



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Electrónica

Estudio de una Red de Monitoreo Hidrometeorológico.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
Ingeniero Electrónico.

Autor

Erick Leandro Ordóñez Portilla.

Director

Juan Patricio Córdova Ochoa.

Cuenca, Ecuador
2013

DEDICATORIA

Dedico esta monografía a mis padres, quienes fueron un gran apoyo emocional durante el tiempo en que escribía este trabajo, por ser el pilar fundamental en toda mi carrera universitaria y en la vida. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos. A mis hermanos y todos los que me apoyaron para escribir y concluir este trabajo. Para ellos dedico este trabajo, por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia gracias por impulsarme para lograr mis metas y por estar siempre apoyándome en mi vida universitaria.

Agradezco a mi director de tesis el Ing. Juan Córdova, por la orientación y ayuda en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de esta monografía.

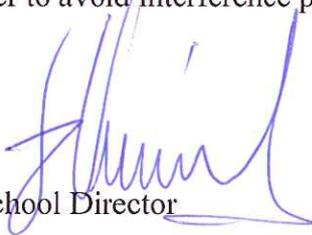
Gracias también a la Universidad del Azuay, en especial a todos mis profesores de la escuela de Ingeniería Electrónica, por las enseñanzas brindadas durante mi vida universitaria.

Por último a la Universidad de Buenos Aires, y a todo el grupo de profesores del curso de graduación por ser parte esencial de este logro.

ABSTRACT

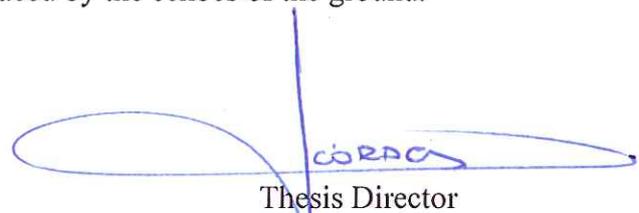
STUDY OF A HYDROMETEOROLOGICAL MONITORING NETWORK

In order to determine the advantages of a Hydrometeorological Monitoring Network based on the recommendations of the World Meteorological Organization, we carry out a study that provides a description of the operative requirements for a flash flood forecasting system, within the framework of a multi-hazard early warning system. This study contains contributions to the knowledge of flash flooding, monitoring networks, technological infrastructure such as hydrometeorological sensors and communication of data, hardware requirements, and operative system. It also contains several examples of multi-hazard early warning systems. We conclude that in order to install the radar, we need to choose a site that is topographically very high in order to avoid interference produced by the echoes of the ground.



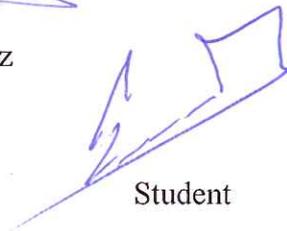
School Director

Ing. Francisco Vásquez



Thesis Director

Ing. Juan Córdova



Student

Erick Ordóñez



Translated by,
Diana Lee Rodas

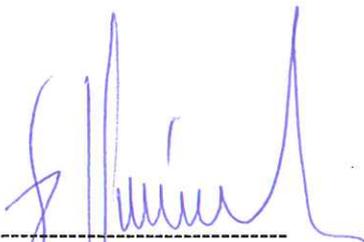
Handwritten signature and date:
25/06/13

RESUMEN

ESTUDIO DE UNA RED DE MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO

Para determinar las ventajas de una Red de Monitoreo Hidrometeorológico que se basa en las recomendaciones desarrolladas por la Organización Meteorológica Mundial. Se realiza el estudio que proporciona una descripción de los requisitos operativos para un sistema de pronóstico de crecidas repentinas, dentro del marco de un sistema de alerta temprana multi-amenaza. Este estudio comprende ampliación sobre la ciencia de las crecidas repentinas, redes de monitorización, infraestructura tecnológica tales como sensores hidrometeorológicos y comunicación de datos, requerimientos de hardware, sistema operativo, así como varios ejemplos de sistemas de alerta temprana de crecidas repentinas. Concluyendo que para la instalación del radar es necesario escoger un sitio, el cual topográficamente sea muy alto para que no exista interferencia por ecos de terreno.

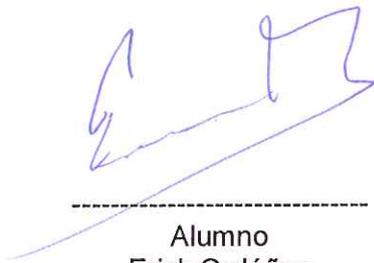
PALABRAS CLAVE: Sistemas de alerta temprana (SAT), Hidrometeorología, Pluviómetros, Radares Meteorológicos, Satélites Meteorológicos, Crecidas repentinas.



Director de Escuela
Ing. Francisco Vásquez



Director de Tesis
Ing. Juan Córdova



Alumno
Erick Ordóñez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1: ESTUDIO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA Y CRECIDAS REPENTINAS	
1.1 Sistema de Alerta Temprana (SAT)	4
1.2 Estudio de Crecidas Repentinas.....	5
1.3 Efectos del suelo	6
CAPITULO 2: SENSORES HIDROMETEOROLÓGICOS Y COMUNICACIÓN DE DATOS	
2.1 Redes de Monitoreo Hidrometeorológico	9
2.2 Sensores Hidrometeorológicos	9
2.3 Redes de pluviómetros	9
2.4 Pluviómetros.....	10
2.5 Estaciones de aforo	17
2.6 Redes de radares meteorológicos	19
2.7 Criterios de diseño.....	23
2.8 Redes de satélites	27
2.9 Requerimientos en comunicaciones	31
CAPITULO 3: REQUERIMIENTOS DE HARDWARE, SISTEMA OPERATIVO Y EJEMPLOS DE SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA (SAT) INTEGRALES PARA CRECIDAS REPENTINAS	
3.1 Requerimientos de hardware y sistema operativo.....	35
3.2 Programas de aplicaciones de cómputo	36

3.3 Mantenimiento	38
3.4 Ejemplos de Sistemas de Alerta Temprana (SAT)	40
CONCLUSIONES	45
RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFIA	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura A: crecida repentina en España el septiembre 2012	2
Figura B: Crecida repentina del río Urubamba, Perú, enero de 2010.....	2
Figura 1.1: Concepto de un SAT.....	4
Figura 1.2: Ejemplo de trayectorias redundantes de comunicación de datos	5
Figura 1.3: Volumen de Agua vs Profundidad del Suelo	6
Figura 1.4: Humedad del suelo	7
Figura 1.5: Permeabilidad del suelo.....	7
Figura 1.6: Infiltración según tipo de suelo.....	8
Figura 2.1: Pluviómetro basculante vista por su exterior e interior	10
Figura 2.2: Representación de funcionamiento y partes de un pluviómetro basculante típico.....	11
Figura 2.3: Pluviómetro moderno con diferentes sensores	11
Figura 2.4: Pluviómetro de la empresa argentina TECMES	12
Figura 2.5: Partes de una estación hidrometeorológica Campbell	14
Figura 2.6: Programa grafico RTDM	17
Figura 2.7: Limnómetro.....	18
Figura 2.8: Emisión de un pulso de duración t y longitud de onda l	19
Figura 2.9: Distribución de la energía distribuida por el radar	20
Figura 2.10: Esquema de la energía captada y reflejada por una gota	20
Figura 2.11: Ubicación de un radar en un terreno complejo.....	24
Figura 2.12: Alcance de cobertura	25
Figura 2.13: Procesamiento de las imágenes satelitales.....	29
Figura 2.14: Proceso de transmisión y procesamiento de las señales de un satélite meteorológico	30
Figura 2.15: Ejemplo de trayectoria alternativas para las comunicaciones	34
Figura 3.1: Requerimientos de hardware y sistema operativo.....	35
Figura 3.2: Proceso de transmisión y procesamiento de las señales de un satélite meteorológico	37
Figura 3.3: Diagrama del sistema de la CAFFG.....	42
Figura 3.4: Ubicaciones de pluviómetros y estaciones meteorológicas Quito	43
Figura 3.5: Plan de SAT en Quito	44
Figura 3.6: Nivel de intensidad de milímetros de precipitación registrados	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla1.1: Variación de la permeabilidad según la textura del suelo.....	8
Tabla1.2: Tipos de radares meteorológicos.	23
Tabla1.3: Consideraciones logísticas para la instalación de una red de radares	26

Ordoñez Portilla Erick Leandro
Trabajo de graduación
Ing. Juan Córdova Ochoa
Junio 2013

ESTUDIO DE UNA RED DE MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO

INTRODUCCIÓN

Al rededor del mundo, los desastres naturales han pasado a ser una de las principales amenazas latentes sobre el planeta, con suma frecuencia, nos ponemos al tanto de continuos desastres naturales, en sus diversas manifestaciones, ya sean terremotos, inundaciones o huracanes; cuyo impacto y consecuencias implican la pérdida principalmente de vidas humanas, así como enormes repercusiones económicas para cada país.

La posibilidad de prever eficientemente la ocurrencia de estos fenómenos, poniendo énfasis primordialmente en lo que respecta a las inundaciones, es el principal objetivo de la presente monografía, pues el desarrollo de este tipo de propuesta supone enormes posibilidades en lo que respecta a prevención de accidentes y perdida de gran cantidad de recursos. Resultando conveniente para toda entidad gubernamental o empresarial, así como público en general, que de alguna manera sufran los impactos de este tipo de eventos.

Nuestro enfoque particular hacia las inundaciones, dentro de lo que son los desastres naturales se debe fundamentalmente a lo siguiente:

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), las crecidas repentinas son la forma más letal de amenaza natural y causan millones de dólares en daños a la propiedad cada año.

Según la OMM una crecida repentina es: una inundación de corta duración que alcanza un caudal máximo relativamente alto. Al hablar de un caudal máximo en un corto tiempo, hablamos a su vez, de un desastre de enorme magnitud en el cual es prácticamente imposible actuar hasta terminada su ocurrencia.

A continuación citaremos algunos ejemplos:



Figura A: Crecida repentina en España el septiembre 2012

(<http://www.guardian.co.uk/world/2012/sep/29/flash-floods-spain-torrential-rain> [Consulta 13 de enero del 2013])

Uno de los casos más recientes de crecida repentina se dio en Almería España el 29 de septiembre del 2012, en la que al menos 10 personas, tres de ellas niños, murieron después de que continuas lluvias torrenciales provocaran inundaciones a gran escala, simultáneamente a este hecho, otras 35 resultaron heridas cuando fuertes vientos arrasaron un parque de atracciones.

Sumado a lo mencionado anteriormente, la agencia meteorológica de España indico que 9,6 pulgadas de lluvia cayeron en la mañana del viernes 28 de septiembre del 2012, consecuentemente la población local se vio afectada con un desempleo del 30%, dicho sea de paso, pocas personas podían permitirse el lujo de contar con seguros.



Figura B: Crecida repentina del río Urubamba, Perú, enero de 2010

(http://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewsrsg_es/FF_EWS.Cap.4.pdf [Consulta 13 de enero del 2013]).

Por otro lado, el 28 y 29 de enero de 2010, en el pueblo de Aguas Calientes, las regiones de Cuzco y Apurímac en Perú, lluvias torrenciales, las más intensas en 15 años, arrojaron como resultado 20 muertos, 50.000 damnificados, 200.000 afectados y pérdidas en 5.000 hectáreas de cultivos. La vía férrea que une Machu Picchu con el Cuzco, única vía a las ruinas, se destruyó, quedando 4,000 turistas atrapados. Entre las medidas de socorro, hubo que realizar un operativo de rescate con la ayuda de helicópteros para evacuar a los turistas atrapados durante 48 horas aproximadamente en el pequeño pueblo.

Registros de pluviómetros ubicados 100 km aguas arriba marcaron 23.6 cm en 13 horas antes de la inundación.

Estos solo son pocos de los cientos de casos que continuamente ocurren alrededor del mundo, aun así son escasos los países que han optado por implementar un sistema de alerta de crecidas repentinas, pues la ciencia no es capaz de pronosticar con total o aceptable exactitud y suficiente tiempo de antelación, dónde ocurrirá una crecida repentina causada por lluvias torrenciales.

Sin embargo, con el avance de la tecnología y el desarrollo de nuevas técnicas en cuanto a precipitaciones se refiere, se ha logrado que los sistemas de alerta temprana (SAT) puedan ser más accesibles, eficaces y de mayor confianza. Ahora los países más vulnerables a inundaciones cuentan con una gran variedad de opciones y posibilidades para crear sistemas de alerta temprana contra inundaciones.

Cada día, gobiernos nacionales y locales, así como agencias de desarrollo internacional y los donantes bilaterales están invirtiendo más en apoyar los SAT, incrementando su difusión e implementación alrededor del mundo.

Para la realización de este tema se manejará una investigación de tipo documental bibliográfica ya que el proyecto estará orientado al análisis teórico y conceptual a partir del cual se elaborará un informe sobre el material registrado.

CAPITULO 1

ESTUDIO DE UN SAT Y CRECIDAS REPENTINAS

1.1 Sistema de Alerta Temprana (SAT)



Figura 1.1: Concepto de un SAT

Según la Unesco los Sistemas de Alerta Temprana SAT, son un conjunto de procedimientos e instrumentos, a través de los cuales se monitorea una amenaza o evento adverso (natural o antrópico) de carácter previsible, se recolectan y procesan datos e información, ofreciendo pronósticos o predicciones temporales sobre su acción y posibles efectos. Millones de personas en todo el mundo salvan sus vidas y sus propiedades gracias a la implementación de estos sistemas.

