

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**Sistema Automático de Monitoreo de Mercurio en Tiempo Real en aguas  
aledañas a Explotaciones Mineras y Petroleras usando una plataforma IoT**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico, que presenta el bachiller:

FERNANDO ALONSO LEÓN MÁRQUEZ

**ASESOR:**

FELIX MELCHOR SANTOS LOPEZ

**Lima, Febrero del 2019**

## **Dedicatoria**

Este trabajo se lo dedico a todas las personas que confiaron en mí y me dieron su apoyo constante para la realización de mi proyecto de tesis: a mi madre, a mi familia, a mi novia y a mi asesor, quienes pusieron de si para que llegara a culminar el trabajo de investigación. Asimismo, espero que la motivación y el empeño, que puse para este trabajo, despierte la curiosidad y el agrado de otros lectores con el tema de Internet de las cosas ya que es un tema muy tocado y enfocado para la industria del futuro.

Por último y no menos importante dedico mi tesis a mi amada universidad Pontificia Universidad Católica del Perú, la cual se convirtió en mi alma máter para poder despertar mi potencial como futuro ingeniero y que además me ayudó a trazar diferentes metas en base a las diferentes cosas que me ofreció a lo largo de mi estadía en sus instalaciones, aparte de los beneficios que recibí como alumno de esta prestigiosa institución.



## **Agradecimientos**

En la presente sección deseo manifestar mi agradecimiento sincero a las personas que me ayudaron en este camino hacia la vida profesional. En primer lugar, a mi madre y a mi familia que nunca perdieron la fe y siempre estuvieron conmigo en los buenos momentos y en los malos, dándome motivación y aliento para seguir adelante, así como inspiración para cada vez dar lo mejor. En segundo lugar, a mi novia por haberme apoyado a seguir redactando mi trabajo y haberme brindado un apoyo emocional para no desertar, así como su insistencia para la culminación de este trabajo de tesis. Asimismo, a mis amigos por los consejos y la confianza que depositaron en mí y por haberme dado tantos consejos para la realización de la tesis. Por último, pero no menos importante a mi asesor y profesores, por su apoyo, consejos y confianza y por la constante motivación al recomendarme diferentes soluciones para la realización de mi trabajo de investigación.



## Resumen

El Perú es un país dotado de un vasto número de recursos geológicos que lo convierten, por tanto, en una potencia mundial para la producción minera. Sin embargo, los vertimientos de desechos producidos por la actividad minera y petrolera tienen un impacto grande en el ecosistema ocasionando serios problemas de contaminación ambiental. Estos vertimientos poseen metales pesados tales como mercurio, plomo y cadmio, los cuales son movilizados por las aguas contaminando todo lo que esté a su alrededor alterando tanto la vida humana como la del resto de especies. Por otro lado, la detección tradicional de metales pesados no se realiza en tiempo real, sino que es manual y se lleva a cabo en laboratorios equipados con personal calificado. Entonces una medición en laboratorio, que puede ser realizada días después de haber colectado la muestra, puede no reflejar de manera certera los cambios dinámicos de los contaminantes en el agua.

Asimismo, el mercurio es uno de los metales pesados con más impacto contaminante, por ende, su monitoreo es de real importancia para mantener un control más eficiente sobre el modo en que el mercurio está contaminando. Es así que, el presente trabajo plantea un diseño innovador de un sistema de monitoreo en tiempo real de mercurio en aguas aledañas a explotaciones mineras y petroleras usando una plataforma IoT, de modo que los datos obtenidos por los sensores sean enviados a una plataforma en la Nube, permitiendo de esta manera que los entes reguladores puedan tener acceso a estos datos y observar los cambios dinámicos que se producen en la contaminación del agua.

Adicionalmente, el diseño mecánico de este sistema le permite operar en un río en la selva, debido a que es una de las zonas más afectadas por contaminación por mercurio; el diseño eléctrico-energético también comprende la autonomía energética del sistema, ya que posee un sistema de panel solar con batería, lo que ofrece versatilidad en el lugar donde se plantea poner en operación al sistema; y además, la comunicación inalámbrica entre los diferentes elementos que comprenden el sistema proporciona buena conectividad para la transmisión de datos.

Finalmente, la aplicación del sistema propuesto ayuda a enfrentar de un modo más innovador la problemática de la contaminación de los recursos hídricos ya que fortalece el control y monitoreo del agua, de modo que se puedan tomar mejores y más rápidas decisiones.

## Índice de Contenido

### 1. Introducción

1.1.	Problemática Ambiental	1
1.2.	Problemática del Monitoreo	5
1.3.	Alcance	7
1.4.	Antecedentes	8
1.5.	Objetivos del Proyecto	8

### 2. Estado del Arte

2.1.	Sensores	10
2.1.1.	Mercurio	10
2.2.	Sistema de Monitoreo	12
2.3.	Soluciones Tecnológicas	13

### 3. Diseño Conceptual

3.1.	Lista de Exigencias	16
3.2.	Estructura de Funciones	17
3.3.	Matriz Morfológica	23
3.4.	Conceptos Solución	23

### 4. Diseño del Sistema

4.1.	Cálculos y Selección de Dominios	29
	I. Nodo Sensor	29
	1. Dominio Electrónico	29
	2. Dominio de Potencia	38
	3. Dominio Mecánico	42
	II. Nodo Gateway	50
	1. Dominio Electrónico	50
	2. Dominio de Potencia	51

III. Nube	51
4.2. Diagramas de Bloques	55
4.3. Diagramas de Flujo	56
4.4. Simulaciones y Código	61
<b>5 Costos</b>	
5.1. Costos Anuales	64
<b>6 Conclusiones y Recomendaciones</b>	
6.1 Conclusiones	70
6.2 Recomendaciones	70
6.3 Comentarios Finales	71
<b>Bibliografía</b>	
Anexo A: Lista de Exigencias	
Anexo B: Matriz Morfológica	
Anexo C: Datasheets	
Anexo D: Normas Legales, Estándares de Calidad Ambiental	

## Glosario de Términos

ANA	Autoridad Nacional del Agua
AWS	Amazon Web Service
DCL	Diagrama de Cuerpo Libre
ECA	Estándar de Calidad Ambiental
IoT	Internet of things, Internet de las cosas
IT	Tecnologías de la Información
GPRS	General Packet Radio Service
LMP	Límites Máximos Permisibles
MINAM	Ministerio del Ambiente
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
M2M	Machine to Machine
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
ONG	Organismo No Gubernamental
PBI	Producto Bruto Interno
RF	Radio Frecuencia
RGO	Reduced Graphene-Oxide
SLA	Service Level Agreement
TIG	Tungsten Inert Gas
UPPT	Uso Poblacional previo Tratamiento

## Lista de Figuras

- Figura 1.1.1: Origen de los metales pesados en los recursos hídricos*
- Figura 1.1.2: Porcentaje de datos que excede el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua según uso a nivel nacional*
- Figura 1.1.3: Consecuencias a la salud por la exposición a metales pesados*
- Figura 1.1.4: Conflictos Socio-ambientales por actividad, agosto 2016*
- Figura 1.1.5: Distribución de regiones según número de conflictos socio-ambientales. Perú 2016*
- Figura 1.1.6: Recursos Hídricos relacionados con actividades socio-económicas*
- Figura 1.2.1: Recursos hídricos relacionados con actividades socioeconómicas*
- Figura 1.2.2: Forma Tradicional de obtener muestras*
- Figura 1.2.3: Coberturas de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano -2013*
- Figura 2.1.1: Dispositivo de detección de metales pesados*
- Figura 2.2.1: Sistema de monitoreo On-Premise*
- Figura 2.3.1: Diseño del sistema de monitoreo*
- Figura 2.3.2: Protocolos de transmisión de datos de un Gateway IOT*
- Figura 2.3.3: Arquitectura del sistema*
- Figura 3.2.1: Black box del sistema*
- Figura 3.2.2: Estructura de funciones del sistema*
- Figura 3.4.1: Concepto Solución A*
- Figura 3.4.2: Concepto Solución B*
- Figura 3.4.3: Concepto Solución C*
- Figura 3.5.1: Evaluación técnico-económica*
- Figura 4.1.1: Diagrama de variables sensadas y su salida para medir contaminación por mercurio*
- Figura 4.1.2: Estado de sensores comerciales de Gtq Silicon Technologies for sensing*
- Figura 4.1.3: Conexión eléctrica del sensor de mercurio*
- Figura 4.1.4: Batería libre mantenimiento 12V 7AH*
- Figura 4.1.5: Panel Solar Sunpal*
- Figura 4.1.6: Controlador de carga PWM Kampa*
- Figura 4.1.7: Regulador de Voltaje LM2596S*

*Figura 4.1.8: Regulador 12V DC / 7V DC LP*

*Figura 4.1.9: Push Botton Switch*

*Figura 4.1.10: Estructura Física del Nodo Sensor*

*Figura 4.1.11: Soporte de sensores*

*Figura 4.1.12: Soporte Sumergido*

*Figura 4.1.13: Estructura en tierra*

*Figura 4.1.14: Vista Horizontal de la propuesta de ubicación*

*Figura 4.1.15: DCL estructura sumergida para sensores*

*Figura 4.1.16: DCL estructura en tierra desde vista vertical*

*Figura 4.1.17: Soporte de Panel*

*Figura 4.1.18: Tubo corrugado flexible*

*Figura 4.1.19: Shield Ethernet W5100 R3 para Arduino*

*Figura 4.1.20: Variación de la corriente en el sensor de mercurio*

*Figura 4.1.21: Gráficos de evolución de los datos en función del tiempo*

*Figura 4.1.22: Arquitectura Cloud Computing*

*Figura 4.2.1: Diagrama de Bloques Nodo Sensor*

*Figura 4.2.2: Diagrama de Bloques Nodo Gateway y plataforma en la Nube*

*Figura 4.3.1: Diagrama de Flujo del Sistema*

*Figura 4.3.2: Diagrama de Flujo del Nodo Sensor*

*Figura 4.3.3: Diagrama de Flujo del Nodo Gateway*

*Figura 4.3.4: Diagrama de Flujo de la plataforma en la Nube*

*Figura 4.4.1: Distribución de elementos para el experimento*

*Figura 4.4.2: Variación de la temperatura ambiental en función del tiempo*

*Figura 4.4.3: Código para configuración de canal y conexión a la nube*

*Figura 4.4.4: Código referencial para emitir datos a la nube*

## Lista de Tablas

*Tabla 2.1.1: Ventajas y desventajas*

*Tabla 2.3.1: Ventajas y desventajas de la variante 2 frente a la 1*

*Tabla 3.5.1: Valor técnico de las soluciones*

*Tabla 3.5.2: Valor económico de las soluciones*

*Tabla 4.1.1: Sensor de corriente*

*Tabla 4.1.2: Sensores de pH*

*Tabla 4.1.3: Sensor de conductividad eléctrica*

*Tabla 4.1.4: GPS*

*Tabla 4.1.5: Microcontroladores*

*Tabla 4.1.6: Módulos de Radiofrecuencia*

*Tabla 4.1.7: Requerimientos de energía para transmisión*

*Tabla 4.1.8: Masa de los componentes en la estructura*

*Tabla 4.1.9: Comparación de plataformas en la Nube*

*Tabla 5.1.1: Costos Totales para la implementación*

*Tabla 5.1.2: Costos Totales para la fabricación*

*Tabla 5.1.3: Costos de componentes estandarizados*

*Tabla 5.1.4: Costos por piezas Fabricadas y Adquiridas*

*Tabla 5.1.5: Costos de Programación*

*Tabla 5.1.6: Costos de Personal y Viáticos*

*Tabla 5.1.7: Costos Totales Anuales para el mantenimiento*

*Tabla 5.1.8: Costos Totales Anuales de operación*

## Capítulo 1

### Introducción

#### 1.1. Problemática Ambiental

El Perú es un país dotado de un vasto número de recursos geológicos que lo convierten, por tanto, en una potencia mundial para la producción minera. Asimismo, sostiene Ángela Grossheim, exministra de Energía y Minas, que el país goza de una larga tradición minera asociada con su potencial geológico, que le ha permitido ser una fuente de crecimiento en la economía y una plaza atractiva para las inversiones (El Peruano, 2018). Tal es así que esta actividad representó en el último año un alto porcentaje del valor total exportado por el país que, a su vez, genera el crecimiento del PBI trayendo consigo mejor desarrollo para la población (“Minería en Perú”, 2018).

Sin embargo, “*aunque la minería es de vital importancia para la economía, el manejo de los residuos y una planificación sustentable de la actividad no se están llevando a cabo*” señala Abel Gilvonio, investigador y responsable de incidencia política de la ONG Cooperación, una de las entidades organizadoras del Encuentro Nacional de Personas Afectadas por Metales Pesados. (“Perú: ¿un Estado ausente y tóxico?”, 2017). La figura 1.1.1 muestra que los vertimientos mineros son una de las causas del deterioro de la calidad del agua, debido a que vierten metales pesados directamente al agua.

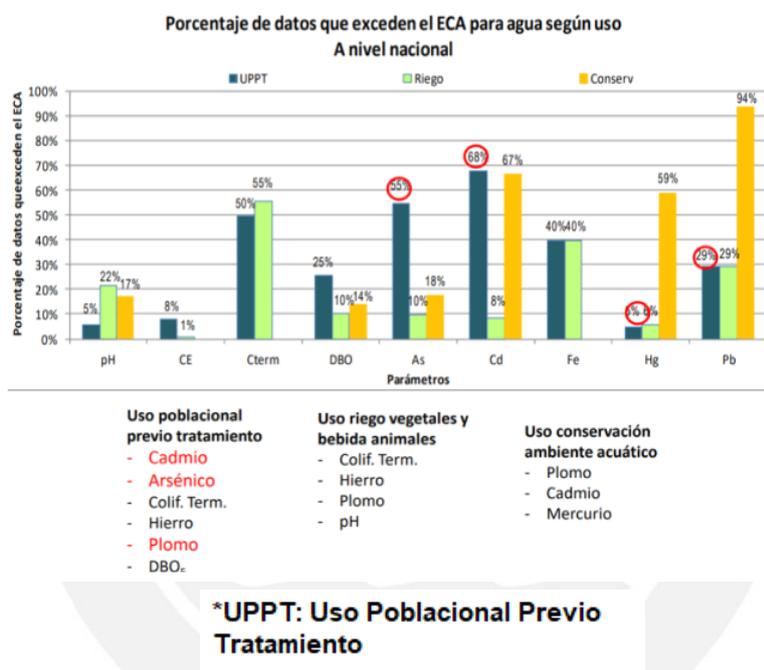


**Figura 1.1.1: Origen de los metales pesados en los recursos hídricos (Fuente: Castro, 2016)**

No solo las explotaciones mineras sino también las petroleras vierten sus efluentes a los ríos y lagos aledaños a estas. Según un estudio: “*Aguas contaminadas en los ríos por la actividad extractiva de petróleo en el norte de la Amazonía peruana*” (Fraser, 2017), las explotaciones petroleras, por ejemplo, arrojaron durante años toneladas de plomo, bario, cadmio, cromo y otras sustancias tóxicas a los ríos y arroyos del norte de

la Amazonía peruana, y hasta a veces a niveles que exceden los Límites Máximos Permisibles (LMP), originando en consecuencia contaminación del recurso hídrico.

La figura 1.1.2 muestra el porcentaje de metales pesados presentes en el agua a nivel nacional. Claramente se observa que el plomo, el mercurio y el cadmio, son los metales pesados más presentes en las aguas de uso no doméstico ni para agricultura, es decir, están presentes en ríos y lagos. Esto representa un muy grave peligro para las personas que viven aledañas a estos ríos y lagos y que consumen sus aguas, debido a que la exposición a estos metales trae consigo consecuencias serias de salud como las listadas en la figura 1.1.3.



**Figura 1.1.2: Porcentaje de datos que exceden el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua según uso a nivel nacional (Fuente: Castro, 2016)**

Según estudios (Fraser, 2017), aproximadamente más de 40,000 personas, principalmente indígenas achuar, quechua, kichwa, urarina y kukama, viven a lo largo de los ríos cercanos a los campos de explotación y estos son su única fuente de agua para beber, cocinar, lavar, bañarse y recreación, debido a que carecen del servicio de agua potable. Lo que significa que son ellos, los más expuestos a esta contaminación. Por ende, aquella situación genera conflictos con el Estado y las concesiones mineras, donde la población opta por oponerse a los proyectos y se manifiesta con medidas de fuerza como huelgas indefinidas, debido a que la población es envenenada y perjudicada por la contaminación de metales pesados y otros tóxicos (“Embarcación con más de 100 personas”, 2018) (“Manifestantes contra proyecto minero”, 2016). La figura

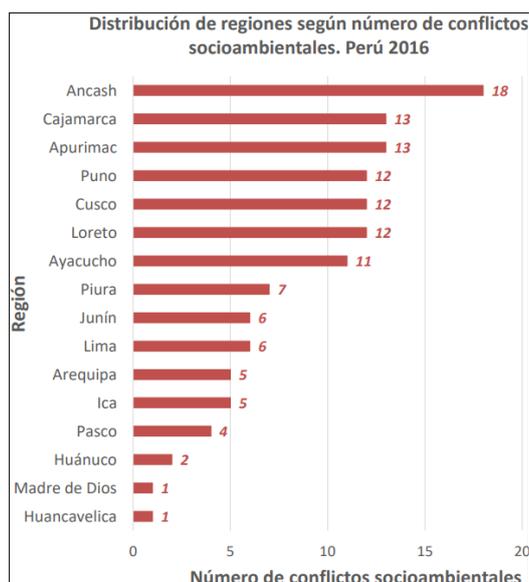
1.1.4 ilustra mediante un gráfico los conflictos socio-ambientales que se produjeron en el año 2016 y se aprecia que la mayoría de conflictos tienen por origen la minería y la explotación de hidrocarburos. Igualmente, de la figura 1.1.5 y figura 1.1.6, se infiere que la mayoría de conflictos surgen en las regiones en donde se realizan explotaciones mineras de diferente tipo.

METAL	ENFERMEDAD
<b>Plomo (Pb)</b>	Toxicidad Renal. Anemia, Cólico. Neuropatía periférica. Insomnio, fatiga. Déficit cognitivo.
<b>Mercurio (Hg)</b>	Toxicidad renal. Temblores musculares, demencia. Parálisis cerebral. Retraso mental.
<b>Arsénico (As)</b>	CA cutáneo, de pulmón y de hígado.
<b>Cadmio (Cd)</b>	Toxicidad renal ¿CA de próstata?

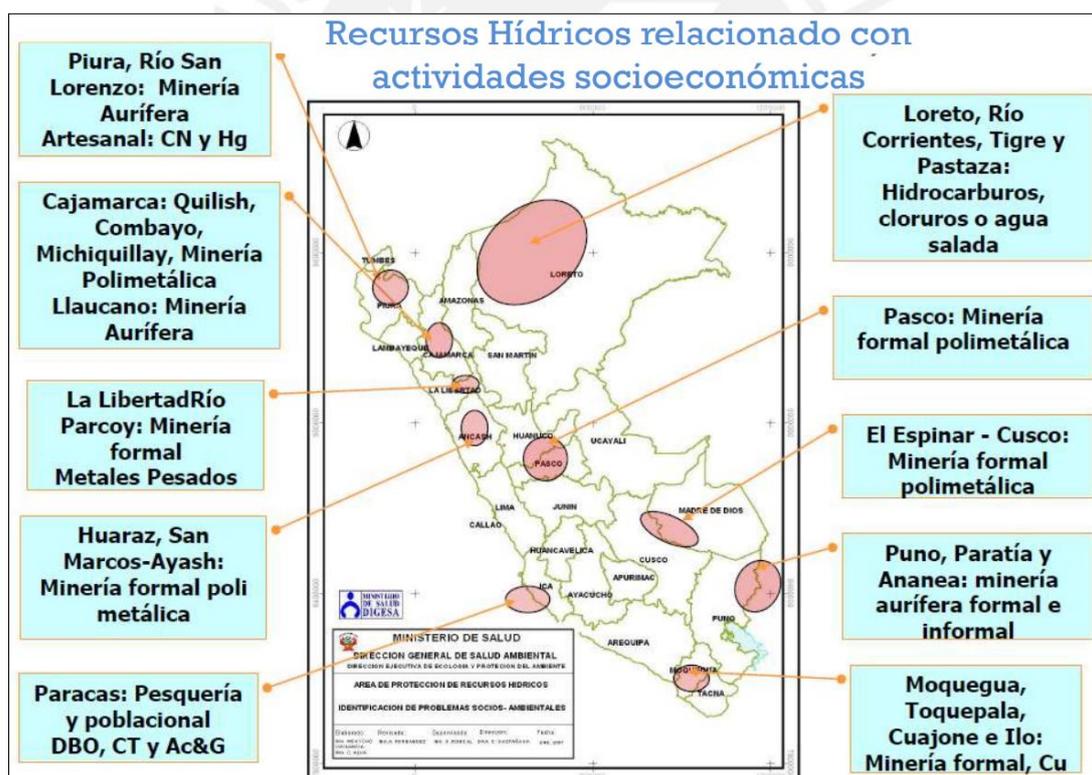
**Figura 1.1.3: Consecuencias a la salud por la exposición a metales pesados (Fuente: Castro, 2016)**



**Figura 1.1.4: Conflictos Socio-ambientales por actividad, agosto 2016 (Fuente: Castro, 2016)**



**Figura 1.1.5: Distribución de regiones según número de conflictos socio-ambientales. Perú 2016 (Fuente: Castro, 2016)**



**Figura 1.1.6: Recursos hídricos relacionados con actividades socio-económicas (Fuente: Castro, 2016)**

## 1.2. Problemática del Monitoreo

Como se mencionó en la sección previa, los metales pesados presentes en aguas contaminadas dañan la salud del ser humano, por tanto, el monitoreo en tiempo real de metales pesados en el agua es de suma importancia para la toma de decisiones de manera oportuna (Ke Lin, 2014). Es en este contexto donde se enfoca una posible solución al problema, basada en el monitoreo de las condiciones del recurso hídrico, para conocer con certeza cómo se están excediendo estos límites y así tomar medidas más rigurosas y evitar que se sigan produciendo estos conflictos socio-ambientales. De acuerdo a la figura 1.2.1, elaborado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), para gestionar de manera adecuada la calidad de agua una etapa importante es el monitoreo del agua de modo que se logre establecer mecanismos de recuperación apropiados.



