



INAOE

**Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica
y Electrónica.**

**Sistema de monitoreo
meteorológico para el
Gran Telescopio
Milimétrico
*Alfonso Serrano***

por

Dr. Daniel Ferrusca R.

Ing. Jesús Contreras R.

REPORTE TÉCNICO

GRAN TELESCOPIO MILIMÉTRICO

GTM-LMT

Sta. María Tonantzintla, Pue.

Noviembre. 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
2.	GENERALIDADES.....	2
3.	SISTEMA DE MONITOREO METEOROLÓGICO	3
3.1	Sensores meteorológicos	3
3.1.1	Ubicación de los sensores meteorológicos	6
3.2	Elementos de control	7
3.2.1	Dataloggers	7
3.2.2	Web power switches	8
3.2.3	Equipo de cómputo	10
3.2.4	Ubicación de los elementos de control.....	11
3.3	Elementos de protección contra descargas eléctricas.....	12
3.3.1	Protecciones para líneas de transmisión de señales digitales	12
3.3.2	Protecciones para líneas de transmisión de señales analógicas.....	13
3.4	Elementos para la captura, procesamiento y almacenamiento de datos meteorológicos 15	
3.4.1	Programa informático	16
3.4.2	Almacenamiento de datos	17
3.4.3	Páginas web.....	18
4.	ELABORACIÓN DE REPORTE METEOROLÓGICOS	22
4.1	Validación, reducción y análisis de datos.....	22
4.2	Descripción del contenido de los reportes meteorológicos	22
4.2.1	Tabla con estadísticas y porcentajes.....	22
4.2.2	Gráficas de línea	23
4.2.3	Gráficas para el viento.....	23
4.2.4	Histogramas.....	24
4.2.5	Gráficas para la precipitación pluvial	24
5.	ALGUNOS RESULTADOS METEOROLÓGICOS OBTENIDOS	26
6.	CONCLUSIONES	30
7.	REFERENCIAS.....	31

1. PRESENTACIÓN

El propósito de este documento es proporcionar información técnica sobre el sistema de monitoreo meteorológico instalado en el sitio del GTM. Se incluyen descripciones de sus componentes, instalaciones y su operación. También se mencionan aspectos relacionados al programa informático utilizado para implementar los procesos de adquisición, procesamiento, almacenamiento y publicación en Internet de las diversas variables meteorológicas monitoreadas en el sitio. Se describen los procesos de organización, clasificación y reducción de los datos meteorológicos; la elaboración de reportes y se presentan algunos resultados obtenidos.

2. GENERALIDADES

El Gran Telescopio Milimétrico (GTM) es una antena de 50 metros diseñada para hacer observaciones astronómicas en longitudes de onda ubicadas en el rango de los 0.85 a 4 mm. El GTM está localizado en la cima del lugar denominado Sierra Negra, un volcán extinto en Puebla, México, a una altitud de 4580 msnm. Un extenso estudio de caracterización del sitio, hecho en el pasado, ha mostrado que durante los meses de verano el clima se presenta húmedo con cielo nuboso, mientras que en los meses de invierno se presenta un clima seco en el sitio, el cual provee las mejores condiciones para hacer observaciones en longitudes de onda milimétricas.

Los datos meteorológicos han sido tomados desde el inicio de la construcción del telescopio y han mostrado que las condiciones del sitio son favorables para la operación de la gran antena del GTM [1, 2, 3]. La temperatura media es de 1.07 °C con pequeñas variaciones menores a 1°C entre la temporada húmeda y seca; la velocidad del viento media es de 3.77 m/s haciendo posible operar la antena dentro de su límite de diseño el 90% del tiempo; la humedad media es 68.87%, 50.92% en la temporada seca y 84.92% en la temporada húmeda.

Desde 2013, el GTM ha entrado a su etapa de operación científica y un nuevo sistema de monitoreo meteorológico ha sido implementado para proveer continuamente y en tiempo real las condiciones meteorológicas que se presentan en el sitio. La información es utilizada por el personal tanto científico como técnico para la planeación de estrategias en las observaciones astronómicas, procesos de calibración y de seguridad.

3. SISTEMA DE MONITOREO METEOROLÓGICO

El sistema original de monitoreo meteorológico estuvo en operaciones de 1996 a 2007; sin embargo el equipo sufrió daños debido a descargas eléctricas, algunos de sus sensores presentaron fallas debido a su antigüedad y los protocolos de comunicación y elementos de protección eléctrica se volvieron obsoletos. Por estas razones técnicas se decidió instalar un nuevo sistema de monitoreo meteorológico el cual empezó a funcionar a partir de abril de 2013. El sistema está dividido en cuatro partes importantes (imagen 1): los sensores meteorológicos, los elementos de control, los elementos de protección contra descargas eléctricas; y los elementos para la captura, procesamiento y almacenamiento de datos [4]. A continuación se dan más detalles sobre estos sub-sistemas en las siguientes secciones.

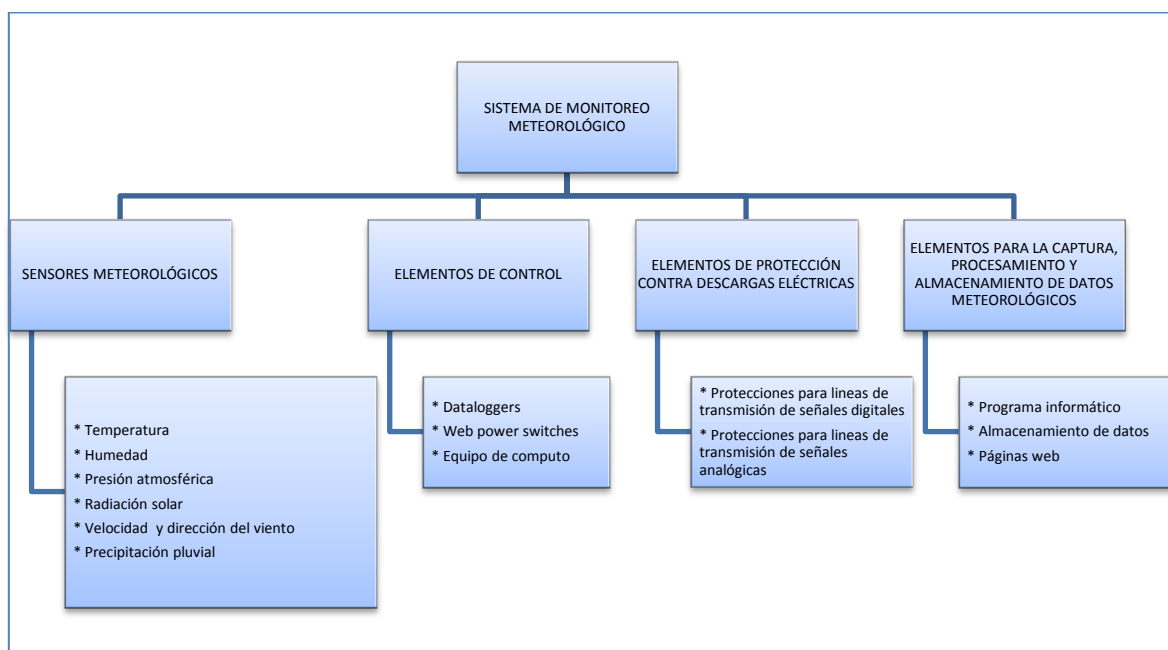


IMAGEN 1 – DIAGRAMA JERÁRQUICO QUE MUESTRA LAS PARTES QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE MONITOREO METEOROLÓGICO

3.1 SENSORES METEOROLÓGICOS

Las condiciones extremas que pueden suceder en el sitio del GTM llegan a tal nivel que es necesario contar con equipo especializado que pueda soportarlas. Para ello se emplea un conjunto de sensores meteorológicos que cumplen con los requerimientos para la aplicación en la industria o investigación. Los sensores meteorológicos son dispositivos electrónicos para medir una variable meteorológica determinada. Los materiales utilizados en su fabricación son de gran calidad y resistencia, lo que permite ser utilizados en climas extremos como los que suelen presentarse en el sitio GTM. Las variables monitoreadas son:

- Temperatura: medida en grados Celsius (°C)
- Humedad relativa: se expresa en tanto por ciento (%RH)
- Presión atmosférica: medida en milibares (mb)

- Radiación solar: expresada como la potencia incidente por unidad de superficie (W/m^2)
- Velocidad del viento: obtenida en kilómetros por hora(km/h)
- Dirección del viento: obtenida en grados sexagesimales (Deg)
- Precipitación pluvial: medida en milímetros (mm)

Los sensores meteorológicos utilizados por la estación son de las marcas Texas Weather Instruments, Texas Electronics y R. M. Young [5, 6]. Las tabla 1, 2 y 3 contienen las características técnicas de cada sensor.




