

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.

Sistema de monitoreo de la opacidad atmosférica para el Gran Telescopio Milimétrico

por

Dr. Daniel Ferrusca R.

Ing. Jesús Contreras R.

REPORTE TÉCNICO

GRAN TELESCOPIO MILIMÉTRICO

GTM-LMT

Sta. María Tonantzintla, Pue.

Diciembre, 2014

©INAOE 2014

Derechos Reservados

El autor otorga al INAOE el permiso de reproducir y distribuir copias de este reporte técnico en su totalidad o en partes mencionando la fuente.



ÍNDICE GENERAL

1. PRESENTACIÓN	
2. GENERALIDADES	
3. SISTEMA DE MONITOREO DE LA OPACIDAD ATMOSFÉRICA	5
3.1. Radiómetro RPG-225-TP	6
3.1.1. Sensores meteorológicos y GPS	8
3.1.2. Ventilador y calefactor	9
3.1.3. Computadoras	
3.1.4. Conexiones de comunicaciones	11
3.1.5. Conexiones de energía eléctrica	12
3.2. Ubicación del radiómetro RPG-225-TP	
3.3. Programa informático cliente para la administración y operación del radiómetr TP	o RPG-225- 15
3.3.1. Datos producidos por el radiómetro	
3.4. Programa informático para la publicación en Internet de los datos de opacidad a	atmosférica 19
4. PROCESOS DE CALIBRACIÓN PARA EL RADIOMETRO RPG-225-TP	
4.1. Calibraciones absolutas con LN2	
4.2. Calibraciones tipo Sky tipping	
4.3. Calibraciones tipo Gain	24
4.4. Consulta de las calibraciones	24
5. DEFINICIÓN DEL PROCESO DE CAPTURA DE DATOS PARA EL RADIOMETRO RPG-225-T	Ρ27
5.1. Comunicaciones	27
5.2. Programación	
5.3. Puesta en marcha	
5.4. Estructura de directorios usada por la rutina de captura	
5.5. Influencia de las calibraciones en la rutina de captura	
6. ELABORACIÓN DE LOS REPORTES DE OPACIDAD ATMOSFÉRICA EN EL SITIO GTM	
6.1. Validación, reducción y análisis de datos	39
6.2. Descripción del contenido de los reportes meteorológicos	
6.2.1. Tablas con estadísticas y porcentajes	
6.2.2. Gráficas de línea	

6.2.3. Histogramas	42
6.2.4. Gráficas de estadística	43
7. ALGUNOS RESULTADOS OBTENIDOS	44
8. CONCLUSIONES	47
9. APENDICE A: Notas de calibración	48
10. APENDICE B: Mantenimiento	49
11. REFERENCIAS	50

1.PRESENTACIÓN

El propósito de este documento es proporcionar información técnica sobre el sistema de monitoreo de la opacidad atmosférica instalado en el sitio del GTM. Se incluyen descripciones de sus componentes, instalaciones y su operación. También se mencionan aspectos relacionados al conjunto de programas informáticos utilizados para implementar los procesos de adquisición, procesamiento, almacenamiento y publicación de los valores de opacidad atmosférica que ocurren en el sitio. Finalmente se describen los procesos de organización, clasificación y reducción de los datos de opacidad atmosférica; la elaboración de reportes y se presentan algunos resultados obtenidos.

2.GENERALIDADES

La atmósfera terrestre es un medio que permite la propagación de las ondas de radio y de luz en algunas bandas, en otras, la atmósfera se comporta como un elemento opaco y no permite su propagación. Los componentes que forman la atmósfera (nitrógeno, oxigeno, agua, etc.) son los que determinan el efecto de propagación, el cual es denotado como opacidad atmosférica. Cuando una onda se propaga en la atmósfera, la potencia de la onda decrece con la distancia recorrida por tal efecto. Entre menor sea el valor de opacidad, mayor distancia podrá recorrer una onda. Es por ello que los sistemas de transmisión deben escoger aquellas bandas de frecuencia que menor valor de opacidad presenten. Este principio también es aplicable a los radiotelescopios. Las señales que provienen del espacio exterior son afectadas por el mismo fenómeno.

Uno de los grandes retos que enfrentan los telescopios milimétricos y sub-milimétricos es la variabilidad de la opacidad de la atmosfera terrestre en la mayor parte de la región espectral. La absorción es debida, primordialmente, a la presencia de vapor de agua y oxigeno en la atmosfera terrestre. El vapor de agua causa fluctuaciones de fase las cuales son un factor limitante para las observaciones de alta resolución angular. En las longitudes de onda milimétrica y sub-milimétrica el vapor de agua es el principal contribuyente de la opacidad atmosférica y puede hacer que las regiones del espectro electromagnético sean completamente inaccesibles en observaciones al nivel del suelo (p.ej. en las frecuencias de los ~550 GHz y 750 GHz). Sin embargo, hay algunas regiones de alta transparencia situadas entre las longitudes de onda de los 350 µm y 1 mm, las cuales hacen posible hacer observaciones astronómicas. En longitudes de onda mayores a 1 mm, la atmosfera terrestre es bastante transparente si se está ubicado en sitios altos y secos, exceptuando las líneas de absorción fuertes en la frecuencia de los ~183 GHz debido a las moléculas de oxigeno.

En la imagen 1 se muestra un modelo para la transmisión en el sitio del GTM, para diferentes cantidades de vapor de agua precipitable (PWV - precipitable water vapor).



IMAGEN 1 - SIMULACIÓN DE LA TRANSMISIÓN ATMOSFÉRICA PARA EL SITIO GTM A DIFERENTES VALORES DE PWV

El proyecto del Gran Telescopio Milimétrico cuenta con un sistema que permite monitorear la opacidad atmosférica en el sitio donde se ubica el telescopio. El sistema cuenta con un instrumento conocido como radiómetro, el cual se encarga de calcular el valor de la opacidad atmosférica.

El sistema entró en funciones oficialmente en junio de 2013. Las instalaciones para el sistema cuentan con la infraestructura necesaria para desempeñar de manera óptima sus funciones, además de que cumplen con las medidas de seguridad requeridas para la protección de la integridad del radiómetro. En las siguientes secciones se describirán los detalles de este sistema.

3.SISTEMA DE MONITOREO DE LA OPACIDAD ATMOSFÉRICA

Desde los comienzos del proyecto del GTM, el equipo humano encargado de la búsqueda y selección del sitio donde se desarrollaría la construcción del radiotelescopio ya hacía uso de un conjunto de radiómetros especialmente diseñados y desarrollados para medir la opacidad atmosférica a 215 GHz. Una vez elegido el sitio correcto (Volcán Sierra Negra) estos radiómetros continuaron haciendo mediciones con el fin de caracterizar con más exactitud el comportamiento de la opacidad atmosférica (imagen 2). Sin embargo debido a las malas condiciones meteorológicas que se presentan en el sitio, los radiómetros sufrieron daños graves irreparables en sus diversos componentes lo que provocó la detención de su operación y retirada del sitio.





Ante la circunstancia de no contar con la instrumentación para medir tan importante parámetro, en el año 2010 fue adquirido a la empresa alemana *Radiometer Physics GmbH* (RPG) [1] un radiómetro modelo RPG-225-TP (imagen 3). Una de sus características principales es realizar el monitoreo de la opacidad atmosférica en la frecuencia de los 225 GHz, que es una frecuencia que se encuentra dentro de la banda de operación del GTM. Adicionalmente provee todas las capacidades de monitoreo atmosférico, adquisición de datos en tiempo real y proporciona un resultado en términos de opacidad (Tau), que es un parámetro requerido por el equipo científico del GTM durante la etapa de observaciones astronómicas.



IMAGEN 3 - RADIÓMETRO RPG-225-TP EN EL SITIO DEL GTM

El sistema de monitoreo de la opacidad atmosférica es un producto comercial hecho a medida que cumple con las especificaciones de diseño y funcionamiento establecidos por el equipo científico del GTM. El sistema (imagen 4) está compuesto por un radiómetro, un sistema de transmisión de datos vía fibra óptica, una computadora de control, un programa informático para la administración y operación del radiómetro, y un programa informático que permite la publicación de los datos de opacidad atmosférica en internet. En las siguientes secciones se detallarán las características más importantes de cada uno de los componentes del sistema.



IMAGEN 4 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES PARA EL SISTEMA DE MONITOREO DE LA OPACIDAD ATMOSFÉRICA

3.1. RADIÓMETRO RPG-225-TP

El radiómetro RPG-225-TP es un instrumento diseñado para la estimación de la opacidad atmosférica (Tau) y puede ser usado para aplicaciones de radioastronomía en la banda de

observación de los 225 GHz [2]. El instrumento es un sistema autónomo con capacidad para soportar climas extremos como los que ocurren en el sitio del GTM. Además incluye un amplio conjunto de sensores meteorológicos que proporcionan la información necesaria para determinar con precisión el valor de la opacidad atmosférica. Las características técnicas más importantes del radiómetro RPG-225-TP se muestran en la tabla 1. [3]

PARÁMETRO	ESPECIFICACIONES		
Resolución temporal	1 segundo mínimo		
Resolución espacial	0.5° HPBW (ancho de haz de media potencia) máximo, nivel medio del lóbulo lateral < -30 dBc		
Tecnología del receptor	Detección heterodina, filtrado de doble banda lateral a 225 GHz		
Ancho de banda RF	6 GHz		
Temperatura de ruido del sistema a 225 GHz	< 1300 K típicamente		
Dato de salida	Temperatura de brillo calibrada, atenuación, opacidad atmosférica (Tau)		
Rango de temperatura de brillo	0 - 500 К		
Estabilización termal del receptor	Receptores y la óptica son termalmente estabilizados a < 30 mK sobre un rango de temperatura en operación completa.		
Elevación del scanner	+/- 90° (horizontal al zenit con espejo primario interno)		
Calibraciones	Calibración absoluta por precisión con objetivo interno de cuerpo negro. Calibración externa con cuerpo negro enfriado con nitrógeno líquido Calibración de ganancia automático con objetivo interno a temperatura ambiente		
Sensores meteorológicos	Presión atmosférica (interno) Humedad relativa (interno) Temperatura ambiente (interno) Detector de lluvia (externo)		
Dispositivos para el	Ventilador de 140 W para uso pesado		
acondicionamiento ambiental	Calefactor de 1800 W		
Control del instrumento (interno)	Computadora interna con 1 GB de capacidad de almacenamiento.		
Control del instrumento (externo)	Computadora industrial, 4 RS-232, 2 USB, 2 LAN		
Interface de comunicaciones	RS-232 (115 kBaudios) vía fibra óptica		
Posicionamiento	GPS con rastreo por satélite y reloj para posicionamiento y sincronización temporal.		
Protección	Carcasa de aluminio recubierto y anodizado.		
Energía	90-240 VAC, 50-60 Hz		
Condiciones climáticas de operación	-40 °C a +45 °C, 0 a 100 %RH, operación asegurada hasta alturas de 5000 metros.		
Peso	60 a 69 kg		
TARIA 1 CADACTE	DU O UJ NE		

La instalación fue hecha siguiendo las instrucciones del fabricante [4] y la imagen 5 muestra un resumen de los principales componentes del radiómetro, así como también las conexiones requeridas para proporcionar energía eléctrica al instrumento y para el establecimiento de comunicaciones con la computadora cliente. En las siguientes secciones se describirán estos componentes.



IMAGEN 5 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DEL RADIÓMETRO RPG-225-TP, CONEXIONES DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y DE COMUNICACIONES

3.1.1.SENSORES METEOROLÓGICOS Y **GPS**

Aparte de la instrumentación dedicada a calcular la opacidad atmosférica, el radiómetro está equipado con los siguientes sensores:

- Conjunto integrado con sensor de temperatura ambiente con precisión de +/- 0.5 °C y sensor de humedad relativa con precisión de +/- 5 %RH, usados para estimar la temperatura media atmosférica (T_{mr}) necesaria para el proceso de calibración tipo Sky Tipping (imagen 6)
- 2. Sensor de presión atmosférica con precisión de +/- 1 mbar, usado para estimar la temperatura media atmosférica (T_{mr}) necesaria para el proceso de calibración tipo Sky Tipping y para la determinación de la temperatura de ebullición del nitrógeno liquido usado en el proceso de calibración absoluta.
- Sensor de detección de lluvia que genera una señal de aviso (flag) cuando detecta precipitación pluvial en su superficie detectora y es usado para la operación del ventilador (imagen 7)

4. Receptor GPS que recibe el tiempo universal coordinado (UTC) y obtiene las coordenadas geográficas donde se ubica el instrumento (imagen 7)



IMAGEN 6 - SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA EL RADIÓMETRO RPG-225-TP



IMAGEN 7 - DETECTOR DE LLUVIA Y GPS PARA EL RADIÓMETRO RPG-225-TP

3.1.2.VENTILADOR Y CALEFACTOR

Cuando se presentan condiciones de alta humedad (p. ej. niebla o nieve), el radiómetro hace uso de un ventilador y un calefactor para prevenir la formación de agua líquida sobre la ventana del espejo receptor primario. No siempre se hace uso del calefactor ya que el ventilador por si solo puede realizar el trabajo de prevención; pero si la humedad en el aire es del 100 %RH entonces el calefactor es usado hasta que la humedad descienda. La tabla 2 muestra algunas características importantes.



