Diseño e integración de los algoritmos de control para un equipo de medición de parámetros físico químicos en agua de quebradas

Daniel Armando Martínez Machado

Programa Académico

Ingeniería Electromecánica

Director(es) del trabajo de grado

MSc. Juan Sebastián Botero Valencia

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Diciembre de 2018

RESUMEN

La Valeria es una vereda ubicada en el municipio de caldas en Antioquia, que en la actualidad cuenta con una bocatoma y planta de tratamiento, la cual es la encargada de captar y tratar el agua para distribuir el fluido a varias comunidades del sector. Esta zona no cuenta con un sistema para identificar la calidad del agua ni los elementos necesarios para realizar este estudio. Este proceso de medición inicia con la recolección de agua que se hace desde el afluente, teniendo en cuenta que la captación de esta se realiza bajo las condiciones adversas que provea la naturaleza como lo es el calentamiento global o la contaminación de factores externos que inciden para alterar la composición natural del agua en la quebrada y debido a la incertidumbre que genera el no saber qué calidad de agua está obteniendo esta comunidad, se diseñó un sistema de control y una interfaz autónoma controlada por un procesador que nos permite monitorear y controlar en tiempo real variables físico- químicas del afluente. La estación de monitoreo permite saber cuál es la calidad del agua en esta zona, saber si el agua es apta para el consumo humano, si se promueve el cuidado de nuestras fuentes hídricas, y la proliferación de la vida acuática. Con la estación de monitoreo pretendemos hacer un aporte muy valioso en pro de la conservación y el cuidado del medio ambiente.

Palabras clave: Captación, calidad de agua, fuentes hídricas, raspberry, sensores, modem de comunicación, arduino, lenguaje de programación.

RECONOCIMIENTOS

A la docente Juliana Valencia Aguirre, asesora Metodológica, por su Apoyo, Orientación y Dirección durante el desarrollo del presente Proyecto.

Al docente Juan Sebastián Botero Valencia, asesor metodológico, por creer en la idea del producto, por interés y guía clara durante el desarrollo del presente Proyecto.
A SIATA y el Área Metropolitana por permitir realizar el estudio y brindarnos los recursos necesarios para que este proyecto se hiciese real.

A Todos aquellas personas que nos brindaron su apoyo durante el proceso de investigación de nuestro trabajo de Grado.

A nuestras Familias, por su apoyo incondicional.

ACRÓNIMOS

SIATA: Sistema de alerta temprana del valle de aburra

Rassberry: Ordenador o Computadora de tamaño reducido

Python: Lenguaje de programación

Arduino due: Micro controlador de núcleo ARM de 32 Bit

C++: lenguaje de programación para la adquisición de datos

Modem: Dispositivo para comunicación a distancia

PH: Medida de Acidez o alcalinidad de una solución

ORP: Potencial de Oxidación/Reducción

CE: Conductividad Eléctrica

OD: Oxígeno Disuelto

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

1. INTRODUCCIÓN

Según el propósito del afluente, abastecimiento de agua y/o generación de energía hidroeléctrica, el monitoreo de calidad del agua es de vital importancia. Constatar el estado físico-químico del agua de las quebradas permanentemente permite, en caso de agua para abastecimiento de la población, prevenir enfermedades y garantizar la calidad de vida para el ser humano (Fernández-Crehuet, 1999). Para el caso de la captación de agua o generación de energía, permite prevenir el desgaste y corrosión de los equipos encargados de la potabilización, control de operación y mantenimiento de la bocatoma en el largo plazo (Pérez-López, 2016).

La calidad del agua en una quebrada depende, entre otros, de los procesos de intercambio, transporte y mezcla de nutrientes a través del cuerpo de agua. Dichos procesos generan una variación tanto en la dinámica de la estructura térmica (diferencia de temperatura a través del cuerpo de agua), como en la conductividad eléctrica del agua (Patterson, 1989). Los cambios de temperatura del agua están asociados a tres factores: la fracción de radiación de onda corta recibida del sol, la radiación de onda larga emitida por la nubes y los gases atmosféricos, los cuales aportan energía al sistema. Mientras la evaporación, el calor sensible y la radiación desde la superficie le restan energía al sistema (R. Román, 2011).

Por otra parte la conductividad eléctrica del agua está asociada a la concentración de iones y de sales, entregando así un indicador de la calidad del agua en función de su composición química (Gray, 2006)). Por ello, medir estas variables permite conocer mejor la dinámica de dichos procesos en el cuerpo de agua. El PH indica la alcalinidad o acidez del agua y denota reacciones biológicas y químicas (Goib Wiranto, 2015). En la actualidad los sistemas para monitorear la calidad del agua no son integrados, necesitan mucho tiempo de intervención humana y llevar a la realidad esta idea es costoso, Por ende se

proponen sistemas integrados, de bajo costo y confiables para el monitoreo de parámetros que garanticen una buena calidad del agua. (Yiheng Qin, 2018)

Considerando el argumento anterior, en este trabajo fue desarrollado un equipo para monitorear la calidad del agua en quebradas, para lo cual fue realizado el diseño de algoritmos de control para la adquisición de los datos de las variables de pH, oxígeno disuelto, potencial de oxidación y reducción, conductividad eléctrica y temperatura, donde se estableció el envío de la información sensada en tiempo real a un servidor remoto.

Teniendo en cuenta la problemática con la calidad de agua en las quebradas se plantearon los siguientes objetivos:

1.1 Objetivo general

Diseñar y fabricar un equipo de medición multíparamétrica capaz de sensar, procesar y transmitir variables físico-químico, haciendo uso de elementos finales de control y algoritmos de programación en lenguajes C++ y Python que permita supervisar, alertar y tomar acciones sobre la calidad del agua de la quebrada.

1.2 Objetivos específicos

- Diseñar los algoritmos de control y adquisición de la señal de los 5 sensores utilizados en la estación de monitoreo.

- Desarrollar algoritmo para procesamiento, almacenamiento y envió de las tramas con la información de los sensores.

- Realizar pruebas para la implementación y validación de los procesos de comunicación vía GPRS entre modem de la estación y servidores de SIATA.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ¿Por qué es necesario monitorear la calidad del Agua?

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico. (ONU, 2005-2015)

La mitad de la humanidad vive en la actualidad en ciudades y, dentro de dos décadas, casi el 60% de la población mundial habitará en núcleos urbanos. El crecimiento urbano es mayor en los países en desarrollo, donde las ciudades aumentan su población a un promedio de 5 millones de habitantes al mes. La explosión del crecimiento urbano conlleva unos desafíos sin precedentes entre los que la falta de suministro de agua y saneamiento es el más urgente y lesivo.

Dos son los principales desafíos en materia de agua que afectan a la sostenibilidad de los asentamientos urbanos: la falta de acceso a agua saludable con saneamiento y el aumento de desastres relacionados con el agua como inundaciones y sequías. Estos problemas conllevan enormes y trágicas consecuencias para la salud y el bienestar humanos, la seguridad, el medio ambiente, el crecimiento económico y el desarrollo. La falta de servicios adecuados de suministro de agua y saneamiento conduce a enfermedades como la diarrea o brotes de malaria y de cólera

Los que más sufren los desafíos que representa el agua son las poblaciones de bajos recursos de las ciudades que, con frecuencia, viven en zonas suburbanas o en asentamientos irregulares en rápido proceso de expansión y donde no están cubiertas las necesidades más básicas para la vida como un agua potable saludable, un saneamiento adecuado, el acceso a servicios de salud, una vivienda duradera y segura.

Las ciudades no se pueden considerar sostenibles si no garantizan un acceso fiable al agua potable y un saneamiento adecuado. Lidiar con las necesidades crecientes de los servicios de agua y saneamiento de las ciudades es una de las cuestiones prioritarias de este siglo. La gestión sostenible, eficiente y equitativa del agua en las ciudades no ha sido nunca tan importante como lo es en el panorama mundial actual (ONU, 2015)

2.2 Razones para la integración de un sistema multiparametrico de monitoreo del Agua

Como lo indica (Randhawa, Sandha, & Srivastava, 2016) el enfoque tradicional de monitorear la calidad del agua ha sido a través de pruebas de laboratorio de muestras de agua recolectadas. Aunque esta técnica ofrece un rango de prueba completo que incluye parámetros biológicos, químicos y físicos, no es práctico para medir varios puntos a lo largo de un largo tramo de cuerpo de agua. Además, el muestreo basado en el laboratorio puede llevar varios días y algunos parámetros pueden mostrar menor precisión que el muestreo en sitio. En los últimos tiempos, los sensores en tiempo real para monitoreo ambiental están comenzando a ganar popularidad debido al rápido avance en la tecnología de sensores. La recopilación continua de datos de calidad del agua se puede usar para monitorear el estado de un ecosistema fluvial, establecer tendencias y determinar aspectos específicos relacionados con la detección de eventos como vertimientos de ARD, productos químicos o desbordamientos de tierra.

Muchas tecnologías convencionales de monitoreo de la calidad del agua carecen de integración, requieren constante mano de obra, tiempo y son de alto costo. Típicamente en muchos sistemas solo un parámetro como el pH se mide. Estas limitaciones técnicas y económicas plantean desafíos inminentes para mantener una alta calidad del agua en ciudades muy pobladas (gran consumo de agua y rápida degradación de la calidad del agua) y en áreas remotas

Por lo tanto, sistemas de detección integrados de bajo costo, altamente sensibles, precisos, confiables, fáciles de usar son necesarios para el monitoreo regular / continuo de múltiples parámetros de calidad del agua en múltiples ubicaciones para garantizar la seguridad continua del agua. (Yiheng Qin, 2018)

En este trabajo se realiza un sistema integrado de medición mutiparamétrica que puede medir de manera simultánea y en tiempo real, pH, conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto y potencial de oxidación reducción, una alternativa confiable y de bajo costo que puede ser utilizada en nuestras quebradas

2.3 Sensores Analógicos

Sensor de Oxígeno disuelto

Una sonda de oxígeno disuelto galvánica consiste en una membrana de polietileno, un ánodo bañado en un electrolito y un cátodo. Las moléculas de oxígeno se desactivan a través de las sondas de la membrana a una velocidad constante (sin la membrana, la reacción sucede rápidamente).

Una vez que las moléculas de oxígeno han cruzado la membrana, se reducen al cátodo y una pequeña tensión que se produce. Si no hay moléculas de oxígeno presentes, la sonda dará una salida de 0 mV. A medida que aumenta el oxígeno, también lo hace la salida de mV de la sonda. La sonda emitirá un voltaje diferente en presencia de oxígeno. Lo único que es constante es que 0mV = 0 Oxígeno.

Esta sonda de oxígeno disuelto galvánica es un dispositivo pasivo que genera un pequeño voltaje de 0mv - 40+ mv dependiendo de la saturación de oxígeno de la membrana de detección de teflón. Esta tensión puede leerse fácilmente con un multímetro o un convertidor analógico a digital. (Atlas Scientific Enviromental Robtics, 2018) , en la imagen 1 y la tabla 1 se indican las características técnicas del sensor de O.D empleado.

Imagen 1. Sensor de OD (Atlas Scientific, 2018)

Nombre del quipo	**Sonda Oxígeno Disuelto**
Marca del equipo	Atlas Scientific
Lectura	Oxígeno Disuelto
Rango	0 – 100 mg/L
Tiempo de respuesta	~0.3 mg/L/por segundo
Max Presión	3,447 kPa (500 PSI)
Max Profundidad	343 metros (1,125 ft)
Rango de Temperatura	1 – 50 °C
Largo de Cable	1 metro
Sensor de Temperatura Interno	No
Tiempo antes de recalibración	~1 año
Expectativa de Vida	5 años +
Tiempo de mantenimiento	~18 Meses
Peso	52 gramos
Dimensiones	16.5mm x 114mm (0.5" x 4.48")
Conector BNC	Yes
Esterilización	Solo Químico
Tipo de membrana	Teflón

Tabla 1. Especificaciones técnicas sensor OD (Atlas Scientific, 2018)

Sensor de Conductividad

Una sonda E.C. (conductividad eléctrica) mide la conductividad eléctrica en una solución. Se usa comúnmente en hidroponía, acuicultura y sistemas de agua dulce para monitorear Cantidad de nutrientes, sales o impurezas en el agua, dentro de la sonda de conductividad dos electrodos están colocados uno frente al otro, se aplica una tensión de CA a los electrodos que hace que los cationes se muevan hacia la parte negativa del electrodo cargado, mientras que los aniones se mueven al electrodo positivo. Cuanto más libre electrolito que contiene el líquido, mayor será la conductividad eléctrica (Atlas Scientific Environmental Robotics, 2017). En la tabla 2 se presentan las especificaciones técnicas del sensor de C.E empleado.