SENSOR	CARACTERÍSTICAS	RANGO DE MEDICIÓN
<p>TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA</p> 	<p>Sensor de temperatura ambiente y humedad relativa con protección tipo pagoda. Marca Texas Weather Instruments, sin modelo.</p> <p><i>Especificaciones individuales:</i></p> <p>Sensor de temperatura</p> <ul style="list-style-type: none"> • Precisión a 73°F / 23°C: +/- 0.5°F / 0.3°C • Señal analógica de salida: -40...+140°F = 0...1V (-40...+60°C) <p>Sensor de humedad relativa</p> <ul style="list-style-type: none"> • Precisión a 73°F / 23°C: +/- 1.5% RH • Señal analógica de salida: 0...100% RH = 0...1V <p><i>Especificaciones generales:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Alimentación eléctrica requerida: 3.5 – 12 VDC • Temperatura de operación: La misma que indica el rango de medición del sensor de temperatura 	<p>Temperatura -40° a +60 °C</p> <p>Humedad relativa 0 a 100% RH</p>
<p>PRESIÓN ATMOSFÉRICA</p> 	<p>Sensor de presión atmosférica integrado a la tarjeta madre del datalogger. Marca Texas Weather Electronics, sin modelo.</p> <p><i>Especificaciones generales:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Resolución: 0.34 mb • Precisión de ± 0.03 mb a 75 °F/23°C • Alimentación eléctrica requerida: 12 VDC (800 mA) • Temperatura de operación: 0 a 52 °C (32 a 125 °F) 	<p>800 a 1080 mb</p>
<p>PRECIPITACIÓN PLUVIAL</p> 	<p>Sensor de precipitación pluvial (pluviómetro) con depósito en forma de cubeta y sistema de calefacción para derretir nieve. Marca Texas Electronics, modelo HT-525.</p> <p><i>Especificaciones generales:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Resolución: 0.1 mm • Precisión: 1.0% a 10 mm/hr o menos. • Alimentación eléctrica requerida: 12 VDC (800 mA) • Temperatura de operación: 0 to 52 °C (32 a 125 °F) 	<p>Sin rango</p>

TABLA 1 - INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS SENSORES METEOROLÓGICOS (PARTE 1)

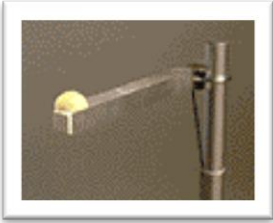

SENSOR	CARACTERÍSTICAS	RANGO DE MEDICIÓN
<p>RADIACIÓN SOLAR</p> 	<p>Sensor de radiación solar (Piranómetro). Marca Texas Weather Electronics, sin modelo.</p> <p><i>Especificaciones generales:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Respuesta espectral: 400 – 1100 nm • Alimentación eléctrica requerida: 12 VDC (800 mA) • Temperatura de operación: 0 a 52 °C (32 a 125 °F) 	<p>0 a 1400 W/m²</p>
<p>DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO (ANEMOMETRO 1)</p> 	<p>Sensor de dirección de viento mecánico (veleta) que mide el azimut horizontal del viento y medidor de velocidad horizontal del viento mecánico (copas). Esta unidad combina dispositivos de tamaño físico pequeños que cumplen o superan todas las necesidades de prevención contra deterioro. Marca Texas Electronics, modelo TD-106-5D (dirección) y TV-110-L320 (velocidad)</p> <p><i>Especificaciones individuales:</i></p> <p>Sensor de dirección del viento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Precisión: ± 3.0 ° • Resolución: 1° <p>Sensor de velocidad del viento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Precisión: ± 1.6 km/h (0.45 m/s) en todo el rango, ±0.9 km/h (0.25 m/s) a menos de 18 km/h (5.0 m/s) <p><i>Especificaciones generales:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de operación: -40 a 70 °C (-40 a 160 °F) • Alimentación eléctrica requerida: 5 – 12 VDC (5mA @ 12 VDC) 	<p>Dirección 0 a 360° mecánico 0 a 357° eléctrico</p> <p>Velocidad 0 a 160 km/h (0 a 44 m/s)</p>

TABLA 2 - INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS SENSORES METEOROLÓGICOS (PARTE 2)


SENSOR	CARACTERÍSTICAS	RANGO DE MEDICIÓN
<p>DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO (ANEMOMETRO 2)</p> 	<p>Pareja de sensores de viento de alto rendimiento, que lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones de medición de viento. Consiste de un sensor de velocidad del viento con una propela de cuatro hélices helicoidales y un sensor de dirección del viento con una veleta durable. Construcción resistente a la corrosión que protege el sensor de ambientes hostiles. Marca RM Young, modelo 05103V</p> <p><i>Especificaciones individuales:</i></p> <p>Sensor de dirección del viento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Señal de salida: 13.9 mV por grado <p>Sensor de velocidad del viento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Señal de salida: 50mV por m/s <p><i>Especificaciones generales</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Alimentación eléctrica requerida: 8 – 24 VDC (5mA @ 12 VDC) • Temperatura de operación: -50 a 50 °C (-58 a 122 °F) 	<p>Dirección 0 a 360° mecánico 0 a 355° eléctrico</p> <p>Velocidad 0 a 360 km/h (0 a 100 m/s)</p>

TABLA 3 - INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS SENSORES METEOROLÓGICOS (PARTE 3)

3.1.1 UBICACIÓN DE LOS SENSORES METEOROLÓGICOS

Los sensores meteorológicos se encuentra instalados en la azotea del edificio denominado *Visitor Center - VC* (imagen 2), el cual se ubica a una distancia de 105 metros al norte del telescopio. En la zona del mirador están los sensores instalados en una torre a 17.5 metros a partir de la base del edificio (imagen 3)



IMAGEN 2 - EDIFICIO VISITOR CENTER EN EL SITIO GTM

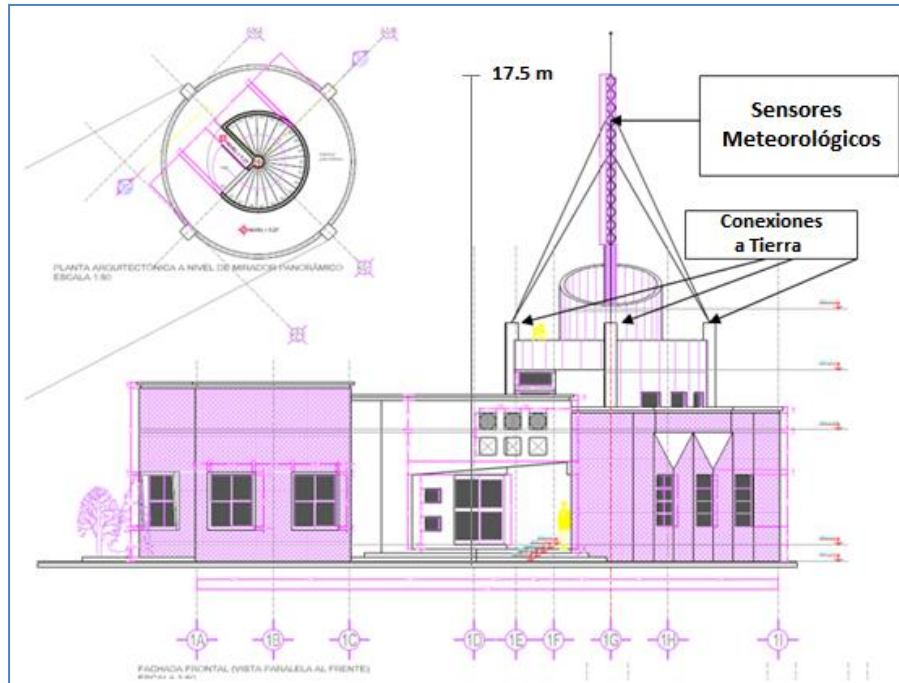


IMAGEN 3 - VISTA FRONTAL DEL EDIFICIO VISITOR CENTER, A LA DERECHA SE MUESTRA EL MIRADOR Y LA TORRE CON LOS SENSORES METEOROLÓGICOS

3.2 ELEMENTOS DE CONTROL

Esta parte del sistema de monitoreo meteorológico lo componen elementos de hardware tales como dataloggers, web power switches y equipos de computo. A continuación se describen sus funciones dentro del sistema y sus características técnicas.

3.2.1 DATALOGGERS

El sistema usa dos dispositivos electrónicos llamados *dataloggers* y su función es la de procesar las señales eléctricas que provienen de los sensores descritos en la sección anterior. La función principal de cada datalogger es recibir la señal eléctrica que proviene de un sensor, obtener un valor numérico en términos de la unidad de medición de la variable meteorológica y guardarlo en memoria junto con la hora y fecha de ocurrencia. Cada datalogger cuenta con un puerto serie (RS-232) que puede ser utilizado para establecer una comunicación con una computadora (PC) y con el uso de un conjunto de comandos se pueden obtener los datos almacenados en memoria.

El primer datalogger, marca Texas Weather Instruments modelo WLS-8000 [7], procesa las señales de los instrumentos de la marca Texas Weather Instruments y Texas Electronics. El anemómetro RM Young está conectado a un datalogger marca Texas Electronics, modelo SOLUS [8]. El datalogger SOLUS fue el primer datalogger usado en los inicios de la estación meteorológica y se mantiene funcional en la actualidad. El datalogger TWI es más moderno y ofrece más características, sobretodo en presentación de datos ya que cuenta con un panel de LEDs que despliega el valor actual de cada una de las variables meteorológicas monitoreadas.

En la tabla 4 se describen las características más sobresalientes de cada datalogger.