TABLA 2 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL VENTILADOR Y CALEFACTOR PARA EL RADIÓMETRO RPG-225-TP

3.1.3.COMPUTADORAS

El radiómetro emplea un par de computadoras para operar y controlar las diversas funciones que el instrumento ofrece. La primera computadora está ubicada en el interior de la carcasa del radiómetro y tiene instalado un conjunto de programas informáticos que se encargan de controlar los procesos de calibración del instrumento y de la adquisición y almacenamiento de datos. Las características técnicas de la computadora son básicas, esto con el fin de hacer que el espacio físico que ocupa sea mínimo (tabla 3).

COMPUTADORA INTERNA

- 250 MB RAM
- 1 GB de almacenamiento (memoria flash)
- Sistema operativo MS-DOS
- Puerto serial (RS-232)
- Temperatura de operación: -30°C a 60°C

```
TABLA 3 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA COMPUTADORA INTERNA DEL RADIÓMETRO RPG-225-TP
```

La segunda computadora, externa, cuenta con características más avanzadas y es usada como computadora cliente. Esta computadora se conecta a la computadora interna del radiómetro a través de una conexión vía puerto serial para intercambiar información. La computadora externa tiene instalado un programa informático, diseñado por el fabricante del radiómetro, y ofrece una amplia gama de opciones para administrar y controlar el radiómetro. Además cuenta con todas las funciones necesarias para el proceso de reducción, conversión de binario a ASCII y de la

organización de los datos adquiridos. En la tabla 4 se describen sus principales características técnicas.



3.1.4. CONEXIONES DE COMUNICACIONES

El intercambio de información entre el radiómetro y la computadora cliente se realiza mediante una comunicación serial (RS-232). Para garantizar una comunicación segura y estable, el radiómetro convierte las señales eléctricas a señales ópticas y las envía a través de un cable con 6 fibras ópticas. Las señales ópticas son recibidas por un dispositivo que realiza la operación inversa (de óptico a eléctrico) y las entrega al programa informático cliente. Esta técnica es excelente para evitar la inducción de descargas eléctricas en los cables de comunicación y que pudieran dañar a los dispositivos involucrados (imagen 8).



IMAGEN 8 - CONVERTIDOR DE FIBRA ÓPTICA A RS-232 Y CABLE DE 6 FIBRAS ÓPTICAS

3.1.5. CONEXIONES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El radiómetro RPG-225-TP hace uso de un voltaje 110 VAC para alimentar de energía a la instrumentación, sensores y computadoras; y de un voltaje de 220 VAC para dar energía al sistema de calefacción. Estas dos líneas de energía son empalmadas en un único cable de uso rudo para después ser divididas utilizando un dispositivo especialmente diseñado para tal propósito (imagen 9). Además el divisor cuenta con un sistema de protección contra descargas eléctricas, transitorios y variaciones de voltajes basado en fusibles para brindar protección a los elementos del radiómetro.



IMAGEN 9 - DIVISOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA EL RADIÓMETRO RPG-225-TP

Las líneas de energía se encuentran conectadas a un par de *web power switches* (WPS). Estos equipos son multi-contactos eléctricos que permiten alimentar de energía a varios dispositivos eléctricos y electrónicos con solo usar una sola toma de energía eléctrica. Su principal característica es de permitir al usuario controlar cada uno de los contactos a través de una página de internet alojada en el servidor web empotrado en el mismo dispositivo (imagen 10). Mediante este control es posible prender, apagar o reiniciar de manera segura el radiómetro.

← → C ③ lpc.digital-loggers.com/inde	chtm		ជ	2
	Controller: Web Power	Switch	n IV	1
DIGITAL Power DLI LOGGERS, INC. Controller	Uptime: 0:22:57:05			
	Individual Control			
Outlet Control	# Name	State	Action	
Setup	1 Cisco Switch	OFF	Switch ON	
Scripting	2 POE for VoIP Phones	OFF	Switch ON	
AutoPing	3 WISP WiFi Radio	OFF	Switch ON	
System Log	4 Web Server	OFF	Switch ON	
Logout	5 Backup Web Server	OFF	Switch ON	
Help	6 Ethernet Switch	OFF	Switch ON	
	7 Ubiquity Bullet Radio	OFF	Switch ON	
Custom Web Links	8 UPS System	OFF	Switch ON	
Link to Servers,				
Other Power Switches,	Master Control			
Or anything else	All outlets OFF			
/ersion 1.5.1 (Nov 06 2011 / 21:25:53)	All outlets ON			
3AA39795-DEC95809 S/N:0000331011	Cycle all outlets			
	Sequence del	lay: 5 se	ec.	

IMAGEN 10 - INTERFACE WEB PARA OPERAR EL WEB POWER SWITCH VÍA INTERNET

En la tabla 5 se muestran las características de los *web power switches* utilizados en el sistema. El fabricante de estos dispositivos es la empresa Digital Loggers, Inc., y el modelo utilizado es el WPS versión 6 [8].

WEB POWER SWITCH	DESCRIPCIÓN	CARACTERISTICAS
<section-header></section-header>	Multi-contacto controlable vía Internet con capacidades para habilitar/inhabilitar la alimentación eléctrica del dispositivo conectado a alguno de sus contactos. Cuenta con funciones para programación de eventos y administración de privilegios de operación para usuarios registrados.	 Unidad con 8 contactos operables por el usuario y 2 siempre activos. Carcasa de aluminio con dimensiones de 4.1 cm x 14.7 cm x 33.1 cm. Temperatura de operación: - 34°C a 77°C Cordón de alimentación calibre 14 AWG de 18 cm de largo. Voltaje de alimentación: 120- 240 VAC @15 A Módulo de protección contra descargas eléctricas y picos de voltaje. Regulador de voltaje. Interface Ethernet 10/100 con conector RJ-45 de 8 pines. Conexión a internet vía TCP/IP Servidor web empotrado con acceso vía login/password.

TABLA 5 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL WEB POWER SWITCH WPS V6

3.2. UBICACIÓN DEL RADIÓMETRO RPG-225-TP

El radiómetro se encuentra instalado en la azotea del edificio denominado *Visitor Center* - VC (imagen 11), el cual se ubica a una distancia de 105 metros al norte del telescopio. El edificio cuenta con la infraestructura requerida para el buen funcionamiento del radiómetro; así como también las relacionadas a la protección. Como característica particular, el radiómetro cuenta con una base especialmente diseñada para su instalación, la cual brinda al radiómetro una vista

privilegiada libre de obstáculos. Además cuenta con un domo de protección automatizado para usarse en caso de presentarse clima extremo en el sitio del GTM (imagen 12).



IMAGEN 11 - UBICACIÓN DEL RADIÓMETRO RPG-225-TP EN EL EDIFICIO VISITOR CENTER



IMAGEN 12 - RADIÓMETRO RPG-225-TP, BASE ESPECIAL Y DOMO DE PROTECCIÓN

La computadora cliente y los *web power switches* están alojados en un cuarto designado y especialmente acondicionado para el sistema de monitoreo de la opacidad atmosférica. El cuarto se localiza en el primer nivel del edificio *Visitor Center* (imagen 13)



IMAGEN 13 - UBICACIÓN DEL CUARTO EN EL VISITOR CENTER Y QUE ALOJA LOS ELEMENTOS DE CONTROL DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA OPACIDAD ATMOSFÉRICA

3.3.PROGRAMA INFORMÁTICO CLIENTE PARA LA ADMINISTRACIÓN Y OPERACIÓN DEL RADIÓMETRO **RPG-225-TP**

El fabricante del radiómetro incluye un programa informático (imagen 14) que permite la comunicación entre el radiómetro y la computadora cliente, la administración de todos los datos que proporciona el radiómetro; la configuración de los parámetros de operación del instrumento, definir las rutinas de medición de la opacidad atmosférica, conversión de datos de binario a ASCII, reducción, concatenación y graficación. La tabla 6 muestra las características técnicas más importantes del programa informático.



IMAGEN 14 - PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA INFORMÁTICO CLIENTE PARA EL RADIÓMETRO RPG-225-TP

PROGRAMA INFORMÁTICO CLIENTE PARA EL RADIOMETRO RPG-225-TP

- Compatible con el sistema operativo Windows 2000/XP.
- Despliegue gráfico, en tiempo real, de todos los datos producidos por el radiómetro.
- Almacenamiento automático de los datos producidos por el radiómetro (en formato binario, netCDF y ASCII)
- Opciones de graficación y manipulación de los datos producidos por el radiómetro (graficación a color en diferentes estilos de gráficas, filtrado de datos, zoom; etc.)
- Concatenación de archivos de datos.
- Nombrado automático de archivos de datos.
- Funciones para el control manual del radiómetro (funciones de diagnóstico), despliegue y almacenamiento de los voltajes de los detectores, control manual del espejo primario, reinicio remoto del radiómetro, control manual de sistema de calefacción y ventilación.
- Despliegue en tiempo real del estado del sistema (temperaturas de operación, sensores meteorológicos, estado del proceso de captura de datos, estadísticas de uso de la memoria de almacenamiento, etc.)
- Funciones para los procesos de calibración absoluta, sky-tipping y de ganancia.
- Consulta del historial de calibraciones hechas por el radiómetro.
- Programación de rutinas de captura de datos.
- Programación de respaldo de datos.
- Comunicación rápida basada en el protocolo de comunicación RS-232.

TABLA 6 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PROGRAMA INFORMÁTICO CLIENTE PARA EL RADIÓMETRO RPG-225-TP

El programa informático cliente está desarrollado para ser utilizado por los diferentes modelos que produce la empresa *Radiometer Physics GmbH*, por lo que algunas características y funciones no están disponibles para el radiómetro RPG-225-TP. Sin embargo, la versión utilizada en la actualidad resulta suficiente para administrar y operar el radiómetro. En secciones posteriores se describirán las funciones más utilizadas de este programa informático.

3.3.1.DATOS PRODUCIDOS POR EL RADIÓMETRO

Los datos producidos por el radiómetro son almacenados originalmente en archivos binarios y son distinguibles por la extensión que utilizan. La configuración para la generación de los archivos ha sido establecida para crear cada hora un archivo parcial, posteriormente al final del día se concatenan los archivos parciales para generar un solo archivo que contiene todas las mediciones del día que acaba de concluir. Como paso final, el programa informático cliente ofrece la opción de convertir los datos de binario a ASCII para que puedan ser utilizados en los procesos de generación de estadística y gráficas.

Todos los archivos ASCII tienen en común una cabecera. La cabecera muestra el número de muestras capturadas, valor máximo y mínimo del conjunto de muestras, la referencia a la zona horaria utilizada (UTC o local) y otros datos extras según el tipo de archivo.

Cada muestra inicia con la fecha y hora (Ye=año, Mo=mes, Da=día, Ho=hora, Mi=minuto, Se=segundo) y el status del detector de lluvia al momento de tomar la muestra (O=lluvia no detectada, 1=lluvia detectada) y posteriormente los datos de las muestras según el tipo de

archivo. Los datos están separados por comas y las líneas finalizan con el código CR/LF (retorno de carro/alimentación de línea).

Los datos producidos por el radiómetro RPG-225-TP son:

***.ATN** - Almacena los datos correspondientes a la atenuación atmosférica tomadas a un determinado ángulo. La unidad para la atenuación atmosférica es dB (imagen 15).





*.BRT - Almacena los datos correspondientes a la temperatura de brillo a un determinado ángulo. La unidad utilizada es °K (imagen 16).

