos (interpolación de alturas, posición de las antenas, offsets, etc.) para obtener mejores resultados dependiendo de la fecha en la que se realizó la campaña.

La publicación de los datos de estimaciones de vientos en madrigal se puede llevar a cabo en poco tiempo y de forma sencilla.

La parte del procesamiento que realiza la detección de meteoros toma mucho tiempo para completarse, pero una vez obtenido estos datos la estimación de vientos se puede realizar en pocos minutos debido a la gran diferencia en el tamaño de los datos sin procesar (raw data) y los datos procesados.

6. Recomendaciones

Se debe tener especial cuidado en no procesar dos veces los mismos datos, debido a que estos no se sobrescriben, sino que generan un archivo duplicado que genera errores al hacer la calibración de fases y la estimación de los vientos.

El cálculo de estimación de vientos depende en gran medida de una correcta calibración de fases.

El cálculo de offsets óptimos es solo posible si los offsets se mantienen relativamente estables durante algún periodo de tiempo en la campaña que se procesa.

7. Agradecimientos

Al Radio Observatorio de Jicamarca por permitirme participar en el programa “Experiencia en Investigación y Desarrollo Universitario”.

Al Dr. Danny Scipion, por ser mi asesor en este proyecto y tener siempre disposición para realizarle cualquier consulta.

A todo el personal del ROJ que siempre creaba un ambiente estimulante para trabajar.

8. Bibliografía

Holdsworth, D. A.; Tsutsumi, M.; Reid, I. M.; Nakamura, T.; and Tsuda, T. (2004): *Interferometric meteor radar phase calibration using meteor echoes*. *Radio Science*, Vol. 39, RS5012, doi:10.1029/2003RS003026

Holdsworth, D. A.; Reid, I. M.; and Cervera, M. A. (2004): *Buckland Park all-sky interferometric meteor radar*. *Radio Science*, Vol. 39, Issue 5. DOI: 10.1029/2003RS003014

Oscanoa, J., *Manual del Desarrollador*. http://jro-dev.igp.gob.pe:3000/projects/signal-chain/wiki/Manual_de_Desarrollador

Oscanoa, J., *Manual de Procesamiento de datos de JASMET*. Radio Observatorio de Jicamarca.

SISTEMA DE RADAR BASADO EN LA PLATAFORMA DE DESARROLLO RED PITAYA

RADAR SYSTEM BASED ON THE RED PITAYA DEVELOPMENT PLATFORM

Haris Chaudhry Mendivil

Pontificia Universidad Católica del Perú
Facultad de Ciencias
haris.chaudhrym@pucp.pe

Asesor: Ing. Cristiam Castillo

Radio Observatorio de Jicamarca - IGP

Resumen

En el presente trabajo se presenta la implementación de un prototipo de un sistema de adquisición correspondiente a un radar biestático pulsado en la tarjeta de desarrollo Red Pitaya. Además, se implementó parte de las cadenas de transmisión y/o recepción utilizando herramientas basadas en software-defined radio (SDR); particularmente se empleó GNU Radio. De forma adicional, se desarrollaron aplicaciones de procesamiento de datos y visualización de los resultados enfocados a lo obtenido con la tarjeta mencionada; en este caso, se realizó una gráfica rango-velocidad. Cabe resaltar que, en contraste con los sistemas de radar implementados puramente en HW, este tipo de sistema destaca por su bajo costo, mayor flexibilidad en cuanto a su funcionalidad y menor complejidad al evitar la interconexión de diferentes módulos de HW.

Palabras clave: Red Pitaya, SDR, GNU Radio, radar pulsado, radar biestático, gráfica rango-velocidad, Codificación Barker 13.

Abstract

This work presents the implementation of a prototype of a bistatic pulsed radar acquisition system based on the Red Pitaya development platform. Moreover, some components of the Tx and Rx were implemented using software-defined radio (SDR), particularly GNU Radio. In addition, we developed some data processing and graphical application focused on the data received by the Red Pitaya board; in that regard, a range-Doppler plot was done. It's important to mention that this type of system excels for having a lower cost, better flexibility in its functionality and being simpler in terms of interconnection complexity compared to radar systems purely implemented on HW.

Keywords: Red Pitaya, SDR, GNU Radio, pulsed radar, bistatic radar, range-Doppler plot, Barker 13 code.

