

# **Desarrollo de instrumentación para monitoreo de seguridad estructural de obras hidráulicas.**

HC1715.1

INFORME FINAL

Subcoordinación de Obras y Equipos Hidráulicos  
Diciembre de 2017

**Desarrollo de instrumentación para monitoreo de seguridad estructural de obras hidráulicas.**

Objetivo

Desarrollar instrumentación de campo para obtención de datos de diversos parámetros físicos para el análisis y evaluación del riesgo en relación a la seguridad estructural de obras hidráulicas bajo efectos de Cambio Climático.

Propósito

Contar con tecnología propia que apoye la supervisión y el control en campo del comportamiento estructural de obras hidráulicas para una operación segura. Generando instrumentos propios, de fácil empleo, con soporte y servicio técnico institucional, eso los hará atractivos para los usuarios, pues contarán con apoyo para el servicio que requieran

pues tanto los diseños como la integración propia, los hará de fácil manejo y con un mantenimiento económico y oportuno.

La transferencia de la tecnología implementada contribuirá a la gobernanza del agua en zonas de riesgo posibilitando el seguimiento de parámetros físicos en campo en plazos largos y bajo supervisión controlada.

### Antecedentes

En concordancia con el Programa Nacional Hídrico 2014 – 2018, en el que, entre otros objetivos se señala Incrementar las capacidades técnicas, científicas y tecnológicas del sector, el proyecto Desarrollo de instrumentación para monitoreo de seguridad estructural de obras hidráulicas, encamina su perspectiva, ya que al contar con desarrollos instrumentales propios, se evita la dependencia tecnológica para los trabajos de observación en campo, facilitando el soporte técnico para la solución de problemas de operación de los instrumentos. Por el otro lado, el no depender (hasta donde sea posible) de tecnologías importadas facilita el mantenimiento y operación de los instrumentos necesarios para la observación y supervisión, aumentando el valor del dato por la oportunidad de los mismos a fin de que la información generada sea fiel reflejo de la observación metódica del comportamiento de las obras hidráulicas o estructuras involucradas, para su operación segura.

En la toma de decisiones, es fundamental contar con datos oportunos para generar la información deseada a través de la observación y/o medición en campo, de diferentes parámetros que afectan el comportamiento de un sistema, obra o estructura hidráulica. La calidad del dato requiere de calibración de los instrumentos de medición y la calidad de la información requiere de la colección oportuna de datos y su manejo a través de modelos matemáticos adecuados. De esta forma se ahorrará tiempo y dinero al tomar decisiones oportunas y sustentadas eficazmente.

Propuesta Original

Desarrollo, construcción y pruebas de Inclinómetro triaxial.

Desarrollo, construcción y pruebas de medidor sónico de evaporación

Seguimiento y mejoras a los dispositivos IDDC's

Temas

Inclinómetro

1. Inclinómetro triaxial.

Diseño del mecanismo transportador de la electrónica

- a) Diseño de barra de ruedas, tipo colapsable, para modificar el original.
- b) Dibujo de planos con modificación de barra de ruedas
- c) Construcción de barra colapsable de ruedas
- d) Ensamble de electrónica y pruebas de laboratorio

Diseño del mecanismo medidor de longitud del cable de la sonda

- a) Diseño de sistema de tracción antiderrapante de cable-ecoder
- b) Diseño de estructura de soporte

2. Medidor sónico de evaporación.

Resultados de la medición en el tanque de la estación climatológica del IMTA

Sustitución del tanque de evaporación

- a) Diseño del tanque vertical de interconexión
- b) Diseño del alojamiento de la electrónica
- c) Construcción del prototipo
- d) Integración de componentes electrónicos
- e) Pruebas de campo
- f) Estudio de factibilidad de solicitud de patente

3.- Seguimiento y mejoras a los dispositivos IDDC's

Elaboración del diseño básico y optimización (Planos Gerber) para la construcción de un prototipo de prueba.

- a) Recuperar los IDDC's de Balsas.
- b) Evaluación de los IDDC's y descarga de datos en su caso.
- c) Cambio de Chips con un año de operatividad.
- d) Inclusión de metadatos
- e) Regresarlos a su sitio de trabajo.

## 1. Inclinómetro triaxial.

Este dispositivo es para un sistema de medición de deformaciones en presas de tierra y enrocamiento a lo largo de su eje vertical. Un problema significativo que presentan estos equipos, es que son factibles de pérdida por atascamiento en las instalaciones donde los tubos inclinométricos son de tipo telescopiado. Si estos tubos quedan separados por alguna razón, el inclinómetro queda atrapado con sus guías y rodamientos y es sumamente complicado rescatarlos, con lo que se pierde el equipo de medición y la instalación que exprofeso fue construída para determinar las deformaciones en el interior del cuerpo de una cortina de tierra y enrocamiento.

Por ello, se propone la modificación de los ejes soporte del instrumento (fig 1.3) a fin de que se retraigan al no tener apoyo de las paredes laterales del tubo inclinométrico instalado en el sitio de pruebas, con lo que se evita que quede atascado el dispositivo cuando hay una separación de las secciones que conforman los tubos inclinométricos y que son de tipo telescopiado.

Se elaboró el dibujo en autocad de las piezas modificadas para posteriormente estar en posibilidad de enviar a construcción en un taller metal mecánico el prototipo de prueba.

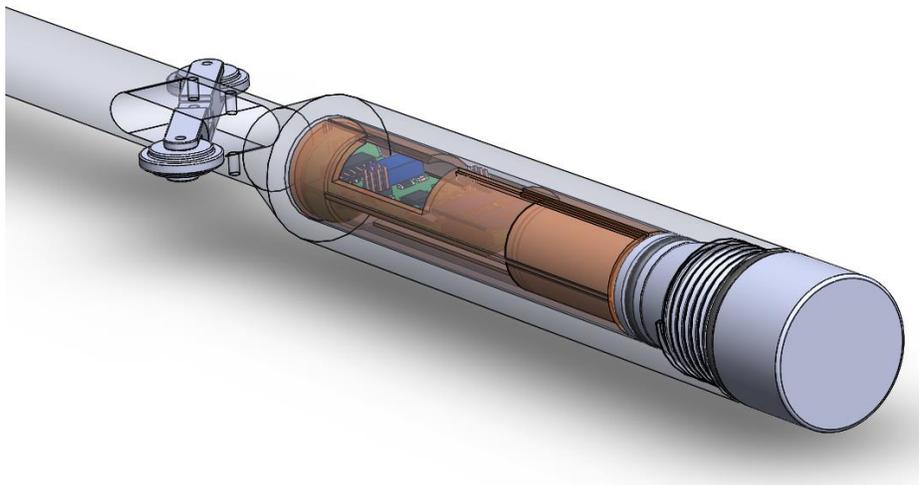


Fig1.1 Diseño de barra de ruedas, tipo colapsable, para modificar el original. Se muestra el alojamiento de la electrónica del inclinómetro triaxial que debe ser hermética. El equipo es totalmente autónomo.

