

Manual para construir un molinete para el aforo de arroyos

Vicente Dimuro y Paula Barral



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria
Argentina

Estación Experimental
Agropecuaria
Balcarce

Estación Experimental Agropecuaria Balcarce

Abril 2022

Este documento es resultado del financiamiento otorgado por el Estado Nacional, por lo tanto, queda sujeto al cumplimiento de la Ley N° 26.899.

Se enmarca dentro del Programa Nacional de Recursos Naturales, Gestión Ambiental y Ecorregiones y el Proyecto Estructural "Aportes para la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) en cuencas del Sistema Agroalimentario Argentino (2019-PE-E2-I041-001)"

Agradecimientos:

Los autores agradecen el asesoramiento técnico del Grupo de Gestión del Proyecto estructural "Aportes para la gestión integrada de los recursos hídricos(GIRH) en cuencas del Sistema Agroalimentario Argentino" (Código: 2019-PE-E2-I041-001). A Hernán Angelini por buscar los modelos de hélice e imprimirla. A Ximena Sirimarco por realizar las fotografías para ilustrar este manual. Al proyecto PICT 2017-0260 "Ambientes ribereños y su rol en la provisión del servicio ecosistémico purificación de agua: desarrollo de criterios y herramientas para la planificación sostenible de cuencas rurales" por financiar parte de la compra de los insumos.

Catalogación en fuente

Esta publicación
cuenta con licencia:



Manual para construir un molinete para el aforo de arroyos

Autores:

Vicente Dimuro¹

Paula Barral²

Diseño:

Federico Miri³

Fotografía:

Ximena Sirimarco⁴

¹Laboratorio de IoT, INTA Balcarce

²Grupo Recursos Naturales y Gestión Ambiental, INTA Balcarce

³Comunicación, INTA Balcarce

⁴Universidad FASTA



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria
Argentina

Estación Experimental
Agropecuaria
Balcarce

Prólogo

Marino M. Puricelli
Coordinador. Int. PE I041

Roberto S. Martínez
Coordinador. Int. PE I505

El aforo es una actividad fundamental para el conocimiento de los recursos hídricos en general y las dotaciones de riego disponibles en particular. Se necesitan aforar cursos de agua superficial, desde ríos hasta canales, acequias, surcos etc. El instrumental necesario para una medición precisa en tiempo y lugar siempre ha sido un impedimento, por su costo y por la complejidad de su mantenimiento.

Este manual aporta soluciones para lo que, hasta ahora, era un obstáculo grave para la investigación y la práctica de los profesionales del INTA y demás instituciones públicas y privadas involucradas en el uso y conservación del agua. Es de destacarla iniciativa, capacidad técnica y dedicación de un grupo de técnicos y profesionales del INTA que lograron aprovechar las ventajas del acceso a una plataforma que permite la creación de equipos e instrumentos electrónicos de código abierto y basados en software libre, logrando un equipamiento reproducible y accesible económicamente para los distintos grupos de trabajo.

Para los integrantes de los proyectos estructurales del INTA, PE I01 (Aportes para la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) en cuencas del Sistema Agroalimentario Argentino), y PE I505 (Uso y gestión eficiente del agua en sistemas de regadío) es una satisfacción y un orgullo poder contribuir a la materialización de este desarrollo, que siempre se manifestó como una demanda a escala nacional. Este manual, y el esfuerzo, creatividad y conocimiento que representa, queda a disposición de todos los interesados y comprometidos con el conocimiento de los recursos hídricos.



Pasos para la construcción del molinete

Contar con el registro del caudal de los cursos de agua es muy importante para diversas actividades en el marco de la investigación y la gestión de los recursos hídricos. Existen distintos métodos y dispositivos para hacerlo que varían de acuerdo al tipo de curso de agua a medir (ej. abierto vs. cerrado) y los recursos disponibles (ej. tecnología, operarios, dinero). En el presente manual se describen los pasos que guían la construcción de un molinete pensado y diseñado para aforar cursos de agua abiertos (es decir, dónde la superficie del agua está en contacto con la atmósfera). El método de aforo a través de un molinete es una medición indirecta del caudal donde lo que se mide es el número de vueltas que realiza una hélice ("molinete") al ser movida por la corriente de agua. Luego, es necesario, a través de una calibración calcular la velocidad equivalente de ese número de vueltas. Finalmente, con el dato de velocidad y el área de la sección del curso de agua, se estima el valor del caudal. Para una descripción detallada de los distintos métodos de aforo se recomienda leer la publicación "Tecnologías de utilidad en el ámbito rural para el aforo de aguas" de Díaz y colaboradores (*en prensa*).