1. Introducción

Radar biestático pulsado

En general, un radar es un dispositivo que emite y recibe ondas de RF con el objetivo de calcular ciertas variables de interés tales como distancia, velocidad, dirección, etc. a partir de la señal recibida. Esta señal recibida, también conocida como eco, proviene de la reflexión de la señal transmitida producida por algún objeto presente en el medio. Particularmente, un radar biestático es aquel que posee una antena para la transmisión y otra para la recepción. Por otro lado, un radar pulsado es aquel que envía periódicamente pulsos de RF con o sin modulación.

Red Pitaya STEM LAB Starter Kit 125-14

Es una tarjeta de desarrollo basado en el SoC Xilinx ZC7Z010, el cual consiste en un procesador ARM Cortex A9 y un FPGA. Posee dos entradas y dos salidas de RF con un ancho de banda hasta 50 MHz. También incluye dos ADCs correspondientes a las entradas, y dos DACs para las salidas; ambas de 14 bits y con una velocidad de 125 MSPS.

Software-defined radio (SDR)

Son sistemas de radio que implementan componentes de HW -tales como amplificadores, filtros, codificadores, entre otros- en equivalentes de SW que son usualmente ejecutados en una computadora personal. Estas aplicaciones de software operan sobre las muestras conseguidas a través de un ADC (Tx), en su defecto, generan muestras que posteriormente son ingresados a un DAC (Rx).

GNU Radio

Es un SW de código abierto que posee bloques de procesamiento útiles para realizar un SDR. Está provisto de una interfaz gráfica llamada GNU Radio Companion que evita la tarea de escribir código. De forma general, el procesamiento en GNU Radio consiste en flowgraphs, que son un conjunto de bloques conectados por los cuales fluyen datos; cada bloque realiza un streaming de muestras al subsiguiente.

Interfaz Red Pitaya - GNU Radio

Se utilizó el proyecto "SDR Transceiver" desarrollado por Pavel Demin, el cual está publicado en el siguiente enlace: <http://pavel-demin.github.io/red-pitaya-notes/sdr-transceiver>. En el proyecto mencionado, se implementaron los moduladores/demoduladores I/Q y los filtros CIC-FIR en el FPGA de la Red Pitaya; la conexión del ADC/DAC con los moduladores/

demoduladores I/Q y la interfaz con el procesador de la computadora, la cual ejecuta la aplicación SDR (Figura 1).

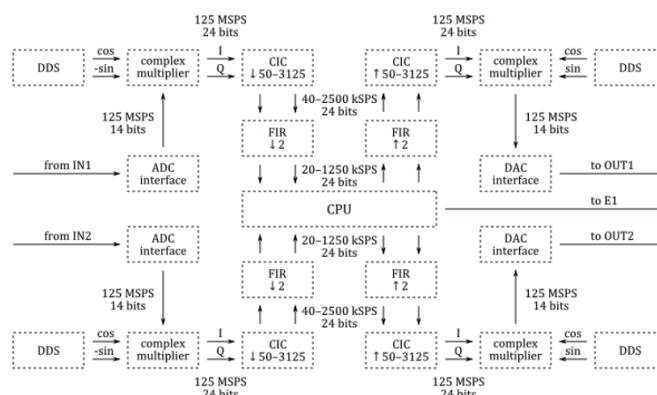


Figura 1: Diagrama general del proyecto SDR Transceiver

Fuente: <http://pavel-demin.github.io/red-pitaya-notes/img/sdr-transceiver.png>

2. Desarrollo

2.1. Esquema general

A continuación, se muestra un diagrama de bloques genérico que presenta los componentes utilizados o desarrollados en el presente trabajo (Figura 2).