Nombre del quipo	**Sonda Conductividad K 1.0**
Marca del equipo	Atlas Scientific
Lectura	Conductividad
Rango	5 – 200,000 µS/cm
Tiempo de respuesta	90% in 1s
Max Presión	3,447 kPa (500 PSI)
Max Profundidad	343 metros (1,125 ft)
Rango de Temperatura	1 – 110 °C
Largo de Cable	1 meter
Sensor de Temperatura Interno	No
Tiempo antes de recalibración	N/A
Expectativa de Vida	~10 años
Tiempo de mantenimiento	~10 Meses
Peso	51 gramos
Dimensiones	12mm x 150mm (0.47" x 6")
Conector BNC	Yes
Esterilización	Solo Químico
Tipo de membrana	N/A

Tabla 2. Especificaciones técnicas Sensor Conductividad (Atlas Scientific, 2017)

Sensor de PH

La sonda de pH (potencial de hidrógeno) mide la actividad de iones de hidrógeno en un líquido. Esta membrana de vidrio permite que los iones de hidrógeno líquido que se está midiendo se disuelvan en la capa externa del vidrio, mientras que los iones más grandes permanecen en la solución. La diferencia en la concentración de iones de hidrógeno (fuera de la sonda frente a la sonda) crea una corriente muy pequeña. Esta corriente es proporcional a la concentración de iones de hidrógeno en el líquido que se mide.
(Atlas Scientific Environmental Robotics , 2018) . En la imagen 2 se presenta los tipos de pH que existen.

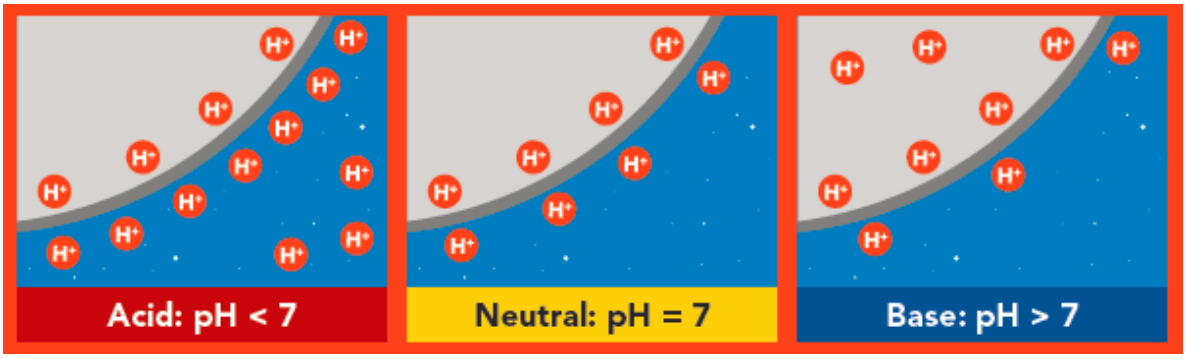


Imagen 2. Tipos de pH (Atlas Scientific, 2018

La corriente que se genera a partir de la actividad de iones de hidrógeno es el recíproco de esa actividad y se puede predecir usando la ecuación1 indicada a continuación:

$$E = E^0 + \frac{RT}{F}\ln(\alpha_{H+}) = E^0 - \frac{2.303\,RT}{F}\text{PH}$$

Ecuación 1. Conductividad Eléctrica (Atlas Scientific, 2018)

Dónde:

R es la constante de gas ideal.

T es la temperatura en Kelvin.

F es la constante de Faraday.

Una sonda de pH es un dispositivo pasivo que puede captar tensiones que se transmiten a través de la solución que se mide, en la imagen 3 y la tabla 3 se indican las especificaciones técnicas de la sonda empleada.

Imagen 3. Sensor de pH (Atlas Scientific, 2018)

Nombre del quipo	Sonda PH Industrial
Marca del equipo	Atlas Scientific
Lectura	pH
Rango	0-14
Resolución	+/- 0.0001
Tiempo de respuesta	95% in 1s
Max Presión	100 PSI
Max Profundidad	60m (197 ft)
Rango de Temperatura	1 – 99 °C
Largo de Cable	3 metros
Sensor de Temperatura Interno	SI (PT1000)
Tiempo antes de recalibración	~1 año
Expectativa de Vida	~ 4 años
Tiempo de mantenimiento	N/A
Peso	250 gramos
Cuerpo material	Ryton termoplástico
Tipo de sonda temperatura	Clase A platino, RTD
Esterilización	Solo Químico

Tabla 3. Especificaciones técnicas sensor pH (Atlas Scientific, 2018)

Sensor de ORP

ORP significa potencial de oxidación / reducción. La oxidación es la pérdida de electrones y la reducción es la ganancia de electrones. La salida de la sonda se representa en milivoltios y puede ser positivo o negativo Al igual que una sonda de pH mide la actividad de iones de hidrógeno en un líquido; una sonda de ORP mide actividad de electrones en un líquido. Las lecturas de ORP representan cuán fuertemente son los electrones transferidos hacia o desde sustancias en un líquido.

Teniendo en cuenta que las lecturas no indica la cantidad de electrones disponibles para la transferencia. (Atlas Scientific Environmental Robotics, 2017). En la imagen 4 y la tabla 4 se presentan las especificaciones técnicas de la sonda empleada.

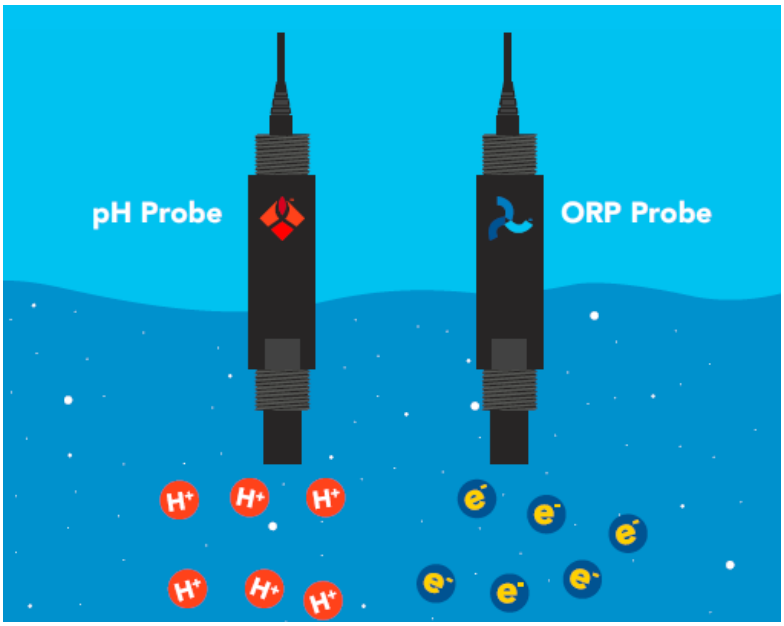


Imagen 4.Sensor de ORP (Atlas Scientific, 2017)

Nombre del quipo	**Sonda de ORP (potencial de oxidacion-reduccion**
Marca del equipo	Atlas Scientific
Lectura	ORP
Rango	+/- 2000 mV
Temperatura. Exactitud	+/- (0.15 + (0.002 * t))
Tiempo de respuesta	95% in 1s
Max Presión	100 PSI
Max Profundidad	60m (197 ft)
Rango de Temperatura	1 – 99 °C
Largo de Cable	3 metros
Sensor de Temperatura Interno	SI (PT1000)
Tiempo antes de recalibración	~1 año
Expectativa de Vida	~ 4 años
Tiempo de mantenimiento	N/A
Peso	250 gramos
Cuerpo material	Ryton termoplástico
Tipo de sonda temperatura	Clase A platino, RTD
Esterilización	Solo Químico

Tabla 4. Especificaciones técnica Sensor de ORP (Atlas Scientific, 2017)

Sensor de Temperatura

A diferencia de cualquier otro material, la correlación de platinos entre resistencia y temperatura parece estar entretejido en la estructura del universo. Es por esta razón, que el sensor de temperatura RTD de platino es el estándar industrial para la medición de temperatura; En la imagen 5 se presenta el sensor empleado para nuestra medición.

Imagen 5. Sensor PT-1000(Atlas Scientifi, 2017)

La sonda de temperatura PT-1000 es un termómetro de resistencia. Donde PT significa Platino y 1000 es la resistencia medida de la sonda a 0˚C en ohmios (1k a 0˚C). Como se indica en la imagen 6 a medida que cambia la temperatura, cambia la resistencia del platino (Atlas Scientific Environmental Robotics, 2017)

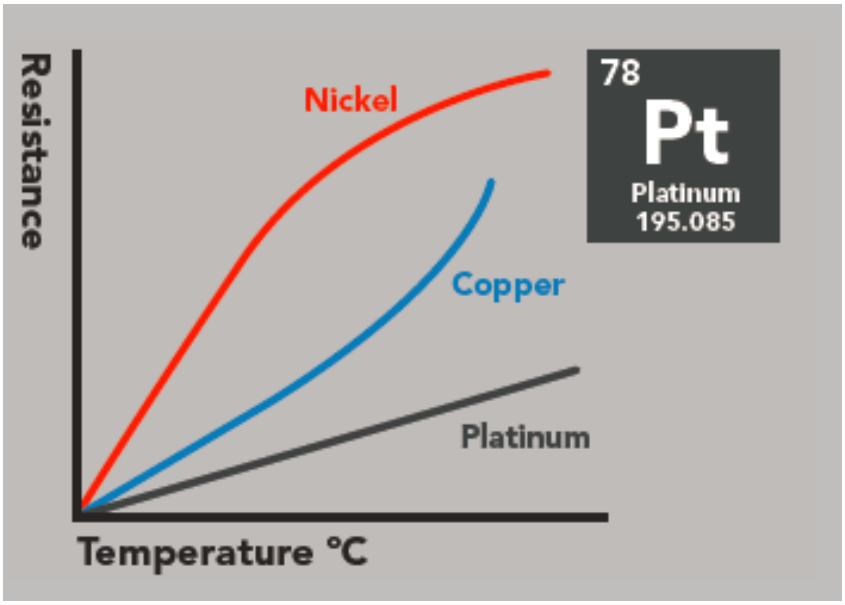


Imagen 6. Curva Resistencia -Temperatura Platino (Atlas Scientific, 2017)

Para convertir la resistencia de la sonda a temperatura se usa la ecuación 2 indicada a continuación:

$$T = -\frac{\sqrt{(-0.00232(R) + 17.59246)} - 3.908}{0.00116}$$

Ecuación 2. Temperatura PT-1000(Atlas Scientific, 2017)

T = Grados Celsius

R = Resistencia medida a partir de la sonda de temperatura PT-1000

A continuación, se muestran las tablas 5 y 6 donde indicamos la relación de temperaturas con resistencia y la descripción técnica del sensor utilizado.

˚C	Ω	˚C	Ω	˚C	Ω
-10	960.9	7	1027.3	24	1093.5
-9	964.8	8	1031.2	25	1097.3
-8	968.7	9	1035.1	26	1101.2
-7	972.6	10	1039	27	1105.1
-6	976.5	11	1042.9	28	1109
-5	980.4	12	1046.8	29	1112.8
-4	984.4	13	1050.7	30	1116.7
-3	988.3	14	1054.6	31	1120.6
-2	992.2	15	1058.5	32	1124.5
-1	996.1	16	1062.4	33	1128.3
0	1000	17	1066.3	34	1132.2
1	1003.9	18	1070.2	35	1136.1
2	1007.8	19	1074	36	1139.9
3	1011.7	20	1077.9	37	1143.8
4	1015.6	21	1081.8	38	1147.7
5	1019.5	22	1085.7	39	1151.5
6	1023.4	23	1089.6	40	1155.4

Tabla 5. Temperatura - Resistencia sensor PT-1000(Atlas Scientific, 2017)

Nombre del quipo	**Sonda de temperatura**
Marca del equipo	Atlas Scientific
Lectura	Temperatura
Rango	-200˚C a 850˚C
Tipo de Sensor	Clase A platino, RTD
Exactitud	+/- (0.15 + (0.002*t))
Tiempo de Reacción	90% in 13s
Largo de Cable	3 metros
Salida	Análoga
Largo de Cable	3 metros
Tiempo antes de recalibración	~3-5 años
Expectativa de Vida	15 años
Tiempo de mantenimiento	NA
Peso	40 gramos
Cuerpo material	304 SS
Dimensiones	6mm x 81cm (0.2" x 32")
Tipo de Conector	BCN
Esterilización	Químico /Autoclave

Tabla6. Descripción Sensor PT-1000 (Atlas Scientific, 2017)

2.4 ¿Qué es una Rasberry pi 3 Modelo B?

El Raspberry Pi 3 Modelo B es una computadora personal completa del tamaño de una pequeña placa de circuito, compuesto por un procesador Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit, 4 puertos USB, conexión HDMI, Ethernet y mucho más. Funciona con distintas sistemas operativos (Linux, Raspbian) y soporta herramientas de software libre como KOffice, Python, GNU IceCat, etc.

