



Identificación del Trabajo	
Área:	Aplicaciones mecánicas y mecatrónica
Categoría:	Alumno
Regional:	Venado Tuerto

Diseño y desarrollo de sonda de profundidad

**Ing. Emiliano Bonifazi, Ma. Celeste Gualde, Rocío Rodríguez**

Facultad Regional Venado Tuerto, UTN (Laprida 651, Venado Tuerto, Santa Fe)

E-mail de autores: [emilianobonifazi@yahoo.com.ar](mailto:emilianobonifazi@yahoo.com.ar), [celestegualde@gmail.com](mailto:celestegualde@gmail.com), [rociorrodriguez022@gmail.com](mailto:rociorrodriguez022@gmail.com)

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección de la Ing. Vilma Olivieri en el marco del proyecto “Red de Freatímetros Venado Tuerto” (noviembre 2017 – noviembre 2019)

## Resumen

---

El presente trabajo, se enmarca dentro de las actividades del proyecto “Red de Freatímetros Venado Tuerto” (Santa Fe, Argentina). El objetivo del mismo es contar con una red de freatímetros que permita monitorear y evaluar sistemáticamente la variación del nivel de la capa freática y parámetros de calidad de agua. Para ello se adquiere una sonda multiparamétrica. Sin embargo, por cuestiones de costos, este instrumento, no incluye electrodos para medición de altura del nivel freático. Por esto se decide construir un dispositivo para censar profundidad. Se opta por desarrollarlo mediante una placa Arduino debido a su calidad, alcance y bajo costo de inversión, reduciendo ampliamente el error inducido al medir con métodos mucho más elementales. Se verifican experimentalmente resultados satisfactorios con precisión del orden del milímetro.

**Palabras Claves:** red de freatímetros; hidrología; sonda; Arduino.

---

### 1. Introducción

La ciudad de Venado Tuerto, se ha visto afectada en los últimos años por aumento de precipitaciones mayores a la media. Además, ha presentado un crecimiento importante a nivel poblacional y habitacional, que ha generado zonas impermeabilizadas disminuyendo la infiltración y porosidad de los suelos. Se ha generado en el cordón sub urbano y rural, sectores con altas posibilidades de anegamiento y pérdidas materiales. Atento a esto, el proyecto busca contar con una red de freatímetros donde se pueda monitorear y evaluar sistemáticamente la variación del nivel de la capa freática y ciertos parámetros físico-químicos de calidad de agua.

Una de las actividades más importantes dentro de este proyecto es la determinación del nivel piezométrico de la capa freática. A partir de esto, el laboratorio de medio ambiente de la UTN-FRVT adquiere una sonda multiparamétrica que arroja las siguientes magnitudes físico-químicas: pH, conductividad, posicionamiento geográfico, oxígeno disuelto y temperatura. Sin embargo, la misma no realiza mediciones de altura del nivel freático, ya que el instrumental que sí lo hace quedó fuera de alcance del presupuesto del proyecto debido a las oscilaciones de la moneda cambiaria. De esto, surge la necesidad de desarrollar un dispositivo para poder censar profundidad. Se opta por utilizar una placa Arduino, de código abierto basada en hardware y software fácil de usar. La misma puede leer entradas y convertirlo en una salida, ya sea analógica o digital. Se puede decir a la placa qué hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador utilizando el lenguaje de programación Arduino y el software Arduino (IDE).

Debido a la utilización de tecnología libre, se pudo desarrollar una sonda más económica respecto a las existentes en el mercado, manteniendo calidad y precisión.

En una primera etapa de mediciones, la altura piezométrica se obtenía haciendo uso de una cinta métrica y una soga, lo cual inducía un error muy alto debido a problemas de visibilidad y manipulación. Mediante la utilización del nuevo dispositivo se reduce altamente este error.

Los resultados de este proyecto serán de vital importancia para lograr una gestión adecuada de los recursos naturales y económicos teniendo así una previsión de acontecimientos que afecten a la vida de la comunidad y a las políticas públicas.