DATALOGGER	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
<p style="text-align: center;">SOLUS</p> 	<p>Computadora de propósito específico que incluye un conjunto de puertos analógicos y digitales de entrada/salida, contadores y acumuladores; que puede detectar y monitorear eventos y registrar en su memoria los datos adquiridos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 14 entradas analógicas (± 5 a 10 V) • 8 entradas digitales (5V, TTL compatible) • 8 salida digitales (colector abierto, $\leq 30V@200mA$) • 4 contadores (5V, TTL compatible) • 1 acumulador (5V, TTL compatible) • Memoria con capacidad de almacenamiento de hasta 8000 muestras. • 2 puertos RS-232 • Sistema de protección contra descargas eléctricas. • Alimentación eléctrica requerida: 12 VDC @ 200mA • Temperatura de operación: -40 a 70°C
<p style="text-align: center;">TWI</p> 	<p>Computadora digital para monitoreo del clima tipo industrial con panel de despleadores LED para mostrar información.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 5 despleadores LED para mostrar hora y fecha, dirección y velocidad del viento (actual y promedio); temperatura interna y externa, humedad, radiación solar; presión atmosférica, precipitación pluvial acumulada (diaria, mensual y total), sensación térmica, punto de rocío; máximos y mínimos diarios. • Despliegue de información en sistema inglés y métrico. • Memoria con capacidad de almacenamiento de hasta 4000 muestras. • 1 puerto RS-232 • Fuente de respaldo de energía interrumpible para 12 horas. • Alimentación eléctrica requerida: 12 VDC @ 800mA • Temperatura de operación: -40 a 70°C

TABLA 4 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS DATALOGGERS TWI Y SOLUS

3.2.2 WEB POWER SWITCHES

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 4). Mediante este control es posible prender, apagar o reiniciar de manera segura los equipos conectados.



IMAGEN 4 – 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 [9].

WEB POWER SWITCH	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
<p data-bbox="402 1381 483 1409">WPS v6</p> 	<p data-bbox="686 1272 943 1749">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.</p>	<ul data-bbox="987 1171 1398 1852" style="list-style-type: none"> • 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

3.2.3 EQUIPO DE CÓMPUTO

El sistema de monitoreo meteorológico requiere de un equipo de cómputo con ciertas especificaciones técnicas para cumplir sus tareas. Se utiliza un equipo de cómputo de alta capacidad de procesamiento de información (Server station). Sus características permiten dar servicio continuo e interrumpido sin perder estabilidad en sus prestaciones. El equipo ejecuta el programa informático diseñado para la adquisición, procesamiento y almacenamiento de los datos meteorológicos, aloja el sitio web de la estación, da acceso remoto para la administración de los datos meteorológicos y publica las condiciones meteorológicas que ocurren en el sitio GTM a través de una página web disponible en Internet.

El equipo de cómputo utilizado no incluye suficientes puertos serie nativos, por lo tanto es necesario agregarlos por cuenta propia. Una alternativa es el uso de un adaptador que convierte un puerto USB en un puerto serie. El adaptador utilizado cumple con los requisitos para soportar el continuo tráfico de datos que se da entre el software y los dataloggers. Su instalación es rápida y sencilla en cualquiera de los sistemas operativos actuales y es compatible con todos los dispositivos que ocupen un puerto serie para sus comunicaciones.

La tabla 6 muestra algunas de las características más notables del equipo de cómputo utilizado por el sistema de monitoreo remoto. La tabla 7 contiene la información técnica del adaptador USB a puerto serie.

COMPUTADORA TIPO SERVIDOR MARCA DELL MODELO POWEREDGE T110 II

<ul style="list-style-type: none">• Computadora con procesador Intel Core i3 2100 3.10GHz, 3M cache, Dual Core/4T• Memoria RAM de 4GB (2X2GB), 1333MHz, UDIMM• Disco duro de estado sólido (SSD) de 500GB (7200 RPM), SATA• Tarjeta de red Ethernet Gigabit• Conjunto de 6 puertos USB 2.0• Sistema operativo Windows 7• DVD-ROM• Teclado Latam y mouse óptico• Monitor LCD 17 pulgadas

TABLA 6 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO DE CÓMPUTO UTILIZADO POR EL SISTEMA DE MONITOREO METEOROLÓGICO

ADAPTADOR PROFESIONAL USB A PUERTO RS-232 CON CHIP FTDI.



- Chip FTDI FT232RL
- Interface RS232 DB9 (9 pines Macho)
- Potencia de salida de ~5.7 VDC
- Cable de 1 metro de distancia
- Interface USB estándar tipo A macho
- Leds indicadores de RX, TX y encendido
- Rango de velocidad de transmisión de 300 a 921.600 bps
- Protección electrostática y contra descargas eléctricas
- Temperatura de operación: -20°C to 60°C

TABLA 7 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ADAPTADOR USB A PUERTO SERIE

3.2.4 UBICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL

Los dataloggers, web power switches y equipos de computo están alojados en un cuarto especialmente designado y acondicionado para el sistema de monitoreo meteorológico. El cuarto se localiza en el primer nivel del edificio Visitor Center (imagen 5)



IMAGEN 5 - UBICACIÓN DE CUARTO EN EL VISITOR CENTER Y QUE ALOJA LOS ELEMENTOS DE CONTROL DEL SISTEMA DE MONITOREO METEOROLÓGICO

3.3 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS

En la temporada húmeda, las condiciones meteorológicas en el sitio GTM son más extremas y se caracterizan por fuertes vientos, nevadas y constantes descargas atmosféricas. Estas condiciones llegan a afectar de manera seria a los dispositivos electrónicos que conforman el sistema de monitoreo meteorológico. El daño más recurrente es el provocado por las descargas atmosféricas, ya que éstas suelen impactar directamente a los equipos y provocar transientes o variaciones de voltaje. Las consecuencias se ven reflejadas en el desempeño del sistema y la información meteorológica obtenida llega a presentar alteraciones, errores, y en el peor de los casos, la pérdida total.

Gracias a la experiencia obtenida por el personal que opera el sistema, se ha logrado hacer una selección de elementos de protección disponibles en el mercado que ayudan a minimizar en gran medida los daños provocados por las descargas eléctricas. Las protecciones se dividen en dos grupos: protecciones para líneas de transmisión de señales digitales y protecciones para líneas de transmisión de señales analógicas.

3.3.1 PROTECCIONES PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE SEÑALES DIGITALES

El puerto serial (RS-232) es el medio utilizado para comunicar el equipo de cómputo con los datalogger y así poder intercambiar información. Debido a que las descargas eléctricas se inducen en el cableado de éstos dispositivos, el puerto serial tiende a ser muy susceptible a recibir las descargas y por consecuencia a dañarse parcial o totalmente. Para minimizar los daños al puerto o al mismo equipo de cómputo, se emplean protectores que usan un sistema de aislamiento óptico conformado por un conjunto de diodos ópticos llamados opto-acopladores. Las señales eléctricas usadas en la comunicación serie son convertidas a señales de luz, por lo tanto no existe una conexión eléctrica entre los dispositivos. Al final, se realiza la operación inversa. Estos elementos han sido diseñados para proteger contra transientes o variaciones de voltaje, descargas inducidas y electricidad estática (imagen 6)

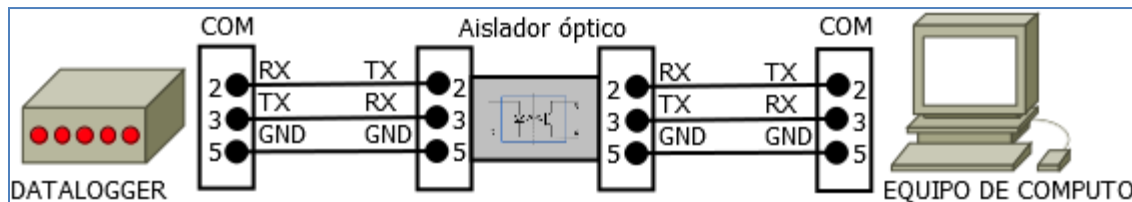


IMAGEN 6 – ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN PROTECTOR CON AISLAMIENTO ÓPTICO PARA PUERTO SERIAL

Las protecciones elegidas para las líneas de transmisión de señales digitales son de la marca U.S. Converters modelo AN232ISO. Los protectores ofrecen un sistema de aislamiento óptico simple pero efectivo y que consiste en el aislamiento de las líneas RX (línea de recepción), TX (línea de transmisión) y GND (línea de tierra) a través del uso de opto-acopladores. En la tabla 8 se muestran las características técnicas del dispositivo.

PROTECTOR PARA PUERTO RS-232	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
<p style="text-align: center;">AN232ISO</p> 	<p>Protector de 3 líneas con aislamiento óptico para puerto serie RS-232</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento óptico de las líneas RX, TX y GND • Tasa de transferencia: 300 a 57600 bps • Alimentación eléctrica: 5VDC @ 15mA • Interface DB9 hembra (lado dispositivo) y DB9 macho (lado PC) • Aislamiento óptico de 1500V • Protección contra electricidad estática: 1500W • Protección contra transientes: 600W/ms • Temperatura de operación: -40°C a 85°C • Humedad de operación: 5%RH a 95%RH • Dimensiones: 62.8 mm x 33.8 mm x 17.8 mm

TABLA 8 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS PROTECCIONES PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE SEÑALES DIGITALES

3.3.2 PROTECCIONES PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS

El sistema de monitoreo meteorológico utiliza dos datalogger para controlar los sensores meteorológicos y debido a ciertas diferencias de operación entre ambos dispositivos, principalmente por los voltajes manejados, se requiere de dos tipos de protecciones para aislar las líneas de transmisión de señales analógicas entre los sensores y los datalogger.