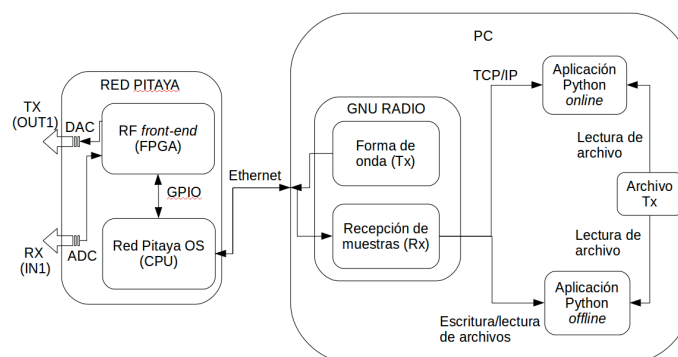


Figura 2: Diagrama de bloques genérico

2.2. Transmisión (Tx)

2.2.1. Generación de muestras de Tx

Las muestras de Tx a enviar corresponden a un código Barker 13 pulsado que se repite de acuerdo a un IPP. Ello fue generado con un script en bash que recibe el número de muestras por símbolo ($nSxs$) y el número de muestras que se mantiene apagada la señal ($nSoff$). Con los anteriores parámetros y la tasa de muestreo (f_s) se puede fijar un τ y un IPP:

$$t_s = \frac{1}{f_s} \quad \tau = (nSxs)t_s$$

$$IPP = (nSoff + 13nSxs)t_s$$

2.2.2. Flowgraph de Tx en GNU Radio Companion

Se armó el siguiente *flowgraph* en GNU Radio Companion (Figura 3) en el cual se utiliza como fuente un archivo de texto con valores en ascii que luego son pasados de tipo char a tipo float y finalmente, es restado con la cantidad correspondiente (de acuerdo al valor ascii de los caracteres utilizados) para obtener valores de +1 y -1.

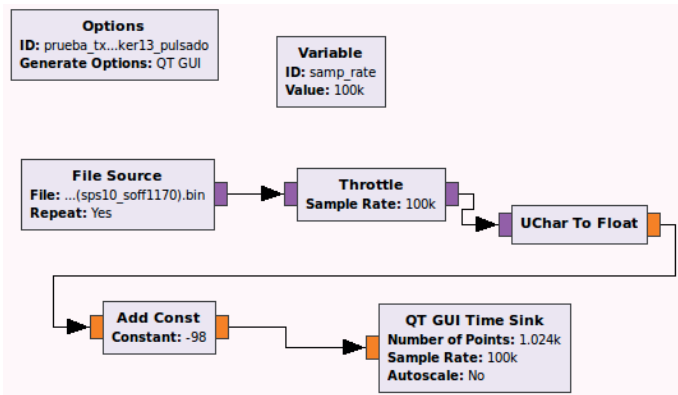


Figura 3: Flowgraph de prueba para Tx con $nSxs=10$, $nSoff = 1170$ y $fs = 100KSPS$

2.3. Recepción (Rx)

Con dichos bloques se pretende realizar un streaming de las muestras I/Q a través del bloque 'TCP Sink' a una aplicación Python que los procesaría en tiempo real (online). Además, se desea escribir las muestras I/Q en un archivo binario, para que posteriormente se pueda realizar un procesamiento offline, también a través de una aplicación Python. Procesamiento (gráfica rango-velocidad).

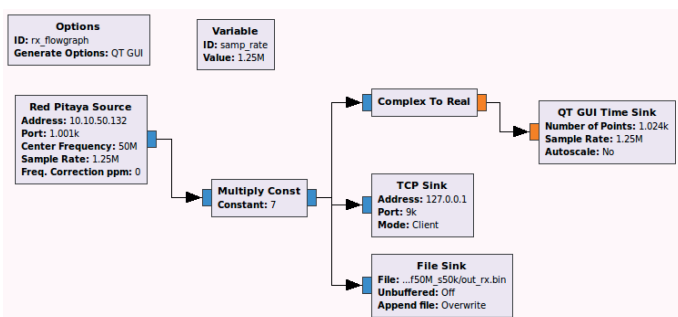


Figura 4: Parte Rx del flowgraph con $f_o = 50MHz$ y $fs = 1.25 MSPS$

2.3.3. Procesamiento offline

Para este caso, se acumulan las muestras I/Q recibidas en un archivo binario, el cual es posteriormente leído por la aplicación Python, que implementa la siguiente lógica (Figura 5):