**Figura 1.2.1: Recursos hídricos relacionados con actividades socioeconómicas (Fuente: ANA, 2012)**

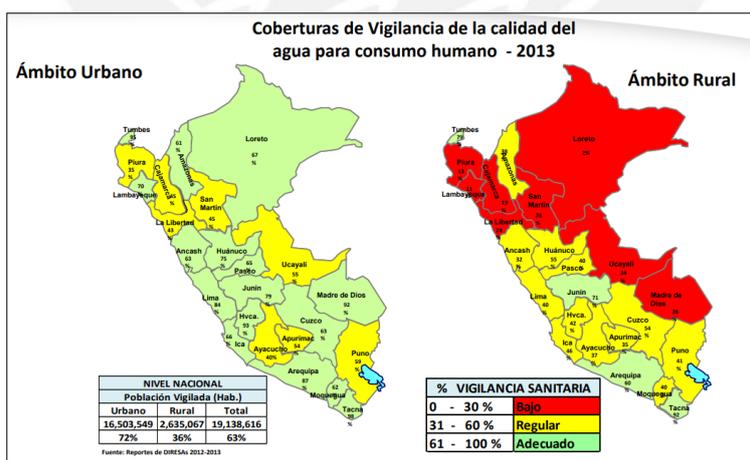
Actualmente, la detección tradicional de metales pesados no se realiza en tiempo real y se lleva a cabo en laboratorios junto con personal altamente calificado y bajo métodos costosos y complejos (Oltmanns, 2017). Asimismo, son operarios quienes se acercan a la cuenca para obtener muestras de agua que serán llevadas posteriormente al laboratorio, esta recolección se aprecia en las figuras 1.2.2a y 1.2.2b. Entonces una medición en laboratorio, que puede ser realizada días después de haber colectado la muestra, no refleja de manera certera los cambios dinámicos de los contaminantes en el agua, ocasionando la pérdida del período de prevención (Ke Lin, 2014). La misma premisa afirma la ANA: “Nuestro sistema de medición no es en tiempo real, sino que se

extraen muestras cada cierto tiempo y luego son llevadas a un laboratorio para su análisis” (ANA, 2016).



**Figura 1.2.2: Forma tradicional de obtener muestras**  
(Fuente: ANA, 2012)

Además, estudios encontraron también inconsistencias en los datos de medición analizados que evidenciaron ciertas deficiencias en el sistema de monitoreo ambiental actual del Perú. “El análisis de las mediciones se complicó por la falta de datos o inconsistencias en los datos de los informes originales, según los investigadores. Por ejemplo, aunque las regulaciones peruanas requieren que se tomen muestras a 500 metros aguas arriba y a 500 metros aguas abajo de un punto de descarga, algunas muestras se tomaron a una distancia mayor, 36 kilómetros más abajo en un caso” (Fraser, 2017). Esto demuestra la baja calidad en el monitoreo del recurso hídrico. Adicionalmente, existen regiones del país en donde la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano es muy baja y por tanto se pierde el control de la contaminación en aquellas zonas, este planteamiento se puede ver reflejado en la figura 1.2.3.



**Figura 1.2.3: Coberturas de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano-2013**  
(Fuente: Castro, 2016)

Sin un método concreto para medir la cantidad de metales pesados presentes en el agua de manera constante, rápida y eficiente, no se podrá alcanzar un mejor control de

las emisiones y el recurso hídrico seguirá siendo contaminado sin control. (Fraser, 2017). El tener mediciones de metales pesados en las aguas permitiría establecer medidas de conservación en los servicios eco-sistémicos (“Cusco: inician monitoreo ambiental del río Vilcanota”, 2017).

En conclusión, el objetivo principal de la presente tesis es diseñar un sistema automático de detección en tiempo real de metales pesados presentes en el agua, para esto se realiza el envío inmediato de los datos de sensado a una plataforma informática en la Nube para su almacenamiento y correspondiente procesamiento, de tal forma que las entidades reguladoras correspondientes puedan acceder a información real y oportuna que permita tomar las medidas correctivas de acuerdo a las normativas vigentes, evitando o disminuyendo las consecuencias en la salud de las personas y la sociedad.

### **1.3. Alcance**

Como descrito en la sección anterior, uno de los metales pesados que más presencia tiene en los ríos es el mercurio. Por ello, se decide enfocarse en el monitoreo de este metal pesado, debido a que es de suma importancia mantener un control sobre la presencia que tiene por su efecto contaminante. En consecuencia, este trabajo comprende el diseño de un sistema de monitoreo en tiempo real de mercurio en los ríos basado en una solución tecnológica IoT, es decir, se busca que los datos medidos por los nodos sensores puedan ser enviados y almacenados en la Nube (Cloud Computing) y que los usuarios puedan acceder a ellos para su control, en especial, las autoridades o entes que se encargan de regular el impacto de la contaminación en el recurso hídrico como la ANA, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) o el Ministerio del Ambiente (MINAM).

El sistema comprende un Nodo Sensor capaz de tomar la medición de mercurio y enviar esta información a otro nodo, el cual cuenta ya con conexión a Internet. Este otro nodo será denominado como un Nodo Gateway, del cual solo se diseña la recepción de los datos y la emisión de datos a la nube.

Asimismo, el OEFA describe que varios de sus puntos de monitoreo, están a lo largo del Oleoducto NorPeruano, así como cerca de la zona de influencia de Antamina y Arasi. Estos son potenciales candidatos para la aplicación del sistema propuesto. Sin embargo, gran parte de las noticias en donde se habla de contaminación por mercurio, muestra a Madre de Dios como uno de los departamentos más afectados debido a un

grado bajo de control sobre el agua, por ende, se tomarán las características propias de esta zona para despliegue del sistema. Estas características incluyen: exposición a terreno húmedo, aislamiento y fuerza del río. Pero también se delimitan otras características como: caudal creciente del agua; para esto, el sistema deberá ser movido cuando el caudal aumente de modo que el sistema no sea arrastrado por el agua. Igualmente, el Nodo Sensor del sistema debe poder operar en un ambiente aislado, de manera remota y energéticamente autónomo.

#### **1.4. Antecedentes**

Respecto al monitoreo de metales pesados en tiempo real en el Perú, todavía no se materializa una implementación funcional y correcta, sino que las mediciones se realizan de forma tradicional, es decir, un operario se acerca a la fuente de agua y extrae un número de muestras determinado, posteriormente las muestras son examinadas en el laboratorio para determinar la cantidad de metales pesados que existen en su composición. Este monitoreo se realiza cada cierto tiempo o, en otras palabras, no se realiza de forma constante (ANA, 2016).

Sin embargo, lo que sí se mide en tiempo real es la presencia de metales pesados en el aire, razón por la cual, sirve de referencia para aplicar un método similar para el monitoreo en el agua (OEFA, 2018).

#### **1.5. Objetivos**

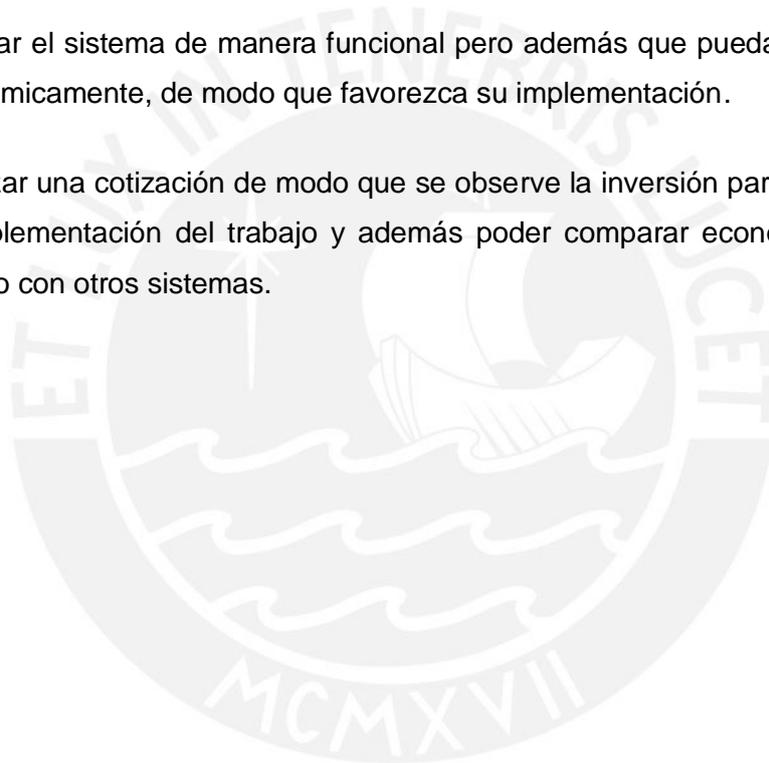
##### **General:**

- Diseñar un prototipo para un sistema de monitoreo en tiempo real de mercurio en aguas aledañas a explotaciones mineras y petroleras usando una solución IoT.

##### **Específicos:**

- 1) Obtener de la revisión bibliográfica un modelo de sistema de monitoreo en tiempo real que sirva de punto de partida para el sistema a desarrollar, así como el sensor que se usará para la detección en tiempo real, comunicaciones de los sistemas y consideraciones usadas para despliegue en ambientes forestales.

- 2) Proponer el diseño de un prototipo de un sensor capaz de medir mercurio en tiempo real y que de esta forma pueda ser el dispositivo o ente que permita medir en la red de nodos que irán en el agua.
- 3) Desarrollar un sistema mecánico que contenga el prototipo del sistema de monitoreo en el agua o sobre el agua.
- 4) Plantear el uso de una plataforma en la Nube con una interfaz que permita observar los datos en tiempo real y cómo varían. Asimismo, realizar una simulación de envío de datos para mostrar la funcionalidad de la plataforma.
- 5) Diseñar el sistema de manera funcional pero además que pueda ser accesible económicamente, de modo que favorezca su implementación.
- 6) Realizar una cotización de modo que se observe la inversión para llevar a cabo la implementación del trabajo y además poder comparar económicamente el trabajo con otros sistemas.



## **Capítulo 2**

### **Estado del Arte**

La información descrita a continuación provee un panorama de cómo se encuentra la tecnología usada para resolver la problemática descrita. Se encontró información sobre sensores o dispositivos para medir plomo y mercurio. Asimismo, se explica algunos diseños de soluciones planteados por otros autores y los tipos de emisión de datos, información importante que permitirá adoptar un concepto solución.

#### **2.1. Sensores**

##### **2.1.1 Mercurio**

- ANDalyze

Actualmente en el mercado se encuentra disponible un equipo de medición de metales pesados de la empresa ANDalyze, el cual es un dispositivo al cual se le añade una muestra de agua y se le adecúa el sensor según el tipo de metal que se desee medir. Estos resultados son emitidos de forma rápida y precisa. El principio de detección se basa en la fluorescencia de una enzima que reacciona con la muestra de metal pesado. Este aparato puede medir diferentes metales pesados tales como mercurio, plomo, uranio, cobre, zinc, cadmio, entre otros.

Si bien este aparato parece una buena opción para ser usado, presenta ciertos inconvenientes que lo descartan como posible sensor. Primero, la puesta de la muestra es manual, es decir, que una persona debe tomar una muestra de agua con una jeringa y ponerla en el aparato para obtener un resultado. Y segundo, como el principio de detección es de fluorescencia, esto genera un desperdicio que luego debe ser desechado. Por estas razones, este aparato queda descartado como posible sensor.



**Figura 2.1.1: Dispositivo de detección de metales pesados  
(Fuente: Catálogo ANDalyze)**

- Desarrollo de un sensor químico a base de nanopartículas de oro para la determinación de Hg<sup>2+</sup> en muestras de agua utilizando dispersión Rayleigh de Resonancia (Vásquez, 2016)

El sensor descrito en esta tesis busca medir mercurio en diferentes concentraciones y a partir de nanopartículas de oro de diferentes tamaños y concentraciones. Además, bajo la adición de ciertas sustancias como lisina y citrato de sodio, puede mejorar la detección de iones mercurio incluso en concentraciones más bajas. También este trabajo expone que los resultados se ven poco afectados incluso cuando existen interferentes en la muestra a analizar. Razón por la cual es un buen referente para la fabricación de un sensor que permita medir las concentraciones de mercurio presentes en el agua en campo. También, es de gran utilidad este trabajo debido a que se desarrolló en el Laboratorio de Química de la Pontificia Universidad Católica del Perú, lo que da una ventaja a la fabricación del sensor.

- Detección en tiempo real de iones de mercurio en el agua usando óxido de grafeno reducido/ transistor de ADN de Efecto-Campo con asistencia de una capa de pasivación (Chang, 2015)

Transistores de efecto de campo (FET) basados en nanomateriales son tecnología emergente como sensores para detectar especies químicas o biológicas debido a sus grandes características como ultra-sensibilidad y detección en tiempo real (Chang, 2015). Aquí se describe un método de detección de mercurio en base a un transistor de efecto de campo de tipo rGO, de modo que se cree un dispositivo que sea sumergido en agua y pueda detectar la concentración de iones de mercurio. Durante la acumulación de iones en el dispositivo, el incremento de las cargas positivas en la superficie del sensor induce un campo eléctrico fuerte, que ocasiona una caída en la corriente drenador-surtidor ( $I_{DS}$ ) en el transistor tipo p.

De este modo, este sensor presenta buenas características para ser usado en el sistema de monitoreo. La tabla 2.1.1 presenta las ventajas y desventajas de este sensor para medición de mercurio. En base a esto, se considera como un candidato para ser usado en esta tesis.

**Tabla 2.1.1: Ventajas y desventajas  
(Fuente: Elaboración Propia)**

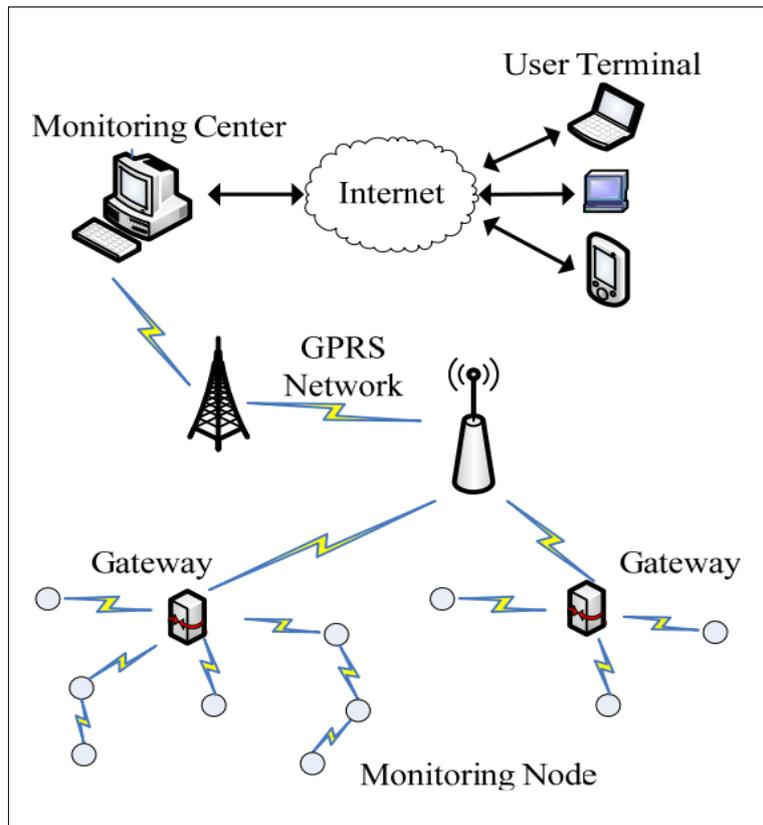
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detección en tiempo real es posible para concentraciones menores a 1nM, además el dispositivo puede diferenciar la señal del ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El dispositivo empieza a saturarse a los 50 nM. Una vez llegado a los 100 nM, el sensor está saturado.</li> </ul>

## 2.2. Sistemas de Monitoreo

- Diseño de un sistema de monitoreo de agua basado en WSN y GPRS (Ke Lin, 2014)

Este diseño plantea un sistema de sensores de pH y de celdas de metal pesado para obtener los datos recibida, luego estos datos son procesados por un controlador con un acondicionador de señal. El controlador, MCF52235, usa un compensador para reducir error en la recepción de datos y a través de un módulo inalámbrico Zigbee, transmite datos al Gateway para su futura transmisión al centro de monitoreo a través de una red GPRS. El centro de monitoreo guarda, analiza y muestra la información y finalmente los usuarios pueden observar estos datos.

Sin embargo, esta solución propuesta no es de tiempo real, ya que no incluye una solución IoT y no se explica la emisión de datos bajo una arquitectura tecnológica de Cloud Computing. La Figura 2.2 ilustra cómo se implementa esta solución.



**Figura 2.2.1: Sistema de monitoreo On-Premise**  
(Fuente: Ke Lin)

### 2.3. Soluciones Tecnológicas

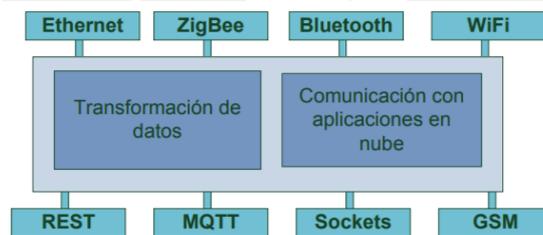
- Sistema de Monitoreo remoto basado en IoT para el monitoreo de señales electrocardiográficas mediante un módulo sensor utilizando Websockets (Yauri, 2016).

Si bien en este caso, el sistema es usado para medir señales electrocardiográficas en un paciente, nos sirve de referencia para poder observar la forma cómo se conectan los diferentes elementos en el sistema siguiendo la arquitectura del IoT. Para nuestro análisis, no se usaría un sensor de señales cardiacas, sino un sensor de metales pesados, por ende, la diferencia estaría en el nodo sensor. La figura 2.3.1 muestra la disposición del nodo sensor que se utiliza, en la cual se aprecia el sensor y su convertidor analógico-digital. Seguidamente, el microcontrolador recibe la señal emitida por el sensor, la procesa y finalmente el bloque de comunicación, que en este trabajo era un radio transceptor y una antena, envía la señal procesada usando una interfaz de comunicación.

El módulo sensor embebido descrito, debido a sus “características de bajo consumo de energía tiene la capacidad de almacenar y mostrar al usuario la información de forma local” (Yauri, 2016). Por ello, el uso de módulos de transmisión inalámbrica que envían la información a Internet utilizando protocolos de comunicación web que se muestran en la figura 2.3.2. El módulo sensor se encarga de adquirir los datos y de transformarlos a un formato de comunicación estándar. Luego crea un enlace de comunicación utilizando protocolos de envío de datos a aplicaciones en la nube (Por ejemplo: MQTT, REST o SMS).



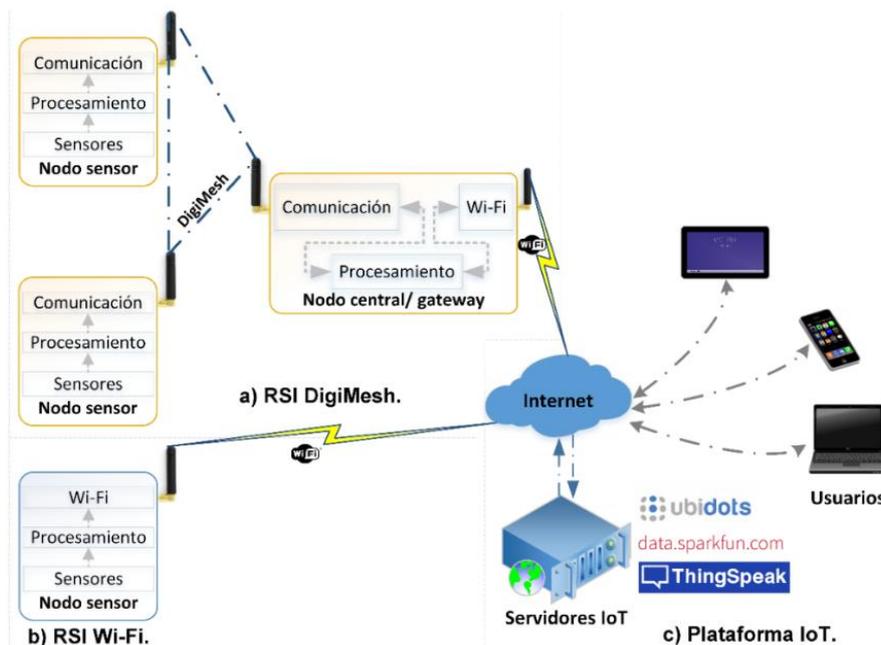
**Figura 2.3.1: Diseño del sistema de monitoreo (Fuente: Yauri)**



**Figura 2.3.2: Protocolos de transmisión de datos de un Gateway IoT (Fuente: Yauri)**

- Sistema de monitoreo de variables medioambientales usando una red de sensores inalámbricos y plataformas de Internet de las cosas (Quiñones et al, 2017).

Lo resaltante en este trabajo es el planteamiento de dos variantes de red de sensores inalámbricos, lo cual serviría de referencia para diseñar la estación del nodo sensor y del Gateway. La figura 2.3.3 muestra las variantes usadas. La primera variante se basa en DigiMesh para la comunicación, esta está compuesta de los nodos sensores y un nodo central que está conectado a una puerta de enlace que a través de Wifi envía datos a una plataforma de IoT. La segunda variante integra la adquisición, procesamiento y transmisión de datos directo a una plataforma IoT. Igualmente, la tabla 2.3.1 muestra las ventajas y desventajas de la segunda opción frente a la primera, de modo que se aprecie cuál es mejor.