El datalogger TWI controla la gran mayoría de los sensores meteorológicos y la configuración de las líneas de transmisión que ofrece el fabricante es a través de la utilización de cables tipo Ethernet CAT5 con conectores RJ-45 (imagen 7).



IMAGEN 7 – CABLE TIPO ETHERNET CAT5 CON CONECTOR RJ-45

Las protecciones elegidas ofrecen características de aislamiento para líneas de transmisión de señales analógicas de hasta +/- 15 VDC contra descargas eléctricas, electricidad estática y

trascientes o variaciones de voltaje. El elemento protector utilizado es el varistor, que es un componente electrónico que protege a los circuitos contra variaciones de tensión. Si el varistor es sometido a una tensión elevada constante, se destruye.

La ventaja que ofrecen las protecciones es que incluyen en su diseño un par de zócalos para colocar conectores RJ-45 (imagen 8), lo que facilita su uso e instalación.

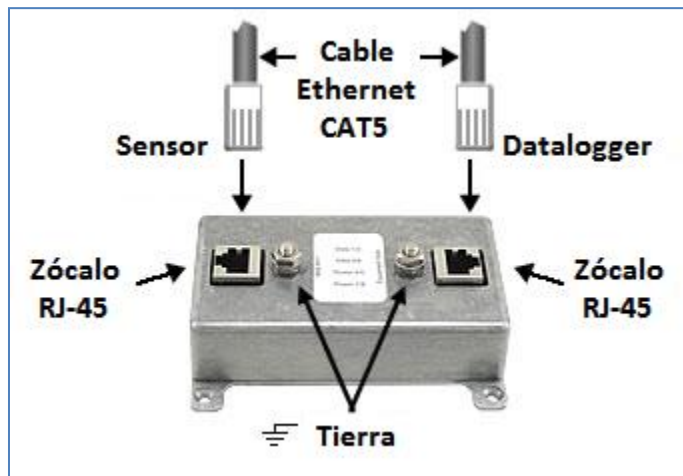


IMAGEN 8 – MODO DE USO E INSTALACIÓN DEL PROTECTOR PARA CABLES ETHERNET CAT5 CON CONECTOR RJ-45

El datalogger Solus controla exclusivamente el sensor de viento RM Young. Este sensor requiere protecciones que aíslen líneas de transmisión de señales analógicas de hasta +/- 24 VDC. La protección elegida consiste en un sistema de 3 etapas: Spark gap/Failsafe fuse/TVS diode (imagen 9) para aislar hasta 8 líneas contra trascientes o variaciones de voltaje.

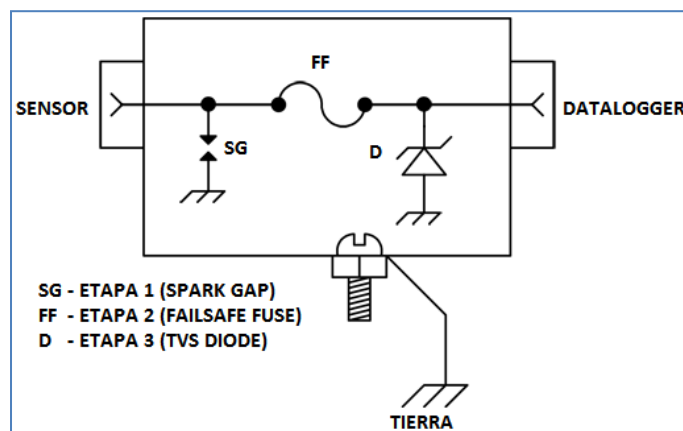


IMAGEN 9 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO PARA UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN AISLADA CON EL SISTEMA DE 3 ETAPAS

Las protecciones para las líneas de transmisión de señales analógicas son de la marca Hyperlink. El modelo HGLN-CAT5-2 es usado para proteger a los sensores del datalogger TWI, mientras el modelo AL-D8-24DC es usado para proteger el sensor de viento RM Young que es controlado por

el datalogger Solus. En la tabla 9 se muestran algunas de las características más sobresalientes de ambas protecciones.

PROTECTOR	DESCRIPCIÓN	CARACTERISTICAS
<p>HGLN-CAT5-2</p> 	<p>Protector para aislar contra descargas eléctricas líneas de transmisión basados en Ethernet CAT5 y conector RJ-45.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Zócalos blindados para conector RJ-45 • Carcasa metálica para supresión de interferencias electromagnéticas • Sistema de protección basado en arreglos de varistores • Temperatura de operación: -40°C a 80°C • Dimensiones: 91.4 mm x 35.5 mm x 38.1 mm • Peso: 130 gr
<p>AL-D8-24DC</p> 	<p>Protector de 3 etapas para aislar contra descargas eléctricas líneas de transmisión de 24VDC</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Protección de hasta 8 líneas de transmisión a +/- 24 VDC • Sistema de protección de 3 etapas (Spark gap/Failsafe fuse/TVS Diode) • Carcasa de ABS resistente para uso en exteriores • Temperatura de operación: -40°C a 80°C • Dimensiones: 160 mm x 80 mm x 55 mm • Peso: 170 gr

TABLA 9 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS PROTECCIONES PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS

3.4 ELEMENTOS PARA LA CAPTURA, PROCESAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE DATOS METEOROLÓGICOS

Anteriormente la estación meteorológica del sitio GTM era un ente aislado y sin comunicación con el exterior. Toda la información que recopilaba era almacenada en una memoria limitada de forma local e implicaba hacer visitas constantes al sitio para recuperar los datos. Posteriormente la infraestructura de comunicaciones del GTM se incrementó con la instalación de la red de cómputo y la mejora del servicio del suministro eléctrico. Estos factores permitieron buscar una solución que aprovechará los recursos disponibles, dando origen a los elementos para la captura, procesamiento y almacenamiento de datos meteorológicos y que consiste en un programa informático capaz de comunicarse con los datalogger del sistema de monitoreo meteorológico de forma eficiente, además de organizar la información en formatos convenientes para hacer más fácil su manejo. Este programa está diseñado para trabajar bajo el modelo cliente-servidor. El esquema cliente-servidor es un modelo de computación donde el procesamiento requerido para ejecutar un programa o conjunto de programas relacionados se divide entre dos o más procesos que cooperan entre sí. Usualmente la mayoría del trabajo pesado se hace en el proceso llamado servidor y el (los) proceso(s) cliente(s) sólo se ocupa(n) de la interacción con el usuario.

El programa informático esta desarrollado con el uso de recursos computacionales disponibles en la actualidad, en el que se incluyen lenguajes de programación (Java, PHP, HTML), servidores web (Apache, Tomcat), etc. Todos los recursos se encuentran en las categorías de software libre y/o de código abierto, por lo que evita el pago de licencias y permite más libertad para su modificación e implementación.

La elección de los paradigmas computacionales (programación orientada a objetos y arquitectura cliente-servidor) resultó adecuado para el desarrollo del programa informático y por lo tanto permite el beneficio de tener la información en tiempo real de los datos meteorológicos generados por los sensores. En la imagen 10 se muestra el sistema de monitoreo meteorológico conectado a la red del GTM y a Internet. Almacenar la información meteorológica en un servidor hace que cualquier persona en el mundo pueda consultar en tiempo real el clima que ocurre en el sitio GTM solamente teniendo una computadora conectada a Internet.

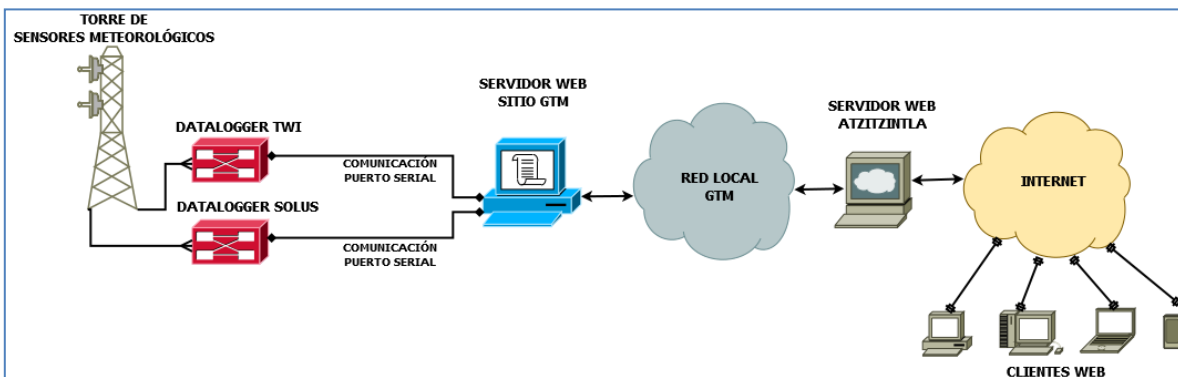


IMAGEN 10 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES PARA EL SISTEMA DE MONITOREO METEOROLÓGICO

3.4.1 PROGRAMA INFORMÁTICO

El programa informático se basa en el modelo cliente - servidor y se ha usado el lenguaje de programación Java para implementar todas las funciones de adquisición, procesamiento y almacenamiento de los datos meteorológicos. El lenguaje Java ofrece múltiples bibliotecas (API's) que permiten establecer una comunicación para intercambiar información de manera segura, rápida y confiable entre ambos elementos del modelo a través de una red local o por Internet. Una de las ventajas que ofrece es el uso del protocolo HTTP para enviar información en formatos HTML, XML, tipos de datos primitivos del propio lenguaje Java y estructuras de datos tales como conjuntos, matrices, listas, etc.

