



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA

## FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FISICAS Y NATURALES

ASIGNATURA: PRACTICA SUPERVISADA

## **INSTALACION DE ESTACIONES HIDROMETRICAS Y METEOROLOGICAS**

ALUMNO: ANTONINO, LEANDRO.

MATRICULA: 37999610

TUTOR INTERNO: ING. HILLMAN, GERARDO.

TUTOR EXTERNO: ING. MURATORE, HECTOR.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, a mi Familia por el apoyo recibido en todo momento y en particular a mis padres que me dieron la posibilidad de estudiar esta carrera y me dieron todo lo necesario para llegar a cada logro que alcancé.

A todos mis compañeros y amigos, por todo el apoyo a lo largo de estos años y su valiosa amistad.

A mis tutores, externo Héctor Muratore e interno Gerardo Hillman, por su colaboración, enseñanza, dedicación y paciencia.

Y a todos los profesores que a lo largo de la carrera me formaron para poder hoy concluirla.

## **RESUMEN**

Este informe presenta en primer lugar, un marco teórico el cual expone las variables meteorológicas a medir, los instrumentos para realizar esta tarea, su correcto emplazamiento y los tipos de estaciones meteorológicas e hidrométricas.

En segundo lugar, se describen los trabajos de campo realizados, los cuales comprenden la instalación de las estaciones hidrométricas y meteorológicas. Se detalla su ubicación y los instrumentos utilizados. También se adjuntan los registros obtenidos de las distintas variables observadas.

El trabajo busca resalta la importancia de contar con datos meteorológicos, como así también hidrológicos, para poder comprender el ciclo hidrológico, es decir, poder determinar cuánto de lo precipitado escurrió, se infiltró y se evaporó. Comprender este ciclo permitirá tomar decisiones más acertadas, no solo en el dimensionamiento de obras de ingeniería sino también en la preservación del medio ambiente, aspecto un poco relegado en la actualidad. Varias de las estaciones instaladas forman parte del Proyecto Relámpago, proyecto aun en desarrollo, por lo tanto, no es posible la publicación de los datos. Cuando este finalice permitirá dar mayor certidumbre a la formación de las tormentas en la zona pampeana de la provincia de Córdoba, las cuales se caracterizan por su severidad.

# INDICE

<b>ASIGNATURA: PRACTICA SUPERVISADA .....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCION.....</b>	<b>8</b>
1.1. VARIABLES.....	9
1.2. PROCESO DE OBTENCION DE INFORMACION.....	10
<b>2. ESTACIONES METEOROLOGICAS .....</b>	<b>12</b>
2.1. EMPLAZAMIENTO.....	13
2.2. PRECIPITACIONES .....	15
2.2.1. Pluviómetro.....	15
2.2.2. Medidor de precipitación de pesaje.....	16
2.2.3. Pluviómetro de cubeta basculante o balancín .....	17
2.2.4. Pluviógrafo de flotador .....	18
2.2.5. Precipitaciones sólidas.....	18
2.2.6 Emplazamiento.....	20
2.3. TEMPERATURA.....	21
2.3.1. Termómetros Ordinarios .....	23
2.3.2. Termómetros de Máxima .....	23
2.3.3. Termómetros de Mínima .....	24
2.4. PRESIÓN ATMOSFÉRICA.....	24
2.5. MEDICION DE LA HUMEDAD.....	25
2.6. VIENTO.....	26
2.7. RADIACIÓN.....	28
2.8. EVAPORACION.....	30
2.9. ESTACIONES METEOROLOGICAS AUTOMATICAS.....	32
2.9.1. Sensores.....	34
2.9.2 Telemetría.....	37
<b>3. ESTACIONES HIDROMETRICAS .....</b>	<b>37</b>
3.1. ESCALA HIDROMETRICA.....	39
3.1.1 Escala de máxima .....	40
3.1.2 Escala de mínima.....	40
3.2. SENSOR DE PRESION.....	40
3.3. BOYA Y FLOTADOR.....	41
3.4. SENSOR DE ULTRASONIDO.....	42
3.5. SENSOR DE RADAR.....	42
3.6. LIMNÍMETRO VOLUMETRICO .....	44

<b>4. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS Y METEOROLÓGICAS INSTALADAS .....</b>	<b>44</b>
4.1. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS.....	46
4.1.1. Ubicación .....	52
4.1.2 Instrumental utilizado.....	59
4.1.4. Campaña de instalación.....	64
4.2. ESTACIÓN METEOROLÓGICA.....	75
4.2.1. Sensor de temperatura y humedad del aire .....	76
4.2.2. Sensor de radiación solar .....	77
4.2.3. Sensor de intensidad y dirección del viento.....	78
4.2.4. Sensor de precipitación .....	79
4.2.5. Sensor de presión atmosférica.....	80
4.2.6. Mediciones registradas.....	81
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>88</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>89</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Croquis representativo de una estación de observación .....	14
Figura 2: Pluviómetro.....	16
Figura 3: Formas típicas de los medidores .....	16
Figura 4: Pluviómetro de cubeta basculante o balancín .....	17
Figura 5: Pluviógrafo de flotador .....	18
Figura 6: Emplazamiento pluviómetro-pluviógrafo.....	21
Figura 7: Termómetro de máxima y termómetro de mínima .....	22
Figura 8: Transductor de presión absoluta .....	25
Figura 9: Anemómetro de cazoleta y hélice .....	27
Figura 10: Estación meteorológica automática.....	33
Figura 11: Croquis de una estación meteorológica automática tipo. ....	34
Figura 12: Escala hidrométrica.....	39
Figura 13: Limnimetría de flotador .....	41
Figura 14: Sensor de nivel tipo RADAR .....	43
Figura 15: Ubicación de las estaciones hidrométricas y meteorológicas instaladas. ...	45
Figura 16: E.H. Cruz Alta .....	47
Figura 17: E.H. Inrriville .....	47
Figura 18: E.H. Santa Rosa de Calamuchita.....	48
Figura 19: E.H. Quillinzo .....	48
Figura 20: E.H. Alpa Corral.....	49
Figura 21: E.H. Piedras Blancas .....	49
Figura 22: E.H. Tortugas.....	50
Figura 23: E.H. San Marcos Sud.....	50
Figura 24: E.H. La Cruz .....	51

Figura 25: E.H. Los Reartes.....	51
Figura 26: E.H. Miramar.....	52
Figura 27: E.H. Río del Medio.....	52
Figura 28: Cuenca Dique los molinos.....	53
Figura 29: Ubicación de las EH de Los Reartes, Río del medio y EM Los Reartes .....	54
Figura 30: Ubicación de las EH de Quillinzo y La Cruz .....	54
Figura 31: Ubicación de las EH de Quillinzo y La Cruz .....	55
Figura 32: Ubicación de la EH de Santa Rosa de Calamuchita.....	56
Figura 33: Ubicaciones de las EH de Piedras Blancas y Alpa Corral .....	57
Figura 34: Ubicación de las EH de San Marcos Sud, Inrriville y Las Tortugas .....	58
Figura 35: Sensor RKL-02 Radar.....	60
Figura 36: Tablero de monitoreo de nivel hídrico .....	60
Figura 37: Sensor BERTSCHI RD92 .....	62
Figura 38: Gabinete metálico .....	62
Figura 39: Datalogger .....	63
Figura 40: Regulador de tensión .....	63
Figura 41: Ubicación de la Estación Meteorológica de Los Reartes.....	75
Figura 42: Sensores instalados en la EMA .....	76
Figura 43: Sensor de temperatura y humedad del aire .....	77
Figura 44: Sensor de radiación solar .....	78
Figura 45: Sensor de intensidad y dirección del viento .....	79
Figura 46: Sensor de precipitación.....	80
Figura 47: Sensor de presión atmosférica.....	80

## INDICE DE TABLAS

Tabla I: Clasificación de los instrumentos meteorológicos para medir la radiación .....	29
Tabla II: Información de estaciones las estaciones hidrométricas instaladas .....	46
Tabla III: Instrumental utilizado .....	59
Tabla IV: Instrumental utilizado.....	61
Tabla V: Ficha estación de Las Tortugas .....	65
Tabla VI: Ficha estación de Inrriville .....	66
Tabla VII: Ficha estación de San Marcos Sud.....	67
Tabla VIII: Ficha estación de Piedras Blancas .....	68
Tabla IX: Ficha estación de Quillinzo .....	69
Tabla X: Ficha estación de Alpa Corral.....	70
Tabla XI: Ficha estación de La Cruz .....	71
Tabla XII: Ficha estación Los Reartes.....	72
Tabla XIII: Ficha estación de Santa Rosa de Calamuchita.....	73
Tabla XIV: Ficha estación de Río del Medio.....	74
Tabla XV: Componentes de la EMA.....	76



## 1. INTRODUCCION

Para alcanzar el desarrollo socioeconómico de un país y conservar la calidad del medio ambiente, se requiere una información exacta sobre la condición y la evolución de los recursos hídricos (aguas superficiales y subterráneas, así como cantidad y calidad). Los usos de la información sobre los recursos hídricos son muchos y variados: casi todos los sectores de la economía de un país utilizan información hidrológica en la planificación, el desarrollo y los objetivos prácticos. El agua es un recurso de valor inestimable para todas las naciones, y a medida que aumenta la competencia por el agua, aumenta la utilidad de la información hidrológica. Como se debe justificar adecuadamente el costo de los programas gubernamentales, es importante demostrar los beneficios de la información hidrológica. Se han sido citados proporciones de costo-beneficio de hasta 40 a 1, o sea que el valor de la información equivale a cuarenta veces el costo de la recopilación. Sin embargo, es más factible que la relación de costo-beneficio sea de 5 a 10 habiéndose obtenido valores de 9,3 y 6,4 en estudios realizados en Canadá y Australia, respectivamente. Sin tener en cuenta los valores numéricos reales, los responsables nacionales de la gestión de los recursos hídricos están de acuerdo en afirmar que la información hidrológica es una actividad rentable y un requisito previo para la gestión sensata de los recursos hídricos. Organización Meteorológica Mundial (1994), *Guía de Practicas Hidrológicas*.

En un amplio sentido, podemos referirnos al Monitoreo Hidrometeorológico y Ambiental, como aquel relevamiento de información que permite conocer el estado actual y la evolución de los fenómenos meteorológicos e hídricos que suceden en una cuenca, así como también, el aspecto ambiental, bajo el punto de vista de la calidad de los recursos naturales de una región.

Se pretende dejar en claro cuán importante es éste, no sólo a fines investigativos o como una "forma de conocer lo que nos rodea", sino también a fines prácticos, la necesidad de contar con datos que permitan una gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH), entendiéndose ésta como un balance de las necesidades económicas y sociales y asegurando la protección de los ecosistemas.

El monitoreo Hidrometeorológico, además, permite la generación de redes de monitoreo y alerta temprana que advierte a la población civil de inundaciones, así como también, brinda la facultad de un manejo correcto de los embalses. Este ejemplo de aplicación deja en clara evidencia que debe entenderse al mismo como una inversión en la que los beneficios obtenidos son mucho mayores a los costos de desarrollo, instalación y mantenimiento de la red, si se quiere ver bajo una perspectiva económica obviando los beneficios humanitarios como el de salvaguardar vidas. Por otra parte, el contar con datos meteorológicos de calidad, posibilita la calibración de modelos de simulación que permitirán hacer predicciones sobre el sistema climático, y, en consecuencia, permitir el planeamiento.

Poniendo la lupa en el aspecto ambiental, su monitoreo es de suma importancia para su preservación como también para adoptar las medidas de prevención necesarias. Es

decir, tener mediciones permite tener datos científicos confiables y no basar la toma de decisión para adoptar medidas de prevención o de remediación en creencias u opiniones. El análisis de los datos posibilita formular hipótesis o predicciones acerca de algún evento dado. Cuantificar la calidad del agua no sólo es importante para el caso del abastecimiento de agua potable de una urbe, sino que, desde una visión ambiental, afecta la biota presente en ella, ya que los distintos seres vivos que habitan en la misma, o están en contacto con ella, son sensibles a los cambios que se producen en su ambiente.

Desde un punto de vista económico, la falta de interés por preservar el medio ambiente se traduce en mayores costos para su futura remediación o por ejemplo la aplicación irresponsable de agroquímicos o el vertido de contaminantes, ya sea de origen industrial o doméstico, pueden afectar la calidad de las aguas subterráneas, en el primer caso, o la calidad del agua de los ríos, lagos o lagunas, en el segundo caso, teniendo como consecuencias mayores costos al momento del tratamiento del agua para su uso.

## 1.1. VARIABLES

Existe una gran cantidad de variables meteorológicas como son las precipitaciones tanto solidas como liquidas, la humedad, la temperatura, la nubosidad, la radiación, la duración de la insolación, la visibilidad, la humedad del suelo, medición del viento tanto dirección como intensidad, medición de la composición atmosférica, medición del ozono, la evaporación, la presión atmosférica, entre otras. Básicamente, en lo referido a la meteorología, hay ocho variables que interesan relevar: **Precipitación, Temperatura, Humedad, Radiación, Viento** (dirección e intensidad), **Evaporación** y **Presión**.

Los datos meteorológicos son suministrados por las **estaciones meteorológicas (EM)** donde cada variable es cuantificada por un sensor específico. A grandes rasgos se pueden clasificar por los sensores que disponen, en completas o por sensor y por la forma en que transmiten la información en manuales o automáticas.

En cuanto a la información hídrica, se obtiene a partir de las **estaciones hidrométricas (EH)**, complementando con aforos periódicos del caudal que circula por el río y un relevamiento topográfico del perfil del mismo. Ambas serán desarrolladas más adelante.

Para abordar de manera satisfactoria las problemáticas meteorológicas e hídricas (monitoreo Hidrometeorológico), es preciso contar con **redes** de estaciones, tanto meteorológicas como hidrométricas, a fin de contemplar en un sentido integral los fenómenos respectivos.

El valor de los datos que derivan de una red depende de la utilización ulterior. Sin

embargo, muchos de los usos de los datos hidrológicos no son evidentes en el momento del diseño de la red y, por ello, no pueden ser usados para justificar la recolección de

datos específicos que, posteriormente, pueden ser de gran valor. La **red básica** es establecida para proveer la información hidrológica necesaria para futuras decisiones no previstas en materia de recursos hídricos. Esta deberá suministrar un nivel de información hidrológica suficiente en cualquier lugar dentro de su región de aplicabilidad, para evitar cualquier error grave en la toma de decisión relativa a los recursos hídricos. Organización Meteorológica Mundial (1994), *Guía de Practicas Hidrológicas*.

## 1.2. PROCESO DE OBTENCION DE INFORMACION

La secuencia que sigue comúnmente para obtener información hidrológica es la siguiente:

- a) **Percepción:** Un sensor es un instrumento que convierte el nivel o intensidad del fenómeno en una señal observable. Son ejemplos los Limnímetros de regla y de presión. Pueden ser directos o indirectos. Un sensor directo mide el fenómeno mismo, tal como ocurre con la escala clásica. Un sensor indirecto mide una variable relacionada con el fenómeno, como presión hidrostática. Muchas variables hidrológicas se miden indirectamente incluso el caudal, a través del nivel y la velocidad.
- b) **Registro:** Un registrador es un aparato o procedimiento que se utiliza para preservar la señal producida por un sensor. El registro manual involucra a un observador que anota datos del sensor a intervalos fijos (por ejemplo, cada día las 9 hs). El registro automático requiere un aparato que acepte la señal del sensor y la almacena en papel o memoria magnética (disco o cinta). Los registros en papel tienen un mecanismo que transfiere el movimiento del sensor a una pluma graficadora o que perfora una banda.
- c) **Transmisión:** La transmisión es la transferencia de un registro desde un sitio remoto hasta una central. Puede consistir en transportar registros de papel en un vehículo. Un área de desarrollo rápido en hidrología es la trasmisión en tiempo real, a través de satélites o redes de microondas, radio o telefonía. La emisión de señales puede ser automática, a intervalos fijos o ante un evento. En otros sistemas, cuando la central necesita datos consulta al registrador, que los tiene grabados electrónicamente y los envía en el acto. La transmisión de información por tales medios es valiosa para pronosticar inundaciones y permite acceso regular a estaciones remotas difíciles de alcanzar.
- d) **Traducción:** La traducción es la conversión de un registro donde su forma original dada por el instrumento de campo a otra computarizada para el almacenamiento electrónico permanente. Por ejemplo, existen traductores que leen registros en banda de papel y producen una señal legible por computadores. Las lectoras de casete y los seguidores de graficas son otros aparatos de este tipo.
- e) **Edición:** La edición es la verificación de registros traducidos al computador a fin de corregir errores obvios que pueden haber ocurrido durante los pasos previos. Los errores comunes incluyen desaciertos en la sincronización automática de las

medidas registradas y datos perdidos en la transmisión y la traducción, que pueden recuperarse directamente de la información de campo.

- f) Almacenamiento: La información editada se almacena en bancos computarizados. En las grandes empresas públicas y privadas, estos bancos contienen muchos millones de datos compilados sistemáticamente en archivos indexados por la localización y secuencias por fecha de medición.
- g) Recuperación: Por último, la información puede ser solicitada al banco por los usuarios, sea en soporte magnético (cinta o disco flexible), legible por un computador, o listada en papel. Gabriel Caamaño Nelli (1996), *Introducción a la Hidrometría*.

## 2. ESTACIONES METEOROLOGICAS

Estas instalaciones son las que permiten relevar los datos meteorológicos que interesan. Las observaciones meteorológicas (así como las ambientales y geofísicas afines) se realizan por diversas razones. Se utilizan para la preparación en tiempo real de análisis meteorológicos, predicciones y avisos de tiempo violento, para el estudio del clima, para las operaciones locales sensibles a las condiciones meteorológicas (por ejemplo, operaciones locales de vuelo en aeródromos o trabajos de construcción en instalaciones terrestres y marítimas), para la hidrología y la meteorología agrícola, y con fines de investigación meteorológica y climatológica.

Las EM pueden ser **automáticas**, es decir, aquellas en donde las mediciones se realizan y se transmiten automáticamente; o **manuales**, en las cuales un observador es el encargado de las observaciones y luego de su transmisión. Los observadores meteorológicos son necesarios por varias razones, como las que se enumeran a continuación:

- a) para efectuar observaciones sinópticas y/o climatológicas con la exactitud y representatividad adecuadas utilizando los instrumentos apropiados;
- b) para mantener los instrumentos, la documentación de metadatos y los emplazamientos de observación en buen estado;
- c) para codificar y enviar las observaciones (a falta de sistemas automáticos de codificación y comunicación);
- d) para mantener dispositivos de registro *in situ*, en particular el cambio de mapas, cuando se proporcionen;
- e) para hacer o cotejar registros semanales y/o mensuales de datos climatológicos cuando no se disponga de sistemas automáticos o estos sean inadecuados;
- f) para proporcionar observaciones suplementarias o de reserva cuando el equipo automático no haga observaciones de todos los elementos requeridos o cuando esté fuera de servicio;
- g) para responder a las consultas efectuadas por el público y los especialistas.

Los observadores deberían estar especializados o tener un diploma de un Servicio Meteorológico que acredite su competencia para efectuar observaciones con arreglo a las normas exigidas. Deberían ser capaces de interpretar las instrucciones sobre el uso de instrumentos y las técnicas manuales aplicables a sus propios sistemas particulares de observación.

A medida que aumenta la capacidad de los sistemas automáticos, también lo hace constantemente la proporción de **estaciones meteorológicas automáticas** con respecto a las estaciones meteorológicas dotadas de personal/observadores (con instrumentos automáticos o sin ellos). Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

## 2.1. EMPLAZAMIENTO

El emplazamiento de las estaciones meteorológicas de observación está concebido de modo que se puedan efectuar mediciones (u observaciones) representativas según el tipo de la estación de que se trate. Las características de un emplazamiento de observación cambian generalmente con el transcurso del tiempo; por ejemplo, debido al crecimiento de árboles o a la construcción de edificios en terrenos adyacentes. Los emplazamientos deberían elegirse de manera que se reduzcan al mínimo estos efectos, cuando sea posible. Debería mantenerse y actualizarse regularmente la documentación relativa a los rasgos geográficos y a la exposición del emplazamiento, que constituiría parte de los metadatos.

Por ejemplo, las siguientes consideraciones se aplican a la elección del emplazamiento y a los requisitos de exposición de los instrumentos de una estación climatológica típica en una red regional o nacional:

- a) Los instrumentos exteriores deberían instalarse en terreno llano, a poder ser de una dimensión no inferior a 25 metros por 25 metros cuando haya muchas instalaciones, pero en los casos en los que haya relativamente pocas instalaciones, el terreno puede ser mucho más pequeño, por ejemplo, de 10 metros por 7 metros (el recinto). El terreno debería estar cubierto de hierba corta o de una superficie representativa de la localidad, rodeada de una cerca o estacas para impedir la entrada de personas no autorizadas. En el recinto, se reserva una parcela de unos 2 metros por 2 metros para las observaciones referentes al estado del suelo y su temperatura a profundidades iguales o inferiores a 20 cm (capítulo 2 de la parte I) (las temperaturas del suelo a profundidades superiores a los 20 cm pueden medirse fuera de esta parcela).
- b) No debería haber laderas empinadas en las proximidades, y el emplazamiento no debería encontrarse en una hondonada. Si no se cumplen estas condiciones, las observaciones pueden presentar peculiaridades de importancia únicamente local.
- c) El emplazamiento debería estar suficientemente alejado de árboles, edificios, muros u otros obstáculos. La distancia entre cualquiera de esos obstáculos (incluidas las vallas) y el pluviómetro no debería ser inferior al doble de la altura del objeto por encima del borde del aparato, y preferentemente debería cuadruplicar la altura.
- d) El registrador de luz solar, el pluviómetro y el anemómetro han de exponerse de manera que satisfagan sus requisitos, y, preferentemente, en el mismo lugar que los demás instrumentos.
- e) Cabe señalar que el recinto tal vez no sea el mejor lugar para estimar la velocidad y dirección del viento, por lo que quizás convenga elegir un punto de observación más expuesto al viento.
- f) Los emplazamientos muy abiertos, que son adecuados para la mayoría de los instrumentos, resultan inapropiados para los pluviómetros. En tales lugares, la captación del agua de lluvia es reducida, salvo en condiciones de vientos débiles, y se necesita algún tipo de protección.