**Figura 2.3.3: Arquitectura del sistema**  
(Fuente: Quiñones)

**Tabla 2.3.1: Ventajas y desventajas de la variante 2 frente a la 1**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere menos hardware al suprimir el nodo central.</li> <li>• Menor espacio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere más energía.</li> <li>• En caso de falla, se debe reemplazar todo el nodo completo.</li> </ul>

- Waposat (Waposat, 2017)

Waposat es una empresa tecnológica peruana que se encarga de realizar monitoreos del agua en tiempo real en diferentes zonas del país y para los sectores público y privado. En el sector público, monitorean cuencas y ríos para medir los parámetros de contaminación debido a la actividad humana. Este sistema mide parámetros tales como pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y potencial redox y se encuentra en investigación para desarrollar sensores de metales pesados como cobre y níquel. Por esto, nos sirve de referencia para poder diseñar el sistema de medición de mercurio, debido a que no existen empresas que midan mercurio en tiempo real.

## **Capítulo 3**

### **Diseño Conceptual**

#### **3.1. Lista de Exigencias**

Antes de desarrollar un concepto de solución, hay que tener en cuenta ciertas especificaciones las cuales se deben cumplir (exigencias) para desarrollar una solución, al igual que un conjunto de deseos con la finalidad de encaminar el desarrollo del diseño.

La función principal del sistema es monitorear la presencia de mercurio en el agua en tiempo real y enviar los datos a una plataforma en la Nube usando una solución IoT. Por otro lado, el deseo en esta tesis sería experimentar con el prototipo para obtener medidas lo más exactas posibles para obtener certificación de operación en campo.

Tras entrevistas con profesionales del OEFA, se aclaró que el personal empezaba a medir metales pesados (en este trabajo es el mercurio) cuando detectaban anomalías en los parámetros que se pueden medir en tiempo real como pH y conductividad eléctrica. De manera que aparte de la medición de mercurio en tiempo real, se debía hacer el análisis de estos parámetros para observar de mejor modo los cambios en las concentraciones de mercurio y poder validar así de manera indirecta los resultados del sensor a desarrollar y medir concentraciones de mercurio. Además, cabe resaltar, que un sensor de mercurio en tiempo real no existe en el mercado (ver capítulo 4 para más detalle).

Mediante la solicitud de acceso a la información pública por parte del OEFA, se determinó que el monitoreo se deberá llevar a cabo en dos puntos a lo largo del río: un punto aguas arriba y otro, aguas debajo de la fuente de contaminación. Por ende, se necesitará de dos módulos que monitoreen. Según el Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales, el nodo aguas arriba debe estar a una distancia de 50 m sobre la fuente de contaminación y el nodo aguas abajo debe ubicarse a 200 m debajo de la fuente de contaminación. Cabe resaltar que la distancia de estos nodos puede variar dependiendo de la geografía y de factores que describen el río, como potencial desbordamiento. Por ende, se exige que el número mínimo de módulos de monitoreo será de dos y estarán conectados a un nodo central o nodo Gateway bajo una topología estrella.

Incluso, las señales recibidas de los sensores serán leídas y enviadas al nodo central de manera inalámbrica para luego ser enviadas a la plataforma en la Nube. Luego estos datos serán mostrados en gráficos para su comprensión y serán actualizados cada minuto.

Para efectos de localización del punto más contaminado, se propone usar un GPS de modo que se pueda conocer la ubicación del nodo en el lugar que más contaminación presenta. Además, se exige que los materiales de los que están hechos los diferentes componentes puedan soportar la corrosión y la temperatura del ambiente en el que se busca operar, que para efectos del presente trabajo es en la zona selva del país. Incluso la estructura en tierra debe poder mantener el nodo con los sensores junto a ella, así como soportar el peso de los otros componentes. También el sistema, al no estar conectado a una fuente de energía debe poder ser energéticamente autónomo con la ayuda de un panel solar, buscando por lo menos estar 2 días funcionando solo con la batería.

Por último, se desea que al ser este trabajo un prototipo pueda ser implementado en campo para obtener medidas más precisas y llegar a validar el método de monitoreo. Igualmente, se busca que el sistema sea lo más compacto posible para no generar mucho impacto en el ambiente donde se planea implementar. Además, el costo del sistema de monitoreo se desea que no supere los 10000 soles. Para más detalles de la lista de exigencias diríjase al anexo A.

### 3.2. **Estructura de Funciones**

Antes de definir la estructura de funciones se debe tener clara la forma en que el sistema interactúa con el medio externo sin tener en cuenta su funcionamiento interno. Así pues, resulta conveniente utilizar el proceso de abstracción conocido como caja negra o "*black box*" en la figura 3.2.1, del cual se analizarán las entradas que ingresan al sistema y las salidas que se producen.



**Figura 3.2.1: Black box del sistema**  
**(Fuente: Elaboración propia)**

El sistema consiste de 3 partes: Nodo sensor, un nodo Gateway y una plataforma en la Nube. El Nodo Sensor analiza el agua que pasa por una estructura sumergida con los sensores. Estos datos son enviados al nodo Gateway inalámbricamente donde luego pasarán a ser enviados a una plataforma en la Nube a través de una conexión a Internet.

En el diseño del sistema se han identificado las siguientes funciones a realizar y se han agrupado en diferentes secciones. A continuación, se presenta la estructura global en la Figura 3.2.2: "Estructura de funciones del sistema".

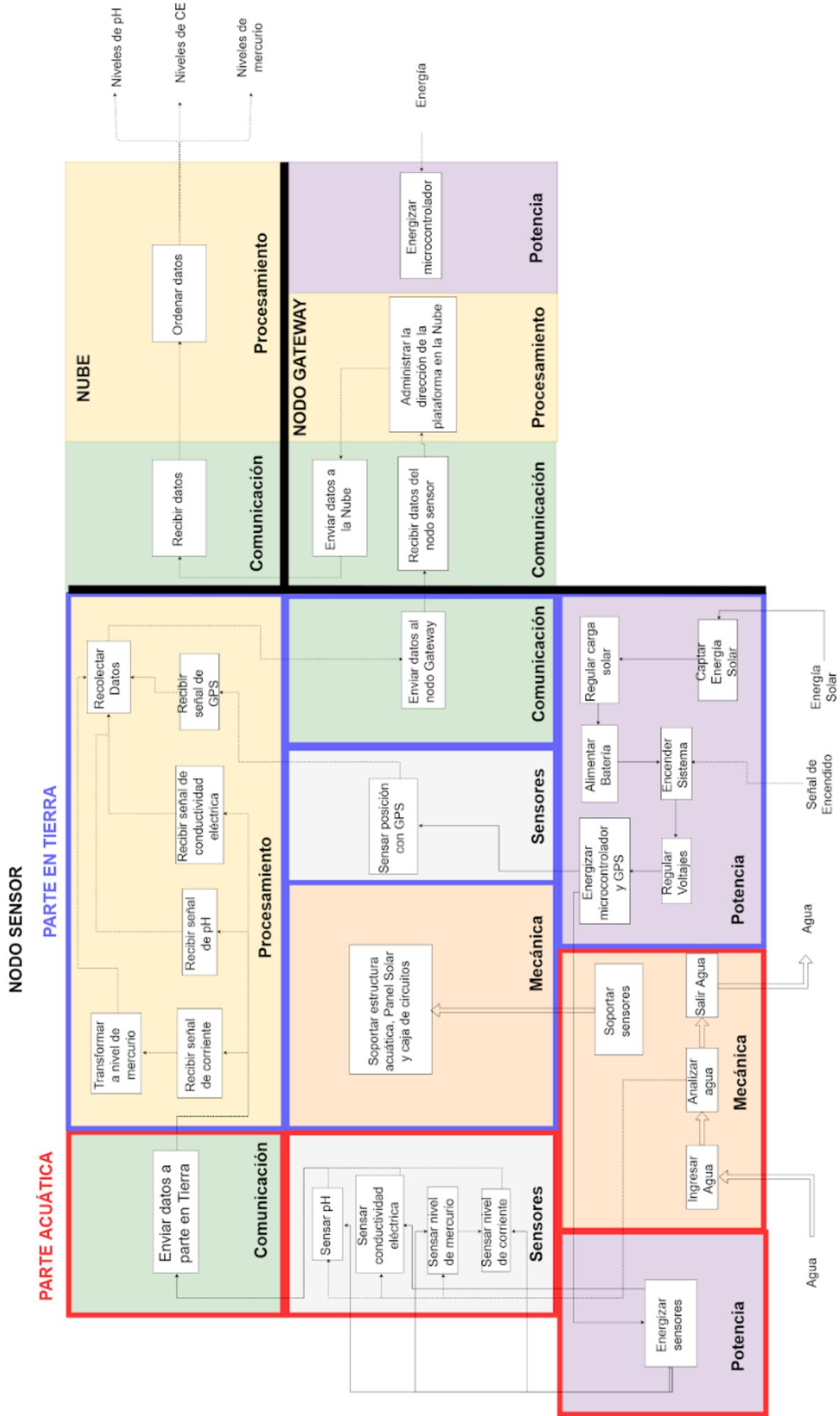


Figura 3.2.2: Estructura de funciones del sistema  
(Fuente: Elaboración propia)

## **Sistema Físico**

### **i. Nodo Sensor**

#### **A. Parte Acuática**

- **Sensores**

- a) Sensor nivel de mercurio: Consistirá en usar el diseño de sensor propuesto para emitir un nivel de corriente que será medido por el sensor de corriente.
- b) Sensor nivel de corriente: Consistirá en medir la cantidad de corriente proveniente del sensor de mercurio y enviar esta medición al controlador.
- c) Sensor nivel de pH: Consistirá en medir el nivel de pH presente en el agua.
- d) Sensor nivel de conductividad eléctrica: Consistirá en medir el nivel de conductividad eléctrica presente en el agua.

- **Potencia**

- a) Energizar los sensores: Consistirá en brindarle energía a los sensores para su funcionamiento.

- **Comunicación**

- a) Enviar datos a la estructura en tierra: Consistirá en enviar los datos de los sensores al microcontrolador.

- **Mecánica**

- a) Soportar sensores: Consistirá en darle una estructura sobre la que se puedan montar los sensores.
- b) Ingresar Agua: Consiste en que la estructura acuática deje pasar el agua.

- c) Analizar Agua: Consistirá en que los sensores analizan el agua que pasa por ellos.
- d) Salir Agua: Consistirá en que la estructura acuática deje salir el agua.

## **B. Parte en Tierra**

- **Sensores**

- a) Sensar posición con GPS: Consistirá en obtener la posición geográfica del sistema o nodo sensor.

- **Procesamiento**

- a) Recibir señal de pH: Consistirá en recibir la señal emitida por el sensor de pH.
- b) Recibir señal de conductividad eléctrica: Consistirá en recibir la señal emitida por el sensor de conductividad eléctrica.
- c) Recibir señal de corriente: Consistirá en recibir la señal emitida por el sensor de corriente.
- d) Transformar a nivel de mercurio: Consistirá en convertir la señal de corriente en señal de nivel de mercurio.
- e) Recibir señal de GPS: Consistirá en recibir la señal del GPS.
- f) Recolectar datos: Consistirá en almacenar los datos de los diferentes sensores y así poder enviarlos al nodo Gateway.

- **Potencia**

- a) Captar Energía Solar: Consistirá en que el panel solar reciba la energía del sol.
- b) Regular Carga Solar: Consistirá en tener un dispositivo que regule la carga que el panel puede brindar sin dañar la batería.

- c) Alimentar Batería: Consistirá en que la batería reciba la energía para poder ser cargada.
- d) Encender el sistema: Consistirá en brindarle energía al nodo cuando el interruptor sea presionado.
- e) Regular Voltajes: Consistirá en regular el voltaje de la batería de modo que puedan alimentarse los elementos del nodo sensor.
- f) Energizar el controlador y GPS: Consistirá en brindarle energía al controlador para su funcionamiento y al GPS a través de cables eléctricos.

- **Comunicación**

- a) Enviar datos al nodo Gateway: Consistirá en emitir los datos obtenidos inalámbricamente desde el nodo sensor al nodo Gateway.

- **Mecánica**

- a) Soportar la estructura acuática, Panel Solar y caja de circuitos: Consistirá darle una estructura sobre la que se pueda montar la estructura acuática, el panel solar y la caja de circuitos.

## ii. **Nodo Gateway**

- **Procesamiento**

- a) Administrar la dirección de la plataforma en la Nube: Consistirá en asignarle la dirección de la Nube a los datos para que sean enviados a Internet y que lleguen a la plataforma.

- **Potencia**

- a) Energizar el controlador: Consistirá en brindarle energía al controlador para su funcionamiento.

- **Comunicación**

- a) Recibir datos del nodo sensor: Consistirá en recibir los datos que son enviados desde el nodo sensor.
- b) Enviar datos a la Nube: Consistirá en enviar los datos recibidos a la plataforma en la Nube.

- iii. **Nube**

- a) Recibir datos: Consistirá en recibir los datos enviados desde el nodo Gateway.
- b) Ordenar datos: Consistirá en ordenar los datos por canales para luego ser observados en las respectivas gráficas.

### 3.3. **Matriz Morfológica**

Para diseñar un concepto de solución, se elabora una matriz morfológica para las funciones definidas en la estructura de funciones y así analizar las opciones con las que se cuenta para diseñar el sistema. Para revisar la matriz diríjase anexo B.

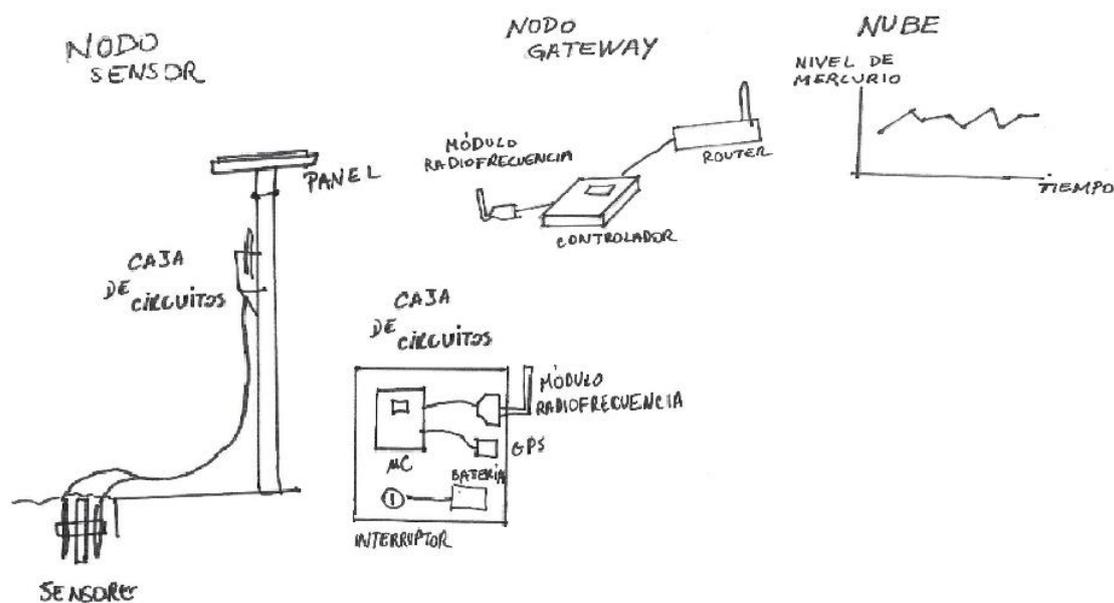
### 3.4. **Conceptos Solución**

A continuación, se describirán los diferentes conceptos solución que se formarán a partir de la matriz morfológica.

- **Concepto Solución A**

Respecto a la parte electrónica y de potencia, esta solución consiste en un sistema solar con una batería, la cual es recargada con un panel de modo que el Nodo Sensor pueda ser energéticamente lo más autónomo posible. Asimismo, la solución propuesta posee un interruptor pulsador para encender el Nodo Sensor al momento de iniciarse y apagarse. Además, se usa como sistema de control a un microcontrolador que se encargará de todas las funciones de control y de recibir los valores de los sensores. Para la transmisión inalámbrica de datos se usará el módulo de radiofrecuencia, el cual estará tanto en el Nodo Sensor como en el nodo Gateway y poder así después emitir los datos a la Nube. El sistema posee los siguientes sensores y dispositivos electrónicos:

sensor de corriente, sensor de mercurio, sensor de pH, sensor de conductividad eléctrica y un GPS, los cuales tendrán sus circuitos respectivos de potencia y control. Respecto a la parte mecánica del Nodo Sensor, la estructura en tierra sería una barra fuera del río de la cual salen los cables de los sensores que irán sumergidos; para la estructura sumergida con los sensores, se diseña un soporte que los contengan de modo que no estén sumergidos simplemente, sino que se mantengan fijos. Igualmente, el panel solar estará empotrado en una estructura soldada a la barra de soporte. Con respecto a la parte de la recepción de datos en el nodo Gateway y la emisión de datos a la Nube, el sistema de control del Nodo Gateway será un microcontrolador, al igual que el Nodo Sensor. Luego este controlador a través de Ethernet enviará los datos a la plataforma en la Nube ya que tendrá en sus líneas de código la dirección del canal en la plataforma en la Nube. Finalmente, los datos enviados a la Nube serán mostrados en gráficos para poder ser analizados. Esta solución se puede apreciar en la figura 3.4.1.

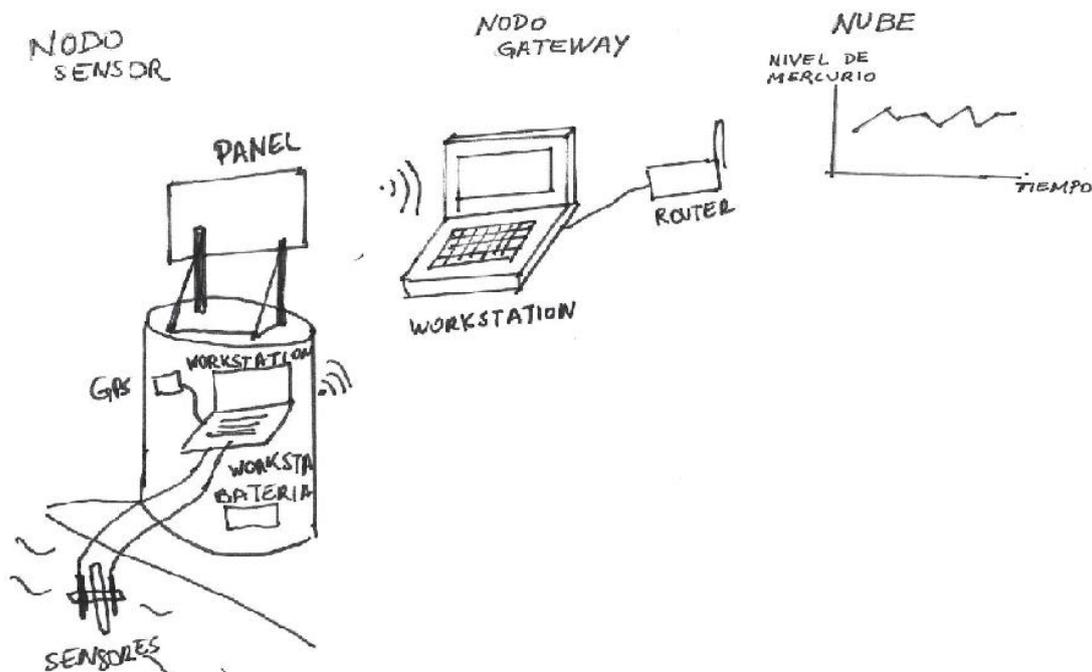


**Figura 3.4.1: Concepto Solución A**  
(Fuente: Elaboración Propia)

- Concepto Solución B

Respecto a la parte electrónica y de potencia, esta solución consiste en un sistema solar con una batería, la cual es recargada con un panel de modo que el Nodo Sensor pueda ser energéticamente lo más autónomo posible. Asimismo, la solución propuesta posee un interruptor pulsador para encender el Nodo Sensor al momento de iniciarse y

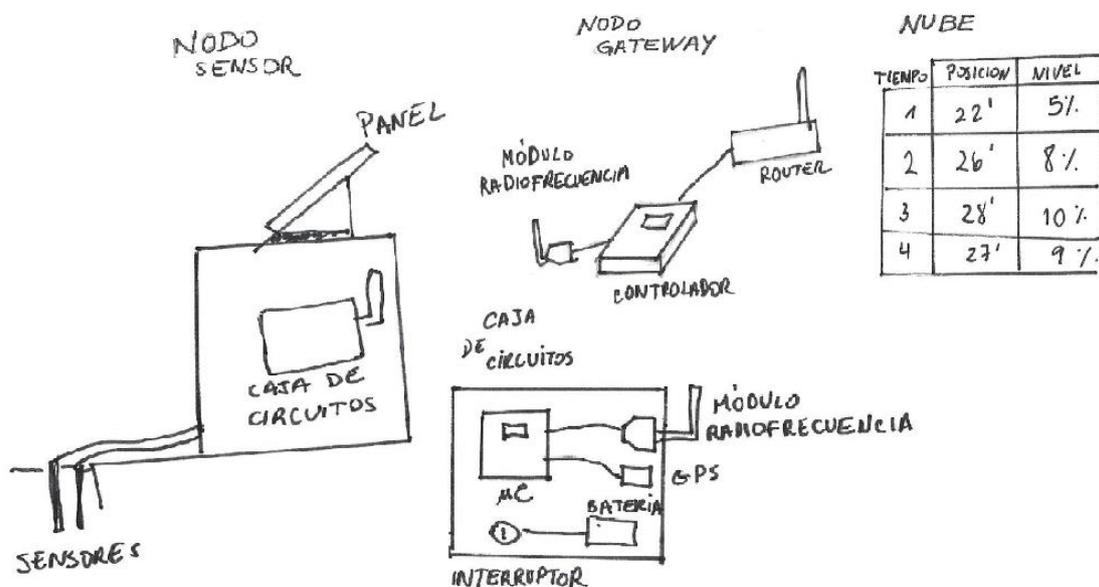
apagarse. Además, se usa como sistema de control un computador (*Workstation*) que se encargará de todas las funciones de control y de recibir los valores de los sensores. Para la transmisión inalámbrica de datos se usará el módulo de *wifi*, el cual estará tanto en el Nodo Sensor como en el nodo Gateway y poder así después emitir los datos a la Nube. El sistema posee los siguientes sensores y dispositivos electrónicos: sensor de corriente, sensor de mercurio, sensor de pH, sensor de conductividad eléctrica y un GPS, los cuales tendrán sus circuitos respectivos de potencia y control. Respecto a la parte mecánica del Nodo Sensor, la estructura en tierra es cilíndrica y se encuentra a orillas del río de la cual salen los cables de los sensores que irán sumergidos; para la estructura sumergida con los sensores, se diseña un soporte que los contengan de modo que no estén sumergidos simplemente, sino que se mantengan fijos. Igualmente, el panel solar estará atornillado en un cuadro de barras que, a la vez, está atornillado a la estructura cilíndrica. Con respecto a la parte de la recepción de datos en el nodo Gateway y la emisión de datos a la Nube, el sistema de control del Nodo Gateway será un computador (*Workstation*), al igual que el Nodo Sensor. Luego este computador a través de Ethernet enviará los datos a la plataforma en la Nube ya que tendrá en sus líneas de código la dirección del canal en la plataforma en la Nube. Finalmente, los datos enviados a la Nube serán mostrados en gráficos para poder ser analizados. Esta solución se puede apreciar en la figura 3.4.2.