Paso 1

Lista de materiales

En la siguiente tabla se presenta el listado de materiales utilizados con algunas observaciones y comentarios.

CANT.	NOMBRE	COMENTARIOS
1	Arduino NANO	Ver opción con Arduino Mega 2560
1	Display LCD Nokia 5110	
1	Reloj RTC Ds 3231	
1	Módulo lector de tarjetas Micro SD, para 5 volts	
1	Botón pulsador tactSwitch 6x6x7 mm	
1	Imán de Neodimio 8x2 mm	
1	Hélice plástica	La hélice utilizada fue construida utilizando una impresora 3D, los planos fueron descargados de una página web donde también hay disponibles otros modelos (Luc, 2021).
1	Tecla de encendido	
1	Portapilas para 6 pilas AA	Módulo Power Bank para 2 Baterías 18650 5v/3a 3v/1a Micro Usb
6	6 pilas recargables AA	Se podría mejorar cambiando por 2 pilas (Pila 18650 Recargable 3.7v 4000mah)
1	Cargador de pilas AA	
2	Resistencias 10K	
2 m	Cables para conexión, del tipo telefónico, de distintos colores	
20 mm	Cable 1 mm rojo	
40 mm	Cable 1 mm negro	
1	Pantalla LCD Nokia 5510	
1	Caja estanca 20x20x10, para montar la electrónica del equipo	
1	Bastón (soporte hélice)	Puede ser un palo extensible de pintor, o un caño hierro de 10 / 15 mm de espesor.

Materiales para armar un Arduino Mínimo (*)

Con este Arduino se podría hacer todo el circuito, ya que tiene mayores prestaciones sobre todo de memoria (este es un aspecto a mejorar en la versión del molinete presentada en este manual). En caso de utilizar el Arduino Mega 2560, no sería necesario comprar los componentes para armar el Arduino mínimo, se puede montar toda la electrónica sobre el Mega 2560.

CANT.	NOMBRE
1	Adaptador Conversor UsbTtl Cp2102
1	Microcontrolador Atmega 328P
1	Botón pulsador tactSwitch 6x6x7 mm
1	Oscilador cristal 16000 Mhz
2	Condensadores cerámicos 22pF
1	Capacitor cerámico 104 (0.1 uF/50v)
1	Resistencias 10K