BRT File
6008···+ Number of Samples
0 · · · # · Time · Reference · (1=UTC, · 0=Local)
1 · · · # · Number of Frequencies
225.00 ··· # Frequencies
54.46 ··· # Minimum BRT Values in File [K]
271.65 + Maximum BRT Values in File [K]
Ye , Mo , Da , Ho , Mi , Se , Rain Flag , TB(F1) [K] ,, TB(F1) [K] , Elev. Ang [.] , Azi. Ang [.]
14 , 11 , 11 , 06 , 03 , 34 , 0 , 67.41 , 89.90 , 0.00
14 , 11 , 11 , 06 , 03 , 44 , 0 , 66.76 , 89.90 , 0.00
14, 11, 11, 06, 03, 54, 0, 66.79, 89.90, 0.00
14, 11, 11, 06, 04, 04, 0, 67.04, 89.90, 0.00
14, 11, 11, 06, 04, 14, 0, 66.26, 89.90, 0.00
14, 11, 11, 06, 04, 24, 0, 65.72, 89.90, 0.00
14, 11, 11, 06, 04, 34, 0, 65.53, 89.90, 0.00
14, 11, 11, 06, 04, 44, 0, 65.15, 89.90, 0.00
14, 11, 11, 06, 04, 54, 0, 65.54, 89.90, 0.00
14., 11., 11., 06., 05., 04., 0., 65.78., 89.90.,0.00

IMAGEN 16 - EJEMPLO DEL CONTENIDO DE UNA ARCHIVO *.BRT EN FORMATO ASCII

*.MET - Almacena los datos meteorológicos capturados por los sensores de temperatura ambiente (°K), humedad relativa (%RH) y presión atmosférica (mb) (imagen 17).

MET File 6008 · · · # · Number · of · Samples 0 · · · · #Number · of · additional · Sensors · (in · addition · to · P, · T, · H) 587.2 · · · # · Minimum · Pressure · Value · in · File · [mbar] 590.0 + Maximum Pressure Value in File [mbar] 276.7 · · · # · Minimum · Temperature · Value · in · File · [K] 287.9 + Maximum Temperature Value in File [K] 41.8 + # Minimum Rel. Humidity in File 84.3 # Maximum Rel. Humidity in File 0 · · · # · Time · Reference · (1=UTC, · 0=Local) # Ye , Mo , Da , Ho , Mi , Se , Rain Flag , P [mbar] , T [K] , RH 14.,.11.,.11.,.06.,.03.,.34.,.0.,..588.5.,.277.6.,..66.2 14.,.11.,.11.,.06.,.03.,.44.,.0.,..588.4.,.277.6.,..66.3 14.,.11.,.11.,.06.,.03.,.54.,.0.,..588.4.,.277.6.,..66.4 14.,.11.,.11.,.06.,.04.,.04.,.0.,..588.4.,.277.6.,..66.4 14., 11., 11., 06., 04., 14., 0., 588.3., 277.6., 66.4 14.,.11.,.11.,.06.,.04.,.24.,.0.,..588.4.,.277.6.,..66.4 14.,.11.,.11.,.06.,.04.,.34.,.0.,..588.4.,.277.6.,..66.4 14 ... 11 ... 11 ... 06 ... 04 ... 44 ... 0 ... 588.4 ... 277.6 ... 66.3 14., 11., 11., 06., 04., 54., 0., 588.5., 277.6., 66.3 14.,.11.,.11.,.06.,.05.,.04.,.0.,..588.4.,.277.6.,..66.2

IMAGEN 17 - EJEMPLO DEL CONTENIDO DE UNA ARCHIVO *.MET EN FORMATO ASCII

*.HKD - Almacena los datos relacionados al status del radiómetro; tales como alarmas, GPS, temperatura de los receptores, capacidad restante de la memoria de almacenamiento, etc. (imagen 18).

HKD File
64300 · + Number of Samples
0+.Time.Reference.(1=UTC,.0=Local)
0 + 0=GPS position not recorded, 1=GPS position recorded
1 · · · # ·0=receiver ·/ · ambient · temperatures · not · recorded, · 1=receiver ·/ · ambient · temperatures · recorded
1#.0=receiver stability not recorded, 1=receiver stability recorded
0 + 0=Flash Disk capacity not recorded, 1=Flash Disk capacity recorded
1 •• #•0=quality flags not recorded, 1=quality flags recorded
1 + 0=instrument status flags not recorded, 1=instrument status flags recorded
#Ye,Mo,Da,Ho,Mi,Se,AF, GPS Long. , GPS Lat. ,TAmb1,TAmb2,TRec1,TRec2,SRec1,SRec2,Flash D,Quality Flags,Status Flags
14,11,11,06,00,47,0,00000,0000,285.2,285.4,305.1,0.1,0.008,0.000,0000000,0000000,05C80001
14,11,11,06,00,47,0.,0.0000,0.0000,285.2,285.4,305.1,.0.1,0.008,0.000,0000000,00000000,05080001
14,11,11,06,00,49,0,,00000,0.0000,285.2,285.4,305.1,0.1,0.008,0.000,0000000,00000000,05C80001
14,11,11,06,00,54,0.,0.0000,0.0000,285.2,285.4,305.1,.0.1,0.008,0.000,0000000,00000000,05680001
14,11,11,06,00,55,00,00000,0000,0000,285.2,285.4,305.1,00.1,0.008,0.001,0000000,00000000,05680001
14,11,11,06,00,57,0,0.0000,0.0000,285.2,285.4,305.1,0.1,0.008,0.001,0000000,00000000,05C80001
14,11,11,06,00,59,0.,0.0000,0.0000,285.2,285.4,305.1,.0.1,0.008,0.001,0000000,00000000,05080001
14,11,11,06,01,01,00,00000,0000,0000,000
14,11,11,06,01,03,0,,,0.0000,0.0000,285.2,285.4,305.1,0.1,0.008,0.001,0000000,00000000,05C80001
14,11,11,06,01,05,0.,0.0000,0.0000,285.2,285.4,305.1,0.1,0.008,0.000,0000000,00000000,05080001
14,11,11,06,01,07,0,,0.0000,0.0000,285.2,285.4,305.1,0.1,0.008,0.000,0000000,00000000,05000001
14,11,11,06,01,09,00,0000000,0000000000000

IMAGEN 18 - EJEMPLO DEL CONTENIDO DE UNA ARCHIVO *.HKD EN FORMATO ASCII

*.LVO - Este archivo se denomina de nivel cero porque almacena el status de los dispositivos que integran la instrumentación del radiómetro. Estos datos son la base para que el radiómetro pueda calcular la atenuación atmosférica (imagen 19).

LV0 File 64395 · · · # · Number · of · Samples 14 ··· # Master ID: R 0 · · · # · Slave · ID: · N 0 · · · # · Time · Reference · (1=UTC, · 0=Local) 1 ... # Number of Frequencies 225.00 + Frequencies [GHz] 1 · · · # · Number · of · IR · Channels 10.5 · · · # · IR · Wavelengths · [um] 0.000000 · · · # · GPS · Longitude: · 50°87095804 ' 2020474896" · (null) 0.000000 ··· # ·GPS ·Latitude: 12°102576596'2020474896" · (null) 1.0000 # Alpha[]: Nonlinearity Factors or Dicke Switch Leakage 0.00 · · · # · DelT[]: Difference · [K] · of <u>Dicke</u> Switch Physical and Radiometric Temperature · (Tr-Tr) # Ye, Mo, Da, Ho, Mi, Se, Elex(°), Azi(°), Tamb[K], Tenx(K), P[mbar], RH(%), IRT(°C), Dig.Flags 14 , 11 , 11 , 01 , 00 , 00 , 89.9 , 0.0 , 284.32 , 277.00 , 588.1 , 69.2 , -100.0 , 96993281 1.8461 · · · # · Detector · Voltages · Ud [V] 1.5420 + Channel Gain G[mV/K] 1137.9 # Channel System Noise Temp. Tsys[K] 0.0...# Channel Noise Diode Temp. In [K] # Ye , Mo , Da , Ho , Mi , Se , Elex([] , Azi(]) , Tamb(K) , Tenx(K) , P(mbar) , RH(%) , IRT(°C) , Dig.Flags 14., 11., 11., 07., 00., 11., 89.9., 00.0., 284.32., 277.00., 588.1., 69.2., -100.0., 96993281 1.8459 + Detector Voltages Ud[V] 1.5420 ··· # Channel Gain G[mV/K] 1137.9 # Channel System Noise Temp. Tsys[K] 0.0...# Channel Noise Diode Temp. Tn[K]



3.4.PROGRAMA INFORMÁTICO PARA LA PUBLICACIÓN EN INTERNET DE LOS DATOS DE OPACIDAD ATMOSFÉRICA

El radiómetro RPG-225-TP ha sido configurado para capturar cada 10 segundos el valor de la opacidad atmosférica en el sitio del GTM. Esta información es publicada en tiempo real en una página web que puede ser consultada en las siguientes direcciones web:

- Dentro de la red local del GTM usar http://192.168.2.56/radiom/
- Fuera de la red local del GTM usar http://www.ogtm.org.mx/~microon/radiom/

La página web está compuesta de una cabecera que indica el status del radiómetro, un conjunto de gráficas que muestran el comportamiento de la opacidad atmosférica del día anterior, el día actual, de los últimos 15, 30 y 60 minutos y de una tabla que contiene las mediciones hechas en el último minuto (imagen 20).

El diseño de la página web permite al usuario seleccionar un conjunto de opciones predefinidas para observar con mayor detalle el comportamiento de la opacidad atmosférica del día actual, tanto en valor de opacidad (eje Y) como en tiempo (eje X).

La intención de la cabecera es de informar al usuario que el radiómetro se encuentra en línea ("Radiometer is online") y que la información publicada es la más actual. En caso de existir alguna falla con el radiómetro o el programa informático cliente, la cabecera cambiara el mensaje indicando que el radiómetro está fuera de servicio y que la información no está actualizada ("Radiometer is offline. The information is outdated.") Esta información es de mucha importancia ya que permite inmediatamente resolver las fallas que provocan que el radiómetro deje de funcionar.



IMAGEN 20 - PÁGINA WEB PARA PUBLICAR LOS DATOS DE OPACIDAD ATMOSFÉRICA EN EL SITIO GTM

La elaboración y publicación de los contenidos de la página web son realizadas por un sencillo programa informático hecho en lenguaje Java. El programa se encarga de monitorear el archivo *.ATN que constantemente está generando el programa informático cliente. Si el archivo cambia

entonces el programa extrae la nueva información, la procesa y la envía a los servidores web vía comunicación SFTP (SSH File Transfer Protocol) para que sea publicada en la página web. Es importante mencionar que el radiómetro no proporciona el valor de opacidad (Tau) directamente por lo que se debe hacer un cálculo usando el valor de atenuación atmosférica (ATN). La ecuación para obtener el valor de Tau es la siguiente:

$$\tau = ATN * \left[\frac{\ln(10)}{10}\right]$$

ECUACIÓN 1 - CALCULO DEL VALOR DE TAU A PARTIR DEL VALOR DE LA ATENUACIÓN ATMOSFÉRICA

Alternativamente se puede obtener la medición de la opacidad a través de la siguiente expresión:

$$\tau = ln \left[\frac{T_{mr} - 2.7K}{T_{mr} - T_B} \right]$$

ECUACIÓN 2 - CALCULO DEL VALOR DE TAU A PARTIR DEL VALOR DE LA TEMPERATURA MEDIA ATMOSFÉRICA Y LA TEMPERATURA DE BRILLO

Donde T_{mr} es la temperatura media atmosférica en la dirección Θ , 2.7 K es la temperatura de radiación de fondo y T_B es la temperatura de brillo en de la frecuencia en el canal *i*.

 T_{mr} es una función de la frecuencia y usualmente es derivada de datos proporcionados por una radiosonda. Un método suficientemente preciso es relacionar T_{mr} con una función cuadrática de la temperatura medida en la superficie directamente por el radiómetro.

Para el caso del radiómetro RPG-225-TP, el proveedor del instrumento ha proporcionado un archivo con la ecuación adecuada para el cálculo de T_{mr} en función del sitio donde se encuentra instalado y las condiciones meteorológicas. En el *Apéndice A* se muestra el conjunto de ecuaciones involucradas en el cálculo de temperaturas a partir de los voltajes proporcionados por los componentes del radiómetro.

Los productos que genera el programa informático son gráficos y un archivo XML que contiene fecha, hora y el valor de tau (imagen 21).



IMAGEN 21 - EJEMPLO DEL CONTENIDO DEL ARCHIVO XML UTILIZADO PARA PUBLICAR LOS DATOS DE OPACIDAD ATMOSFÉRICA EN INTERNET

En la imagen 22 se muestra un diagrama del funcionamiento del programa informático desarrollado para publicar los datos de opacidad atmosférica en internet.