La implementación del modelo cliente – servidor consiste en una página web que hace la función de cliente y el servlet la de servidor. La pagina web, que se ejecuta en un navegador web, establece comunicaciones con el servidor, hace solicitudes de información, las procesa y las presenta al usuario. El servlet realiza las tareas para establecer comunicación con los datalogger a través del puerto serie. Cada datalogger soporta un conjunto de comandos en código ASCII que solicitan información para diferentes propósitos. Todas las respuestas se devuelven como cadenas de caracteres. El servlet se encarga de enviar los comandos para solicitar a cada datalogger los

datos obtenidos por los sensores meteorológicos. Posteriormente el servlet procesa cada cadena de caracteres para obtener los datos meteorológicos, los almacena y los pone a disposición del cliente cuando éste los solicite.

3.4.2 ALMACENAMIENTO DE DATOS

El programa informático guarda en archivos de texto los datos meteorológicos capturados durante un día. Estos archivos ordenan la información utilizando estructuras definidas en el software y que ayudan a ser procesados con facilidad.

Todos los archivos de texto son nombrados de la siguiente forma:

- Los dos primeros caracteres identifican al datalogger que obtuvo la información (**TW** para el datalogger TWI y **Y** para el datalogger Solus)
- Los seis caracteres restantes indican la fecha de captura en formato *ddmmaa* (día, mes y año)

Los datos registrados por el datalogger TWI están divididos en columnas separadas por espacios en blanco. Un ejemplo del contenido del archivo con datos meteorológicos del datalogger TWI se muestra en la imagen 11.

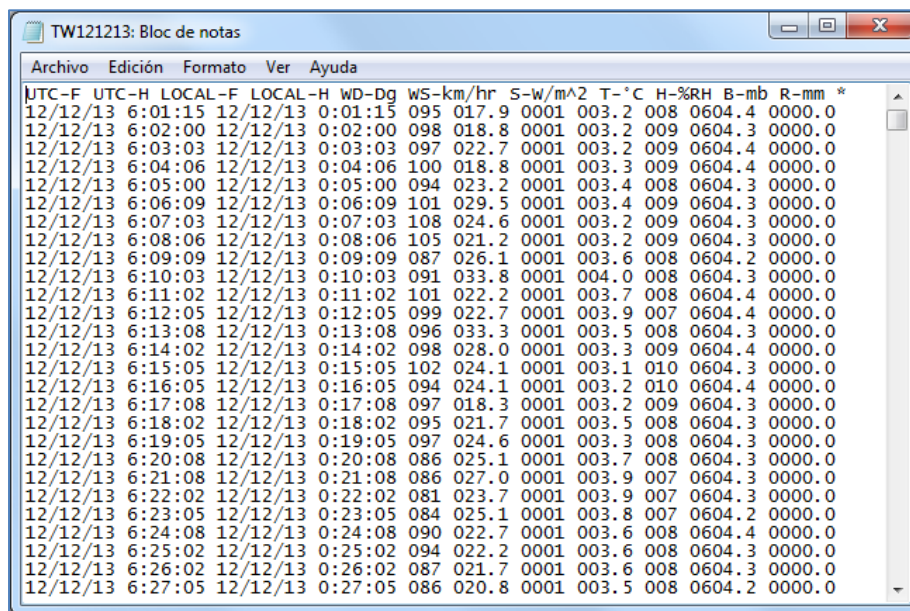


IMAGEN 11 - CONTENIDO DEL ARCHIVO DE TEXTO CON DATOS CAPTURADOS POR EL DATALOGGER TWI

La primera línea contiene las cabeceras de cada columna e indican la variable y su respectiva unidad de medición. La estructura del archivo de texto contiene la siguiente información:

- Columna #1: Fecha de captura en *tiempo universal coordinado (UTC-F)*
- Columna #2: Hora de captura en *tiempo universal coordinado (UTC-H)*
- Columna #3: Fecha de captura en tiempo local (*LOCAL-F*)
- Columna #4: Hora de captura en tiempo local (*LOCAL-H*)

- Columna #5: Dato de dirección de viento en grados sexagesimales (*WD-Dg*)
- Columna #6: Dato de velocidad de viento en kilómetros por hora (*WS-Km/hr*)
- Columna #7: Dato de radiación solar en Watts sobre metro cuadrado (*S-W/m²*)
- Columna #8: Dato de temperatura grados Celsius (*T-°C*)
- Columna #9: Dato de humedad relativa en tanto por ciento (*H-%RH*)
- Columna #10: Dato de presión atmosférica en milibares (*B-mb*)
- Columna #11: Dato de precipitación pluvial en milímetros (*R-mm*)

Los datos registrados por el datalogger Solus usan la siguiente estructura:

- Columna #1: Fecha de captura en *tiempo universal coordinado (UTC-F)*
- Columna #2: Hora de captura en *tiempo universal coordinado (UTC-H)*
- Columna #3: Fecha de captura en tiempo local (*LOCAL-F*)
- Columna #4: Hora de captura en tiempo local (*LOCAL-H*)
- Columna #5: Dato de dirección de viento en grados sexagesimales (*WD-Dg*)
- Columna #6: Dato de velocidad de viento en kilómetros por hora (*WS-Km/hr*)

Un ejemplo del contenido del archivo con datos meteorológicos del datalogger Solus se muestra en la imagen 12.

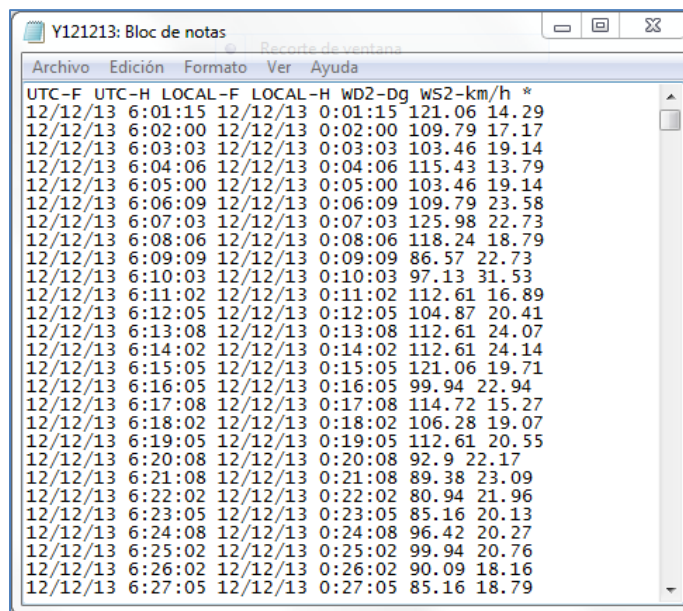


IMAGEN 12 - CONTENIDO DEL ARCHIVO DE TEXTO CON DATOS CAPTURADOS POR EL DATALOGGER SOLUS

3.4.3 PÁGINAS WEB

El programa informático desarrollado se encuentra instalado en una computadora que funciona como servidor web. La administración del servidor la realiza un software llamado *Tomcat* [8]. Este software se encarga de ejecutar cada uno de los módulos programados para adquirir, procesar, almacenar y publicar en internet los datos obtenidos por los sensores meteorológicos. Esta información puede ser consultada por los usuarios usando las siguientes direcciones:

- Dentro de la red local del GTM usar <http://192.168.2.56/>
- Fuera de la red local del GTM usar <http://www.ogtm.org.mx/solus/SolusServlet?>

La página web mostrada a los usuarios (imagen 13) es ligera y no depende de ningún plugin o software extra que deba ser instalado en el navegador web y además existe una versión que puede ser visualizada en los navegadores web de los diversos dispositivos móviles que existen en la actualidad (imagen 14)

IMAGEN 13 – PÁGINA WEB PRINCIPAL DEL SISTEMA DE MONITOREO METEOROLÓGICO

IMAGEN 14 - PÁGINA WEB PRINCIPAL DEL SISTEMA DE MONITOREO METEOROLÓGICO EN SU VERSIÓN MÓVIL

La página web ofrece al usuario consultar los más recientes valores de temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, precipitación pluvial, radiación solar, velocidad y dirección del viento (ambos anemómetros), dew point, windchill (valores calculados) y estadística de velocidad del viento de los últimos 5 minutos.

La página web ha sido programada para solicitar, de manera automática y cada 60 segundos, nuevos datos meteorológicos al servidor.