- g) Cuando haya árboles o edificios a cierta distancia del entorno del recinto de instrumentos que impidan divisar con suficiente amplitud el horizonte, deberían elegirse otros puntos para las observaciones de luz solar o radiación.
- h) El lugar desde donde se realice la observación de las nubes y de la visibilidad debería ser lo más despejado posible y permitir la visión más amplia posible del cielo y del paraje circundante.
- i) En las estaciones costeras, conviene que desde la estación pueda dominarse el mar abierto. Sin embargo, no debería estar demasiado cerca del borde de un acantilado porque los remolinos de viento que este provoque afectarán a las mediciones de la precipitación y el viento.

El mejor lugar para realizar observaciones de nubes y visibilidad durante la noche es un emplazamiento no afectado por luces extrañas. Es obvio que algunas de las consideraciones antes señaladas son en cierto modo contradictorias y requieren soluciones intermedias. En los capítulos siguientes se ofrece información pormenorizada sobre los instrumentos y mediciones específicos. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

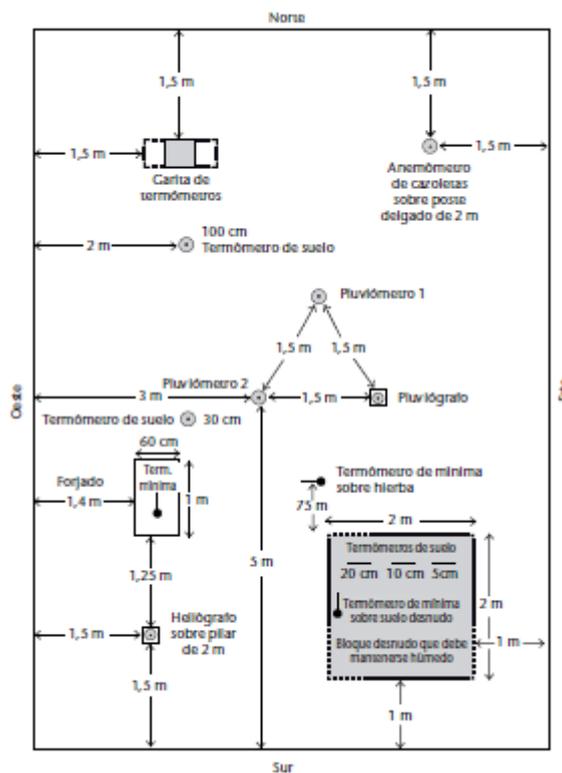


Figura 1: Croquis representativo de una estación de observación

## 2.2. PRECIPITACIONES

Este término abarca tanto las precipitaciones líquidas, como lo es la lluvia, como así también las precipitaciones sólidas, como la nieve o el granizo. Comenzaremos hablando sobre las precipitaciones líquidas y al final se describirá brevemente métodos sencillos y los instrumentos para medir las precipitaciones sólidas.

Las precipitaciones pueden ser medidas mediante aparatos no registradores (pluviómetro) o aparatos registradores (pluviógrafo).

- Pluviómetro: Totalizador. No describe el fenómeno.
- Pluviógrafo:  $P=f(t)$ . Describe la intensidad de la precipitación. Permite caracterizar los fenómenos.

A continuación, se detallan las formas más comunes para medir esta variable.

### 2.2.1. Pluviómetro

El medidor de precipitación utilizado normalmente consiste en un colector situado por encima de un embudo que da paso a un depósito, donde el agua y la precipitación sólida derretida acumuladas se almacenan entre períodos de observación (figura 2). Se utilizan diversas formas de medidores en diferentes lugares del mundo, tal y como se muestra en la figura 3. Cuando la precipitación sólida es frecuente e importante se utilizan varias modificaciones especiales con el fin de mejorar la exactitud de la medición. Esas modificaciones comprenden la supresión del embudo del medidor al comenzar la temporada de nieve o la provisión de un dispositivo especial para impedir el arrastre de la captación. Los paravientos en torno al medidor reducen el error por la deformación del campo de viento sobre el mismo y por la entrada de nieve. Son aconsejables para la lluvia y esenciales para la nieve. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

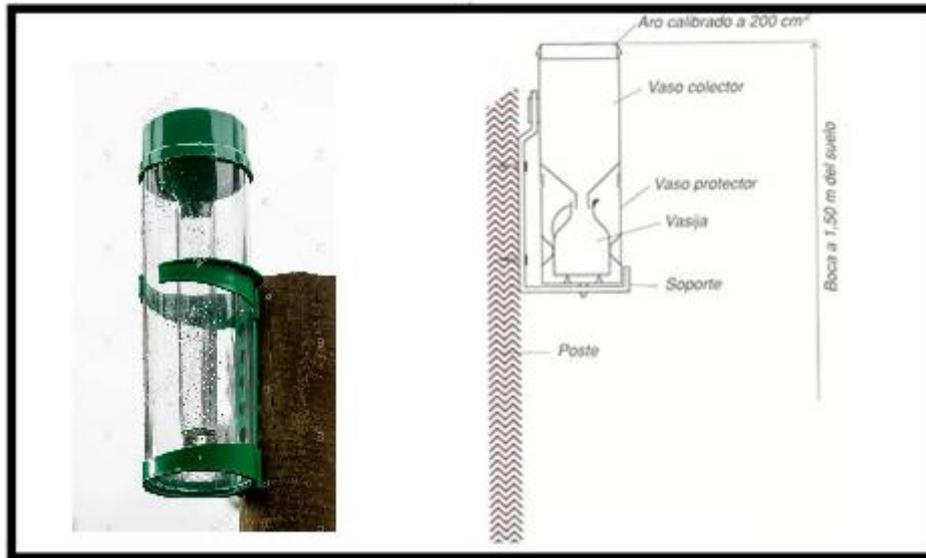


Figura 2: Pluviómetro

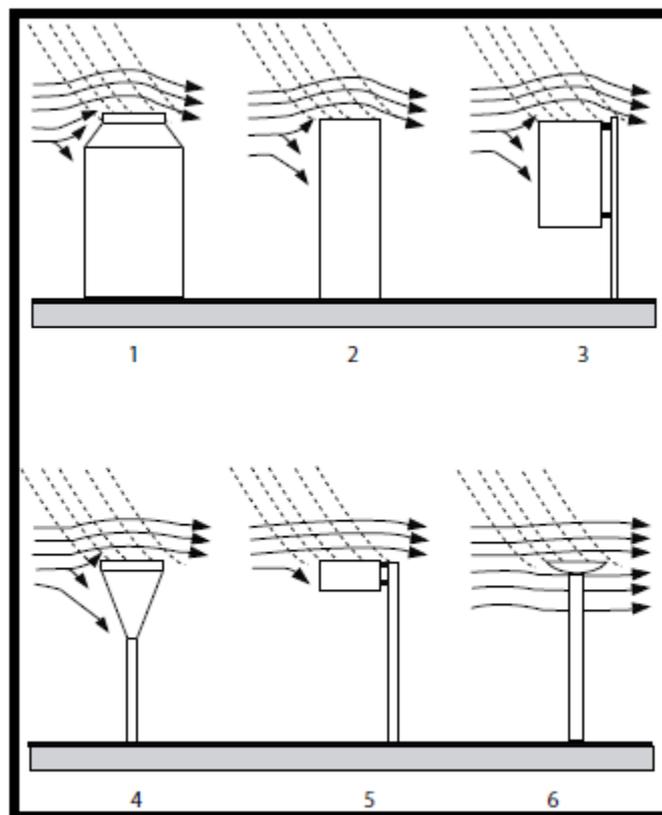


Figura 3: Formas típicas de los medidores

### 2.2.2. Medidor de precipitación de pesaje

En estos instrumentos, el peso de un depósito y la precipitación acumulada en él se registran continuamente, bien por medio de un mecanismo dotado de un muelle o con

un sistema de balanza de pesas. Se registra, pues, toda la precipitación, ya sea líquida o sólida, a medida que cae. Este tipo de medidor normalmente no tiene mecanismo alguno para vaciarse por sí solo; la capacidad (es decir, la acumulación máxima entre recargas) varía de 150 a 750 mm. Los medidores registradores deben mantenerse para reducir al mínimo las pérdidas por evaporación, operación que puede realizarse añadiendo suficiente aceite u otro inhibidor de la evaporación en el depósito para que forme una película por encima de la superficie del agua. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

### 2.2.3. Pluviómetro de cubeta basculante o balancín

El pluviógrafo de cubeta basculante (también llamado de balancín, figura 4) se utiliza para medir la intensidad de lluvia, así como los totales acumulados, pero no ofrece la exactitud necesaria a causa de importantes errores no lineales, en particular en el caso de fuertes intensidades de precipitación.

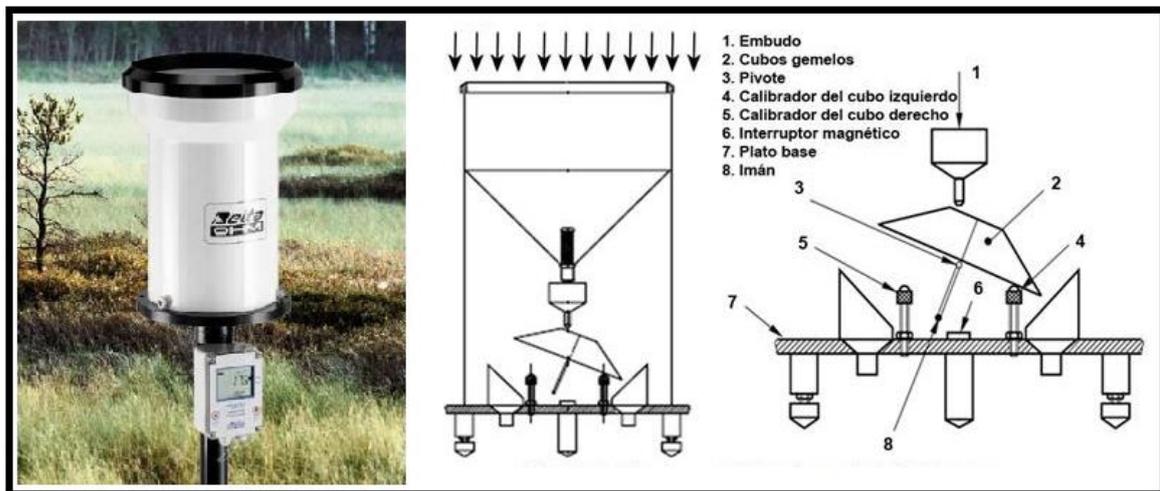


Figura 4: Pluviómetro de cubeta basculante o balancín

El principio en el que se basa el funcionamiento de este instrumento es muy sencillo (Figura 4). Un ligero recipiente metálico está dividido en dos compartimentos y se halla en equilibrio inestable con respecto a un eje horizontal. En su posición normal, el recipiente se apoya en uno de los dos toques que le impiden inclinarse completamente. El agua de lluvia es conducida desde un colector hasta el compartimento que se halle más alto y, una vez que penetra una cantidad de lluvia predeterminada en el compartimento, el depósito adquiere un equilibrio inestable y se inclina sobre la otra posición de reposo. Debido a la forma de los compartimentos del depósito, el agua se vacía desde el que esté más bajo. Mientras tanto, el agua que sigue cayendo entra en el compartimento que se halle entonces más elevado. El movimiento del recipiente al inclinarse puede utilizarse para iniciar el funcionamiento de un contacto que produzca un registro discontinuo y escalonado; la distancia entre cada escalón del registro representa el tiempo requerido para que caiga determinada cantidad de lluvia. Esa cantidad no debería exceder de 0,2 mm si se quieren obtener registros detallados. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

## 2.2.4. Pluviógrafo de flotador

En este tipo de instrumento la lluvia pasa a un recipiente que es, en realidad, una cámara que contiene un ligero flotador. A medida que el nivel del agua de la cámara aumenta, el movimiento vertical del flotador se transmite, mediante un mecanismo adecuado, al movimiento de una plumilla que se desliza sobre una banda o a un transductor digital. Ajustando debidamente las dimensiones de la boca del colector, el flotador y la cámara, se puede utilizar cualquier escala para la banda de registro.

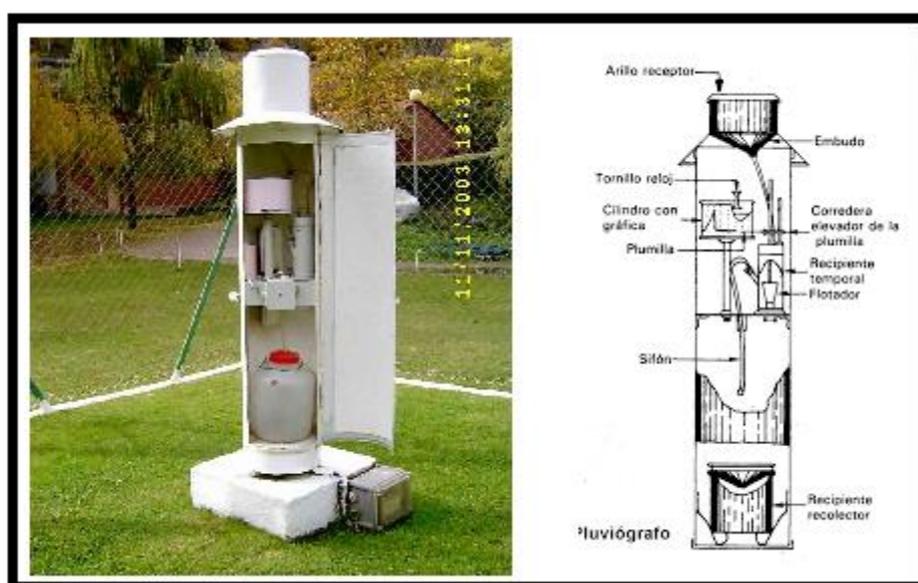


Figura 5: Pluviógrafo de flotador

A fin de poder registrar la precipitación caída durante un período adecuado (en general, de 24 horas), la cámara del flotador ha de ser muy grande (en cuyo caso se obtiene, sobre la banda de registro, una escala comprimida), o bien hay que recurrir a un mecanismo que realice automáticamente y con rapidez el vaciado de la cámara del flotador cada vez que se llene, de modo que la plumilla u otro indicador regrese a la posición del cero en la banda. Habitualmente se recurre a un sifón (figura 5). Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

## 2.2.5. Precipitaciones sólidas

A continuación, figura una reseña de algunos métodos sencillos y bien conocidos, así como un breve análisis de los instrumentos.

La precipitación de nieve es el espesor de la capa de nieve fresca depositada en el suelo durante un período dado (generalmente 24 horas). Por tanto, la precipitación de nieve no comprende la deposición por arrastre eólico o la ventisca de nieve. Para mediciones del espesor, el término “nieve” debería comprender también el hielo granulado, el hielo

liso, el granizo, y la capa de nieve formada directa o indirectamente como consecuencia de la precipitación. Por espesor de la nieve se entenderá normalmente el espesor total de nieve en el suelo en el momento de la observación.

El equivalente en agua de una capa de nieve es el espesor de la capa de agua que se obtendría fundiendo la capa de nieve.

Las **mediciones directas del espesor de la nieve fresca** en suelo abierto se hacen con una regla o escala graduada. Deberían realizarse suficientes mediciones verticales, en lugares donde se considera que no hay arrastre eólico, para obtener una media representativa; en cambio, allí donde se produzca un amplio arrastre de la nieve se precisará realizar un número mayor de mediciones para obtener un espesor representativo. Habría que tomar precauciones especiales para no medir ninguna nieve caída anteriormente. Esto puede hacerse barriando previamente una porción adecuada de terreno o cubriendo la parte superior de la superficie de la nieve antigua con un material adecuado (como madera con una superficie ligeramente rugosa, pintada de blanco) y midiendo el espesor acumulado sobre ella.

En una superficie inclinada (que debería evitarse, de ser posible) las mediciones deberían realizarse verticalmente con una varilla. Cuando exista una capa de nieve caída con anterioridad, no sería correcto calcular el espesor de la nieve nueva por la diferencia entre dos mediciones consecutivas del espesor de nieve total, puesto que la nieve que cae suele comprimirse y sufrir ablación.

El método normal para medir el **equivalente en agua** es la medición gravimétrica, que se realiza utilizando un tubo de nieve para obtener una muestra. Este método sirve de base para los estudios nivométricos, procedimiento común en muchos países para medir el equivalente en agua. El método consiste en fundir cada muestra y medir su contenido líquido, o bien en pesar la muestra congelada. Para fundir la muestra puede utilizarse una cantidad medida de agua templada o una fuente de calor.

Con un muestreador de nieve apropiado pueden obtenerse muestras cilíndricas de nieve fresca, que se pesan o se funden. Con este método puede utilizarse un pluviómetro estándar.

Con los nivómetros se mide directamente el equivalente en agua de la nieve caída. Esencialmente, puede utilizarse también cualquier medidor de precipitación no registrador para medir el equivalente en agua de la precipitación sólida. La nieve recogida con esos tipos de medidores debería pesarse o fundirse inmediatamente después de cada observación. El medidor de pesaje capta tanto las formas sólidas de precipitación como las líquidas, y registra el equivalente en agua de la misma manera que para las formas líquidas.

El equivalente en agua de la precipitación sólida puede estimarse asimismo utilizando la medida del espesor de la capa de nieve fresca. Esta medición se convierte en equivalente en agua mediante el empleo de una densidad específica apropiada. Si bien

la relación según la cual 1 cm de nieve fresca equivale a 1 mm de agua puede utilizarse con cautela para los valores medios correspondientes a períodos largos, esto puede ser muy impreciso para una sola medición, pues la densidad específica de la nieve puede variar entre 0,03 y 0,4.

Existen métodos no destructivos de muestreo, adaptables a los sistemas de registro in situ y/o de telemetría cuyos dispositivos se basan en el principio de que el agua, la nieve y el hielo atenúan la radiación. Son ejemplo el nivómetro por radioisótopos y el método por radiación gamma natural. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

### **2.2.6 Emplazamiento**

En todo método para medir la precipitación debería tratarse de obtener una muestra representativa de la verdadera cantidad caída sobre la zona que se piensa representar con la medición, ya sea a escala sinóptica, mesoescala o microescala. Por tanto, la elección del emplazamiento, y el error sistemático de medición, son importantes.

La ubicación de las estaciones de precipitación en la zona de interés es importante porque el número y el emplazamiento de los medidores determinan el grado en que las mediciones representan la cantidad real de precipitación que cae en la zona.

Los efectos inducidos por el lugar de ubicación sobre el campo de viento en los alrededores pueden motivar excesos o deficiencias locales de la precipitación caída. En general, la distancia de cualquier objeto respecto del medidor no debería ser inferior al doble de su altura por encima de la boca del medidor. La boca del medidor deberá estar a 1,50 m sobre el nivel del terreno. Para cada lugar debería estimarse el ángulo vertical medio de los obstáculos, así como trazar un plano de la ubicación. Habría que evitar las laderas o los techos de los edificios.

Los lugares elegidos para medir la nieve y/o la capa de nieve deberían estar situados, en la medida de lo posible, en puntos protegidos del viento. Los mejores emplazamientos suelen ser con frecuencia los claros de los bosques o de los huertos, entre los árboles, matorrales o arbustos, o en otros sitios en donde haya obstáculos que actúen como eficaces barreras contra el viento de todas las direcciones.

No obstante, es preferible reducir los efectos del viento, y del lugar sobre el mismo, utilizando un pluviómetro al nivel del suelo para captar la precipitación líquida, o bien forzando el flujo de aire para que sea horizontal por encima de la boca del medidor, aplicando las siguientes técnicas que se enumeran por orden decreciente de eficacia:

- a) en zonas con vegetación densa y homogénea, la altura de la vegetación debería mantenerse al mismo nivel que la boca del pluviómetro mediante una poda regular;
- b) en otras zonas, mediante la simulación del efecto citado en a), empleando estructuras de protección adecuadas;
- c) utilizando paravientos alrededor del pluviómetro.