La importancia de un SAT radica en que podemos saber con anticipación y con cierto nivel de confianza o certeza un eventual peligro debido a un evento adverso de tipo natural que deberá ser informado y difundido con anticipación. Por ende el objetivo de un SAT es evitar o reducir accidentes, pérdidas humanas, daños a propiedades y al ambiente mediante una gestión de riesgos.

Los SAT tienen un papel trascendental al monitorear las condiciones hidrometeorológicas y el comportamiento de los cauces de los ríos o cuencas hidrográficas, con lo cual se pronostican las probabilidades de una inundación sobre un área específica.

Los SAT son sistemas automatizados que se basan en la observación y monitoreo mediante la utilización de redes de pluviómetros, estaciones de aforo, redes de radares, sensores satelitales o alguna combinación de estas con los cuales se vigila la cantidad de lluvia, los niveles de los ríos, para finalmente pronosticar crecidas en forma precisa.

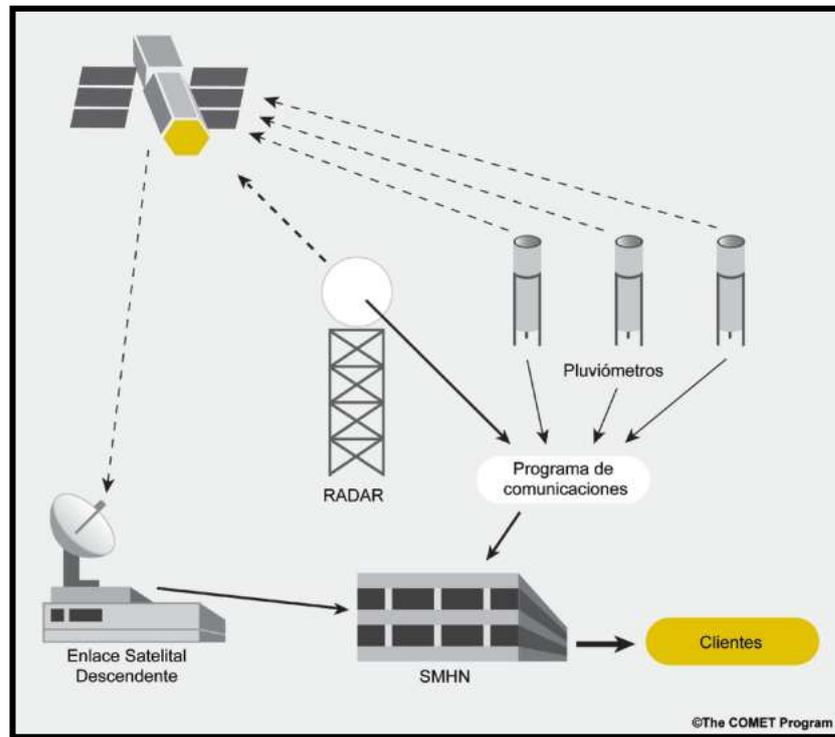


Figura 1.2: Ejemplo de trayectorias redundantes de comunicación de datos

(http://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewsrsg_es/FF_EWS.Cap.4.pdf [Consulta 13 de enero del 2013]).

Estos sistemas tienen aplicación en cuencas hidrográficas y se apoyan en organizaciones de tipo técnico científico como los Centros Especializados en Hidrometeorología, Universidades, Sistema Nacional de Protección Civil, Gobiernos Locales y otros actores sociales.

1.2 Estudio de Crecidas Repentinas

Las causas de las inundaciones son varias, pero la principal a considerar en este estudio es la generada por lluvias torrenciales capaces de provocar el desbordamiento de ríos.

En zonas urbanas, las crecidas repentinas causadas por lluvias torrenciales son cada vez más serias conforme las ciudades crecen y se expanden. Las superficies como el concreto junto con las alteraciones a los drenajes naturales, crean una escorrentía (corriente de agua que rebosa su depósito o cauce natural o artificial) instantánea de gran magnitud que puede inundar carreteras y domicilios.

Cuando mayor sea la precipitación de la lluvia aumenta la probabilidad de que se genere una mayor escorrentía debido a que el suelo no puede absorber el agua con suficiente rapidez por diferentes motivos, pero la principal es la saturación (máxima cantidad de agua que el suelo puede retener contra la fuerza de la gravedad), entonces podemos decir que los suelos saturados con poca capacidad de retención de agua son mucho más susceptibles a crecidas repentinas.

En algunos casos son mucho más importantes las condiciones del suelo debido a la escorrentía que las mismas condiciones de la lluvia.

1.3 Efectos del suelo

Como explicamos anteriormente el suelo tiene gran importancia en las crecidas repentinas por eso a continuación realizaremos un estudio del mismo.

- Profundidad del suelo: es importante ya que de la profundidad del suelo depende el volumen de agua que puede almacenar.

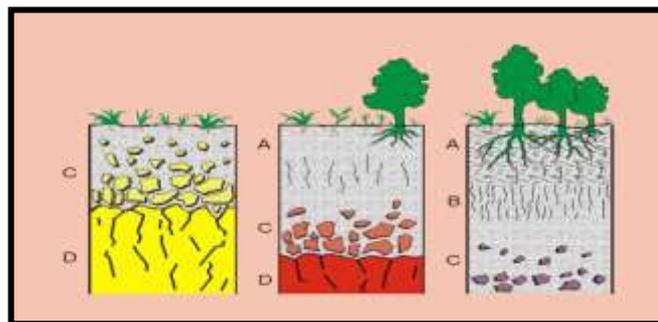


Figura 1.3: Volumen de Agua vs Profundidad del Suelo

(<http://contaminaciondelagua-prepa2.blogspot.es/> [Consulta 13 de enero del 2013])

En la figura anterior se muestra la profundidad del suelo vs el volumen del agua, por la gráfica podemos entender que mientras menor sea la profundidad del suelo mayor escorrentía existirá, pues tendrá menos volumen para la retención de agua.

- Humedad del suelo: Se denomina humedad del suelo a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno.

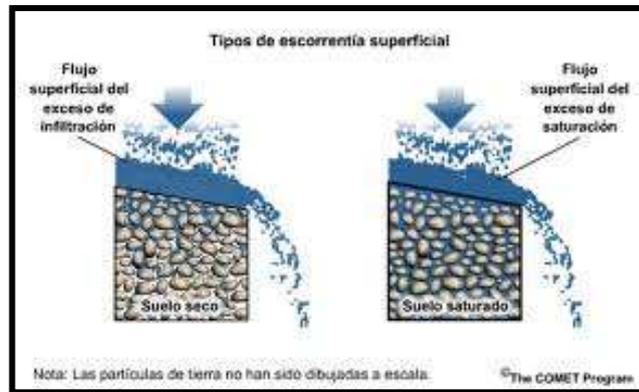


Figura 1.4: Humedad del suelo

(www.meted.ucar.edu [Consulta 13 de enero del 2013])

La humedad del suelo es un factor a considerar, ya que si el terreno es muy húmedo, tendrá una gran cantidad de agua presente en el suelo al momento de la lluvia (suelo saturado), esto disminuirá la capacidad del suelo para retener el agua por lo cual existirá mayor escorrentía ayudando así a una crecida repentina.

Por otro lado, en terrenos donde no hay humedad es decir terrenos secos, la lluvia sobrepasará la capacidad de infiltración del suelo generando escorrentía instantánea, esto se produce porque el suelo no podrá absorber el agua con suficiente rapidez.

- Permeabilidad del suelo: es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire.

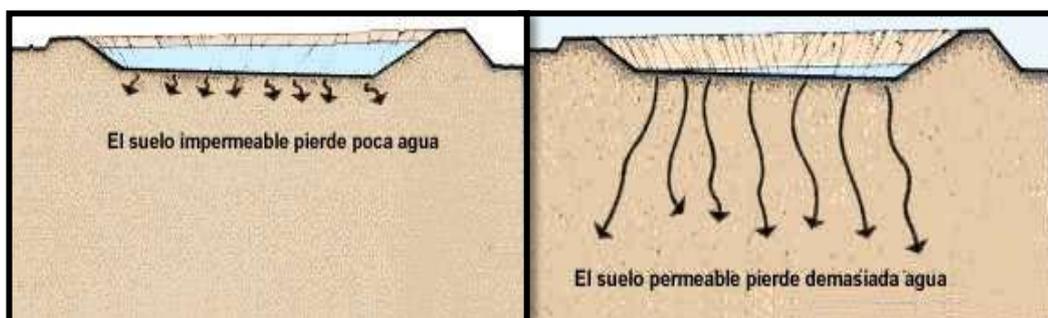


Figura 1.5: Permeabilidad del suelo

([ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm](http://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm) [Consulta 13 de enero del 2013])

El tamaño de los poros del suelo reviste gran importancia con respecto a la tasa de filtración (movimiento del agua hacia dentro del suelo) y a la tasa de percolación (movimiento del agua a través del suelo). El tamaño y el número de los poros guardan estrecha relación con la textura y la estructura del suelo, y también influyen en su permeabilidad como podemos observar en la figura 1.6.

Por regla general, como se muestra en la tabla 1.1, mientras más fina sea la textura del suelo, más lenta será la permeabilidad:

Suelo	Textura	Permeabilidad
arcillosos	Fina	De muy lenta a muy rápida
limosos	Moderadamente fina	
	Moderadamente gruesa	
arenosos	Gruesa	

Tabla1.1: Variación de la permeabilidad según la textura del suelo

(ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm [Consulta 15 de enero del 2013])

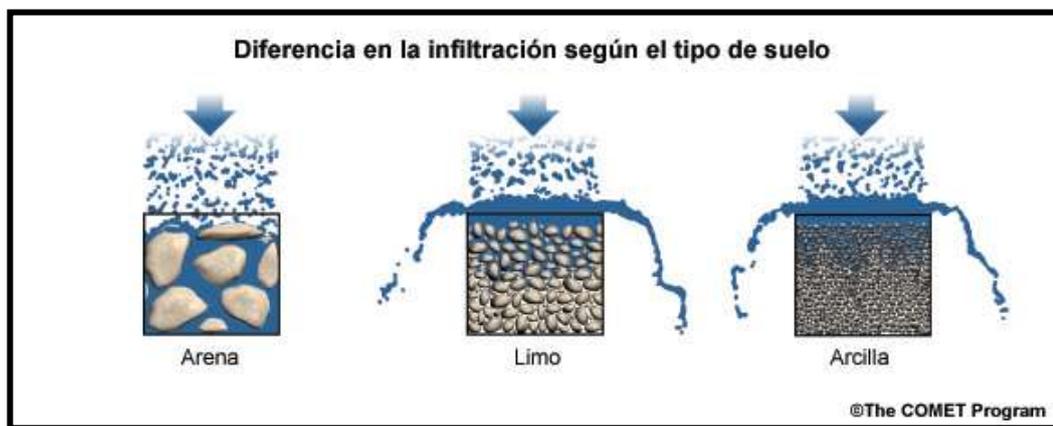


Figura 1.6: Infiltración según tipo de suelo

(http://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewsrg_es/FF_EWS.Cap.2.pdf [Consulta 15 de enero del 2013])

Se debe tomar en consideración la permeabilidad del suelo, porque de ésta depende la capacidad de infiltración del suelo que da la posibilidad de generar o no una crecida repentina.

CAPITULO 2

SENSORES HIDROMETEOROLÓGICOS Y COMUNICACIÓN DE DATOS

2.1 Redes de Monitoreo Hidrometeorológico

Para llevar a cabo el control de las variables hidrometeorológicas que permita prever una crecida repentina, se instalan los equipamientos necesarios como sensores, compuestos de pluviómetros, radares y sensores satelitales que en conjunto se denominan estación hidrometeorológica. En estas estaciones se lleva un control continuo de los diversos parámetros, quedando registrados y siendo transmitidos en ese mismo instante a un centro de control. Las estaciones hidrometeorológicas se distribuyen a lo largo de las cuencas hidrográficas formando las Redes Hidrometeorológicas.

2.2 Sensores Hidrometeorológicos

Los sensores hidrometeorológicos nos brindan la capacidad de ofrecer información y conocimiento en tiempo real e histórico de las condiciones hidrometeorológicas. Además realizaremos el estudio de los diferentes tipos de sensores de observación utilizados para formar una red multi-sensor y las tecnologías asociadas para comunicar esos datos para su análisis.

2.3 Redes de pluviómetros

Las redes pluviométricas se componen lógicamente de los pluviómetros que existen o son colocados en un territorio y se emplean para la evaluación de la precipitación en una zona o cuenca. Se diseñan en función del relieve, ya que en zonas llanas las lluvias son más homogéneas, pero en zonas de montaña se necesita una mayor densidad de pluviómetros al existir una mayor variabilidad en la precipitación.

A partir de la información puntual de los pluviómetros se puede estimar cómo se ha producido la lluvia a lo largo y ancho de la cuenca, en posición y magnitud. Estas estimaciones se emplean en los modelos hidrometeorológicos que se utilizan en los análisis de los recursos hídricos.

Además como punto aclaratorio cuando la infraestructura de pluviómetros es de vieja tecnología es decir inadecuada o no existen, se puede instalar nuevos pluviómetros para llenar los vacíos en cobertura o para remplazar viejas tecnologías. Pero cuando deseamos instalar pluviómetros nuevos, se requiere tiempo para acumular un registro histórico que se pueda utilizar para predicción y calibración de modelos, siempre es preferible continuar utilizando los pluviómetros en locaciones existentes para explotar ese registro. Se recomienda utilizar pluviómetros automatizados en tiempo real para asegurar el muestreo y transmisión rápida de observaciones críticas a un centro de pronóstico.