Para complementar la información meteorológica, se ha agregado un mapa satelital que muestra el clima actual en el área circundante al sitio GTM. Este servicio es obtenido desde un proveedor externo (imagen 15)

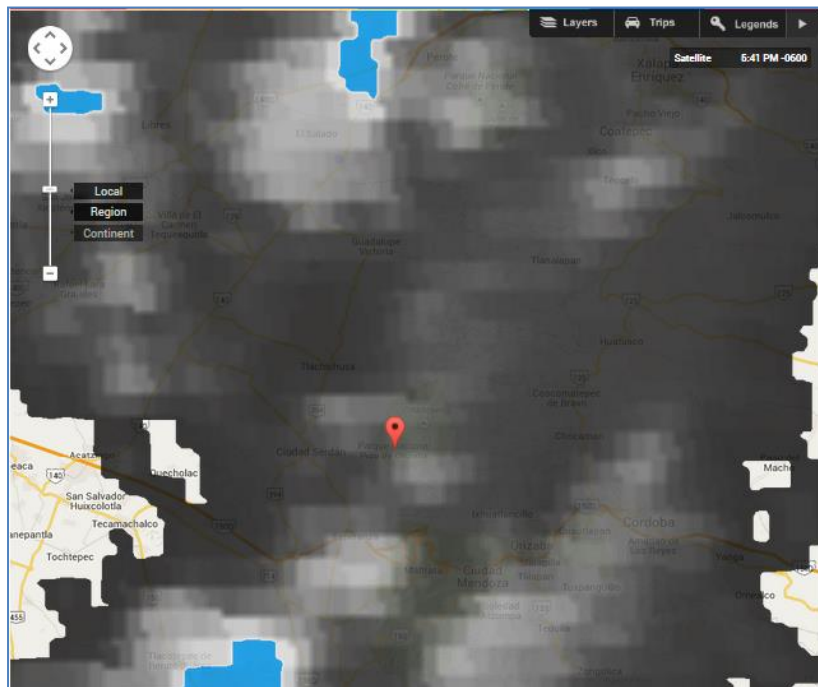


IMAGEN 15 – MAPA SATELITAL QUE MUESTRA EL CLIMA ACTUAL EN EL ÁREA CIRCUNDANTE AL SITIO GTM

Dentro de las diversas funciones que desarrolla el programa informático se encuentra la de elaborar las gráficas que muestran el comportamiento, a través del tiempo, de las diversas variables que monitorea el sistema. El software ocupa una API llamada JFreeChart que se especializa en la construcción de diferentes tipos de gráficas mediante el uso del lenguaje de programación Java.

El acceso directo a la página web para consultar las gráficas puede ser a través de las siguientes direcciones:

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

La página web (imagen 16) muestra al usuario las gráficas del día anterior y del día actual con el fin de tener una referencia para comparar el comportamiento del clima. El tipo de gráfica utilizado es el de línea, el cual permite visualizar el comportamiento de la variable con respecto al tiempo. La página web está programada para actualizar las gráficas cada 5 minutos.

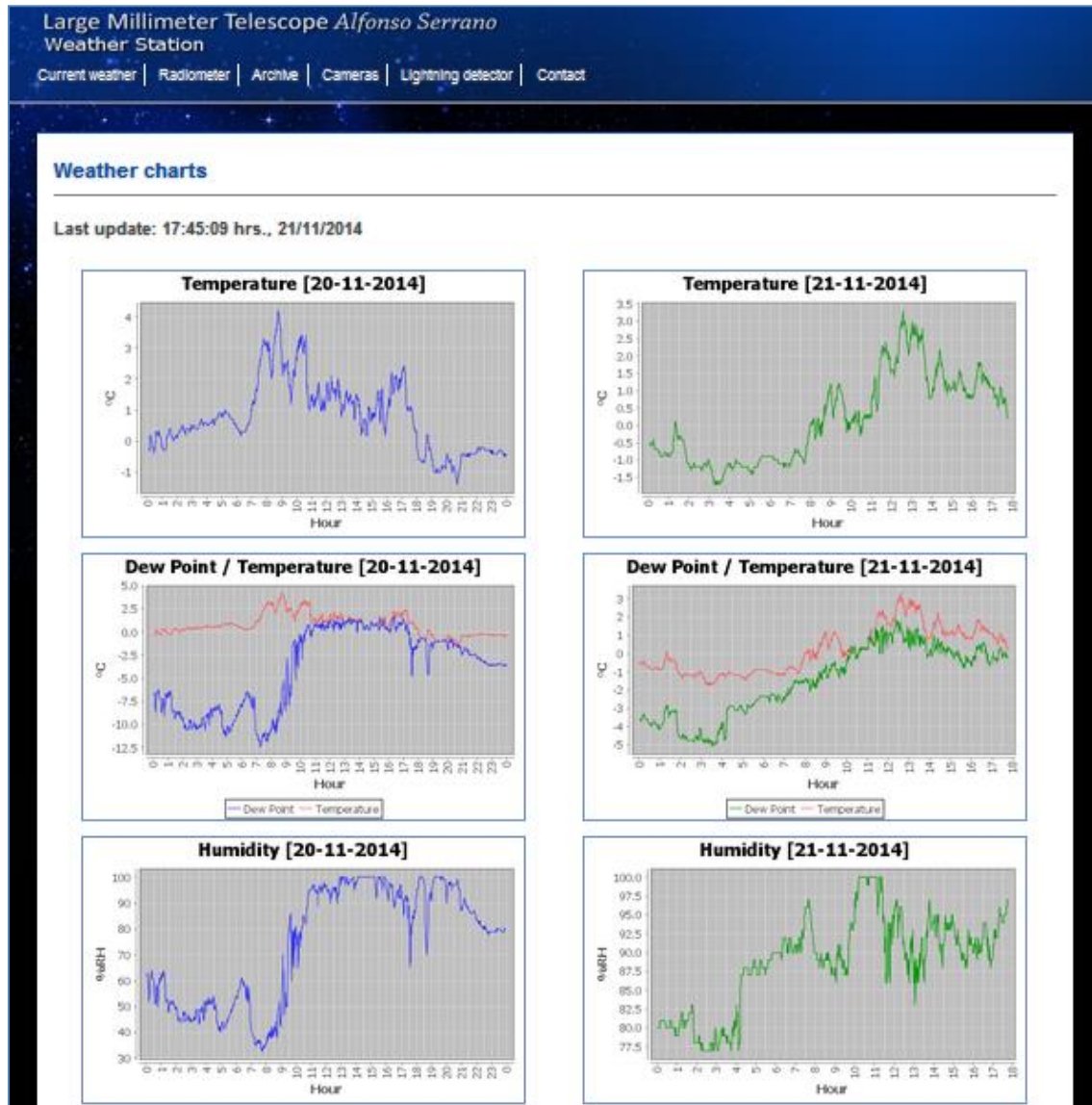


IMAGEN 16 – PÁGINA WEB QUE MUESTRA LAS GRÁFICAS DE LOS DATOS OBTENIDOS POR EL SISTEMA DE MONITOREO METEOROLÓGICO

4. ELABORACIÓN DE REPORTES METEOROLÓGICOS

Los datos adquiridos por sistema de monitoreo meteorológico son utilizados para elaborar documentos informativos que contienen tablas y gráficos estadísticos que permiten visualizar el comportamiento del clima 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.

4.1 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.

1. Los archivos con los datos meteorológicos son revisados para verificar que los valores registrados sean correctos. Se excluyen aquellos que estén fuera de rango (según el rango de captura de su respectivo sensor meteorológico) o presenten un comportamiento no aceptable o extraño (p. ej. por daños en el instrumento o pérdida de calibración). Los valores erróneos son substituido por la seña --- que indica un dato no valido.
2. Los archivos de texto revisados 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)

4.2 DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO DE LOS REPORTES METEOROLÓGICOS

Los reportes mensuales contienen principalmente los siguientes elementos:

- Tabla con estadísticas y porcentajes
- Graficas de línea
- Gráficas para viento
- Histogramas
- Gráficas para la precipitación pluvial

4.2.1 TABLA CON ESTADÍSTICAS Y PORCENTAJES

La tabla con estadísticas y porcentajes contiene 14 columnas para cada variable meteorológica capturada. El contenido de cada columna se describe a continuación:

1. **VALID DATA (#)**, cantidad de datos que han pasado los criterios de validación.
2. **VALID DATA (%)**, porcentaje de datos que han pasado los criterios de validación.
3. **NO VALID DATA (#)**, cantidad de datos que no han pasado los criterios de validación.
4. **NO VALID DATA (%)**, porcentaje de datos que no han pasado los criterios de validación.
5. **MISSING DATA (#)**, número de datos que no se pudieron capturar durante el mes debido a diversas fallas en el sistema.

6. **MISSING DATA (#)**, porcentaje de datos que no se pudieron capturar durante el mes debido a diversas fallas en el sistema.
7. **MEAN**, valor correspondiente a la media aritmética (promedio).
8. **STANDAR DEVIATION**, valor que indica la desviación estándar calculada.
9. **MINIMUM**, valor mínimo encontrado en el conjunto de datos meteorológicos.
10. **1ST QUARTILE (Q1)**, valor del percentil 25 o primer cuartil.
11. **MEAN**, indica la mediana o segundo cuartil.
12. **3RD QUARTILE (Q3)**, valor del percentil 75 o tercer cuartil.
13. **MAXIMUM**, valor máximo encontrado en el conjunto de datos meteorológicos.
14. **MISSING DAYS (DD)**, días del mes que no tienen datos capturados.

4.2.2 GRÁFICAS DE LÍNEA

Las gráficas de línea (imagen 17) son utilizadas para representar los datos capturados durante el mes de la temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, radiación solar, velocidad y dirección del viento. En el eje X se establecen los días del mes y en el eje Y el valor capturado.