(*) Arduino Mega 2560

Paso 2

Construcción de la estructura del bastón y hélice

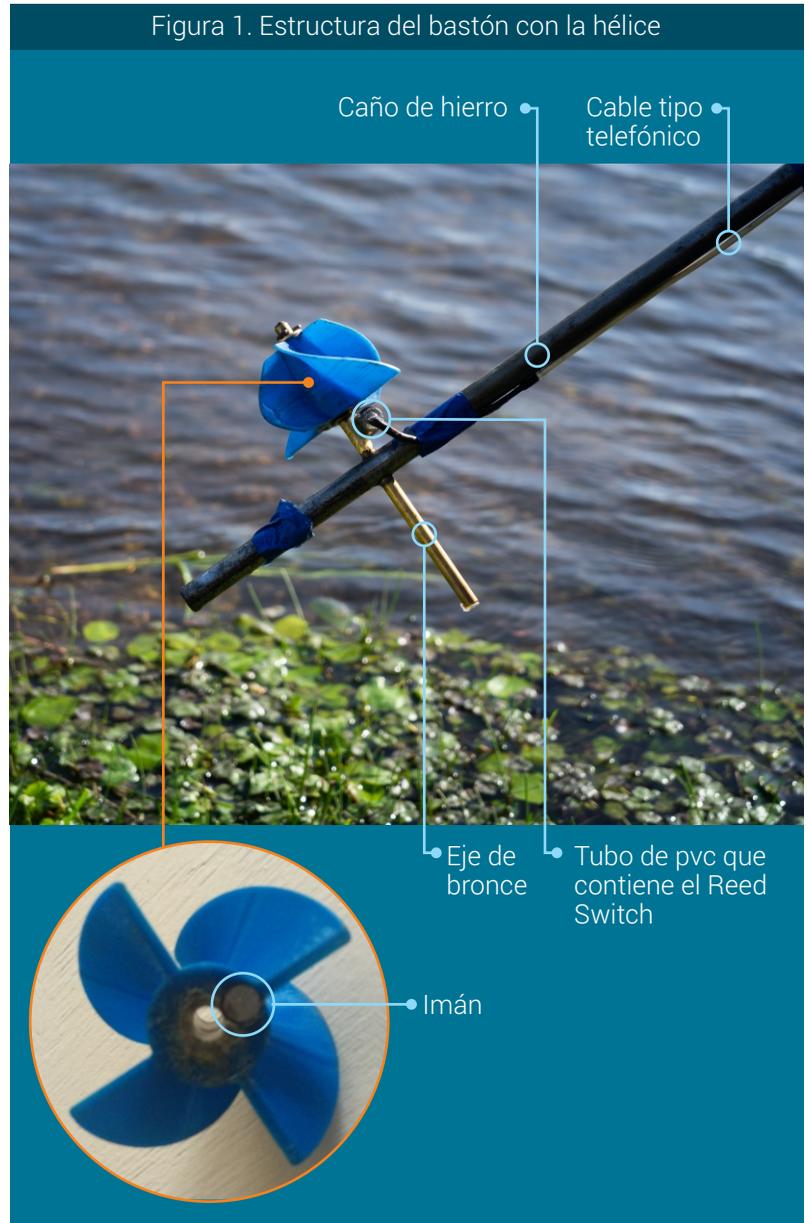
Perforar el caño de hierro a 10 cm de la parte inferior con una mecha 6.5 mm (la distancia a la parte inferior del caño puede variar en función del pelo del agua característico de los cursos de agua que se vayan a aforar).

Insertar un eje de bronce (debe ser de bronce para no generar interferencias en el imán de la hélice) y luego, fijar el eje al bastón (puede utilizarse algún pegamento para metal como loctite o similar).

Cortar un tubo de pvc 30 mm largo y de +-10 mm de diámetro. Dentro del tubo colocar un Reed Switch Normal Abiertoal que previamente se le debe soldar un cable tipo telefónico de 1 par en sus extremos, y sellar con silicona neutra para evitar la entrada de agua. El tubo se debe fijar de forma transversal al eje de bronce, con una distancia de la hélice de 7 mm (esta distancia depende del espesor del tubo de pvc, ya que ese espesor va a interferir en la lectura que haga el Reed Switch al pasar el imán frente a él).

El cable soldado al Reed Switch, es el que enviará las lecturas del giro de la hélice al procesador. Para eso se deberá colocar un imán en la hélice (figura 1).