2.4 Pluviómetros

El pluviómetro es un instrumento que se emplea en las estaciones meteorológicas para recoger y medir la precipitación.

Los pluviómetros modernos cuentan con una plataforma de recolección de datos (PRD), fuente de poder y unidad de manejo, también cuentan con un dispositivo de comunicación.



Figura 2.1: Pluviómetro basculante vista por su exterior e interior

(http://www.directindustry.es/prod/onset/pluviometros-registradores-57875_518717.html [consulta 7 de enero del 2013])

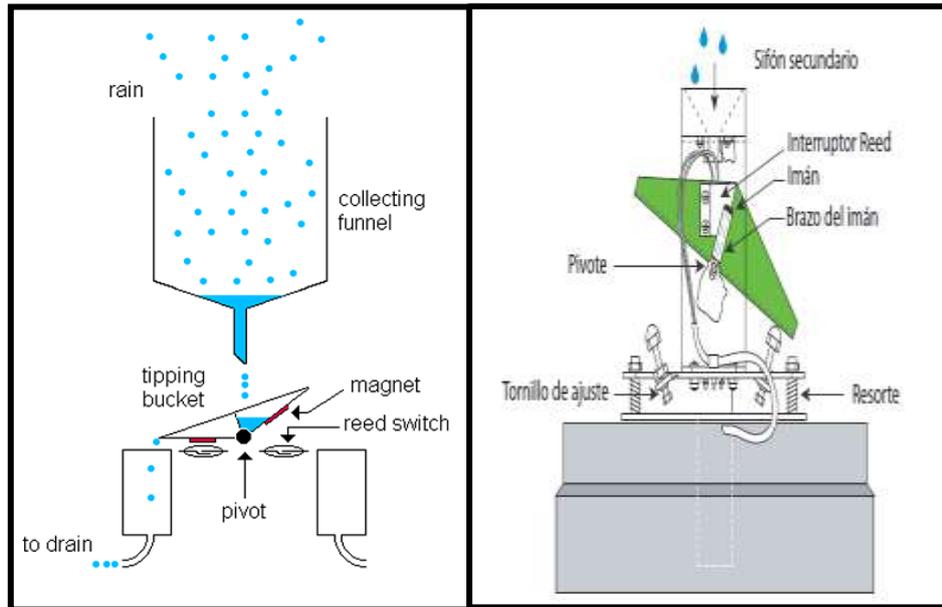


Figura 2.2: Representación de funcionamiento y partes de un pluviómetro basculante típico

(<http://www.ectinschools.org/page.php?ps=39&p=160> [consulta 7 de enero del 2013])

Al pluviómetro se le suelen sumar otros sensores como de temperatura, humedad del aire, presión barométrica y velocidad conjuntamente con la dirección del viento como podemos observar en la siguiente figura:



Figura 2.3: Pluviómetro moderno con diferentes sensores

(<http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/logger-de-datos/pluviometro-watchdog.htm> [consulta 7 de enero del 2013])

Ahora adjuntaremos como ejemplo un catálogo de un pluviómetro visto y estudiado durante el curso de graduación de la empresa argentina TECMES que es muy interesante en cuanto a su tecnología.



Figura 2.4: Pluviómetro de la empresa argentina TECMES

(<http://www.tecmes.com.ar/pdf/TS%20221%20Pluviometro%20sensor%20de%20precipitacion.pdf>
[consulta 7 de enero del 2013])

Características destacadas:

- Fácil calibración.
- Alta exactitud y rango.
- Boca calibrada.
- Detección por reed switch e imán.
- Cangilones de 0.10; 0.20; 0.25; o 0.50mm.

Descripción:

La lluvia, colectada por una boca con un aro de captación de diámetro calibrado, es conducida por medio de un embudo de una sola pieza al receptor interno que descarga sobre un cangilón basculante.

Al volcar este un contacto magnético (reed - switch) sin vinculación mecánica con el cangilón, emite una señal de pulso digital.

El ángulo y profundidad del embudo impide rebotes a altas intensidades y mediante un sistema de filtros de malla se impide el paso al cangilón de materiales en suspensión e insectos.

El diseño del cangilón mantiene la calibración del instrumento en un amplio rango de intensidades.

Construido con materiales inoxidables como bronce, acero inoxidable, aluminio, PVC, hacen del instrumento un equipo confiable e inalterable aún en condiciones ambientales severas.

Las plataformas de recolección de datos registran los productos de los pluviómetros y los almacenan para ser interrogados remotamente por un programa de adquisición de datos. Todas las empresas principales de instrumentos meteorológicos ofrecen opciones de PRD.

Los dispositivos de comunicaciones para recolectar los datos de los pluviómetros idealmente deberían utilizar redes de comunicación telefónica (fijas o celulares de baja potencia), radio UHF/VHF o PRDs GOES para transmitir los datos.

Como otro ejemplo describiremos la estación hidrometeorológica de la empresa española Campbell Scientific Spain S.L.: Las estaciones hidrometeorológicas Campbell Scientific se han convertido en referencia mundial como estándar de monitorización de datos meteorológicos ya que ofrecen la flexibilidad para cambiar fácilmente la configuración de los sensores, procesado de datos, almacenamiento y recogida de datos.

- Registradores de datos (Dataloggers)

Las estaciones meteorológicas Campbell Scientific están basadas en un datalogger programable (CR510, CR10X o CR23X) que muestrea los sensores y almacena registros de datos procesados. Los datos se almacenan con las unidades de medida que desee (ej., velocidad de viento en m/s, km/h). Las muestras se procesan, y se almacenan registros minútales y diarios (ej., máximas, mínimas, medias).

También admite registros de salidas condicionales como por ejemplo la intensidad de lluvia. El software para PC simplifica la programación del datalogger, la recogida de datos, y la generación de informes. Puede modificar el programa del datalogger en cualquier momento para acomodarse a distintos sensores o cálculos.

El datalogger tiene intervalos de ejecución programables, instrucciones predefinidas para los sensores más comunes, y canales de entrada para medir la mayoría de sensores. Si se requiere de un gran número de sensores, la capacidad de la estación se puede expandir mediante periféricos de control y medida adicionales.

A continuación describiremos las partes de todo el sistema (figura 2.5).

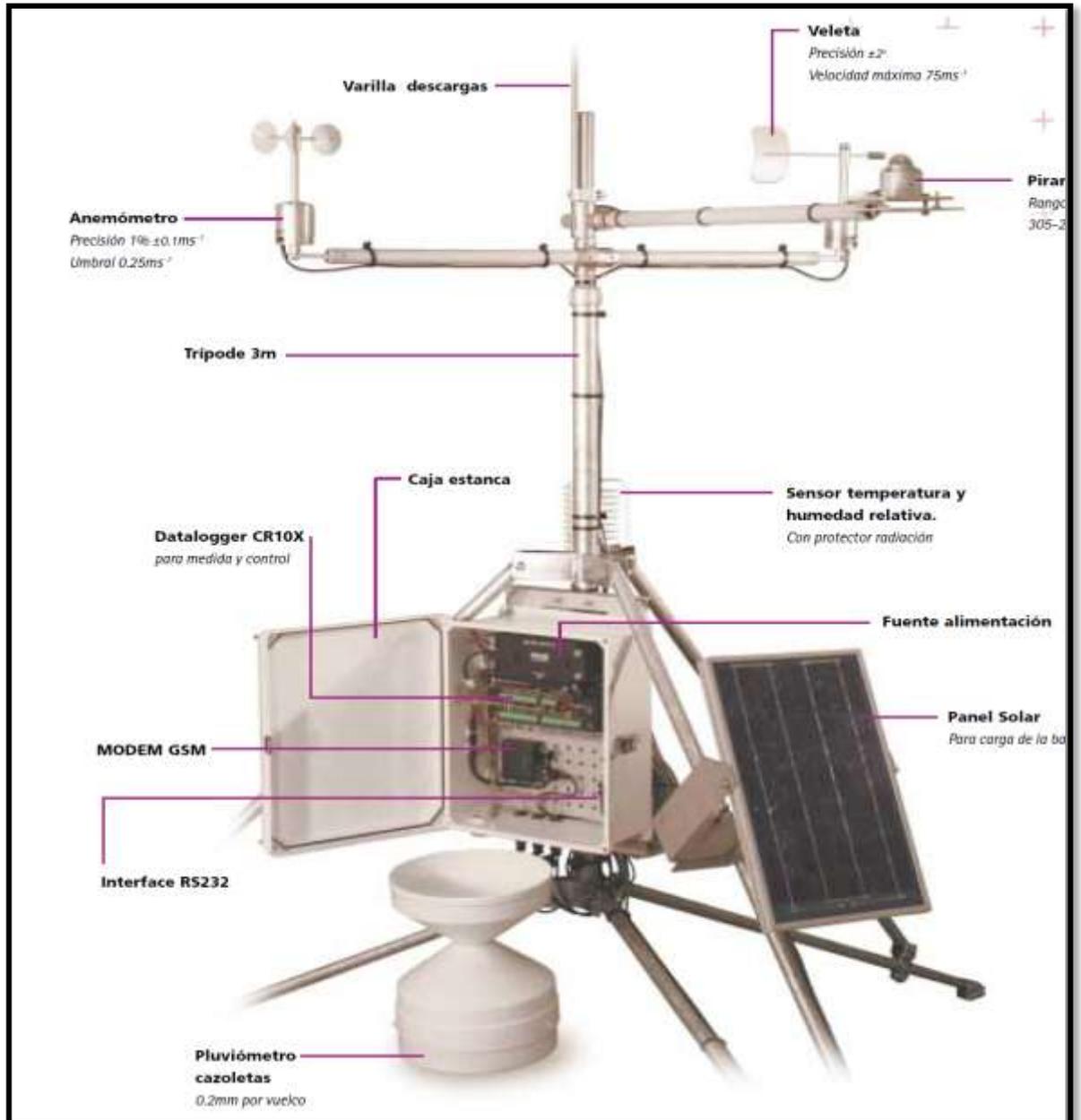


Figura 2.5: Partes de una estación hidrometeorológica Campbell
(Revista digital Campbell scientific, estaciones meteorológicas, página 1)

- Sensores

Todos los sensores se conectan directamente a los dataloggers. Si se requieren medidas concretas, los dataloggers poseen entradas analógicas, contadoras de pulsos digitales compatibles con casi la mayoría de fabricantes de sensores.

Sensores estándar:

- Velocidad de Viento: anemómetros de cazoletas, hélice, o sónicos.
- Dirección de Viento: veletas potenciométricas, anemómetros sónicos (un solo sensor puede medir velocidad y dirección de viento).
- Temperatura (aire, agua, suelo): termistores, termopares, o RTDs.
- Humedad Relativa: sensores capacitivos que utilizan acondicionamiento interno. (El elemento sensor de HR y temperatura de aire se encuentran normalmente juntos en el mismo cabezal).
- Precipitación: pluviómetros de cazoletas basculantes o de pesada. Modelos con anticongelante y calefactados.
- Presión Barométrica: tecnología de cuarzo resonante.
- Humedad de suelo: bloques de humedad, tensiómetros con salidas analógicas o reflectómetros.

- Alimentación eléctrica

La alimentación eléctrica puede ser mediante pilas alcalinas o baterías recargables; estas pueden ser recargadas mediante panel solar o 220Vac. Las estaciones con periféricos de gran consumo (satélite, teléfono móvil) pueden necesitar una batería de mayor capacidad.

- Cajas intemperie

La caja intemperie contiene el datalogger, fuente de alimentación, periféricos de comunicaciones, y en caso de requerirse un barómetro. La caja proporciona protección contra polvo, humedad, lluvia, luz solar y polución medioambiental. Las cajas están estabilizadas UV y reflejan la radiación solar. Abrazaderas con fijaciones U permiten fijar la caja fácilmente a trípodes y torres.

- Periféricos de Comunicaciones y Almacenamiento de datos

Para determinar la mejor opción en la instalación, se debe considerar la accesibilidad al lugar, disponibilidad de servicio (ej., teléfono móvil o cobertura de satélite), cantidad de datos almacenados y el intervalo de tiempo entre descargas.

- Opciones de las instalaciones en campo:

- Módulos de almacenamiento
- Ordenador Portátil
- Teclado/Display para el Datalogger
- Puerto Infrarrojo

- Las opciones en Telecomunicaciones incluyen:

- Módems banda base
- Teléfono (incluyendo RTB, voz-sintetizada y celular)
- Ethernet TCP/IP
- Transmisores Radio Frecuencia (incluyendo VHF, UHF, ELOS, Meteor burst y Spread Spectrum)
- Interfaz multipunto (coaxial)
- Interfaz RS485
- Transmisores por Satélite (incluyendo High Data Rate GOES, Argos y Inmarsat-C)

- Software de las estaciones hidrometeorológicas

El software permite la programación, las comunicaciones entre PC-estación y la visualización de datos.

LoggerNet: El programa LoggerNet consiste en proporcionar diversas aplicaciones para el cliente y una aplicación para el servidor, integrado en un mismo producto. El servidor corre en el PC principal, y utiliza los puertos serie, los drivers de telefonía y Ethernet para comunicar con los dataloggers vía módem telefónico, dispositivos RF y otros periféricos, permitiendo al usuario programar remotamente las estaciones y recoger y procesar los datos de la red de estaciones remotas. El usuario puede personalizar los programas y la propia pantalla de visualización, para ver datos, banderas o estado de los puertos de control. Los datos recogidos se pueden exportar fácilmente a hojas de cálculo o a paquetes de presentación de datos. LoggerNet incorpora el software RTMC de presentación de datos en tiempo real, que incluye una opción para generación de avisos.