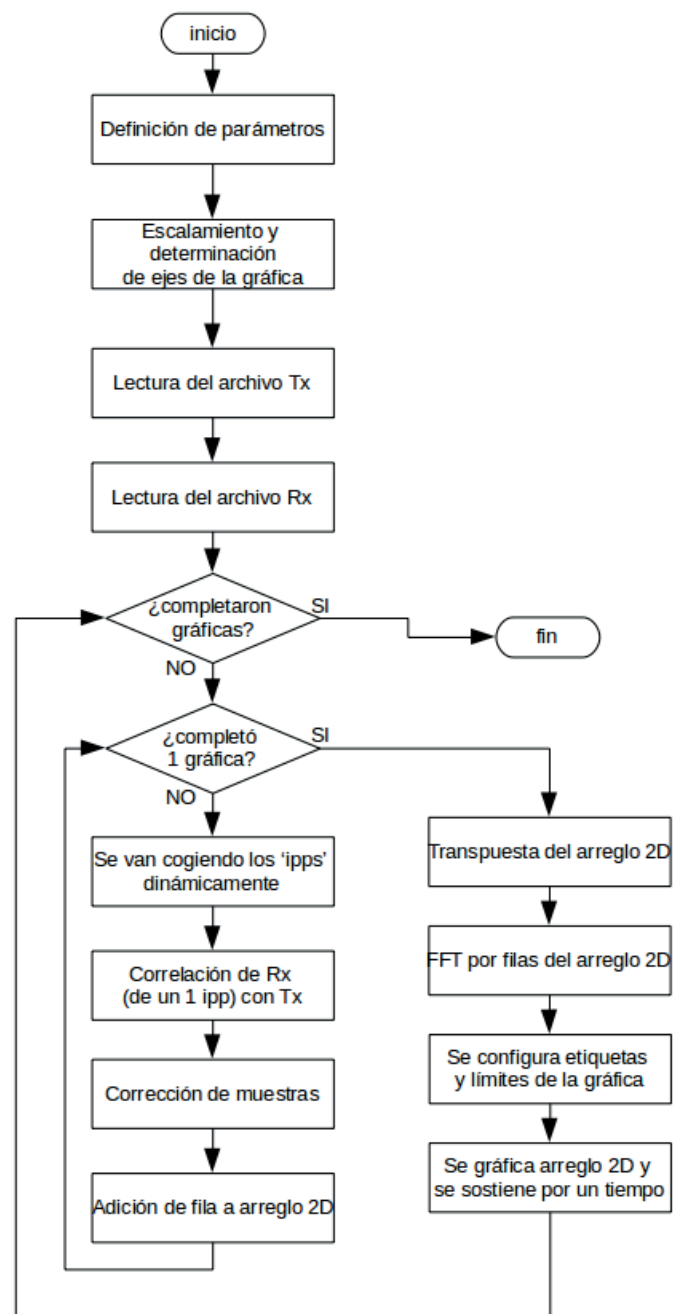


Figura 5: Diagrama de flujo de la aplicación Python offline

2.3.4. Procesamiento online

Para este caso, se reciben las muestras I/Q en tiempo real, y se van graficando conforme se dispongan las muestras necesarias (Figura 6).