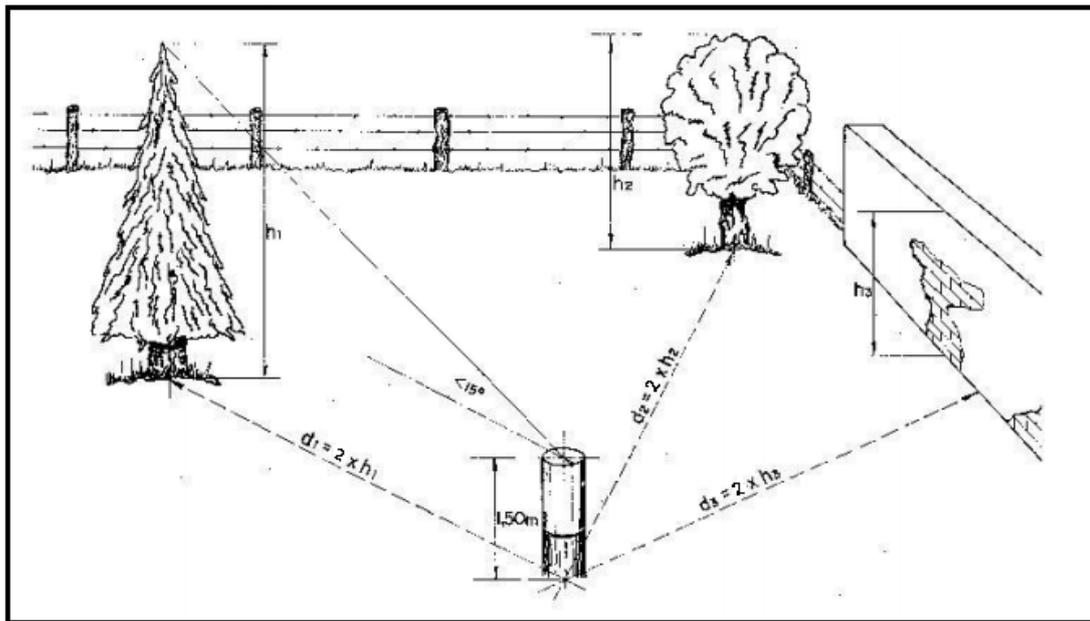


Figura 6: Emplazamiento pluviómetro-pluviógrafo

La superficie que rodea al pluviómetro puede estar cubierta de hierba corta, grava o guijarros, pero en todos los casos deberían evitarse las superficies duras y llanas como las de hormigón para impedir las excesivas salpicaduras en el interior del pluviómetro. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

### 2.3. TEMPERATURA

Para fines meteorológicos se miden las temperaturas de numerosos medios. La variable más comúnmente medida es la temperatura del aire (a diversas alturas). Otras variables son la temperatura mínima de la hierba, la del terreno, la del suelo y la temperatura del agua de mar. La OMM (1992) define la temperatura del aire como “la temperatura leída en un termómetro expuesto al aire, protegido de la radiación solar directa”.

Los requisitos meteorológicos para las mediciones de temperatura en meteorología están relacionados principalmente con:

- a) el aire cerca de la superficie de la Tierra;
- b) la superficie del terreno;
- c) el suelo a diversas profundidades;
- d) los niveles de superficie del mar y de los lagos;
- e) la atmósfera superior.

Estas mediciones son necesarias, conjuntamente o por separado, y a escala local o mundial, para introducir datos en los modelos de predicción numérica del tiempo, para fines hidrológicos y agrícolas, y como indicadores de la variabilidad del clima. La temperatura local tiene también importancia fisiológica para las actividades cotidianas

de la población mundial. Las mediciones de temperatura pueden necesitarse en forma de registros continuos, o pueden obtenerse a intervalos de tiempo diferentes.

La temperatura es una de las variables meteorológicas cuya medición es muy sensible a la exposición. Para los estudios sobre el clima en particular, las mediciones de temperatura resultan afectadas por el estado del entorno circundante, la vegetación, la presencia de edificios u otros objetos, la cubierta del suelo, el estado y las diferencias de diseño del escudo o de la pantalla contra las radiaciones, y otros cambios en el equipo. Por consiguiente, es importante llevar registros no solo de los datos de temperatura, sino también de las circunstancias en que se han realizado las mediciones. Esta información se conoce como metadatos (datos acerca de datos).

La forma más usual de medir esta variable es a través del empleo de Termómetros y es esta la forma corriente de medir la temperatura ambiente. Existen otras metodologías como el empleo de radiómetros que operan en la banda infrarroja del espectro electromagnético, los termógrafos mecánicos (termógrafo bimetalico y termógrafo de tubo de Bourdon), los termómetros eléctricos (termómetros de resistencia eléctrica, termómetros de semiconductor y los termopares), entre otras. Los termómetros que indican la temperatura ambiente suelen denominarse **termómetros ordinarios**, y los que indican las temperaturas extremas a lo largo de un período de tiempo se **denominan termómetros de máxima o de mínima** (figura 7).

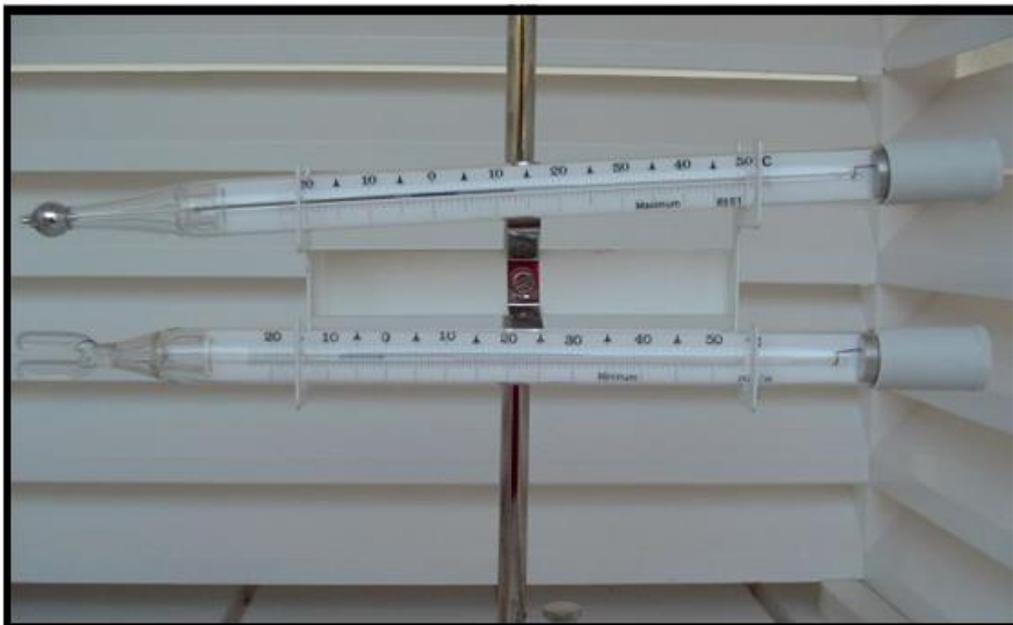


Figura 7: Termómetro de máxima y termómetro de mínima

Para asegurarse de que el termómetro esté a la temperatura verdadera del aire es necesario protegerlo de la radiación mediante una garita o protección que le sirva a la vez de soporte. Esta garita lo protegerá también de las precipitaciones, permitirá al aire circular libremente a su alrededor e impedirá que se dañe accidentalmente.

A fin de obtener resultados representativos cuando se comparan las lecturas termométricas de lugares y momentos diferentes, es también indispensable normalizar la exposición de la garita y, por consiguiente, del termómetro propiamente dicho. En las actividades meteorológicas habituales, la temperatura del aire observada debería ser representativa del estado del aire que rodea la estación en un área lo más extensa posible, y a una altura de entre 1,2 y 2,0 m por encima del nivel del suelo.

Las pendientes muy inclinadas y las de presiones del terreno están expuestas a condiciones excepcionales, por lo que convendría evitarlas. En los pueblos y ciudades, las características locales suelen ser más marcadas que en las zonas rurales. Las observaciones de temperatura en las cimas de los edificios son de dudoso valor y utilidad, debido al gradiente vertical variable de temperatura que existe en esos lugares, y al efecto del propio edificio sobre la distribución de la temperatura. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

Como adelantamos párrafos arriba, clasificamos a los termómetros en ordinarios, de máxima y de mínima, según la temperatura que indican.

### **2.3.1. Termómetros Ordinarios**

Estos termómetros son los más exactos de todos los de uso meteorológico. Generalmente son del tipo de mercurio en cápsula de vidrio. Las marcas de su escala están a intervalos de 0,2 K o 0,5 K, y la escala es más amplia que la de los demás termómetros meteorológicos. El termómetro ordinario se utiliza cubierto por una garita, para evitar errores debidos a la radiación. Un soporte lo mantiene en posición vertical, con el bulbo en el extremo inferior. El bulbo es o bien cilíndrico, o en forma de cebolla. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

### **2.3.2. Termómetros de Máxima**

El tipo de termómetro de máxima recomendado es el de mercurio en cápsula de vidrio, con un estrechamiento entre el bulbo y el comienzo de la escala. Dicho estrechamiento impide que la columna de mercurio descienda, aunque disminuya la temperatura.

Los termómetros de máxima deberían estar montados a un ángulo de unos 2 grados respecto de la horizontal, con el bulbo en el extremo inferior para que la columna de mercurio se apoye en el estrechamiento sin que la gravedad le obligue a atravesarlo. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

### 2.3.3. Termómetros de Mínima

En lo que se refiere a los termómetros de mínima, el instrumento más habitual es un termómetro de alcohol con un índice de vidrio oscuro, de unos 2 cm de longitud, sumergido en el alcohol. En el tubo de estos termómetros hay siempre algo de aire, por lo que conviene dotarlos de una cámara de seguridad en su extremo superior, de un tamaño suficiente para que el instrumento pueda soportar una temperatura de 50 °C sin sufrir daños. Los termómetros de mínima deberían estar sustentados de manera análoga a los termómetros de máxima, en posición casi horizontal. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

## 2.4. PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Por lo general, las mediciones de la presión atmosférica con fines meteorológicos se realizan mediante barómetros electrónicos, barómetros de mercurio y barómetros aneroides o hipsómetros. En lo que sigue se detallan los principios de funcionamiento de estos dispositivos. También es preciso comentar que existen aparatos que son capaces de graficar la variación de la presión con respecto al tiempo, estos son denominados barógrafos.

Tradicionalmente, el método más utilizado para medir la presión atmosférica consiste en equilibrarla con el peso de una columna de líquido. Por motivos diversos, la exactitud requerida solo puede conseguirse convenientemente si el líquido es mercurio, este es conocido con el nombre de **barómetro de mercurio**. En general, se considera que poseen buena estabilidad a largo plazo y exactitud, pero están perdiendo popularidad frente a los barómetros electrónicos de exactitud similar, de mayor facilidad de lectura.

Una membrana elástica, sujeta por los bordes, se deformará si se ejerce más presión en un lado que en otro. En la práctica, ello se consigue gracias a una cápsula de metal cerrada, en la que se ha hecho un vacío total o parcial, y que contiene un muelle metálico resistente que impide que la cápsula ceda a la presión atmosférica externa. Para medir la deformación causada por la diferencia de presión entre el interior y el exterior de la cápsula se utilizan medios mecánicos o eléctricos. Este es el principio del conocido **barómetro aneroide**.

Se han desarrollado **sensores de presión** consistentes en cilindros de paredes finas, de una aleación de níquel, rodeados de vacío. La frecuencia natural de resonancia de esos cilindros varía en función de la diferencia de presión entre el interior del cilindro, que está a la presión atmosférica ambiental, y el exterior del cilindro, mantenido en el vacío.

Cada vez se utilizan con mayor frecuencia **transductores de presión absoluta** (barómetros eléctricos), basados en un elemento de cuarzo cristalino. La presión ejercida por un fuelle flexible sobre la superficie del cristal origina sobre este último una fuerza de compresión. Las propiedades piezorresistivas del cristal permiten que la

aplicación de presión modifique el equilibrio de un puente de Wheatstone activo. Al equilibrar el puente, es posible determinar la presión con exactitud. Estos tipos de transductores de presión están prácticamente exentos de efectos de histéresis.

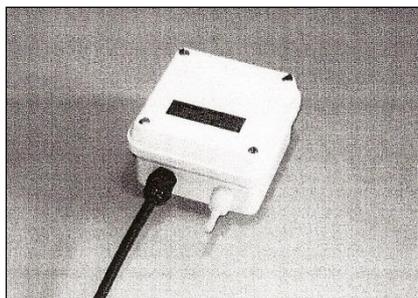


Figura 8: Transductor de presión absoluta

El punto de ebullición de un líquido es función de la presión a la que hierve. Una vez determinada esa función, se puede utilizar la temperatura de ebullición del líquido, en un **hipsómetro**, para determinar la presión atmosférica.

Con respecto al **emplazamiento** es importante escoger cuidadosamente el lugar de del barómetro en la estación de observación. Los principales requisitos con respecto al lugar de exposición son: temperatura uniforme, buena iluminación, ausencia de corrientes de aire, montaje sólido y vertical, y protección contra manejos bruscos. Por consiguiente, el instrumento debería estar colgado o instalado en un recinto donde la temperatura sea constante o cambie lentamente, y en el que no se produzcan gradientes de temperatura. El instrumento debería estar protegido en todo momento de los rayos directos del sol, y tendría que estar situado lejos de cualquier aparato de calefacción y de las corrientes de aire. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

## 2.5. MEDICION DE LA HUMEDAD

Las mediciones de humedad en la superficie terrestre sirven para el análisis y la predicción meteorológicos, para los estudios climatológicos y, en general, para muchas otras aplicaciones especiales en hidrología, agricultura, servicios aeronáuticos y estudios medioambientales. También tienen gran importancia por su vinculación con los cambios del estado del agua en la atmósfera.

Todo instrumento utilizado para medir la humedad se denomina higrómetro. Entre los métodos de medición podemos nombrar la higrometría gravimétrica, métodos basados en la condensación, método psicométrico, métodos de sorción, métodos que cuantifican la absorción de la radiación electromagnética por el vapor de agua, etc. El método del psicómetro es el más utilizado y es el que se describe a continuación.

Un psicrómetro consiste básicamente en dos termómetros juntos; el elemento sensible de uno de los termómetros está cubierto de una fina capa de agua o de hielo, de ahí el término de termómetro húmedo o termómetro engelado. El elemento sensible del segundo termómetro está simplemente expuesto al aire y se llama termómetro seco.

El equipo utilizado para efectuar observaciones psicométricas debería, en la medida de lo posible, conformarse a las recomendaciones siguientes:

- a) A nivel del mar, y si los termómetros utilizados son como los que se emplean generalmente en las estaciones meteorológicas, el aire debería aspirarse a una velocidad no inferior a  $2,2 \text{ m s}^{-1}$  ni superior a  $10 \text{ m s}^{-1}$ . Para altitudes considerablemente distintas, estas velocidades límite del aire tendrían que ajustarse en proporción inversa a la densidad de la atmósfera.
- b) Se deben proteger los termómetros secos y húmedos de los efectos de la radiación, preferentemente con un mínimo de dos pantallas. En el caso de un psicrómetro con ventilación forzada, como el de Assmann, las pantallas deben ser de metal pulido y sin pintar, separadas del resto del aparato por materiales aislantes. El material aislante térmico es preferible, en principio, e indispensable en el caso de psicrómetros con ventilación natural.
- c) Si el psicrómetro está protegido por una garita con paredes de celosía y dotado de ventilación forzada, son necesarios conductos de ventilación separados para los dos termómetros. La entrada de los conductos estará situada de manera que los termómetros puedan medir la temperatura real ambiente, y su salida estará por encima de la garita a fin de evitar la recirculación del aire evacuado.
- d) Conviene tomar todas las precauciones necesarias para impedir cualquier transferencia térmica significativa del motor de aspiración a los termómetros.
- e) El recipiente de agua y la mecha estarán dispuestos de modo que el agua llegue al termómetro húmedo a la misma temperatura de este sin influir sobre la temperatura del termómetro seco. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

## 2.6. VIENTO

La **velocidad del viento** es una magnitud vectorial tridimensional que experimenta fluctuaciones aleatorias de pequeña escala en el espacio y en el tiempo, que se superponen a un flujo organizado de mayor escala. El grado de fluctuación experimentado por el viento se denomina “rafagosidad”, y las diferentes fluctuaciones, “ráfagas” o “rachas”. En general, se considera que el viento de superficie es fundamentalmente una magnitud vectorial bidimensional definida por dos números que representan la dirección y la velocidad.

Las observaciones o mediciones del viento son necesarias para vigilar y predecir el tiempo, para estudiar el clima según la carga de viento, para determinar la probabilidad de daños causados por el viento y evaluar la energía eólica, y para estimar los flujos de superficie, por ejemplo, los datos de evaporación son necesarios para estudiar la dispersión de la contaminación atmosférica y para aplicaciones agrarias.

El viento de superficie suele medirse utilizando una veleta y un anemómetro de cazoletas o de hélice.

Los **anemómetros de cazoletas y de hélice** se utilizan habitualmente para determinar la **velocidad del viento** (Ver figura 9). Constan de dos componentes: el rotor y el generador de señales. En los sistemas adecuadamente diseñados, la velocidad angular del rotor de cazoletas o de la hélice es directamente proporcional a la velocidad del

viento o, más precisamente, en el caso del rotor de hélice, a la componente de la velocidad del viento paralela al eje de rotación. Asimismo, presentan una calibración lineal independiente de la densidad del aire, un buen cero y una gran estabilidad.



Figura 9: Anemómetro de cazoleta y hélice

Como tanto los rotores de cazoletas como los de hélice giran con una velocidad angular directamente proporcional a la velocidad o a la componente axial, resulta particularmente conveniente para activar diversos tipos de generadores de señales. A este respecto, se han utilizado generadores de corriente alterna y continua, generadores de impulsos ópticos y magnéticos, y contadores y registradores de vueltas. La elección del generador de señales o transductor dependerá en gran medida del tipo de procesador de datos y del sistema de lectura que se utilice. Convendría asegurarse de que los cojinetes y el generador de señales tengan pares de arranque y rozamiento durante el funcionamiento bajos, y de que el momento de inercia del generador de señales no reduzca demasiado la respuesta.

Para determinar la ***dirección del viento*** se utiliza la ***veleta***. Para obtener una medición satisfactoria es necesario que la veleta esté bien equilibrada, de modo que no adopte una posición de preferencia cuando el eje no sea vertical. Si la veleta tiene aletas múltiples, estas deberían preferiblemente ser paralelas al eje de la veleta. El generador de señales consiste básicamente en un transductor de eje que transmite los movimientos angulares.

Se han empleado dispositivos de muchos tipos con buenos resultados en potenciómetros, sincronizadores de corriente alterna y continua, discos digitales de codificación angular, cuadrantes de lectura directa y conmutadores giratorios. La elección del generador de señales dependerá en gran medida del tipo de procesador de datos y del sistema de lectura que se utilice. Convendría asegurarse de que los cojinetes y el generador de señales tengan pares de arranque y de rozamiento, durante el funcionamiento, bajos.

El anemómetro descrito es el más utilizado, pero no es el único disponible, existen varios dispositivos que utilizan distintos principios físicos, a saber, los anemómetros de tubo Pitot, los anemómetros sónicos, los anemómetros de disco caliente, los anemómetros de hilo caliente, las antiguas veletas de placa movable, las técnicas de teledetección de viento mediante ondas acústicas (sodar), luminosas (lidar) o electromagnéticas (radar), etc.

La velocidad del viento aumenta de forma considerable con la altura, particularmente en terrenos accidentados. Por esa razón, se ha definido una altura estándar de 10 m por encima del terreno abierto para la exposición de los instrumentos de viento. Con respecto a la dirección del viento, el desplazamiento correspondiente a un intervalo de altura de ese orden es relativamente pequeño y se puede ignorar en las mediciones del viento de superficie. Un emplazamiento óptimo para realizar observaciones del viento es un lugar donde el viento observado es representativo del existente sobre una zona de por lo menos algunos kilómetros, o puede corregirse fácilmente para que lo sea. En un terreno irregular, con obstáculos, o cuya superficie esté cubierta de manera no homogénea, la velocidad y la dirección del viento pueden variar considerablemente. Con frecuencia es posible introducir correcciones y empieza a disponerse de las herramientas necesarias para calcularlas. A fin de mejorar la aplicabilidad de los datos sobre el viento, las mediciones directas transmitidas a los usuarios deberían ir acompañadas de la información esencial para efectuar tales correcciones.

Es raro que las observaciones del viento de superficie no planteen problemas de exposición. Resulta difícil encontrar un terreno llano abierto y la mayoría de las estaciones anemométricas terrestres se ven perturbadas. Por lo tanto, en general, serán necesarias correcciones por distorsión de flujo, topográfica, altura de observación no estándar y por efectos de rugosidad. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

## **2.7. RADIACIÓN**

Los diversos flujos de radiación recibidos y emitidos por la superficie terrestre son algunas de las variables más importantes de la economía térmica de la Tierra en su totalidad, y de cualquier punto de su superficie o de la atmósfera. Las mediciones de la radiación se emplean para:

- a) estudiar las transformaciones de la energía en el sistema Tierra-atmósfera, así como sus variaciones en el tiempo y en el espacio;
- b) analizar las propiedades y distribución de los componentes de la atmósfera, como los aerosoles, el vapor de agua, el ozono, etc.;
- c) estudiar la distribución y variaciones de la radiación incidente, saliente y neta;
- d) responder a las necesidades de la biología, la medicina, la agricultura, la arquitectura y la industria en materia de radiación;
- e) verificar las mediciones de la radiación efectuadas por satélite, así como los algoritmos utilizados.

Los instrumentos meteorológicos para medir la radiación se clasifican atendiendo a diversos criterios: el tipo de variable que se desea medir, el campo visual, la respuesta espectral, el uso principal a que se destinen, etc. La clasificación más aceptada es la que figura en el siguiente cuadro (Tabla I).