Este potente programa permite a múltiples usuarios acceder simultáneamente a los datos, sin necesidad de contactar con cada datalogger de la red, y así escoger los datos que se desea y programar descargas automatizadas.

El generador de programas SCWin crea programas para estaciones meteorológicas con solo introducir los sensores y registros de datos deseados.

El software de iniciación PC200W permite transferir el programa a la estación y recoger los datos mediante comunicación directa (ej., un interfaz RS-232 aislado óptimamente o dispositivo similar).

RTDM es un programa gráfico que permite a usuarios avanzados crear sofisticadas pantallas de datos en tiempo real.

Pueden fijarse controles y alarmas, y las pantallas pueden incluir gráficos de evolución. Pantallas disponibles para páginas Web.

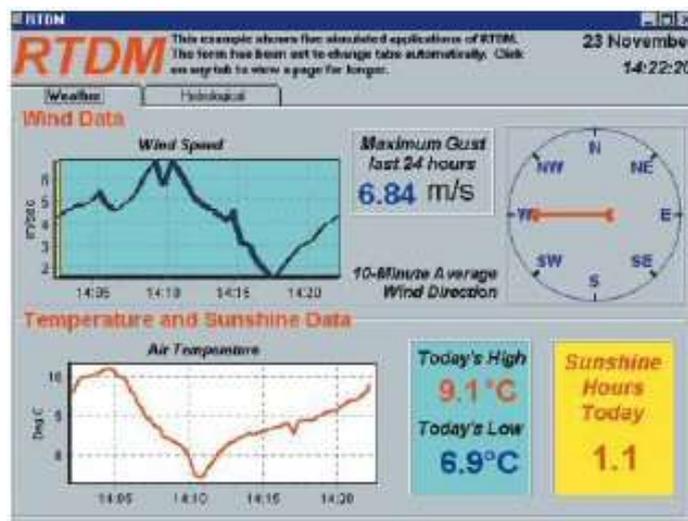


Figura 2.6: Programa grafico RTDM

(Revista digital Campbell scientific, estaciones meteorológicas, página 7)

2.5 Estaciones de aforo

Las estaciones de aforo constan de algún instrumento para medir el nivel o elevación de superficie de agua, estas estaciones de aforo miden el caudal a partir de dicho nivel o elevación de superficie de agua, esta se compara con una tabla o grafico llamada relación nivel – caudal la misma está conformada por mediciones manuales del caudal y la altura para tener una estimación instantánea del caudal fluvial.

Hay numerosas opciones para la medición de la superficie del agua y para la creación de tablas de relación nivel-caudal entre los proveedores comerciales. Las opciones incluyen cámaras que reportan por internet dirigidas a limnímetros instalados permanentemente, sensores acústicos de profundidad y manómetros tradicionales.



Figura 2.7: Limnómetro

(http://www.bizkaia.net/home2/Temas/DetalleTema.asp?Tem_Codigo=2385&Idioma=CA [consulta 9 de febrero del 2013])

Una mejor manera de aforar el agua es empleando un aparato llamado limnógrafo o limnómetro, el cual tiene la ventaja de poder medir o registrar los niveles de agua en forma continua en un papel especialmente diseñado, que gira alrededor de un tambor movido por un mecanismo eléctrico.

Los limnógrafos están protegidos dentro de una caseta. Vienen acompañados de las instrucciones precisas para su operación y cuidado, así como de un sistema de transmisión de datos on line.

En el limnómetro electrónico, el registro electrónico tiene lugar mediante un sensor digital o limnómetro y un sensor analógico de la presión de la columna de lámina de agua. Estos datos electrónicos son los que se registran en forma digital en un almacén de datos o datalogger cada 10 minutos, mientras que el registro en papel es continuo.

Al igual que los pluviómetros las estaciones de aforo constan de una plataforma de recolección de datos (PRD), una fuente de poder con una unidad de manejo y un dispositivo de comunicación. Para minimizar costos se coloca un pluviómetro en la estación de aforo para así poder expandir la red de observación de precipitación con una misma plataforma de recolección de datos (PRD).

2.6 Redes de radares meteorológicos

Las redes de radares meteorológicos están destinadas a brindar una estimación de alta resolución en tiempo real de la lluvia sobre la región de interés.

Los radares meteorológicos son muy importantes y considerados como una herramienta poderosa para monitoreo y pronóstico debido a que puede detectar la formación de nubes, seguir su movimiento y evolución, explorar su estructura interna y realizar estimaciones cuantitativas de la cantidad de precipitación que producen en la superficie. Es un tipo de radar que, como su nombre lo dice, es usado en meteorología para localizar precipitaciones, calcular sus trayectorias y estimar sus tipos (lluvia, nieve, granizo, etc.).

El principio de funcionamiento de un radar es emitir una onda, por medio de una antena, pulsos electromagnéticos de duración t (en el orden de los milisegundos) y de longitud de onda λ (en el orden de los centímetros). Esta onda tiene la finalidad de llegar a las partículas de precipitación o las gotas de agua propiamente dichas.

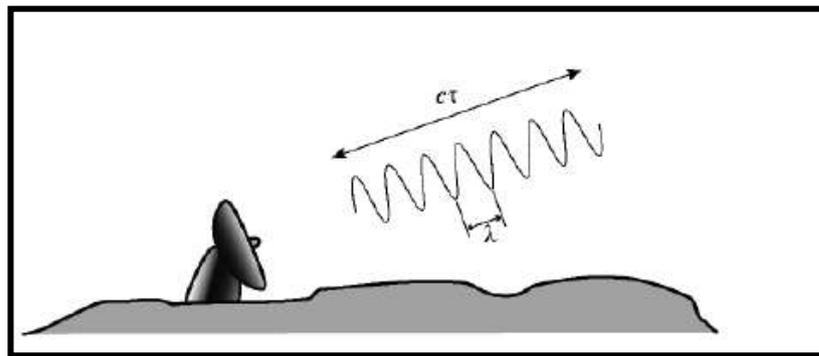


Figura 2.8: Emisión de un pulso de duración t y longitud de onda λ

(http://www.crahi.upc.edu/curs/html_pages/trasp1.html [Consulta 4 de Febrero del 2013])

Dicha energía se concentra en un haz que al emitirse al exterior forma dos tipos de lóbulos, el lóbulo central, que concentra la mayor cantidad de energía emitida, y los lóbulos secundarios de menor intensidad.

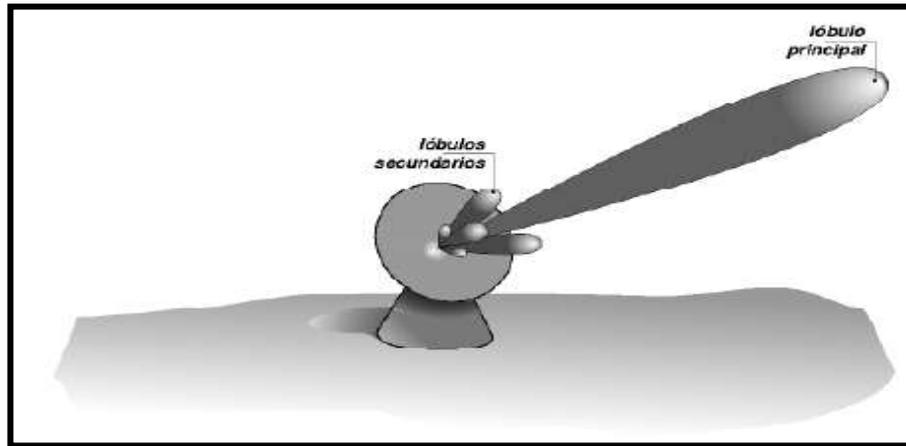


Figura 2.9: Distribución de la energía distribuida por el radar

(http://www.crahi.upc.edu/curs/html_pages/trasp1.html [Consulta 4 de Febrero del 2013])

En el momento que el objetivo, en este caso la partícula de precipitación, es alcanzada por el haz de energía, este se dispersa en todas direcciones, y por supuesto, una fracción es enviada de vuelta en dirección del radar y captada por el receptor, generalmente localizada en la misma antena.

La distancia entre el objetivo y el radar se obtiene midiendo el tiempo que transcurre entre la emisión y recepción de la onda electromagnética pues dicha onda se sabe que se transmite a la velocidad de la luz.

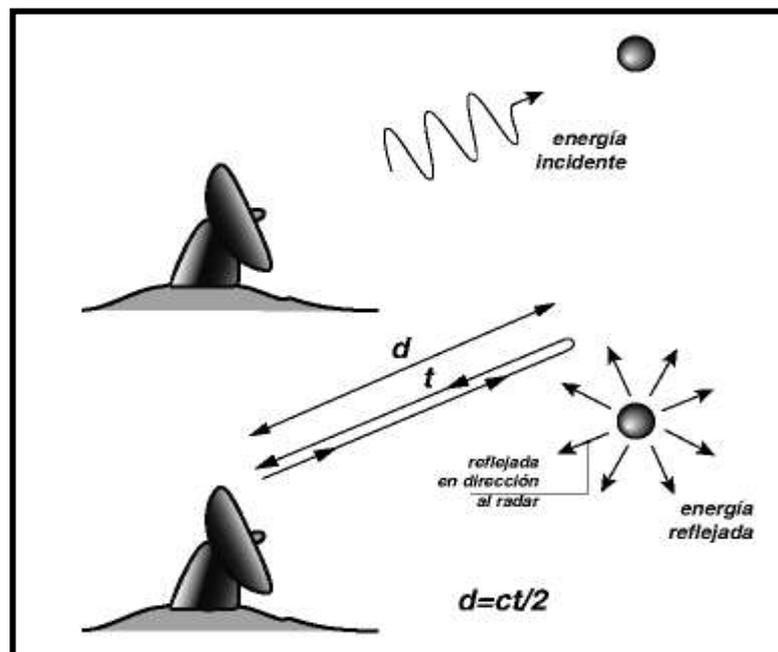


Figura 2.10: Esquema de la energía captada y reflejada por una gota

(http://www.crahi.upc.edu/curs/html_pages/trasp1.html [Consulta 4 de Febrero del 2013])

El radar registra la energía devuelta por el objetivo hacia su dirección, se representa en forma de potencia de vuelta, como se expresa matemáticamente a continuación:

- Formula para la potencia recibida por el radar

$$\bar{P}(r_0) = \frac{C}{L^2(r_0)r_0^2} Z(r_0)$$

Donde $\bar{P}(r_0)$ es la potencia media devuelta por las partículas de precipitación situadas a una distancia r_0 del radar, hablamos de potencia media pues las emisiones están formadas por un tren de impulsos, por ende se reciben "n" valores a promediar para hacer el dato resultante lo más robusto y preciso posible. C es una variable que agrupa las características propias del mismo radar, Z se refiere a la variable o coeficiente de reflectividad.

La variable L tiene que ver con la atenuación que analizaremos posteriormente como un fenómeno individual.

- Medida de lluvia por radar

El coeficiente de reflectividad Z se define como la suma de los diámetros elevados a la sexta potencia de las partículas de precipitación contenidas dentro de un volumen, donde $N(D)$ está en función de la distribución de las gotas de agua, que se expresan matemáticamente de la siguiente manera:

$$Z = \int_0^{\infty} N(D)D^6 dD$$

Por otro lado, la intensidad de lluvia R se puede medir como el flujo de agua a través de una superficie, donde $V(D)$ representa la velocidad de caída de las partículas de precipitación que poniéndola en función de $N(D)$ se puede formular como:

$$R = \frac{\pi}{6} \int_0^{\infty} V(D)N(D)D^3 dD$$

Partiendo de la reflectividad (Z) y la intensidad de precipitación (R) se ha demostrado que relacionando ambas variables obtenemos la siguiente función potencial:

$$Z = aR^b, \text{ como } Z = 200R^{1.6}$$

Donde a y b son coeficientes que dependen del tipo de precipitaciones

- Atenuación

Se define como atenuación a la pérdida de energía que sufre el haz electromagnético ya sea por absorción y/o dispersión del mismo, debido a las partículas de precipitación, o por factores externos tales como los gases que componen la atmosfera por donde se propaga el haz; en donde, en función de la distancia entre el radar y el objetivo, la atenuación $L(r_0)$ se puede expresar matemáticamente como:

$$L(r_0) = \exp\left(\int_0^{r_0} (k_g + k) dr\right)$$

Donde k_g es el coeficiente de atenuación de gases y k se define como el coeficiente de atenuación de las partículas de precipitación.

Donde k podemos expresar matemáticamente como:

$$k = \int_0^{\infty} N(D, R) \sigma_e(D) dD$$

Donde $\sigma_e(D)$ es la sección total de atenuación de diámetro D .

De la misma manera que la relación entre reflectividad e intensidad de precipitación, se puede establecer también una relación entre el coeficiente de atenuación de las partículas (k) y la intensidad de precipitación R que es:

$$k = aR^b$$

Donde a y b dependen del tipo de precipitaciones

- Tipos de radares meteorológicos

Mediante el siguiente cuadro se explica brevemente los diferentes tipos de radares meteorológicos:

Características Tipos de radares	Frecuencia	Longitud de Onda	Rangos de Distancia	Ventajas	Desventajas
Banda S	2- 4 GHz	8 – 15cm	0<r<240km	No se ven afectados por la atenuación	Precio elevado
Banda C	4 – 8 GHz	4 – 8 cm	< 120km	Portabilidad y Precio	Afectados por la atenuación
Banda X	8 – 12 GHz	2.5- 4cm	< 60km	Sensibles a partículas de menor tamaño portables y buen precio	Muy afectados por la atenuación

Tabla1.2: Tipos de radares meteorológicos.