El Raspberry Pi 3 Modelo B es la tercera generación de Raspberry Pi, salió al mercado para reemplazar al modelo 2 B en febrero del 2016. Gracias a su procesador, soporta el rango completo de distribuciones ARM GNU/Linux, incluyendo Snappy Ubuntu Core, así tan bien como Microsoft Windows 10. Permite un uso flexible, Juegos, Multimedia, Trabajo, Educación, Proyectos, etc. (Rasberry pi Fundation , 2018). En la imagen 7 y tabla 7 podemos referenciar el equipo y su descripción técnica utilizado en el proyecto.

Imagen 7. Rasberry pi 3 modelo B

Nombre del equipo	Rasberry pi 3 modelo B
Procesador	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GH
Memoria	1GB LPDDR2 SDRA
Conectividad	2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BL Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput 300Mbps) 4 × USB 2.0 ports
Accesos	Encabezado GPIO de 40 pines
Video y sonido	1 puerto HDMI tamaño completo 1 puerto de visualización MIPI CSI Salida estéreo de 4 polos y puerto de video compuesto.
Multimedia	H.264, MPEG-4 decode (1080p30); H.264 encode (1080p30); OpenGL ES 1.1, 2.0 graphics
Soporte de salida SD	Formato Micro SD para cargar el sistema operativo y el almacenamiento de datos
Alimentación eléctrica	5V/2.5A vía micro conector USB 5V/DC vía pines GPIO Puerto Ethernet
Temperatura de Operación	0–50°C
Vida de Producción	La Raspberry Pi 3 Modelo B + permanecerá en producción hasta al menos enero de 2023

Tabla 7. Especificaciones técnicas Rasberry pi3 modelo B (Rasberry pi ,2018)

2.5 ¿Qué es un arduino DUE?

El arduino due es un sistema electrónico basado en la CPU Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3. Es una placa basada en un micro controlador de núcleo ARM de 32 bits, el cual cuenta con 54 pines digitales de entrada y salida donde 12 de estos pines pueden ser utilizados como salidas PWM (este tipo de salidas permiten generar salidas analógicas desde pines digitales), 12 entradas analógicas, 4 puertos seriales de hardware, una conexión que me permite el paso de digital a analógico. Un conector de alimentación, un conector de SPI, un conector JTAG, un pulsador de reset y un pulsador de borrado. A diferencia de la mayoría de las placas Arduino, la placa Arduino Due funciona a 3.3 Voltios. La tensión máxima que los pines de E / S pueden tolerar es 3.3 Voltios.

La placa contiene todo lo necesario para apoyar el micro controlador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable micro-USB o alimentarlo con un adaptador de Corriente alterna a Corriente continua o una batería para empezar. El Due es compatible con todos los escudos de Arduino que funcionan a 3,3 Voltios y cumplan con el esquema de patillaje y con el estándar 1.0 del arduino. (Arduino, 2018). En la tabla 8 y la imagen 8 se presenta la descripción técnica y el equipo utilizado.

Micro controlador	**AT91SAM3X8E**
Tensión de funcionamiento	3.3V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límites)	6-16V
E / S digitales prendedores	54 (de los cuales 12 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	12
Pines de salida analógicas	2 (DAC)
Corriente total de salida de CC en todas las líneas de E / S	130 Ma
Corriente CC para Pin 3.3V	800 mA
Corriente DC 5V para el Pin	800 mA
Memoria flash	512 KB
SRAM	96 KB (dos bancos: 64KB y 32KB)
Velocidad de reloj	84 MHz
Longitud	101.52 mm
Anchura	53,3 mm
Peso	36 g

Tabla 8. Especificaciones técnicas Arduino Due (Arduino 2018

Imagen 8. Arduino DUE (Arduino 2018)

Beneficios de la central de ARM

- Un núcleo de 32 bits, que permite operaciones en 4 bytes de datos de ancho con un único reloj de la CPU.
- Reloj de la CPU a 84Mhz.
- 96 Kbytes de RAM.
- 512 Kbytes de memoria flash para el código.
- Un controlador de DMA, que puede aliviar la CPU de hacer las tareas intensivas de memoria.

Comunicación

El Arduino Due tiene una serie de instalaciones para la comunicación con un ordenador, otro Arduino u otros micros controladores, y diferentes dispositivos, como los teléfonos, tabletas, cámaras y así sucesivamente, en nuestro caso se usa para establecer la comunicación con los sensores que monitorean variables físicas y químicas en ríos y quebradas. El SAM3X proporciona un transmisor-receptor asíncrono universal el cual controla los puertos y dispositivos serie.

El puerto de programación está conectado a un ATmega16U2, que proporciona un puerto COM virtual de software en un ordenador conectado (Para reconocer el dispositivo, las máquinas de Windows necesitarán un archivo, pero las máquinas OSX y Linux reconocerán la placa como un puerto COM de forma automática). Los pines RX0 y TX0 proporcionan comunicación serial a USB para la programación de la placa a través del micro controlador ATmega16U2. El software de Arduino incluye un monitor serie que permite a los datos de texto simples ser enviados hacia y desde la placa. Los LEDs RX y TX de la placa parpadean cuando se están transmitiendo datos a través de la conexión USB y ATmega16U2 al ordenador (pero no para la comunicación serie en los pines 0 y 1). (Arduino Corporation, 2018)

3. METODOLOGÍA

3.1 Diseño de los Algoritmo de Control

Nuestro sistema de medición se diseñó bajo ocho algoritmos de control, de los cuales siete fueron creados con el lenguaje de programación C++, y uno con el lenguaje Python, en la imagen 9 indicamos el diagrama de flujo del algoritmos desarrollados para la medición de las variables y en la imagen 10 el diagrama de flujo para el algoritmo encargado del procesamiento de los datos sensados.

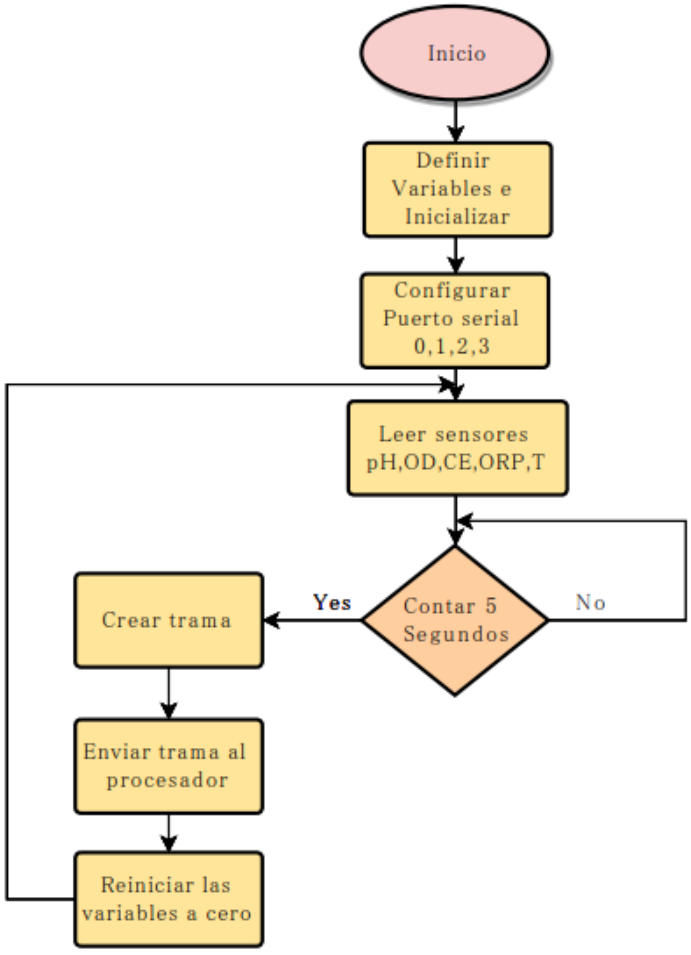


Imagen 9. Diagrama de Flujo para el algoritmo de sensado.

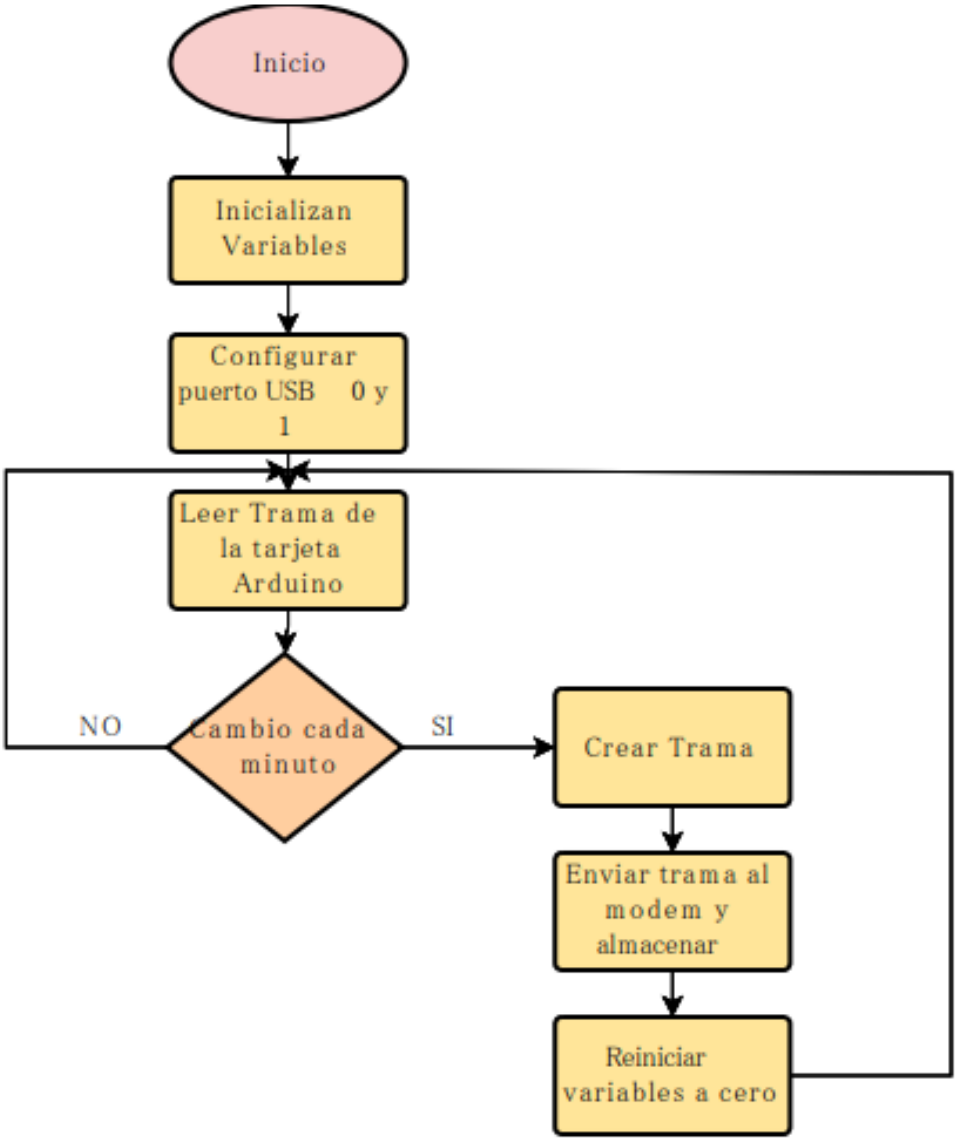
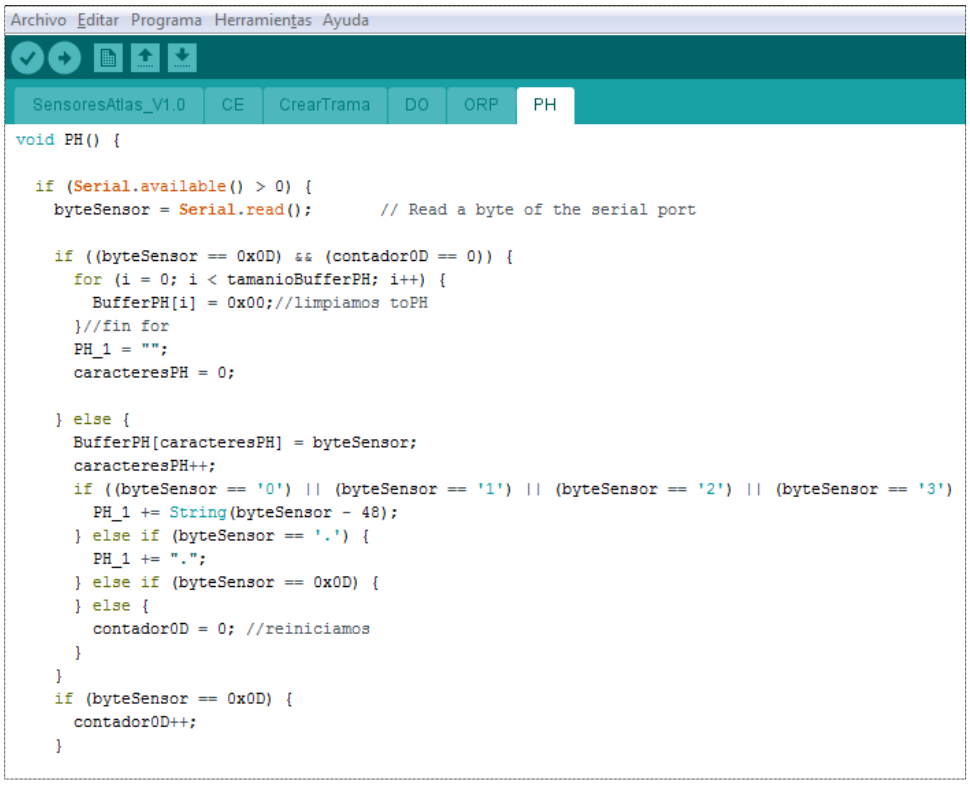


Imagen 10.Diagrama de flujo para el algoritmo del procesador

Nuestro proceso lógico inicia con la captura de las variables físicas a través de los sensores análogos, de la imagen 9 a la 12 se presentan algunos segmentos de los algoritmos desarrollados en leguaje C++ para la adquisición de los siguientes datos : pH, Oxígeno disuelto, potencial de óxido- reducción, temperatura y conductividad eléctrica.