Tabla I: Clasificación de los instrumentos meteorológicos para medir la radiación

<i>Clasificación del instrumento</i>	<i>Parámetro que se desea medir</i>	<i>Uso principal</i>	<i>Ángulo de visión (estereorradianes) (Véase la figura 7.1)</i>
Pirheliómetro absoluto	Radiación solar directa	Patrón primario	$5 \times 10^{-3}$ (aprox. $2,5^\circ$ de semiángulo)
Pirheliómetro	Radiación solar directa	a) Patrón secundario para calibraciones b) Red	$5 \times 10^{-3}$ a $2,5 \times 10^{-2}$
Pirheliómetro espectral	Radiación solar directa en bandas espectrales anchas (por ej. con filtros OG 530, RG 630, etc.)	Red	$5 \times 10^{-3}$ a $2,5 \times 10^{-2}$
Fotómetro solar	Radiación solar directa en bandas espectrales estrechas (por ej. a $500 \pm 2,5$ nm, $368 \pm 2,5$ nm)	a) Patrón b) Red	$1 \times 10^{-3}$ a $1 \times 10^{-2}$ (aprox. $2,3^\circ$ de ángulo total)
Piranómetro	a) Radiación (solar) global b) Radiación (solar) celeste difusa c) Radiación (solar) reflejada	a) Patrón de trabajo b) Red	$2\pi$
Piranómetro espectral	Radiación (solar) global en intervalos espectrales de banda ancha (por ej. con filtros OG 530, RG 630, etc.)	Red	$2\pi$
Piranómetro diferencial	Radiación (solar) global neta	a) Patrón de trabajo b) Red	$4\pi$
Pirgeómetro	a) Radiación de onda larga ascendente (sensor hacia abajo) b) Radiación de onda larga descendente (sensor hacia arriba)	Red	$2\pi$
Pirradiómetro	Radiación total	Patrón de trabajo	$2\pi$
Pirradiómetro diferencial	Radiación total neta	Red	$4\pi$

La incertidumbre del valor medido depende, pues, de los factores siguientes, que deberían ser conocidos para un instrumento cuyas características técnicas estén bien establecidas:

- la resolución, es decir, la variación más pequeña de la magnitud de radiación que pueda detectar el instrumento;
- las desviaciones de la sensibilidad a lo largo del tiempo (el cociente entre la señal eléctrica de salida y la irradiancia aplicada);
- las variaciones de la sensibilidad debidas a alteraciones de variables medioambientales, como la temperatura, la humedad, la presión o el viento;
- la falta de linealidad de la respuesta, es decir, las variaciones de la sensibilidad relacionadas con las variaciones de la irradiancia;

- e) la desviación de la respuesta espectral respecto del valor supuesto, por ejemplo el ennegrecimiento de la superficie receptora, el efecto de la ventana de apertura, etc.;
- f) la desviación de la respuesta direccional respecto a un valor esperado, es decir, respuesta cosenoidal y respuesta acimutal;
- g) la constante de tiempo del instrumento o del sistema de medición;
- h) las incertidumbres del equipo auxiliar.

Los instrumentos deben seleccionarse de acuerdo con su uso final y la incertidumbre requerida de la cantidad derivada. Ciertos instrumentos funcionan mejor para climas particulares, irradiancias y posiciones solares. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

## 2.8. EVAPORACION

Las estimaciones de la evaporación a partir de superficies de agua libre y del suelo, así como la evapotranspiración a partir de superficies cubiertas por vegetación, desempeñan un papel de gran importancia en la modelización hidrológica y en los estudios hidrometeorológicos y agrícolas, por ejemplo, en lo que respecta al diseño y a la explotación de los embalses y de las redes de riego y de drenaje.

Los factores que influyen en la tasa de evaporación de cualquier cuerpo o superficie se pueden dividir de manera general en dos grupos, a saber, los factores meteorológicos y los factores propios de la superficie; cualquiera de ellos puede limitar el valor de la tasa. A su vez, los factores meteorológicos se pueden subdividir en variables energéticas y aerodinámicas. La evaporación del agua líquida exige una energía que existe abundantemente en la naturaleza en forma de radiación solar y terrestre. Las variables aerodinámicas, como la velocidad del viento a nivel de la superficie y la diferencia de la presión de vapor entre la superficie y la atmósfera que se halla en contacto con ella, rigen la tasa de transferencia del vapor de agua evaporada.

Actualmente, es imposible medir directamente la evaporación o la evapotranspiración proveniente de amplias extensiones naturales de agua o de tierra firme. Sin embargo, se han elaborado diversos métodos indirectos, basados en mediciones puntuales u otros cálculos que dan resultados aceptables.

Los evaporímetros, entre los que se distinguen los **atmómetros** y las **cubetas o los tanques de evaporación**, sirven para medir la pérdida de agua en una superficie saturada estándar. Estos instrumentos no permiten medir directamente ni la evaporación de superficies naturales de agua, ni la evapotranspiración real o potencial. Por consiguiente, los valores obtenidos deberán corregirse para obtener estimaciones fiables de la evaporación de los lagos y de la evapotranspiración real y potencial de superficies naturales.

Un atmómetro es un instrumento que mide la pérdida de agua de una superficie porosa mojada. Las superficies mojadas están constituidas o bien por esferas, cilindros o

láminas de cerámica porosa, o bien por discos de papel de filtro, todos saturados de agua. Existen distintos atmómetros como el de Livingstone, el de Bellani, el de Piche, entre otros.

Las cubetas y los tanques de evaporación existen en una gran variedad de formas, dimensiones y modos de exposición. Entre los diversos tipos de cubetas y de tanques disponibles, se encuentra la cubeta estadounidense de clase A, la cubeta rusa GGI-3000 y el tanque ruso de 20 m<sup>2</sup>. Estos instrumentos se utilizan hoy en día ampliamente como evaporímetros estándar en las redes de observación, y se han estudiado sus características de funcionamiento en diversas condiciones climáticas y en distintas latitudes y altitudes. Los datos de la cubeta que permiten obtener estos instrumentos están en relación estable, aunque compleja y dependiente de la zona climática, con los elementos meteorológicos que rigen la evaporación, en la medida en que se apliquen detenidamente las instrucciones relativas a su instalación y exposición. *Se ha recomendado adoptar el tanque ruso de 20 m<sup>2</sup> como evaporímetro de referencia internacional.*

El tanque ruso de 20 m<sup>2</sup> es de forma cilíndrica y con fondo plano, este tanque tiene una superficie de 20 m<sup>2</sup>, un diámetro de aproximadamente 5 m y una profundidad de 2 m. Construido en láminas de hierro soldadas de 4 a 5 mm de espesor, se entierra dejando que el borde sobrepase 7,5 cm de la superficie del suelo. El interior del tanque y sus superficies externas expuestas al aire están pintados de blanco. El tanque está dotado de un depósito de llenado y de un tubo de estabilización en el que se ha instalado un índice tabular sobre el que se coloca la probeta volumétrica para medir el nivel de agua que contiene el tanque. Dentro del tubo de estabilización, al lado del tubo índice, hay una pequeña varilla que termina en una punta afinada que indica la altura a la que se debe ajustar el nivel del agua. Dicho nivel no debería descender a más de 5 mm por debajo de la punta de la aguja ni elevarse a más de 10 mm. Un tubo lateral de vidrio graduado, fijado al tanque de llenado, indica la cantidad de agua añadida al tanque y da una verificación aproximada de la medición que facilita la probeta.

Las cubetas y los tanques de evaporación generalmente están expuestos de tres formas diferentes:

- a) enterrados en el suelo; la mayor parte del tanque está entonces por debajo del nivel del suelo, pero la superficie evaporante está al mismo nivel, o aproximadamente, que la superficie circundante;
- b) por encima del suelo; la cubeta entera y la superficie evaporante están entonces ligeramente por encima del suelo;
- c) instalados en plataformas fijas flotantes en lagos o en otras masas de agua.

Las estaciones de medición de la evaporación deben situarse en un emplazamiento relativamente plano y libre de obstáculos (árboles, edificios, arbustos, refugios para instrumentos, etc.). Cuando estos obstáculos sean pequeños, tendrían que estar alejados a una distancia que sea al menos igual a cinco veces su altura, y a diez veces su altura si se trata de un grupo de obstáculos. El terreno debería ser lo suficientemente

amplio para que las medidas no estén perturbadas por posibles rocciones o por los efectos del borde de una zona cultivada o de otro tipo de terreno. Estos efectos pueden abarcar más de 100 m. El terreno debería estar vallado para proteger los instrumentos e impedir que los animales vayan a beber de la cubeta. Sin embargo, sería preciso que la valla estuviera construida de tal forma que no afecte el régimen de viento sobre la cubeta.

Es importante que la capa del terreno que se ha elegido como emplazamiento de la estación de evaporación se mantenga en un estado lo más cercano posible a su estado natural con respecto a la zona circundante. La hierba, la maleza, etc. deberían cortarse a menudo para que no sobrepasen el borde de las cubetas enterradas (es decir, 7,5 cm). Este límite de 7,5 cm para la altura de la hierba se aplica también a las cubetas de clase A. En ningún caso habría que instalar este tipo de evaporímetro sobre un zócalo de hormigón, sobre asfalto o sobre una capa de grava, ni tampoco debería instalarse a la sombra. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

## 2.9. ESTACIONES METEOROLOGICAS AUTOMATICAS

Una estación meteorológica automática (EMA) se define como una “estación meteorológica en la que se realizan y se transmiten observaciones automáticamente” (Figura 10; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Se utilizan para aumentar el número y la fiabilidad de las observaciones en superficie, y lo consiguen:

- a) aumentando la densidad de una red existente proporcionando datos desde nuevos emplazamientos, así como desde otros de difícil acceso o inhóspitos;
- b) proporcionando datos, fuera de las horas normales de funcionamiento, para las estaciones atendidas por personal;
- c) aumentando la fiabilidad de las mediciones mediante el uso de sofisticadas tecnologías y modernas técnicas de medición digitales;
- d) asegurando la homogeneidad de las redes a través de la normalización de las técnicas de medición;
- e) respondiendo a nuevas necesidades y requisitos de observación;
- f) reduciendo los errores humanos;
- g) disminuyendo los costos de explotación gracias a la reducción del número de observadores;
- h) realizando mediciones y presentando informes con mucha frecuencia o de forma constante. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.



Figura 10: Estación meteorológica automática

Una EMA puede consistir en un sistema automatizado de observación meteorológica (y sistema de adquisición de datos) integrado o en un conjunto de dispositivos de medición autónomos conectados a una unidad de recopilación y transmisión de datos. Normalmente, la distribución de una EMA consiste en lo siguiente:

- a) En una zona de observación típica, preferentemente que no sea inferior a 25 m x 25, una serie de sensores automáticos situados en las posiciones recomendadas e interconectados a una o más unidades de recopilación de datos mediante interfaces, o en el caso de un sistema automatizado de observación meteorológica, un conjunto de sensores instalados en estrecha combinación pero sin afectarse mutuamente, directamente conectados a una unidad central de procesamiento mediante cables blindados, de fibra óptica o por radioenlace;
- b) Una unidad central de procesamiento para la adquisición de datos de sensores y su conversión en formato legible por computadora; un procesamiento adecuado de los datos mediante un sistema basado en microprocesador con arreglo a algoritmos especificados; el almacenamiento temporal de datos procesados y su transmisión a usuarios de información meteorológica remotos;
- c) Equipo periférico que incluya el suministro de energía estabilizado a las distintas partes de la estación; un reloj en tiempo real, y un equipo de prueba incorporado para la verificación automática del estado de las partes esenciales de la estación; en el caso de terminales locales de aplicaciones específicas para la introducción y edición manual de datos, se agregan a la estación dispositivos de visualización

e impresoras o registradores. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

A continuación, se muestra un croquis de una estación meteorológica automática tipo:

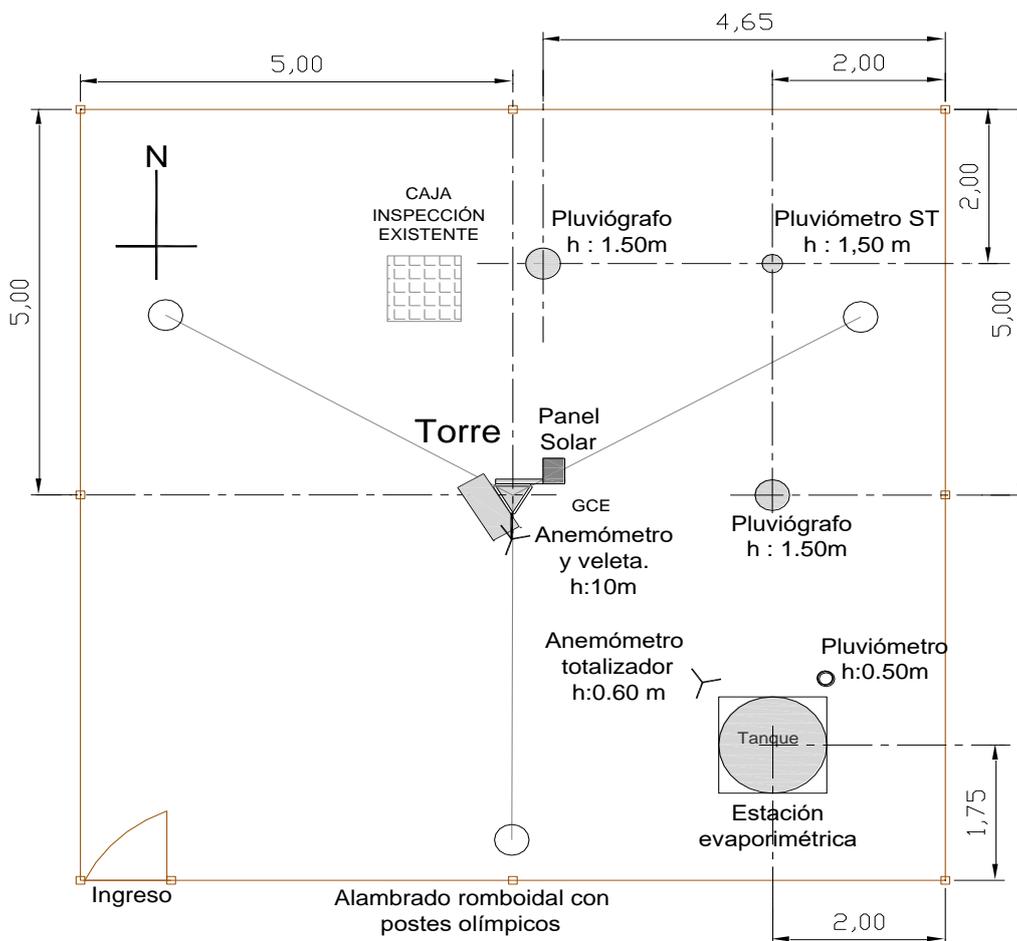


Figura 11: Croquis de una estación meteorológica automática tipo.

### 2.9.1. Sensores

Presión atmosférica: existe una amplia variedad de dispositivos, basados sobre todo en el uso de una cápsula aneroide, un hilo vibratorio o un cristal de cuarzo, que proporcionan una señal de salida en forma eléctrica, ya sea analógica o digital. Los principales problemas que debe estudiar cuidadosamente quien proyecte o especifique una EMA son los efectos adversos de la temperatura, las desviaciones a largo plazo, las vibraciones y la exposición del instrumento. Los efectos de la temperatura son grandes y no siempre se eliminan totalmente mediante circuitos incorporados para la compensación de la temperatura. Los sensores de presión de una EMA tienen una

desviación intrínseca a largo plazo en cuanto a incertidumbre, normalmente de menos de 0,2 a 0,3 hPa cada 6 meses, por lo que hay que calibrarlos regularmente. Los efectos de las vibraciones y de las sacudidas mecánicas sobre la salida de los sensores de presión son importantes, particularmente cuando se trata de aplicaciones marítimas de las EMA. Debido a la vulnerabilidad de los sensores de presión más difundidos a los efectos de la exposición externa, normalmente se alberga el instrumento de presión en una pequeña caja sellada y termoestabilizada dentro del recinto del equipo de la unidad central de procesamiento. En algunos países, el sensor se ventila hacia el exterior de la caja a través de un tubo provisto de una cabeza de presión estática. Para aplicaciones aeronáuticas o en estaciones remotas, en las que se requiere un elevado grado de exactitud y fiabilidad, se dota a la estación de dos o más sensores de presión.

Temperatura: los tipos más comunes de termómetros que se utilizan en una EMA son los termómetros de resistencia metálica o termistores. El termómetro de resistencia de platino (100  $\Omega$  a 0 °C) presenta muy buena estabilidad a largo plazo, y puede considerarse el tipo de sensor preferido.

Normalmente, los termómetros eléctricos tienen una constante de tiempo muy pequeña, y cuando son muestreados mediante circuitos electrónicos rápidos los datos resultantes reflejan las fluctuaciones de alta frecuencia y baja amplitud de la temperatura local. Para evitar ese problema se pueden utilizar sensores con una constante de tiempo más elevada, o amortiguar artificialmente la respuesta con un circuito apropiado para aumentar la constante de tiempo de la señal de salida, o bien se pueden promediar digitalmente las salidas muestreadas en la unidad central de procesamiento. Los termómetros de resistencia requieren linealización. Esto puede llevarse a cabo mediante circuitos apropiados en los módulos de acondicionamiento de la señal, pero también mediante algoritmos de programación. Se recomienda encarecidamente linealizar las características del termistor. Es importante garantizar una protección adecuada del sensor a los efectos de la radiación. En las EMA, los blindajes contra la radiación ajustados al tamaño del sensor se utilizan mucho, en sustitución de la garita Stevenson común, de ventilación natural. Sin embargo, para realizar mediciones precisas, los blindajes contra la radiación deberían ventilarse artificialmente, con una velocidad del aire de unos 3 m s<sup>-1</sup>, pero habría que tomar precauciones para impedir la entrada de aerosoles y llovizna a fin de evitar el efecto de bulbo húmedo.

Humedad: Si bien en las EMA se utilizan generalmente sensores de resistencia y capacidad relativamente económicos para efectuar mediciones directas de humedad relativa, el rendimiento de los mismos puede disminuir en presencia de contaminantes, por lo que requieren filtros de protección especiales. Las intercomparaciones revelan que es preciso realizar correcciones adicionales para mediciones por debajo de 0 °C, incluso si los sensores están provistos de circuitos de compensación de temperatura, y que pueden producirse problemas de histéresis cuando están expuestos a condiciones de saturación.

En las EMA se utilizan también como medidores de punto de rocío sensores de cloruro de litio saturado y sensores de espejo enfriado. El principal inconveniente del sensor de cloruro de litio es su sensibilidad a los fallos de energía, ya que requiere intervenciones sobre el terreno tras un corte de energía. El medidor óptico de punto de rocío se considera la técnica más prometedora, pero habrá que continuar investigando para desarrollar un buen dispositivo de limpieza automática del espejo. Los problemas relacionados con la pequeña constante de tiempo de muchos sensores de humedad son incluso más graves que los que plantean los sensores de temperatura. Al igual que para las mediciones de temperatura, todos los tipos de sensores han de instalarse en blindajes adecuados contra las radiaciones. Debería darse preferencia a los blindajes contra las radiaciones aspirados o bien ventilados. Los blindajes pueden ser de una construcción similar a los utilizados para las mediciones de la temperatura. Pueden producirse grandes errores relacionados con problemas de aspiración y de limpieza.

Viento: la utilización de anemómetros tradicionales de cazoletas o de hélice con salida por pulsos o frecuencia está muy generalizada, y no presentan problemas técnicos particulares aparte de los relacionados con la congelación en condiciones meteorológicas rigurosas. Esa complicación puede superarse calentando el sensor en condiciones atmosféricas no muy rigurosas, pero a expensas de un considerable aumento del consumo de energía. Se recomienda que en los nuevos anemómetros de cazoletas o de hélice la constante de la distancia sea menor de 5 m, y que en los nuevos sistemas digitales la frecuencia de muestreo sea compatible con el filtrado aplicado. En los dispositivos de cómputo esto supone que el número de pulsos en un intervalo de cómputo se considera como una muestra. La utilización de instrumentos analógicos tradicionales provistos de un potenciómetro para medir la dirección del viento está también muy generalizada en las EMA. Cada vez se utilizan más sistemas a base de veletas con codificadores angulares digitales, en una u otra forma de código Gray. Se recomienda utilizar veletas con una longitud de onda natural no amortiguada menor de 10 m y con un coeficiente de amortiguamiento comprendido entre 0,3 y 0,7. Para veletas con codificadores digitales se requiere una resolución mínima de 7 bits. La CIMO recomienda asimismo que en los nuevos sistemas debería ser posible informar de variaciones típicas de la velocidad y de la dirección del viento con una resolución de 0,1 m s<sup>-1</sup> y 10°, respectivamente. Un sistema de viento con una salida digital serie y uno o más visualizadores digitales que proporcionen una presentación directa de las variables operativas (viento máximo, promedios del viento para períodos superiores a 2 y 10 minutos, dirección y ráfagas de viento) es un ejemplo típico de sensor inteligente.

Precipitación: el equipo más común para medir la lluvia en una EMA es el pluviómetro de cubeta basculante o de balancín. Los pluviómetros se ensucian rápidamente con desperdicios como hojas, arena o excrementos de pájaros, por lo que hay que usarlos con mucha más cautela en las EMA desatendidas por largos períodos de tiempo. Para las mediciones de lluvia y nieve por debajo de 0 °C, se requiere un calentamiento adecuado en diferentes partes del pluviómetro, lo que puede dar lugar a graves problemas de energía eléctrica, en particular en el caso de las EMA que funcionan con

baterías. Habría que tener cuidado, pues los pluviómetros calentados introducen errores debido a las pérdidas por evaporación. Se considera excelente una incertidumbre en la observación del 5 al 10%. Puede conseguirse un mejor porcentaje rodeando el pluviómetro con un paraviento adecuado (por ejemplo, protección de Nipher).

Radiación: la mayoría de los sensores utilizados para estas mediciones en estaciones tradicionales pueden conectarse, en principio, a un sistema automático. El principal problema técnico es que esos sensores son generalmente de tipo analógico y dan como señal de salida tensiones muy pequeñas que varían continuamente. Esas tensiones son muy sensibles a las interferencias electromagnéticas en los cables conductores de la señal, por lo que deben efectuarse mediciones adecuadas. El problema de la suciedad por contaminación en el orificio de entrada es aún más serio en el caso de mediciones de la radiación (que son mediciones absolutas), que en el caso de la duración efectiva de la insolación. Se considera que los depósitos de polvo en la caperuza del piranómetro producen una pérdida de incertidumbre del 2% (excluidos los días de helada y rocío). Por lo tanto, es difícil prever la utilización eficaz de instrumentos de radiación en lugares no atendidos durante varios días. Una incertidumbre de observación alcanzable (media diaria) es del orden del 5%. Organización Meteorológica Mundial (2014), *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

### **2.9.2 Telemetría**

La telemetría es una técnica que permite recopilar datos a distancia para poder monitorear un fenómeno de interés. El sistema de telemetría funciona por medio de un transductor como dispositivo de entrada, un medio de transmisor en forma de líneas de cable u ondas de radio, procesamiento de señales, dispositivo de grabación o visualización de datos. El transductor tiene como principal función convertir la magnitud física como: la temperatura, presión, vibraciones, voltaje, en una señal eléctrica, que es transmitida a distancia a efecto de ser registrada y medida.