2.7 Criterios de diseño

Para la instalación de las redes de radares meteorológicos se debe tener en cuenta una serie de puntos estratégicos como tácticos, como por ejemplo un análisis de características del terreno y de la precipitación de la región, ahora brindaremos ciertos criterios para la selección del sitio a instalar el sistema:

- Intensidad de la precipitación: es primordial entender los parámetros de intensidad de precipitación locales de una región antes de colocar una red de radares; hay que entenderlo porque de esto depende la atenuación de la señal del radar, que aumenta debido al incremento de ciertos factores como la intensidad de la precipitación, la longitud de la trayectoria a través de la lluvia y por último la longitud de la gota de la lluvia, mientras estas aumentan, también aumenta la atenuación de la señal.

La atenuación tiene como principal impacto negativo la disminución artificial de la reflectividad del radar, ya que las longitudes de onda son aproximadamente diez veces el diámetro de las gotitas de agua, debido a la dispersión de Rayleigh. Esto significa que parte de la energía de cada pulso rebota en esas pequeñas partículas, volviendo en la dirección de la estación de radar. Ahora, si aumenta la intensidad de precipitación igualmente con el tamaño de las gotas, el haz del radar tendrá más pérdida de energía por la absorción y dispersión debido a las gotas y gases atmosféricos.

Las longitudes de onda más cortas se usan útilmente para partículas más diminutas, la señal es más rápidamente atenuada ya que como mencionamos anteriormente el principal impacto negativo de la atenuación es la reducción artificial de la reflectividad del radar, lo que conlleva a subestimar la precipitación.

- Topografía: la topografía es esencial a la hora de analizar los criterios de diseño, es preferible que el haz del radar esté lo más cerca del suelo para tener un muestreo óptimo de la precipitación, lo cual se consideraría fácil en planicies pero en lugares con valles y montañas es difícil porque el haz del radar se va a ver bloqueado por el terreno, por ende se colocarán en un lugar alto del suelo, por lo general en la cresta de una montaña donde probablemente tendrá un mejor horizonte. En los valles, el muestreo se verá afectado debido a que quedarán vacíos, como por ejemplo condiciones abajo y encima de las crestas de la montañas. Para esto puede ser ventajoso emplear "vigilancia" de alcance amplio o también una combinación de radares de "vigilancia" de banda C (~5 cm de longitud de onda) y de banda S (~10 cm de longitud de onda) y radares de banda X (2,5 a 4 cm de longitud de onda) de alcance más corto (< 40 km). También es crítico que el haz no se extienda a niveles por encima de donde se está formando la mayor parte de la precipitación.

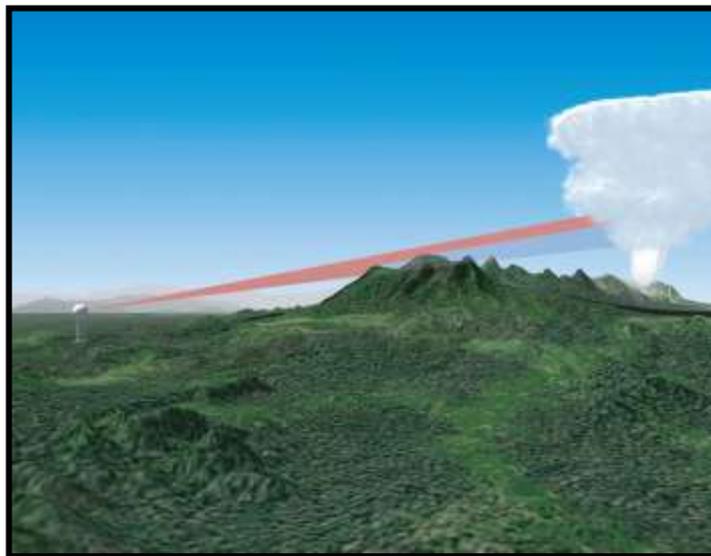


Figura 2.11: Ubicación de un radar en un terreno complejo

(www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewsrsg_es/FF_EWS.Cap.3.pdf [Consulta 13 de enero del 2013])

- Alcance de cobertura: para lograr una cobertura adecuada no solo se debe analizar la influencia del número estaciones requeridas, atenuación o topografía, sino también el alcance, ya que a un mayor alcance, mayores son las dimensiones horizontales y verticales del haz, esto minimiza la capacidad de resolver fenómenos atmosféricos.

Además los efectos como el ángulo de la curvatura de la tierra y el ángulo del radar elevan el haz del radar por encima de la superficie de la tierra con un alcance mayor. A una cierta altura, como podemos observar en la gráfica, el haz del radar pasará por alto una porción importante de las partículas de precipitación que se forman apenas encima de la base de las nubes.

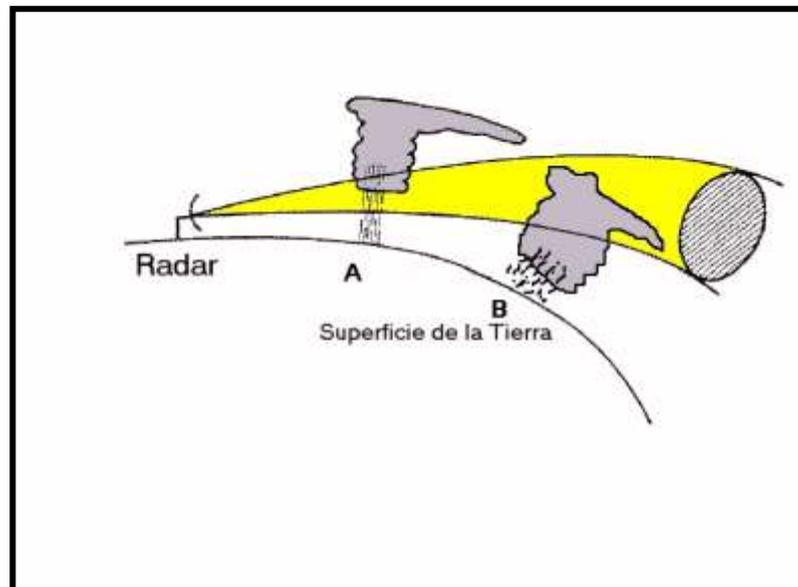


Figura 2.12: Alcance de cobertura

(<http://www.tiempo.com/ram/2093/algunas-consideraciones-bsicas-sobre-falsos-ecos-detectados-por-los-radares-meteorolgicos/> [Consulta 13 de enero del 2013])

- Consideraciones logísticas para la instalación de una red de radares: en el siguiente cuadro presentamos consideraciones y preguntas acerca del sitio propuesto para la estación, que se consideran como elementales para un criterio de diseño según guía de referencia para sistemas de alerta temprana de crecidas repentinas.

Consideraciones	Preguntas a plantear
Propiedad de la Tierra Título de Propiedad Zonificación	¿Quién es propietario del sitio propuesto para la estación? ¿Tiene alguna zonificación que pudiera permitir la operación de un radar? ¿Dará el propietario una servidumbre o acceso irrestricto? ¿Cargos de alquiler u otros gastos?
Uso Actual	¿Será compatible el uso actual de la tierra con operaciones de radar? ¿Existe suficiente espacio libre para una estación e infraestructura de apoyo? (Verifique con los proveedores del radar para determinar la huella de la estación y los requisitos de espacio.) ¿Existen obstrucciones, naturales o hechas por el hombre, que pudieran restringir el barrido del haz del radar hoy o más adelante?
Infraestructura Existente de Energía y Comunicaciones	¿Cuáles servicios eléctricos y de gas existen en o cerca del sitio? ¿Existen telecomunicaciones de datos y de voz, por enlaces inalámbricos o terrestres? ¿Qué tan robusta es la infraestructura y existen líneas de comunicación redundantes? ¿Existe suficiente espacio para un generador de diésel o un suministro eléctrico de respaldo operado por gas y un tanque de almacenamiento de combustible asociado?
Vías de Acceso Existentes	¿Se puede acceder al sitio todo el año, especialmente durante la temporada de inundaciones/flujo de escombros? ¿Se puede acceder a través de una ruta alterna si la ruta primaria se viera interrumpida? ¿Pueden viajar con seguridad vehículos grandes hacia y desde la estación?
Instalaciones de Apoyo Existentes	¿Existe alojamiento en el sitio y espacio de oficina para el operador de la estación? ¿Existe alojamiento o mercados vecinos?
Seguridad Física	¿Está el sitio protegido contra vandalismo, robo o terrorismo? De lo contrario, ¿se podrá asegurar a un precio asequible?
Seguridad Personal	¿Existen poblaciones dentro del barrido del haz que pudieran estar en riesgo por la energía de microondas o por cualquier otro peligro?
Visibilidad	Si se requiere un enlace de microondas para comunicaciones, ¿existe una clara línea de vista/trayectoria de señal entre el sitio, las estaciones repetidoras y el centro de pronóstico? También, ¿podría minimizarse el impacto visual de la estación de radar para la comunidad circundante sin comprometer su desempeño?
Proximidad	¿Qué tan cerca está el sitio al personal que deberá acceder a la estación en caso de emergencia o de manera regular?
Interferencia Electromagnética	¿Cuáles son las fuentes de interferencia de señales que pudieran impactar el desempeño del radar u otras funciones críticas tales como la transmisión de datos?
Licencias de Frecuencia Radial	¿Cuáles son los requisitos reglamentarios locales y nacionales para la propagación de señales y acceso a espectros?
Instalación versus Operaciones	¿Cómo impactan los aspectos anteriores el costo de instalar la estación a corto plazo versus el costo de operar la estación a largo plazo? Este análisis comparativo es crítico para comprender integralmente los trueques y encontrar los sitios óptimos para la red de radares.

Tabla1.3: Consideraciones logísticas para la instalación de una red de radares

(www.met.ed.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewsrge/FF_EWS.Cap.3.pdf [Consulta 9 de Febrero del 2013])

2.8 Redes de satélites

Las redes satelitales son un conjunto de antenas, electrónica y satélites que se interconectan y comunican entre sí para compartir información entre sitios distantes, las redes satelitales utilizan como medios de transmisión satélites artificiales localizados en órbita alrededor de la tierra.

La arquitectura de red de acceso por satélite podemos definir en función del tipo de canal de retorno desde los usuarios hacia la red, y en función de dicho enlace predomina un estándar de transmisión y recepción.

- Satélites meteorológicos.- los satélites meteorológicos tienen doble función:

Recopilar datos de observaciones, como por ejemplo imágenes infrarrojas y visibles, una vez recopilado los datos transmitirlos con datos de otros productos que son subidos a los enlaces desde el servicio meteorológico que controla el satélite.

Su otra función es la de retransmitir información de varias plataformas de recolección de datos (PRD), plataformas como estaciones de aforo y pluviómetros.

Los tipos de satélites meteorológicos por su órbita son:

Geoestacionarios.- este tipo de satélite orbita alrededor de la tierra a una altura de alrededor de 35.880km sobre el ecuador. Se los llama geoestacionarios porque permanecen estáticos frente al movimiento rotacional de la tierra por lo cual solo pueden grabar o transmitir imágenes del hemisferio que tienen debajo.

Polar.- este tipo de satélite meteorológico rodea la Tierra a una altitud típica de 850 km de norte a sur o viceversa, pasando sobre los polos en su vuelo. Los satélites polares están en órbitas heliosíncronas, esto significa que pueden observar cualquier lugar de la Tierra y ver dos veces al día un lugar con las mismas condiciones generales de luz debido al tiempo solar casi constante. Además, los satélites de órbita polar ofrecen mayor resolución que sus homólogos geoestacionarios debido a su cercanía con la Tierra.

En función de su emisividad, que es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a una diferencia de temperatura con su entorno; tenemos:

Pasivos: solo recogen la radiación desde los objetos.

Visible y cercano infrarrojo: $0,6 \mu\text{m}$ - $1,6 \mu\text{m}$ - útiles para registrar cobertura de nubes durante el día

Infrarrojo: $3,9 \mu\text{m}$ - $7,3 \mu\text{m}$ (vapor de agua); $8,7 \mu\text{m}$ - $13,4 \mu\text{m}$ (imágenes térmicas)

Activos: emiten por una antena, una señal mono o multifrecuencial, y reciben sus ecos para procesarlo.

- Estimación de la precipitación

En lugares donde la cobertura del radar no es suficiente, entran en función los datos satelitales, que es el medio principal para realizar estimaciones de precipitación. Para realizar lo anteriormente dicho, diversos instrumentos satelitales son usados en este proceso. Podemos citar por ser los generalmente más conocidos en los satélites geoestacionarios, los sensores infrarrojos que tienen una amplia cobertura; pero cuando existen nubes presentes, los sensores infrarrojos solo observan la temperatura de las cimas de las nubes, ya que como lo mencionamos anteriormente la radiación electromagnética del Infrarrojo tiene un intervalo de longitud de onda de $3,9 \mu\text{m}$ - $7,3 \mu\text{m}$ (vapor de agua); $8,7 \mu\text{m}$ - $13,4 \mu\text{m}$ (imágenes térmicas).

Por lo contrario, para observar emisiones de agua y de hielo al interior de las nubes se utilizan los sensores de microondas pasivos en satélites de órbita polar, para producir estimaciones cuantitativas de precipitación más confiables, pero lo hacen con menor frecuencia.