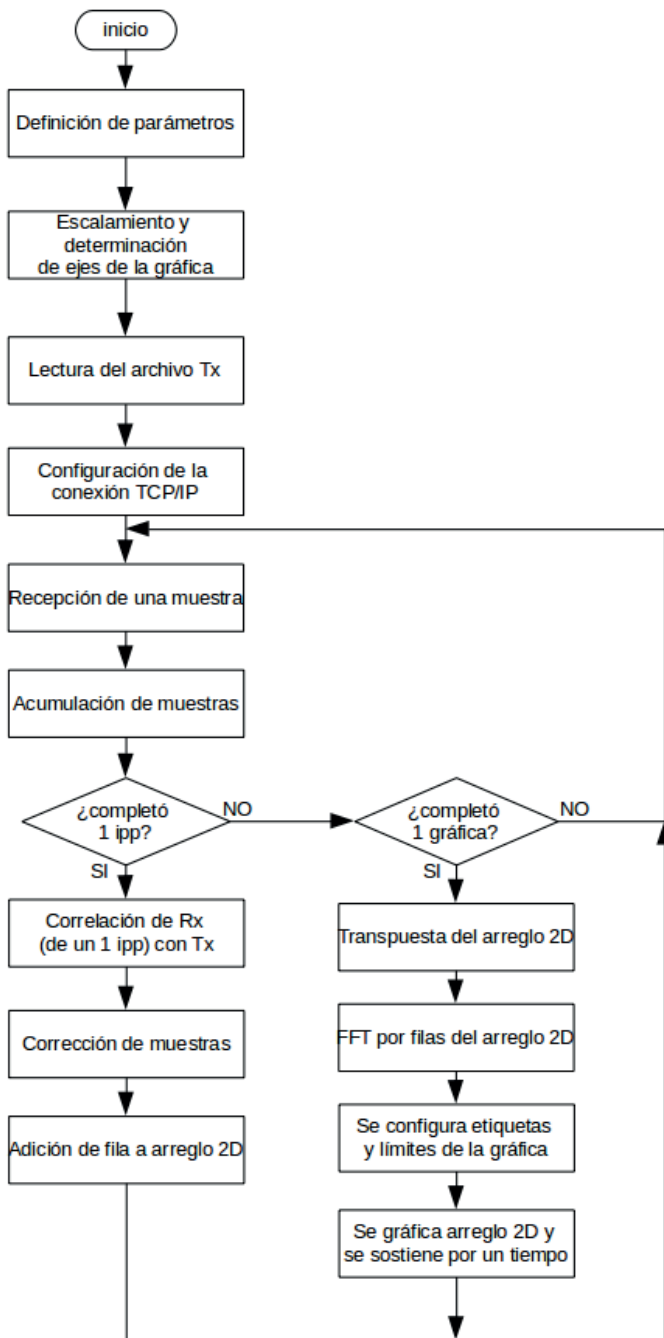


Figura 6: Diagrama de flujo de la aplicación Python online

3. Resultados

3.1. Prueba de Tx (con código Barker 13 pulsado)

Se obtuvieron los resultados mostrados en la Figura 8 en el osciloscopio al probar una señal Tx con los siguientes parámetros: $f_s = 1.25$ MSPS, $nSxs = 10$, $nSoff = 1170$, $f_o = 50$ MHz.

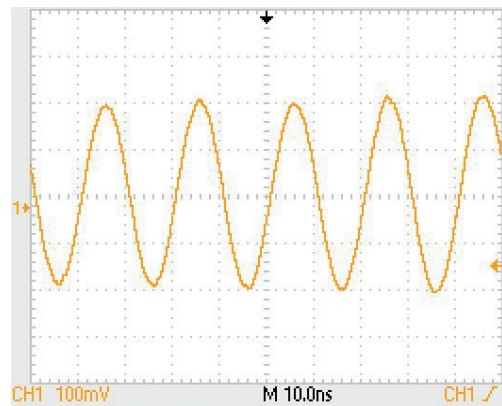


Figura 7: Frecuencia de la RF de aproximadamente 50 MHz

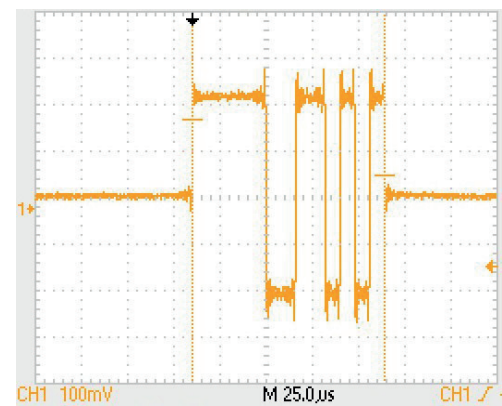


Figura 8: Forma de onda de la envolvente con un τ de aproximadamente 8 μ s

3.2. Pruebas con las aplicaciones en Python

Se procedió a probar las aplicaciones hechas en Python con datos recibidos a través de un cable SMA, realimentado la salida (terminal OUT1 de la Red Pitaya) a la entrada (terminal IN1), conocida también como prueba *copperball*

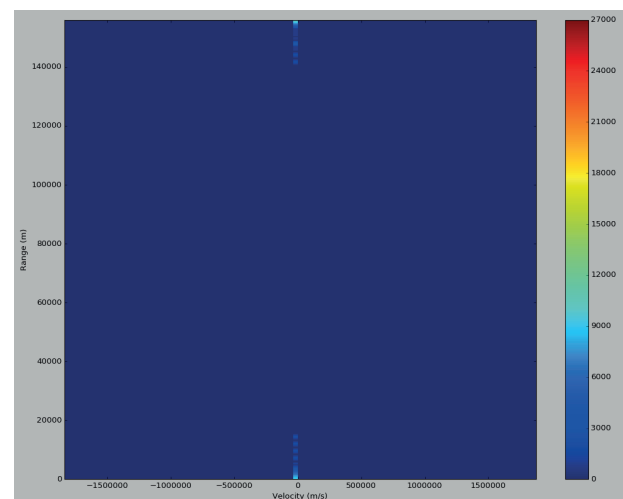


Figura 9: Prueba de la aplicación offline ($nIppxplt = 100$, $nSxs=10$, $nSoff = 1170$, $F_s = 1.25$ MSPS y $F_o = 50$ MHz)