En la actualidad se está tendiendo a implementar esta tecnología que prescinde de personal de observación por lo tanto se puede obtener información de magnitudes físicas en lugares donde el acceso es difícil o remoto.

## **3. ESTACIONES HIDROMETRICAS**

Comenzaremos definiendo la Hidrometría. Como indica su nombre –del griego hydros, agua, y metron, medida-, la Hidrometría la ciencia que se ocupa de la medición del agua. Puesto de esta manera, toda observación de alguna característica o condición del agua, expresada numéricamente, es objeto de análisis de esta área. Se podría decir, entonces, que la Hidrometría es la rama de la Hidrología referida a toma de datos. Gabriel Caamaño Nelli (1996), *Introducción a la Hidrometría*.

En la práctica, sin embargo, no todas las mediciones hidrológicas se estudian como parte de la Hidrometría. Muchas se incluyen en las disciplinas que las utilizan directamente, por ejemplo, la Oceanografía, la Glaciología o la Hidrogeología. Un caso parecido, aunque menos definido, es el de los registros necesarios en Hidrometeorología, tales como los de lluvia y evaporación. Gabriel Caamaño Nelli (1996), *Introducción a la Hidrometría*.

En una estación hidrométrica se deberían observar uno o más de los elementos que se citan a continuación:

- a) nivel de los ríos, lagos y embalses;
- b) flujo de las corrientes;
- c) transporte o depósito de sedimentos, o ambos;
- d) temperatura y otras propiedades físicas del agua de un río, lago o embalse;
- e) características y extensión de la capa de hielo de los ríos, lagos y embalses;
- f) propiedades químicas del agua de un río, lago o embalse. Organización Meteorológica Mundial (2006), *Reglamento técnico, volumen III, Hidrología*.

El nivel de agua de ríos, lagos y embalses se usa directamente para la predicción de crecidas, para la delimitación de zonas con riesgo de inundación y para el diseño de estructuras en cursos o masas de agua o cerca de ellas. Cuando se relaciona con los caudales de las corrientes o con el volumen de almacenamiento de embalses y lagos, el nivel de agua se utiliza como base para determinar el caudal o el volumen de agua almacenada.

El sitio seleccionado para la observación del nivel de agua deberá responder a la finalidad de las observaciones y a la accesibilidad del sitio. Las condiciones hidráulicas son un factor importante en la selección de sitios en corrientes, particularmente en lugares donde se utiliza el nivel de agua para calcular registros de caudal. En lagos y embalses, los dispositivos están casi siempre ubicados cerca de una salida, pero lo suficientemente aguas arriba de la zona para evitar la influencia del descenso del nivel debido al aumento de la velocidad.

La forma de medir el nivel del agua puede ser puntual, es decir, en un instante de tiempo determinado u temporal, esto es, medir su variación a lo largo del tiempo mediante dispositivos que grafican el nivel en función del tiempo. Dentro de los aparatos que miden el nivel de forma puntual podemos mencionar a las escalas hidrométricas, sensor de radar, ultrasonido, entre otras. Por otra parte, los que grafican el nivel en función del tiempo pueden ser, de sensor de presión, de boya y contra peso, etc. A continuación, se desarrollan los mismos.

### 3.1. ESCALA HIDROMETRICA

Se utilizan cuando la variación de los niveles no exija lecturas muy frecuentes. Son muy económicas y confiables por lo que se emplean para calibrar los equipos registradores.

Es una regla graduada que pueden ser de aluminio o de acero esmaltado fijada verticalmente sobre una estructura estable como una pila de un puente o una pared (Figura 12).



Figura 12: Escala hidrométrica

En ocasiones el medidor se colocada en una posición inclinada. Un observador es el encargado de tomar lectura del nivel sin ninguna manipulación previa e informarlo. La frecuencia de lectura depende de las fluctuaciones del nivel, de forma orientativa podemos decir que, para fluctuaciones pequeñas una lectura al día es suficiente y para grandes fluctuaciones serán necesarias tres o más lecturas al día. Si el rango de niveles del agua excede la capacidad de un solo medidor, pueden instalarse medidores adicionales, esto se conoce como escalas hidrométricas en serie.

El **cerro de escala** es arbitrario, pero debe cumplir con la condición de que este por debajo del mínimo valor previsible de los niveles para evitar valores negativos, lo que complicaría el procesamiento de los datos. Las escalas deben estar vinculadas al menos en un **punto fijo** ubicado en zona estable fuera del valle de inundación. Este será utilizado en los controles periódicos de las escalas que por lo general se efectúan después de crecidas importantes. Como **plano de comparación** puede utilizarse un

plano arbitrario cualquiera que se encuentre a un número entero de metros por debajo del **nivel de referencia**, pero se aconseja utilizar el cero de la escala. El nivel de referencia se materializa en el terreno mediante marcaciones en roca, puentes, o bien en pilares construidos ex-profeso. Héctor Picatto (1996), *Limnimetría*.

### **3.1.1 Escala de máxima**

Es un instrumento que para indicar en sitios inaccesibles o de difícil acceso el estado de máxima altura de nivel de agua.

Este indicador es usado en áreas de crecidas de ríos y regiones costeras. Dentro de un tubo de plexiglass, se coloca un tubo de plástico y fibra de vidrio, en tramos de 1m dividido en cm. Una cinta coloreada autoadhesiva se fija en la escala. El agua al entrar al cilindro lava la cinta coloreada hasta la altura que alcanzo. Los distintos colores permiten así leer el máximo nivel alzando. El remplazo de la cinta adhesiva coloreada puede reponerse fácilmente para una próxima lectura máxima. Héctor Picatto (1996), *Limnimetría*.

### **3.1.2 Escala de mínima**

La escala está montada en un soporte dentado. Concéntrico al mismo posee un flotador en forma de anillo, con tres flejes que permiten el descenso del flotador cuando el nivel de las aguas baja pero que se traba cuando este sube. El observado determina la profundidad a la que se encuentra mediante un cable graduado o barra de sondeo los que además permiten el destrabe de los flejes con lo que el flotador llega a la superficie. El nivel mínimo alcanzado por las aguas será igual a la lectura de escala en el momento de la medición menos la profundidad a la que se encontraba el flotador trabado. Héctor Picatto (1996), *Limnimetría*.

## **3.2. SENSOR DE PRESION**

Los Limnímetros a presión poseen una precisión similar a la de los de boya, pero tienen la ventaja de que no requieren cámara de quietamiento y que pueden instalarse a distancias considerables del cauce. Hablamos de los linógrafos a burbuja. Este equipo registra las presiones a que se encuentra un punto fijo del lecho del río. Como están en función de la altura de agua que se encuentra por encima es posible medir as variaciones de nivel. Funciona de la siguiente manera: un pequeño caudal de aire o de gas se inyecta en una tubería unida a una toma de presión P en esta tubería equilibra en cada momento la carga H de la columna de agua.

En el caso del limnógrafo la presión esta medida por un manómetro de mercurio, de una rama vertical. Un flotador sigue los desplazamientos de la superficie del mercurio y comunica a la pluma del registrador un desplazamiento proporcional a H. Héctor Picatto (1996), *Limnimetría*.

### 3.3. BOYA Y FLOTADOR

La variación del nivel de las aguas es seguida por un flotador que acciona a un contador de vueltas, mediante cable y contrapeso. Es necesario que la boya este en zona quieta, por lo que se coloca dentro de un tubo que cumple la función de cámara aquietadora. Héctor Picatto (1996) *Limnimetría*.

Los registradores de flotador miden la distancia vertical entre un punto de referencia y la superficie del río, lago o laguna en un instante con una precisión aproximada de 1 cm. Este dispositivo, consta de un flotador que descansa sobre la superficie del agua y se sitúa dentro de un pozo vertical lo suficientemente largo para cubrir el rango de niveles de la zona. Su parte inferior está agujereada permitiendo que el agua entre y salga y limitando los efectos de la turbulencia (Figura 13).

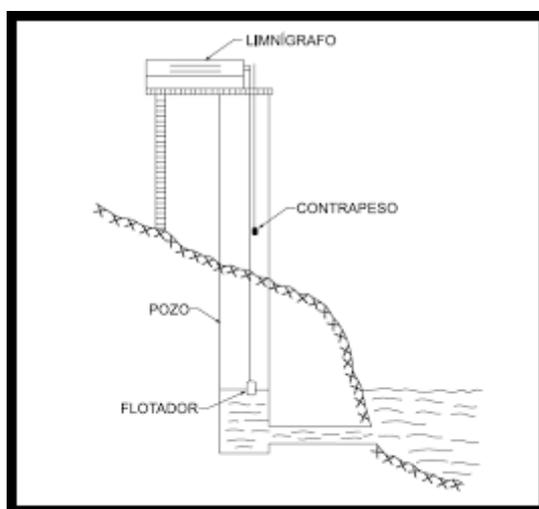


Figura 13: Limnimetría de flotador

El llenado del pozo hasta el nivel del río hace que el flotador suba. El flotador está conectado mediante un cable y un sistema de poleas a un aparato de registro mediante el que referencia los datos temporalmente. Las lecturas del dispositivo se refieren a un plano de lectura cero, este plano se denomina nivel cero.

A su vez el nivel cero está referenciado a una cota, que es un punto claramente marcado y localizado en una superficie estable. Normalmente se utilizan tres cotas para evaluar la estabilidad de la superficie así, si las tres cotas mantienen la estabilidad entre ellas se considera que el terreno es estable.

En los registros del dispositivo se pueden presentar variaciones aleatorias que influyen en la precisión de las mediciones. Así, el estiramiento del alambre que sujeta el flotador, el desgaste de los piñones o el deterioro del flotador son algunos de los factores que provocan errores en la medida, siendo difícilmente cuantificables, aunque se pueden minimizar con un adecuado mantenimiento.

### **3.4. SENSOR DE ULTRASONIDO**

Se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del pelo de agua. Los sensores trabajan a una frecuencia de unos 20 KHz. Estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión el medio ambiente de gases o vapores y se reflejan en la superficie del líquido. La precisión de estos instrumentos es de  $\pm 1$  a 3 %. Presentan el inconveniente de ser sensibles a la densidad de los fluidos y de dar señales erróneas cuando la superficie del nivel del líquido no es nítida como es el caso de un líquido que forme espuma, ya que se producen falsos ecos de los ultrasonidos. La utilización de la computadora permite, a través de un programa, almacenar el perfil ultrasónico del nivel, y así tener en cuenta las características particulares de la superficie del líquido, tal como la espuma, con lo cual se mejora la precisión de la medida.

### **3.5. SENSOR DE RADAR**

El principio de funcionamiento de los radares se basa en dos sencillos fenómenos físicos, el eco y el efecto Doppler. El primero, al igual que un sonido, cuando una onda electromagnética que se propaga por el aire choca contra un obstáculo, parte de su energía es absorbida y parte reflejada hacia el emisor. El retardo y las características de esta señal reflejada sirven al radar para determinar la posición, velocidad e incluso propiedades morfológicas del obstáculo encontrado. Por su parte el efecto Doppler consiste en la variación de frecuencia de una onda al ser emitida o recibida por un objeto en movimiento. Cuando el emisor de una onda electromagnética se acerca al receptor, la frecuencia de la onda recibida será mayor que la frecuencia emitida. Si por el contrario la fuente de ondas se aleja del receptor, la frecuencia recibida será proporcionalmente menor. Por delante del emisor los frentes de onda se aproximan, generando un aumento de frecuencia. Por detrás del emisor se produce el efecto contrario, los frentes de onda se separan y por tanto la frecuencia disminuye.

El principio electrónico de base para el funcionamiento del radar es muy similar al de la reflexión de ondas sonoras. Si se emite un sonido en la dirección de un objeto que refleje el sonido (como un cañón rocoso o una cueva) es posible escuchar el eco y, conociendo la velocidad del sonido en el aire y el tiempo de retardo, se pueden calcular la posición relativa y la distancia a la que se encuentra el objeto, con base en la relación entre espacio velocidad y tiempo.

El radar emplea pulsos de energía electromagnética en una forma similar. La energía de radiofrecuencia (RF) se transmite hacia y se refleja desde un objeto reflector. Una pequeña fracción de la energía reflejada, denominada ECO como en el caso de las ondas sonoras, retorna al equipo radar. Los equipos radar analizan el eco para determinar la dirección y distancia del objeto reflector.

La distancia se determina usando como referencias el tiempo en que la señal de alta frecuencia transmitida golpea el objetivo y la constante de propagación  $c_0$  (velocidad de

la luz). Una forma de medir la distancia entre el radar y un objeto es transmitir un pequeño pulso electromagnético y medir el tiempo que tarda el eco en volver. La distancia de un objetivo desde el radar se conoce como alcance inclinado (Slant Range). El alcance inclinado (slant range) es la distancia del radar hacia cada blanco medido perpendicular a la línea del vuelo.

Dado que las señales viajan al objetivo y regresan, el tiempo que se demoran en ir y regresar es dividido por dos para obtener el tiempo que la señal toma para llegar al objetivo. Por lo tanto, surge la siguiente fórmula para calcular el rango:

$$R = \frac{c_0 \cdot t}{2}$$

Así entonces, si el tiempo (t) es conocido, entonces la distancia (R) entre un objetivo y el radar puede ser calculado usando la ecuación arriba mencionada.

Se puede hacer una clasificación general de los radares en función de una serie de aspectos básicos (según el número de antenas, el blanco, forma de onda, fiabilidad, frecuencia de trabajo). Según el tipo de onda la clasificación es en Radar de pulsos y radar de onda continua. El radar de pulsos envía señales en ráfagas muy cortas (millonésimas de segundo) pero de una potencia muy elevada. Para poder determinar la distancia el radar de pulsos mide el tiempo que la señal tarda en alcanzar el objetivo y volver al receptor (tiempo de vuelo). A partir de este tiempo y la velocidad de propagación de una onda electromagnética se calcula la distancia. Los radares de onda continua, como su nombre indica, utilizan señales continuas en vez de ráfagas cortas. Se diferencian dos tipos, el radar Doppler y el radar FM.



Figura 14: Sensor de nivel tipo RADAR

El radar Doppler se utiliza para realizar medidas precisas de la velocidad de un objeto. Este tipo de radar transmite una onda continua de frecuencia fija. Cuando esta señal encuentra un objeto en movimiento la frecuencia de la onda reflejada cambia con respecto a la transmitida que se toma de referencia. Utilizando esta variación de frecuencia el radar determina la velocidad del objetivo. Los radares de tráfico de la policía y los utilizados en competiciones deportivas son algunos ejemplos de radares con esta tecnología. Los radares FM también emiten señales continuas, pero en este caso moduladas en frecuencia. A diferencia del radar doppler, estas variaciones en frecuencia de la señal transmitida permiten no sólo conocer la velocidad del objetivo sino también su posición.

### **3.6. LIMNÍMETRO VOLUMETRICO**

El equipo está compuesto por una regla graduada en cm. que se desliza por una guía, donde se encuentra el índice, solidaria al soporte. En el extremo de la regla se encuentra un vaso desmontable que en su base posee un robinete. Esta construido de tal manera que el fondo del vaso coincide con el cero de la regleta, o se encuentra en un numero entero de centímetros. Completa el equipo una probeta graduada convenientemente de menor diámetro que el vaso, con lo que se logra mayor apreciación. Héctor Picatto (1996), *Limnimetría*.

## **4. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS Y METEOROLÓGICAS INSTALADAS**

Durante el segundo semestre del año 2018 se realizaron tareas de taller, laboratorio y de campo. Las primeras consistieron en la confección de los elementos de sujeción y de protección de los distintos dispositivos, como así también el montaje de las partes. Las segundas consistieron en la calibración y puesta a punto de los dispositivos y sensores. Y, por último, las tareas de campo realizadas consistieron en la instalación, en los lugares previamente definidos, de las estaciones, tanto hidrométricas como meteorológicas. Estas últimas fueron montadas en el sitio de emplazamiento por sus dimensiones, en cambio las EH se trasladaron ya armadas.

Con el objetivo de determinar el ciclo hidrológico en las distintas cuencas, esto es, poder cuantificar del agua precipitada, cuanto escurrió, cuanto se infiltró y cuanto se evaporó, fue necesaria la instalación de estaciones meteorológicas e hidrométricas. Las primeras fueron ubicadas en cercanías a los espejos de agua de la cuenca a fin de determinar todas las variables meteorológicas de interés circundantes. Las segundas, fueron colocadas aguas abajo de los ríos tributarios en las proximidades de su unión con el cauce principal, para determinar los niveles de los mismos y con estos el caudal que aportan.

A continuación, se indica, de forma general, las ubicaciones de las distintas estaciones hidrométricas instaladas en los cauces de los ríos: Río los Reartes, Río del Medio, Río Santa Rosa, Río Quillinzo, Río la Cruz, Río Tercero, Río el Saladillo, Río las Tortugas, Río Carcaraña, Río de las Barrancas y Río Piedras Blancas. Además de la estación

meteorológica instalada en la localidad de los Reartes a pocos metros de la E.H. de dicha localidad.

1. Meteorológica:
  - a. Los Reartes.
2. Hidrométricas:
  - a. Tortugas.
  - b. Inrriville.
  - c. San Marcos Sur.
  - d. Mar Chiquita.
  - e. Rio del Medio.
  - f. Piedras Blancas.
  - g. Alpa Corral.
  - h. La Cruz.
  - i. Quillinzo.
  - j. Santa Rosa de Calamuchita.
  - k. Los Reartes.



Figura 15: Ubicación de las estaciones hidrométricas y meteorológicas instaladas.

#### 4.1. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

Se anexa la siguiente tabla en la que se muestra la estación, su ubicación, el sensor con el que esta equipad y las coordenadas de su ubicación.

Tabla II: Información de estaciones las estaciones hidrométricas instaladas

ESTACIONES HIDROMÉTRICAS	N°	ESTACIÓN	UBICACIÓN	SENSOR	COORDENADAS
	1	Tortugas	Tortugas	Radar	-32.776291, -61.797104
	2	Inriville	Inriville	Radar	-32.931120, -62.167862
	3	Cooperativa San Marcos Sur	San Marcos Sur	Radar	-32.672739, -62.495748
	4	Mar Chiquita	Miramar	Radar	-30.902742 -62.671348
	5	Rio del Medio	Rio del Medio	Radar	-31.880684, -64.568947
	6	Piedras Blancas	Piedras Blancas	Radar	-32.904503, -64.778496
	7	Alpa Corral	Alpha Corral	Radar	-32.689452, -64.720055
	8	La Cruz	La Cruz	Radar	-32.298869, -64.481141
	9	Quillinzo	Quillinzo	Radar	-32.276500, -64.526910
	10	Santa Rosa de Calamuchita	Santa Rosa de Calamuchita	Radar	-32.058454, -64.549058
	11	Los Reartes	Los Reartes	Radar	-31.925666, -64.577135

Además, se adjuntan las fotos de las estaciones hidrométricas instaladas.