Por último, para monitorear la precipitación general, produciendo una mayor precisión tanto en las dimensiones verticales como horizontales se utilizan los sensores de microondas (o radar) activos basados en el espacio.

La unión de múltiples satélites pasivos de los Estados Unidos y Europa pueden dar estimaciones de intensidad de lluvia para una región cada 3 a 4 horas en promedio.

Por lo anterior podemos decir que la combinación de los datos de los satélites de órbita polar y geoestacionarias visibles e infrarrojas maximizan las ventajas de cada sistema. Como lo mencionamos anteriormente cada sensor satelital de órbita polar está en órbitas heliosíncronas, esto significa que pueden observar cualquier lugar de la Tierra y ver dos veces al día un lugar, es decir mira una ubicación en la tierra cada 12 horas.

Los datos de los satélites geoestacionarios llegan con una frecuencia de cada media hora, ya que los satélites geoestacionarios no tienen sensores de microonda, no pueden brindar estimaciones de intensidades de lluvias confiables pero si brindar ubicaciones de tormentas.

Hoy en día está creciendo la popularidad de productos de precipitación sinérgicos, que han sido desarrollados por investigadores que unen las ventajas de los datos de los satélites geoestacionarios con la ventaja de los Microondas, la cual es su precisión en las estimaciones de intensidades de lluvia.

Los productos sinérgicos son de alta resolución y han sido desarrollados para la asimilación de datos para modelado numérico, validación de modelos y estudios de clima.

- Procesamiento de datos de satélite



Figura 2.13: Procesamiento de las imágenes satelitales

(<http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad1/recepcion.htm> [consulta 13 de Marzo del 2013])

En la figura anterior podemos observar el esquema del camino que siguen los datos enviados por el satélite de teledetección, estos satélites de teledetección son satélites de órbita polar diseñados para la observación del medio ambiente de la Tierra y la evaluación de sus recursos naturales, es decir es un satélite meteorológico. Cuando han sido captados los datos por el satélite, estos son enviados a la Tierra donde se reciben en una estación receptora, que los envía a un centro de proceso de datos donde se decodifican las señales recibidas y se someten a procesos de corrección y georeferenciación.

Ahora con cierto detalle veremos el camino que sigue una señal de satélite desde que es captada por una antena receptora, hasta que es digitalizada y almacenada en un soporte informático.



Figura 2.14: Proceso de transmisión y procesamiento de las señales de un satélite meteorológico

(<http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad1/recepcion.htm> [consulta 13 de Marzo del 2013])

Inicialmente es captada una señal de alta frecuencia la misma que mediante filtros se limpia el ruido y se convierte en una frecuencia intermedia.

La frecuencia intermedia se convierte en datos digitales y se desdobra en dos señales diferentes: los datos y la señal de sincronismo. Esta información es guardada en sistemas informáticos de alta capacidad.

Luego los datos digitales se someten a un "sincronizador de cuadro" que genera el formato de imagen satélite, que ya puede ser tratado por los programas de corrección y análisis de imágenes.

Las imágenes recibidas deben ser corregidas por sistemas informáticos a nivel geométrico (a causa de la curvatura de la Tierra) y radiométrico (para eliminar los efectos no deseados de la atmósfera, la iluminación solar, o efectos del relieve).

Finalmente las imágenes se almacenan en bases de datos, diseñadas para gestionar grandes volúmenes de información.

No está por demás recordar que el equipo de procesamiento debe ser capaz de estimaciones de precipitación nacional en tiempo real a partir de datos de satélite para su uso operacional.

Las estimaciones de lluvia sobre una malla de las imágenes del satélite GOES Satélite Geoestacionario Operacional Ambiental (Geostationary Operational Environmental Satellite) son la principal fuente de datos de precipitación para varios sistemas nacionales y regionales de pronóstico de crecidas repentinas, puesto que muchos países no pueden hacer el gasto en redes de radares meteorológicos.

2.9 Requerimientos en comunicaciones

Para que se pueda llevar a cabo satisfactoriamente un sistema de alerta temprana de crecidas repentinas, la comunicación entre el centro de pronóstico y las redes de observación hidrometeorológicas son cruciales, los principales factores para determinar qué tipos de comunicación emplear incluyen:

- Velocidad de transmisión.
- Disponibilidad de electricidad mediante el tendido eléctrico y energías alternativas.
- Posibilidad de autoalimentación en caso de corte de energía para asegurar la transmisión de datos.
- Ubicación y disponibilidad de infraestructura de telecomunicaciones.
- Disponibilidad de financiamiento.

Las comunicaciones de doble vía con una red de pluviómetros son muy beneficiosas, ya que podemos aprovecharlas sin necesidad de intervención humana además de permitir que el sistema sea más eficaz y mejora la confianza en general debida a las siguientes consideraciones:

- Actualizar software o calibrar valores en la estación
- Interrogar el sistema en busca de fallas
- Cambiar la frecuencia de muestreo

Una consideración de vital importancia a tener en cuenta dentro de un sistema de comunicación para pluviómetros es su confiabilidad, cuando hablamos de alerta temprana de desastres, las primeras pérdidas por estos fenómenos suelen ser las redes telefónicas y sistemas eléctricos.

De ahí que se vuelva de enorme importancia contar con un suministro eléctrico no interrumpible (UPS) a menudo en forma de sistemas de baterías de capacidad adecuada por cierto tiempo; y considerar otras opciones tales como enlaces satelitales.

El tipo de comunicación a utilizarse depende también de factores como la distancia que tiene que recorrer la señal. Si se trata de cubrir distancias cortas basta con sistemas como enlaces de radio. Por otro lado, si hablamos de enlaces de escala nacional podemos sugerir dedicar cierto número de líneas telefónicas de la Red de Telefonía Pública Conmutada (PSTN), a su vez, podemos ampliar el potencial de las comunicaciones a larga distancia utilizando medios como telefonía móvil, incluyendo diversos servicios que brinda este recurso tales como mensajería o transmisión de paquetes, a más de servicio de internet a través de proveedores locales (ISP).

Las comunicaciones por medio de banda ancha nos permiten tener disponibles mayor número de canales (frecuencias) para la transmisión de información. Pues la información, después de ser multiplexada (procesada por el sistema), puede ser enviada simultáneamente por un mayor número de canales, transmitiendo consecuentemente mayor cantidad de información en el mismo tiempo.

Ventajas de las comunicaciones por medio de banda ancha:

- La conexión continua en doble vía (transmisión y recepción de información por un mismo canal) permite mayor velocidad y recuperación de datos casi en tiempo real.
- La recopilación de datos en tiempo real permite encontrar y reparar fallos de forma más rápida.
- A través de un modem de discado se puede permitir un respaldo de datos.

Desventajas de las comunicaciones por medio de banda ancha:

- Se requiere una interfaz de área local LAN que generalmente es difícil de implementar en los sistemas existentes.
- Se requiere una línea terrestre cuando el servicio no es satelital.
- Se requieren puertos seriales DCP generalmente no disponibles.
- Para alimentar el modem se requiere energía de alrededor de un amperio, lo que causa inconvenientes cuando no se cuenta con una línea primaria que es el caso de las áreas remotas.

Ante estos hechos, se puede optar por enlaces móviles satelitales, pues en la actualidad existen más de 30 sistemas satelitales dedicados a la transmisión de datos, algunos a escala mundial.

- Comunicaciones de apoyo

Idealmente los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) o un centro de pronóstico local debe poseer comunicaciones de apoyo o respaldo para recolección de datos necesaria para prever peligros naturales. Por lo que deberían ser empleados dos tipos de comunicaciones de apoyo en los centros de pronóstico:

- Proyectar alternativas de trayectoria para que las comunicaciones puedan llegar a un centro de pronóstico.
- Respaldo de servicio provisto por otro centro.

Se debe proyectar trayectorias alternativas de comunicaciones, debido a que uno de los enlaces primarios de comunicación del centro pueda fallar y la información puede ser re-enrutada a través de una conexión secundaria.

Un centro de pronóstico debe tener conexiones con al menos dos centros más, de manera que si una ha perdido todos sus enlaces de comunicación, el otro centro asumiría las funciones con los debidos procedimientos.

Hay diferentes elementos para la divulgación de la información de alertas que pueden ofrecer los sistemas satelitales comerciales y así integrar la conectividad primaria del Sistema Global de Telecomunicaciones (SGT) de la Organización meteorológica mundial (OMM), esta integración es debida a que el SGT OMM es el sistema vertebral para el intercambio mundial de datos e información de apoyo de sistemas de alerta temprana multipeligro y multipropósito.

Si bien no es frecuente, ocasionalmente ocurren apagones inesperados de los sistemas satelitales y a veces puede resultar en la pérdida total de una plataforma satelital. La recepción de datos provenientes de más de un sistema satelital ayudará a asegurar y tener una muy alta confiabilidad, aunque es poco probable, es posible la ocurrencia de la pérdida de servicio de un satélite en combinación con una pérdida de comunicaciones terrestres en un centro de alerta.

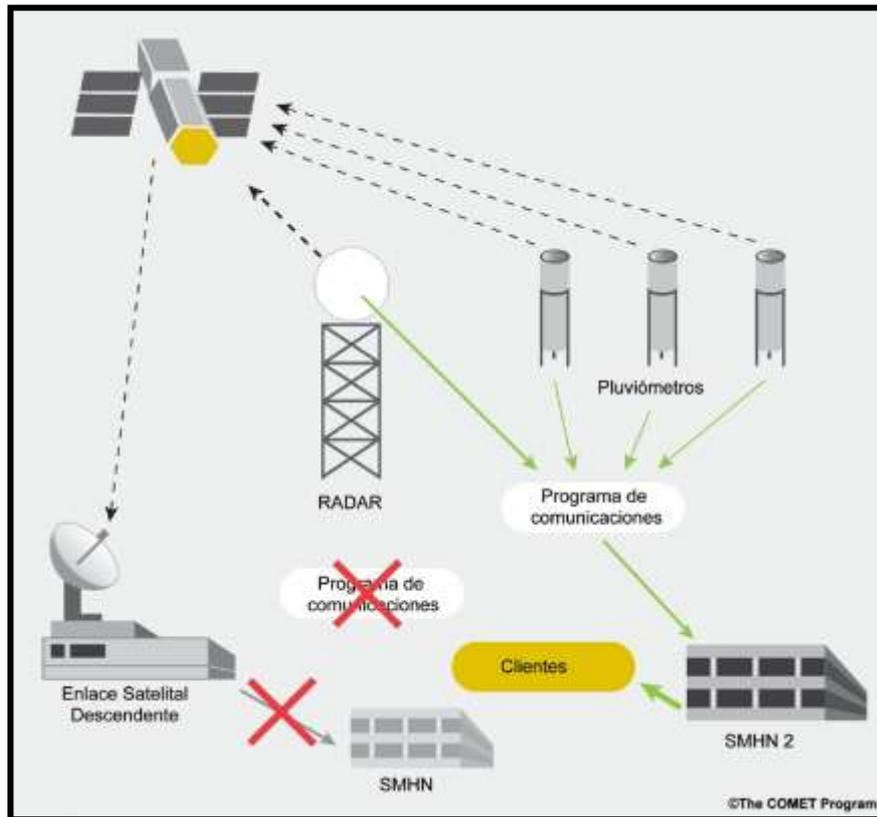


Figura 2.15: Ejemplo de trayectoria alternativas para las comunicaciones

(www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewsrsg_es/FF_EWS.Cap.4.pdf [consulta 13 de Enero del 2013])

CAPITULO 3

REQUERIMIENTOS DE HARDWARE, SISTEMA OPERATIVO Y EJEMPLOS DE SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA (SAT) INTEGRALES PARA CRECIDAS REPENTINAS

3.1 Requerimientos de hardware y sistema operativo



Figura 3.1: Requerimientos de hardware y sistema operativo

Para detectar una crecida repentina y pronosticar su daño o impacto en una región, los centros de pronóstico de crecidas repentinas deben adquirir, analizar y procesar datos de los pluviómetros, estaciones de aforo, radares y satélites.

El centro de pronóstico para realizar estos análisis y procesos necesita una variedad de hardware y software, que incluyen varios programas y aplicaciones de computación conjuntamente con capacidades de comunicación para poder afirmar y salvaguardar su capacidad de predecir y detectar crecidas repentinas.

Actualmente existen varias opciones para hardware y sistemas operativos, como las PC con Windows o Linux y también las Mac OS X, cada una de éstas tienen sus ventajas y desventajas, de manera que la elección de una de éstas se basa en el favoritismo personal o de la empresa u organización la cual requiere este sistema. Todos los sistemas requieren redundancia y medidas de seguridad para asegurar operaciones no interrumpidas.

Todos los centros de pronóstico deberían utilizar la misma infraestructura ya que al usar el mismo hardware, sistemas operativos y aplicaciones en todos los centros de pronóstico se reduce el costo de desarrollo, mantenimiento, resolución de problemas y operación.

3.2 Programas de aplicaciones de cómputo

Los programas proporcionan información procesada sobre observaciones terrestres y luego toman decisiones sobre los servicios que debe emitir el centro de pronóstico. La velocidad de procesamiento, suficiente solidez en la red de observación e intervalos de interrogación lo suficientemente cortos para cada sensor en la red, son exigencias para una rápida determinación en caso de amenazas.

Una aplicación es un tipo de programa informático diseñado como herramienta para permitir a un usuario realizar uno o diversos tipos de trabajos. Suele resultar una solución informática para la automatización de ciertas tareas complicadas como es hidrometeorología. Ciertas aplicaciones desarrolladas a medida suelen ofrecer una gran potencia ya que están exclusivamente diseñadas para resolver un problema específico.