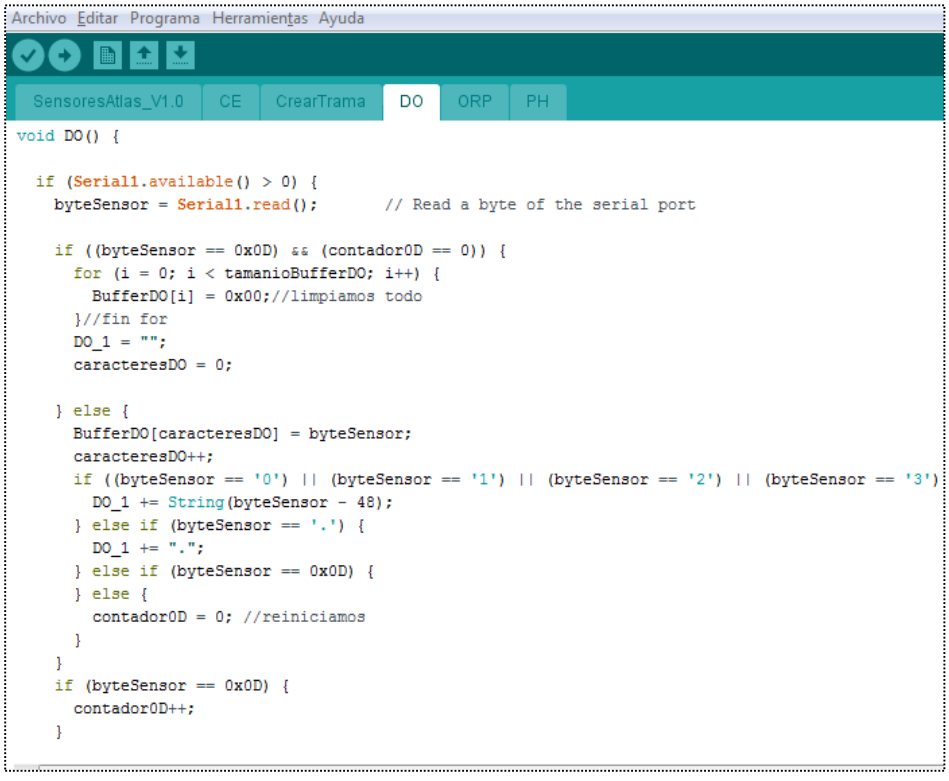

```
void PH() {

  if (Serial.available() > 0) {
    byteSensor = Serial.read();       // Read a byte of the serial port

    if ((byteSensor == 0x0D) && (contador0D == 0)) {
      for (i = 0; i < tamanioBufferPH; i++) {
        BufferPH[i] = 0x00;//limpiamos toPH
      }//fin for
      PH_1 = "";
      caracteresPH = 0;

    } else {
      BufferPH[caracteresPH] = byteSensor;
      caracteresPH++;
      if ((byteSensor == '0') || (byteSensor == '1') || (byteSensor == '2') || (byteSensor == '3')
        PH_1 += String(byteSensor - 48);
      } else if (byteSensor == '.') {
        PH_1 += ".";
      } else if (byteSensor == 0x0D) {
      } else {
        contador0D = 0; //reiniciamos
      }
    }
    if (byteSensor == 0x0D) {
      contador0D++;
    }
```

Imagen 11. Algoritmo de control Sensor pH (Propio)




```
void DO() {

  if (Serial1.available() > 0) {
    byteSensor = Serial1.read();       // Read a byte of the serial port

    if ((byteSensor == 0x0D) && (contador0D == 0)) {
      for (i = 0; i < tamanioBufferDO; i++) {
        BufferDO[i] = 0x00;//limpiamos todo
      }//fin for
      DO_1 = "";
      caracteresDO = 0;

    } else {
      BufferDO[caracteresDO] = byteSensor;
      caracteresDO++;
      if ((byteSensor == '0') || (byteSensor == '1') || (byteSensor == '2') || (byteSensor == '3')
        DO_1 += String(byteSensor - 48);
      } else if (byteSensor == '.') {
        DO_1 += ".";
      } else if (byteSensor == 0x0D) {
      } else {
        contador0D = 0; //reiniciamos
      }
    }
    if (byteSensor == 0x0D) {
      contador0D++;
    }
```

Imagen 12. Algoritmo de control Sensor OD (Propio)

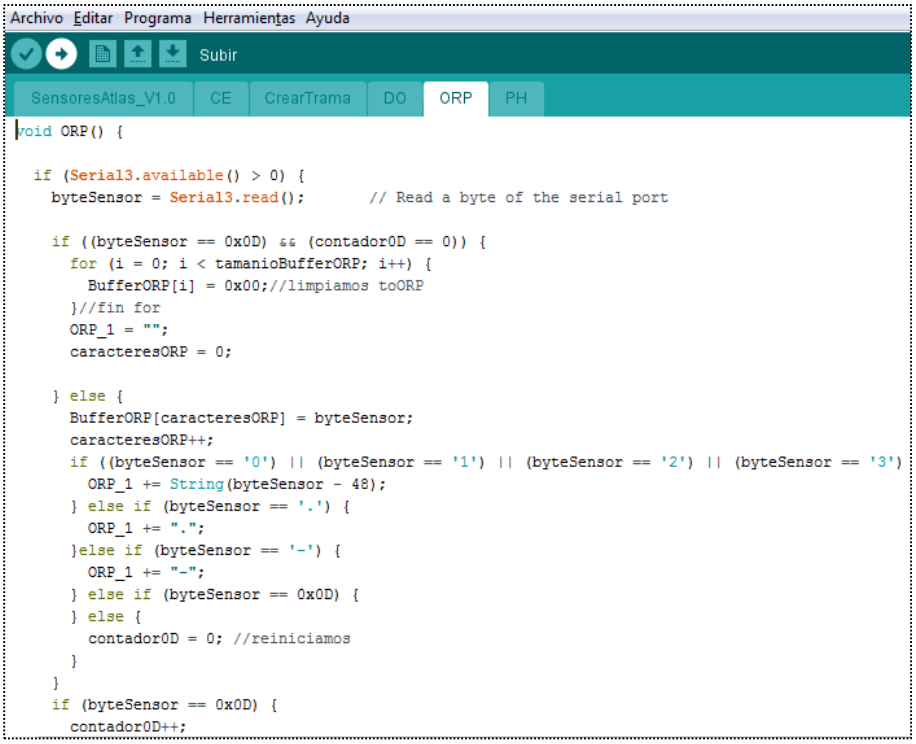


Imagen 13. Algoritmo de control Sensor ORP

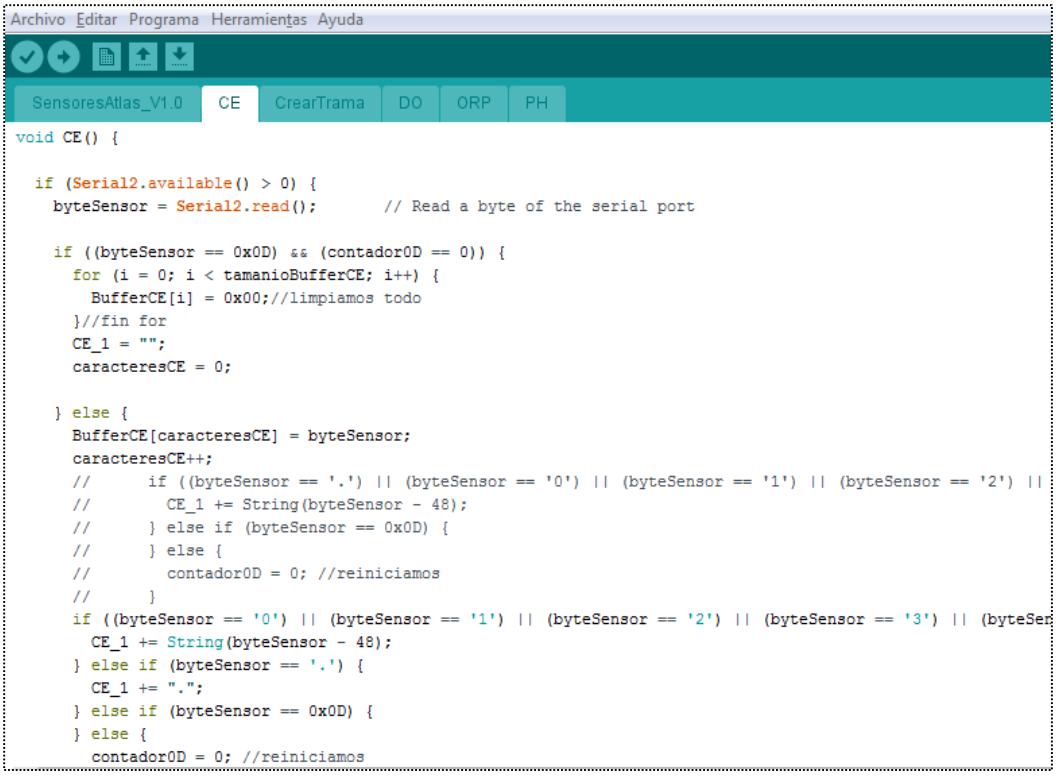


Imagen 14. Algoritmo de control sensor CE (Propio)

Luego de tener desarrollados los algoritmos de control para la medición de las variables físicas, generamos un algoritmo para crear las tramas con la información recolectada por los sensores, este algoritmo es el encargado de generar un paquete de datos y transmitirlo a nuestro procesador Rasberry, en la imagen 13 ilustramos un segmento del algoritmo desarrollado.

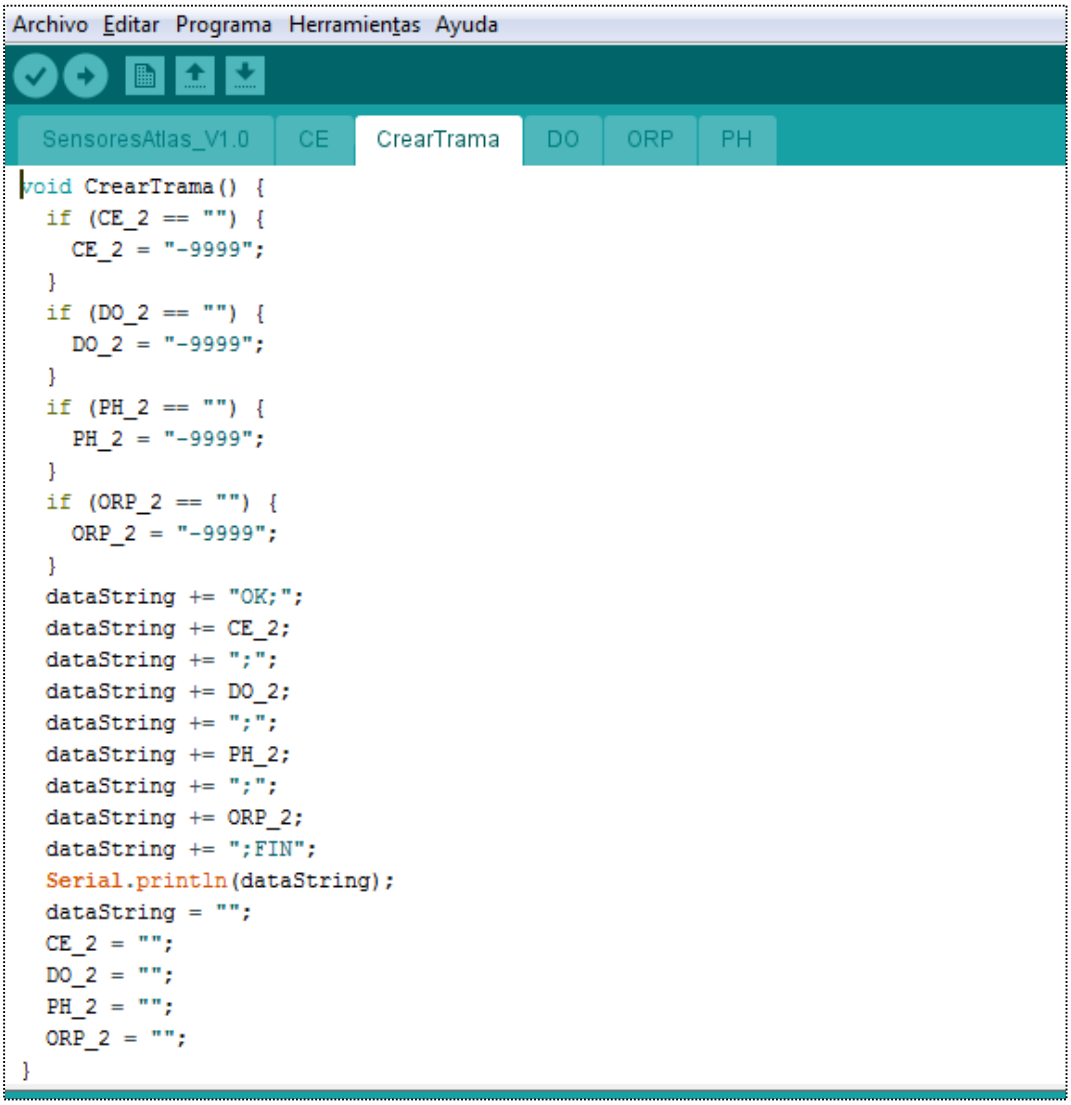


Imagen 15. Algoritmo de control con tramas en arduino (propio)