IMAGEN 22 - DIAGRAMA DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA INFORMÁTICO PARA LA PUBLICACIÓN DE DATOS DE OPACIDAD ATMOSFÉRICA EN INTERNET

4.PROCESOS DE CALIBRACIÓN PARA EL RADIOMETRO RPG-225-TP

Los errores de calibración son la mayor fuente de inexactitudes en las mediciones radiométricas y por lo tanto es necesario realizar procesos de calibración cada cierto intervalo de tiempo para garantizar un buen desempeño de la instrumentación del radiómetro. El radiómetro RPG-225-TP realiza 3 tipos de calibraciones: calibraciones absolutas, calibraciones tipo Sky tipping y calibraciones tipo Gain.

4.1. CALIBRACIONES ABSOLUTAS CON LN2

Este tipo de calibraciones son hechas con un objetivo enfriado con nitrógeno líquido (LN2) y deben de realizarse cada 6 meses o cuando el radiómetro es reubicado. El objetivo es un contenedor de poliestireno en cuyo interior aloja un material absorbente con características físicas y electromagnéticas especiales requeridas para el proceso de calibración. En la imagen 23 se aprecia la manera en que se instalan los elementos involucrados en la calibración. Para más detalles, se sugiere consultar la sección 4.3 (Absolute calibration procedure) del Manual de instalación y mantenimiento [4].



IMAGEN 23 - PROCESO DE CALIBRACIÓN ABSOLUTA CON NITRÓGENO LIQUIDO

4.2. CALIBRACIONES TIPO SKY TIPPING

La calibración tipo Sky tipping es un proceso de calibración adecuado para aquellas frecuencias donde la opacidad atmosférica es baja (p. ej. alta transparencia) la cual significa que la temperatura de brillo del cielo está influenciada por la temperatura de la radiación cósmica de fondo que es de 2.7 °K. Este tipo de calibración es únicamente aplicable para canales transparentes, es decir, la atmosfera debe ser homogénea y libre de nubes o de variaciones en la distribución del vapor de agua. El proceso consiste en mover el espejo desde el cenit hasta un ángulo cercano a los 14° (cada ángulo de parada es llamado masa de aire). En cada ángulo se realiza una medición, posteriormente se realizan cálculos sobre esos datos para determinar si la calibración fue exitosa o no. Una calibración exitosa asume que la atmosfera es homogénea y el valor de la opacidad atmosférica es la misma en todos los ángulos observados (imagen 24). Esta

calibración se debe realizar al menos cada 30-60 minutos. Para más detalles, se sugiere consultar la sección 3.4 (Sky tipping - Tip curve) del Manual de uso del programa informático cliente [5].



IMAGEN 24 - EJEMPLO DE UNA CALIBRACIÓN TIPO SKY TIPPING EXITOSA

4.3. CALIBRACIONES TIPO GAIN

Esta calibración es la más frecuentemente realizada por el radiómetro. Este proceso solo corrige las variaciones en la ganancia del sistema. El proceso consiste en dirigir el espejo al objetivo de temperatura ambiente instalado en el interior del radiómetro y realizar una medición, suponiendo que el objetivo siempre da una medición constante, el sistema procede ajustar la ganancia del sistema usando la medición del objetivo como referencia. Esta calibración es muy rápida (alrededor de 25 segundos) y se recomienda hacerla cada 5-10 minutos. Para más detalles, se sugiere consultar la sección 3.3 (Gain Calibration - Relative Calibration) del Manual de uso del programa informático cliente [5].

4.4.CONSULTA DE LAS CALIBRACIONES

El historial de las calibraciones absolutas y de calibraciones exitosas tipo sky tipping son almacenados en un archivo llamado ABSCAL.HIS. El archivo puede ser consultado usando el programa informático cliente (imagen 25).

Los registros son listados y numerados de manera incremental (precedidos por el símbolo #). La nomenclatura utilizada es:

#núm. calibración: Tipo Calibración Rec. 1 / Tipo Calibración Rec. 2, (fecha hora Calibración Rec.1 || fecha hora Calibración Rec.2)

Absolute Calibration History	↔ [
ID: RPG-TIP-225		<u>i</u>
Calibration List: #1: Absolut / No.Cal., (13[09]2010_13[01]58) (13[09]2010_1 #2: Absolut / No.Cal., (23[09]2010_13[02]44) (13[09]2010_1 #3: Absolut / No.Cal., (23[09]2010_13[06]13) (13[09]2010_1 #4: Absolut / No.Cal., (23[11]2010_14[57]42) (13[09]2010_1 #5: Absolut / No.Cal., (03[11]2010_14[57]42) (13[09]2010_1 #6: Absolut / No.Cal., (26[07]2012_16[22[15]) (13[09]2010_1 #7: Absolut / No.Cal., (26[07]2012_16[22[15]) (13[09]2010_1 #7: Absolut / No.Cal., (26[07]2012_16[32[15]) (13[09]2010_1 #7: Absolut / No.Cal., (26[07]2012_20]39[55] (13[09]2010_1 #10: Absolut / No.Cal., (26[07]2012_20]46[35] (13[09]2010_1 #10: Absolut / No.Cal., (09[09]2012_20]46[35] (13[09]2010_1 #11: Sky-Tip / No.Cal., (09[09]2012_102](02]00] (13[09]2010_1 #12: Sky-Tip / No.Cal., (09[09]2012_13](02]00] (13[09]2010_1 #14: Sky-Tip / No.Cal., (09[09]2012_14[02]05) (13[09]2010_1 #14: Sky-Tip / No.Cal., (09[09]2012_14[02]05) (13[09]2010_1 #15: Sky-Tip / No.Cal., (09[09]2012_14[02]05) (13[09]2010_1 #14: Sky-Tip / No.Cal., (09[09]2012_14]02[05] (13[09]2010_1 #15: Sky-Tip / No.Cal., (09[09]2012_14]02[05] (13[09]2010_1 #15: Sky-Tip / No.Cal., (09[09]2012_14]02[00] (13[09]2010_1 #15: Sky-Tip / No.Cal., (09[09]2012_14]02[00] (13[09]2010_1 #16: Sky-Tip / No.Cal., (09[09]2012_14]02[00] (13[09]2010_1] #16: Sky-Tip / No.Cal., (09[09]2012_14]2010] (13[09]2010_1] #16: Sky-Tip / No.Cal., (09[09]2012_14]2010]2010] (13[09]2010_1] #16: Sky-Tip / No.Cal., (09[09]2012_	13 01 58) 13 01 58 13 01 58 13 01 58 13 01 58 13 01 58	
 #17: Sky-Tip / No.Cal., (11 09 2012 07 02 00) (13 09 2010 #18: Sky-Tip / No.Cal., (13 09 2012 18 03 01) (13 09 2010 #19: Sky-Tip / No.Cal., (05 10 2012 05 03 24) (13 09 2010 #20: Sky-Tip / No.Cal., (05 10 2012 07 03 24) (13 09 2010 #21: Sky-Tip / No.Cal., (07 10 2012 21 03 22) (13 09 2010 #22: Sky-Tip / No.Cal., (07 10 2012 21 03 22) (13 09 2010 	13 01 58 13 01 58 13 01 58 13 01 58 13 01 58 13 01 58)))))
Load History File Delete Last Entries Show Current Calibration		Quit
Receiver 1 # 22 Receiver 2 # 22	Gene	rate

IMAGEN 25 - CONTENIDO DEL ARCHIVO ABSCAL.HIS DEL RADIÓMETRO RPG-225-TP

Al dar doble click en alguna de las entradas, se muestran los resultados de la calibración (imagen 26). Para cada receptor se muestran los parámetros Gain, System Noise, Noise Diode y Alpha. Se agrega también el tipo de calibración, hora/fecha de calibración, temperaturas y presión atmosférica.

📕 Calibratio	on Results: RPG-TIP-	225		
Results Receiver 1:	Calibration Type: Sky-Tip; Hot/Cold Temp.:307.8 K / Gain:	bing Date/Time: 0 2.7 K Atm. Press System Noise:	08 09 2012 18 02 00 ure: 788.9 mbar Noise Diode:	Env. Temp. : 299.6 K Alpha:
	0.000: 1.129 mV/K	0.000: 1647.4 K	0.000: 0.0 K	0.000: 1.000
Receiver 2:	Calibration Type: No Cal. Hot/Cold Temp.:309.4 K /	Date/Time:1 77.3 K Atm. Press	3 09 2010 13 01 58 ure:1005.6 mbar	Env. Temp.: 301.6 K

IMAGEN 26 - DETALLES SOBRE LOS RESULTADOS DE UNA CALIBRACIÓN EXITOSA TIPO SKY TIPPING

El historial de calibraciones tipo Gain y de las tipo Sky tipping (incluyendo exitosas y no exitosas) son almacenadas en un archivo llamado CAL.LOG. El archivo puede ser consultado usando el programa informático cliente (imagen 27).

En la sección Sky Tipping Calibrations, se marcan las calibraciones exitosas con una barra color verde y las calibraciones fallidas con una barra color rojo.

🖁 CAL.LOG				
Gain Calibrations R1: 225.000 GH ♥ Act. Channel: R2: ♥ 225.000 GHz First Calib.: 21/08/2012 21:35:10 Last Calib.: 05/11/2012 12:53:56 Next Calib.: 5 Samples: 7188 16(09/2012 16:43:44 0.00156970 V/K Zoom Out	0.00161 - 0.00141 - 0.00121 - 0.00081 - 0.00061 - 0.00061 - 0.00021 - 0.00021 - 0.00021 - 00:00:00 31 08 2012	00:00:00 20[09]2012	00:00:00 10 10 2012	00:00:00 30[10]2012
Noise Calibrations R1: Act. Channel: R2: First Calib.: Last Calib.: Next Calib.: Samples: O	0.00530 - 0.00510 - 0.00490 - 0.00470 - 0.00450 -	00:00:00	00:00:00	00:00:00
Sky Tipping Calibrations R1: 225.000 GH Act. Channel: R2: 225.000 GHz First Calib.: 2108/2012 21:41:07 Last Calib.: 05/11/2012 13:01:54 Next Calib.: Samples: 889 09/09/2012 11:24:16 178:2 K Gain Zoom Out Tsys CAL. FAILLET CAL. SUCCES CAL.SUCCES	300000 28000- 28000- 24000- 24000- 22000- 18000- 18000- 14000- 14000- 10000- 800- 8000-		0:00 00:00:0 [2012 14[09]20	0 00:00: 12 16[09]2
Synchronize Diagrams Reload C	ALLOG Other Cali	bration Files: CAL.LOG		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

IMAGEN 27 - CONTENIDO DEL ARCHIVO CAL.LOG DEL RADIÓMETRO RPG-225-TP

Para más detalles, se sugiere consultar las secciones 4.6 y 4.7 (Inspecting Absolute Calibration History y Inspecting Automatic Calibration Results) del Manual de uso del programa informático cliente [5]. Adicionalmente en el *Apéndice A* de este documento, se muestran el conjunto de ecuaciones involucradas en el cálculo de temperaturas a partir de los voltajes proporcionados por los componentes del radiómetro.

5.DEFINICIÓN DEL PROCESO DE CAPTURA DE DATOS PARA EL RADIOMETRO RPG-225-TP

En esta sección se describen los pasos necesarios para programar el proceso de captura de mediciones de opacidad atmosférica usando el radiómetro RPG-225-TP. Este proceso consiste en 3 pasos importantes: establecer comunicación vía puerto serial entre el radiómetro y la computadora cliente, programación de los parámetros de operación y captura de datos, y la puesta en marcha del proceso de captura de datos.

5.1.COMUNICACIONES

Los pasos de esta sección tienen como objetivo establecer una comunicación serial entre el radiómetro y la computadora que ejecuta el programa cliente. Se asume que la distribución física, la conexión de cables (tanto eléctricos como de interfaces) y la instalación del programa informático cliente ya están preparados para su uso conforme la sección 4.1 (Installation of Host Software) del Manual de uso del programa informático cliente [5]

- Encender el radiómetro y a partir de este momento esperar un mínimo de 10 minutos. Durante este lapso de tiempo se permitirá al radiómetro realizar su rutina de verificación, alcanzar su temperatura óptima de operación y la estabilización de la instrumentación.
- **2.** Ejecutar en la computadora cliente el programa cliente R2CH.EXE y esperar a que cargue por completo.
- **3.** Una vez dentro de la pantalla principal del programa informático cliente, buscar en el menú principal la opción <u>Communication</u> y elegir <u>Conect to Radiometer(s)</u>, o bien pulsar

sobre el botón marcado con el icono . Esta acción hará que se establezca la comunicación serial entre el radiómetro y la computadora cliente. En la siguiente imagen se muestra el éxito de esta sección.