Este equipo facilita la operación en campo, pues no requiere de cables para suministro de energía y comunicación o transmisión de datos. El único cable que necesita es solo para su sujeción y traslado por el interior del tubo inclinométrico, el cual debe ser medido. Para tal efecto se requiere un dispositivo de medición de cable que también se desarrolla como parte del sistema de monitoreo de deformación. Ver Fig 1.4 y Fig 1.5. Se diseñó el sistema de tracción antiderrapante de cable-ecoder.

Se llevó a cabo la revisión y corrección de los contenidos de los planos del inclinómetro triaxial, poniendo énfasis en las tolerancias mecánicas que deben respetarse en el ensamble de piezas sujetas a apriete y hermeticidad necesaria.

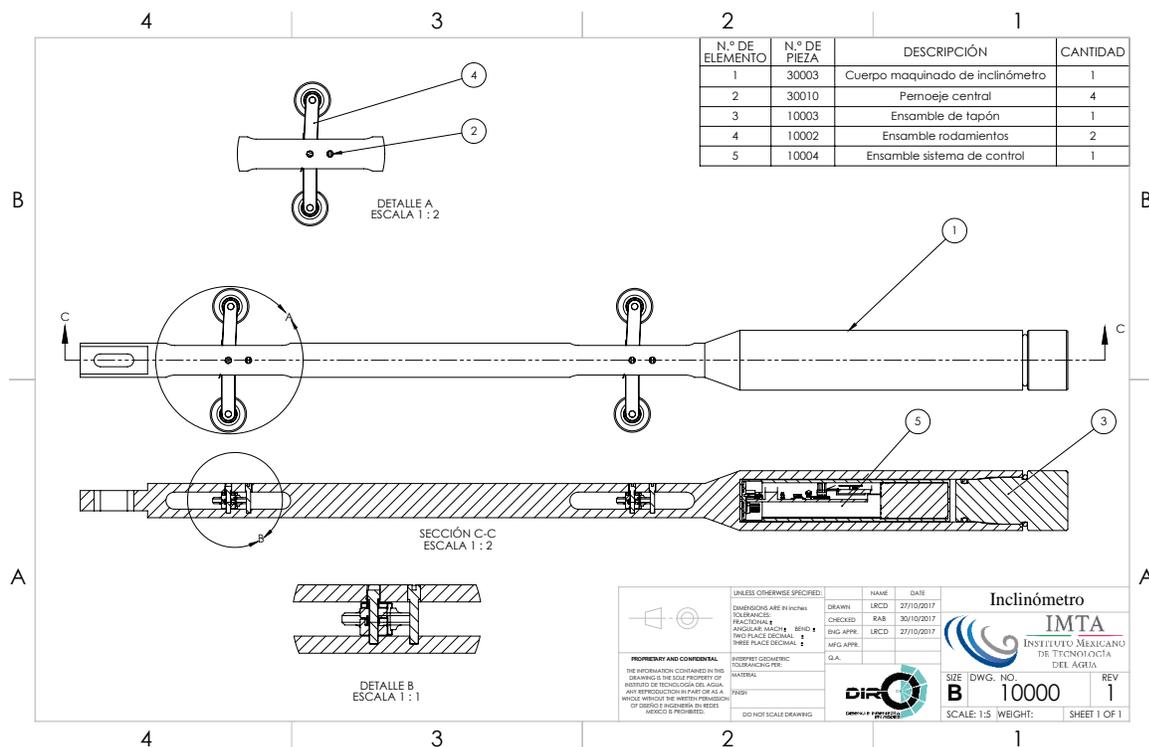