Posterior a elaborar los algoritmos para la medición y la creación de tramas, se diseñó un algoritmo para controlar la comunicación serial de los sensores, mediante esta

comunicación se obtiene la información de los sensores. Adicionalmente se configura una salida digital para el encendido de un led, el cual titilara si hay un correcto funcionamiento del sistema, en la imagen 14 se ilustra un segmento del algoritmo desarrollado.

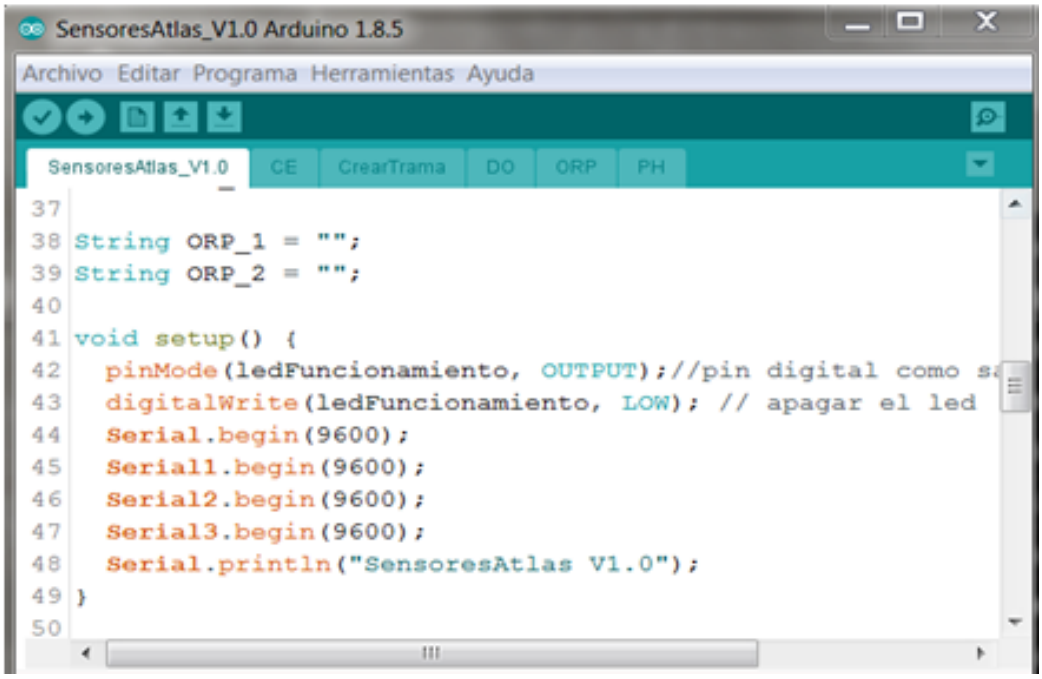


Imagen 16. Algoritmo de control para el inicio de los sensores (propia)

El siguiente paso consistió en desarrollar el algoritmo de control en lenguaje Python , el cual es el encargado de procesar la información proveniente del arduino , en este punto del proceso los datos llegan de una forma desordenada y de manera aislada , no tienen información coherente. Este algoritmo organiza en la librería del procesador la información , luego envía un archivo de manera lógica con ayuda del modem de comunicación por medio de señal GPRS al servidor de SIATA ubicado en la torre de control, en la imagen 15 se presenta un segmento del algoritmo de control.

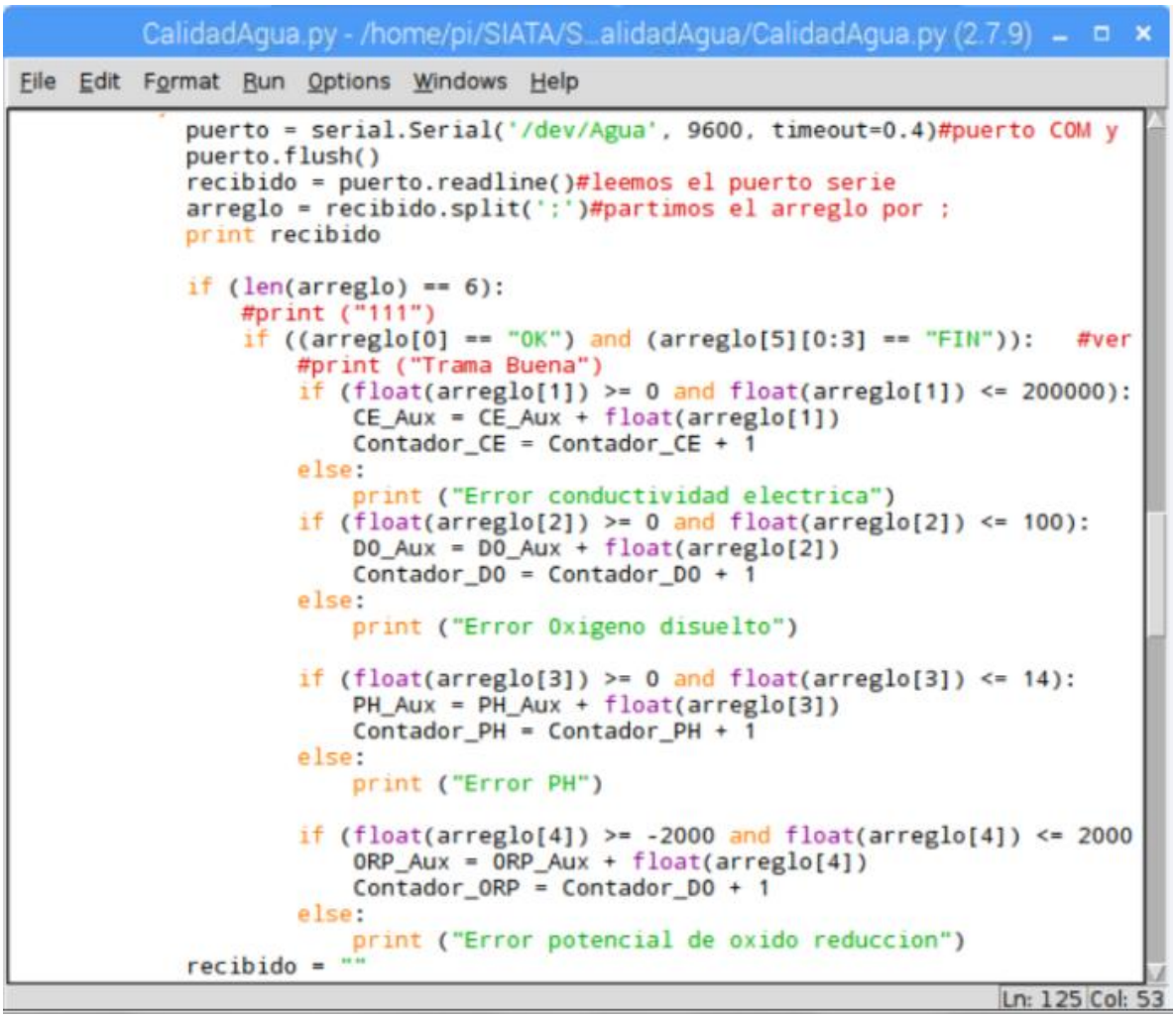


Imagen 17. Algoritmo de Control procesador Rasberry

Cuando los datos son transmitidos al servidor una persona se encargada de calificar la información proveniente del equipo, este proceso consiste en revisar de manera minuciosa los datos censados y descartar la información incoherente o que llegue incompleta.

3.2 Integración de los algoritmos de control al hardware

Con toda la lógica de programación generada , el paso siguiente fue la integración con los instrumentos de campo , lo cual empezamos a desarrollar llevando las señales de salida de los sensores a las tarjetas de conversión analógica a digital, proceso que se llevó acabo cableando cada uno de los sensores a las tarjeta de conversión , en la imagen 16 resaltado en rojo se presenta la acometida eléctrica realizada para enlazar los sensores y la tarjeta de conversión .

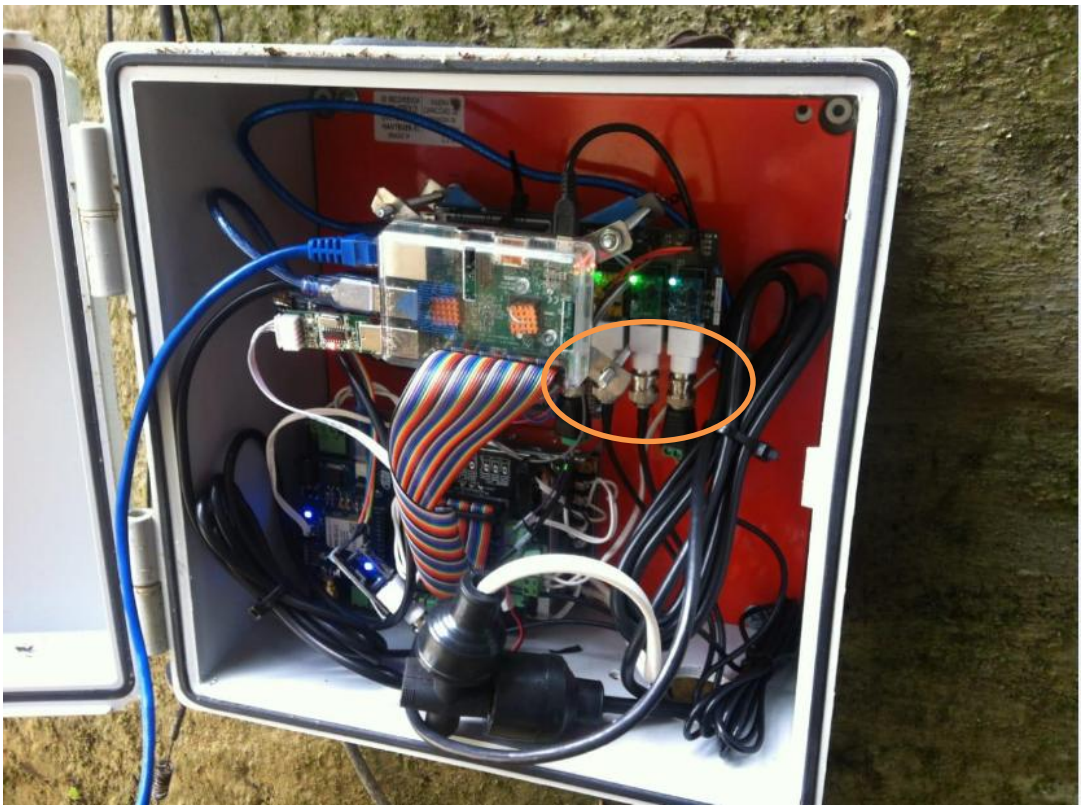


Imagen 18. Acometida eléctrica tarjetas conversión análoga-digital (propia)

Posterior a la conversión de las señales, transferimos los datos por medio de puerto serial al Arduino due.

A la tarjeta arduino due mediante comunicación USB le descargamos los algoritmo de control desarrollado previamente en lenguaje de programación C++; La cual va trabajar con cinco instrucciones lógicas, una para cada variable medida y una trama que recopila las instrucciones y la transfiere por puerto USB al procesador Rasberry, en la imagen 17 se ilustra un segmento de la descarga del algoritmo a la tarjeta.