La Figura 9 no muestra ningún objetivo a lo largo de las distancias (con excepción de los extremos de la gráfica), lo cual comprueba que funciona correctamente el algoritmo de corrección.

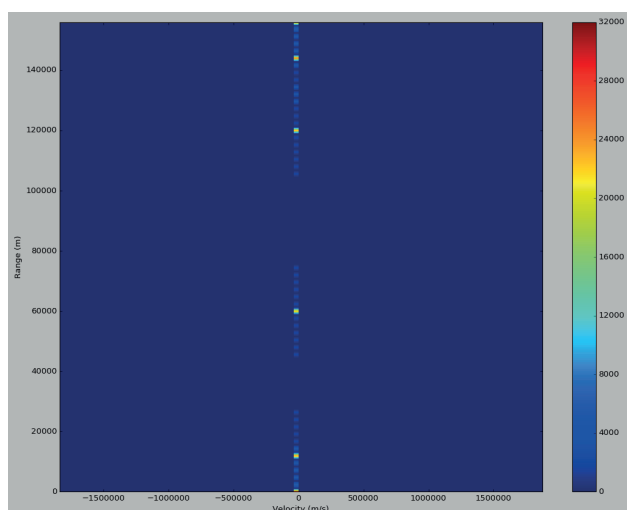


Figura 10: Prueba de la aplicación online simulando varios objetivos en GNU Radio Companion ($nIppxplt = 100$, $nSxs = 10$, $nSoff = 1170$, $f_s = 1.25$ MSPS y $f_o = 50$ MHz)

En la Figura 10 se verificaron las distancias de los objetos con la cantidad de retardo (lo cual corresponde a una distancia determinada) que se ingresó para la simulación.

Discusión

- En caso de una señal codificada, mientras mayor sea la tasa de muestreo y el número de muestras por código se observa una mejor forma de onda en el osciloscopio.
- Cada objetivo en un determinado rango, introduce ciertas componentes en los rangos adyacentes, debido a los sidelobes de la función de autocorrelación del código Barker 13.
- En la aplicación online, se verificó que se observa mayor ruido/desincronización al aumentar la carga de procesamiento en GNU Radio Companion, por ejemplo, aumentar la tasa de muestreo, incluir bloques gráficos, transmitir por más de un puerto de la Red Pitaya, etc.
- Visualmente se observa menor ruido/desincronización en la aplicación offline comparada a la versión online al probar con muestras provenientes de la realimentación de Tx en Rx.

5. Conclusiones

Es posible generar cualquier forma de onda de transmisión utilizando herramientas de SDR, particularmente, se logró generar la señal codificada con Barker 13.

El retardo introducido por el protocolo de comunicación entre la PC y la Red Pitaya puede ser corregido por la aplicación de procesamiento; por lo tanto, sí se pueden calcular rangos.

Las aplicaciones de procesamiento muestran correctamente los valores de rango correspondientes a la señal de prueba; con excepción de ciertos fotogramas.

6. Recomendaciones

6.1. Sobre los parámetros del radar

El valor de τ debe ser pequeño para tener una buena resolución en distancias, pero no muy pequeño debido a que incrementa el ancho de banda, lo cual reduce el SNR.

- El valor de IPP debe ser grande para tener mayor distancia sin mediciones ambiguas.

6.2. Sobre el uso de la Red Pitaya

- Abrir la aplicación SDR Tranceiver en 'baazar' (tienda de aplicaciones) antes de ejecutar un archivo .grc que utiliza bloques dedicados a la Red Pitaya.
- Asignarle una IP estática modificando el archivo eth0 que se encuentra en la carpeta etc/network o usando el app 'Network Manager' de baazar.
- Para acceder al SO de la Red Pitaya, se sugiere conectarse por SSH.