COM Ports		
	< <success>></success>	
Aaster Radi	ometer	
Action		
	Connecting to radiometer in progress	
Connectio	n Result	
	< <success>></success>	
lave Radio Action	No Slave present	
ilave Radion Action	neter No Slave present	
Glave Radion	No Slave present	
Connection	No Slave present Result No connection required	
Connection	No Slave present Result No connection required itioner	
Action Connectio Connectio	No Slave present Result No connection required itioner	
Connection	No Slave present No connection required itioner No Host controlled azimuth axis selected	
Action	No Slave present No connection required itioner No Host controlled azimuth axis selected Result	

IMAGEN 28 - PANTALLA DE CONEXIÓN EXITOSA CON EL RADIÓMETRO RPG-225-TP

5.2.PROGRAMACIÓN

El objetivo de esta sección es la de generar el archivo MDF. El contenido de este archivo consiste en una serie de parámetros que determinan el comportamiento del radiómetro durante la rutina de captura de datos. Entre estos parámetros destacan los tiempos de captura de datos, el almacenamiento de las mediciones y la definición de las calibraciones a efectuar durante el proceso.

1. Dentro de la pantalla principal del programa informático cliente, buscar en el menú principal la opción <u>Measurement</u> y elegir <u>Measurement definition</u>, Se puede obtener el

mismo resultado si se pulsa la tecla F1 o pulsar sobre el botón marcado con el icono **TGD**. Esta acción mostrará una ventana que contiene un cuadro de dialogo dividido en pestañas. En esta ventana se introducirá un conjunto de datos necesarios para definir la rutina de captura que habrá de ejecutar el radiómetro.

 Dentro de la ventana <u>Definition of Measurement and Calibration Parameters</u>, seleccionar la pestaña <u>Sky Tipping</u>. En esta parte se definirá el comportamiento de la calibración tipo Sky Tipping. En la imagen 29 se enmarcan las secciones en las que se pueden realizar cambios.



IMAGEN 29 - DEFINICIÓN DE LA CALIBRACIÓN TIPO SKY TIPPING PARA EL RADIÓMETRO RPG-225-TP

El marco A muestra la activación de la calibración y de su suspensión durante la lluvia. El botón hace que se apliquen los parámetros por default. Se recomienda la configuración mostrada en la imagen y de usar los parámetros default.

En el marco B se permite modificar el periodo de tiempo a esperar entre calibraciones de tipo Sky tipping. Según las especificaciones del fabricante, se recomiendan periodos de tiempo entre 30-60 minutos, ya que el tiempo que se utiliza para esta calibración suele ser más de 3-5 minutos y por lo tanto el proceso de captura se interrumpe y esto deriva en la pérdida de información. Las demás opciones se mantienen sin cambios.

En el marco C se permite definir los ángulos en los que el espejo se ha de colocar durante la calibración. Es posible agregar o eliminar valores. Se recomienda usar los valores default.

3. Seleccionar la pestaña <u>Standard Calibrations</u>. En esta parte se definirá el comportamiento de la calibración tipo Gain. En la imagen 30 se enmarcan las secciones en las que se pueden realizar cambios.

Befinition of Measurement and Calibration Parameters	
Sky Tipping Standard Calibrations Products + Integration Scanning Timing + MDF + MBF Storage	
D:RPG-TIP-225	1
Relative Calibrations (Gain Drifts)	
Period: Integration Time: 5 Min. Integration Time: 10 sec Integration Time:	
☑ Enable calibration on ambient target	
A	
Trigger	
Period beginning at measurement start	
Period relative to 00:00:00	
✓ Append to Calibration Log file (CAL.LOG)	
Default California	
Farant Settinitz	
Close	

IMAGEN 30 - DEFINICIÓN DE LA CALIBRACIÓN TIPO GAIN

El marco A encierra los parámetros que se utilizan en la calibración ganancia. Es posible modificar el periodo de tiempo a esperar entre calibraciones de este tipo (Period) y el tiempo que se ha de ocupar para efectuar el proceso (Integration Time). La captura de datos se interrumpe por el tiempo definido en Integration Time. Se recomienda utilizar los valores default o definir periodos de tiempo entre 5 a 30 minutos con una duración de 10 a 30 segundos.

4. Seleccionar la pestaña <u>Products + Integrations</u> (imagen 31) En esta parte se definirán las variables que se han de capturar y el intervalo de tiempo entre capturas.



IMAGEN 31 - DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES A CAPTURAR CON EL RADIÓMETRO RPG-225-TP

En el marco A se permite activar/desactivar la captura y almacenamiento de las variables que soporta el radiómetro. Las variables Brightness Temperature, Atm. Attenueation, Via Tmr siempre deberán estar activas. En cuanto al conjunto de variables que conforman el conjunto Meteorological Sensors y Housekeeping Data, es posible activar/desactivar lo que se crea conveniente, aunque la riqueza de la información se verá disminuida.

El marco B da la opción de definir el intervalo de tiempo en que se realizaran las mediciones. Los periodos de tiempo pueden ser de 1, 2, 5 10, 15, 20 30 o 60 segundos. El tiempo elegido habrá de repercutir en la cantidad de información recopilada en una rutina de captura.

5. Seleccionar la pestaña <u>Scanning</u> (imagen32) En esta parte se podrá definir el ángulo al que se inclinará el espejo del radiómetro durante la rutina de captura de datos.



IMAGEN 32 - DEFINICIÓN DEL ÁNGULO DEL ESPEJO PARA EL RADIÓMETRO RPG-225-TP

En el marco A se define el tipo de escaneo. Por el diseño del radiómetro, solo se pueden definir un solo ángulo (Const. Angles) para la rutina de captura. Se recomienda utilizar valores entre 45° a 90° (Const. Elev. Angle).

6. Seleccionar la pestaña <u>Timming+</u> (imagen33) En esta parte se definirán los parámetros de operación para la rutina de captura, el método de almacenamiento de la información y el horario de operación.



IMAGEN 33 - DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA RUTINA DE CAPTURA PARA EL RADIÓMETRO RPG-225-TP

El marco A corresponde a la forma como se inicia la rutina de captura (Timing -Measurement Start Time). Se puede elegir el comienzo inmediato (Immediately) o programado (Triggered). En esta última opción se debe de introducir la fecha y hora de inicio de la rutina.

En el marco B se define la forma de almacenamiento de la información capturada (Termination). Existen dos opciones a elegir, modo ILIMITADO (UNLIMITED) es utilizada cuando la rutina de captura no tiene un final de las operaciones definido. Esta opción permite establecer la frecuencia en que se almacenan los datos en disco (Filename Interval). Los periodos de tiempo son: 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 12 horas. La convención para el nombre del archivo puede ser modificado a través de la elección de los diversos formatos preestablecidos. El más usado es la convención Año-Mes-Día-Hora (YYMMDDHH). Si se elige la opción modo LIMITADO (LIMITED), se activara el marco C.

En el marco C se permite establecer la duración de la rutina de captura del radiómetro. Se deberá introducir el nombre del archivo (Filename) que almacenará la información, la fecha y hora de la finalización de la captura (opción Stop by Time/Date - Stop Date, Stop Date) o la duración en segundos (Stop by Duration - Seconds).

En el marco D se da la opción de elegir el huso horario de referencia (Time Reference) que usará el radiómetro para realizar sus operaciones programadas. Se puede utilizar el Tiempo Universal Coordinado (UTC - Universal Time Coordinated) o establecer un desfase en horas sobre el tiempo UTC (Local Time Shift [h]). Por ejemplo, para establecer el horario local de la Ciudad de México sería UTC - 6 horas (horario de invierno) o UTC - 5 horas (horario de verano).

El marco E habilita/deshabilita la opción de realizar respaldos de la información (Enable File Backup) y la de operación del radiómetro sin conexión con la computadora cliente (Run Rad. Without Host). Ambas opciones deberán ser habilitadas para garantizar mayor éxito en la rutina de captura programada.

El marco F habilita/deshabilita el filtro para remover las interferencias (Remove Interferences) que pudieran existir en el medio ambiente en que opera el radiómetro. Se recomienda habilitarlo para toda rutina de captura.

7. Seleccionar la pestaña <u>MDF + MDF Storage</u> (imagen 34). En esta parte se podrá guardar o cargar la programación de parámetros para una rutina de captura.

Befinition of Measurement and Calibration Parameters
Sky Tipping Standard Calibrations Products + Integration Scanning Timing + MDF + MBF Storage
MDF Storage Load Parameter File (MDF) Store Parameter File (MDF) Store MDF (ASCII Version) MDF Name:
Batch File Save Batch File Batch File: Batch Repetition: Batch Repetition: 1 MDF List (100 MDF's max.): Image: Batch File MDF's (*MDF') Image: Batch File Batch Repetition: Image: Batch File Batch Repetition: Image: Batch File MDF List (100 MDF's max.): Image: Batch File Image: Batch File Image: Batch File Image: Batch File: Image: Batch File: Image: Batch File: Image: Batch Fi

IMAGEN 34 - DEFINICIÓN DEL ARCHIVO QUE GUARDARÁ LA RUTINA DE CAPTURA DE DATOS PARA EL RADIÓMETRO RPG-225-TP

En el marco A se deberá pulsar el botón para almacenar en un archivo MDF toda la programación de parámetros definidos en los pasos anteriores (Store Parameter File MDF). Este procedimiento es el mismo que se utiliza para guardar archivos en ambientes del *sistema operativo Windows*. Con el botón de carga de parámetros (Load Parameter MDF) se puede cargar una rutina previamente almacenada para su modificación. El botón de almacenamiento en ASCII (Store MDF ASCII Version) convierte una programación de parámetros en texto plano para su lectura en cualquier editor de texto.

5.3. PUESTA EN MARCHA

El objetivo de esta sección es de enviar el archivo MDF que contiene la programación de los parámetros de la rutina de captura a la computadora del radiómetro, así como su suspensión y/o detención total de la rutina de captura.

1. Dentro de la pantalla principal del programa informático cliente, buscar en el menú principal la opción <u>Measurement</u> y elegir <u>Send Configuration</u>, Se puede obtener el mismo

resultado si se pulsa la tecla F2 o pulsar sobre el botón marcado con el icono acción mostrará la ventana (imagen 35) que contiene el cuadro de dialogo para enviar el archivo MDF (Send Measurement Configuration).

Send Measurement Configuration		
Load MDF/MBF File	🗌 Auto Go	Auto Send Send
Processing MD-File:	Rep.:	Process:
MDF / MBF directory: C:\RPG-TIPPING-225\MDF_MBF\ ZENITH TIPPING 225 V830 (021012 TEL2).MDF ZENITH TIPPING 225 V830 (031012).MDF ZENITH TIPPING 225 V830 (041012).MDF ZENITH TIPPING 225 V830 (051012).MDF ZENITH TIPPING 225 V830 (051012).MDF ZENITH TIPPING 225 V830 (051012-2).MDF ZENITH TIPPING 225 V830 (051012-2).MDF ZENITH TIPPING 225 V830 (051012-2).MDF ZENITH TIPPING 225 V830 (260912).MDF ZENITH TIPPING 225 V830 (260912).MDF ZENITH TIPPING 225 V830.MDF ZENITH TIPPING 225 V830.MDF ZENITH TIPPING 225 V830.MDF ZENITH TIPPING 225 V830.MDF		
Batch File Content A Check	List	B ^{Available Frequencies} 225.00 GHz

IMAGEN 35 - CARGA Y EJECUCIÓN DE LA RUTINA DE CAPTURA DE DATOS PARA EL RADIÓMETRO RPG-225-TP

El marco A muestra los archivos MDF disponibles para ser cargados a la computadora del radiómetro. Se deberá seleccionar con el ratón el archivo deseado y después aplicar la acción arrastrar y soltar con el ratón hacia el área que se define dentro del marco B. Esta única acción hará el envío del archivo MDF, se cargará en la computadora del radiómetro y la ventana se cerrará automáticamente.

En la pantalla principal (imagen 36) se habilitará <u>Start Batch Processing</u> que se ubica en la opción <u>Measurement</u> del menú principal. Se puede dar inicio a la rutina de captura a

través del menú principal o pulsar la tecla F3 o en el botón marcado con el icono

3. Ubicarse dentro de la pantalla principal del programa informático para poder consultar la captura de las variables junto con sus gráficas, así como también el estado y configuración del radiómetro.