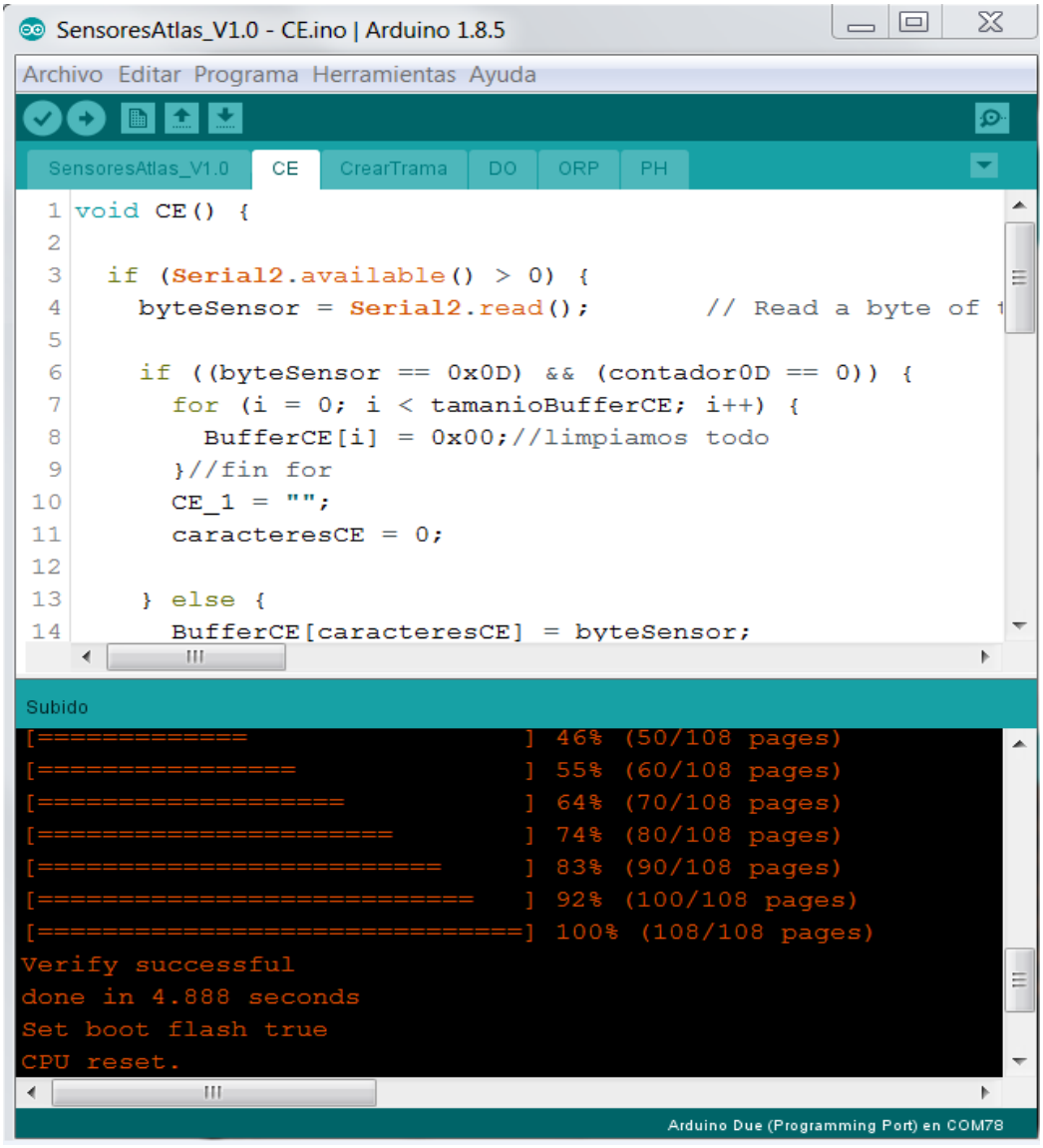


Imagen 19. Descarga de los algoritmos de control a la tarjeta.

Un proceso similar seguidamente se generó para integrar el algoritmo de control desarrollado en Python al procesador Rasberry, mediante conexión USB descargamos el algoritmo al equipo, en la imagen 18 ilustramos un segmento de la integración del programa al hardware.

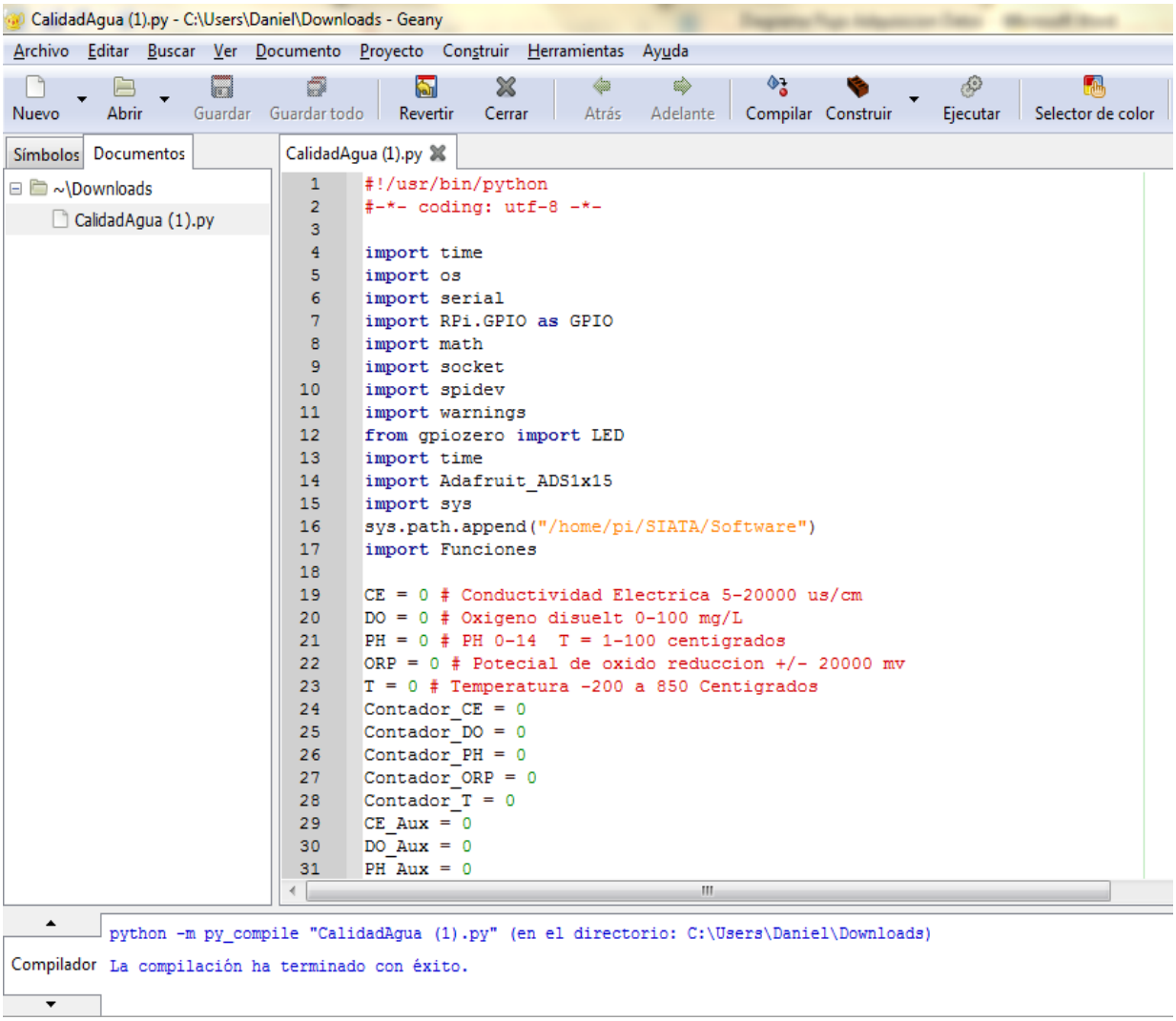


Imagen 20. Integración del algoritmo de control al procesador Rasberry

La segunda etapa fue enlazar el Modem de referencia Enfora GSM 1218 vía GPRS utilizando una Sim Card con el operador de telecomunicaciones local y el servidor de SIATA en la torre de comunicación.

Se generó con una puesta en marcha básica, nuestro modem va a trabajar como esclavo y el servidor como maestro, la conexión se denominara ¨modem como cliente al servidor remoto¨. Con la ayuda de un PC y el aplicativo del modem llamado hyperterminal le asignamos el código de área al modem que para el caso es el número 99 y una salida COM 1 que es el puerto al cual nos conectamos , por defecto el manual pide que los bits por segundo se dejen en 115200, para nuestro caso vamos a utilizar una velocidad de 19200 bits por segundo y el flujo de control será hardware , con estas caracterizaciones procedemos a instalar la tarjeta Sim Card y antena , seguidamente asignamos la dirección IP y se establece la conexión con el servidor , el proceso termina dejando alimentando el modem con la fuente de voltaje del equipo para que de esta forma trabaje de manera autónoma, en la imagen 19 se ilustra el código de programación para el modem de comunicación.

```
TIGO

AT+CREG=2;+CGREG=2;+CGDCONT=1,"IP","tigowebc","",0,0;$HOSTIF=2;$AC
TIVE=1;$TCPAPI=1;$PADSRC=8888
ATX1;$AREG=1;+IFC=0,0;$PADDST=" 172.27.165.24",8888;%SLEEP=0
ATX0;+CGREG=0,0;+CREG=0,0;+IPR=19200
AT$stoatev=1,at$reset;$evtim1=13200;$event=5,1,12,1,1;$event=5,3,4
4,1,0;&W



CODIGO ENFORA
ATD*99***1#
```

Imagen 21. Programación Modem de comunicación

3.3 Verificación del funcionamiento de los algoritmos y el sistema.

La Compilación de los algoritmos nos permite validar el sistema en general y el funcionamiento a través de la integración de la programación desarrollada en los diferentes lenguajes para la tarjeta Arduino, procesador Rasberry y modem de comunicación.

Para verificar el funcionamiento se simulo en conjunto cada uno de los algoritmos desarrollados para la medición de las variables físicas en la tarjeta arduino, a excepción de la temperatura que se simulo por un puerto diferente en el procesador Rasberry , en la imagen 19 y 20 se ilustra el proceso de simulación para las variables (pH, OD,CE, ORP, T°)

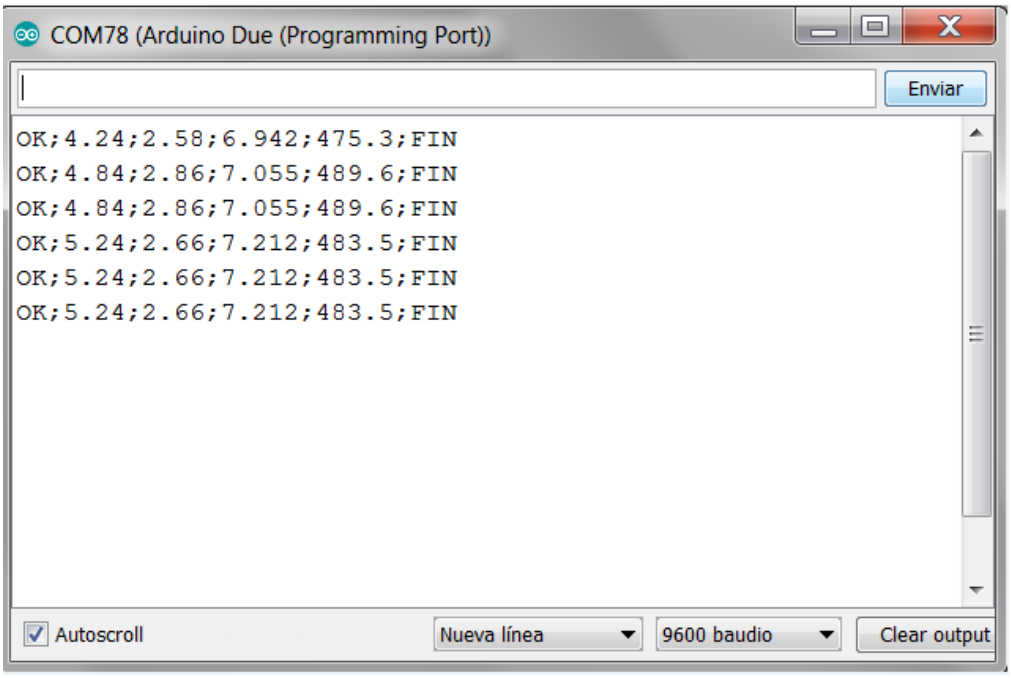


Imagen 22. Simulación algoritmos de control Tarjeta Arduino

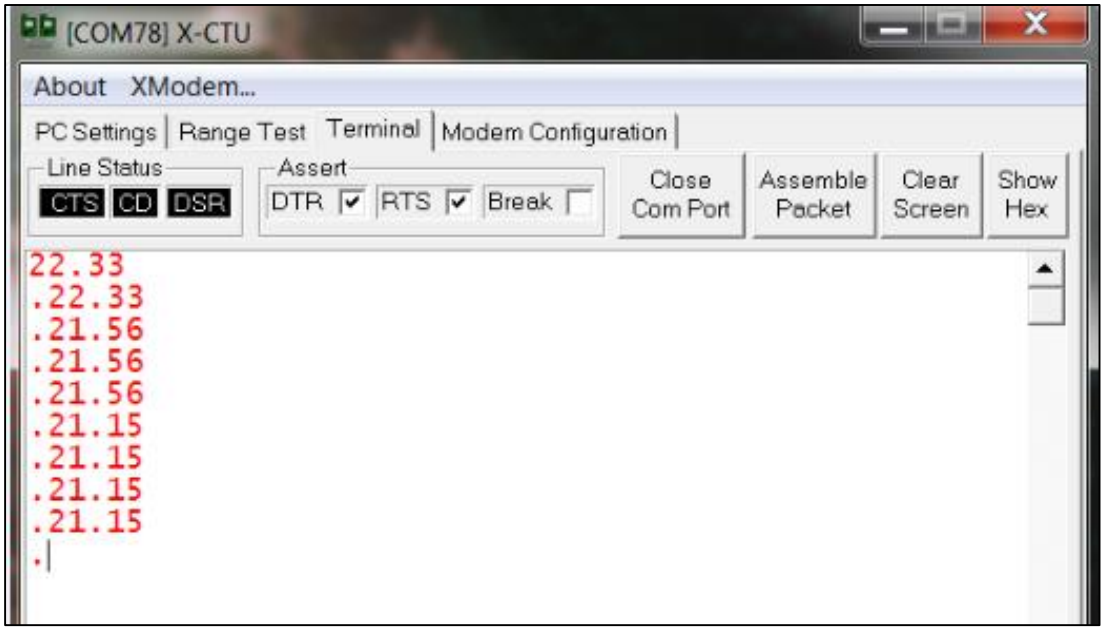


Imagen 23. Simulación Algoritmo de control en Arduino para variable Temperatura.