Fig 1.2 Plano General de construcción del inclinómetro triaxial

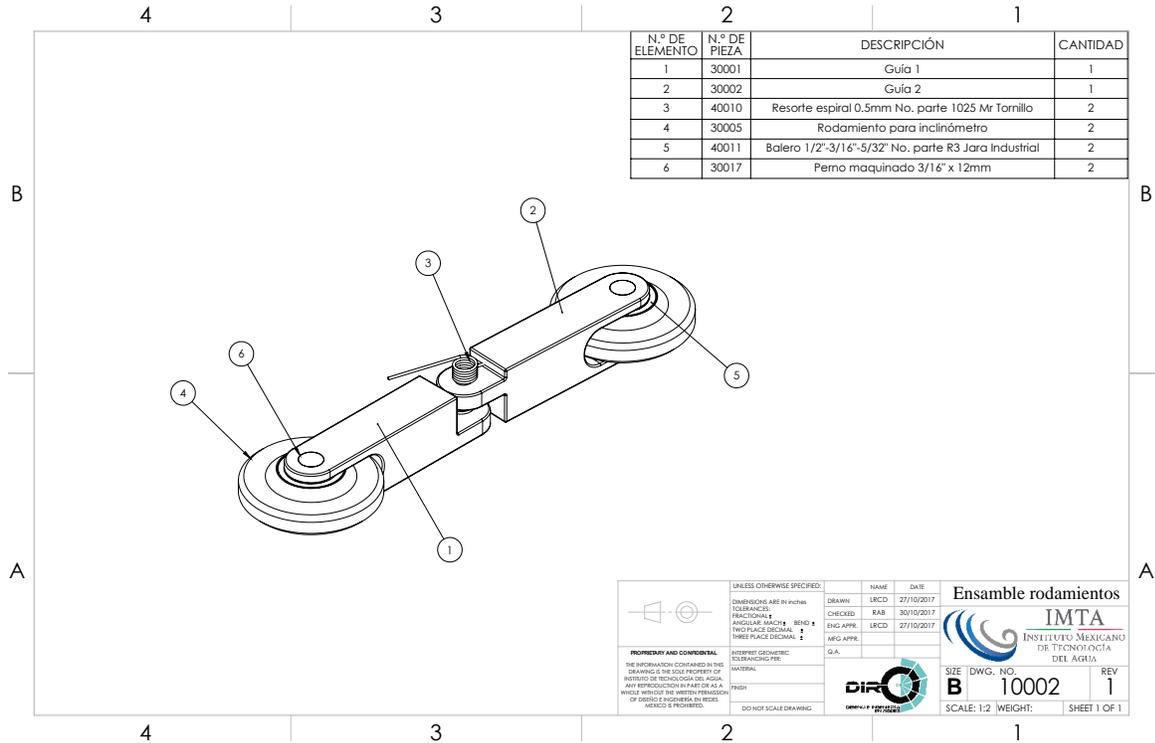


Fig 1.3 Ensamble de rodamientos, esta versión modificada divide las guías de traslado en dos.

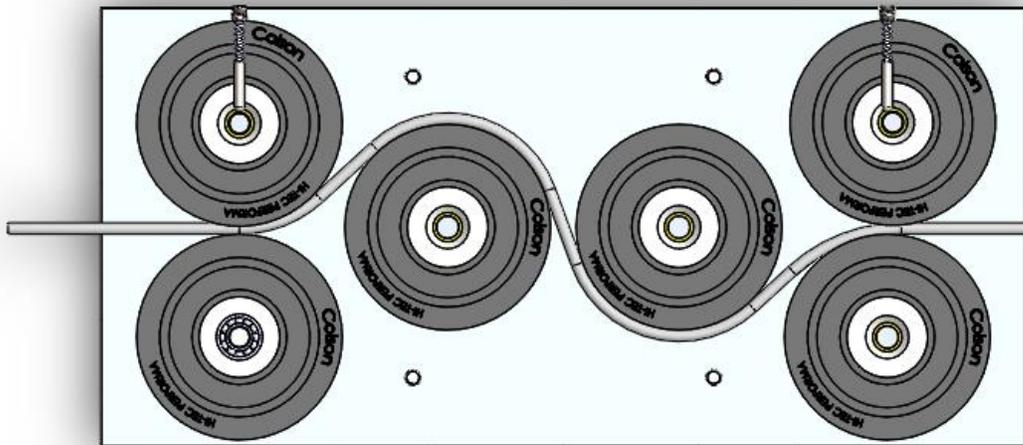


Fig 1.4 Medidor del cable. El cable hace girar los rodamientos que conectados con un encoder, permite convertir el número de vueltas en longitud de desplazamiento. No debe haber deslizamiento del cable entre las ruedas.

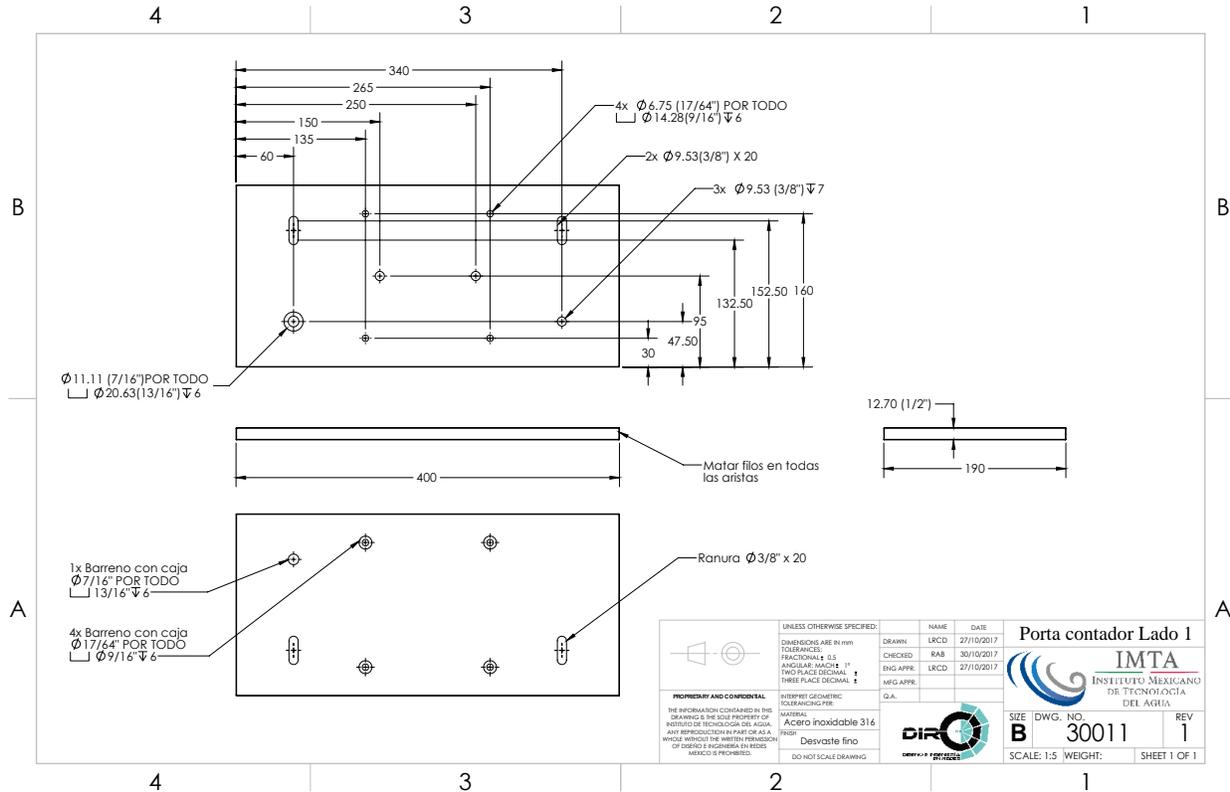


Fig 1.5 Medidor del cable. Planos de construcción

Con los planos terminados, se solicitará su construcción en un taller metal mecánico para probar su funcionamiento. La electrónica está ya probada y es funcional. En archivos electrónicos anexos se encuentran los planos de diseño de los dos mecanismos.