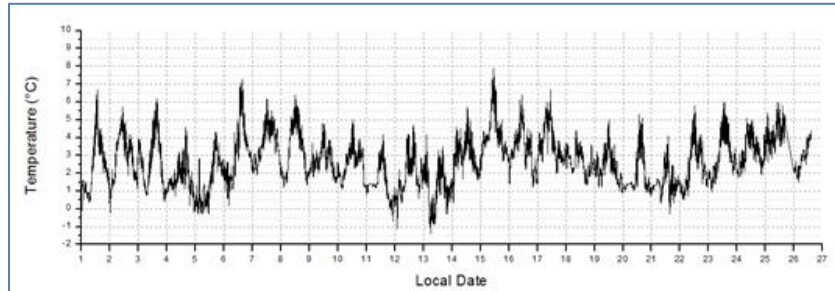


IMAGEN 17 - EJEMPLO DE UNA GRÁFICA DE LÍNEA UTILIZADA EN LOS REPORTES MENSUALES

4.2.3 GRÁFICAS PARA EL VIENTO

Se utilizan las gráficas de línea para presentar los datos de dirección y velocidad del viento; aunque también se hace uso de un tipo de gráfica llamada "Rose Wind" (rosa de los vientos) para ofrecer una mejor interpretación del comportamiento del viento.

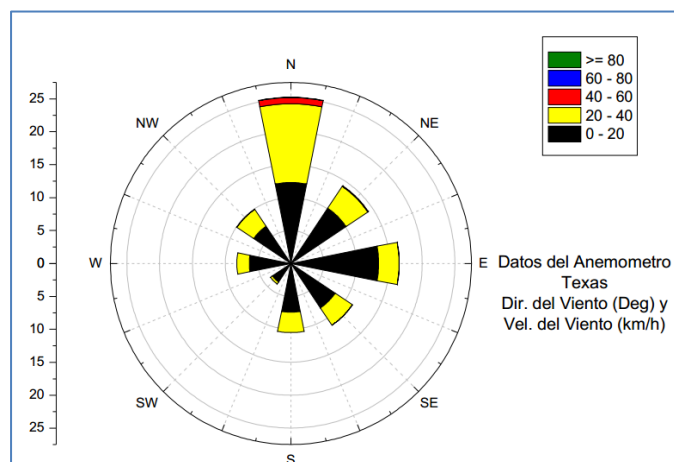


IMAGEN 18 - EJEMPLO DE UNA GRÁFICA "ROSE WIND" PARA REPRESENTAR LOS DATOS DEL VIENTO

Se compone principalmente de una circunferencia donde se ubican los puntos cardinales y se puede identificar fácilmente la dirección donde sopló el viento con más regularidad, esta estadística la denota el sector circular de mayor tamaño. Cada sector está dividido por áreas de colores que denotan un rango de velocidad del viento en km/h (las leyendas indican los rangos utilizados en la estadística). El color dominante en cada sector indica la velocidad del viento que predominó durante el mes. Los círculos inscritos indican un porcentaje y se asocia con la escala ubicada a la izquierda.

Como ejemplo se puede percibir en la imagen 18, que el viento sopló de forma regular de sur a norte y representa casi el 22% de los datos de dirección de viento adquiridos. También se percibe que la velocidad predominante fue entre 20 y 40 km/h y, en el sector de mayor tamaño, alrededor del 13% de los datos de velocidad de viento se ubican en el rango de los 20-40 km/h

4.2.4 HISTOGRAMAS

Los histogramas (imagen 19) muestran la distribución de frecuencias de los datos y ayudan a observar el valor dominante de cada variable meteorológica registrada.

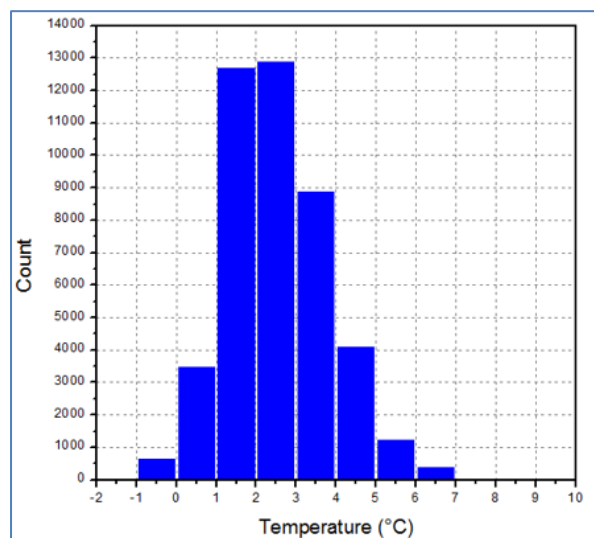


IMAGEN 19 - EJEMPLO DE UN HISTOGRAMA UTILIZADO EN LOS REPORTES MENSUALES

4.2.5 GRÁFICAS PARA LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL

Se utiliza una gráfica de barras para mostrar la cantidad de precipitación pluvial acumulada (valor en milímetros) durante el mes. Para cada día del mes puede existir una barra y en la parte superior se ubica la cantidad de precipitación pluvial registrada en ese día.

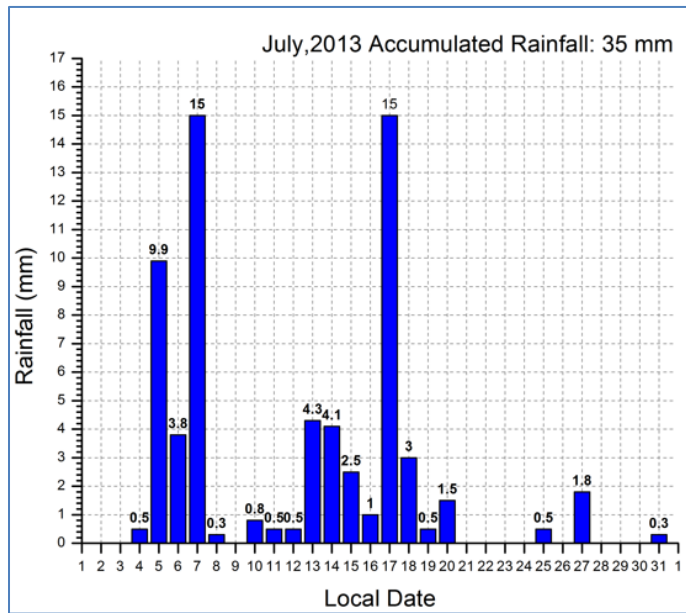


IMAGEN 20 - EJEMPLO DE UNA GRÁFICA DE BARRAS PARA MOSTRAR LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL

5. ALGUNOS RESULTADOS METEOROLÓGICOS OBTENIDOS

El sistema de monitoreo meteorológico proporciona información muy importante sobre las condiciones meteorológicas que suceden en el sitio GTM. Esta información permite saber el comportamiento de las diversas variables meteorológicas dentro de un tiempo determinado. En esta sección se presentan algunos resultados meteorológicos obtenidos durante la temporada húmeda y seca de 2013 y 2014.

En las tablas 10 y 11 se muestra la estadística realizada sobre datos obtenidos con la estación meteorológica durante los meses de agosto/2013 y febrero/2014, los cuales se encuentran dentro de las temporadas húmedas y secas respectivamente para realizar observaciones en longitudes de onda milimétricas. Puede apreciarse como durante el mes de febrero las temperaturas son más bajas, y especialmente en los días de menor humedad relativa pueden lograrse condiciones excelentes para realizar observaciones en longitudes de onda de 1.1 mm con opacidades de hasta 0.04. Adicionalmente durante la temporada seca la velocidad del viento es menor propiciando condiciones de mayor seguridad y estabilidad a la antena del GTM.

	VALID DATA (#)	VALID DATA (%)	NO VALID DATA (#)	NO VALID DATA (%)	MISSING DATA (#)	MISSING DATA (%)	MEAN	STANDARD DEVIATION	MINIMUM	1ST QUARTILE (Q1)	MEDIAN	3RD QUARTILE (Q3)	MAXIMUM	MISSING DAYS (DD)
Temperature (°C)	36349	87.0%	5437	13.0%	2823	6.3%	2.64	1.32	-1.40	1.60	2.60	3.50	7.90	27
Relative Humidity (%RH)	36349	87.0%	5437	13.0%	2823	6.3%	85.82	19.06	19.00	76.00	95.00	100.00	100.00	27
Atmospheric Pressure (mb)	41783	100.0%	3	0.0%	2823	6.3%	603.80	0.86	600.10	603.20	603.80	604.50	605.80	27
Solar Radiation (W/m ²)	41783	100.0%	0	0.0%	2826	6.3%	294.32	250.22	2.00	90.00	228.00	441.00	1351.00	27
Wind Direction TWI (Deg)	41784	100.0%	2	0.0%	2823	6.3%	115.77	81.85	0.00	63.00	104.00	142.00	360.00	27
Wind Speed TWI (Km/h)	41784	100.0%	2	0.0%	2823	6.3%	22.28	15.56	0.00	10.60	18.80	29.90	131.80	27
Wind Direction Young (Deg)	41787	100.0%	0	0.0%	2822	6.3%	120.95	95.21	4.93	61.23	95.72	140.76	359.65	27
Wind Speed Young (Km/h)	41787	100.0%	0	0.0%	2822	6.3%	18.87	12.85	0.49	9.22	16.19	25.34	72.00	27

TABLA 10 – ESTADÍSTICAS DE LOS DATOS OBTENIDOS CON LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DEL GTM DURANTE EL MES DE AGOSTO, 2013 (TEMPORADA HÚMEDA).