Files Communication Measurement Control Calibration Beadground Processes Configuration Language Image: Status Image: Stat	RPG-TIP-225, 225 GHz Tau Radiometer (Version 8.31), Radiometer:Mexico/LMT (License: UNLIMITED)								
Image: Second	Files Communication Measurement Control Calibration Background Processes Configuration Language								
Status and Cont. BTs 24 Hour History Time Series 20-Maps Atternation A Data Directory: CIRPO-Tipping-225/Data/ Automatic ASCII file generation. VO Software Version. 8.31 Contextual	CALBRATING Rad Date: 2:10:2012 SkyTip:								
Host Configuration Data Directory: C:\PPG-Tippig-2250atA\ Automatic ASCI flie generation: V65 Autom. BUFR flie generation: N0 Suppress hows flie generation: N0 Data File Archive Period: DALLY Sattware Yersion: 8.31 Cable: 6 Lines Rt: R2 Image: Controller Strings Gein Calibration Last Calibration Last Calibration Integration Time: Desc. Period: Omin Control Settings Next Calib: +++, +++ Period: Omin Story Tepping Calibration Last Calibration Rt LC 000000 Rt LC 000	Status and Conf. BTs 24 Hour History Time Series 2D-Maps Attenuation Housekeeping A								
B	Host Configuration Data Directory: C:VEPC-Tipping-250 table Autom.netCoF file generation: VES Autom.netCoF file generation: NO Autom. DelTR file generation: NO Suppress binary file generation: NO Suppress binary file generation: NO Data File Archiving: VES Autom.atic Calibration Last Calibration Last Calibration Current Settings Integration Time: Period: Omin Change Setting Period: Omin Store Setting Period: Omin Store Setting Period: Omin Rt LC: 0.0000 Change Settings Rt Cn2 0.1 Rt LC: 0.9999 Rt Cn2 0.1 Rt LC: 0.9999 Rt Cn2 0.1 Rest Calibration Change Period: Calibration Rt LC: 0.9999 Rt Cn2 0.1 Rt Cn2 0.1 Rt Cn2 0.1 Rt LC: 0.9999 Rt Cn2 0.1 Rt Cn2 0.1 Rt LC: 0.9999 Rt Cn2 0.1 Rt Cn2 0.1 Rt LC: 0.9999 Rt Cn2 0.1 Rt Cn2 0.1 Rt LC: 0.999 Rt Cn2 0.1 Rt Cn2 0.1 Rt Cn2 0.1 Rt LC: 0.9999 Rt Cn2 0.1 Rt Cn2 0.1 Rt LC: 0.999 Rt Cn2 0.1 Rt Cn2 0.1 Rt LC: 0.9999 Rt Cn2 0.1 Rt Cn2 0.1 Rt LC: 0.999 Rt Cn2 0.1 Rt LC: 0.990 Rt Change Period Rt Rt R	Master Radiometer Status Software Version: 8:31 Cable: 6 Lines RPO-TIP-25 GPS Clock Position: 19'01'56' N, 96'16'89' W Radiometer Time: 19:36:49 Radiometer Dete: 12:10-2012 Real Time Clock RTC Status: responding Temperatures Environment: 23:9°C Ambient Target: 27:4/27:9°C Ambient Target: 27:4/27:9°C Receiver 1: 34:7°C Rec.1 Stability: NO DATA Unit Celsius Calibrations Gein Calibration: CALIBRATING Noise Calibration: CALIBRATING Noise Calibration: CALIBRATING Noise Calibration: CALIBRATING Noise Calibration: CALIBRATING Noise Calibration: MACTIVE Measurement Time Reference: LOCAL Date: 124-02012 Time: 19:36:49 File Backup: VES Batch Repettion: 11.1 Batch File: No Batch (single MDF) MDF List ZENTH TIPPING 225 V631 MI Retrievals	R1: R2: 225.00 GHz Image: Construction of the seconding Elev. Stepper: responding Elev. Stepper: responding Continuers Cal. Stepper: responding Rad. Azimuth: not responding Mets. Station: Internal Receivers: 1/0 Infrared Radiometer(s) IRR1: not responding 11: Flash Disk Capacity: Capacity (Bytes): 1019152 Other Surface Sensors Barometric Pressure: 656 mbar Relative Hunidity: 65% Wind Speed: 0.0 km/n Position Devicion: UNLIMITED MDF Stop: UNKNOVM						

IMAGEN 36 - PANTALLA PRINCIPAL DEL PROGRAMA INFORMÁTICO CLIENTE PARA EL RADIÓMETRO RPG-225-TP

El marco A contiene un conjunto de pestañas que muestran información gráfica relacionada con la captura de las variables Temperatura de brillo (BTs), Atenuación (Atenuation), Meteorología (Meteorological Sensors) y estado del sistema (Housekepping).

El marco B muestra el estado de la rutina de captura y la fecha/hora de las calibraciones Sky Tipping y Noise Calibration.

El marco C muestra la información más importante relacionada al estado del radiómetro (estado del GPS, temperaturas del radiómetro, estado de la calibración, datos del archivo MDF, etc.).

5. Si la rutina ha sido programada en modo de captura ILIMITADO, se debe de hacer uso de <u>Terminate Running Batch</u> para dar fin a la rutina. Esta se ubica en la opción <u>Measurements</u> del menú principal. Se puede también pulsar la combinación de teclas



Para más detalles, se sugiere consultar las seccion 4 (Software Description) del Manual de uso del programa informático cliente [5].

5.4. ESTRUCTURA DE DIRECTORIOS USADA POR LA RUTINA DE CAPTURA

En la sección PROGRAMACIÓN se especifica la forma de cómo serán guardados los datos de la rutina de captura, así como la nomenclatura utilizada para nombrar los archivos generados. En la computadora cliente existe una estructura de carpetas donde se almacena, ya sea de manera temporal o definitiva, estos archivos. En la imagen 37 se señalan las carpetas y su finalidad.



IMAGEN 37 - ESTRUCTURA DE DIRECTORIOS USADA POR EL PROGRAMA INFORMÁTICO CLIENTE DEL RADIÓMETRO RPG-225-TP

Los archivos que se obtienen de la rutina de captura son almacenados de manera temporal en la carpeta Data. En la imagen 37 se muestra un ejemplo de los archivos que se obtienen. Se aprecia que utilizan la nomenclatura Año-Mes-Día-Hora.Ext, la extensión ATN guarda los datos en formato binario de la variable Atenuación y la extensión ATN.ASC guarda la misma variable pero los datos están en formato ASCII. De igual manera, sucede con la extensión BRT y BRT.ASC para la variable Temperatura de Brillo, la extensión HKD y HKD.ASC para los datos relacionados al estado del radiómetro (Housekeeping) y la extensión MET y MET.ASC para los datos meteorológicos.

Al finalizar un día de captura o al detener la rutina de captura, los archivos son colocados de manera definitiva en una secuencia de carpetas que son nombradas usando el número correspondiente al año, mes y día (Y<# año> - M<# mes> - D<# día>. El programa informático cliente mueve los archivos de la carpeta Data a su ruta correspondiente y después realiza una concatenación para cada extensión descrita anteriormente. Los archivos concatenados utilizan la nomenclatura Año-Mes-Día. Ext.

5.5.INFLUENCIA DE LAS CALIBRACIONES EN LA RUTINA DE CAPTURA

Durante la programación de la rutina de captura, se especifican dos tipos de calibraciones: Sky Tipping y Gain Calibration. Estas calibraciones llegan a interrumpir el proceso de captura de datos en determinados momentos y deriva en ausencia de información en pequeños intervalos de tiempo. Por lo general, la calibración Gain Calibration se ejecuta con más frecuencia que la calibración Sky Tipping. Sin embargo, la primera interrumpe la captura solo unos cuantos segundos (de 5 a 60 segundos) mientras que la segunda puede hacer una interrupción de hasta 3 minutos. Por lo tanto es aconsejable programar calibraciones con tiempos razonables. El fabricante recomienda que la calibración Sky Tipping se realice mínimo cada hora. Con esta recomendación la captura de datos se verá afectada mínimamente.

La configuración actual del perfil para la captura de datos del radiómetro es la siguiente:

- Se realizan capturas cada 10 segundos.
- Los datos se obtienen con la posición del espejo a 90°.
- Se utiliza el formato de fecha local (UTC-6 en horario de invierno y UTC-5 en horario de verano)
- Las calibraciones de tipo GAIN CALIBRATION se realizan cada 15 minutos. La duración es de 15 segundos. El horario de ejecución para la calibración se referencia a las 0:00 horas (medianoche), es decir, las calibraciones se realizarán en los minutos 0, 15, 30 y 45 de cada hora del día.
- Las calibraciones de tipo SKY TIPPING se realizan cada 60 minutos. La duración es aproximadamente de 3 minutos. El horario de ejecución para la calibración se referencia a las 0:00 horas (medianoche), es decir, las calibraciones se realizarán al inicio de cada hora del día.

En la imagen 38 se esquematiza el comportamiento de una rutina de captura que inicia justo a las 0:00 hrs. Al tener configurada la calibración SKY TIPPING con referencia a las 0:00 hrs, esta es realizada en primera instancia. La duración es de 3 minutos. A continuación se realiza una calibración GAIN CALIBRATION, también con referencia a las 0:00 hrs. La duración es de 15 segundos. Hechas estas calibraciones, la captura de datos inicia a las 0:03:16 hrs con duración de 11 minutos y 44 segundos. Durante el resto de la hora 0 se realizaran 3 calibraciones GAIN CALIBRATION (0:15:00 hrs., 0:30:00 hrs. y 0:45:00 hrs.) y 3 periodos de captura de datos (con duración de 14 minutos y 44 segundos). A la hora 1 se repetirá el comportamiento anterior y así sucesivamente con las horas siguientes.

Suponiendo que la rutina de captura inicia en una fracción de alguna hora X, un periodo de captura iniciará inmediatamente. El periodo de captura se interrumpirá ya sea por una calibración GAIN CALIBRATION o SKY TIPPING, lo primero que suceda.



IMAGEN 38 - DIAGRAMA DEL PROCESO DE CAPTURA DE DATOS PARA EL RADIÓMETRO RPG-225-TP

6.ELABORACIÓN DE LOS REPORTES DE OPACIDAD ATMOSFÉRICA EN EL SITIO GTM

Los datos adquiridos por el sistema de monitoreo de la opacidad atmosférica son utilizados para elaborar documentos informativos que contienen tablas y gráficos estadísticos que permiten visualizar el comportamiento de la opacidad atmosférica en el sitio del GTM durante un mes determinado. En las siguientes secciones se describen cada uno de las etapas para elaborar los reportes meteorológicos.

6.1. VALIDACIÓN, REDUCCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Para la elaboración del contenido de los reportes se utiliza un proceso de validación, reducción y análisis de datos que consiste en 3 pasos.

- Los archivos *.ATN en formato ASCII (datos de atenuación atmosférica) son revisados para verificar que los valores registrados sean correctos. Se excluyen aquellos que estén fuera del rango [0.001, 20] y/o presenten un comportamiento no aceptable o extraño. Los valores erróneos son substituido por la señal " --- " que indica un dato no valido.
- Los valores de atenuación atmosférica son convertidos a valores de opacidad atmosférica (Tau) usando la ecuación 1. Posteriormente, los archivos con los valores de opacidad atmosférica son concatenados en un archivo único que contiene las mediciones de un mes entero.
- 3. Los archivos de texto mensuales son utilizados para realizar un análisis estadístico. Se hace uso de software especializado en procesos estadísticos y de graficación avanzada para obtener un conjunto de parámetros de estadística (media, mediana, cuartiles, desviación estándar, máximos y mínimos), porcentajes (de datos válidos e inválidos, de datos perdidos) y gráficos (de líneas, histogramas, de estadística).

6.2. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO DE LOS REPORTES METEOROLÓGICOS

Los reportes mensuales contienen principalmente los siguientes elementos:

- Tablas con estadísticas y porcentajes
- Graficas de línea
- Histogramas
- Graficas de estadística

6.2.1.TABLAS CON ESTADÍSTICAS Y PORCENTAJES

Se elaboran dos tablas con estadísticas y porcentajes. La primera tabla (imagen 39) contiene estadísticas y porcentajes de los horarios del día 00:00-06:00, 06:00-12:00, 12:00-18:00, 18:00-24:00, 22:00-06:00 y 00:00-24:00 hrs. Esta tabla contiene 16 filas y su contenido se describe a continuación:

- 1. VALID DATA QUANTITY, cantidad de datos que han pasado los criterios de validación.
- 2. VALID DATA PERCENT, porcentaje de datos que han pasado los criterios de validación.