Se elaboró una segunda versión del medidor de cable como otra alternativa viable de operación en campo, que permita el empleo de los malacates transportadores de cable para que no importando como se efectúe el arrollamiento del cable, la medición se efectúe sin deslizamientos del propio cable para evitar errores en la medición de su longitud. En esta versión se propone un freno que sujete al cable contra los rodamientos y no permita que cambien de posición si se necesitara maniobrar con la sonda o bien, con el malacate.

## 2. Medidor sónico de evaporación.

Con el fin facilitar la medición de la evaporación en el tanque convencional de 1.2m de diámetro de las estaciones climatológicas, donde se emplea un tornillo milimétrico con

escala en cm y milímetros que no es sencillo de interpretar para los operadores de campo, se pretende el uso de un sensor ultrasónico que mida la variación del nivel del agua dentro del depósito de evaporación. Las primeras pruebas que se efectuaron al sensor, determinó la necesidad de un sistema de alimentación eléctrica que no era de bajo consumo y su aplicación en áreas donde no hay corriente eléctrica, haría necesario el empleo de una celda solar de amplio colector. Eso lo hace muy visible en las estaciones climatológicas y lo que se pretende son instalaciones que no llamen mucho la atención para evitar que sean robadas o vandalizadas.

Para mejorar la medición de la evaporación en las estaciones climatológicas convencionales, se estudia una alternativa al medidor de nivel ultrasónico que resulta mas económica y de más rápido desarrollo. Se trata de un sensor capacitivo que responde a la variación de la presión del flujo de agua donde se encuentra sumergido.

Al tanque Tipo A de 1.2 m de diámetro se le integrará este medidor por medio de un vaso comunicante.

#### Diseño de la transmisión

Para evitar la atención directa del operador de campo para su lectura e interpretación, se diseñó un interrogador del sensor capacitivo que después de tomar la lectura, respaldara el dato y lo enviara vía radio frecuencia a un receptor instalado en el laboratorio de hidráulica del IMTA. La recepción del dato se programaría cada período de tiempo necesario y previamente determinado por las condiciones de medición.

#### Integración de componentes electrónicos

El diseño de la electrónica necesaria para interrogar al sensor capacitivo se montó en una tarjeta electrónica, que además tiene los componentes necesarios para la transmisión de los datos. La parte de suministro eléctrico se resolvió con una pequeña batería de 12 volts que al momento de su instalación en la estación climatológica convencional, puede ser disimulada para evitar que llame la atención. Ver Fig. 1.1

#### Diseño del alojamiento de la electrónica

Para evitar que la electrónica se dañe, ésta debe ser contenida de manera apropiada en un contenedor hermético, así que se empleó un tubo de pvc de diámetro tal que las tarjetas electrónicas construidas tuvieran suficiente espacio. Al tubo de pvc se le hizo una perforación lateral para dar salida a una antena. El cable de la antena y la pared del tubo quedaron selladas con un conector tipo glándula. Ver fig 1.2

### Pruebas de campo

Se instaló un vaso comunicante haciendo una perforación al tanque de lámina de 1.2 m de diámetro de la estación climatológica para que el medidor capacitivo quedara sumergido y respondiera a las variaciones del nivel del agua dentro del tanque de evaporación. En las pruebas de campo se observó que este tanque al estar abierto a la atmósfera, también funciona como medidor de lluvia. ¡Dos medidores en uno!...

### Estudio de factibilidad de solicitud de patente

Se trabaja en la investigación del estado de la técnica o vigilancia tecnológica para soportar la pertinencia de la solicitud de patente.

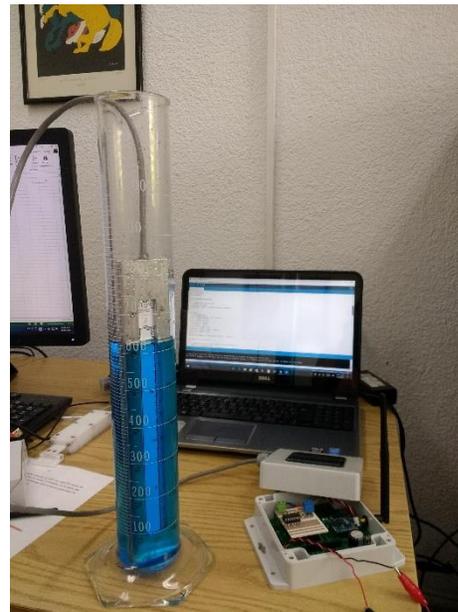
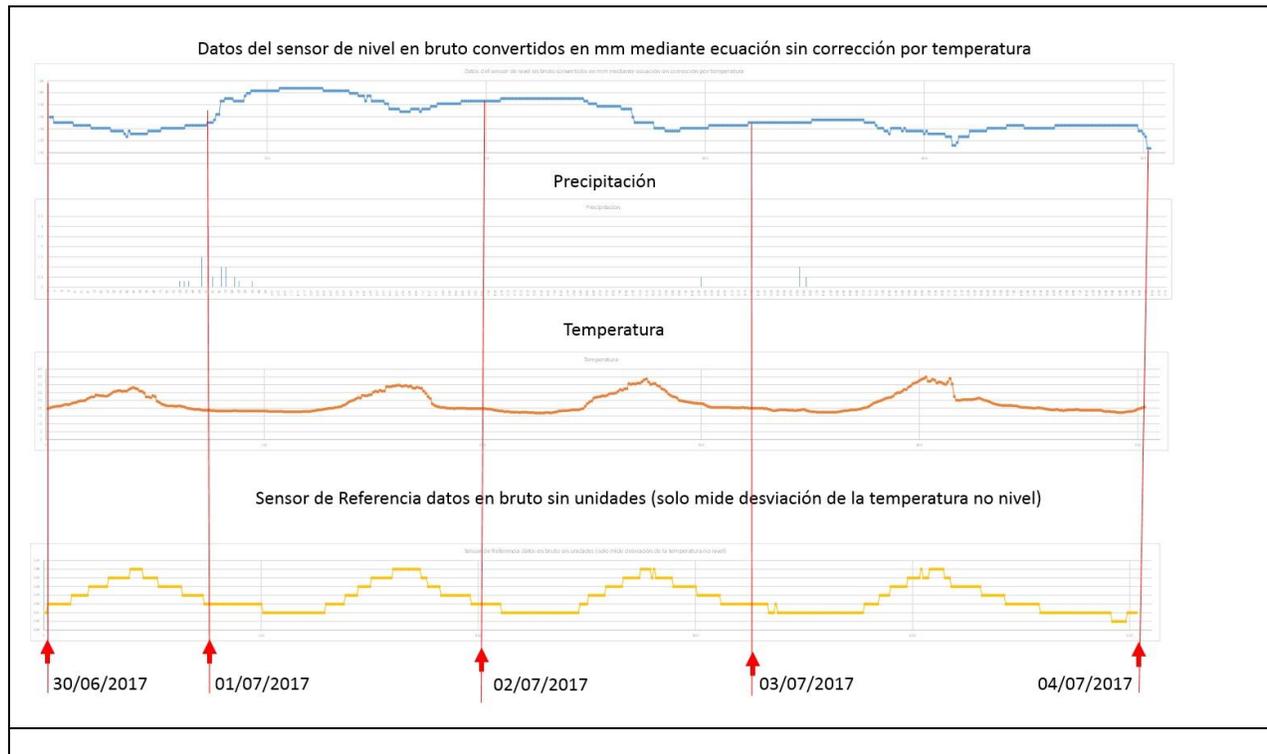