**Figura 3.4.2: Concepto Solución B**  
(Fuente: Elaboración Propia)

- Concepto Solución C

Respecto a la parte electrónica y de potencia, esta solución consiste en un sistema solar con una batería, la cual es recargada con un panel de modo que el Nodo Sensor pueda ser energéticamente lo más autónomo posible. Asimismo, la solución propuesta posee un interruptor de switch para encender el Nodo Sensor al momento de iniciarse y apagarse. Además, se usa como sistema de control a un microcontrolador que se encargará de todas las funciones de control y de recibir los valores de los sensores. Para la transmisión inalámbrica de datos se usará el módulo de radiofrecuencia, el cual estará tanto en el Nodo Sensor como en el Nodo Gateway y poder así después emitir los datos a la Nube. El sistema posee los siguientes sensores y dispositivos electrónicos: sensor de corriente, sensor de mercurio, sensor de pH, sensor de conductividad eléctrica y un GPS, los cuales tendrán sus circuitos respectivos de potencia y control. Respecto a la parte mecánica del Nodo Sensor, la estructura en tierra es rectangular y se encuentra a orillas del río de la cual salen los cables de los sensores, los cuales irán sumergidos sin apoyo diseñado. Igualmente, el panel solar estará empotrado en una estructura soldada a la estructura rectangular. Con respecto a la parte de la recepción de datos en el Nodo Gateway y la emisión de datos a la Nube, el sistema de control del Nodo Gateway será un microcontrolador, al igual que el nodo sensor. Luego este controlador a través de Ethernet enviará los datos a la plataforma en la Nube ya que tendrá en sus líneas de código la dirección del canal en la plataforma en la Nube. Finalmente, los datos enviados a la Nube serán mostrados en una tabla dinámica para poder ser analizados. Esta solución se puede apreciar en la figura 3.4.3



**Figura 3.4.3: Concepto Solución C**  
(Fuente: Elaboración Propia)

### 3.5. Evaluación Técnica-Económica

Luego de haber descrito las soluciones anteriores, se realizará una evaluación técnico-económica para compararlas entre sí. En las Tablas 3.5.1 y 3.5.2 se muestran los aspectos analizados y sus respectivos pesos; cada aspecto se evaluó con un puntaje cuyo valor está comprendido entre 1 y 4. Posteriormente se multiplicó este puntaje por el peso del aspecto.

En el siguiente capítulo, se dimensionarán y seleccionarán los componentes que conformarán la solución hallada. De la misma manera, se definirá el flujo del sistema, los diagramas de bloques y esquemáticos.

**Tabla 3.5.1: Valor técnico de las soluciones**  
(Fuente: Elaboración Propia)

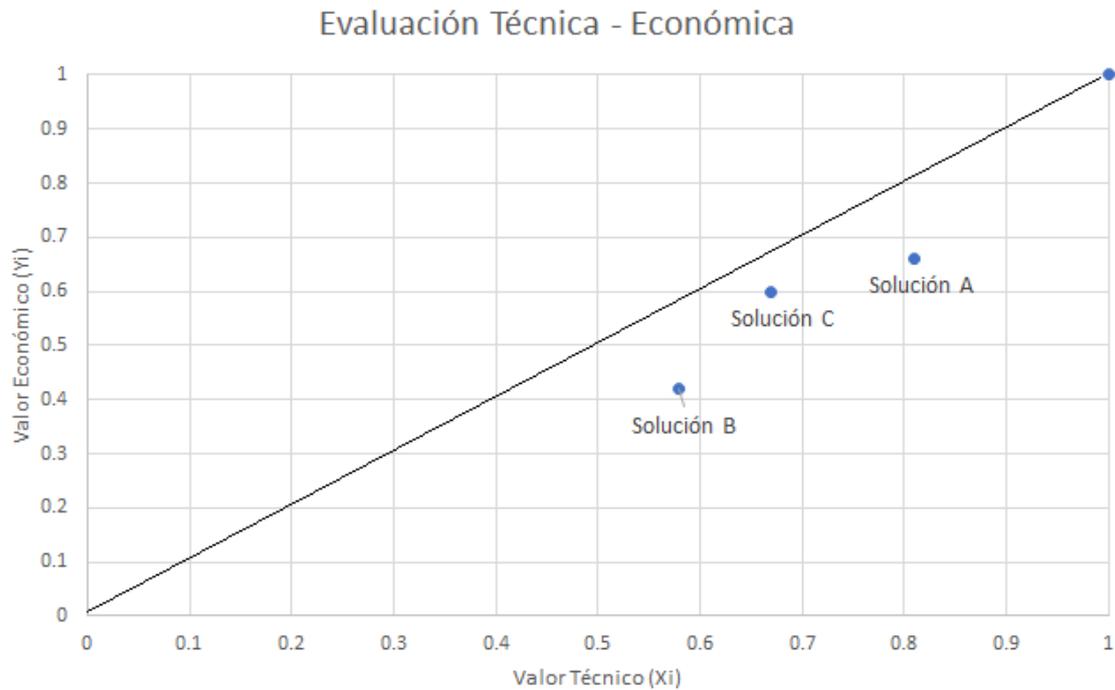
VALOR TÉCNICO XI										
Criterios de selección	Ganancia (g)	Solución A		Solución B		Solución C		Solución Óptima		
		p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p	
Facilidad de Fabricación	3	3	9	3	9	2	6	4	12	
Facilidad de obtener componentes	2	4	8	4	8	4	8	4	8	
Conectividad	3	3	9	2	6	3	9	4	12	
Ensamblaje	3	3	9	2	6	3	9	4	12	
Uso de energía	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
Facilidad de Programación	2	3	6	1	2	3	6	4	8	
Complejidad de la tecnología	2	3	6	1	2	2	4	4	8	
Transmisión de datos	4	3	12	1	4	3	12	4	16	
Visualización de datos	4	4	16	4	16	1	4	4	16	
<b>Puntaje Máximo</b>		29	87	21	65	24	70	36	108	
<b>Valor Máximo</b>		0.81	0.81	0.58	0.60	0.67	0.65	1.00	1.00	

**Tabla 3.5.2: Valor económico de las soluciones**  
(Fuente: Elaboración Propia)

VALOR ECONÓMICO YI										
Criterios de selección	Ganancia	Solución A		Solución B		Solución C		Solución Óptima		
		p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p	
Costos de Fabricación	3	2	6	3	9	3	9	4	12	
Costos de componentes	3	3	9	1	3	3	9	4	12	
Costos de ensamblaje	2	2	4	3	6	3	6	4	8	
Costos de material	1	2	2	2	2	2	2	4	4	
Costo de operación	3	3	9	1	3	3	9	4	12	
Costo de mantenimiento	4	3	12	1	4	1	4	4	16	
<b>Puntaje Máximo</b>		15	42	11	27	15	39	24	64	
<b>Valor Máximo</b>		0.63	0.66	0.46	0.42	0.63	0.61	1.00	1.00	

Leyenda:

- $g$ : ganancia
- $p$ : puntaje asignado



**Figura 3.5.1: Evaluación técnica-económica**  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura 3.5.1 se observa que la solución A se acerca más a la solución óptima, por ende, se toma a la Solución A como la solución final para el desarrollo del presente trabajo de tesis. A continuación, en el capítulo 4 se describirá el proceso de cálculo de la solución A.

## **Capítulo 4**

### **Diseño del Sistema**

En este capítulo se realizarán los cálculos, selección de componentes de acuerdo con el concepto de solución óptimo tomado en el capítulo de anterior. De la misma manera se definirá el diagrama de flujo del mismo, así como se elaborarán los planos y esquemáticos correspondiente, además de mostrar los procesos de fabricación y ensamblaje de los componentes que conforman el sistema.

#### **4.1. Cálculos y selección de componentes del sistema**

##### **I. Nodo Sensor**

##### **1. Dominio Electrónico**

##### **A. Sensores**

Como descrito en el capítulo 3, la variable principal a medir es el nivel de mercurio. Para medir obtener un valor del nivel de mercurio, se debe medir la cantidad de corriente que pasa a lo largo del sensor de mercurio, por tanto, se necesita un sensor de corriente. Asimismo, se describe en el capítulo 3 que el OEFA mide la variación en pH y conductividad eléctrica para poder asegurar la presencia de metales pesados en el agua. En consecuencia, un sensor de pH y de conductividad eléctrica son utilizados para este fin. Por último, se necesita conocer la posición del nodo sensor que está emitiendo la información a modo de determinar el punto con más contaminación, razón por la cual se suma un GPS al nodo sensor. Si bien se podría utilizar un identificador (ID) para conocer la ubicación, este método no es muy preciso y por eso se opta por el GPS. Entonces para poder medir el nivel de contaminación por mercurio, se necesitarán de las siguientes variables sensadas: nivel de corriente, nivel de pH y nivel de conductividad eléctrica. La figura 4.1.1 muestra esta representación. Por tanto, los sensores a utilizar serán: el prototipo de sensor de mercurio con el sensor de corriente adherido, un sensor de pH, un sensor de conductividad eléctrica y un GPS.



**Figura 4.1.1: Diagrama de variables sensadas y su salida para medir contaminación por mercurio (Fuente: Elaboración Propia)**

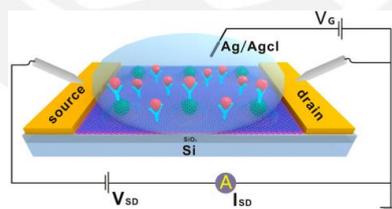
Cabe precisar que el sensor de mercurio usado para este trabajo, se encuentra aún en diseño, sin embargo, para fines prácticos del trabajo, se asume que ya se dispone del dispositivo y simplemente se implementa. La siguiente explicación fundamenta la decisión de usar solo el sensor en diseño: Después de una investigación exhaustiva, se optó por usar el sensor de mercurio en base a un transistor de GO en cual se describe en el estado del arte. Sin embargo, se encontró que en la actualidad no hay sensores comerciales que puedan medir mercurio en tiempo real, esto lo demuestra la figura 4.1.2, la cual muestra la página web de "GTQ (Grupo de Transductores Químicos) *Silicon technologies for sensing*", el cual forma parte de IMB-CNM, el mayor centro de investigación de España con sede en Barcelona y que se encarga de la investigación y desarrollo de tecnologías de micro- y nanoelectrónica basadas en silicio., aquí se aclara sus sensores de metales pesados siguen en investigación. Igualmente, el sensor propuesto en el documento de Chang et al. fue diseñado y fabricado manualmente en los laboratorios propios de la universidad de Wisconsin-Milwaukee en Estados Unidos. Por esta razón, para objetivo de este trabajo de investigación usamos su diseño para tener una visión de cómo se implementaría si existiese el sensor.

APLICACIÓN	PARÁMETROS DETECTADOS	ESTADO
<b>Medio Ambiente: control y automatización de procesos</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Vigilancia medioambiental (análisis de agua y suelo): Análisis multiparamétrico "in situ" y/o en zonas de difícil acceso (aguas superficiales y subterráneas) mediante sistemas portátiles.</li> <li>Control de calidad en redes de distribución de aguas potables</li> <li>Gestión de plantas de tratamiento de agua (depuradoras de insdustrias, polígonos industriales o ciudades).</li> <li>Análisis de vertidos (con el fin de la reutilización de agua)</li> </ul>	ORP pH Conductividad Iones ( $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{K}^+$ , $\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{Ca}^{2+}$ ...) Oxígeno disuelto.	Industrialización
	<ul style="list-style-type: none"> <li>DQO</li> <li>Metales pesados (<math>\text{Cu}^{2+}</math>, <math>\text{Pb}^{2+}</math>, <math>\text{Ag}^+</math>, <math>\text{Cd}^{2+}</math>, <math>\text{As}^{3+}</math>)</li> <li>Contaminantes detectados mediante técnicas ópticas (interferometría)</li> <li>Pesticidas</li> </ul>	Investigación

**Figura 4.1.2: Estado de sensores comerciales de Gtq Silicon Technologies for sensing**  
(Fuente: Gtq)

- Sensor de mercurio

Este sensor es el prototipo descrito anteriormente, del cual se extraen sus principales características: sus conexiones y la variable que cambia (corriente) cuando el sensor interactúa con el mercurio. El controlador no obtendrá el valor de la cantidad de mercurio, sino que a partir de un sensor de corriente medirá cómo varía la corriente del transistor. En conclusión, el sensor de mercurio debe ir adjunto a un sensor de corriente. La conexión propuesta de este sensor se muestra en la Figura 4.1.3.



**Figura 4.1.3: Conexión eléctrica del sensor de mercurio**  
(Fuente: Zhang et al.)

a) Fabricación del sensor de mercurio

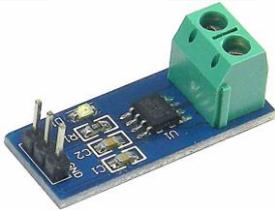
El sensor de mercurio debe comprender los siguientes sistemas: un transistor a base de grafeno con un *coating* o revestimiento de óxido de aluminio y un amplificador de corriente a modo que sus señales puedan ser medidas por el sensor de corriente. Con respecto al transistor, este proceso de formado del grafeno está definido en el documento de Chang et al. Como es un diseño prototipo, se debe diseñar la forma de

incluir ambas partes para poder insertarlo en el soporte de sensores. En el presente trabajo, se asumió que el sensor tiene forma de electrodo y puede ser, por ende, insertado en el soporte de sensores.

- Sensor de corriente

Con este sensor, el sistema puede medir la corriente que fluye por un circuito. Por ende, será usado para medir la corriente que pasa por los terminales del transistor que sirve para medir mercurio. La tabla 4.1.1 muestra el sensor a elegir. Este sensor fue elegido ya que puede ser usado para proyectos con Arduino y es fácil de implementar.

**Tabla 4.1.1: Sensor de corriente  
(Fuente: Elaboración Propia)**

Modelo	<p><b>sensor de corriente ACS712</b></p> 
Pines	3 (Input Voltage, Analog, GND)
Voltaje de Entrada	5V
Consumo de Corriente	13 mA
Rango	-5 - +5 A
Temperatura de funcionamiento	-40 - +85 °C
Tipo de conexión al controlador	Analógica

- Sensor de pH

A través de este sensor, el sistema puede medir el pH del agua. Estos sensores son de tipo electrodo y van sumergidos en el agua. El criterio tomado en cuenta para la elección del sensor de pH fue la compatibilidad con el controlador Arduino, debido que, al tratarse de un prototipo, la facilidad en la conexión entre sensor y microcontrolador es un punto importante, así como la longitud del cable del sensor. La tabla 4.1.2 muestra los posibles sensorer a elegir. Luego de revisar los datos de la tabla, se toma el sensor industrial (*Industrial pH electrode*) ya que ofrece mejor rendimiento en campo para la aplicación que se desea tener y la longitud del cable es aceptable, además el kit de venta viene con su *shield* para Arduino.

**Tabla 4.1.2: Sensores de pH**  
(Fuente: Elaboración Propia)

Modelo	Industrial pH electrode(SKU:FIT0348) 	pH meter(SKU: SEN0161) 
Voltaje de entrada (V)	5	5
Tamaño (cm)	17.7	14.4
Diámetro máx (cm)	2.74	1.95
Rango de Medición	0-14	0-14
Precisión	$\leq 0.02$ pH	$\pm 0.1$ pH
Temperatura de trabajo (°C)	0-60	0-60
Tiempo de respuesta (s)	10	< 60
Longitud de cable (m)	5	1.2
Conexión a Arduino	BNC. Viene con shield para arduino	BNC. Viene con shield para arduino
Consumo de Corriente (mA)	20	20
Tipo de conexión al controlador	Analógica	Analógica

- Sensor de Conductividad Eléctrica

A través de este sensor, el sistema puede medir la conductividad eléctrica en el agua. Estos sensores son de tipo electrodo y van sumergidos. Al momento de escoger sensores de conductividad, se tomó los siguientes criterios: rango de medición (según ECA en anexo D, para conductividad <math><1000 \text{ uS/cm}</math> en zona selva), longitud del cable del sensor y compatibilidad con *Shield* de Arduino. La tabla 4.1.3 muestra un sensor de conductividad eléctrica que se va a utilizar debido a que tiene buen rango de medición, es compacto y la longitud del cable es suficiente.

**Tabla 4.1.3: Sensor de conductividad eléctrica**  
(Fuente: Elaboración Propia)

Modelo	208dh conductividad Cond. CE Electrodo 
Medidas	165mm x 26 mm
Voltaje de Entrada (V)	5
Longitud de cable (m)	3

Rango de medición (uS/cm)	0-1999
Resolución (uS)	1
Precisión	+/-1.5% + 2 dígitos
Conexión	BNC
Temperatura de Operación (°C)	0-50
Peso (g)	41
Consumo de Corriente (mA)	20
Tipo de conexión al controlador	Analógica

\*Los datos de los sensores de pH y conductividad se obtuvieron de *Quickbird* descrito en la bibliografía

- GPS

Asimismo, se desea conocer la posición del Nodo Sensor que está midiendo para saber qué nodo registra una lectura mayor, por ende, se utiliza un dispositivo GPS. Al momento de seleccionar el GPS se tomó en cuenta la temperatura de operación, por ende, el GPS mostrado en la tabla 4.1.4 fue elegido.

**Tabla 4.1.4: GPS**  
(Fuente: *Elaboración Propia*)

Modelo	GY-GPS6MV2 con módulo U-Blox NEO 6Q 
Voltaje de alimentación	2.7-3.6V
Corriente max de entrada	67 mA
Temperatura de trabajo	-40 - +85 °C
Precisión en posición horizontal	2.5 m
Conexión con microcontrolador	Serial

## B. Microcontrolador

El microcontrolador es el elemento esencial en el sistema, ya que es el que procesa la información recibida por los sensores y luego envía estos datos para su siguiente procesamiento. La tabla 4.1.5 muestra un conjunto de microcontroladores en el mercado.

Para seleccionar el microcontrolador se tomó en cuenta los siguientes criterios: Primero, una cantidad suficiente de pines donde se puedan conectar los sensores, el GPS y los módulos de comunicación inalámbrica; luego, la temperatura de trabajo y; por último, el entorno de programación.

En base a esto se decide elegir el Arduino Leonardo para el Nodo Sensor, ya que tiene el número de pines necesarios para conectar los diferentes dispositivos (sensores, GPS, módulos de comunicación) y además por el entorno amigable de programación que ofrece. Más datos técnicos sobre el Arduino Leonardo aparecen en Arduino Store descrito en la bibliografía.

A continuación, se describirán ciertas consideraciones que se tomarán en el uso del microcontrolador:

- Intercalado de Mediciones

El sensor de conductividad al momento de monitorear, desprende cierta corriente por el agua, lo que ocasiona que los demás sensores no puedan medir bien. Por esta razón, se opta por el diseño de un sistema *switching*, y para lograr eso cada sensor se conecta a un pin digital en el controlador y este pin se activará o desactivará cuando sea el turno del sensor correspondiente.

- Uso del puerto Serial

El Arduino solo posee un puerto serial y para este trabajo se requieren 2 uno para el módulo de comunicación y otro para el GPS. Sin embargo, según un tutorial en Naylamp Electronics (Naylamp Electronics, 2016), se puede emular un puerto serial para conectar el GPS a los pines digitales del Arduino, permitiendo que se pueda utilizar ambos dispositivos.

**Tabla 4.1.5: Microcontroladores  
(Fuente: Elaboración propia)**

Modelo	<i>Arduino LEONARDO</i>	<i>Raspberry Pi 3 Model B</i>	<i>Tiva Launchpad</i>
Conectividad	USB 2.0	2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput 300Mbps) 4 x USB 2.0 ports	USB 2.0
I/O Pines	20	Extended 40-pin GPIO header	40
Memoria	32KB (ATMEGA 32u4) 2KB SRAM 1KB EEPROM	1GB LPDDR2 SDRAM	32 KB of bit-banded SRAM, internal ROM, 256 KB of Flash memory, and 2KB of EEPROM
Voltaje de Alimentación	5V (Operación) Recomendado 7V-12V	5V/2.5A DC via micro USB connector 5V DC via GPIO header Power over Ethernet (PoE)-enabled (requires separate PoE HAT)	5V
Temperatura de Operación	0-50°C	0-50°C	-40 - +85°C
Lenguaje de Programación	Arduino, C, C++	Python, C	C

### C. Comunicaciones

- Comunicaciones Sensores – Arduino

Los sensores estarán conectados al Arduino a través de sus propios cables y estos se conectarán a los puertos analógicos del microcontrolador para enviar las señales.

- Topología

Se pueden diseñar diferentes topologías, entre ellas, tipo estrella, malla, árbol. Para objeto de este trabajo se selecciona la topología tipo estrella, ya que en caso se desee aumentar un nodo más, solo se le añade un canal más al nodo Gateway para recepción de datos.