- **3.** NO VALID DATA QUANTITY, cantidad de datos que no han pasado los criterios de validación.
- 4. NO VALID DATA PERCENT, porcentaje de datos que no han pasado los criterios de validación.
- 5. PERCENT OF TAU VALUES [t<0.1], porcentaje de valores de opacidad atmosférica menores a 0.1
- **6. PERCENT OF TAU VALUES [0.1<t<0.2]**, porcentaje de valores de opacidad atmosférica (Tau) mayores a 0.1 pero menores a 0.2
- **7. PERCENT OF TAU VALUES [0.2<t<0.4]**, porcentaje de valores de opacidad atmosférica mayores a 0.2 pero menores a 0.4
- 8. PERCENT OF TAU VALUES [t>0.4], porcentaje de valores de opacidad atmosférica mayores a 0.4
- **9. MEAN (t)**, valor correspondiente a la media aritmética (promedio) de los valores de opacidad atmosférica.
- **10. MINIMUM (t)**, valor mínimo encontrado en el conjunto de los valores de opacidad atmosférica.
- **11. 1ST QUARTILE (t)**, valor del percentil 25 o primer cuartil de los valores de opacidad atmosférica.
- **12. MEDIAN (t)**, indica la mediana o segundo cuartil de los valores de opacidad atmosférica.
- **13. 3RD QUARTILE (t)**, valor del percentil 75 o tercer cuartil de los valores de opacidad atmosférica.
- **14. MAXIMUM (t)**, valor máximo encontrado en el conjunto de los valores de opacidad atmosférica.
- **15. STANDAR DEVIATION (t)**, valor que indica la desviación estándar calculada de los valores de opacidad atmosférica.
- 16. MISSING DAYS, días del mes que no tienen datos capturados.

1	00:00 - 06:00	06:00 - 12:00	12:00 - 18:00	18:00 - 24:00	22:00 - 06:00	00:00 - 24:00	
Valid data quantity	9195	8884	8323	8354	12037	34756	
Valid data percent	100.0%	100.0%	99.9%	100.0%	100.0%	100.0%	
No valid data quantity	2	0	11	4	2	17	
No valid data percent	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	
Percent of Tau values[r < 0.1]	82.1%	79.2%	19.3%	51.9%	77.9%	59.1%	
Percent of Tau values [0.1 < τ < 0.2]	10.0%	17.5%	44.8%	33.4%	13.3%	25.9%	
Percent of Tau values [0.2 < T < 0.4]	2.7%	2.8%	23.3%	4.9%	2.4%	8.2%	
Percent of Tau values [T > 0.4]:	5.2%	0.6%	12.6%	9.8%	6.4%	6.9%	
Mean (т)	0.1160	0.0792	0.2658	0.1851	0.1259	0.1591	
Minimum (т)	0.0142	0.0161	0.0438	0.0115	0.0115	0.0115	
1st Quartile (T)	0.0530	0.0507	0.1213	0.0668	0.0537	0.0583	
Median (т)	0.0645	0.0633	0.1673	0.0975	0.0668	0.0829	
3rd Quartile (T)	0.0860	0.0887	0.2479	0.1366	0.0944	0.1451	
Maximum (т)	18.1106	2.1456	19.6399	19.7915	18.1106	19.7915	
Standard deviation (T)	0.3750	0.0643	0.4780	0.4595	0.3496	0.3857	
Missing days	0 days						

IMAGEN 39 - EJEMPLO DE UNA TABLA CON ESTADÍSTICAS Y PORCENTAJES POR HORARIOS DEL DÍA PARA EL MES DE FEBRERO DE

2014

La segunda tabla (imagen 40) contiene las estadísticas y porcentajes por cada día del mes analizado. Esta tabla contiene 14 columnas y su contenido se describe a continuación:

- **1. DAY**, día del mes analizado.
- 2. VALID DATA (#), cantidad de datos que han pasado los criterios de validación.
- 3. VALID DATA (%), porcentaje de datos que han pasado los criterios de validación.
- 4. NO VALID DATA (#), cantidad de datos que no han pasado los criterios de validación.
- 5. NO VALID DATA (%), porcentaje de datos que no han pasado los criterios de validación.
- 6. MISSING DATA (#), número de datos que no se pudieron capturar durante el mes debido a diversas fallas en el sistema.
- **7. MISSING DATA (#)**, porcentaje de datos que no se pudieron capturar durante el mes debido a diversas fallas en el sistema.
- **8. MEAN**, valor correspondiente a la media aritmética (promedio) de los valores de opacidad atmosférica.
- **9. STANDAR DEVIATION**, valor que indica la desviación estándar calculada de los valores de opacidad atmosférica.
- **10. MINIMUM**, valor mínimo encontrado en el conjunto de los valores de opacidad atmosférica.
- **11. 1ST QUARTILE (Q1)**, valor del percentil 25 o primer cuartil de los valores de opacidad atmosférica.
- **12. MEDIAN**, indica la mediana o segundo cuartil de los valores de opacidad atmosférica.
- **13. 3RD QUARTILE (Q3)**, valor del percentil 75 o tercer cuartil de los valores de opacidad atmosférica.
- **14. MAXIMUM**, valor máximo encontrado en el conjunto de los valores de opacidad atmosférica.

	VALID	VALID	NO VALID	NO VALID	MISSING	MISSING		STANDARD		467		200	
DAY	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	MEAN	DEVIATION	MINIMUM		MEDIAN		MAXIMUM
	(#)	(%)	(#)	(%)	(#)	(%)		DEVIATION		QUANTILL		QUANTILL	
1	1295	100.0%	0	0.0%	73	5.3%	0.1246	0.0207	0.0990	0.1105	0.1174	0.1351	0.2130
2	1295	100.0%	0	0.0%	73	5.3%	0.2285	0.2875	0.0760	0.0860	0.1110	0.2456	2.9316
3	1295	100.0%	0	0.0%	73	5.3%	0.0577	0.0085	0.0438	0.0514	0.0560	0.0603	0.0967
4	1294	100.0%	0	0.0%	74	5.4%	0.1066	0.0854	0.0568	0.0668	0.0799	0.1048	1.0005
5	1055	100.0%	0	0.0%	313	22.9%	0.1119	0.0799	0.0564	0.0645	0.0718	0.1416	0.6697
6	1297	100.0%	0	0.0%	71	5.2%	0.1019	0.0602	0.0514	0.0645	0.0733	0.1355	0.4912
7	1291	99.5%	6	0.5%	71	5.2%	0.2456	0.8416	0.0461	0.0526	0.1274	0.1923	19.6399
8	1297	100.0%	0	0.0%	71	5.2%	0.1439	0.0534	0.0802	0.0982	0.1332	0.1739	0.4828
9	1282	100.0%	0	0.0%	86	6.3%	0.1516	0.2294	0.0484	0.0656	0.0967	0.1502	2.7481
10	1296	100.0%	0	0.0%	72	5.3%	0.1076	0.0601	0.0443	0.0599	0.1082	0.1316	0.5380
11	1290	100.0%	0	0.0%	78	5.7%	0.2702	0.4094	0.0345	0.0576	0.0992	0.3604	6.5447
12	1266	99.8%	2	0.2%	100	7.3%	0.3379	0.9443	0.0184	0.0741	0.1109	0.3425	18.1106
13	1318	100.0%	0	0.0%	50	3.7%	0.0807	0.1200	0.0115	0.0253	0.0354	0.1101	1.6417
14	1122	100.0%	0	0.0%	246	18.0%	0.0878	0.0819	0.0142	0.0173	0.0491	0.1589	0.6429
15	1366	100.0%	0	0.0%	2	0.1%	0.0658	0.0339	0.0230	0.0464	0.0604	0.0794	0.4874
16	1323	100.0%	0	0.0%	45	3.3%	0.0442	0.0189	0.0273	0.0299	0.0334	0.0576	0.0959
17	975	100.0%	0	0.0%	393	28.7%	0.0459	0.0202	0.0276	0.0299	0.0334	0.0576	0.1006
18	1365	100.0%	0	0.0%	3	0.2%	0.0622	0.0152	0.0411	0.0468	0.0652	0.0752	0.0990
19	1205	100.0%	0	0.0%	163	11.9%	0.0949	0.0346	0.0553	0.0668	0.0810	0.1182	0.1905
20	1296	100.0%	0	0.0%	72	5.3%	0.1261	0.1232	0.0480	0.0553	0.0921	0.1428	1.3117
21	1276	100.0%	0	0.0%	92	6.7%	0.0910	0.0459	0.0599	0.0664	0.0716	0.1006	0.5231
22	1223	100.0%	0	0.0%	145	10.6%	0.0906	0.0686	0.0461	0.0553	0.0599	0.1155	0.7929
23	1077	100.0%	0	0.0%	291	21.3%	0.2115	0.3596	0.0503	0.0599	0.0668	0.1550	2.5536
24	1296	100.0%	0	0.0%	72	5.3%	0.2179	0.3360	0.0480	0.0622	0.0821	0.1712	2.5739
25	1284	99.6%	5	0.4%	79	5.8%	0.2575	0.5663	0.0299	0.0714	0.1333	0.2813	13.4026
26	1257	99.7%	4	0.3%	107	7.8%	0.4482	1.0638	0.0480	0.0741	0.1746	0.5001	19.7915
27	824	100.0%	0	0.0%	544	39.8%	0.4089	0.3181	0.1128	0.1742	0.2485	0.6678	1.8334
28	1296	100.0%	0	0.0%	72	5.3%	0.2049	0.2488	0.0438	0.0862	0.1228	0.2254	3.2328

IMAGEN 40 - EJEMPLO DE UNA TABLA CON ESTADÍSTICAS Y PORCENTAJES PARA CADA DÍA PERTENECIENTES AL MES DE FEBRERO DE

2014

6.2.2.GRÁFICAS DE LÍNEA

Las gráficas de línea (imagen 41) son utilizadas para mostrar los datos de opacidad atmosférica capturados durante el mes. En el eje X se establecen los días del mes y en el eje Y el valor de la opacidad atmosférica.



IMAGEN 41 - EJEMPLO DE UNA GRÁFICA DE LÍNEA PARA MOSTRAR LOS VALORES DE OPACIDAD ATMOSFÉRICA PERTENECIENTES AL MES DE FEBRERO DE 2014

6.2.3.HISTOGRAMAS

Los histogramas (imagen 42) muestran la distribución de frecuencias de los datos de opacidad atmosférica y ayudan a observar los valores dominantes del mes analizado. Se elabora un histograma para cada uno de los horarios del día (00:00-06:00, 06:00-12:00, 12:00-18:00, 18:00-24:00, 22:00-06:00 y 00:00-24:00 hrs.)



IMAGEN 42 - EJEMPLO DE UN HISTOGRAMA PARA LOS VALORES DE OPACIDAD ATMOSFÉRICA OCURRIDOS EN EL HORARIO 18:00-24:00 DEL MES DE FEBRERO DE 2014

6.2.4.GRÁFICAS DE ESTADÍSTICA

Las gráficas de estadística (imagen 43) muestran los valores estadísticos pertenecientes al primer y tercer cuartil, media y mediana que fueron obtenidos después de analizar los datos de opacidad atmosférica de un mes entero. En el eje X se establecen los días del mes y en el eje Y el valor de la opacidad atmosférica.



IMAGEN 43 - EJEMPLO DE UNA GRÁFICA DE ESTADÍSTICA PARA MOSTRAR LOS VALORES DEL PRIMER Y TERCER CUARTIL, MEDIA Y MEDIANA PERTENECIENTES A LA OPACIDAD ATMOSFÉRICA OCURRIDA EN EL HORARIO 00:00-06:00 DEL MES DE FEBRERO DE 2014

7.ALGUNOS RESULTADOS OBTENIDOS

La medición del valor de la opacidad atmosférica en el sitio del GTM ha sido tomada continuamente desde junio de 2013 y en esta sección se presentan algunos resultados obtenidos durante las temporadas húmeda y seca. La temporada seca es el mejor periodo para realizar observaciones astronómicas en las longitudes de onda pertenecientes a los 1-3 milímetros. Esta temporada se caracteriza por tener noches muy estables en cuanto a la nula presencia de nubes. El periodo de tiempo comprendido entre los meses de noviembre a marzo son idóneos para obtener valores de opacidad atmosférica inferiores a 0.2 (Tau). En la imagen 44, perteneciente al mes de febrero de 2014, se puede apreciar que los días del 15 al 18 de febrero fueron excelentes días donde la opacidad fue muy baja.