Nuestra simulación en la medición de variables arrojo datos por minuto estables y coherentes, los algoritmos de control trabajaron de forma correcta en su proceso de verificación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La última etapa del proyecto comprende la validación del proceso después de integrar los algoritmos de control al procesador y al sistema mecánico, con la finalidad de evaluar su comportamiento y visualizar las variables de medición. En las imágenes a continuación se muestran el resultado final, siendo este el esperado en los algoritmos de control, procesador y modem de comunicación.

Algoritmo de control para el arranque de los sensores analógicos

La compilación del algoritmo de control generado para dar inicio en la salida de la tarjeta arduino a los sensores analógicos fue exitoso. En el proceso de compilación se corroboro que el 100% de los paquetes de datos están ordenados y coherentes en el programa, funcionando de forma idónea la integración del algoritmo de control con el equipo.

En la imagen 17 se observar el resultado de la compilación y la transferencia del programa a la tarjeta Arduino, en la parte inferior de la imagen se indica el porcentaje de transferencia de datos y el final del proceso. En última instancia el programa nos verifica y arroja un mensaje donde indica que es exitoso el proceso.

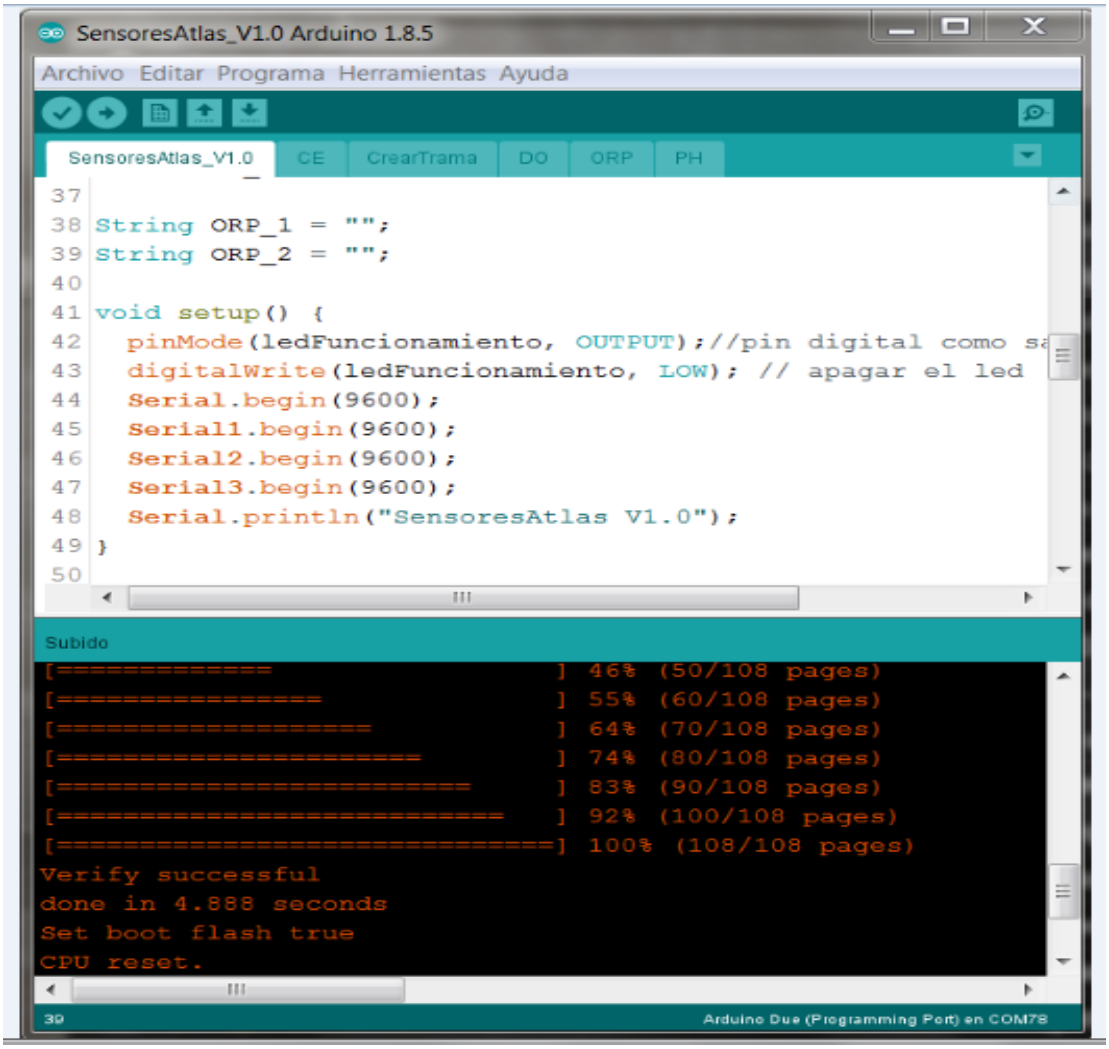


Imagen 24. Compilación Algoritmo de control arranque de los sensores analógicos (propia)

Tramas de Datos de la tarjeta Arduino

Las tramas de datos obtenidas por la medición de los sensores trabajaron de forma correcta, cada uno de las variables medidas arrojo datos coherentes, el algoritmo de control diseñado fue exitoso, logro recolectar los datos medidos por los sensores y genero la trama para que el procesador reciba la información.

En la imagen 18 se indica la compilación del algoritmo de control con las tramas generadas y su buen funcionamiento.

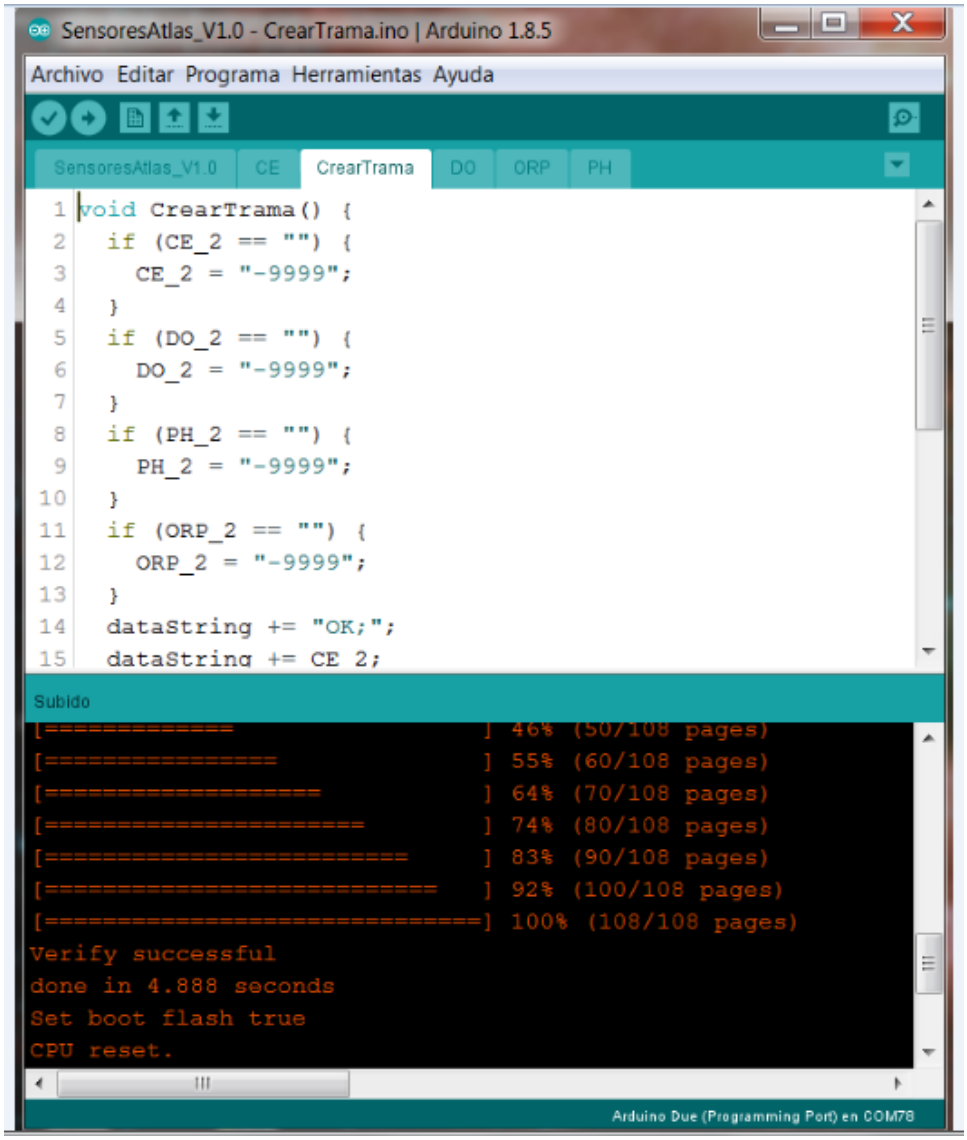


Imagen 25. Compilación algoritmo de control con tramas de los sensores. (propia)

Resultados del Procesador Rasberry Pi

El procesador trabajo de forma correcta, su desempeño fue el esperado, los algoritmos de control trabajaron según la secuencia lógica programada , el equipo logro recibir la información sensada y recolectada por las tramas de la tarjeta arduino , genero su archivo en la librería para exportar la información con ayuda del modem de comunicación al servidor .

En la imagen 19 y 20 ilustramos el correcto funcionamiento del procesador rasberry y el archivo que genera en su librería.