## **2. Metodología**

La sonda de profundidad desarrollada funciona con el principio de conductividad eléctrica en un medio conductor. El dispositivo está compuesto por un par de electrodos donde se inyecta un determinado valor de corriente proveniente de la batería de alimentación del equipo. Cuando estos electrodos entran en contacto con el agua se cierra el circuito enviando el valor de tensión a la entrada analógica. La magnitud de tensión registrada por los electrodos depende de la conductividad del fluido. Este voltaje es procesado matemáticamente por la placa Arduino que transfiere a una pantalla LCD un dato de conductividad. (Ver *Figura 1*)

La base soporte del instrumento fue construida en chapa plegada. Ésta soporta un carretel de pvc que contiene en su interior la placa Arduino, la batería y la pantalla LCD. Con la necesidad de que el conductor de la sonda sea flexible, se selecciona un conductor plano con un alcance de medición de 20 metros. (Ver *Figura 2* y *Figura 3*).

Este conductor se vincula a dos electrodos de acero inoxidable contenidos en un cuerpo de poliamida 6, el cual garantiza aislación, resistencia y peso necesario para mantener rectilíneo el cable, disminuyendo el error en la medición. A su vez estos componentes están cubiertos por un tubo de acero inoxidable que otorga protección contra posibles impactos (Ver *Figura 4* y *Tabla 1*).

Para obtener la medida de profundidad digitalmente se instala en la base del equipo un juego de tres ruedas donde dos de ellas garantizan el movimiento solidario del cable y la tercera rueda, en la cual está acoplado el encoder. El encoder es un codificador rotatorio, también llamado codificador del eje o generador de pulsos, utilizado para convertir la posición angular de un eje a un código digital.

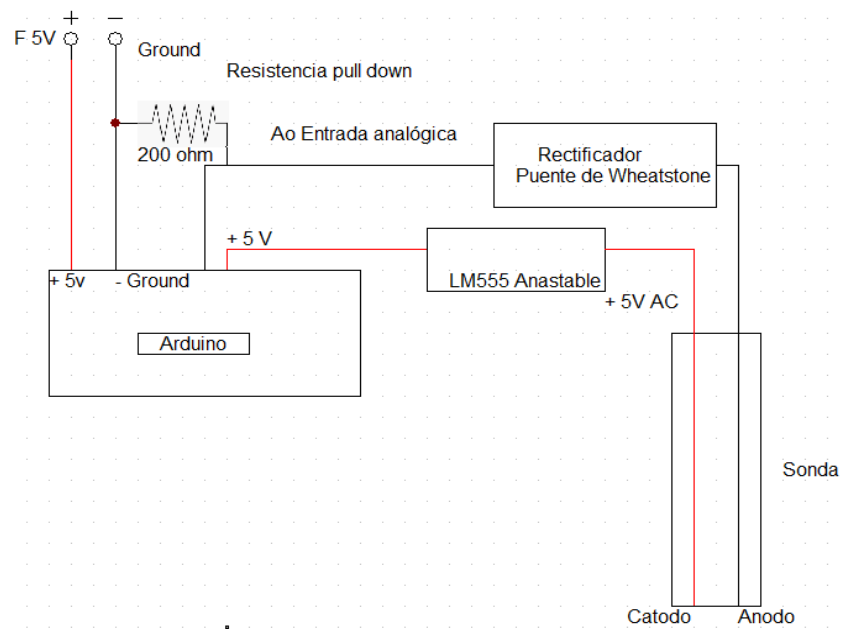


Figura 1. Esquema eléctrico.

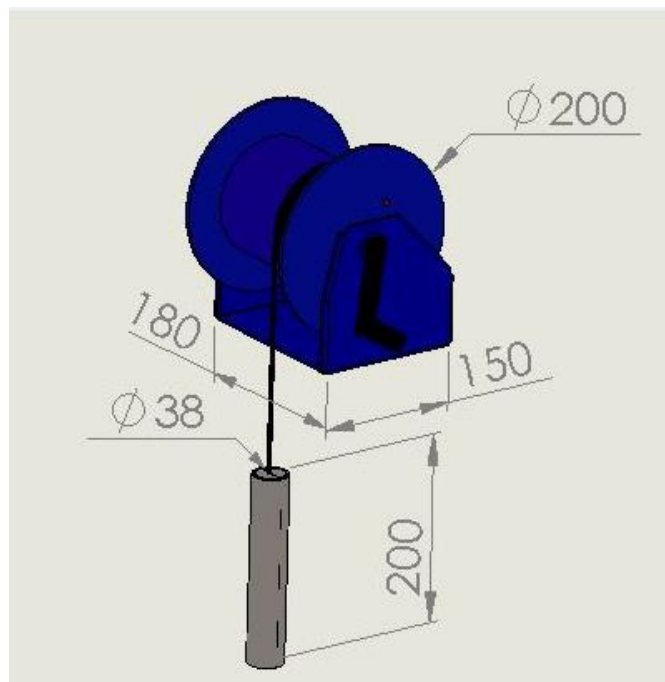


Figura 2. Vista isométrica de la sonda.