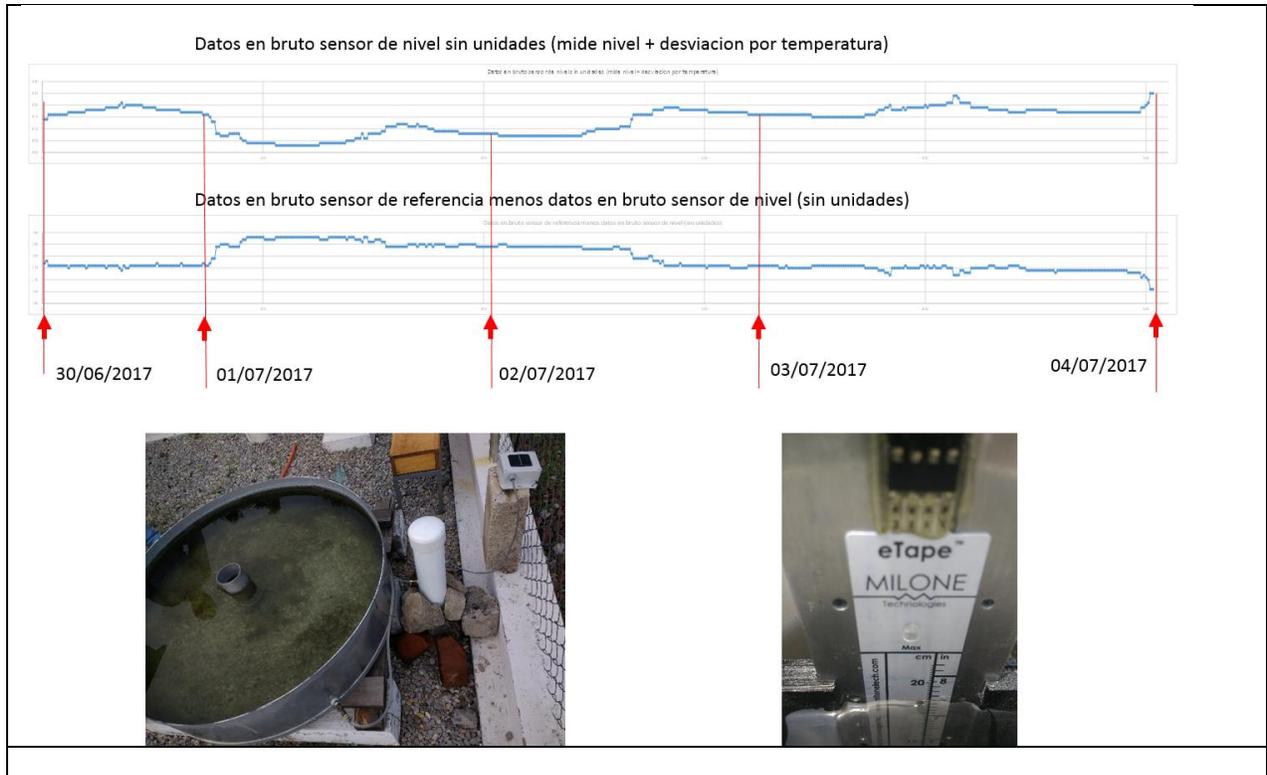
Fig 1.1 Alternativa funcional del sensor para medición de la variación del nivel. Armado, calibración y pruebas en el laboratorio del prototipo.



Fig. 1.2 Instalación en la estación climatológica convencional del IMTA.

## Resultados





### 3.- Seguimiento y mejoras a los dispositivos IDDC's

En un proyecto ejecutado con anterioridad, se desarrollaron los "Integradores digitales de datos climatológicos" construyéndose 13 dispositivos en esa ocasión de "manera artesanal", uniendo los circuitos y los componentes con conectores y cables. Dichos dispositivos fueron distribuidos en igual número de estaciones climatológicas pertenecientes a la Cuenca del Balsas de la Comisión Nacional del Agua y funcionaron muy bien, salvo el de Felipe Neri que por su ubicación no alcanzaba enlace estable con la red de telefonía celular en el cual se basa este desarrollo.

No.	<i>Estación Climatológica</i>
1	Alpuyeca
2	Temilpa
3	Tres Marías
4	El Rodeo
5	Huizilac
6	Tetela del volcan
7	Puente de Ixtla
8	Huajintlan
9	Yecapixtla
10	Cuernavaca UAEM
11	Atlatlahucan
12	Felipe Neri
13	San Juan Tlacotenco

Tabla 3.1 Sitios en los que se proporcionaron los dispositivos integradores digitales de datos climatológicos.