Figura 1. Estructura del bastón con la hélice

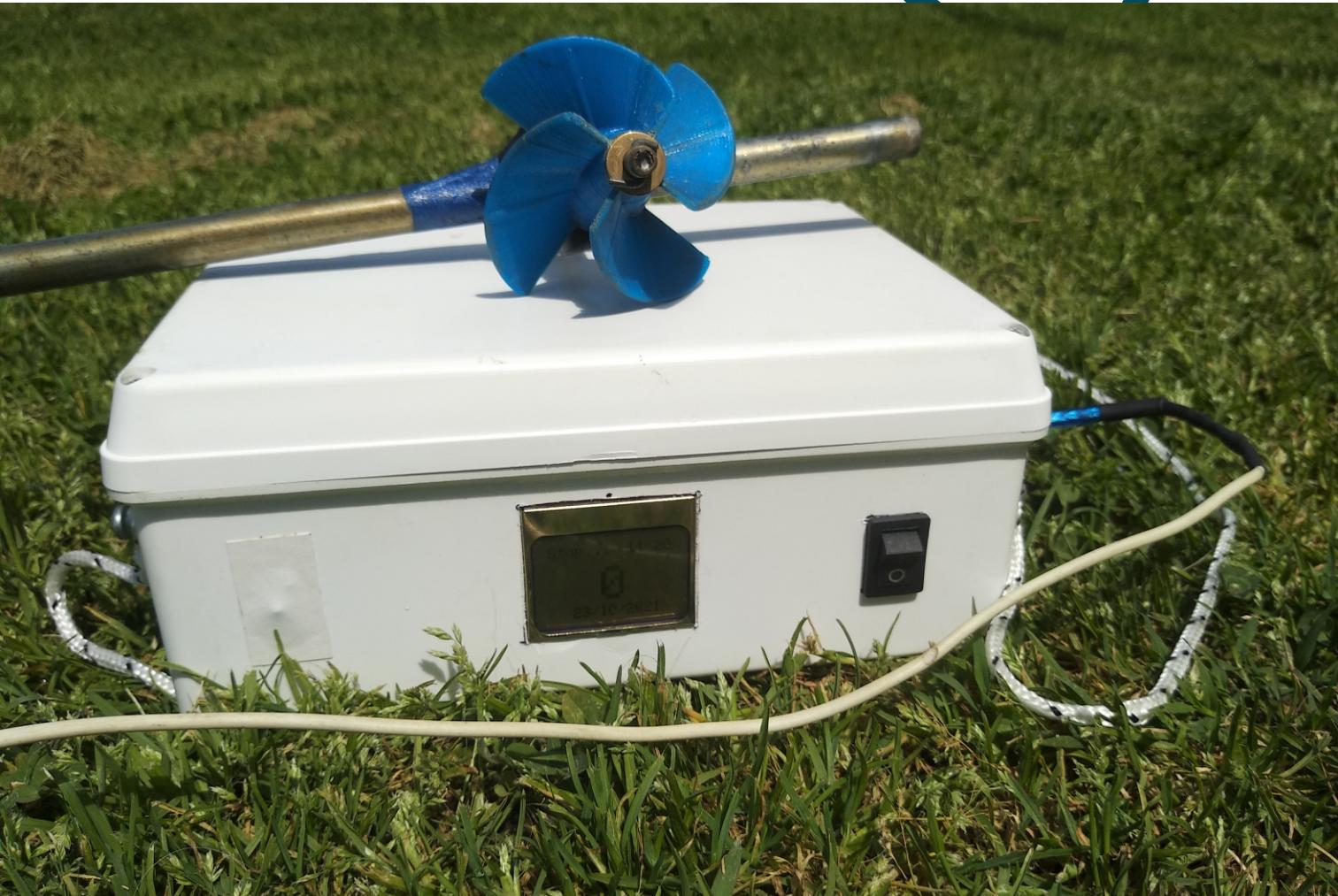
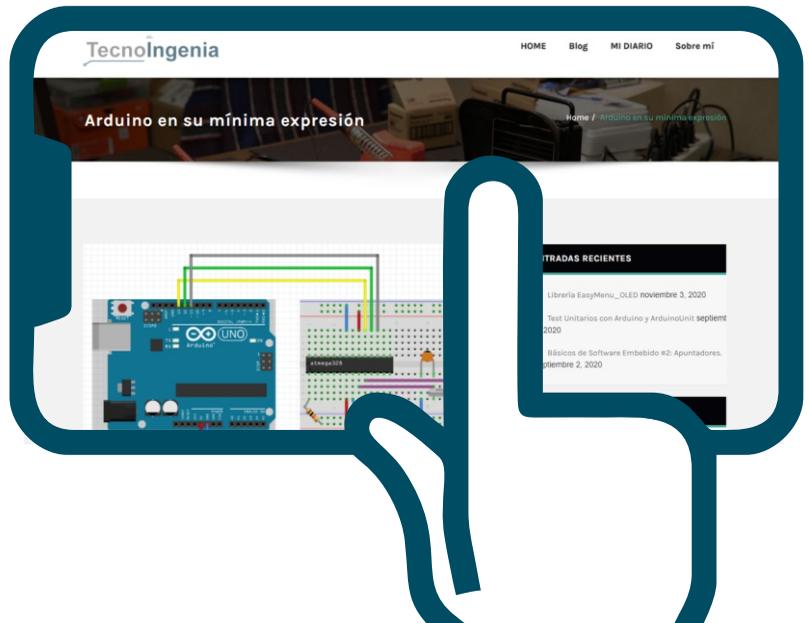