Una vez entendido los conceptos anteriores, podemos decir también que las aplicaciones son grupos de códigos de cómputo que ofrecen al centro de pronóstico las herramientas necesarias para mantenerse enterados de alguna situación, ayudar con otros centros, tomar decisiones, preparar productos y dispersar estos productos de manera oportuna.

Como observación podemos decir que dependiendo del sistema operativo del centro podemos saber qué representación tendrá la aplicación como por ejemplo, Tool Command Language/Tool Kit (Tcl/Tk) para sistemas basados en Linux y C++ para sistemas basados en Windows.

Según centros de pronóstico ya establecidas sugieren que las aplicaciones pueden dividirse en varias categorías:

- Recolectar datos de observaciones terrestres en tiempo real, especialmente datos de precipitación y caudal
- Procesar y almacenar datos en tiempo real
- Observar los datos en busca de excedencia en los criterios de umbral

- Calcular parámetros que deben ser derivados de datos observados
- Mostrar datos e información derivada para que el pronosticador se mantenga enterado de la situación
- Crear y diseminar productos de texto y gráficos para clientes y otros centros de pronóstico

Como es lógico cada centro de pronóstico puede desarrollar su propia aplicación según su capacidad o tomar aplicaciones desarrolladas por otro.

De manera general presentaremos varias funciones que requieren las aplicaciones basadas en el software AWIPS FFMP que por sus siglas en inglés traducidas al español significa “Sistema Avanzado Interactivo de Procesamiento del Clima”, es decir, se ha desarrollado con el propósito de crear el monitoreo y predicción de crecidas repentinas de carácter hidrometeorológico.

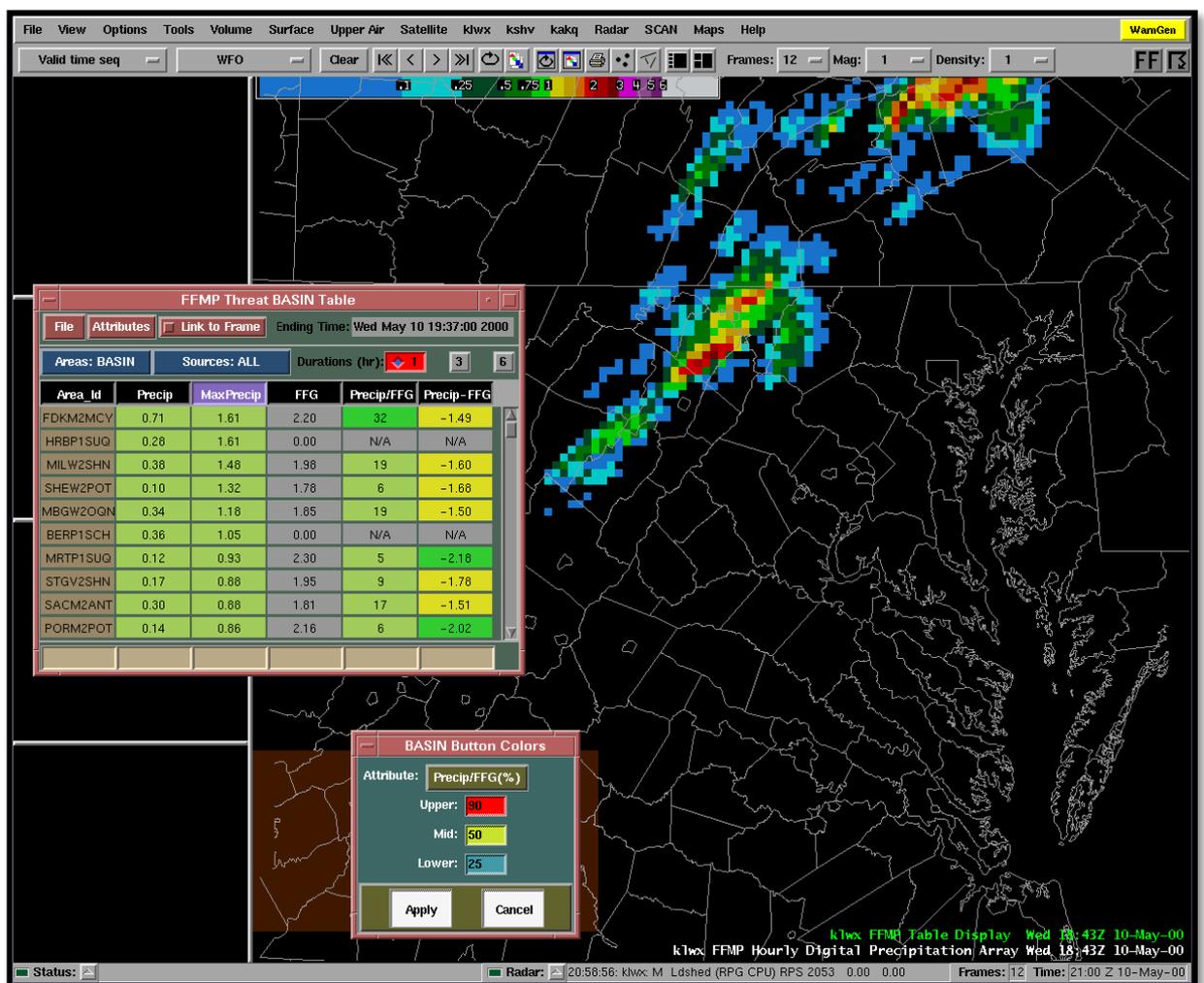


Figura 3.2: Proceso de transmisión y procesamiento de las señales de un satélite meteorológico

(<http://www.docstoc.com/docs/106833669/Flash-Flood-Monitoring-and-Prediction-%28FFMP%29>
[consulta 13 de Marzo del 2013])

Las funciones que por lo general deben tener las aplicaciones son las de recopilar, descodificar y almacenar digitalmente observaciones de datos terrestres, por lo que deben manejar bases de datos relacionales de observaciones.

Para la aplicación que estudiamos, se realizan verificaciones de datos entrantes de las observaciones y se acepta o rechaza lecturas sospechosas además de visualizar datos como:

- Tabulaciones numéricas de reportes de manómetros
- Despliegue gráfico de reportes de manómetros
- Visualización en mapas de reportes de manómetros

También deben contar con funciones como calcular la lluvia aguas abajo y comparar con el nivel de inundación, etc.

Incluye también funciones de visualización de datos de precipitación total incremental por tormenta observados por radar y alertar al pronosticador sobre potenciales áreas problemáticas, además genera resúmenes de texto y gráficos de datos observados, pronósticos de rutina, productos de alerta y por último diseminar productos a los canales de comunicación apropiados.

3.3 Mantenimiento

Un centro debe incluir un Sistema de Reporte de Ingeniería y Mantenimiento (SRIM). Los datos recogidos por el SRIM son trascendentes para responder a la misión del centro. A nivel de campo el SRIM debe ser lo primordial para gestionar el flujo de trabajo relacionado con la recolección, análisis y mantenimiento de datos.

Un SRIM debe realizar los siguientes tipos de mantenimientos:

- Mantenimiento correctivo – Las operaciones requeridas para corregir fallas y reintegrar la operación de sistemas y equipos de acuerdo con capacidades y tolerancias indicadas. Esto incluye reparaciones no planificadas, así como mantenimiento al hardware y software de sistemas.

- Manejo del equipo – Realizar la activación, desactivación, reubicación o actividades similares de sistemas, equipo o instalaciones.
- Modificación – Los cambios calificados de configuración de hardware y software necesarios para mejorar o ampliar las operaciones o la vida del sistema, equipo o instalación o para satisfacer nuevos requisitos.
- Mantenimiento de rutina – Trabajos de mantenimiento realizados a sistemas, equipo o instalaciones para afirmar su operación continua dentro de las capacidades indicadas para minimizar la probabilidad de fallas. El mantenimiento de rutina incluye acciones de mantenimiento preventivo programado o periódico.

Para el mantenimiento de los sistemas de alerta de crecida repentina los técnicos en electrónica deben ser competentes en al menos tres áreas muy diversas:

- Dispositivos mecánicos (por ej., pluviómetros basculantes)
- Dispositivos electrónicos, incluyendo microelectrónica
- Software

Hay muchos centros de estudio o universidades que brindan capacitación sobre muchos tipos de instalaciones de manómetros y mantenimiento. Es fácil obtener capacitación sobre aplicaciones de software, incluyendo sistemas operativos y programación y debe ser utilizada en lo posible.

La capacitación sobre otros dispositivos electrónicos como enrutadores, enlaces satelitales descendentes y transmisores de radio es más difícil de obtener, pero debe ser incluida en el presupuesto ya que estos tipos de sistemas son decisivos para la operación de los centros.

El mantenimiento del hardware depende de las metas y la ideología del programa del centro, de igual forma mencionaremos la amplia gama de habilidades requeridas por el personal de electrónica del centro:

- Estaciones de aforo
- Redes de manómetros y manómetros de precipitación automatizados
- PCs (operativas y administrativas)
- Estaciones de trabajo
- Servidores
- Enrutadores

- Cableado
- Paredes de fuego (firewalls)
- Sistemas telefónicos, incluyendo contestadoras
- Enlaces satelitales ascendentes y descendentes
- Enlaces de UHF y VHF
- Transmisores de radio de onda corta

La gran parte del mantenimiento de software incluye:

- Cargar software comercial, incluyendo sistemas operativos y aplicaciones.
- Mantener actualizado el software comercial (sistemas operativos y aplicaciones).
- Ayudar a programadores locales a desarrollar, depurar y mantener programas de cómputo generados por el personal y distribuir estos programas a otros centros.
- Adaptar aplicaciones de software provenientes de otros centros de pronóstico para ajustarlos a las necesidades del centro y posiblemente mejorar la aplicación para distribuirla a otros centros.

3.4 Ejemplos de Sistemas de Alerta Temprana (SAT)

- Principales programas de la organización meteorológica mundial OMM.

Entre los principales programas científicos y técnicos de la OMM figura la Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM), piedra angular de las actividades de esta Organización. La VMM suministra a nivel mundial información meteorológica de última hora a través de los sistemas de observación y enlaces de telecomunicación a cargo de los miembros que constan de los elementos siguientes: cuatro satélites de órbita polar, cinco satélites geoestacionarios, unas 10.000 estaciones de observación terrestres, 7.000 estaciones de buque y 300 boyas fondeadas y a la deriva equipadas con estaciones meteorológicas automáticas.

Cada día, los enlaces de gran velocidad transmiten más de 15 millones de caracteres de datos y 2.000 mapas meteorológicos a través de tres Centros Meteorológicos Mundiales, 35 Centros Meteorológicos Regionales y 183 Centros Meteorológicos Nacionales que colaboran en la preparación de análisis y predicciones meteorológicos con medios técnicos sumamente complejos. De ese modo, los buques y aeronaves transoceánicas, los científicos que investigan la contaminación del aire o el cambio climático mundial, los medios de comunicación y el público en general, reciben constantemente una información reciente. Estos complejos acuerdos sobre normas, claves, medidas y comunicaciones se establecen a nivel internacional por conducto de la OMM.

- Ejemplo de Francia

Eventos importantes de la pasada década y su impacto en el sistema operativo “Vigilancia”

En la pasada década, la Francia metropolitana ha experimentado varios desastres naturales a gran escala con un impacto significativo en cuanto a pérdida de vidas humanas o daños materiales, motivo por el que se ha mejorado una parte importante del sistema de alerta temprana.

Las inundaciones producidas en los departamentos de Gard y Hérault entre el 5 y el 9 de septiembre de 2005 se llevaron dos vidas y causaron daños materiales en 242 municipios. Estas no han sido las peores inundaciones que han golpeado esta parte de Francia durante los últimos años. El número de víctimas respectivo de las inundaciones de 1999, 2002 y 2003 fue aún peor. No obstante, los episodios de 2005 son dignos de mención porque dieron como resultado una mejora en la coordinación entre los servicios hidrológicos y meteorológicos en el suministro de alertas tempranas.

Anteriormente, el sistema Vigilancia de MétéoFrance, de una naturaleza puramente meteorológica, se centraba en el fenómeno de las precipitaciones fuertes y no trataba el impacto de las “inundaciones”. Tras las inundaciones de 2005 se tomó una decisión para sustituir el parámetro de “precipitaciones fuertes” por el parámetro “inundaciones por lluvias”, basado en un procedimiento consolidado que implica la cooperación y la coordinación entre los servicios de predicción meteorológica de MétéoFrance y la red de predicción de inundaciones.

Episodios recientes en los que el sistema operativo “Vigilancia” ha demostrado ser eficaz.

- Ejemplo Centro América

Luego de las inundaciones catastróficas por el Huracán Mitch en 1998 en Centro América, la Agencia Internacional para el Desarrollo de los Estados Unidos (USAID) proporcionó fondos para la reconstrucción de la infraestructura dañada. El Servicio Meteorológico Nacional (National Weather Service, NWS) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) brindó transferencia tecnológica, capacitación y asistencia técnica a los servicios meteorológicos e hidrológicos de los países más golpeados (Honduras, Nicaragua, El Salvador y Guatemala).