Como parte del proyecto interno HC1715.1 se dará seguimiento y se harán las mejoras necesarias con el fin de promover su empleo en muchas otras áreas de CONAGUA, buscando que este desarrollo sea patentado por el IMTA.

Se visitaron los sitios donde están los IDDC's, para recuperar estos dispositivos y los datos que quedaron almacenados en su memoria y que por falta de recursos no fueron transmitidos vía GSM a la nube, de esta forma se hará la actualización de la base de datos en la medida de la cantidad de datos que en almacenamiento quedaron en cada dispositivo.

Se ha encontrado un nuevo servicio de transmisión GSM, denominado "m2m" (machine, to machine) que resulta mas económico que la transmisión GSM proporcionada por Telcel. MoviStar promueve este servicio "m2m" con lo que el manejo de solamente datos permite transmisión de un gran volumen de datos a bajo costo, por vía celular.

Por ello, se pretende cambiar los chips de los equipos IDDC's del Balsas para que ahora continúen funcionando bajo este esquema y que pueda ser replicado ampliamente en el país. La segunda generación de los IDDC's están pensados para quedar fijos en la estación climatológica convencional, con lo que además de ser empleados por el técnico de campo para transmitir los datos de los medidores de la propia estación climatológica, formarán un portal por el que varios sensores especiales podrán transmitir de forma automática a la nube desde cada punto, como es el que también se encuentra en desarrollo para medir la evaporación y también es tema de este proyecto interno.

De esta forma se sumarán estos datos, a los que a diario transmite el encargado de la estación climatológica convencional. Los sensores podrán ser programados para que efectúen su transmisión de manera automática cada 15 minutos, con un consumo mínimo de energía incrementando la adquisición de datos de campo, pues ya se tienen condiciones también de recibir de forma remota, las variaciones de niveles en el tanque de evaporación, dato que actualmente resulta difícil acceder.

Por ejemplo, un pluviómetro electrónico de cualquier marca puede ser integrado al sistema y reconocido en automático, para que efectúe la transmisión remota de los datos que una tormenta genere en el sitio.

A través de la Subcoordinación de Obras y Equipos Hidráulicos, el IMTA promueve disponer de la versión actualizada del "Integrador Digital de Datos Climatológicos" (IDDC) que se emplea ya en algunas de las estaciones climatológicas convencionales, en donde se obtienen los datos generados a partir de instrumentos de medición que no son electrónicos o no tienen forma de ser "leídos" electrónicamente y son técnicos de campo que son apoyados por este dispositivo para que en tiempo y forma envíen los datos desde su puesto de trabajo, es decir, desde las propias ubicaciones de las estaciones climatológicas convencionales. Para ello es necesario, elaborar los archivos gerber del diseño efectuado por el IMTA y fabricar un prototipo del IDDC en su segunda versión, los cuales formarán parte de la versión actualizada de prueba para la obtención de datos en las estaciones climatológicas convencionales.

#### Actividades

Se realiza el diseño de los PCB's partiendo de la información proporcionada por el IMTA: diagramas eléctricos, especificaciones geométricas y ubicación óptima de los componentes con lo que al final se tendrán los archivos gerber (planos), del IDDC en su segunda versión.

Integración y ensamble de componentes de los dos PCB's que conforman el IDDC segunda versión.

Prueba de desempeño de las PCB's que conforman el IDDC segunda versión.

#### Especificaciones técnicas para la fabricación de los PCB's del prototipo :

Se generará los archivos gerber para fabricar un prototipo de prueba, formado por dos tarjetas electrónicas ó PCB's utilizando material FR-4 (TG-140), bajo las normas UL y los estándares IPC; suministrará los componentes y los ensamblará utilizando la tecnología SMT Surface-mount technology y TH (Through-hole).

Se realizan pruebas eléctricas AOI, "Flying probe" para garantizar la integración de las dos PCB's para el prototipo.

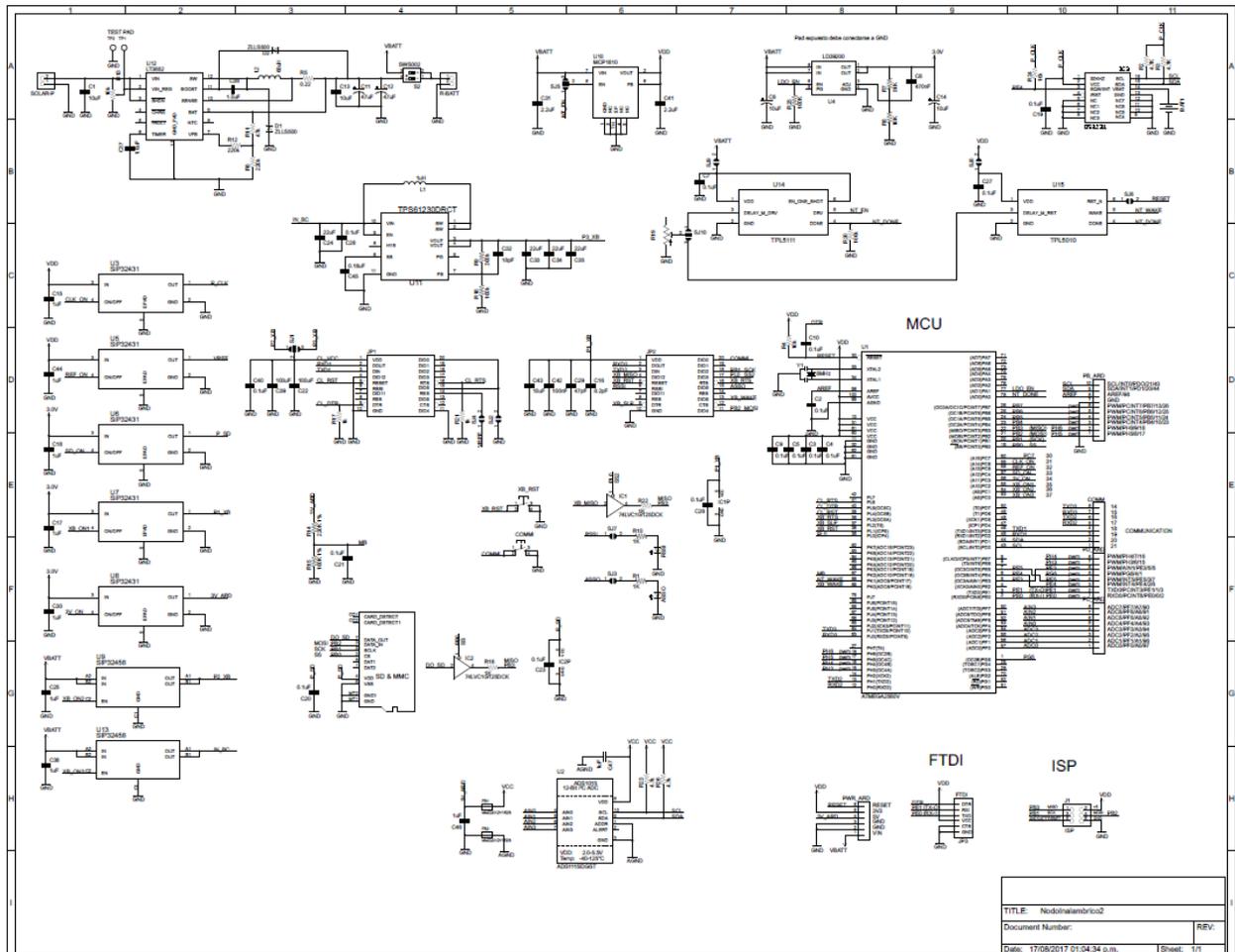
Especificación	Descripción	Alcance
Espesor de cobre	Espesor en capas externas	1 oz (35um) ~ 10 oz (350um)
	Espesor en capas internas	1/3 oz (12um) ~ 6 oz (210um)
Lista de materiales	Los solicitados : marca, modelo, encapsulado y dimensiones especificadas en la lista de materiales.	