- Transmisor Inalámbrico

Para la transmisión inalámbrica, se usan módulos de radiofrecuencia ya que los módulos estarán separados casi 250 metros como descrito en el capítulo 3. Asimismo, tomando en cuenta el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, al ser este trabajo un diseño de prototipo, se debe considerar al principio como “Radioaficionado”, razón por la cual, se debe estar operando con frecuencias entre 902-928 MHz. La tabla 4.1.6 muestra dos módulos de radiofrecuencia usados en transmisión de datos, de donde se escoge el módulo XbeePro XSC (S3B), tanto por su alcance como por su consumo que fueron los criterios más decisivos para seleccionar el módulo. Asimismo, este módulo requiere de una antena media dipolo de 2.1 dBi, RPSMA macho y articulada. Esta antena puede trabajar en un ambiente de -30 a +60 °C, lo que la hace candidata a ser implementada en el sistema.

**Tabla 4.1.6: Módulos de Radiofrecuencia**  
(Fuente: Elaboración Propia)

Modelo	Digi XbeePro XSC(S3)	Digi XbeePro XSC(S3B)
		
Banda de Frecuencia (MHz)	902-928	902-928
Velocidad de datos (kbps)	10	10 o 20
Rango en Outdoor (km)	9.6	14 con antena dipolo 45 con antena de alta ganancia
Potencia de transmisión	Más de 20 dBm (100 mW)	Más de 24 dBm (250 mW) ajustable con software
Temperatura de Operación (°C)	-40 - +85	-40 - +85
Voltaje de Entrada (V)	2.4 - 3.6	2.4 - 3.6
Corriente DC para transmisión (mA)	265	215
Corriente DC para recepción (mA)	65	26
Conexión a microcontrolador	Puerto Serial	Puerto Serial

## 2. Dominio de Potencia

- Sistema de Alimentación Fotovoltaico (Batería +Panel Solar)

Para tener un sistema fotovoltaico aislado, se debe tener en cuenta los siguientes criterios: Consumo de energía, potencia de conexión necesaria, tipo de consumo (AC, DC, monofásica, trifásica, etc), período de uso, localización y clima, de modo que pueda tener un correcto dimensionamiento (Oscanoa, 2016).

- Batería

Al momento de calcular la batería, se debe tener en cuenta el consumo de potencia de cada elemento y el tiempo que va a estar funcionando durante el proceso. Asimismo, la batería debe entregar 12V ya que el controlador trabaja a 12V. La tabla 4.1.7 muestra los diferentes elementos y sus consumos de potencia. Estos datos fueron extraídos de las hojas de datos de los diferentes componentes en el anexo C.

**Tabla 4.1.7: Requerimientos de energía para transmisión  
(Fuente: Elaboración Propia)**

Elemento	Potencia (mW)
Xbee (transmisión)	710
Sensor de mercurio + corriente	165
Sensor de pH	100
Sensor de Conductividad	100
GPS	240
Arduino	160
Potencia Total	1475

Para la potencia del sensor de mercurio, se asumió que consume como un sensor de pH o CE. La potencia del Arduino se calcula con la corriente que entrega sus pines digitales conectados a los sensores dividido por un factor del regulador que será 0.95 (Quiñones, 2017).

Se calcula la potencia total que va a consumir el sistema, asumiendo que todos los elementos funcionan a la misma vez (este no es el caso),

$$P = 710 + 65 + 100 + 100 + 100 + 240 + 160$$

$$P = 1475 \text{ mW}$$

$$P \approx 1500 \text{ mW.}$$

Una vez hallado este valor, se halla la capacidad requerida en mAh siguiendo la fórmula:

$$C = \frac{\text{Potencia} * \text{Tiempo}(\text{Horas})}{\text{Voltaje}}$$

El tiempo en horas que se requiere para el sistema es de 24 horas debido a que se quiere que el sistema funcione a lo largo del día. Sin embargo, por factor de seguridad, se usa el tiempo para dos días, es decir, 48 horas y trabajando con 12V. Por ende, la ecuación terminaría de la siguiente manera.

$$C = \frac{1500 \text{ mW} * 48 \text{ Horas}}{12 \text{ V}}$$
$$C = 6000 \text{ mAH.}$$

Esta corriente sería la mínima que debe entregar la batería en caso que todo funcione a la misma vez. Cabe recalcar que este dato lo tenemos solo como referencia, ya que, según lo especificado anteriormente, esto no sucederá debido a que no todos los componentes trabajan al mismo tiempo, pero se debe realizar el cálculo siempre para el peor de los casos. Entonces se optó por usar una batería de libre mantenimiento, debido a que estas baterías tienen descarga profunda antes de que empiecen a malograrse.

La batería mostrada en la figura 4.1.4 fue elegida para el sistema de monitoreo. Sus dimensiones son 151 mm x 65 mm x 100 mm y tiene un peso de 2.2 kg.



**Figura 4.1.4: Batería libre mantenimiento 12V 7AH  
(Fuente: Alibaba, 2018)**

- Panel Solar

Una vez elegida la batería, se pasa a elegir un panel solar debido a que el Nodo Sensor debe ser autónomo energéticamente ya que estará en un lugar con ninguna conexión eléctrica. Para el dimensionamiento del panel solar, se calcula el requerimiento diario de potencia, con esto, se puede establecer el dimensionamiento del panel solar (Quiñones, 2017).

La potencia total diaria que requiere el sistema a lo largo de su período de uso se calcula usando la siguiente fórmula descrita. Para esta fórmula se usa un factor de seguridad de 48 horas. Entonces la potencia diaria necesaria será de 72Wd.

$$P_{\text{sistema}} = P_{\text{consume}} * \text{Tiempo}(\text{Horas})$$

$$P_{\text{sistema}} = 1500 \text{ mW} * 48 \text{ Horas}$$

$$P_{\text{sistema}} = 72 \text{ Wd.}$$

Como ya se tiene el voltaje de operación del panel (12V) y la potencia de consumo diario del sistema, se debe determinar la potencia que brinda el panel para poder volver sustentable al sistema de monitoreo. La siguiente fórmula extraída de SunFields se aplica para hallar ese valor:

$$E_d = P_{\text{panel}} * HSP * \text{Coeficiente de rendimiento.}$$

Según SunFields el coeficiente de rendimiento se elige entre 0.85 a 0.9 al descontar ya las pérdidas oscila normalmente entre 0.7-0.8. Las HSP corresponden a las horas solar pico de la zona donde se pondrá el sistema, una hora perfecta de sol representa una hora de sol luminoso, sin nubes (Sagua, 2017). Según el Atlas de Energía Solar del Perú del Senahmi, para Madre de Dios (Selva Sur), la variación de HSP es entre 4.5 a 5. Por tanto, reemplazando los valores en la ecuación anterior se obtiene la potencia que debería poder brindar el panel.

$$72 \text{ Wd} = P_{\text{panel}} * 4 * 0.9$$

$$P_{\text{panel}} = 20 \text{ W}$$

Según este valor se elige un panel Sunpal ya que posee esas características. La figura 4.1.5 muestra el panel elegido. Este panel tiene dimensiones de



**Figura 4.1.5: Panel Solar Sunpal  
(Fuente: Alibaba, 2018)**

- Controlador de Carga Solar

Debido a que el voltaje del panel es oscilante al momento de la carga, esto podría dañar la batería y malograr el sistema de potencia; por eso, se debe usar un regulador/controlador de carga solar entre el panel y la batería. Se escoge un controlador de carga PWM Kampa de 12V 3A para este trabajo como el que se muestra en la figura 4.1.6.



**Figura 4.1.6: Controlador de carga Solar PWM Kampa  
(Fuente: Alibaba, 2018)**

- Reguladores de Voltaje

Adicionalmente se necesita reducir el voltaje de la batería a 3.3 V para poder alimentar el GPS y Xbee, esto se puede lograr con un regulador de voltaje que entregue 3.3 V en sus terminales. En la figura 4.1.7 se muestra el regulador de voltaje Step-Down para reducir de 12 V a 3.3 V DC. Este regulador entrega máximo 3 A de corriente y como, la suma de corrientes del GPS y el Xbee en transmisión es de 282mA, este regulador encaja bien en el sistema.

Igualmente se necesita un regulador para alimentar al Arduino. Si bien el Arduino tiene su propio regulador y puede ir conectado directamente a la batería con 12V, es recomendable hacer trabajar al Arduino en 7V para no llegar a los valores extremos de funcionamiento. El regulador que se elige se muestra en la figura 4.1.8 y convierte de 12V DC a 7V DC, además el regulador puede entregar hasta 10 A, lo cual es suficiente ya que no se excederá ese límite. Las dimensiones del regulador son 75 mm x 75 mm x 30 mm.



**Figura 4.1.7: Regulador de Voltaje LM2596S  
(Fuente: Alibaba, 2018)**



**Figura 4.1.8: Regulador 12V DC / 7V DC LP  
(Fuente: Alibaba, 2018)**

- Interruptor del sistema

Finalmente, el sistema debe poder encenderse y apagarse manualmente, por consecuencia, se le añade un interruptor al sistema. La figura 4.1.9 muestra un interruptor táctil de 12 mm de longitud para encender y apagar el sistema de alimentación.



**Figura 4.1.9: Push Botton Switch  
(Fuente: Alibaba, 2018)**

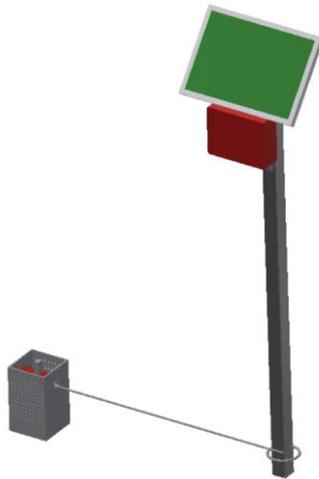
Por último, para visualizar las diferentes conexiones eléctricas, revisar el Plano 1: Nodo Sensor y el Plano 2: Conexiones Eléctricas de la lista de planos. En estos planos se aprecia la conexión entre los diferentes elementos.

### 3. Dominio Mecánico

La estructura que soporta el sistema del Nodo Sensor se divide en dos partes, una que contiene el conjunto de controlador, los circuitos de potencia y el panel solar, y que se encuentra fuera del agua; y la otra que corresponde a la estructura sumergida que contiene los sensores. Estas estructuras son denominadas Soporte Acuático y Soporte en Tierra respectivamente.

Para el Soporte en Tierra, se propone una viga anclada al suelo sobre la cual irán la caja contenedora de los circuitos y el panel solar y, además, a la cual el Soporte Acuático estará sujeto, de modo que se asegure que los sensores no sean arrastrados por el río.

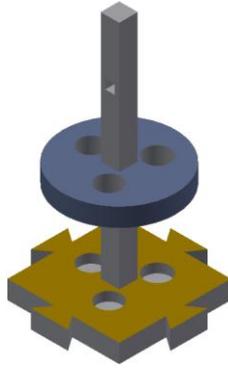
Para el Soporte Acuático, el diseño propuesto es una estructura para colocar los sensores, esta estructura será descrita en la siguiente sección. Para lograr la sujeción del Soporte Acuático al Soporte en Tierra, se plantea usar una cuerda de acero galvanizado que asegure ambas estructuras. Los detalles de estos elementos se describirán en las secciones siguientes. La figura 4.1.10 muestra las dos partes que conforman el nodo sensor y la cuerda de sujeción.



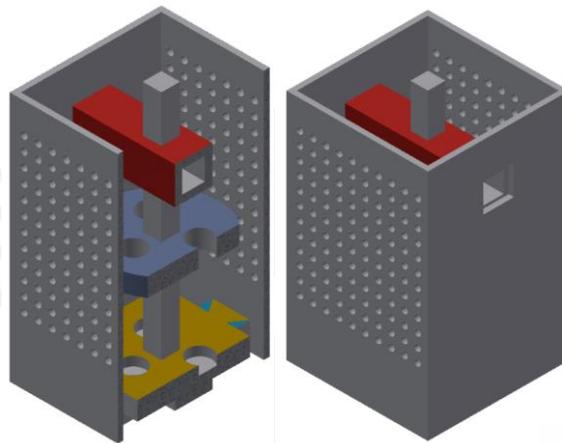
**Figura 4.1.10: Estructura Física del Nodo Sensor  
(Fuente: Elaboración Propia)**

#### I. Soporte Acuático

Para el diseño de esta estructura, se propone el siguiente soporte que se muestra en la figura 4.1.11 y en donde se pueden poner los 3 sensores. Además, este soporte está cubierto por una carcasa que protege los sensores de lo que pueda traer el río, como piedras, o algas. Igualmente, para tener un lugar por donde asegurarlo, se propone un enlazador de cuerda, a través del cual se asegura la parte acuática con la parte en tierra con el cable. Para más detalle de la estructura conjunta revisar el Plano 3: Protección de Sensores, el Plano 4: Soporte de sensores y el Plano 5: Enlazador de cuerda de la lista de planos, los cuales muestran los detalles de estos elementos descritos. La figura 4.1.12 muestra el soporte y su carcasa de protección.



**Figura 4.1.11: Soporte de sensores**  
(Fuente: Elaboración Propia)



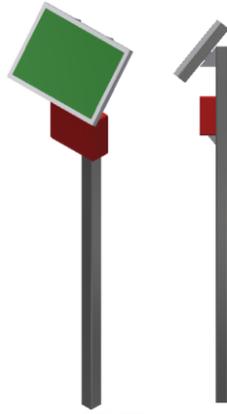
**Figura 4.1.12: Soporte Sumergido**  
(Fuente: Elaboración Propia)

- Material de la estructura sumergida

Al estar esta estructura en el agua, debe de ser de un material que soporte la corrosión, por ende, se propone el uso de polímero ABS, el cual es un termoplástico de gran tenacidad y que puede trabajarse en impresión 3D, razón por la cual es un candidato para esta parte.

## II. Soporte en Tierra

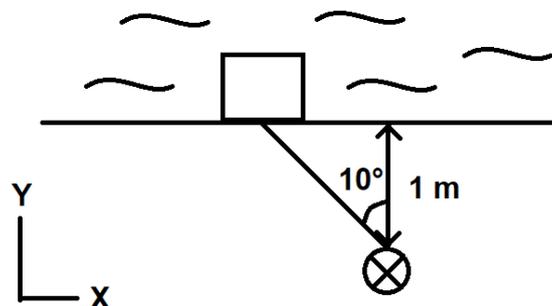
La figura 4.1.13 muestra el diseño propuesto para esta estructura, la cual soportará el peso del panel y la caja de circuitos, así como la tensión originada por la cuerda sobre la estructura. Las dimensiones de la viga usada para la estructura en tierra se pueden revisar en el Plano 8: Barra Soporte.



**Figura 4.1.13: Estructura en tierra**  
**Fuente: Elaboración Propia**

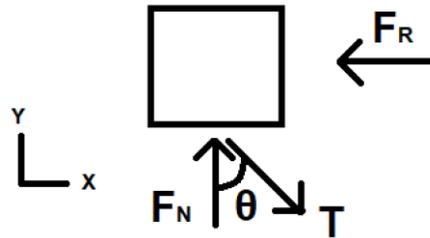
III. Cálculos de diseño

Para el desarrollo consecutivo de los cálculos de diseño se propone la siguiente distribución de los elementos en base a la ubicación de la estructura que se desea tener (una parte sumergida y la otra en tierra) y a la longitud de cuerda. La distancia que existe entre la estructura y la orilla del río se tomó en cuenta en base a la distancia de cable que ofrecen los sensores antes mencionados. La longitud mínima del cable es de 3m, en base a esto la distancia entre la orilla y la estructura se toma de 1m de largo y para obtener un ángulo de  $10^\circ$  (diseño propio), se toma una cuerda de 1.4 m entre la estructura en tierra y el soporte sumergido (esta cuerda debe ser así para poder pasar por la estructura sumergida), de modo que pueda haber un juego con el cable del sensor, luego, teniendo en cuenta el máximo largo que deba tener la barra (descrito en el Plano 8: Barra Soporte), se propone también que esté empotrada a 20 cm del suelo. La figura 4.1.14 muestra la distribución de los elementos en campo mediante una vista horizontal.



**Figura 4.1.14: Vista Horizontal de la propuesta de ubicación**  
**(Fuente: Elaboración Propia)**

Para poder realizar el análisis de fuerzas, se dibujan los DCL de las partes que conforman el Nodo Sensor, y posteriormente se realizarán los cálculos. Las figuras 4.1.15 y 4.1.16 muestran los DCL respectivos para la estructura sumergida como para la estructura en tierra, en ambos DCL se toma un sistema de referencia en tierra. El DCL de la estructura sumergida se ve desde el plano XY y no se incluye el peso ni el empuje porque estos se contrarrestan en la dirección Z.



**Figura 4.1.15: DCL estructura sumergida para sensores**  
(Fuente: Elaboración Propia)

T: Tensión de la cuerda

$F_R$ : Fuerza del Río

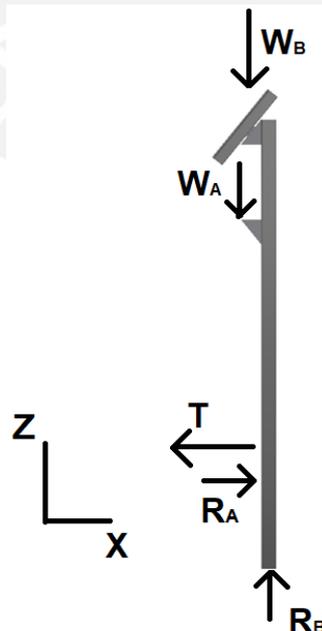
$F_N$ : Fuerza Normal con la orilla

$W_A$ : Peso de la caja con los circuitos incluidos

$W_B$ : Peso del Panel Solar

$R_A$ : Reacción en la dirección X

$R_B$ : Reacción en la dirección Z



**Figura 4.1.16: DCL estructura en tierra desde vista vertical**  
(Fuente: Elaboración Propia)

Para calcular la tensión de la cuerda, primero se debe estimar la fuerza del río que la estructura tendrá que soportar. Para estimar la fuerza que ejerce el río sobre un objeto se usa la siguiente fórmula descrita por O'Shea en la bibliografía (O'Shea, 2006).

$$F = \rho * A * v^2$$

- La velocidad promedio del río está entre 0.8 - 2.2 m/s según un estudio de diagnóstico hidrológico de la cuenca de Madre de Dios del Ministerio de Agricultura, tomamos 2.2 m/s para sobredimensionar el sistema.
- La cara con el patrón de agujeros tiene 0.03812 m<sup>2</sup> y la que tiene solo un agujero tiene 0.04251 m<sup>2</sup>. En este caso tomamos el área más grande para determinar la fuerza máxima que se produciría. Más detalles sobre esta estructura, revisar Plano 3: Protección de Sensores.
- La densidad del agua es de 1000 kg/m<sup>3</sup>

$$F = 1000 * 0.04251 * 2.2^2$$

$$F = 205.74 \text{ N}$$

Por lo tanto, la fuerza F resulta aproximadamente 206 N y estaría ejercida sobre la estructura de sensores sumergida.

Ahora se deducen las siguientes fórmulas para despejar la tensión en condición de equilibrio de la estructura sumergida ya que no se mueve y está sujeta a la estructura en tierra:

$$\sum F_x = T \sin \theta - F_R = 0$$

$$\sum F_y = -T \cos \theta + F_N = 0$$

de la ecuación uno se deduce lo siguiente:

$$T \cos \theta = F_R$$

$$T = \frac{F_R}{\cos \theta}$$

Reemplazando valores tenemos que  $T \approx 209 \text{ N}$ .

Los pesos  $W_A$  (caja de circuitos) y  $W_B$  (panel solar) tienen valores de 28.15 N y 20.58 N respectivamente que se obtienen con la ayuda de la tabla 4.1.8.

**Tabla 4.1.8: Masa de los componentes en la estructura  
(Fuente: Elaboración Propia)**

Elemento	Masa
Arduino	20 g
GPS	15 g
Xbee	8 g
Batería	2200 g
Panel	2100 g
Controlador de carga	100 g
Regulador 12V / 7V	330 g
Otros circuitos	200 g
<b>Total</b>	4973 g o 5 kg

\*Otros se refiere a los cables, al regulador de voltaje de 3.3V y al interruptor

Como la estructura en tierra será empotrada en el suelo, solo habría mayor efecto por parte de la tensión que produciría un esfuerzo de corte. Entonces analizando este escenario tenemos:

$$\sigma_c = \frac{T}{A}$$

Como el sistema debe poder resistir la corrosión, ya que estará expuesto a un lugar con humedad, se elige usar acero inoxidable para la estructura y luego se dimensiona la barra de soporte en forma hueca con 60 mm x 60 mm (criterio de diseño) de lado y 2 mm de espesor, esto se puede observar en el Plano 8: Barra Soporte. Por consiguiente, el área sería de 0.000464 m<sup>2</sup> y el esfuerzo de corte resultante sería de:

$$\sigma_c = 450 \text{ kPa}$$

Como se puede apreciar este valor no se acerca a el esfuerzo máximo del acero inoxidable que es 200 GPa, por tanto, el sistema cumple las especificaciones.

- Soporte del Panel Solar

El panel solar irá apoyado en una estructura también de acero inoxidable que está soldada a la barra principal formando un ángulo de 39° (normalmente los paneles están entre 30° a 45°). El panel posee agujeros donde se le pueden insertar tornillos para sujetarlo a la estructura y mantenerlo fijo a ella; esta estructura se puede revisar en el

Plano 9: Soporte de Panel. Asimismo, esta estructura está conformada por 4 piezas con forma de ángulo de diferentes longitudes y una platina que las conecta, además la unión entre estas partes es una soldadura TIG para acero inoxidable. El Planos 6: Barra Panel, Plano 7: Platina Soporte, y el Plano 9: Conexión Barras muestran los detalles de los elementos que conforman la estructura que sostiene al panel. La figura 4.1.17 muestra la vista de la estructura que le brinda soporte al panel. Para mayor detalle de las partes que conforman esta estructura, revisar los Plano 6: Barra Panel, Plano 7: Platina Soporte, Plano 8: Barra Soporte, Plano 9: Conexión Barras. Asimismo, para observar esta estructura completa, el Plano 10: Soporte de Panel muestra los detalles y dimensiones.