**E.H. CRUZ ALTA**



Figura 16: E.H. Cruz Alta

**E.H. INRRIVILLE**



Figura 17: E.H. Inrriville

### E.H. SANTA ROSA DE CALAMUCHITA

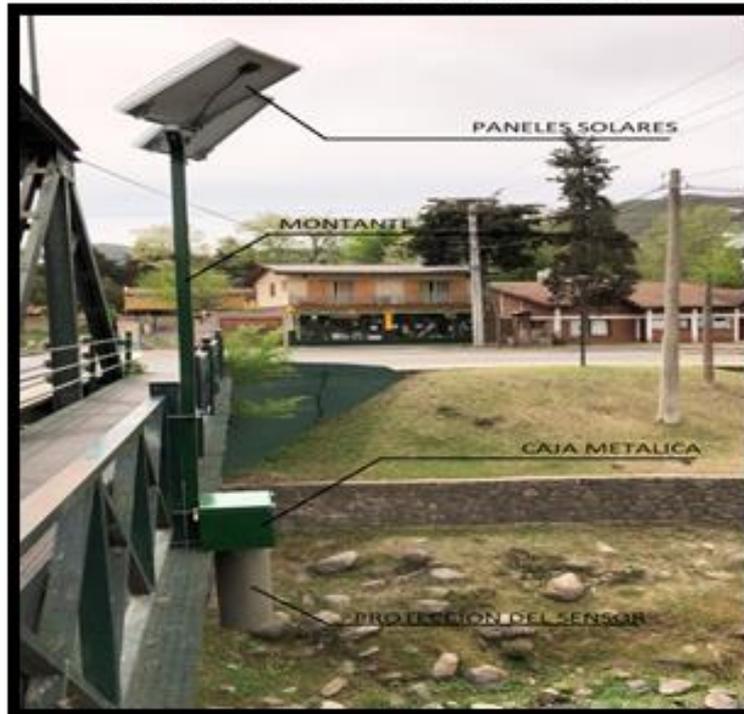


Figura 18: E.H. Santa Rosa de Calamuchita

### E.H. QUILLINZO



Figura 19: E.H. Quillinzo

**E.H. ALPA CORRAL**



Figura 20: E.H. Alpa Corral

**E.H. PIEDRAS BLANCAS**



Figura 21: E.H. Piedras Blancas

### E.H. TORTUGAS



Figura 22: E.H. Tortugas

### E.H. SAN MARCOS SUD



Figura 23: E.H. San Marcos Sud

**E.H. LA CRUZ**



**Figura 24: E.H. La Cruz**

**E.H. LOS REARTES**



**Figura 25: E.H. Los Reartes**

**E.H. MIRAMAR**



Figura 26: E.H. Miramar

**E.H. RÍO DEL MEDIO**



Figura 27: E.H. Río del Medio

#### **4.1.1. Ubicación**

La cuenca del Río Los Molinos está constituida por los ríos San Pedro, de los Espinillos, del Medio y de Los Reartes y sus respectivos afluentes. Para determinar el balance hídrico del Dique los Molinos se deben conocer los caudales que ingresan al mismo como así también las precipitaciones en la cuenca. Además, parámetros como la



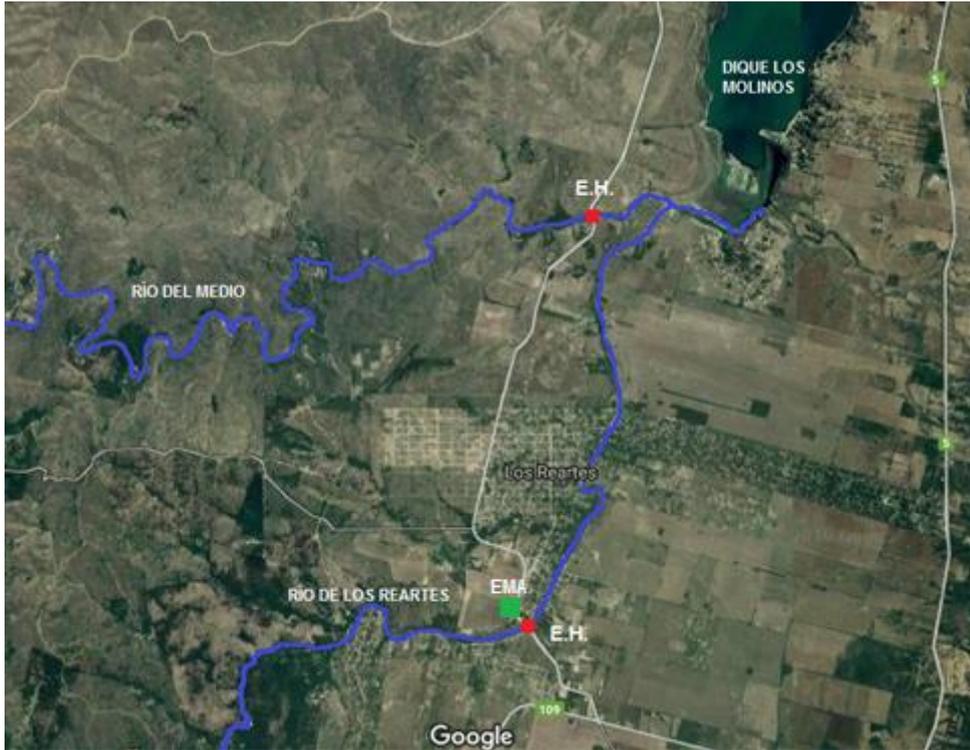


Figura 29: Ubicación de las EH de Los Reartes, Río del medio y EM Los Reartes

El Embalse de Río Tercero, está formado por los ríos Santa Rosa, La Cruz, Grande, Quillínz y el arroyo Amboy. Por el momento se encuentran instaladas estaciones hidrométricas en los cauces de los ríos Santa Rosa, Quillínz y La Cruz. A continuación, en las figuras 30 a 34, se detalla la ubicación de las mismas.

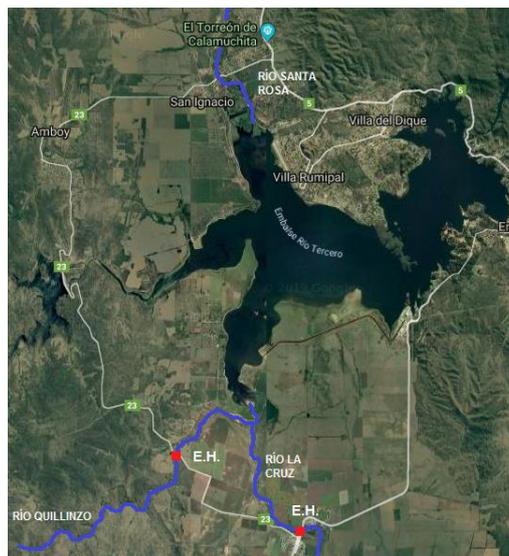


Figura 30: Ubicación de las EH de Quillínz y La Cruz

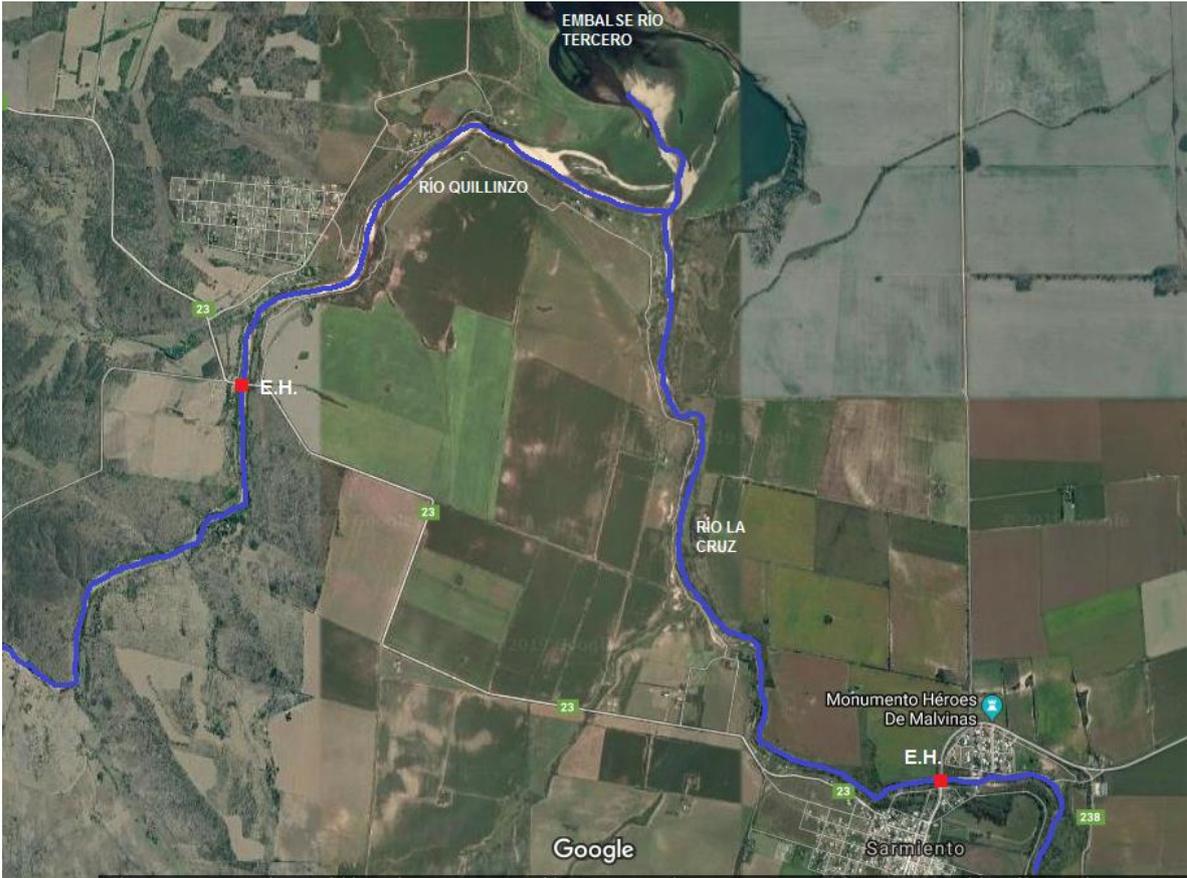


Figura 31: Ubicación de las EH de Quillín y La Cruz



Figura 32: Ubicación de la EH de Santa Rosa de Calamuchita

Al oeste de la provincia de Córdoba nace el Río Cuarto por la confluencia del Río las Tapias y el Río Piedras Blancas, a su vez son tributarios a este los Ríos de las Barrancas y el Río San Bartolomé. Para determinar los caudales que aportan cada uno de estos ríos al cauce principal se dispuso, por el momento, de una estación hidrométrica en el cauce del Río de las Barrancas en la localidad de Alpa Corral y otra en el cauce del Río Piedras Blancas como se ven indicadas en la figura 33.

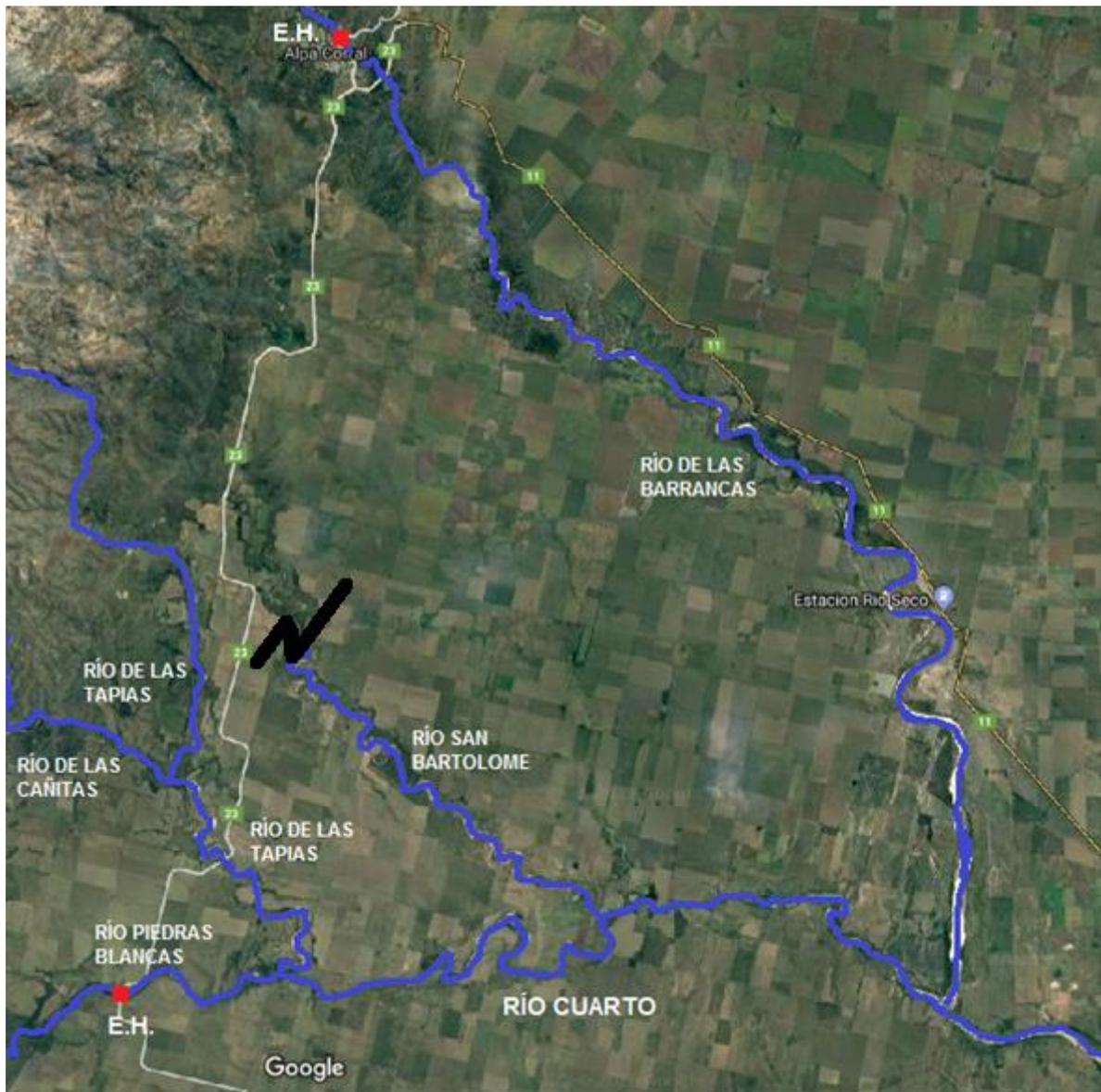


Figura 33: Ubicaciones de las EH de Piedras Blancas y Alpa Corral

Por último, al este de la provincia de Córdoba, el Río el Saladillo se une al Río Tercero para luego con el Río las Tortugas conformar el Río Carcaraña. Para determinar los caudales que aportan los ríos afluentes al Río Carcaraña se dispuso de E.H. en las proximidades sus uniones con éste.

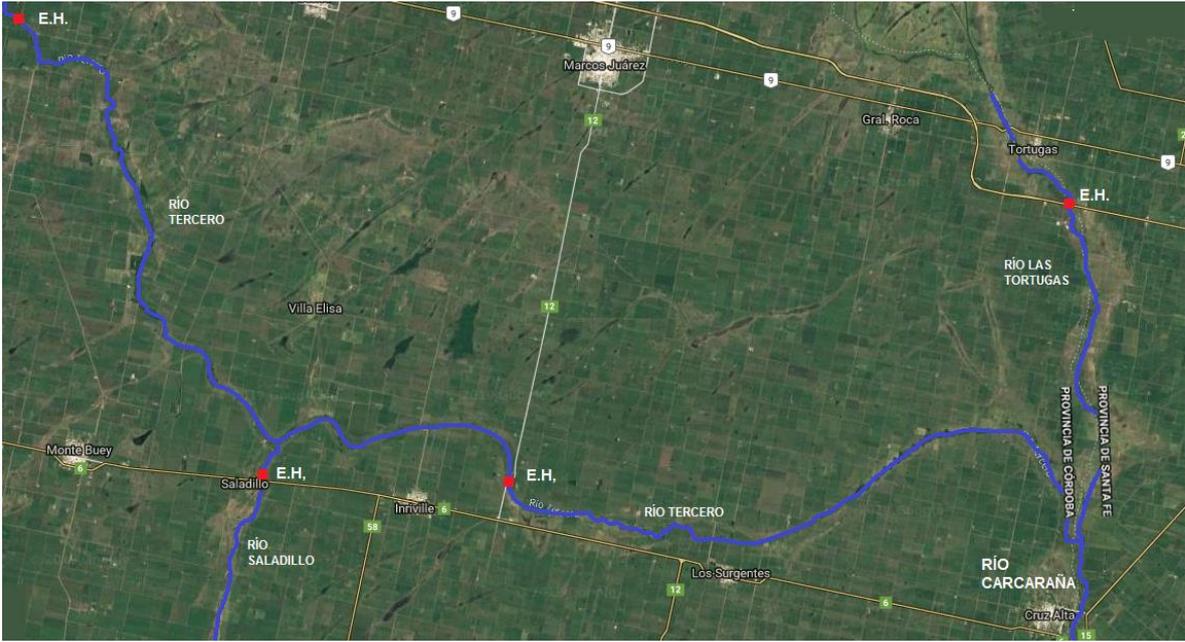


Figura 34: Ubicación de las EH de San Marcos Sud, Inrville y Las Tortugas

#### 4.1.2 Instrumental utilizado

Las estaciones limnimétricas tipo radar instaladas en San Marcos Sud, La Cruz, Los Reartes, Miramar y Rio del Medio cuentan con tecnología provista por la empresa OMIXOM con los siguientes instrumentos detallados en la tabla III:

Tabla III: Instrumental utilizado

INSTRUMENTAL UTILIZADO	
INSTRUMENTAL	Características
Sensor RKL-02 Radar transmisor de nivel de líquido	<p>Ángulo de haz pequeño, la concentración de energía, fuerte anti-interferencia, alta precisión y fiabilidad.</p> <p>Rango de hasta 70 metros, que cubre depósitos grandes y otras mediciones de nivel de agua.</p> <p>Buena estabilidad.</p> <p>La señal de salida múltiple es opcional.</p> <p>El poder transmitido es extremadamente bajo, no daña el cuerpo ni el ambiente humano.</p> <p>Fácil instalación.</p>
Tablero de Monitoreo de nivel hídrico	<p>Gabinete metálico IP67.</p> <p>Alimentación dual mediante panel solar o red eléctrica 220VAC.</p> <p>Batería de respaldo 12V.</p> <p>Circuito de carga de batería con protección contra sobrecarga y descarga profunda.</p> <p>Memoria interna para almacenamiento de datos con capacidad de hasta 14 días en caso de fallas en la transmisión de información.</p> <p>Reloj de tiempo real con batería de respaldo.</p> <p>4 entradas digitales protegidas contra sobretensiones y filtrado de ruido de alta frecuencia.</p> <p>4 entradas analógicas de 12 bits de resolución aptas para señales de tensión o corriente, protegidas contra sobretensiones y filtrado de ruido de alta frecuencia.</p> <p>Transmisión de datos a través del sistema de telefonía celular compatible con redes 2G y 3G.</p> <p>Antena Quad Band.</p> <p>Comunicación con PC por puerto USB para monitoreo, parametrización y descarga de datos.</p> <p>Monitoreo de datos y parametrización de equipo vía SMS.</p>

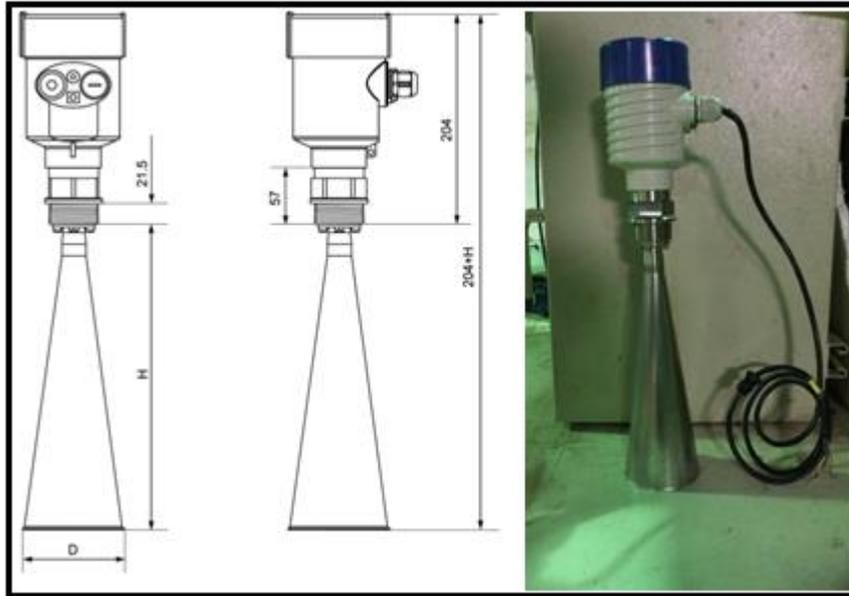


Figura 35: Sensor RKL-02 Radar

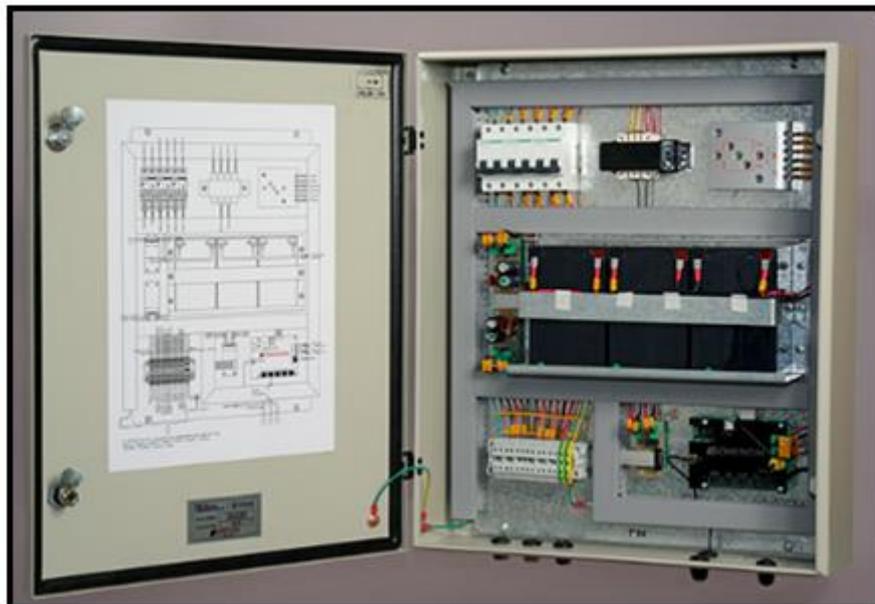


Figura 36: Tablero de monitoreo de nivel hídrico

Las estaciones limnimétricas tipo radar instaladas en Tortugas, Inrville, Piedras Blancas, Quillinzo, Alpa Corral y Santa Rosa de Calamuchita cuentan con sensores marca BERTSCHI, regulador de tensión SOLARTEC y contara con sistema de telemetría desarrollado por el Laboratorio de Hidráulica.

Tabla IV: Instrumental utilizado

INSTRUMENTAL UTILIZADO	
INSTRUMENTAL	Características
Sensor BERTSCHI RD92	Aplicación: Líquido. Rango de medición: 30 metros. Conexión de proceso: rosca, brida. Temperatura media: -40 °C ~ 150. Presión de proceso: -0.1 ~ 4.0 MPa. Precisión: ± 3mm. Grado de protección: IP67. Rango de frecuencia: 26GHz. Salida de señal: 4 ... 20mA / HART (dos cables / cuatro). RS485 / Modbus. Grado a prueba de explosiones: Exia II C T6 Ga.
Sistema de Telemetría	-
Regulador de tensión: SOLARTEC R5-5	-

El sistema de telemetría es un dispositivo que almacena los datos obtenidos por el sensor y cada un periodo de tiempo previamente definido los trasmite. Este sistema fue desarrollado por el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales perteneciente a la Universidad Nacional de Córdoba y actualmente se encuentra en proceso de actualización.