<b>Fabricación de las tarjetas bajo los estándares IPC</b>	Infraestructura de fabricación en cumplimiento IPC	
<b>Materiales Base</b>	FR-4(Alta TG-140)	
	Espesor en FR4 (estándar)	1.6mm (0.062")
	Espesor Alta TG FR4 (170°C) (estándar)	1.6mm (0.062")
<b>Perforaciones</b>	Diámetro mínimo	0.1mm (0.004")
	Diámetro máximo	6.0mm (0.236")
	Desviación (tamaño real)	±0.050mm (0.002")
	Tolerancia de perforaciones metalizadas PTH	±0.075mm (0.003")
	Tolerancia de perforaciones no metalizadas NPTH	±0.050mm (0.002")
	Angulo de avellanado	80°, 90°, 100° y 120°
<b>Metalizado</b>	Tamaño mínimo de perforación	0.20mm (0.008")
	Proporción	20
<b>Grabados</b>	Tolerancia en ancho de pista	±20%
	Ancho mínimo de pista / espaciado (en espesores desde 1/3 Oz/ft2 hasta 1 Oz/ft2)	0.08mm (0.003")
	Ancho mínimo de pista / espaciado (en espesores desde 1/2 Oz/ft2 hasta 1 Oz/ft2)	0.10mm (0.004")
	Ancho mínimo de pista / espaciado (en espesor de 2 Oz/ft2)	0.13mm (0.005")
	Ancho mínimo de pista / espaciado (en espesor de 3 Oz/ft2)	0.20mm (0.008")
	Ancho mínimo de pista / espaciado (en espesor de 4 Oz/ft2)	0.30mm (0.012")
<b>Capas internas</b>	Espacio mínimo desde la perforación al diseño interno	0.10mm (0.004")
	Espacio mínimo desde el anillo metalizado al diseño interno	0.10mm (0.004")
	Registro capa - capa	±0.08mm (0.003")
<b>Mascarilla antisoldante (Soldermask)</b>	Color	green gloss LPI
	Apertura mínima	0.08mm (0.003")
	Espesor	0.01mm (0.0004")
<b>Leyendas (Silkscreen)</b>	Color	LPI white gloss
	Ancho de línea mínimo	0.13mm (0.005")
	Área mínima de cobertura	0.71mm (0.028")
<b>Prueba eléctricas Obligatorias</b>	AOI	Obligatorias
	Prueba "Flying probe"	Obligatorias
<b>Control de impedancia</b>	Tolerancia	±10%
	Probador de impedancia	Tektronix TDS8200
<b>Contorno</b>	Tolerancia en cortadores	±0.15mm (0.006")
	Tolerancia en CNC	±0.15mm (0.006")
	Profundidad "Corte en V" (espesor del circuito mayor o igual a 1.0 mm)	0.10mm (0.004")
	Desviación en el ángulo de "Corte en V"	0.10mm (0.004")
	Semi-perforación	
<b>Acabado superficial</b>	HASL, HASL libre de plomo, oro por inmersión, plata por inmersión, estaño por inmersión, O.S.P (Entek), metalizado S/G, ENEPIG, metalizado G/F, carbón	
<b>Corte de la tarjeta</b>	CNC-router	
<b>Ensamble de los componentes</b>	SMT (Montaje superficial, TH (Through-hole) o combinación de ambos SMD-TH. ,	
	Posicionamiento automatizado (Pick 'n Place) de gran formato	