Paso 3

Construcción de un Arduino mínimo (con procesador Atmega 328)

Para la construcción de un Arduino mínimo hay numerosos tutoriales disponibles en Internet (ver por ejemplo: Tecnoingenia, 2021).

Este Arduino se utiliza para recibir los datos del Arduino Nano y grabarlos en la tarjeta SD (donde luego se podrá recuperar y analizar los registros). Para alimentarlo, se utilizó 5 voltios y el GND que entrega el arduino Nano.



Paso 4

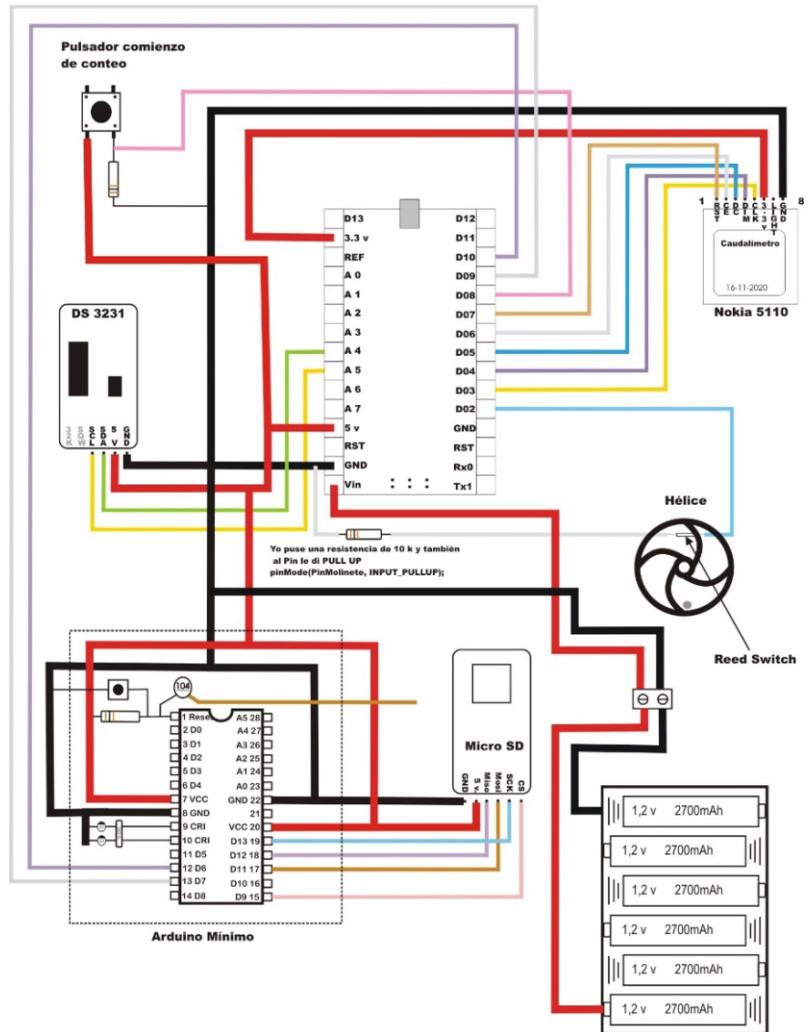
Armado de la Electrónica

Para ensamblar todos los componentes se necesitan algunas herramientas de uso en electrónica:

- ✓ Soldador Lápiz para estaño
- ✓ Alambre de estaño 60/40 de 0,8 mm
- ✓ Lupa con luz (en lo posible con pie)
- ✓ Placa experimental perforada con cobre de 80x100

A continuación, se presenta el plano de montaje de los componentes (figura 2).