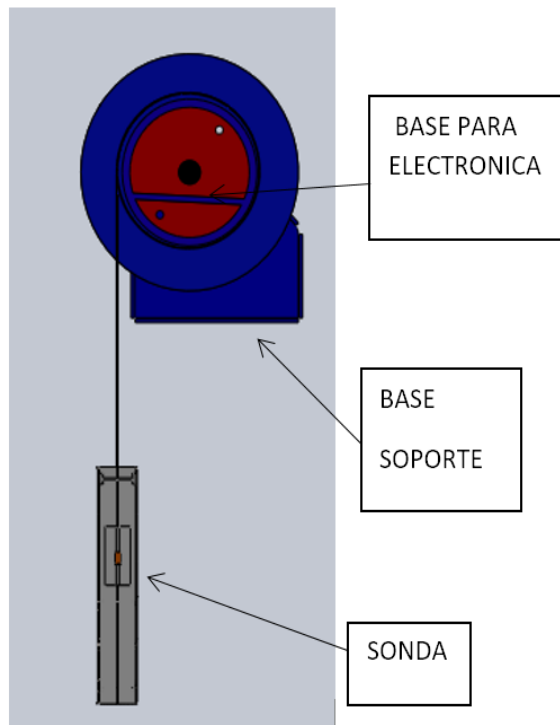


Figura 3. Vista en corte de la sonda.

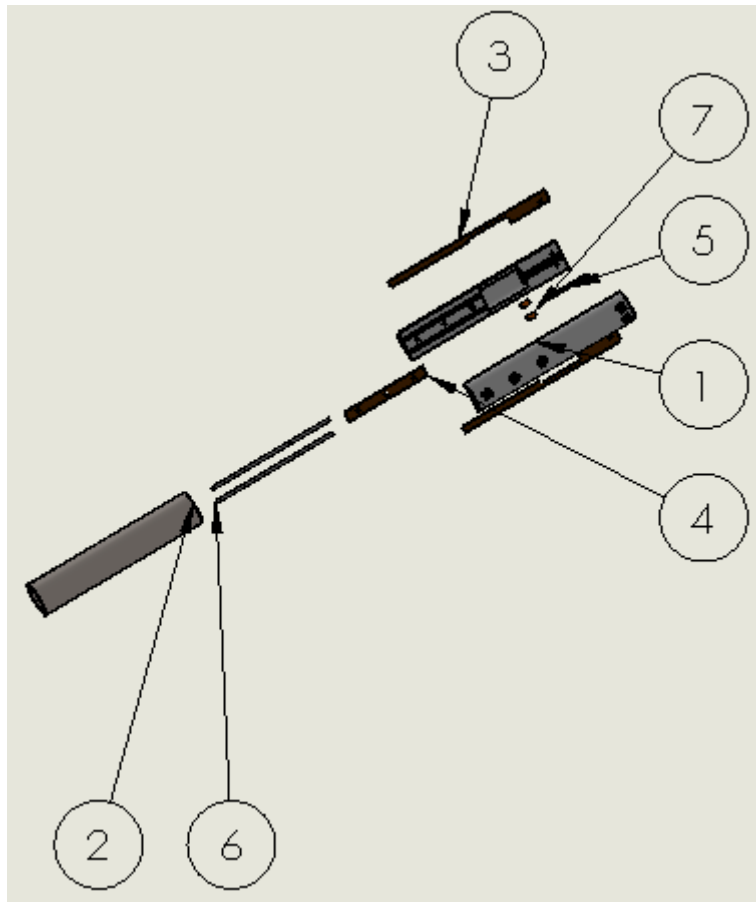


Figura 4. Despiece de la sonda.