IMAGEN 44 - COMPORTAMIENTO DE LA OPACIDAD ATMOSFÉRICA A 225 GHZ EN EL SITIO DEL GTM DURANTE LOS DÍAS 15-18 DE FEBRERO DE 2014 [6]

En la imagen 45 se muestra un comparativo con los histogramas de los meses más húmedos y secos de la temporada. Los histogramas muestran datos de un día completo (0-24 horas) y el horario típico de observación astronómica (22-6 horas.) La opacidad atmosférica es tomada con una frecuencia de ~1 muestra/minuto y los datos cubrieron el 95% y el 100% del mes de agosto/2013 y febrero/2014 respectivamente. La estadística de la opacidad atmosférica para el mes de febrero/2014 incluye un mínimo de 0.01, el primer y tercer cuartil de 0.05 y 0.14 respectivamente, y una mediana de 0.08. A pesar de que la opacidad atmosférica es alta en la temporada húmeda, es posible todavía realizar observaciones en las longitudes de onda a 3 milímetros o de asignar ese tiempo para realizar trabajos de mantenimiento y actividades de ingeniería especializada.



IMAGEN 45 - HISTOGRAMAS DE OPACIDAD ATMOSFÉRICA PARA LOS MESES MÁS SECOS Y HÚMEDOS DE LA TEMPORADA 2013/2014 EN EL SITIO GTM [6]

Finalmente, en las siguientes imágenes se muestran los resúmenes estadísticos mensuales de las variaciones del 1er cuartil, 3er cuartil y mediana obtenidos de los datos de opacidad atmosférica en el sitio GTM y registrados con el radiómetro RPG-225-TP. Estos datos corresponden al periodo comprendido entre agosto de 2013 a julio de 2014. La imagen 46 muestra la estadística de todos los datos de opacidad adquiridos durante todo el día. Se puede apreciar que el comportamiento es bastante similar a la gráfica que se muestra en la imagen 2. La imagen 47 muestra la estadística para el horario típico usado para la realización de observaciones astronómicas.



IMAGEN 46 - MEDICIONES DE OPACIDAD ATMOSFÉRICA EN EL SITIO DEL GTM A 225 GHZ Y SUS VARIACIONES EN EL PERIODO AGOSTO DE 2013 A JULIO DE 2014 EN EL HORARIO DE 00:00 A 23:59



IMAGEN 47 - MEDICIONES DE OPACIDAD ATMOSFÉRICA EN EL SITIO DEL GTM A 225 GHZ Y SUS VARIACIONES EN EL PERIODO AGOSTO DE 2013 A JULIO DE 2014 EN EL HORARIO DE 22:00 A 06:00

8.CONCLUSIONES

Desde el año 2013 se tiene instalado y funcionando un radiómetro operando en la frecuencia de 225 GHz en el edificio del *Visitor Center* ubicado en el sitio del GTM, dicho instrumento ha permitido monitorear la opacidad atmosférica en las temporadas húmeda y seca a la fecha, confirmando que el lugar denominado Volcán Sierra Negra es un excelente sitio para realizar observaciones milimétricas a 1 y 2 mm de longitud de onda durante el invierno, y el resto del año se puede observar a 2 y 3 mm de longitud de onda. El radiómetro ha permitido obtener un muestreo de datos mucho más alto que sus predecesores gracias al sistema eléctrico y protecciones utilizadas en la instalación, la fibra óptica dedicada para la transmisión de datos y el sistema de respaldo de energía eléctrica, con lo que el radiómetro opera de manera prácticamente ininterrumpida. Adicionalmente los datos son almacenados en medios de almacenamiento certificados para operar a grandes alturas como los 4600 msnm a los que se encuentra el telescopio. El sistema de monitoreo de la opacidad atmosférica se enlaza a un servidor web para la transmisión de datos en tiempo real y mostrar la medición instantánea de la opacidad a través de una página web en internet. Las estadísticas completas de las mediciones realizadas podrán consultarse en otros reportes por separado.

El Gran Telescopio Milimétrico ha entrado en operación científica y la medición de la opacidad atmosférica es esencial durante las jornadas de observación para tener una medida cuantitativa de la calidad del cielo en longitudes de onda milimétricas, esto en conjunto con los datos que provee la estación meteorológica [7] instalada en el sitio, permiten seleccionar el instrumento científico apropiado y programar las observaciones astronómicas de una manera eficiente; la medición de opacidad también es usada en la calibración de datos de la cámara *AzTEC*. Las mediciones obtenidas con el radiómetro desde su instalación en el sitio Volcán Sierra Negra han permitido monitorear la opacidad de manera continua, demostrando que el sitio puede llegar a tener periodos de tiempo con condiciones excelentes no solo para observaciones en longitudes de onda milimétricas sino también sub-milimétricas (futuros instrumentos) como lo demuestran las opacidades medidas de 0.01 a 0.04 en febrero del 2014.

9.APENDICE A: NOTAS DE CALIBRACIÓN

A continuación se muestran las Notas de Calibración del radiómetro. Estas notas han sido extraídas del Manual de uso del programa informático cliente [5], y a través de las ecuaciones mostradas se puede apreciar el proceso de conversión entre voltajes y las diversas temperaturas involucradas en el proceso de calibración.

Notes on Calibrations

Relation between detector voltages U_d and scene temperatures T_{sc} :

 $U_d = G (T_{sys} + T_{sc})^{Alpha}$, for radiometers <u>without</u> Full Dicke Switching Mode (Type 1) $U_d = G (T_{sys} + T_{sc})$, for radiometers <u>with</u> Full Dicke Switching Mode (Type 2)

System Noise Temperature T_{sys} , Noise Diode Temp. T_N and Gain G:

<u>Absolute Calibrations (Hot / Cold)</u>: detector voltages on black body target (temperature $T_H = T_{amb}$): U_H, cold target (LN or Skydip, temperature T_C): U_C :

 $\begin{array}{l} Y = (\;U_{H} \,/\, U_{C} \;)^{1/Alpha} \,, \; T_{sys} = (T_{H} - Y \,^{\star} T_{C}) / (Y - 1) \,, \; 0.95 < Alpha <= 1 \;\;(sec.\; 4.1.3.1), \; Type\; 1 \\ Y = (\;U_{H} \,/\, U_{C} \;), \;\; T_{sys} = (T_{H} - Y \,^{\star} T_{C}) / (Y - 1) \,, \;\; Type\; 2 \\ G = U_{H} \,/\, (T_{sys} + T_{H})^{Alpha} \,, \;\; Type\; 1 \\ G = U_{H} \,/\, (T_{sys} + T_{H}) \,, \;\; Type\; 2 \\ On\; black\; body\; target\; (T_{amb}), \; noise\; diode\; turned\; off:\; U_{\text{-N}} \,, \; noise\; diode\; turned\; on:\; U_{\text{+N}} \,, \\ T_{N} = (U_{\text{+N}} \,/\, G)^{1/Alpha} - T_{sys} - T_{amb} \,, \;\; Type\; 1 \end{array}$

 $\begin{array}{l} T_{N} = (U_{+N} - U_{-N}) \ / \ G \ , \ Type \ 2 \\ Type \ 2 \ only: \ Dicke \ Switch \ (DS) \ ON, \ radiometer \ pointing \ to \ amb. \ temp. \ target: \\ DelT = U_{DS} \ / \ G - T_{sys} \ - T_{DSp} \ , \\ Dicke \ Switch \ (DS) \ leakage \ (Type \ 2 \ only): \ DS \ ON, \ radiometer \ pointing \ to \ cold \ target: \\ Alpha = (T_{DSp} \ + \ DelT \ - \ (U_{DS} \ / \ G \ - \ T_{sys})) \ / \ (T_{DSp} \ + \ DelT \ - \ T_{C}) \end{array}$

If a liquid nitrogen cooled target is used, the following correction has to be applied:

 $T_{\rm c}$ [K]= 77.36 -8.2507e-3*(1013.25- P) + 1.9 , P in mbar, 1.9 K is correction for surface reflection on LN (n = 1.2)

<u>Continuous full calibration on scene (Type 2 only)</u>: Noise Diode turned off: U_{-N}, noise diode turned on: U_{+N}, radiometers looking on scene temperature T_{sc}, Dicke switch turned ON (blocking scene), physical Dicke switch temperature T_{DSp}:

G = (U_{+N} - U_{-N}) / T_N , T_{sys} = U_{-N} / G - (T_{DSp} + DelT - Alpha * (T_{DSp} - T_{sc})), Alpha= DS leakage (determined in absolute calibration)

<u>Continuous noise switching on scene (Type 1 only)</u>: noise diode turned off: U_{-N}, noise diode turned on: U_{+N} (10 Hz), radiometers pointing to scene (temperature T_{sc}):

 $D = (U_{\ast N} / U_{\cdot N})^{1/Alpha} - 1$, $T_{sc} = (T_N - D * T_{sys}) / D$, $G = U_{\cdot N} / (T_{sys} + T_{sc})^{Alpha}$ Calibration on ambient temp. black body target (T_{amb}) : $T_{sys} = (U_d / G)^{1/Alpha} - T_{amb}$ Type 1, no noise switching:

gain calibration on ambient temp. target (T_{amb}) : $G = U_d / (T_{sys} + T_{amb})^{Alpha}$ noise calibration on ambient temp. target (T_{amb}) : $D = (U_{+N} / U_{-N})^{1/Alpha} - 1$, $T_{sys} = (T_N - D^* T_{amb}) / D$, $G = U_{-N} / (T_{sys} + T_{amb})^{Alpha}$

10.APENDICE B: MANTENIMIENTO

El radiómetro RPG-225-TP ha sido diseñado para soportar todo tipo de climas extremos, sin embargo deben de practicarse una serie de labores de mantenimiento para garantizar el desempeño óptimo de la instrumentación, sensores meteorológicos, conexiones y de los programas informáticos.

El fabricante recomienda una lista de actividades relacionadas al mantenimiento preventivo para el radiómetro. En la tabla 7 se muestran las actividades sugeridas, así como los periodos de tiempo promedio para aplicarlos. Dependiendo de las condiciones del sitio de instalación es posible optimizar los periodos de tiempo de aplicación.

ACTIVIDAD	INTERVALO DE TIEMPO RECOMENDADO PARA SU APLICACIÓN				
Limpieza del detector de lluvia	6 meses				
Limpieza del ventilador	6 meses				
Limpieza de ventilas y carcasa	12 meses				
Limpieza de la ventana protectora del espejo	6 meses				
Inspección de conexiones y cableados	12 meses				
Calibración absoluta con LN2	6 meses o se reubique el radiómetro				
Reemplazo de la ventana protectora del espejo	24 meses o cuando se note dañada				
Mantenimiento de la computadora cliente	12 meses				
TADLA 7. LISTA DE ACTIVIDADES DADA EL MANITENIMIENTO DELVENTIVO DEL DADIÓMETRO DEC 235 TR					

TABLA 7 - LISTA DE ACTIVIDADES PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL RADIÓMETRO RPG-225-TP

Para más detalles, se sugiere consultar la sección 4 (Maintenance) del Manual de instalación y mantenimiento [4].

11.REFERENCIAS

[1]Página oficial de Radiometer Physics GmbH http://www.radiometer-physics.de/rpg/html/Home.html

[2] Radiometer Physics GmbH, Tipping Radiometers for Tau / Opacity Measurements http://www.radiometer-physics.de/rpg/html/Products_Radiometers_Tau-XXX.html

[3] Radiometer Physics GMbH, Technical Instrument Manual, RPG-MWR-STD-TM, Issue 00/01 (2011)

[4] Radiometer Physics GMbH, Installation and maintenance Manual, RPG-MWR-STD-INST, Issue 00/01 (2011)

[5] Radiometer Physics GMbH, Software Manual, RPG-MWR-STD-SW, Issue 00/01 (2011)

[6] Ferrusca, D.; Contreras R., J., "Weather monitor station and 225 GHz radiometer system installed at Sierra Negra: the Large Millimeter Telescope site", Proceedings of the SPIE, Volume 9147, id. 914730 10 pp. (2014)

[7] Ferrusca, D.; Contreras R., J., "Sistema de monitoreo meteorológico para el Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano", Reporte técnico RT F47 2014 RT0610, Biblioteca INAOE. (2014)

[8] Web power switch 6. User's guide. Digital Loggers, Inc.