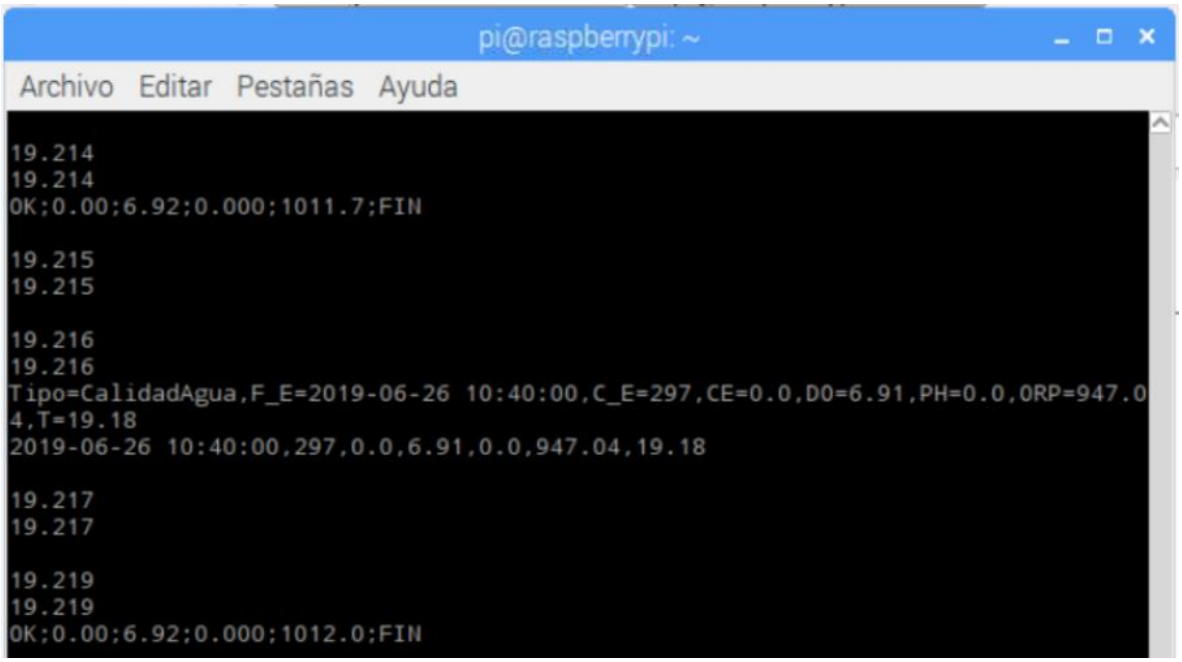


Imagen 26. Funcionamiento procesador Rasberry (propia)

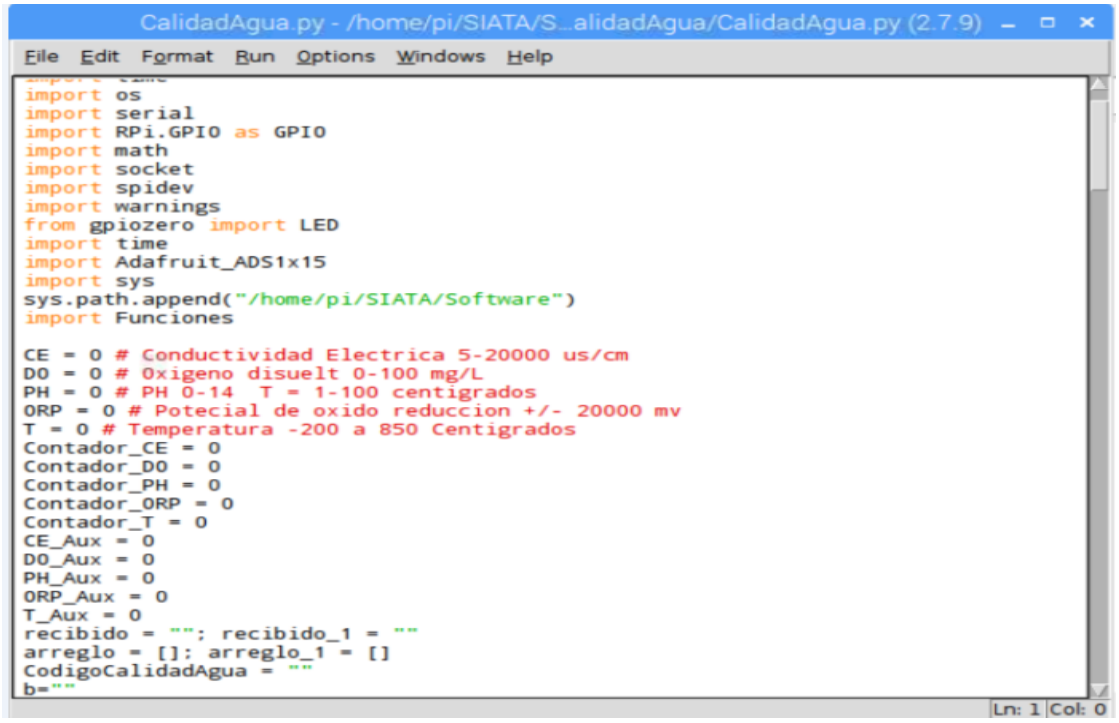


Imagen 27. Archivo generado para la librería del Procesador Rasberry (propia)

Resultados Modem de Comunicación

Nuestro Modem de comunicación trabajo de forma aceptable, su desempeño se vio opacado por la geografía del sector, las altas montañas y la posición del equipo en el fondo del valle género que se presentaran pequeñas interferencias en el envió de datos al servidor. En la imagen 21 ilustramos el enlace de comunicación entre el modem y servidor.

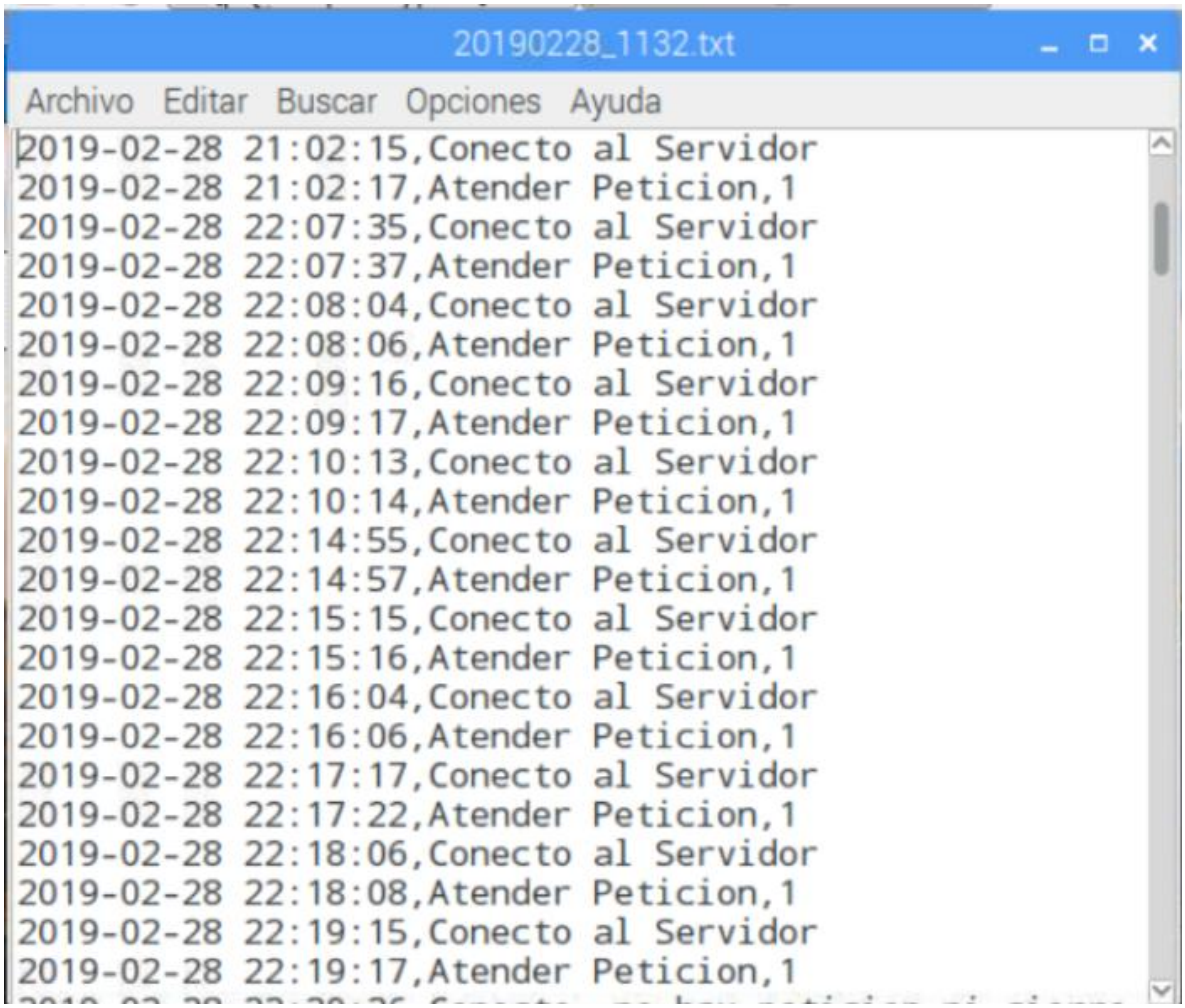


Imagen 28. Comunicación del modem con el servidor. (Propia)

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Se diseñaron algoritmos de control para un equipo multiparametrico capaz de monitorear la calidad del agua en la bocatoma de la quebrada la Valeria, con la finalidad de supervisar, controlar y alertar sobre la calidad del agua de la quebrada, permitiendo sensar cinco variables físico-químicas que atiende a la problemática que se genera constantemente en la captación y tipo de agua que se distribuye a la comunidad.

- Se generaron cinco algoritmos de control para los sensores con las instrucciones lógicas para medir las variables me (pH, oxígeno disuelto, potencial de óxido reducción, conductividad eléctrica y temperatura).

- Se desarrolló un algoritmo que permite el procesamiento, almacenamiento de información y envió de datos en tiempo real, el equipo tiene un funcionamiento estable y continuo, donde se obtiene resultados coherentes. Los sensores son asertivos en las mediciones y la forma de dar los resultados al usuario es sencilla y ordenada.

- Se realizan las pruebas de verificación para el correcto funcionamiento del sistema, el modem de comunicación no garantizo una comunicación constante entre el equipo y el servidor debido a la geografía donde se encuentra la bocatoma, la señal del modem en ocasiones es intermitente generando perdida de información, aunque sus salidas de línea fueron pocas se evidencio el área de oportunidad con este componente.

Trabajo a futuro

- En las pruebas de verificación del equipo se evidencio perdida de comunicación con el servidor, identificamos que estas se generan debido a la topografía de la zona, se proyecta cambiar el modem de comunicación por uno de mayor alcance que garantice que el equipo este en línea constantemente o instalar una memoria SD que guarde la información en los momentos que el modem sale de comunicación con el servidor.

REFERENCIAS

Arduino Corporation. (21 de 09 de 2018). *Arduino Corporation*. Obtenido de Arduino: www.arduino.cc

Atlas Scientific Enviromental Robtics. (25 de 01 de 2018). *atlas-scientific*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2018, de atlas-scientific: www.atlas-scientific.com

Atlas Scientific Environmental Robotics . (3 de 01 de 2018). *Atlas Scientific*. Obtenido de Atlas Scientific: www.Atlas Scientific.com

Atlas Scientific Environmental Robotics. (11 de 6 de 2017). *Atlas Scientific* . Obtenido de Atlas Scientific : www.Atlas Scientific .com

Atlas Scientific Environmental Robotics. (11 de 8 de 2017). *Atlas Scientific* . Obtenido de Atlas Scientific : www.Atlasscientific.com

EPM. (2016). *Informe Supervisión y Monitoreo, Cuenca La Valeria que Abastece la Planta de Potabilización de Caldas de Empresas Públicas de Medellín E.S.P.* Medellin.

Fernández-Crehuet, M. E. (1999). *Calidad del agua para consumo público: caracteres físico-químicos.* Granada: Universidad de Granada.

Gray, D. (2006). *A Comprehensive Look at Conductivity Measurement in Steam and Power Generation Waters.* Bedford: Thornton Mettler-Toledo.

ONU. (2005-2015). *Naciones unidas Calidad del agua*. Recuperado el 10 de ENERO de 2019, de Naciones unidas Calidad del agua: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml

ONU, N. U. (2015). *Naciones unidas/Agua para la vida*. Obtenido de Naciones unidas/Agua para la vida: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_cities.shtml

Patterson, J. I. (1989). Physical Limnology. *advances in aplied mechanics*, 303-475.

Pérez-López. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 3-14.

R. Román, E. A. (2011). Caracterización espacio temporal de la estructura térmica de un embalse tropical poco profundo, abastecido parcialmente por bombeo. *Tesis de maestria*. Medellin, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Randhawa, S., Sandha, S. S., & Srivastava, B. (2016). A multi-sensor process for in-situ monitoring of water pollution in rivers or lakes for. *Conferencia Internacional IEEE 2016 sobre Ciencia e Ingeniería Computacional (CSE) y Conferencia Internacional IEEE sobre Computación Ubicada y Integrada (EUC) y 15º Simposio Internacional sobre Computación Distribuida y Aplicaciones para Ingeniería de Ne* (págs. 1-3). Paris,Francia: IEEE.

Rasberry pi Fundation . (21 de 09 de 2018). *rasberrypi.org*. Obtenido de rasberrypi.org: www.rasberrypi.org

Yiheng Qin, A. U.-X.-H. (Febrero de 2018). *sciencedirect*. Recuperado el 6 de Febrero de 2019, de sciencedirect: https://www-sciencedirect-com.itm.elogim.com:2443/science/article/pii/S0925400517314028?via%3Dihub

TABLA DE IMÁGENES

APÉNDICE

Anexo 1. Código del algoritmo de inicio para los sensores analógicos

Anexo 2. Código del algoritmo del sensor de Oxígeno disuelto

Anexo 3. Código del algoritmo del sensor de conductividad eléctrica

Anexo 4. Código del algoritmo del sensor de potencial de oxidación y reducción

Anexo 5. Código del algoritmo del sensor de potencial de hidrogeno

Anexo 6. Código del algoritmo de las tramas de datos

Anexo 7. Código del algoritmo del procesador Rasberry pi

FIRMA ESTUDIANTES _____

_____

_____

FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: 17/07/2019

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES_____

ACTA NO._____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD_____

ACTA NO._____