Figura 2. Plano de montaje



Paso 5

Programa para Arduino Nano

La función más importante del programa es contar los pulsos que envía la hélice, también manejar la pantalla LCD Nokia 5510, el Reloj DS 3231, el botón de inicio del conteo y la comunicación serie con el Arduino Mínimo.

Código para el Arduino Nano

```
include<SoftwareSerial.h>
SoftwareSerialmySerial(10,9); // Pin 10 -> RX, Pin 9 -> TX
#include<Wire.h>
#include "RTClib.h"
RTC_DS3231 rtc;

#include<Adafruit_GFX.h>
#include<Adafruit_PCD8544.h>
Adafruit_PCD8544 display = Adafruit_PCD8544(3, 4, 5, 6, 7);

int i=0;
bool paso = false;
long tiempo;
bool entro = false;
int val = 0; //val se emplea para almacenar el estado del botón
int estado = 0; // 0 No cuenta vueltas, mientras que 1 cuenta vueltas por X cantidad de segundos
int valAntiguo = 0; // almacena el antiguo valor de val
int UltimaCuenta = 0;
bool GuardaDato = false;
int ano = 0;
int DatoSD = 0;

voidsetup() {
pinMode(10,INPUT);
pinMode(9,OUTPUT);

Serial.begin(9600);
mySerial.begin(9600);

rtc.begin();
pinMode(2, INPUT_PULLUP);
display.begin();
display.setContrast(55);
display.clearDisplay();
display.display();
if (! rtc.begin()) {
  Serial.println(F("No se pudo inicializar el Reloj"));
  while (1);
}

if (rtc.lostPower()) {
  Serial.println("Ajustando la hora del Reloj");
  rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
}
}

voidloop() {
val= digitalRead(8);
if ((val == HIGH) && (valAntiguo == LOW)){
  estado = 1-estado;
  delay(10);
```

Código para el Arduino Nano

```

display.clearDisplay();
display.setCursor(0, 0);
display.print(F("Contando..."));
display.setTextSize(3);
display.setCursor(35, 15);
display.print(F("0"));
display.setTextSize(1);
display.display();
}
valAntiguo = val;
if (estado==1){
int value = digitalRead(2);
if(value == LOW){
if(paso == false){
i++;
paso = true;
if(i==1){
tiempo = millis()+60000;
entro = false;
}
}
}
}else{
paso = false;
}
if(millis() > tiempo & entro==false & i>0){
entro=true;
UltimaCuenta = i;
i = 0;
valAntiguo = 1;
estado = 0;
GuardaDato = true;
}
}else{
display.clearDisplay();
display.setCursor(0, 0);
display.print(F("Stop..."));
display.setTextSize(3);
if(UltimaCuenta<10){
display.setCursor(35, 15);
}else{
if(UltimaCuenta<100){
display.setCursor(25, 15);
}else{
display.setCursor(15, 15);
}
}
}
DateTimenow = rtc.now();
display.print(UltimaCuenta,1);
display.setTextSize(1);
display.setCursor(16, 40);
display.print(now.day(), DEC);
display.print(F("/"));
display.print(now.month(), DEC);

```

Código para el Arduino Nano

```
display.print(F("/"));
display.print(now.year(), DEC);
display.setCursor(53, 0);
display.print(now.hour(), DEC);
display.print(F(":"));
display.print(now.minute(), DEC);
display.display();

if(GuardaDato == true){
  DateTimenow = rtc.now();
  mySerial.print(now.day());
  mySerial.print("/");
  mySerial.print(now.month());
  mySerial.print("/");
  mySerial.print(now.year());
  mySerial.print(" ");
  mySerial.print(now.hour());
  mySerial.print(":");
  mySerial.print(now.minute());
  mySerial.print(" ");
  mySerial.print(UltimaCuenta);
  mySerial.println('\r');
  GuardaDato = false;
  delay(1000);
  mySerial.listen();
  Serial.println(mySerial.isListening());
  if(mySerial.isListening()){
    if (mySerial.available()>0){
      DatoSD = mySerial.read();
      Serial.println(DatoSD);
    }
    if(DatoSD == 48){
      display.clearDisplay();
      display.setCursor(25, 10);
      display.print(F("ERROR"));
      display.setCursor(15, 20);
      display.print(F("en la SD..."));
      display.display();
      delay(5000);
    }
  }
}
}
```

Paso 6

Programa para Arduino Mínimo

Este programa se carga en el Microprocesador Atmega 328. Se encarga de guardar los datos tomados, en una memoria Micro SD con formato:

26/07/2021 16:20:00 42

(Fecha, hora y cantidad de vueltas contadas.)