Con respecto al regulador de tensión, es un dispositivo que se utiliza para proteger a la propia batería mediante los cortes de baja y los cortes de alta. El primero se da en el circuito de alimentación desde la batería al Datalogger o al sensor y ocurre cuando la batería tiene poca carga, para no dañarse, se corta el suministro. El segundo, se da en el circuito que va desde el panel solar a la batería y en este caso el corte ocurre para no dañar la batería por un exceso de suministro de energía.

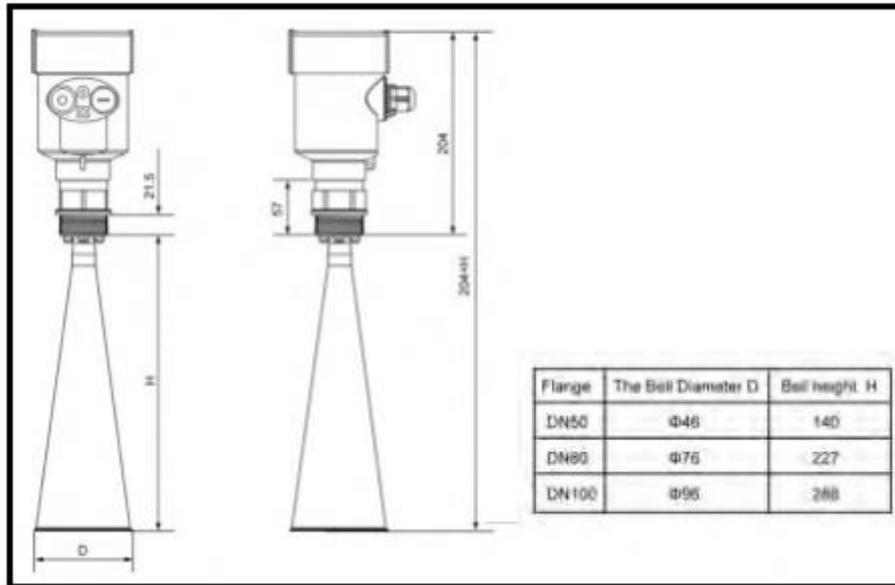


Figura 37: Sensor BERTSCHI RD92



Figura 38: Gabinete metálico



Figura 39: Datalogger



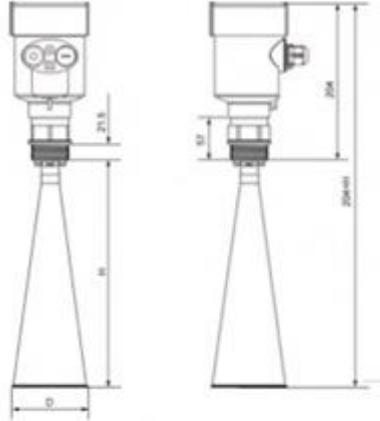
Figura 40: Regulador de tensión

#### **4.1.4. Campaña de instalación**

A continuación, se detalla el tipo de estación, fecha, ubicación, emplazamiento y datos de interés de las estaciones limnimétrica anteriormente mencionadas.

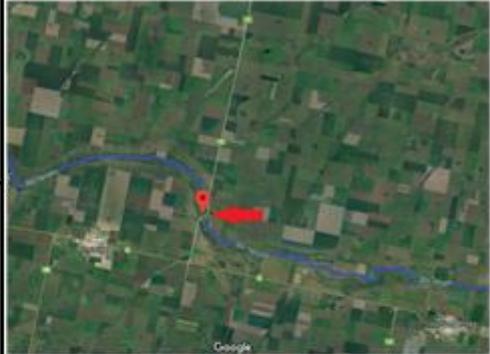
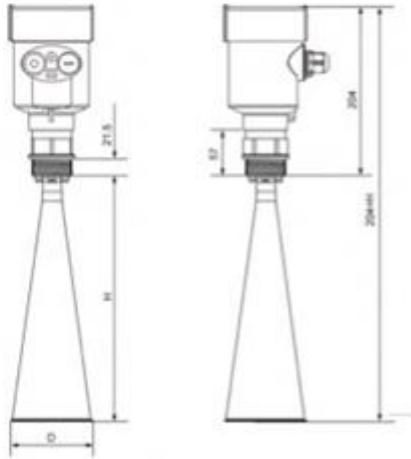
## Tortugas

Tabla V: Ficha estación de Las Tortugas

ESTACION HIDROMETRICA DE TORTUGAS	
<p><b>DATOS</b> Ubicación: Tortugas Coordenadas: -32.776291, -61.797104 Fecha: 19/09/2018</p>	
	
	

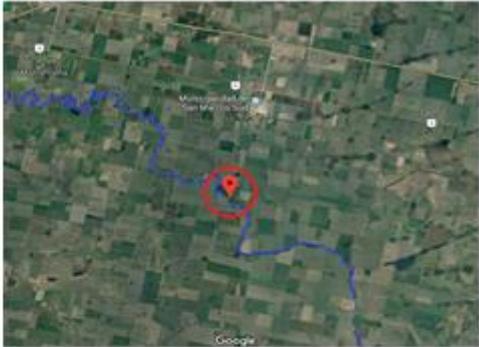
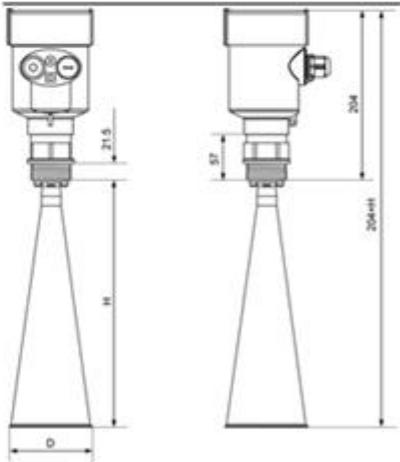
# Inrriville

Tabla VI: Ficha estación de Inrriville

ESTACION HIDROMETRICA DE INRRIVILLE	
<p><b>DATOS</b> Ubicación: Inrriville Coodenadas: -32.931120, -62.167862 Fecha: 19/09/2018</p>	
	
	

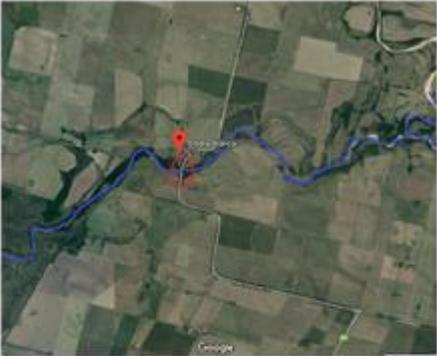
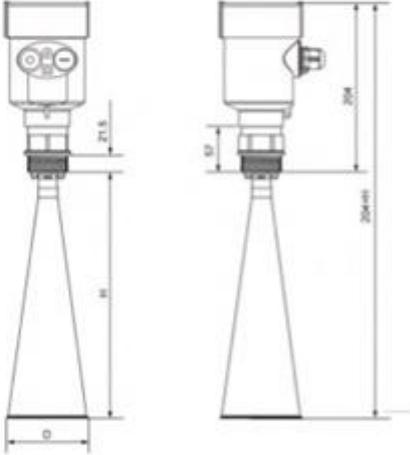
## San Marcos Sud

Tabla VII: Ficha estación de San Marcos Sud

ESTACION HIDROMETRICA DE SAN MARCOS SUD	
<p><b>DATOS</b> Ubicación: San Marcos Sud Coodenadas: -32.672739, -62.495748 Fecha: 19/09/2018</p>	
	

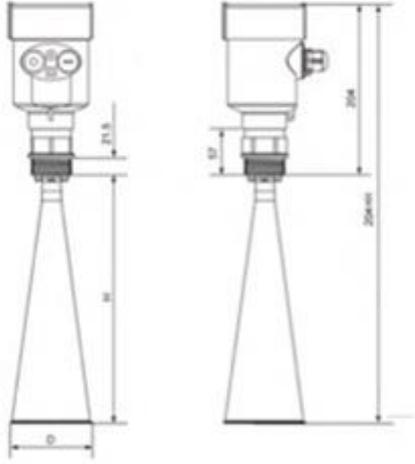
## Piedras Blancas

Tabla VIII: Ficha estación de Piedras Blancas

ESTACION HIDROMETRICA DE PIEDRAS BLANCAS	
<p><b>DATOS</b> Ubicación: Piedras Blancas Coodenadas: -32.904503, -64.778496 Fecha: 27/09/2018</p>	
	

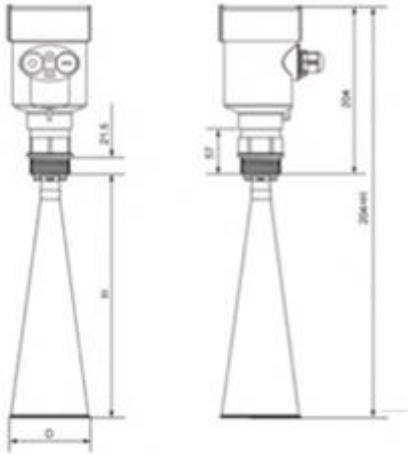
## Quillinzo

Tabla IX: Ficha estación de Quillinzo

ESTACION HIDROMETRICA DE QUILINZO	
<p><b>DATOS</b> Ubicación: Quillinzo Coodenadas: -32.276500, -64.526910 Fecha: 27/09/2018</p>	
 <p>PANEL SOLAR</p> <p>PROTECTOR DEL SENSOR</p>	

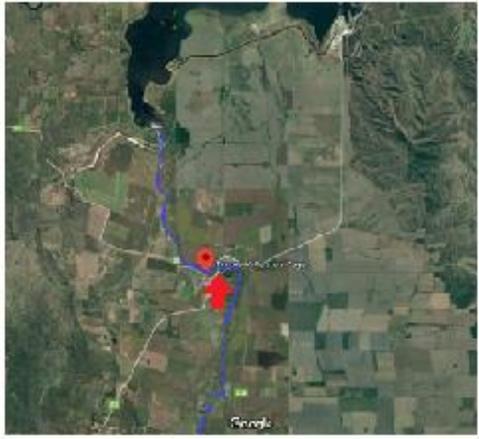
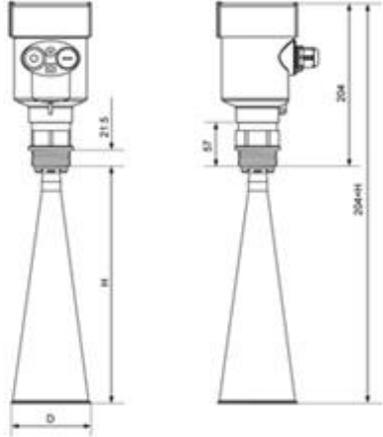
## Alpa Corral

Tabla X: Ficha estación de Alpa Corral

ESTACION HIDROMETRICA DE ALPA CORRAL	
<p><b>DATOS</b> Ubicación: Alpa Corral Coordenadas: -32.689452, -64.720055 Fecha: 27/09/2018</p>	
	

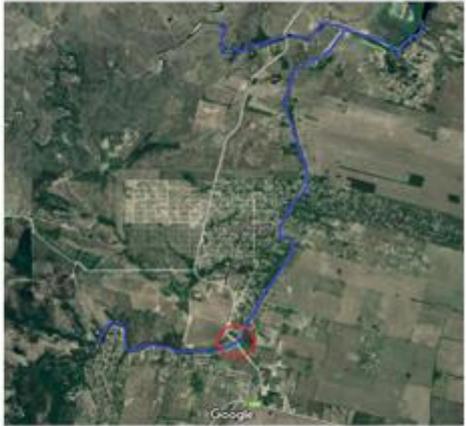
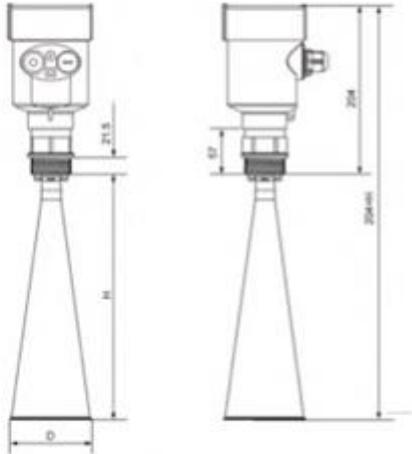
## La Cruz

Tabla XI: Ficha estación de La Cruz

ESTACION HIDROMETRICA DE LA CRUZ	
<p><b>DATOS</b> Ubicación: La Cruz Coodenadas: -32.298869, -64.481141 Fecha: 27/09/2018</p>	
	

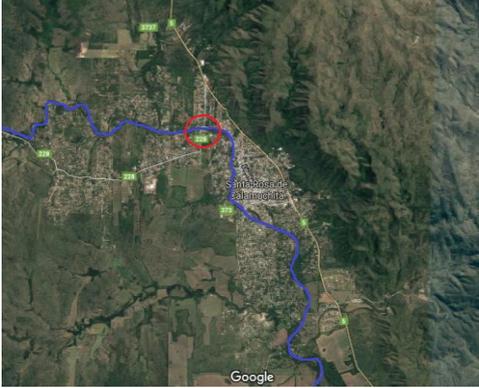
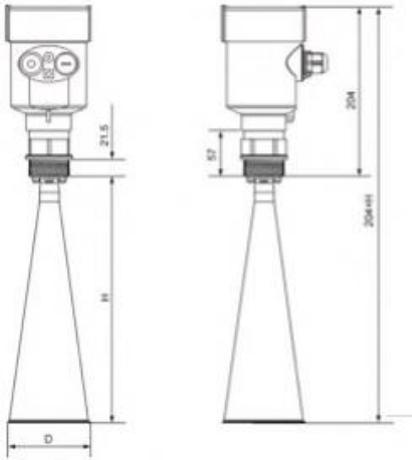
## Los Reartes

Tabla XII: Ficha estación Los Reartes

ESTACION HIDROMETRICA DE LOS REARTES	
<p><b>DATOS</b> Ubicación: Los Reartes Coodenadas: -31.925666, -64.577135 Fecha: 04/10/2018</p>	
	
	

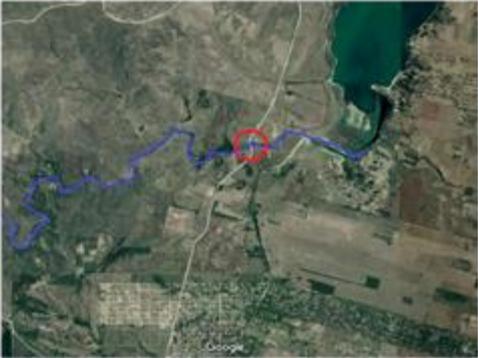
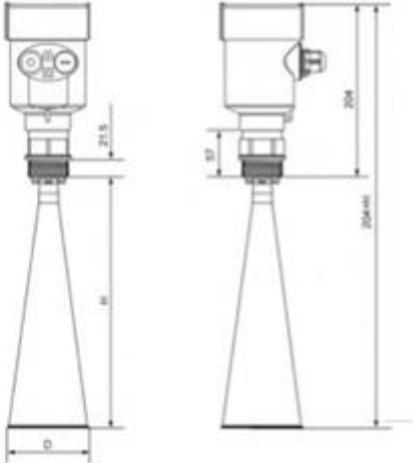
# Santa Rosa de Calamuchita

Tabla XIII: Ficha estación de Santa Rosa de Calamuchita

ESTACION HIDROMETRICA DE SANTA ROSA DE CALAMUCHITA	
<p><b>DATOS</b> Ubicación: Santa Rosa de Calamuchita Coodenadas:-32.058454, -64.549058 Fecha: 04/10/2018</p>	
	
	

## Río del Medio

Tabla XIV: Ficha estación de Río del Medio

ESTACION HIDROMETRICA DE RIO DEL MEDIO	
<p><b>DATOS</b> Ubicación: Río del Medio Coordenadas: -31.880684, -64.568947 Fecha: 08/11/2018</p>	
	

## 4.2. ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Con el motivo de determinar las condiciones atmosféricas que rigen en el entorno del dique los molinos, se dispuso de una EMA al sur de la localidad de Los Reartes como se observa en la siguiente figura, próxima a la estación hidrométrica instalada en el cauce del río Los Reartes. Las coordenadas del sitio de instalación son: -31.925399, -64.578283.



Figura 41: Ubicación de la Estación Meteorológica de Los Reartes

La estación meteorológica instalada es un modelo de la firma TECMES, y cuenta con sensores de radiación solar, precipitación, humedad, temperatura, velocidad del viento, dirección del viento y presión atmosférica. Todos estos sensores son instalados en una torre reticulada de 9 metros de altura, junto con un sistema de pararrayos y jabalina para protección contra descargas eléctricas. Los sensores utilizados son los listados en la tabla XV.



Figura 42: Sensores instalados en la EMA

La electrónica encargada de la recolección y almacenamiento de los datos otorgados por los distintos sensores, es modificada y adaptada por la empresa OMIXOM Ingeniería Electrónica para proveerle a la estación la capacidad de transmisión inalámbrica. De esta forma, la información obtenida se envía de manera remota a un servidor con conexión a internet, brindando la posibilidad de visualización y descarga desde un navegador web. La alimentación eléctrica de la estación es proveída a través de un panel solar y dos baterías recargables. La EMA cuenta además con un gabinete IP65 que resguarda y protege tanto a la electrónica como a las baterías recargables.

A continuación, se detallan los componentes de la estación:

Tabla XV: Componentes de la EMA

1. Estación Automática Meteorológica	
TS 251-T	Sensor de temperatura y humedad del aire
TS 303	Sensor de radiación solar
EPO 233	Sensor de intensidad y dirección de viento
TS 220-B	Sensor de precipitación
TS 290	Sensor de presión atmosférica
TS 220	Pluviómetro estándar
Omixom	Datalogger
Gabinete contenedor de equipos, panel solar Solartec 12V 20 W, batería 12V, sistema de pararrayos y puesta a tierra.	

#### 4.2.1. Sensor de temperatura y humedad del aire

Los sensores de temperatura y humedad son de tipo TECMES Modelo TS251-T.

El sensor de humedad se basa en la medición de la variación de impedancia que sufre un capacitor al variar su dieléctrico por efecto de la humedad ambiente. El cuerpo del sensor es estanco y construido en aluminio anodizado. Permite la medición en rango del 0% al 100% de HR, resolución del 1% y una precisión de +/- 2%. El sensor de temperatura es de tipo termo resistor y se halla en el cabezal donde se encuentra el sensor de humedad. Permite la medición de la temperatura del aire en el rango de -20 °C a + 60 °C, con sensibilidad de 0,1 °C y una precisión de +/- 0,3°C.



Figura 43: Sensor de temperatura y humedad del aire

#### 4.2.2. Sensor de radiación solar

El sensor de radiación solar es TECMES del tipo TS303 Piranómetro de Silicio. Se encuentra montado en un brazo accesorio AS260, en el extremo opuesto al sensor de temperatura y humedad. El sistema se halla alojado en una cápsula de material inoxidable.

El sensor contiene una célula fotovoltaica de silicio que convierte la energía de radiación solar, en el rango espectral de 0,5 micrones a 1,2 micrones, a energía eléctrica. La respuesta es instantánea, siendo, el sensor, sensible exclusivamente a la luz y no al calor como en el caso de los de termocupla. Permite la medición en el rango de 0 Watt/m<sup>2</sup> a 2000 Watt/m<sup>2</sup>, con una sensibilidad de 1 Watt/m<sup>2</sup> y una precisión de +/- 3%.



Figura 44: Sensor de radiación solar

#### 4.2.3. Sensor de intensidad y dirección del viento

Los sensores de velocidad y dirección del viento son TECMES, modelo EP0233.

El sensor de velocidad del viento está constituido por un sistema de tres copelas de 1,5", separadas  $120^\circ$ , montadas sobre un conjunto de rodamientos sellados y permanentemente lubricados, que aseguran la medición de ligeras brisas, como así también, de ráfagas de alta intensidad. El conjunto está montado sobre un cuerpo de acero inoxidable que aloja al eje y al sistema de detección.

El sistema de detección está compuesto por un detector óptico sin contacto mecánico, que permite obtener una salida a pulsos, los cuales son transformados en tensión. Permite la medición en rangos de 0 m/s a 45m/s, con resoluciones del 1 m/s y una precisión de 1 m/s.

El sensor se colocó a 10m de altura y a una distancia al obstáculo más cercano de 10 veces la altura.

El sensor de dirección del viento consiste en una veleta equilibrada dinámicamente que gira sobre rodamientos sellados transmitiendo el movimiento de ésta a un eje solidario al cual se une un potenciómetro de precisión.

Su rango de medición va de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , con resoluciones de  $1^\circ$  y una precisión de  $\pm 4^\circ$ .



Figura 45: Sensor de intensidad y dirección del viento

#### 4.2.4. Sensor de precipitación

El sensor de precipitación está constituido por un pluviómetro a cangilones TECMES, modelo TS220-B, el cual se ha montado en un tubo hincado (Accesorio AS222-B). El pluviómetro se instaló de manera de que la boca de ingreso se encuentre a la altura requerida por las normas de la Organización Meteorológica Mundial.

El pluviómetro está construido con materiales inoxidable y resistentes a la radiación UV. La lluvia es recolectada en una boca con aro biselada metálico calibrado de 200 cm<sup>2</sup> y es conducida por un embudo hacia un cangilón basculante, realizando la descarga a gotas asegurando una buena repetibilidad.

El cangilón es de acero inoxidable con pivotes de metal que permite un amplio rango de trabajo con poco porcentaje de error. Posee una sensibilidad de 0,20 mm y una exactitud de +/- 2% a 25 mm/h. La detección del vuelco es magnética con reed switch.



Figura 46: Sensor de precipitación

#### 4.2.5. Sensor de presión atmosférica

El sensor de presión atmosférico es modelo TECMES TS290. Está construido en base a un transductor del tipo piezoresistivo con compensación de temperatura.

La señal del sensor es amplificada, y acondicionada, dando una señal de 0V a 4V.