**Figura 4.1.17: Soporte de Panel**  
**(Fuente: Elaboración Propia)**

- Unión de los componentes

La viga que servirá de eslabón principal estará conectada con la estructura de soporte del panel a través de una soldadura TIG para acero inoxidable y adicionalmente, para sujetar la caja de circuitos, se le soldará un nervio que servirá de apoyo. Esta unión soldada se puede revisar en el Plano 12: Soporte Soldado.

Asimismo, el sistema completo de la estructura en tierra, incluyendo la caja de sensores y el panel solar, se puede revisar en el Plano 11: Estructura Nodo.

- Soldadura de acero inoxidable

Este procedimiento se puede llevar a través de una soldadura por arco manual con electrodo revestido o SMAW (TIG), la cual es una de las más utilizadas para aceros inoxidables. Para poner los costos respecto a este proceso se cotiza \$10 por kilo de

acero inoxidable trabajado, por consiguiente, se deberá sacar el peso de la estructura total de acero inoxidable.

$$\sum V_{inox} = V_{barra} + 2 * V_{nervio} + V_{soporte}$$

$$M = V * \rho$$

$$M = 0.001251314 * 7850$$

$$M = 9.82 \text{ kg}$$

- Protección de cables

Los cables de los sensores que se encuentran en el Soporte Acuático están expuestos, razón por la cual deben tener una protección que impida el daño a las conexiones eléctricas. Por ende, se propone usar un tubo corrugado flexible de 1" de diámetro con 10 m de largo como el que se muestra en la figura 4.1.18.



**Figura 4.1.18: Tubo corrugado flexible  
(Fuente: Elaboración Propia)**

## II. Nodo Gateway

### 1. Dominio Electrónico

Este es el nodo central el cual recibe la información del nodo sensor en campo y luego envía esta información a la nube. Este nodo consiste en un controlador al cual se le conecta otro módulo de radiofrecuencia para la recepción de datos.

- Microcontrolador

Para el controlador, se elige nuevamente un Arduino Leonardo debido a su facilidad de programación y a la inserción de código directo (como se describirá posteriormente en la sección de la Nube) para emisión de datos a la nube.

- Comunicaciones

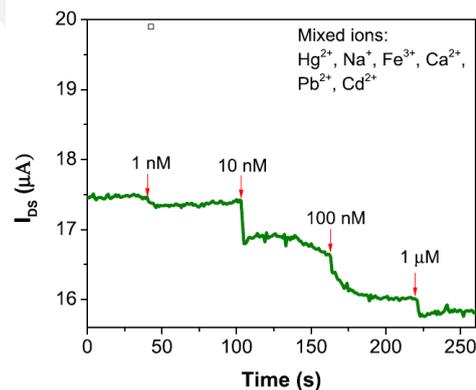
Para el módulo de radiofrecuencia, se propone el mismo módulo que para la transmisión de datos del nodo sensor, es decir, el XbeePro S3B. Además, el nodo Gateway estará en una estación con conexión a Internet vía Ethernet, y, a modo que acceso a la red, se le añade un *Shield* al Arduino de modo que pueda comunicarse vía Ethernet. El *Shield* que se usará será el W5100 R3 y se muestra en la figura 4.1.19.



**Figura 4.1.19: Shield Ethernet W5100 R3 para Arduino**  
(Fuente: Elaboración Propia)

a) Frecuencia de emisión de los datos del nodo Gateway a la Nube

La emisión de los datos a la Nube desde el Nodo Gateway dependerá del tipo de cuerpo hídrico que se analice, en este caso, el cuerpo analizado es un río, por ende, la frecuencia con la que se deben visualizar los datos debe ser rápida. Para este trabajo se elige enviar los datos a la Nube cada minuto, ya que según los gráficos de Chang (figura 4.1.20), se observa que los cambios se dan en períodos largos como cada minuto.



**Figura 4.1.20: Variación de la corriente en el sensor de mercurio**  
(Fuente: Chang et al, 2015)

## 2. Dominio de Potencia

El nodo Gateway estará conectado al tomacorriente a través de un *Jack* que alimente al microcontrolador.

### III. Nube

- Solución Cloud Computing

A continuación, se justifica el hecho de usar una solución *Cloud Computing* frente a una solución *On-Premise*. Según un artículo publicado por Sherpa Software (s.f) existen muchas diferencias entre soluciones tecnológicas de tipo *On-Premise* y *Cloud Computing*. Una de ellas es la forma cómo se accede a ellas. Las soluciones *On-Premise* son las instaladas en las computadoras de los usuarios, mientras que las *Cloud Computing* están en internet y son normalmente ofrecidas por un tercero. La segunda gran diferencia es el modo cómo se pagan estas soluciones, las *Cloud* son pagadas conforme se vaya escalando, es decir, conforme haya más datos, mientras que las *On-Premise* necesitan un desembolso previo. Razón por la cual las soluciones basadas en Cloud son preferidas por su bajo costo y escalabilidad dinámica.

Adicionalmente, el uso de la Nube reduce en gran parte las necesidades de recursos de hardware, además que son de rápida implementación y configuración. Sin embargo, existen también desventajas frente a las soluciones *On-Premise* como la limitación de integración con diferentes procesos, es decir, aún no existe tanta interconectividad. Además, el uso de la Nube incluye un riesgo alto en términos de seguridad informática, por ello, aún existe desconfianza en que los datos guardados bajo esa plataforma se encuentren completamente seguros. Por último, la caída del sistema o interrupciones originadas involucran la pérdida de información, la cual no es deseable si se usa un sistema que mida parámetros en tiempo real, aunque este escenario se puede presentar tanto bajo una solución en la Nube u *On-premise*. Sin embargo, la Nube nos garantiza una mayor disponibilidad de los servicios.

Resumiendo, la solución *Cloud* provee mayor facilidad de escalabilidad, es decir, aumentar no solo el espacio que se necesita sin preocuparse de tener más hardware para almacenar estos datos, sino también la cantidad de canales para la emisión de sus datos y la frecuencia con la que se envían estos. Además, su alta disponibilidad definida en los acuerdos de niveles de servicio (SLA), los cuales documentan los compromisos

que piensa cumplir la empresa para los clientes (IBM, 2018), permiten tener acceso a los datos en cualquier momento y en caso de falla; el acuerdo debe especificar el tiempo estimado para solucionar el problema. Sin embargo, la gran desventaja está relacionada con la seguridad de la plataforma en línea. Tomando esto en cuenta, se decidió optar por la solución *Cloud*.

- Selección de un protocolo de comunicación a la Nube

Una vez elegida la solución IoT, se selecciona un protocolo de comunicación para la emisión de datos. Para este trabajo elegimos usar el protocolo MQTT debido a puede ser soportado por algunos de los dispositivos de medida y monitoreo y puede transmitir datos por redes alejadas e incluso a veces intermitentes. Este protocolo de tipo *publisher/subscriber messaging* optimiza la conexión del mundo físico con varios servidores y consumidores. MQTT es diseñado para sobrepasar los desafíos de conectividad en el mundo de sensores, actuadores y otros dispositivos (IBM, 2014), lo que lo hace muy útil para el diseño del sistema a implementar. Además, este protocolo es ideal para las tecnologías emergentes M2M o IoT de dispositivos interconectados donde el ancho de banda y el consume de energía limitados son características relevantes.

- Selección de la plataforma en la Nube

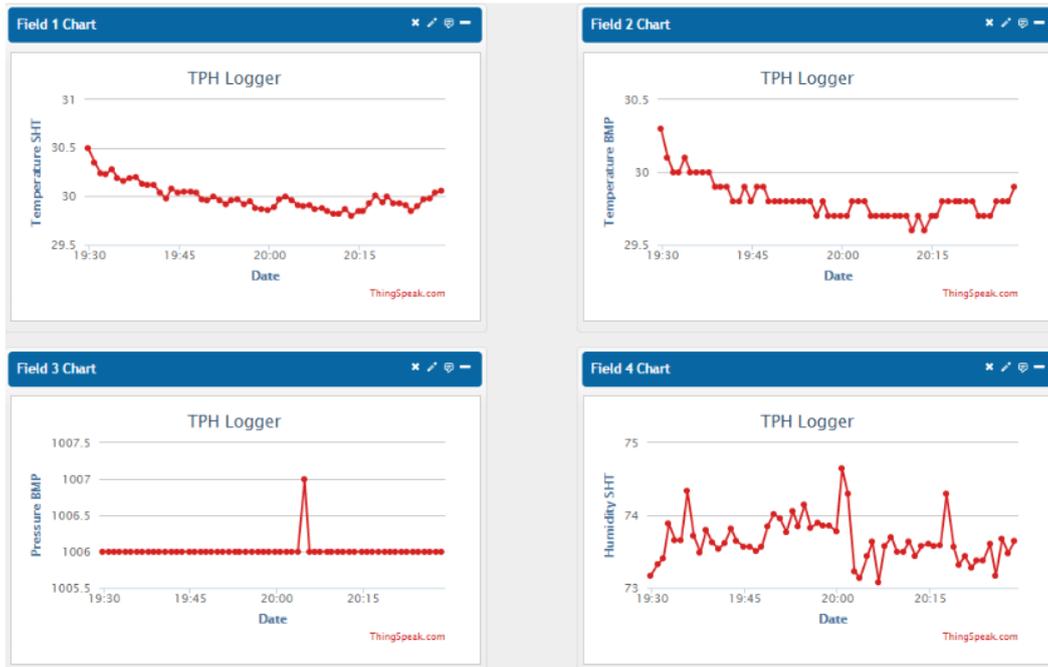
A seguir, se selecciona la plataforma en la nube que se utilizará. La tabla 4.1.9 muestra las diferentes plataformas que pueden ser usadas y además describe algunas características de ellos. Sin embargo, en el presente trabajo, al ser un diseño de prototipo, su diseño empieza con una versión gratuita que permita enlazar los diferentes sensores a la plataforma. Por tanto, se opta por usar la plataforma *ThingSpeak* debido a que ofrece mayores beneficios en su versión gratuita para conectar dispositivos a la Nube y cierta versatilidad para el diseño de este prototipo como la conexión de microcontroladores a Internet, con inserción de código directo para emisión de datos; la cantidad de mensajes que se pueden enviar y el uso de *Matlab* como código fuente para visualización de los datos.

**Tabla 4.1.9: Comparación de plataformas en la Nube**  
(Fuente: Elaboración Propia)

	Amazon Web Services 	Microsoft Azure 	ThingSpeak 
Enfoque	Diferentes servicios, dentro de ellos, almacenamiento, base de datos, computación, análisis, Internet de las cosas	Diferentes servicios, dentro de ellos, almacenamiento, base de datos, computación, análisis, Internet de las cosas	Principalmente aplicaciones con IoT y análisis de datos
Administración de datos	Recolección de datos en canales privados. Se puede compartir datos en canales públicos	Recolección de datos en canales privados. Se puede compartir datos en canales públicos	Recolección de datos en canales privados. Se puede compartir datos en canales públicos
Protocolos Admisibles	MQTT	HTTP, AMQP, MQTT	REST, MQTT
Dispositivos	Con AWS FreeRTOS, se pueden conectar diferentes dispositivos que usan microcontroladores o controladores de baja potencia	Permite conectar diferentes dispositivos, controladores, aplicaciones de manera segura	Se pueden conectar diferentes dispositivos que usen microcontroladores como arduino o Rasperry y aplicaciones móviles
Precio	La versión FreeRTOS es open source pero otros servicios cuestan \$1.49 al año por dispositivo y tiempo de uso. Es decir, se paga por lo que se usa	Posee un sistema de pago por dispositivo y con cantidad de mensajes fijas, \$9.86 con 146 millones mensajes al año por unidad y un tamaño de 4 kB	Para el paquete estándar, cuesta \$650 por unidad al año

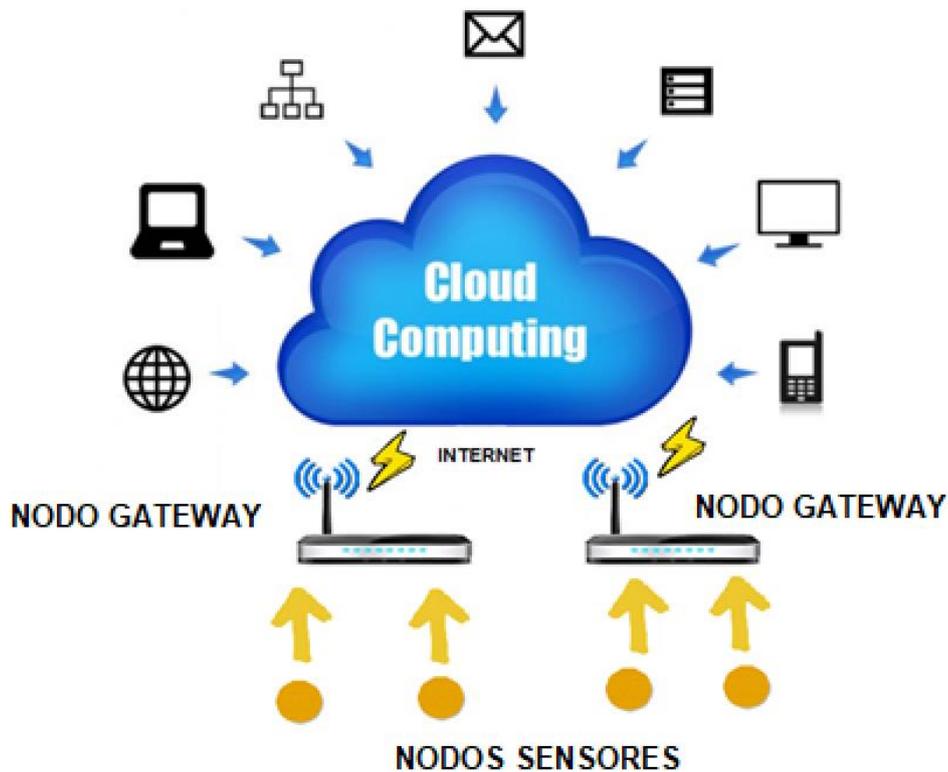
- Visualización de los datos

La plataforma en la Nube *ThingSpeak* permite visualizar a través de plantillas la evolución de los datos a lo largo del tiempo, una ventaja que permitirá observar el momento en que ocurren los picos de contaminación y la variación anormal en las mediciones. Un ejemplo de la visualización de estos datos se muestra en la figura 4.1.21.



**Figura 4.1.21: Gráficos de evolución de los datos en función del tiempo (Fuente: ThingSpeak, 2018)**

Finalmente, la figura 4.1.22 muestra el diagrama de arquitectura del sistema de monitoreo usando la solución *Cloud Computing*.



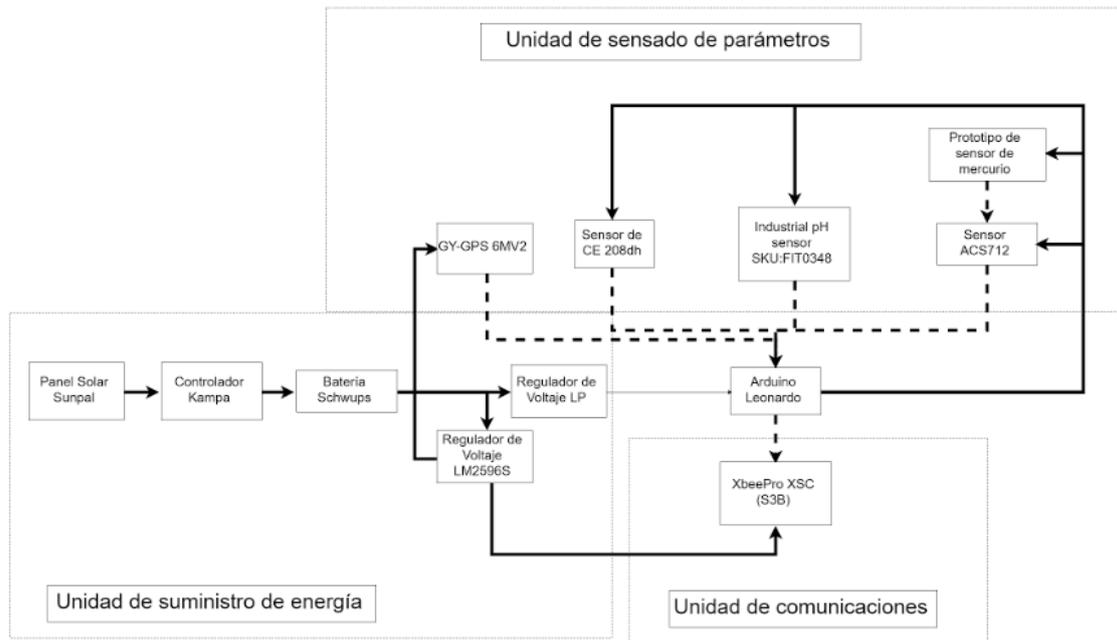
**Figura 4.1.22: Arquitectura Cloud Computing (Fuente: Elaboración Propia)**

## 4.2. Diagramas de Bloques

En este apartado se encuentran los diagramas de bloques que muestran las conexiones de potencia y control. El tipo de señales se diferencian mediante el siguiente esquema:



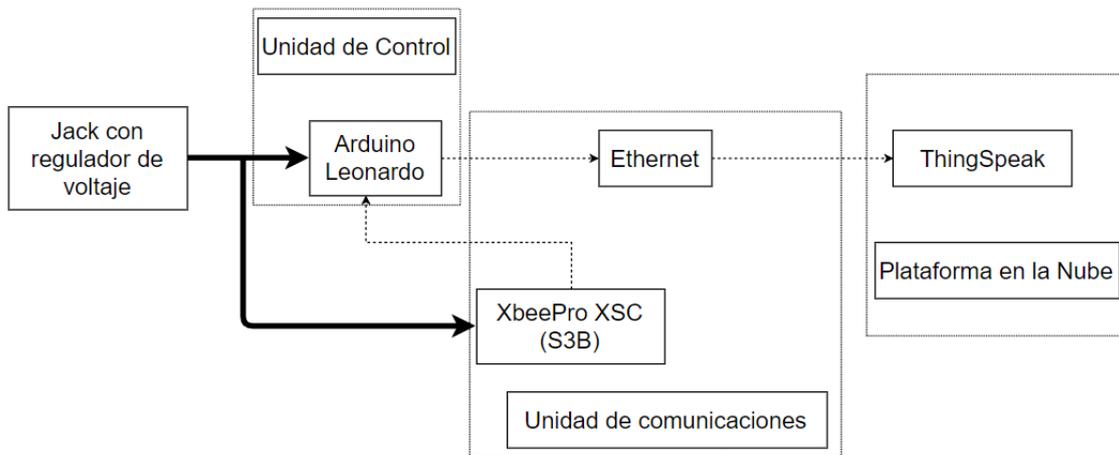
### I. Nodo Sensor



**Figura 4.2.1: Diagrama de Bloques Nodo Sensor**  
(Fuente: Elaboración Propia)

La unidad de suministro de energía consiste en distribuir energía a todo el nodo sensor, empezando desde su obtención en el panel solar que está en el Soporte en Tierra, pasando a ser regulada en el controlador de carga y terminando siendo almacenada en la batería para luego ser distribuida a los elementos del sistema. Para la unidad de sensado de parámetros, la energía llega al controlador Arduino luego de ser regulada a 7V para evitar sobrecalentamiento en el microcontrolador, y luego es distribuida a los sensores a través de sus pines; excepto en el caso del GPS y del Xbee en el cual la energía proviene de la batería, siendo regulada por el regulador de voltaje a 3.3V. Asimismo, la unidad de sensado envía señales analógicas al controlador como señales de información. Por último, la unidad de comunicación recibe las señales digitales del microcontrolador para poder emitir los datos al nodo Gateway.

## II. Nodo Gateway



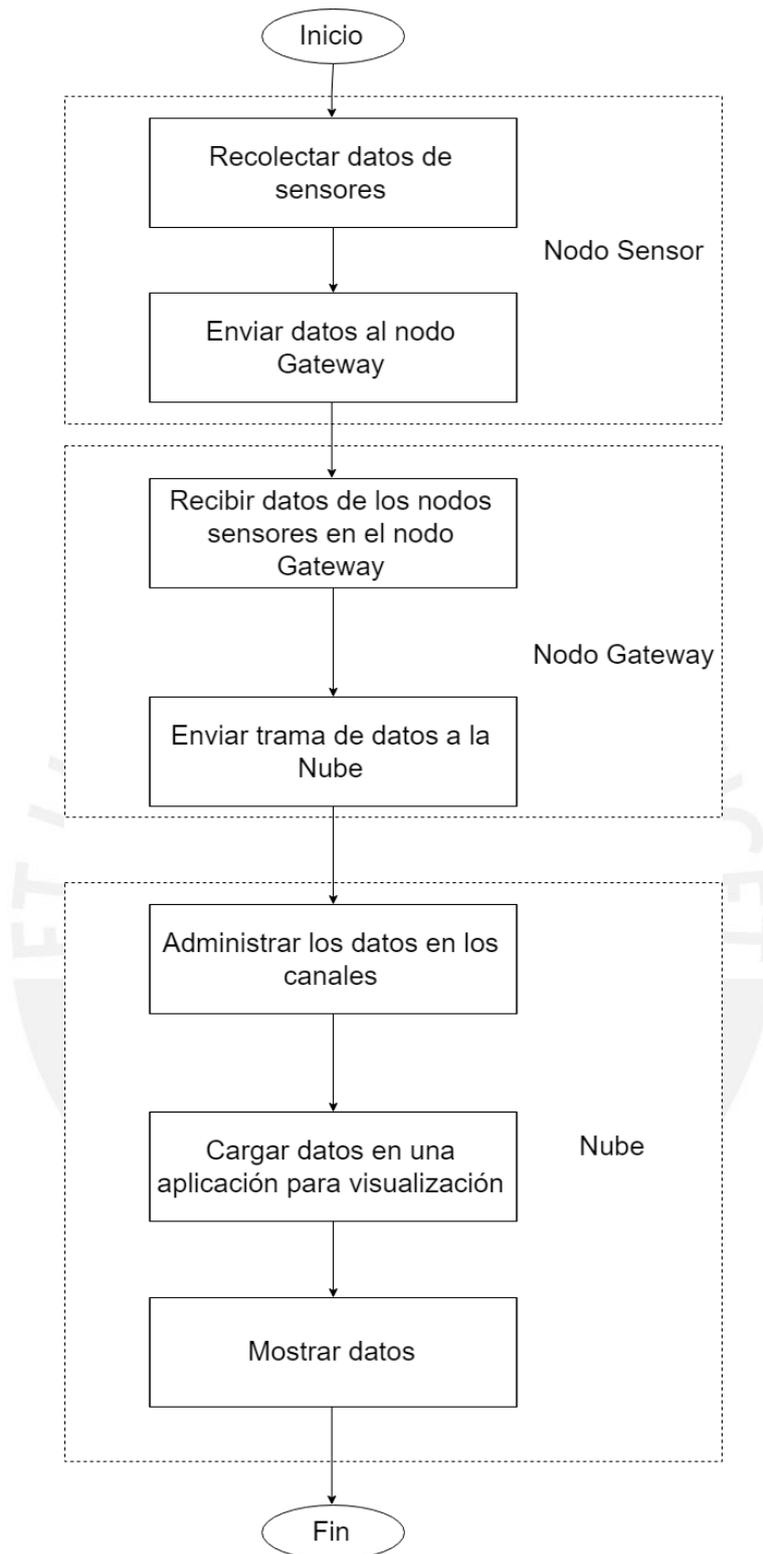
**Figura 4.2.2: Diagrama de Bloques Nodo Gateway y plataforma en la Nube**  
(Fuente: Elaboración Propia)

El Arduino Leonardo recibe energía eléctrica a través de un *Jack* que tiene salida para el tomacorriente en la estación, al igual que el módulo Xbee. Además, el Arduino recibe los datos del nodo sensor por medio del Xbee, para luego a través de un puerto Ethernet del Arduino, enviar estos datos directo a la plataforma *ThingSpeak*, de modo que lleguen a ser mostrados en gráficos.