Además de esto, envía una respuesta si el dato no pudo grabarse ("ERROR en la SD..."), de esta forma la persona que se encuentra realizando el aforo puede observar en la pantalla y anotar el dato manualmente. El error en la SD puede ser por ausencia de la misma, o porque no está bien colocada.

Código para el Arduino Mínimo

```
#include<SoftwareSerial.h>
SoftwareSerialSdSerial(6,7); // Pin 6 -> RX, Pin 7 -> TX
#include<SD.h>
File logFile;
String imprime;
String registro;
int Dato = 0;

voidsetup(){
  pinMode(6,INPUT);
  pinMode(7,OUTPUT);

  Serial.begin(9600);
  SdSerial.begin(9600);

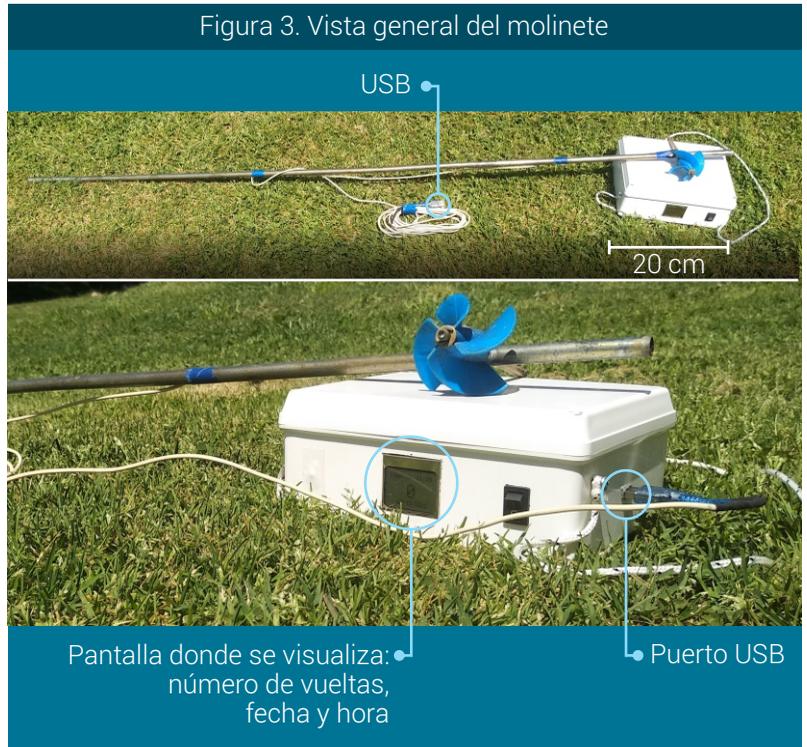
  Serial.print(F("Iniciando SD ..."));
  if(!SD.begin(9)) {
    Serial.println(F("No se pudo inicializar"));
  }
  Serial.println(F("inicializacion exitosa"));
  SdSerial.listen();
}

voidloop(){
  if (SdSerial.available()>0){
    Dato = SdSerial.read();
    if(Dato==48){
      imprime="0";
    }else{
      if(Dato==49){
        imprime="1";
      }else{
        if(Dato==50){
          imprime="2";
        }else{
          if(Dato==51){
            imprime="3";
          }else{
            if(Dato==52){
              imprime="4";
            }else{
              if(Dato==53){
                imprime="5";
              }else{
                if(Dato==54){
                  imprime="6";
                }else{
                  if(Dato==55){
                    imprime="7";
                  }else{
                    if(Dato==56){
                      imprime="8";
                    }else{
                      if(Dato==57){
```