	VALID DATA (#)	VALID DATA (%)	NO VALID DATA (#)	NO VALID DATA (%)	MISSING DATA (#)	MISSING DATA (%)	MEAN	STANDARD DEVIATION	MINIMUM	1ST QUARTILE (Q1)	MEDIAN	3RD QUARTILE (Q3)	MAXIMUM	MISSING DAYS (DD)
Temperature (°C)	40152	100.0%	0	0.0%	140	0.3%	0.75	1.87	-6.10	-0.60	0.80	2.10	6.00	-
Relative Humidity (%RH)	40152	100.0%	0	0.0%	140	0.3%	55.86	32.84	2.00	25.00	56.00	87.00	100.00	-
Atmospheric Pressure (mb)	40152	100.0%	0	0.0%	140	0.3%	602.36	0.98	599.90	601.60	602.30	603.00	605.10	-
Solar Radiation (W/m ²)	40152	100.0%	0	0.0%	140	0.3%	373.75	244.50	2.00	157.00	354.00	605.00	1134.00	-
Wind Direction TWI (Deg)	40152	100.0%	0	0.0%	140	0.3%	195.11	57.16	1.00	151.00	201.00	240.00	355.00	-
Wind Speed TWI (Km/h)	40152	100.0%	0	0.0%	140	0.3%	15.80	9.35	0.00	8.70	14.00	21.70	56.00	-
Wind Direction Young (Deg)	40152	100.0%	0	0.0%	140	0.3%	180.68	119.86	4.93	64.75	183.70	287.16	359.65	-
Wind Speed Young (Km/h)	40152	100.0%	0	0.0%	140	0.3%	14.05	8.16	0.49	7.74	12.67	19.64	48.00	-

TABLA 11 – ESTADÍSTICAS DE LOS DATOS OBTENIDOS CON LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DEL GTM DURANTE EL MES DE FEBRERO, 2014 (TEMPORADA SECA).

La imagen 21 muestra la estadística mensual entre mayo/2013 y abril/2014 perteneciente a la temperatura y humedad relativa, estas variables como se mencionó anteriormente tienen un impacto directo sobre el parámetro de la opacidad atmosférica, el cual es el principal indicador sobre la calidad del cielo al momento de realizar observaciones astronómicas con el telescopio en longitudes de onda milimétricas. También se muestran las mediciones de velocidad del viento, las cuales son de vital importancia en la operación del telescopio por razones de seguridad. Los valores obtenidos de este análisis están en concordancia con los valores previamente reportados en trabajos anteriores con los equipos que inicialmente se instalaron en Sierra Negra.

La nomenclatura utilizada en las graficas que se muestran en la imagen 21 es la siguiente:

- La cota inferior de cada línea indica el valor mínimo
- La cota superior de cada línea indica el valor máximo
- Dentro de la caja, la línea central indica el valor de la media
- La línea inferior de la caja indica el primer cuartil
- La línea superior de la caja indica el tercer cuartil
- El símbolo interior en la caja (cuadrado) indica la media

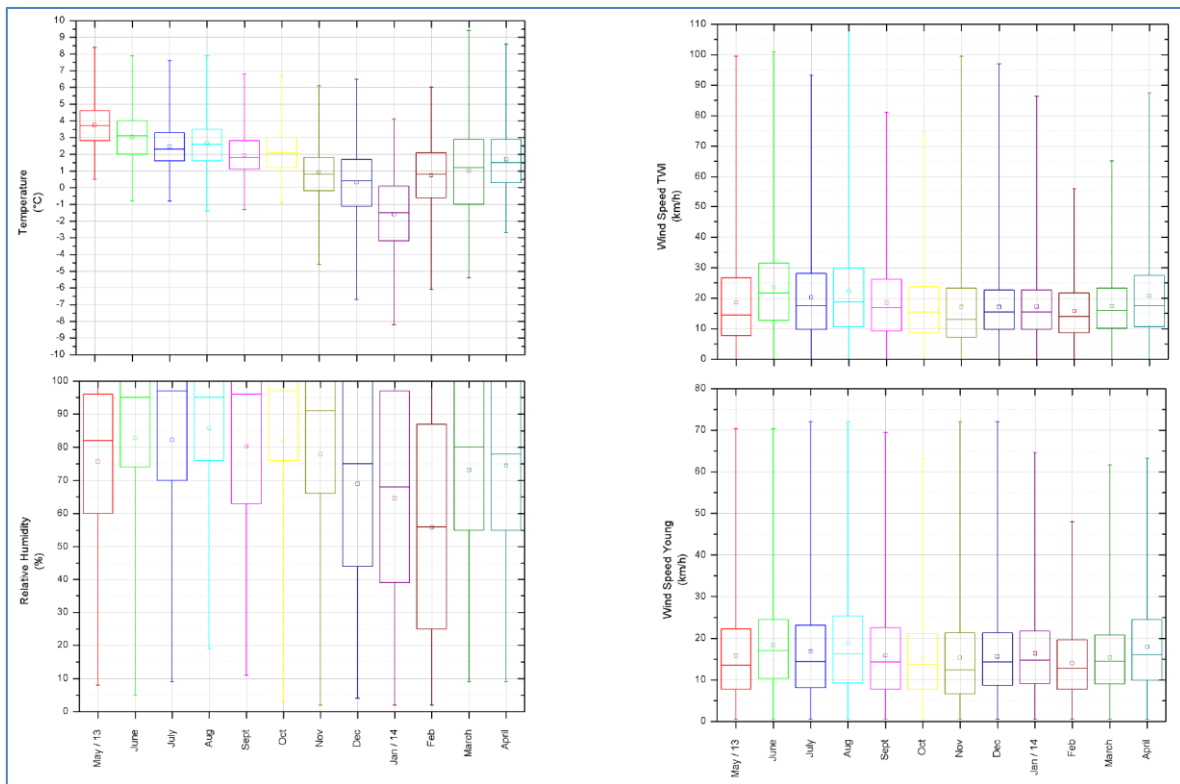


IMAGEN 21 – RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE TEMPERATURA, HUMEDAD Y VELOCIDAD DEL VIENTO (AMBOS ANEMÓMETROS) OCURRIDOS ENTRE MAYO/2013 Y ABRIL/2014

6. CONCLUSIONES

Desde al año 2013 se tiene funcionando y tomando datos de manera continua la nueva Estación Meteorológica del Gran Telescopio Milimétrico en el edificio Visitor Center en Sierra Negra a una altitud de 4580 msnm. El sistema de monitoreo meteorológico permite la medición de temperatura, humedad, presión atmosférica, radiación solar, velocidad y dirección del viento, y precipitación pluvial, así como realizar el cálculo del punto de rocío. El sistema meteorológico descrito se encuentra integrado a la red local del sitio con lo cual se pueden mostrar mediciones y gráficas en tiempo real, las variables meteorológicas más relevantes se encuentran integradas en software principal de control y monitoreo del telescopio (MC).

La Estación Meteorológica del GTM cuenta con un sistema de protección contra descargas eléctricas y variaciones de voltaje que le han permitido funcionar de manera óptima para lograr una tasa alta de muestreo de datos (~85-90% dependiendo la variable medida). Los datos son almacenados en una computadora local y posteriormente transferidos a un servidor en la localidad de Atzizintla, lo cual a su vez permite transmitir la información al exterior a través de Internet mediante el uso de una página web. Los reportes estadísticos de las mediciones realizadas se encuentran en preparación.

Adicionalmente, la Estación Meteorológica del GTM se encuentra integrada a un sistema de medición de opacidad utilizando un radiómetro en la frecuencia de 225 GHz y a una serie de cámaras videos de alta resolución y visión nocturna para complementar la información que se proporciona al usuario sobre las condiciones meteorológicas del sitio del GTM.

El Gran Telescopio Milimétrico ha entrado en su fase de operación científica desde 2013, y ello ha requerido el uso de sistemas de soporte como la Estación Meteorológica descrita en este documento, la cual ha demostrado ser un sistema indispensable para la operación del mismo como apoyo en la toma de decisiones para el personal técnico, ingenieros y científicos del sitio para programar actividades y el uso de los instrumentos científicos dependiendo las condiciones del clima, así como para operar el telescopio en condiciones de máxima seguridad.

7. REFERENCIAS

- [1] Carrasco Licea, E., et. al., “Weather conditions at Sierra Negra site”. RT INAOE C37 2003 RT0548. Tonantzintla, Puebla, México: Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica., (2003)
- [2] Estrada, Ponce J., et. al, “Mediciones de opacidad atmosférica en el Volcán Sierra Negra”. RT – INAOE E87 2002 RT0545, Tonantzintla, Puebla, México. (2002)
- [3] Meza, Pérez Jacobo et. al, “Mediciones de opacidad atmosférica en el Volcán Sierra Negra año 2003”. RT INAOE M49 2004 RT0558, Tonantzintla, Puebla, México. (2004)
- [4] 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)
- [5] Weather Logging Station (WLS-8000): Detailed Specifications and Manuals.
<http://txwx.com/product-line/weather-logging-station-wls-8000/>
- [6] Wind Monitor Model 05103: specifications and manual.
<http://www.youngusa.com/products/7/5.html>
- [7] WLS-8000 Manual. <http://txwx.com/product-line/weather-logging-station-wls-8000/wls-8000-manual/>
- [8] Solus user’s reference.
http://www.ogtm.org.mx/~microon/manuales/SOLUS/Manual_Solus_Datalogger.pdf
- [9] Web power switch 6. User’s guide. Digital Loggers, Inc.