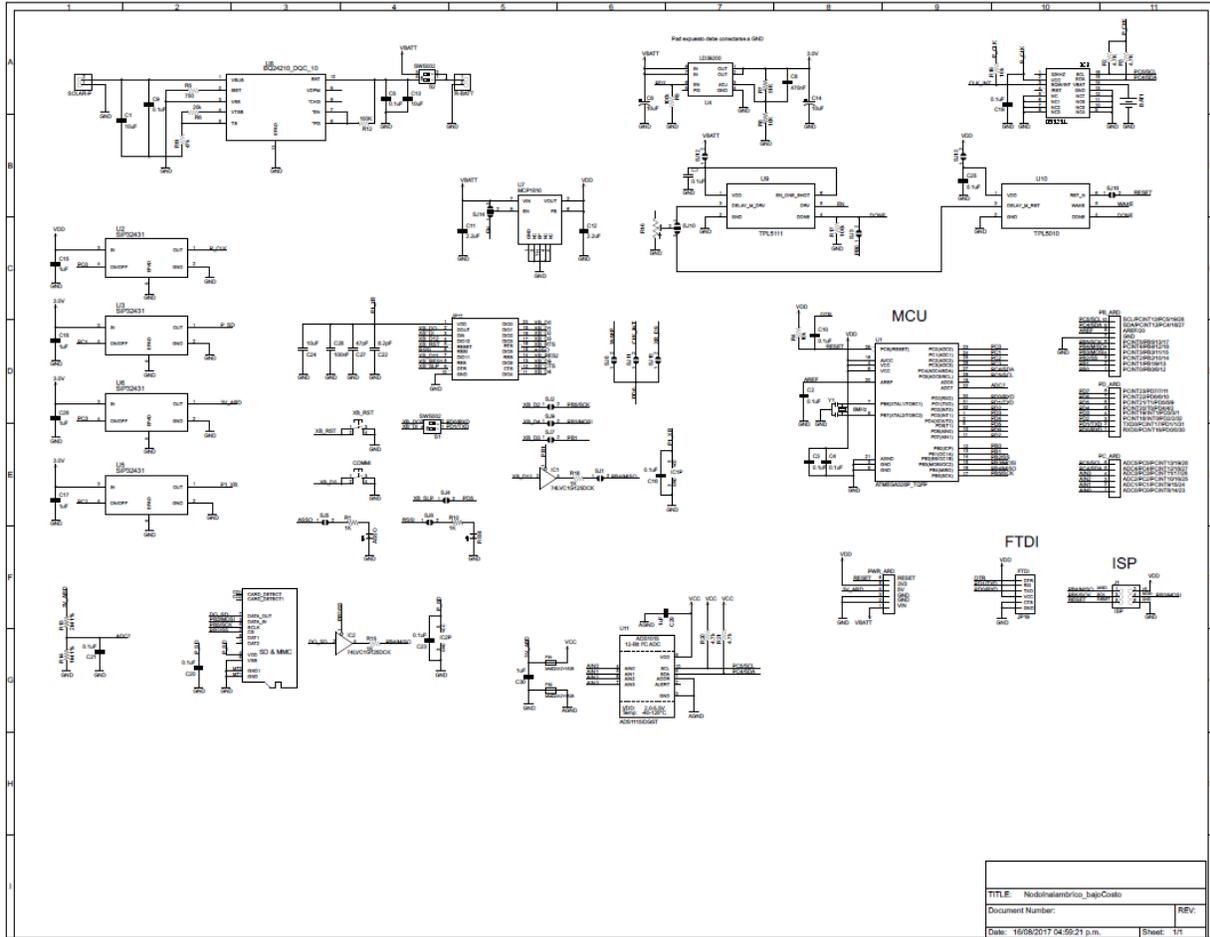
	Soldadura por convección infrarrojo.	
<b>Vías siegas o internas</b> (blind & buried)	3+N+3	
	Resina, tinta de relleno, metalizado de orificio	
<b>Adicionales</b>	Ningun componente debera ir soldado de forma manual	
	La fabricacacion de las placas cumplira con las especificaciones de los planos de fabricacion y los archivos gerber.	
<b>Garantía por sustitución en integración de las tarjetas electrónicas,</b>	componentes dañados en el proceso de fabricación	
	componentes que no cumplan con la marca y modelo de la lista de materiales	
	En relación a fallas de ensamble	

En cuanto a la solicitud de registro de patente del Integrador Digital de Datos Climatológicos, se ha respondido a las objeciones emitidas por parte del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, en esta tercera ocasión. Se espera que la respuesta cubra todas las expectativas del analista y la patente sea expedida en poco tiempo.

Ahora se considera al IDDC como equipo con patente en trámite.



Diseño del circuito electrónico para IDDC VERSION 2. Se modificará y actualizará el software para el nuevo hardware.



Plataforma electrónica programable para sensores climatológicos remotos de ultra bajo consumo eléctrico.

Se visitaron cada uno de los sitios para la recuperación de los dispositivos del sistema Integrador de Datos Climatológicos IDDC en las estaciones climatológicas convencionales de la Cuenca Balsas.

Se adquirieron refacciones para el mantenimiento de los IDDC's de las estaciones climatológicas convencionales recuperados. De doce instalados, se recuperaron doce.

Se efectuó la adquisición de tarjetas de comunicación SIM m2m global( machine to machine ) como servicio de comunicación proveído por MovieStar para la operación remota de los IDDC's. Las SIM m2m global tienen la ventaja de poder conectarse y transmitir a través de cualquier compañía de servicio celular sin que necesariamente sea de MovieStar.

Los dispositivos se encuentran listos para ser reintegrados al sitio de trabajo que indique el equipo de trabajo del observatorio meteorológico de Cuernavaca, perteneciente a la Cuenca Balsas bajo la supervisión de la Conagua y quien a dado el apoyo para probar esta tecnología.

## Conclusiones

Se cubrieron los propósitos del proyecto interno.

Se cuenta ahora con planos de integración para la construcción del prototipo del inclinómetro triaxial, que una vez armado, será probado como dispositivo de monitoreo estructural de obras hidráulicas.

Se mejoró la capacidad de adquisición de datos de las estaciones climatológicas convencionales dando apoyo a los operadores de campo con un dispositivo que facilita la escritura de datos, su resguardo y envío en tiempo real, dando con oportunidad los datos esperados de cada sitio a través del empleo de la página web que se ha mantenido operativa para la presentación de datos climatológicos.

Tanto el desarrollo del medidor de evaporación como la segunda versión de los IDDC's dan un impulso al proceso de adquisición de datos climatológicos necesarios para interpretarlos

con análisis objetivos para predecir el comportamiento local y general de las variaciones del entorno para hacer frente al riesgo de situaciones no previstas.

## Recomendaciones

Seguir impulsando el desarrollo de instrumentación para seguridad hídrica, que permita contar con tecnología propia. De ésta manera no será necesario distraer recursos económicos en mantenimiento o sustitución en tecnologías extranjeras que al tiempo se vuelven costosas y faltas de servicio y soporte técnico.