Nº. De Elemento	Código de pieza	Descripción	Material	Cantidad
1	SNF_CI	Cuerpo aislante inferior	Poliamidas 6	2
2	SNF_CE	Estructura externa de protección	Acero Inoxidable	1
3	SNF_JI_1	Juntas Externas	Cartón prensado	2
4	SNF_JI_2	Juntas Interna entre electrodos	Cartón prensado	1
5	SNF_JI	Juntas Interna sobre conductor	Cartón prensado	1
6	SNF_E	Electrodos	Acero Inoxidable	2
7	SNF_TPC	Prensa cable tipo virola 3mm	Cobre	2

**Tabla1.** Tabla de despiece de la sonda.

### 3. Resultados

Se realizaron varias pruebas preliminares al diseño definitivo.

Se verificó satisfactoriamente, que debido al principio de conductividad eléctrica se pudo detectar presencia de agua y determinar el nivel de la capa freática de manera instantánea y con una precisión del orden del milímetro.

Este resultado se comprobó mediante un procedimiento experimental, el cual consistió en introducir en un freatómetro la sonda y la cinta métrica conjuntamente. Se observó que una vez alcanzado el nivel de agua si variaba un milímetro la posición vertical de la sonda, los valores de conductividad cambiaban instantáneamente de 0 a 700 bits (siendo la conversión analógica/digital 0 a 3,42 V).

Aunque la sonda tiene un alcance de medición máxima de 20 metros, los niveles habituales obtenidos oscilan entre 1 y 3 metros. Es importante aclarar que el agua subterránea se considera estática dada su baja velocidad de flujo.

### 4. Discusión

El equipo presentó tres grandes problemas a solucionar: la corrosión de los electrodos, el ingreso de corriente estática proveniente del ambiente a la compuerta analógica que produjo valores de tensión erróneos y la dificultad de medir con exactitud la profundidad.

Para solucionar el primer problema se optó por alimentar el cátodo de la sonda con corriente alterna utilizando un circuito integrado LM 555 Astable (Ver *Figura 5*) que tiene la función de transformar corriente continua en corriente alterna. La misma, al invertir la polaridad dado a la oscilación que se produce variando el sentido de la corriente, logra bajar la interferencia redox en los electrodos a diferencia de la corriente continua, que polariza los electrodos, generando corrosión. Además se utilizó acero inoxidable para la construcción de los electrodos.

Una vez obtenida por el ánodo la corriente alterna se debe transformar nuevamente en corriente continua para ser leída por la puerta analógica de la placa Arduino. Esto se logra empleando un circuito rectificador puente de Wheatstone.

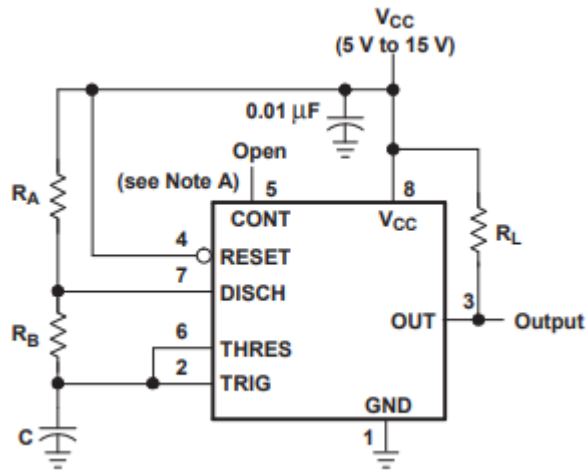


Figura 5. LM 555 Astable.

Respecto al segundo problema mencionado se agregó un circuito Pull Down (Ver Figura 6) que mediante una resistencia logra bajar la interferencia de corrientes parásitas en la placa que producen mediciones erróneas.

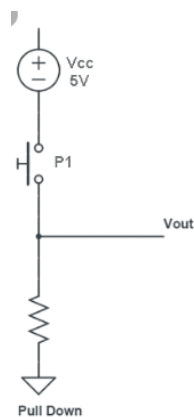


Figura 6. Esquema Pull Down.