### 4.3. Diagramas de Flujo

#### 1. Diagrama de Flujo del Sistema

El diagrama del sistema se separa en 3 partes que ocurren en los diferentes elementos: el Nodo Sensor, el Nodo Gateway y la plataforma en la Nube. Primero se recolectan los datos de los sensores en el Nodo Sensor, para luego ser enviados al nodo Gateway. El nodo Gateway recibe los datos de los nodos sensores y luego los envía a la plataforma en la Nube a través de Internet. Por último, ya en la Nube, los datos son administrados en sus canales respectivos, luego son cargados a las aplicaciones de visualización y por consiguiente mostrados al usuario final.

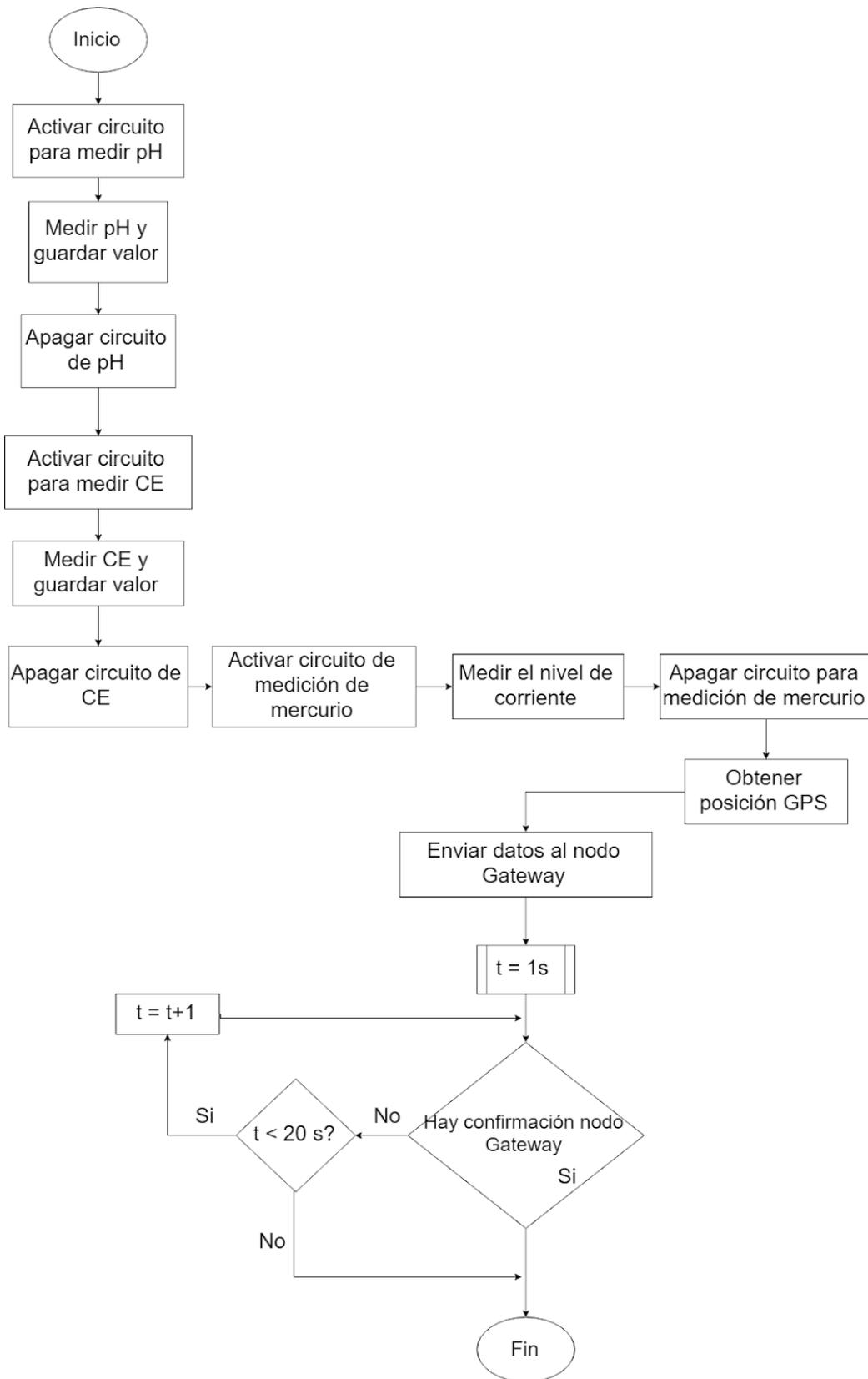


**Figura 4.3.1: Diagrama de Flujo del Sistema**  
**(Fuente: Elaboración Propia)**

## 2. Diagrama de Flujo del Nodo Sensor

El diagrama comienza con la recolección de los datos, este proceso consiste en encender el circuito del sensor correspondiente, medir la variable, guardar el valor y luego apagar el circuito del sensor para poder empezar con la medición del siguiente sensor. El primer sensor en ser usado es el de pH, luego el de conductividad eléctrica, luego el de mercurio y por último, el de corriente. Siguiendo se sensorará la posición con el GPS. Una vez con todos los datos, se envían estos al Nodo Gateway. Para la transmisión, se enviará una secuencia de datos y se esperará una confirmación por parte del Nodo Gateway, para la cual se esperará 20 segundos para recibir esta confirmación. En caso no se reciba, el flujo termina y todo empieza desde el principio.

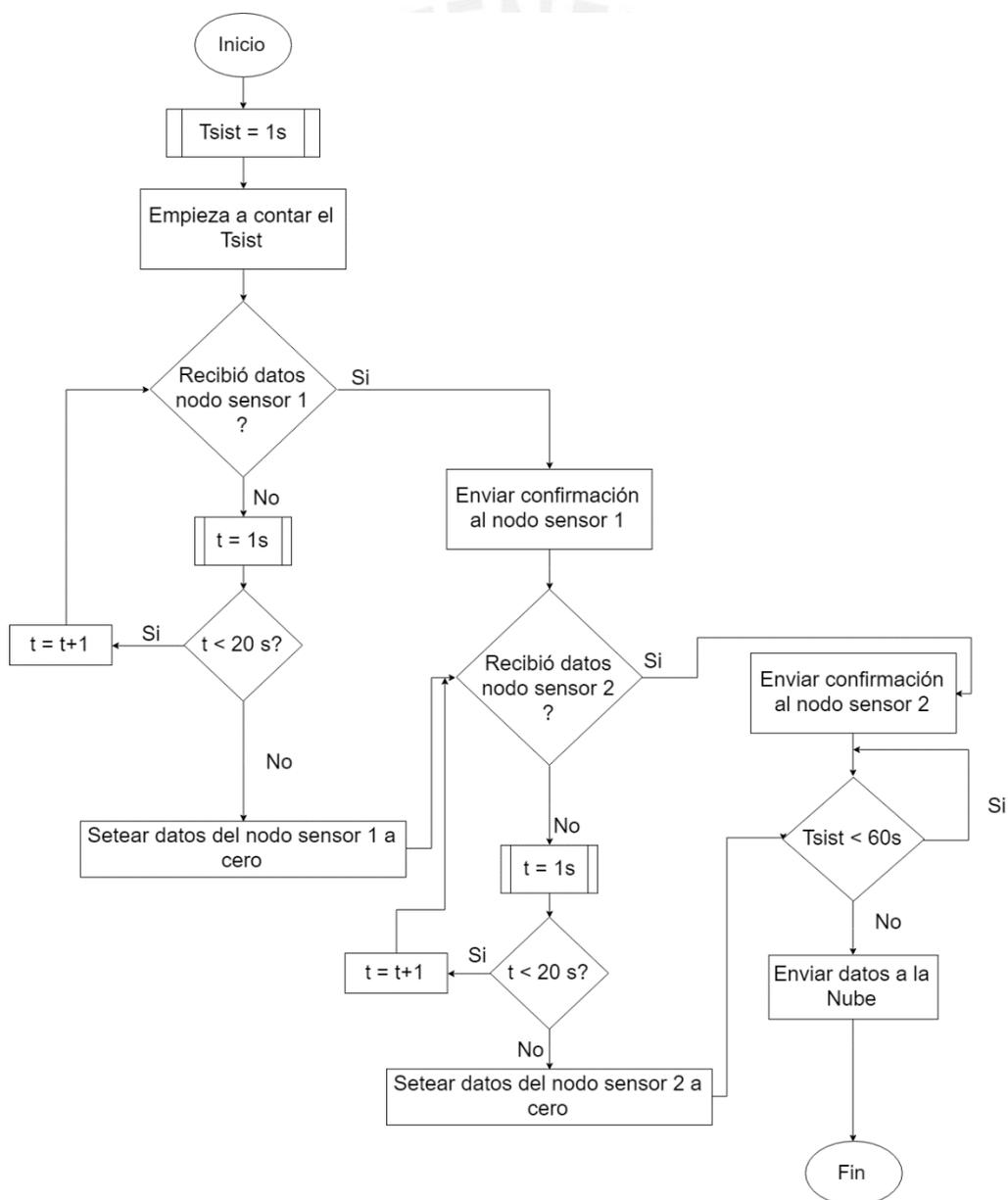




**Figura 4.3.2: Diagrama de Flujo del Nodo Sensor  
(Fuente: Elaboración Propia)**

### 3. Diagrama de Flujo del Nodo Gateway

El nodo Gateway debe enviar datos cada minuto, razón por la cual se setea un timer para contabilizar el tiempo de procesamiento. Una vez hecho esto, el sistema espera la recepción de datos del primer Nodo Sensor; en caso no reciba datos del Nodo Sensor 1 en 20 segundos, el sistema escribirá como 0 todos los datos. Luego espera la recepción de los datos del segundo Nodo Sensor, y en caso no reciba datos en 20 segundos, el sistema escribirá como 0 todos los datos. Una vez que el sistema tenga las cadenas de datos listas para ser emitidas, verá si el timer cumplió el minuto para poder recién enviar los datos a la Nube.



**Figura 4.3.3: Diagrama de Flujo del Nodo Gateway**  
(Fuente: Elaboración Propia)

#### 4. Diagrama de Flujo de la Nube

El procesamiento empieza con la recepción de los datos del nodo Gateway. Luego se ordenan los datos en los respectivos canales que les corresponden. Es decir, los datos de pH, irán a los canales de pH, los datos de conductividad irán a los canales de conductividad. Por último, estos datos serán ploteados o mostrados en gráficas para el usuario.



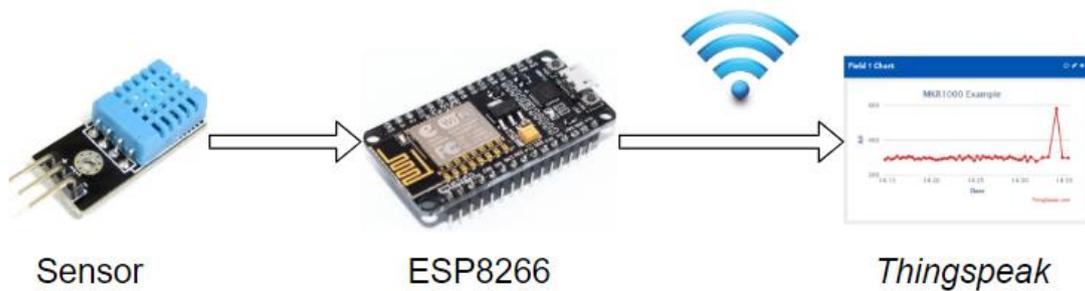
**Figura 4.3.4: Diagrama de Flujo de la plataforma en la Nube (Fuente: Elaboración Propia)**

#### 4.4. Simulaciones y Código

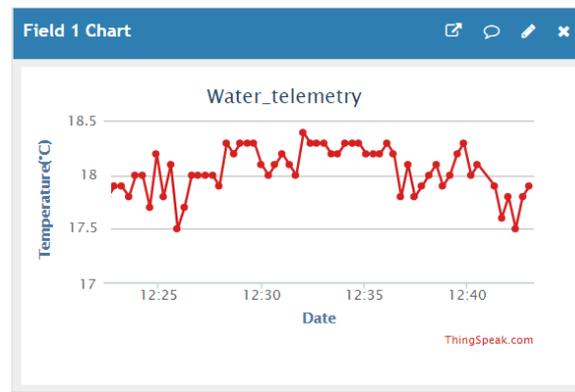
- Envío de datos a la nube

Para efectos demostrativos se realizó un experimento con diferentes emisiones de datos a la Nube usando un controlador ESP8266 y un sensor de temperatura, ya que no se dispone del controlador Arduino Leonardo ni de los sensores; además este controlador se puede programar en el entorno de Arduino, simulando el código que se introduciría. Este experimento tuvo la finalidad de observar el comportamiento de los datos en la plataforma en la Nube cuando son enviados por el nodo Gateway. La figura 4.4.1 muestra la distribución del hardware usado para enviar datos hasta la plataforma *ThingSpeak*. La facilidad de codificación que ofrece *ThingSpeak* con el Arduino (el verdadero controlador) permite solo introducir un par de líneas de código en el programa y automáticamente se realiza la petición a la plataforma y se envía al canal correspondiente. La figura 4.4.2 muestra una simulación realizada con el sensor de temperatura y el ESP8266, el cual envía los datos a través de Internet. Esta simulación

corresponde a la variación de la temperatura ambiental a lo largo de un periodo de tiempo. La emisión de datos hacia la plataforma se realiza cada minuto como descrito anteriormente. Asimismo, la figura 4.4.3 y 4.4.4 muestran parte del código que configura al controlador con el canal en la Nube y de este modo, los datos son enviados directamente a la plataforma cuando se disponga de una conexión a Internet.



**Figura 4.4.1: Distribución de elementos para el experimento (Fuente: Elaboración Propia)**



**Figura 4.4.2: Variación de la temperatura ambiental en función del tiempo (Fuente: Elaboración Propia)**

```
#include <ESP8266WiFi.h>
```

```
// Wi-Fi Settings
const char* ssid = "MOVISTAR_20F0"; // your wireless network name (SSID)
const char* password = "nCKZABKD5"; // your Wi-Fi network password
```

```
WiFiClient client;
```

```
// ThingSpeak Settings
const int channelID = 500699;
String writeAPIKey = "KM01J49CZQJQM67B"; // write API key for your ThingSpeak Channel
const char* server = "api.thingspeak.com";
```

**Figura 4.4.3: Código para configuración de canal y conexión a la nube (Fuente: Elaboración Propia)**

```
// Construct API request body
String body = "field1=";
    body += String(rssi);|
Serial.print("RSSI: ");
Serial.println(rssi);
```

```
client.println("POST /update HTTP/1.1");
client.println("Host: api.thingspeak.com");
client.println("User-Agent: ESP8266 (nothans)/1.0");
client.println("Connection: close");
client.println("X-THINGSPEAKAPIKEY: " + writeAPIKey);
client.println("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded");
client.println("Content-Length: " + String(body.length()));
client.println("");
client.print(body);
```

**Figura 4.4.4: Código referencial para emitir datos a la nube**  
(Fuente: Nothans, 2018)



## Capítulo 5

### Costos

En esta sección se presentarán los costos asociados al proyecto de acuerdo a los materiales y dispositivos seleccionados durante el diseño. A continuación, se presenta un resumen económico total.

Para la implementación del proyecto se toman en consideración los siguientes costos: Costos de Fabricación y los Costos de Diseño, estos valores están detallados en la tabla 5.1.1. Los Costos de Fabricación incluyen los costos de los componentes estandarizados, los costos de las piezas fabricadas, los costos de programación y los costos de ensamblaje; estos valores se detallan en la tabla 5.1.2. Los Costos de diseño representan el costo propio por hora trabajada. Estos costos se detallarán mejor a continuación.

**Tabla 5.1.1: Costos Totales para la implementación  
(Fuente: Elaboración Propia)**

Detalle	Costo(S/.)
Costos de fabricación	3162.4
Costos de diseño	4200
<b>TOTAL</b>	<b>7362.4</b>

**Tabla 5.1.2: Costos Totales para la fabricación  
(Fuente: Elaboración Propia)**

Detalle	Costo(S/.)
Costos por componentes estandarizados +30% por gastos de importación y pernos	1997.45
Costos por piezas fabricadas	364.95
Costos de programación	400
Costos de ensamblaje	400
<b>TOTAL</b>	<b>3162.4</b>

- Costos por Componentes Estandarizados

Según la lista de exigencias, debe haber dos módulos monitoreando, razón por la cual, algunos componentes se multiplican por 2.

**Tabla 5.1.3: Costos de componentes estandarizados  
(Fuente: Elaboración Propia)**

Componente	Marca y Modelo	Proveedor	Cant.	Precio Unitario (S/.)
Controladores	Arduino Leonardo	Arduino Store	2	65
Sensor de pH	Industrial Ph electrode (SKU:FIT0348)	AliExpress	1	162.4
Sensor de conductividad	208dh conductividad Cond. CE Electrodo	eBay	1	116.2
Sensor de corriente	ACS712	Mouser Electronics	1	3.80
GPS	GY-GPS6MV2 con módulo U-Blox NEO 6°	Cronos Electrónica	1	75.2
Shield de Arduino	Ethernet Shield W5100	Shenzen PYXTech	1	20
Batería	12V 7Ah Libre Mantenimiento	Chengwen Electronics	1	30
Panel Solar	Solar Panel 20W 12V	Singfo Solar Energy	1	55
Módulo de transmisión de RF	Xbee Pro S3B	Electrotec	2	250
Antena de transmisión	Antenas 900MHZ 6" half wave non-art RPSMA male	Mouser Electronics	2	30

Cargador Solar	Regulador PWM 12V	Yueqing Kampa Eelctric CO	1	27
Regulador de voltaje	LM2596S	Shenzen Zida Shunfa Electronics CO	1	7
Regulador de voltaje 12V/7V	LP	Kuoqian	1	84.5
Interruptor		Yueqing Seilsoul Electrical	2	7
Cable de acero galvanizado	2 m	Sodimac	1	100
Agarradera para cable		Sodimac	1	9.80
Gancho de acero galvanizado		Sodimac	1	15.90
Fijación de cable		Sodimac	1	8.90
Tubo Corrugado Flexible	Promatisa $\varnothing$ 1" x 10 m	Sodimac	1	64.9
Tornillo	M8 * 10 mm	Sodimac	2	10
Caja para circuitos	255 x 200 x 80	Sodimac	1	41.90
<b>TOTAL</b>				1536.5

- Costos por Piezas Fabricadas y Adquiridas

La tabla 5.1.4 muestra los costos de las piezas que deben ser mandadas a fabricar.

**Tabla 5.1.4: Costos por Piezas Fabricadas y Adquiridas**  
(Fuente: Elaboración Propia)

Nombre de Parte	Proceso de Fabricación	Cantidad	Costo unitario (S/.)
Soporte de Sensores	Impresión 3D	1	42.75
Estructura Inox	Soldadura TIG 9.09kg / \$10	1	322.2
<b>TOTAL</b>			<b>364.95</b>

- Costos de Programación

La siguiente tabla muestra los costos asociados a los trabajos de programación necesarios para la implementación del sistema de monitoreo. Se ha considerado un monto de S/.40.00 por hora de programación de una persona

**Tabla 5.1.5: Costos de Programación**  
(Fuente: Elaboración Propia)

Tarea	Tiempo (horas)	Costo (S/.)
Configuración del Software	4	160
Sincronización de la comunicación inalámbrica	6	240
<b>Total</b>		<b>400</b>

- Costo de Ensamblaje

Se ha estimado que el ensamblaje del sistema, contando con todos los elementos descritos, tomará aproximadamente 10 horas. Se considera un costo de S/.40.00 por mano de obra de una persona, entonces el monto total será de S/.400.00 por este concepto

- Costo de Diseño

El diseño del sistema de monitoreo tuvo una duración de 5 semanas donde se trabajó 28 horas en cada una. Se considera un monto de S/.30.00 por hora de diseño, por lo tanto, se tendrá un costo total de S/.4200.00.

A continuación, se mostrarán los costos anuales para el mantenimiento del sistema. Estos incluyen el pago al personal para la supervisión del sistema, así como el pago de los viajes que se deben realizar para la supervisión.