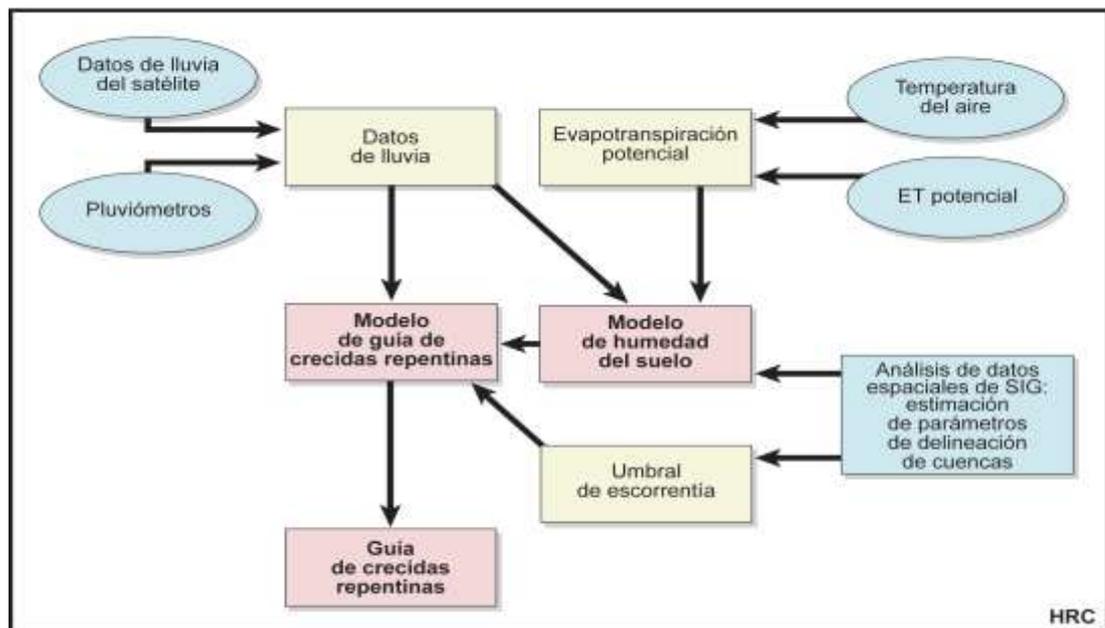


Figura 3.3: Diagrama del sistema de la CAFFG

(www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewsrsg_es/FF_EWS.Cap.8.pdf [consulta 13 de Marzo del 2013])

La Central American Flash Flood Guidance (CAFFG) entró en marcha en agosto de 2004. El sistema de alerta de crecidas repentinas utiliza el producto del HidroEstimador de NOAA/NESDIS para estimar la precipitación. La guía de crecidas repentinas, que es la lluvia requerida para producir una crecida repentina, se calcula cada seis horas para cuencas de ríos de 100Km² a 300 km². Un modelo hidrológico de base física es corrido cada seis horas para simular la humedad del suelo para la región y para determinar la guía de crecidas repentinas. Los productos gráficos y de texto de lluvia, de humedad del suelo, guía de crecidas repentinas y de amenaza de crecidas repentinas son creados y reportados en internet para ser accedidos por los SMHN para su análisis y diseminación a agencias de preparación para desastres en los siete países centroamericanos.

El sistema CAFFG está compuesto por dos servidores instalados en el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en San José, Costa Rica:

- Un servidor de procesamiento de CAFFG (CAFFG Processing Server, CPS)
Red Hat Enterprise Linux WS v4.5 recopila y estandariza numerosos productos de datos en tiempo real, evoca varios modelos para producir la FFG y publica salidas en el servidor de diseminación (CDS)
- Un servidor de diseminación de CAFFG (CAFFG Dissemination Server, CDS)
Red Hat Enterprise Linux WS v4.5 brinda acceso a varios productos de datos nacionales para todos los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) que participan en CAFFG mediante un acceso seguro y restringido por "login" a internet y a SCP (transferencia segura y cifrada de datos).

La interfaz gráfica del usuario (Graphic User Interface, GUI) facilita que el usuario revise los productos de datos disponibles y agiliza la adquisición remota de datos, incluyendo datos nacionales, productos de datos regionales y recursos de observación del sistema.

- Ejemplo Quito

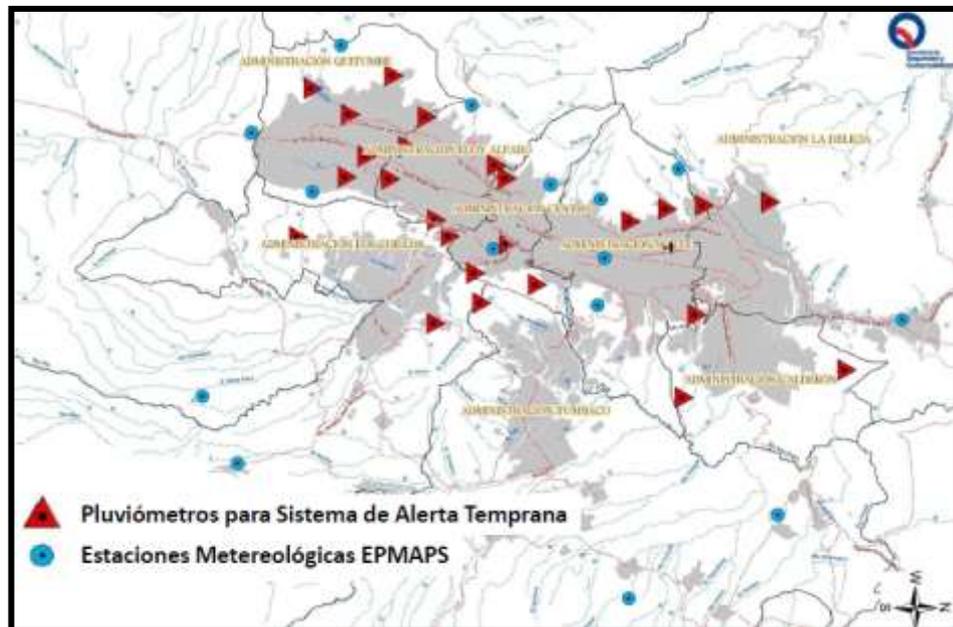


Figura 3.4: Ubicaciones de pluviómetros y estaciones meteorológicas Quito

(Documento digital plan de prevención y respuesta temporada lluvias en el Distrito Metropolitano De Quito "DMQ", octubre 2012 – mayo 2013, página 23)

- Pronostico de precipitaciones diario

En base a los datos de probabilidad de precipitaciones emitidos por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) y la Secretaría de Ambiente, se identifican los sectores que podrían ser afectados.

Una vez identificado los sectores, se ha implementado en las zonas de alto riesgo de deslizamientos e inundaciones del Distrito Metropolitano de Quito, un Sistema de Alerta Temprana con 25 puntos de monitoreo, incorporando a los comités de seguridad en la gestión de riesgo. El nivel de precipitación en un sector, medido a través de pluviómetros, determinará la activación de las alarmas preestablecidas y los planes comunitarios e institucionales.



Figura 3.5: Plan de SAT en Quito

(Documento digital plan de prevención y respuesta temporada lluvias en el DMQ, octubre 2012 –mayo 2013, página 25)

Según el nivel de intensidad de milímetros de precipitación registrados y la cantidad de precipitaciones acumuladas mostrados en el siguiente gráfico, se activan en las Administraciones zonales las medidas preventivas correspondientes a movimientos de masa e inundaciones.

Intensidad Baja	0mm - 6mm
Intensidad Media	6mm -20mm
Intensidad Alta	> 20mm

Figura 3.6: Nivel de intensidad de milímetros de precipitación registrados

(Documento digital plan de prevención y respuesta temporada lluvias en el DMQ, octubre 2012 –mayo 2013, página 24)

CONCLUSIONES

- La humedad del suelo, la permeabilidad del suelo, las alteraciones a la superficie del suelo son características importantes que afectan la producción de escorrentía y por lo tanto ayudan a definir las áreas que son propensas a las crecidas repentinas.
- Los datos pluviométricos precisos, confiables y oportunos son esenciales para el éxito de un sistema de alerta temprana de crecidas repentinas.
- Las imágenes brindadas por el radar hidrometeorológico son un instrumento básico para la vigilancia y prevención a corto plazo.
- Los radares meteorológicos son poderosas herramientas debido a su habilidad de brindar datos de precipitación, de alta resolución espacial y temporal sobre una gran área, a diferencia de las mediciones puntuales de un pluviómetro.
- Para la instalación del radar es necesario escoger un sitio, el cual topográficamente sea muy alto para que no exista interferencia por ecos de terreno.
- El radar y los pluviómetros se complementan, uniéndolos para ser a un SAT más confiable en el área a monitorear.
- Los satélites meteorológicos cumplen doble función: Recopilar datos de observaciones, como por ejemplo imágenes infrarrojas y visibles, una vez recopilado los datos transmitirlos. Su otra función es la de retransmitir información de varias plataformas de recolección de datos (PRD), plataformas como estaciones de aforo y pluviómetros.
- Un centro de pronóstico responsable de pronosticar crecidas repentinas requiere aplicaciones de software de cómputo para mantenerse enterado de la situación, tomar decisiones, producir y diseminar productos de crecidas repentinas.
- Trayectorias alternativas de comunicación para recopilar datos y divulgar productos son necesarias en un SMHN para asegurar las operaciones las 24 horas del día.

RECOMENDACIONES

- Uno de los primeros pasos al diseñar un SAT es evaluar la capacidad existente (infraestructura) que pudiera ser empleada por el SAT y cuáles vacíos deben ser llenados por nuevas capacidades e infraestructura.
- Para minimizar costos se coloca un pluviómetro en la estación de aforo para así poder expandir la red de observación de precipitación con una misma plataforma de recolección de datos (PRD).
- Todos los centros de pronóstico en un SMHN deberían utilizar el mismo hardware, sistemas operativos y aplicaciones. Así se podrían estandarizar el desarrollo, mantenimiento, resolución de problemas y operación, ahorrando dinero.
- Combinar radares de “vigilancia” y radares de alcance corto para ser más efectiva el monitoreo en regiones de terreno más complejo.
- Contar con un programa de mantenimiento bien coordinado y respaldado es crítica para el éxito del programa de alerta de crecidas repentinas de un centro de pronóstico.

BIBLIOGRAFIA

Referencias Bibliográficas

- ASSAD, Gabriel. Lecciones sobre Monitoreo Meteorológico. Argentina. Presentaciones del Curso de Graduación - Especialización en Electrónica Ambiental. 2012.
- BALDOMA, German. TECMES Monitoreo Meteorológico. Argentina. 2012. 49 paginas.
- CAMPBELL SCIENTIFIC SPAIN. Estaciones Meteorológicas. España. 2012. 64 paginas.
- COGOLLO, Julián. Desarrollo De Una Base Conceptual Y Aplicación De Radares Hidro-Climatológicos En Colombia. Colombia. 2005. 165 paginas. Trabajo de grado.
- GRANADO, Viviana. Introducción a sensores. Argentina. Presentaciones del Curso de Graduación - Especialización en Electrónica Ambiental. 2012.
- MARÍN CORTÉS, Gloria Estela. Sistemas de alerta temprana para los embalses de EMP. República Dominicana. 2012. 102 paginas.
- MAYNÉ, Jordi. Sensores Acondicionadores Y Procesadores de señal. Alemania. 2003. 75 paginas. Segunda edición
- MUNICIPIO DE QUITO. Plan de prevención y respuesta temporada lluvias en el DMQ. Ecuador. 2013. 50 paginas.
- ORGANIZACION METEOROLÓGICA MUNDIAL. Guía De Prácticas Hidrológicas. Naciones Unidas. 1994. 779 páginas. quinta edición.
- UNIVERSITY CORPORATION FOR ATMOSPHERIC RESEARCH. Guía De Referencia Para Sistemas De Alerta Temprana De Crecidas Repentinas. EEUU. 2012. 222 paginas. Primera edición.

Referencias Electrónicas.

- FERRE, John. Flash Flood Monitoring and Prediction [en línea]. <http://www.docstoc.com/docs/106833669/Flash-Flood-Monitoring-and-Prediction-%28FFMP%29>. Estados Unidos. 2002. [consulta 13 de marzo del 2013].

- FUNPROVER. Propiedades físicas del suelo [en línea]. México. <http://www.funprover.org/formatos/manualTomate/Propiedades%20Fisica%20del%20Suelo.pdf>. 2009. [Consulta 13 de enero del 2013].
- MARTÍNEZ, Roy. Redes satelitales y redes inalámbricas [en línea]. Venezuela. <http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/recepcion.htm>. 2009 [consulta 13 de Marzo del 2013].
- MINISTERIO DE EDUCACIÓN DE PANAMÁ. Sistemas de alerta temprana [en línea]. Panamá. www.meduca.gob.pa. 2011 [consulta 9 de febrero del 2013].
- LEÓN, Francisco Martín. Algunas consideraciones básicas sobre falsos ecos detectados por los radares meteorológicos. [en línea]. <http://www.tiempo.com/ram/2093/algunas-consideraciones-bsicas-sobre-falsos-ecos-detectados-por-los-radares-meteorolgicos/>. España. 2005. [Consulta 13 de enero del 2013].
- TECMES. Sensor De Precipitación Ts 221 [en línea]. www.tecmes.com.ar. Argentina. 2012. [consulta 7 de enero del 2013].
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA. Radar Meteorológico [en línea]. España. http://www.crahi.upc.edu/curs/html_pages/trasp1.html. 2010. [Consulta 4 de Febrero del 2013].
- VARGAS, Luis. Cómo funcionan los radares meteorológicos [en línea]. <http://meteovargas.com/?p=661>. Venezuela. 2012. [Consulta 13 de enero del 2013].
- VIVANCOS, Jordi Martí. Recepción y Procesamiento de datos del satélite. <http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad1/recepcion.htm>. [en línea]. Estados Unidos. 2006. [Consulta 13 de Marzo del 2013].