Requiere una alimentación de 12V y puede montarse en cualquier posición

Permite las mediciones en un rango de 700 hP a 1100 hP con una precisión de +/-0.3 hP y una sensibilidad de +/- 0,1 hP con salida analógica.

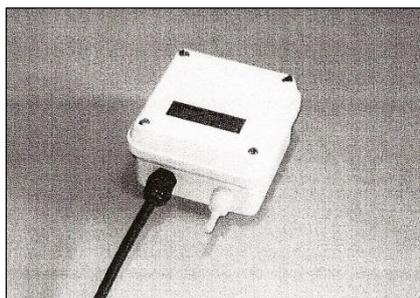


Figura 47: Sensor de presión atmosférica

#### 4.2.6. Mediciones registradas

Durante la campaña de instalación realizada para cada una de las estaciones hidrométricas se relevaron las distancias existentes desde el instrumental al pelo de agua y la distancia del instrumental al fondo. Con la sustracción de ambas podemos determinar el tirante.

El sensor de nivel tipo radar registra y transmite cada 10 minutos la distancia del instrumental al pelo de agua. Como el lecho del río no se mantiene constante, se debe relevar la distancia al fondo del río medida desde el instrumental cada cierto tiempo para contar con datos más precisos.

La siguiente tabla muestra la información que se relevó en las distintas campañas:

Tabla XVI: Información relevada en las campañas de instalación

Estacion hidrometrica	Distancia del instrumental al pelo de agua (m)	Distancia del instrumental al fondo del rio (m)
Tortugas	9,5	10,3
Inrriville	7,5	8
San Marcos Sud	6,3	-
Piedras Blancas	7,82	10,58
Quillinzo	7	7,35
Alpa Corral	5,75	6,8
La Cruz	4,27	4,9
Los Reartes	6,61	7,1
Santa Rosa de Calamuchita	-	-
Rio del Medio	6,8	7,74
Mar Chiquita	2,1	-

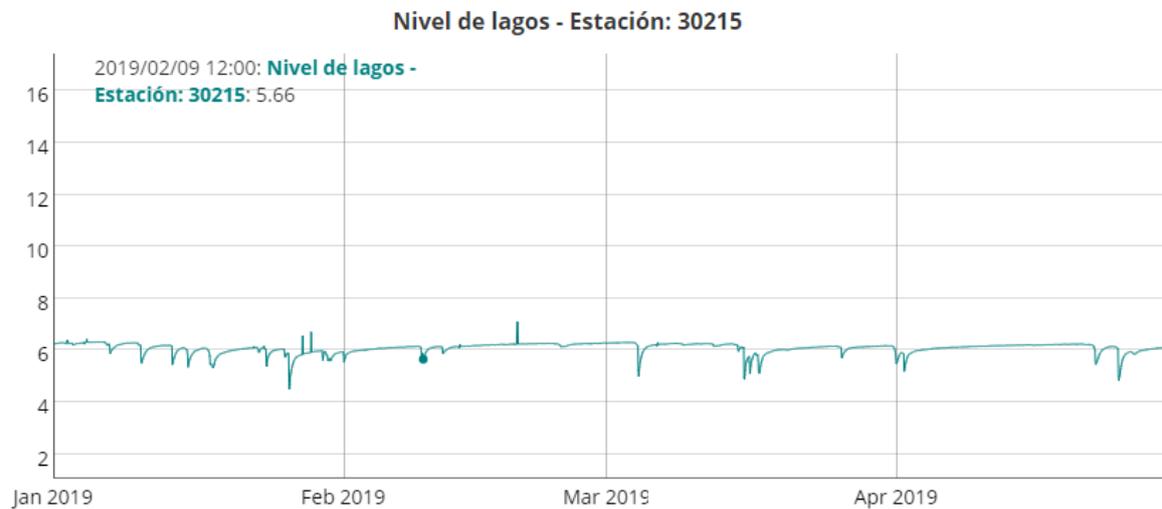
Se realiza un breve análisis de los datos arrojados por la estación hidrométrica ubicada en la localidad de Los Reartes acerca de la variación del tirante.

Los gráficos siguientes muestran la variación del tirante del Río de Los Reartes durante los meses de enero, febrero, marzo y abril del año 2019, en la sección donde se encuentra emplazada la estación hidrométrica. Cabe recordar que el sensor radar mide la distancia que lo separa del pelo de agua del río, por lo tanto, mientras menor sea esta distancia significa que mayor es la altura del río. Al contar con la distancia que existe desde el sensor radar al lecho del río, mediante la diferencia de estos dos valores podemos determinar el tirante del mismo. Además, se considera que la distancia al lecho del río se mantiene constante a lo largo del periodo de tiempo analizado por ser este relativamente corto. La distancia del instrumental al fondo es de 7.10m por lo que se puede concluir que durante estos cuatro meses el río conto con un tirante de 1.10m, ya que la distancia medida al pelo de agua, en promedio, es de 6m en la sección de la EH.



**Gráfico 1: Variación del nivel del rio Los Reartes pico mes de enero**

Por otra parte, también se observa que en ocasiones el tirante supero los 2m, llegando como máximo a un valor de 2.40m en el mes de enero, y valores de 1.44m, 1.87m y 2.09m como valores máximos en los meses de febrero, marzo y abril respectivamente.



**Gráfico 2: Variación del nivel del rio Los Reartes pico mes de febrero**



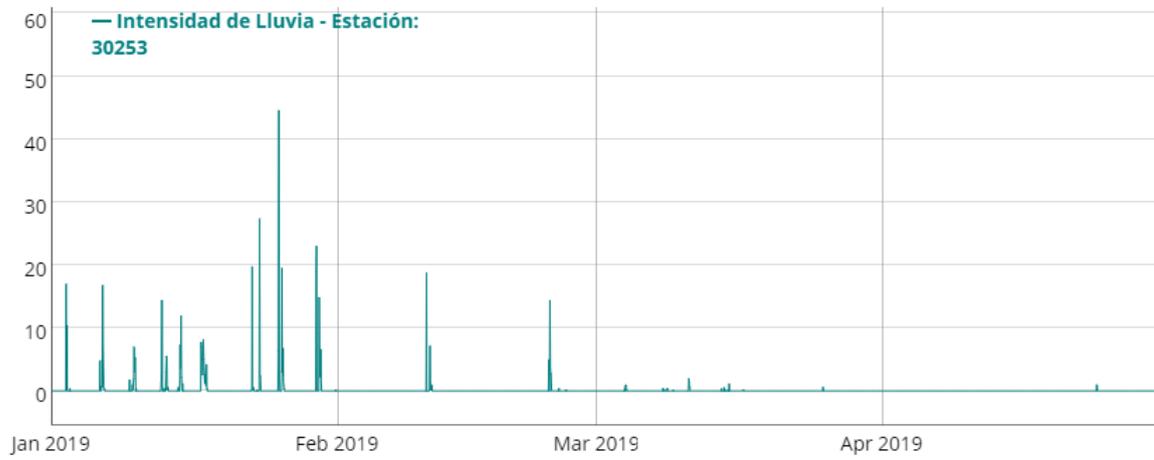
**Gráfico 3: Variación del nivel del río Los Reartes pico mes de marzo**



**Gráfico 4: Variación del nivel del río Los Reartes pico mes de abril**

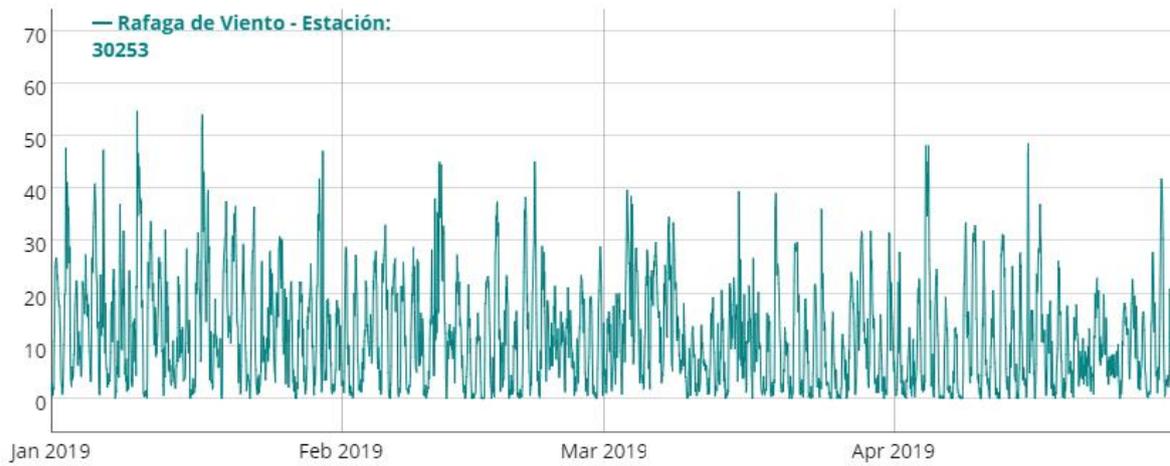
Se anexan a continuación los gráficos de la variación de las distintas variables meteorológicas de interés a lo largo del año 2019 entre los meses de enero y abril de la estación meteorológica situada en la localidad de Los Reates.

**Intensidad de Lluvia - Estación: 30253**



**Grafico 5: Intensidad de lluvia**

**Rafaga de Viento - Estación: 30253**



**Grafico 6: Ráfaga de viento**

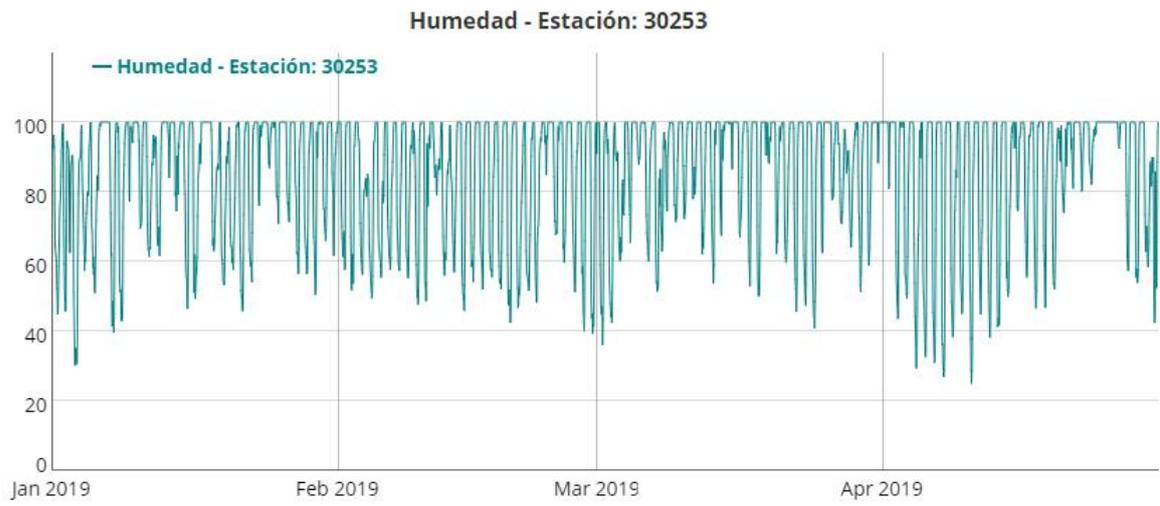


Grafico 7: Humedad

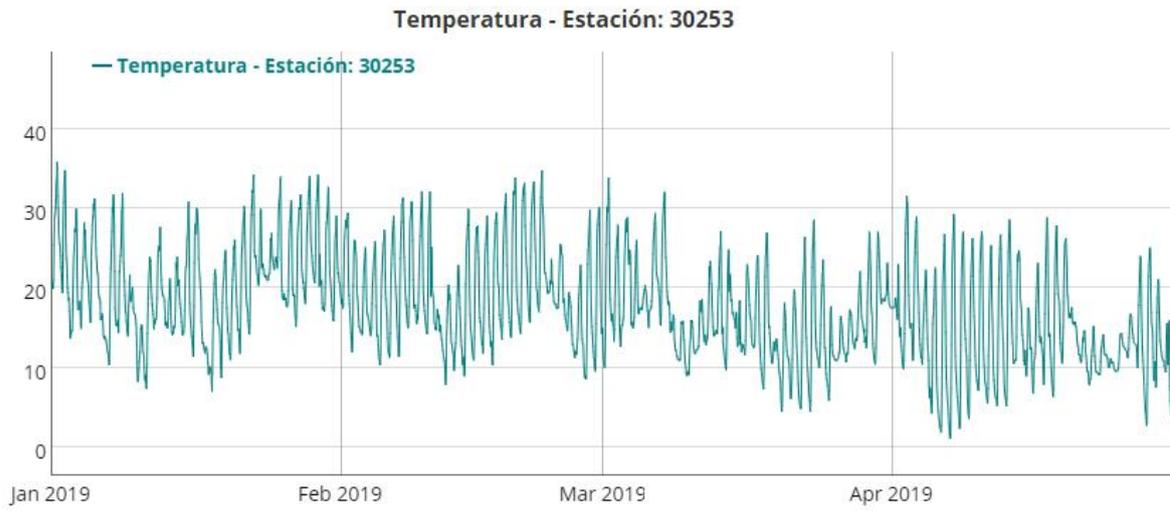
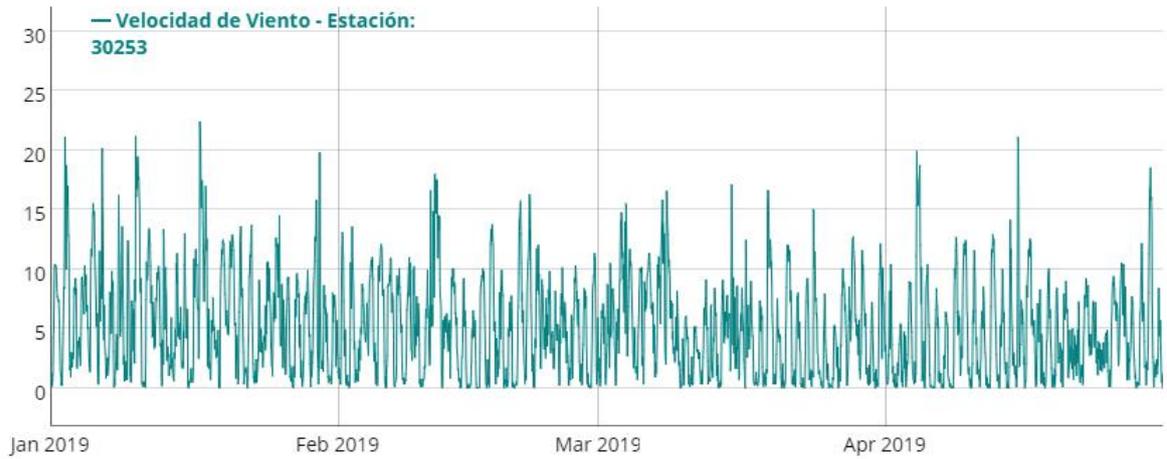


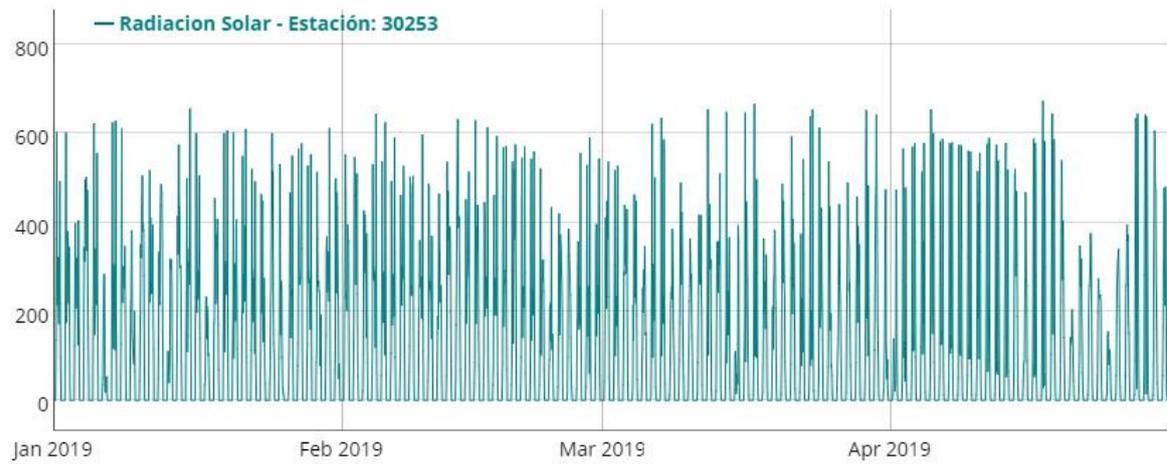
Grafico 8: Temperatura

**Velocidad de Viento - Estación: 30253**



**Grafico 9: Velocidad de Viento**

**Radiacion Solar - Estación: 30253**



**Grafico 10: Radiación solar**

Presion - Estación: 30253

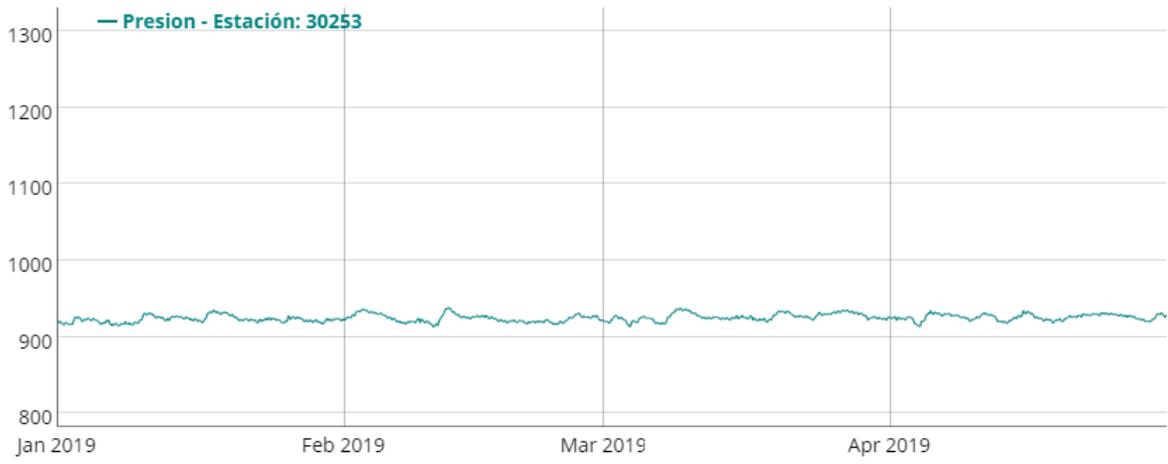


Grafico 11: Presión

## 5. CONCLUSIONES

El trabajo realizado fue muy enriquecedor, en el sentido de que el conocimiento adquirido a lo largo de la carrera debió ser volcado en la realización de una tarea de la mejor forma posible y en la cual se debieron resolver dificultades que surgen a lo largo del proceso.

Este proceso no es lineal, sino que es de continua retroalimentación, donde lo teórico e “ideal” debe ser en ocasiones modificado por lo factible.

Todo lo realizado, a nivel personal, ayuda a comprender a grandes rasgos, como serán las tareas a realizar como profesional en un futuro y, por lo tanto, como opinión, el contar con esta posibilidad es muy importante en una carrera tan técnica y practica como lo es la ingeniería civil.

Se puede destacar, también, la importancia de la planificación para poder reducir los tiempos en los trabajos de campo y prever todos los posibles inconvenientes que podrían surgir y así minimizar los tiempos de instalación. Para la disposición de las estaciones hidrométricas, las cuales se empotran en el tablero del puente que cruza por encima del río de interés, se debió realizar un viaje previo y el relevamiento del lugar con el fin de diseñar los soportes que las sostienen. En general, las estaciones fueron ensambladas en lo posible en el taller del laboratorio, para reducir las tareas en el sitio de emplazamiento y los tiempos de armado de las mismas, ya que el realizar estas tareas in-situ hubiese consumido mucho tiempo. La mayoría de las estaciones de nivel fueron instaladas en los tiempos previstos, excepto la estación ubicada en la localidad de Miramar, la cual se encuentra montada dentro de un predio privado al cual no se tuvo acceso antes y por lo tanto surgieron inconvenientes al momento de colocar el sensor de nivel y al colocar el gabinete.

Como conclusión del trabajo se resalta la importancia de contar con datos meteorológicos, como así también hidrológicos, para poder comprender el ciclo hidrológico, es decir, poder determinar cuánto de lo precipitado escurrió, se infiltró y se evaporó. Comprender este ciclo permitirá tomar decisiones más acertadas, no solo en el dimensionamiento de obras de ingeniería sino también en la preservación del medio ambiente, aspecto un poco relegado en la actualidad. Varias de las estaciones instaladas forman parte del Proyecto Relámpago, proyecto aun en desarrollo, por lo tanto, no es posible la publicación de los datos. Cuando este finalice permitirá dar mayor certidumbre a la formación de las tormentas en la zona pampeana de la provincia de Córdoba, las cuales se caracterizan por su severidad.

## 6. BIBLIOGRAFIA

Adrián B. Basualdo (2015). Manual de buenas prácticas para la generación, el almacenamiento y la difusión de informática climática en instituciones y organismos del MERCOSUR.

Gabriel Caamaño Nelli (1996). *Introducción a la Hidrometría*.

Héctor Picatto (1996). *Limnimetría*.

Organización Meteorológica Mundial (1994). *Guía de Practicas Hidrológicas*.

Organización Meteorológica Mundial (2014). *Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación*.

Organización Meteorológica Mundial (2011). *Guía de Practicas Hidrológicas Volumen I, Hidrología – De la medición a la información hidrológica*.

Organización Meteorológica Mundial (2011). *Guía de Practicas Hidrológicas Volumen II, Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas*.

Organización Meteorológica Mundial (2006). *Reglamento técnico, volumen III, Hidrología*.