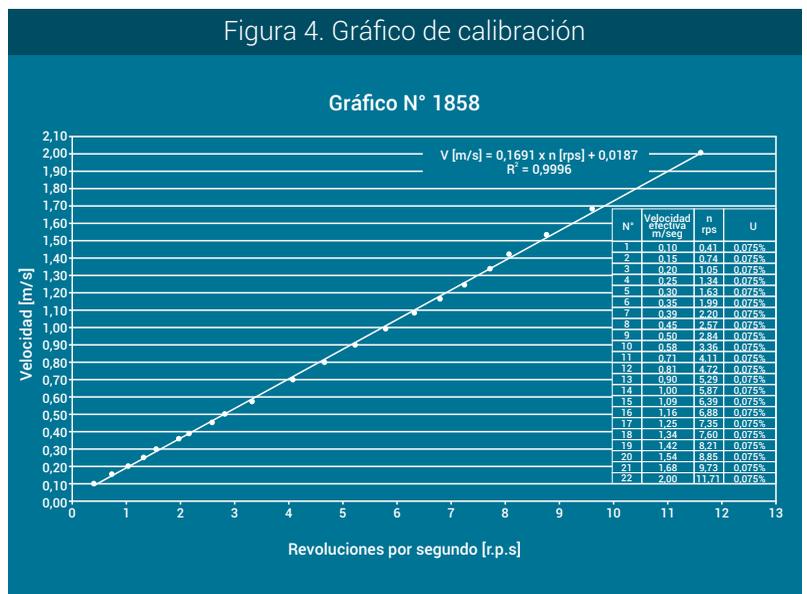

Paso 7

Aspectos generales y calibración

Los componentes electrónicos se ensamblaron dentro de una caja plástica a la cual se le colocó la pantalla LCD y el puerto USB para conectar al bastón con la hélice (figura 3).



Una vez construido el molinete debe ser calibrado para general la ecuación de velocidad, es decir, la relación que permita traducir el número de vueltas por minuto a velocidad (m/s). Existen laboratorios que se encargan de esta tarea, en el caso del molinete presentado en este manual, la calibración la realizó el Laboratorio de Metrología Hidráulica de la Universidad Nacional de San Juan (este laboratorio cuenta con supervisión del Instituto Nacional de Tecnología Industrial). Se utilizaron vías de 100m de longitud, rango de velocidades de 0 a 750cm/seg con una cisterna de 875m³. A continuación se presenta la calibración obtenida en el molinete (figura 4):



Consideraciones finales

En este manual se presentan los pasos para construir un molinete a costos bajos (los costos de construcción y calibración no alcanzaron el 10% del valor de un molinete similar en el mercado) con el objetivo de facilitar el aforo de cursos de agua a los investigadores y los profesionales que se desempeñan en actividades relacionadas al uso y conservación de recursos hídricos. Esperamos que esta versión del manual sea la base para inspirar mejoras futuras, ajustes de acuerdo a distintas necesidades y trabajos colaborativos en este desafío.

Referencias

Díaz, B (Ed.) en prensa. Tecnologías de utilidad en el ámbito rural para el aforo de aguas". Ediciones INTA. 200pp.

Luc, J. 2021. Makerbot Thingiverse.
<https://www.thingiverse.com/make:63967>.

Tecnolngenia. 2021. Arduino en su mínima expresión.
<https://tecnolngenia.com/2019/10/06/arduino-en-su-minima-expresion/>



Contar con el registro del caudal de los cursos de agua es muy importante para diversas actividades en el marco de la investigación y la gestión de los recursos hídricos. Existen distintos métodos y dispositivos para hacerlo que varían de acuerdo al tipo de curso de agua a medir y los recursos disponibles. El instrumental necesario para este tipo de mediciones suele ser un impedimento por su costo y por la complejidad de su mantenimiento. El presente manual intenta ofrecer una solución a este aspecto a partir de la descripción de los pasos que guían la construcción de un molinete reproducible y accesible económicamente para distintos grupos de trabajo.