6.3. Sobre el uso de GNU Radio Companion

- Al configurar los bloques Red Pitaya Source y Red Pitaya Sink, ingresar los valores permitidos de la frecuencia de muestreo y la frecuencia de la RF, indicados en el siguiente enlace: <http://pavel-demin.github.io/red-pitaya-notes/sdr-transceiver>.
- En Tx, para fijar una tasa de muestreo en la lectura del archivo, usar un bloque 'throttle'.
- Se sugiere utilizar la máxima tasa de muestreo permitido (1.25 MSPS) y el mayor número de muestras por código para obtener una mejor señal de Tx. Sin embargo, se debe tener en cuenta el valor de τ deseado, y la carga en procesamiento de la PC -que puede empeorar la parte de Rx y procesamiento-.

6.4. Sobre el uso de GNU Radio Companion

- Los parámetros tales como el número de muestras por código, número de muestras en alta/baja, tasa de muestreo, frecuencia de la RF, etc. deben coincidir tanto en lo generado con el script, lo configurado en GNU Radio Companion y las variables declaradas en la aplicación Python.
- Para la lectura de valores complejos escritos por GNU Radio Companion, se recomienda utilizar el método 'numpy.fromfile', y colocar 'numpy.complex64' como tipo de dato.
- Para ir agregando filas a un arreglo bidimensional (append), primero se debe declarar un arreglo vacío, y se debe indicar el número de columnas en este caso. Para ello usar 'numpy.empty'.
- Para realizar la correlación de dos arreglos utilizar el modo full del método 'numpy.correlate'.
- Para realizar la calibración, usar 'numpy.roll' hacia la izquierda (con un número negativo).
- Para realizar el plot se recomienda usar 'matplotlib.pyplot.pcolormesh'
- Para centrar la gráfica en 0, en el eje de las frecuencias (corresponden a velocidades), se debe usar 'numpy.fft.fftshift' tanto en el arreglo producto de la FFT como también en las componentes de frecuencia obtenidas mediante 'numpy.fft.fftfreq'
- Es preferible usar TCP/IP sobre UDP, debido a que se percató que se perdían muestras con este último protocolo.

Pavel Demin. GitHub: Red Pitaya Notes. URL:<https://github.com/pavel-demin/red-pitaya-notes>.

Pavel Demin. Red Pitaya Notes. SDR Tranceiver. URL:<http://pavel-demin.github.io/red-pitaya-notes/sdr-transceiver/>.

Red Pitaya Documentation. URL: <http://redpitaya.readthedocs.io/en/latest/doc/developerGuide/hardware.html>.

Don Koks (2014): How to Create and Manipulate Radar Range-Doppler Plots. DSTO Defence Science and Technology Organisation.

Dr. Robert M. O'Donnell. Radar Systems Engineering. Lecture 11: Waveforms and Pulse Compression. IEEE New Hampshire Section. URL: http://aess.cs.unh.edu/Radar%202010%20PDFs/Radar%202009%20A_11%20Waveforms%20and%20Pulse%20Compression.pdf

GNU Radio Redmine. GNU Radio Wiki. URL: <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/WhatsGR>.

Joshua Semeter. Basic Radar Signal Processing. Boston University. URL: https://eiscat3d.se/drupal/sites/default/files/IISRWS2011/08-Semeter_Radar_Signal_Processing.pdf.

Andriyan Bayu Suksmono (2013): A Simple Solution To The Uncertain Delay Problem in USRP Based SDR-Radar Systems. School of Electrical Engineering e Informatics, Institut Teknologi Bandung.

Red Pitaya Documentation Wiki. Hardware Overview. URL: http://wiki.redpitaya.com/index.php?title=Hardware_Overview.

7. Agradecimientos




Al Radio Observatorio de Jicamarca por brindarme todo lo necesario para desarrollar el proyecto.

A Cristiam Castillo, por asesorarme a lo largo del desarrollo del proyecto.

A los miembros de I&DI por ayudarme a entender ciertos conceptos relacionados al trabajo en cuestión.

8. Bibliografía

Cristiam Castillo (2016): Diseño de Módulos de Generación, Conversión de Frecuencia, Amplificación y Sincronización para un Radar Perfilador de Vientos que opera a 445 MHz. Pontificia Universidad Católica del Perú.

 <http://www.facebook.com/igp.peru>
 http://twitter.com/igp_peru
 https://www.youtube.com/c/igp_videos