Por último se debía solucionar el inconveniente asociado a la medición de la profundidad. Para ello se utilizó un codificador rotatorio de tipo óptico. El desplazamiento de la rueda donde está acoplado el encoder mide longitud de la siguiente manera:

$$L = \pi \cdot d \cdot n^{\circ} \text{ de revoluciones} \quad (1)$$

Donde:

L= longitud lineal de cable que se desplaza dentro del freatímetro.

d = diámetro de la rueda en contacto con el conductor

El principio de funcionamiento vendrá dado por el desplazamiento del conductor sobre una rueda. La misma, solidaria al eje del sensor, transmite a un disco con 20 perforaciones el movimiento. Estas perforaciones interrumpen el paso del haz de luz y al contarlas por la relación expresada en la formula anterior se puede determinar el desplazamiento. (Ver Figura 7)

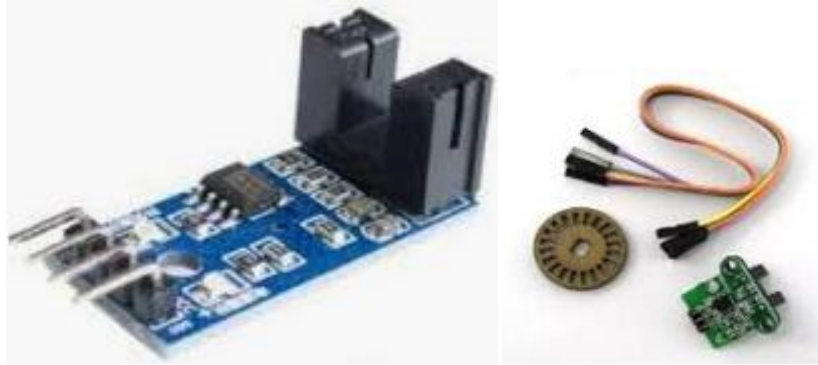


Figura 7. Placa Arduino sensor óptico

## 5. Conclusiones

En el último tiempo se ha registrado un aumento importante del volumen de lluvia y se ha modificado el modo de llover. Debido a esto, el proyecto “Red de Freatímetros Venado Tuerto” busca registrar de manera sistemática el fenómeno hídrico, evaluando la variación del nivel de la capa freática y parámetros físico-químicos de calidad de agua. Conocer, interpretar y predecir situaciones inherentes a los movimientos de ascenso y descenso de la capa freática es de suma importancia, ya que ayuda a los distintos ámbitos institucionales, públicos y privados, a la toma de decisiones.

Es de carácter significativo haber podido diseñar satisfactoriamente la sonda de profundidad ya que el relevamiento de información continua en el tiempo permite el desarrollo de bases de datos que son de importancia para el conocimiento de la dinámica hídrica de la capa freática. Las características del dispositivo resuelven la problemática planteada, habiéndose alcanzado una buena precisión y un bajo costo respecto a los que se encuentran en el mercado, obteniéndose un sistema compacto y una autonomía acorde a las necesidades del proyecto.

El estudio de este trabajo permitirá disminuir los resultados negativos, reales o potenciales, de inundaciones o contaminaciones de la capa freática cuyos beneficiarios directos serán los usuarios de los espacios urbanos y rurales.

Dada la creación de una base de datos se tendrán herramientas tangibles para proyectar políticas tendientes a dar soluciones más integrales a la población en su totalidad así como también permitirá tener un mayor conocimiento del comportamiento de los suelos y aguas, para poder en un futuro tener un mejor manejo del uso de los recursos.

Por último es importante destacar que a partir de la necesidad de resolver una situación presentada por un factor económico externo al proyecto se logró desarrollar una tecnología propia y adecuada al proyecto llevada a cabo por un equipo interdisciplinario compuesto por estudiantes y graduados de Ingeniería Civil, Ingeniería Electromecánica, Geología y Microbiología.

## **Reconocimientos**

Se debe destacar y agradecer ampliamente los aportes del Ingeniero en Sistemas Gastón Gonzales. Además, se reconoce las contribuciones de las Licenciadas en Geología Samanta Del Soldato y Ma. Soledad Gualde y la Microbióloga Mónica Bricca.

## **Bibliografía**

Timothy J. Maloney. (1997). En: Electrónica industrial moderna. Ciudad: Simón & Schuster.

Arduino. (2017). Web: <http://www.arduino.cc/>

Foro Todopic. (2018). Web: <http://www.todopic.com.ar/foros>