- Costo de Mantenimiento

Ya realizado el costo para la fabricación del sistema, se estima el costo de mantenimiento del sistema de monitoreo. Dentro de estos gastos se encuentran el pago al personal que supervisará el sistema, en este caso será 2 personas, y luego el pago de los viajes y viáticos para el personal. Los siguientes gastos se observan en la tabla 5.1.6. El pago al personal se considera como 400 soles y el gasto de viáticos como 200 diarios para transporte o comida. Asimismo, se propone que el personal viaje cada 3 meses a supervisar el sistema por 4 días. Además, estos costos de mantenimiento son anuales.

**Tabla 5.1.6: Costos de Personal y viáticos  
(Fuente: Elaboración Propia)**

Criterio	Tiempo (4 días)	Veces al año	Costo (S/.)
Personal (x2)	800	4	3200
Viáticos	800	4	3200
<b>Total</b>			<b>6400</b>

**Tabla 5.1.7: Costos Totales Anuales para el mantenimiento  
(Fuente: Elaboración Propia)**

Detalle	Costo(S/.)
Costo de personal	6400
Costo de viajes	3017.6
<b>TOTAL</b>	<b>9417.6</b>

- Costos de Operación

Por último, está el pago a la nube, ya que en caso se desee implementar el prototipo, se deberá cambiar de la versión gratuita a la versión pagada y su costo anual es de \$650, este gasto se muestra en la tabla 5.1.8.

**Tabla 5.1.8: Costos Totales Anuales de operación  
(Fuente: Elaboración Propia)**

Detalle	Costo(S/.)
Costo de la nube	2132
<b>TOTAL</b>	2132

\*Tipo de cambio Dólar/Nuevo Sol = 3.28

\*El sensor de mercurio no está incluido en el análisis, ya que requiere ser diseñado y luego construido manualmente y por tanto no está dentro del alcance del presente trabajo debido a que este sistema es un diseño de prototipo.

\*El costo de pasaje se saca de la página de LATAM y es de \$115 por persona

## Capítulo 6

### **Conclusiones y Comentarios Finales**

#### I. Conclusiones

- ✓ Se logró diseñar un prototipo de sistema de monitoreo en tiempo real de mercurio en aguas aledañas a explotaciones mineras y petroleras usando una plataforma IoT. La medición en tiempo real de este sistema da un paso para reemplazar el monitoreo manual, reduciendo los costos de procesamiento en un laboratorio y teniendo guardado los cambios en los niveles de contaminación en el agua.
- ✓ Al estar los datos recopilados en la Nube y visualizados en gráficos, los diferentes usuarios responsables pueden observar los parámetros de contaminación en el agua, de modo que, puedan tomar decisiones al respecto.
- ✓ El diseño mecánico le permite a la estructura del nodo sensor resistir las complicaciones de la corrosión, a la vez que ofrece soporte al nodo.
- ✓ Al tener una batería y un panel, el nodo sensor no necesita estar conectado a una fuente de alimentación lo que le ofrece la autonomía energética para poder estar aislado en campo.
- ✓ La topología en estrella que se plantea permite en un largo plazo ampliar el número de nodos que se puedan conectar al nodo Gateway.

#### II. Recomendaciones

- ✓ Este sistema considera que el nodo Gateway está conectado a Internet de alguna forma. Por ende, se recomienda que exista una central de monitoreo donde se encuentre este nodo y donde halla conexión eléctrica para poder emitir así los datos a la Nube.
- ✓ El sensor de mercurio es una propuesta planteada que aún no ha sido puesta en funcionamiento, por ende, para evitar la saturación del sensor, un nuevo diseño tendría que buscar un método de poder limpiarlo y así continuar con el funcionamiento del sistema.

### III. Comentarios Finales

- ✓ A modo de iniciativa, el presente trabajo es un punto de inicio para el desarrollo de futura tecnología de monitoreo para el agua, de modo que se pueda llegar a mantener un control que permita tomar una decisión rápida para proceder al plan de biorremediación.



## **Bibliografía**

AA Portable Power Corp. California, USA. Recuperado de:  
<http://www.batteryspace.com/howtochoosebattery.aspx>

Abdelhafidh, M. Fourati, M. Fourati, L.C. Abidi, A. (2017). Remote Water Pipeline Monitoring System IoT-based Architecture for new Industrial era 4.0. IEEE/ACS 14th International Conference on Computer Systems and Applications. DOI 10.1109/AICCSA.2017.158.

Ahmed, Saadatnia, Hassan, Zi, Xi, He, Zu, Lin Wang. (2016). Self-Powered Wireless Sensor Node Enabled by a Duck-Shaped Triboelectric Nanogenerator for Harvesting Water Wave Energy. Advanced Science News. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/aenm.201601705>

Afifi, M. Abdelkader, M.F, Ghoneim, A. (2018). An IoT System for Continuous Monitoring and Burst Detection in Intermittent Water Distribution Networks. International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE 2018). Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8316632/>

Akopyan, V. (2016). EC and PH sensors for Arduino. Quickbird. Recuperado de: <https://blog.quickbird.uk/ec-and-ph-sensors-for-arduino-98bb70c756b9>

Alibaba, 2018. 12V 7Ah Maintenance Free sealed VRLA Battery for UPS system. Recuperado de: [https://www.alibaba.com/product-detail/12V-7Ah-Maintenance-Free-sealed-VRLA\\_60744719850.html?spm=a2700.7724838.2017115.1.784b6e2afZZaMj&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/12V-7Ah-Maintenance-Free-sealed-VRLA_60744719850.html?spm=a2700.7724838.2017115.1.784b6e2afZZaMj&s=p)

Alibaba. 2018. Best Quality 20W 12V mono solar panel. Recuperado de: [https://www.alibaba.com/product-detail/Best-quality-20W-12v-mono-solar\\_60267252557.html?spm=a2700.7724838.2017115.1.42ae1ae3vWAcU&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Best-quality-20W-12v-mono-solar_60267252557.html?spm=a2700.7724838.2017115.1.42ae1ae3vWAcU&s=p)

Alibaba. 2018. Power symbol luminous led can light 28mm momentary ring illuminated push button switch. Recuperado de: [https://www.alibaba.com/product-detail/power-symbol-luminous-led-can-light\\_60600541606.html?spm=a2700.7724838.2017115.113.3e597f86ttMj4T](https://www.alibaba.com/product-detail/power-symbol-luminous-led-can-light_60600541606.html?spm=a2700.7724838.2017115.113.3e597f86ttMj4T)

Alibaba. 2018. Solar Panel Charger Battery Controller Regulator PWM 12V 3A Home Control. Recuperado de: [https://www.alibaba.com/product-detail/Solar-Panel-Charger-Battery-Controller-Regulator\\_60468624719.html?spm=a2700.7724838.2017115.1.42511cf3g20IH](https://www.alibaba.com/product-detail/Solar-Panel-Charger-Battery-Controller-Regulator_60468624719.html?spm=a2700.7724838.2017115.1.42511cf3g20IH)  
X

Anand, S. Regi, R. (2018). Remote Monitoring of Water Level in Industrial Storage Tanks Using NB-IoT. International Conference on Communication, Information & Computing Technology (ICCICT). Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8325871/>

Arduino Store. S.f. Arduino Leonardo with Headers. Recuperado de: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-leonardo-with-headers>

Autoridad Nacional del Agua. (2012). Gestión de la calidad de los recursos hídricos en el Perú. Recuperado de [http://portal.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/1\\_problematika\\_de\\_la\\_contaminacion\\_del\\_agua\\_en\\_el\\_peru\\_0.pdf](http://portal.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/1_problematika_de_la_contaminacion_del_agua_en_el_peru_0.pdf)

Autoridad Nacional del Agua. (2016). Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. Recuperado de [http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo\\_nacional\\_para\\_el\\_monitoreo\\_de\\_la\\_calidad\\_de\\_los\\_recurso\\_hidricos\\_superficiales.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recurso_hidricos_superficiales.pdf)

ANDALYZE. ANDalyze. Recuperado de <http://andalyze.com/products/>

Castro de Esparza, María Luisa. (2016). Minimización de Riesgos para la salud por Metales Pesados en el agua de consumo humano. Recuperado de <http://expoaguaperu.com/wp-content/uploads/2017/03/minimizacion-Riesgos-Salud-OPS.pdf>

Cerullo, G, Mazzeo, G. Papale, G. Ragucci, B. Sgaglione, L. (2018). IoT Sensor Networks Security. Security and Resilience in Intelligent Data-Centric Systems and Communication Networks. DOI: 10.1016/B978-0-12-811373-8.00004-5

Chang, J. Zhou, G. Gao, X. Mao, S. Cui, S. Ocola, L. Yuan, C. Chen, J. (2015). Real-time Detection of Mercury Ions in Water Using a Reduced Graphene Oxide/DNA Field-effect Transistor with Assistance of a Passivation Layer. *Sensing and Bio-Sensing Research*. DOI: 10.1016/j.sbsr.2015.07.009

Chang-liang Zhang et al. Recuperado de <http://www.huanglab.whu.edu.cn/Publications2016.2.html>

Cheng, Y. Han, D. (2018). Water Quality monitoring in a smart city: A pilot project. *Automation in Construction*. 307-316. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.02.008

Cusco: inician monitoreo ambiental del río Vilcanota. (2017, Noviembre 4). *El Comercio*. Recuperado de <https://elcomercio.pe/peru/cusco/cusco-inician-monitoreo-ambiental-rio-vilcanota-noticia-471326>

Dener, M. (2017). WiSeN: A new sensor node for smart applications with wireless sensor networks. *Computers and Electrical Engineering*. 64. 380-394. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2017.06.027

Embarcación con más de 100 personas es retenida por comunidades nativas en Loreto. (2018, Febrero 10). *RPP Noticias*. Recuperado de <http://rpp.pe/peru/loreto/video-embarcacion-con-mas-de-100-personas-es-retenida-por-comuneros-en-huelga-en-loreto-noticia-1104471>

Fakhraeev, A.R, Rolich, A.Y, Voskov, L.S. (2018). Big Telemetry Data Processing in the scope of Modern Internet of Things. *Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies*. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8337256/>

Farahani, B. Firouzi, F. Chang, V. Badaroglu, M. Constant, N. Mankodiya, K. (2018). Towards fog-driven IoT eHealth: Promises and Challenges of IoT in medicine and healthcare. *Future Generation Computer Systems*. 78(2). 659-676. DOI: 10.1016/j.future.2017.04.036

Fraser, Barbara. (2017). Operaciones petroleras vertieron toneladas de metales pesados a ríos de la Amazonía en Perú, según estudio. Mongabay Latam. Recuperado de <http://www.caaap.org.pe/website/2017/09/02/operaciones-petroleras-vertieron-toneladas-de-metales-pesados-a-rios-de-la-amazonia-en-peru-segun-estudio/>

Gadam, A. Lundqvist K.O. Citizen, J. Calixto, D.B. (2017). IoT and Wireless Sensor Network for Interactive Waka Structure. 11th International Conference on Sensing Technology (ICST). Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8304501/>

Gloria, A. Cercas, F. Souto, N. (2017). Design and Implementation of an IoT gateway to create smart environments. Procedia Computer Science. 568-575. DOI: 10.1016/j.procs.2017.05.343

GTC Silicon Technologies for sensing. (n.d).Aplicaciones y sectores. Recuperado de <http://gtq.imb-cnm.csic.es/es/servicios-productos/aplicaciones-sectores>

Hafiz, Kamarul. Ismail, Widad. (2017). Water Quality Monitoring with Internet of Things. IEEE Conference on Systems, Process and Control

Hakim, G.P.N. Alaydrus, M. Bahaweres, R.B. (2016). Empirical Approach of ADHoC Path Loss Propagation Model in Realistic Forest Environments. International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications. DOI: 10.1109/ICRAMET.2016.7849600

Herianto Gultom, J. Harsono, M. Dhika Khameswara, T. Santoso, H. (2017). Smart IoT Water Sprinkle and Monitoring System for Chili Plant. International Conference on Electrical Engineering and Computer Science. 212-216. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8167136/>

IBM. (2014). 5 Things to Know About MQTT – The Protocol for Internet of Things. Recuperado de [https://www.ibm.com/developerworks/community/blogs/5things/entry/5\\_things\\_to\\_know\\_about\\_mqtt\\_the\\_protocol\\_for\\_internet\\_of\\_things?lang=en](https://www.ibm.com/developerworks/community/blogs/5things/entry/5_things_to_know_about_mqtt_the_protocol_for_internet_of_things?lang=en)

IBM. (2018). Recuperado de [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSKVFR\\_7.6.1/com.ibm.spr.doc/sla\\_spr/c\\_sla\\_application.html](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSKVFR_7.6.1/com.ibm.spr.doc/sla_spr/c_sla_application.html)

Iswandi, Tri Nastiti, H. Eprilia Praditya, I. (2016). Evaluation of Xbee-Pro Transmission Range for Wireless Sensor Network's Node under Forested Environments Based on Received Signal Strength Indicator(RSSI). 2nd International Conference on Science and Technology-Computer (ICST). DOI: 10.1109/ICSTC.2016.7877347

Kafli, N. Isa, K. (2017). Internet of Things (IoT) for Measuring and Monitoring Sensors Data of Water Surface Platform. IEEE 7th International Conference on Underwater System Technology: Theory and Applications. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8309441/>

Kamaludin, K.H. Ismail, W. (2017). Water Quality Monitoring with Internet of Things (IoT). IEEE Conference on Systems, Process and Control. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8313015/>

Kays, R. Tilak, S. Crofoot, M. Fountain, T. Obando, D. Ortega, A. Kuemmeth, F. Mandel, J. Swenson, G. Lambert, T. Hirsch, B. Wikelski, M. (2011). Tracking Animal Location and Activity with an Automated Radio Telemetry System in a Tropical Rainforest. British Computer Society, Oxford University Press. DOI:10.1093/comjnl/bxr072

Ke Lin, Ting-Lei Huang. (2014). Design of Heavy Metals Monitoring System in Water Based on WSN and GPRS. Sensors & Transducers, 168(4), 150-154

Lee, H.C. Ke, K.H. (2018). Monitoring of Large-Area IoT Sensors Using a LoRa Wireless Mesh Network System: Design and Evaluation. IEEE Transactions of Instrumentation and Measurement. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8326735/references>

Lui, Y. Yang, C. (2011). Based on GSM Network of Intelligent Telemetry Water System. International Conference on Electronics and Optoelectronics (ICEOE 2011). 2(1).220-222.

Manifestantes contra proyecto minero Las Bambas cumplen 10 días de huelga de hambre en Lima. (2016, Abril 7). Peru 21. Recuperado de <https://peru21.pe/lima/manifestantes-proyecto-minero-bambas-cumplen-10-dias-huelga-hambre-lima-214915>

Martinez Ojeda, C.O, García, R.G, De la Cruz, J.C. (2017). Biodiversity Sustainability using Telemetry for the Remote Transmission of Data from Lake Buhi, Camarines Sur. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/8269518/>

Mindo, Kirori. Thiga, Moses. Karume, Simon. (2017). A Scalable Zigbee WPAN for Water Flow Telemetry. IST-Africa. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8102385/>

Minería en Perú: Exportaciones mineras en 2017 crecieron 24%. (2018, Febrero 8) El Comercio. Recuperado de <https://elcomercio.pe/economia/peru/mineria-peru-exportaciones-mineras-2017-crecieron-24-noticia-495708>

Morán Amórtegui, Harold Daniel. (2017). Análisis comparativo de plataformas cloud con soporte orientado a servicios de Internet de las cosas (Trabajo de Grado de Investigación Tecnológica). Recuperado de: <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15029/1/TrabajoGrado%20Harold%20y%20Kilian.pdf>

Mukherjee, B. Wang, S. Lu, W. Lal Neupane, R. Dunn, D. Ren, Y. Su, Y. Calyam, P. (2018). Flexible IoT security middleware for end-to-end cloud-fog communication. Future Generation Computer Systems. DOI: 10.1016/j.future.2017.12.031

Naylamp Electronics. 2016. Tutorial Módulo GPS con Arduino. Recuperado de: [https://naylampmechatronics.com/blog/18\\_Tutorial-M%C3%B3dulo-GPS-con-Arduino.html](https://naylampmechatronics.com/blog/18_Tutorial-M%C3%B3dulo-GPS-con-Arduino.html)

Nothans. (2018). GitHub. Thingspeak-esp-examples. RSSI\_to\_Thingspeak.ino. Recuperado de: [https://github.com/nothans/thingspeak-esp-examples/blob/master/examples/RSSI\\_to\\_ThingSpeak.ino](https://github.com/nothans/thingspeak-esp-examples/blob/master/examples/RSSI_to_ThingSpeak.ino)

Oltmanns, Jan. (2016). Biosensors for Heavy Metals (Unpublished doctoral dissertation). University of Edingburgh, Edinburgh, Escocia, Reino Unido.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2018). OEFA instala unidad de monitoreo continuo de calidad de aire en el área de influencia de la unidad minera Cuajone. Recuperado de <https://www.oefa.gob.pe/noticias-institucionales/oefa-instala-unidad-de-monitoreo-continuo-de-calidad-de-aire-en-el-area-de-influencia-de-la-unidad-minera-cuajone>

Oscanoa, F. H. H. (2016). Sistema mecatrónico para monitoreo automático de la calidad de las aguas residuales no domésticas en Lima Metropolitana.

O'Shea, M.J. (2006). Fluid flow, Newton's second law and river rescue.

Patil, Suvarna., Mishra, Pooja. (2017). Improved Mobicast Routing Protocol to minimize Energy Consumption for Underwater Sensor Networks. International Journal of Research in Science & Engineering. 3(2). 197-204. Retrieved from <http://ijrise.org/asset/archive/17March32.pdf>

Pereira, R. Dupont, I.M. Carvahlo, P. Juca, S. (2018). IoT embedded Linux system based on Raspberry Pi applied to real-time cloud monitoring of a decentralized photovoltaic plant. Measurement. 114. 286-297. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.09.033

Perú: ¿un "Estado ausente y tóxico"? (29.11.2017). Recuperado de <https://mundo.sputniknews.com/ecologia/201711291074363239-peru-minas-contaminacion-salud/>

Perú es potencia mundial en la producción minera. (2018, Marzo 6). El Peruano. Recuperado de: <http://elperuano.pe/noticia-peru-es-potencia-mundial-la-produccion-minera-64481.aspx>

Playan, Salvador, Bonet, Camacho et al. (2018). Assesing telemetry and remote control systems for water users associations in Spain. Agricultural Water Management.

Retrieved from  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037837741830101X>

Popovic, T. Latinovic, N. Pesic, A. Zecevic, Z. Krstajic, B. Djukanovic, S. (2017). Architecting an IoT-enabled platform for precision agriculture and ecological monitoring: A case Study. *Computers and Electronics in Agriculture*. DOI: 10.1016/j.compag.2017.06.008

Prometec. ¿Cuánto consume un Arduino?. Recuperado de:  
<https://www.prometec.net/consumos-arduino/>

Pule, M. Yahya, A. Chuma, J. (2017). Wireless Sensor Networks: A survey on monitoring wáter quality. *Journal of Applied Research and Technology*. 15(6). 562-570. DOI: 10.1016/j.jart.2017.07.004

Quiñones et al. (2017). Sistema De Monitoreo de Variables Medioambientales Usando Una Red de Sensores Inalámbricos y Plataformas De Internet De Las Cosas. Recuperado de  
<http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/139/146>

Quickbird. 2016. EC and PH sensors for Arduino. Recuperado de:  
<https://blog.quickbird.uk/ec-and-ph-sensors-for-arduino-98bb70c756b9>

Ramesh, M.V. Nibi, K.V. Kurup, A. (2017). Water Quality Monitoring and Waste Management using IoT. IEEE. Recuperado de  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8239311/>

Rompas, P.S. Wardana, A.A. Albarda. Robust Flood Monitoring Platform using Message Queueing Telemetry Transport Protocol. *International Conference on Information Technology Systems and Innovation*. 234-238. DOI: 10.1109/ICITSI.2017.8267949

Sagua, W. (2017). Análisis y Modelamiento para un modulo fotovoltaico, basado en un Sistema de generación de energía removable Microgrid en la ciudad de Puno. Recuperado de:  
[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4737/Sagua\\_Mamani\\_Wi\\_lmer.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4737/Sagua_Mamani_Wi_lmer.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Senamhi. (2003). Atlas de Energía Solar del Perú. Recuperado de:  
[http://www.ede.pe/web/wp-content/uploads/2017/05/ATLAS\\_ENERGI%CC%81A\\_FOTOVOLTA%CC%81ICA\\_PERU%CC%81.pdf](http://www.ede.pe/web/wp-content/uploads/2017/05/ATLAS_ENERGI%CC%81A_FOTOVOLTA%CC%81ICA_PERU%CC%81.pdf)
- Sener et al. (2014). Lysine-Promoted Colorimetric Response of Gold Nanoparticles: A Simple Assay for Ultrasensitive Mercury (II) Detection. *Anal Chem.* 2014;86(1):514–20.
- Sherpa Software. (s.f). ON-Premises vs. Cloud Computing. Recuperado de <https://sherpasoftware.com/blog/on-premise-vs-cloud-computing/#characteristics>
- Smith, G.R. Allen, S.R. (2009). Force on a Highline Caused by River Flow.
- SunFields. (s.f). Cómo dimensionar y calcular paneles solares fotovoltaicos necesarios. Recuperado de: <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/calcular-paneles-solares-necesarios/>
- Ugolini, A. Montorsi, G. Colavolpe, G. (2018). Next Generation High Rate Telemetry. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications.* DOI 10.1109/JSAC.2018.2804078
- Van Till, S. (2018). IoT Technology and Standards. The Five Technological Forces Disrupting Security. 107-125. DOI: 10.1016/B978-0-12-805095-8.00010-7
- Vasilescu, Kotay, Rus, Dunbabin, Corke. Data collection, Storage, retrieval with an underwater sensor network. *Proceedings of the third International Conference on Embedded Networked Sensor Systems.* 154-165. Recuperado de <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1098936>
- Waposat. (2017). Recuperado de <https://waposat.com/pdf/brochure-waposat-2017.pdf>
- Yauri Rodriguez, Ricardo. (2016). Sistema de Monitoreo remoto basado en IOT para el monitoreo de señales electrocardiográficas mediante un módulo sensor

utilizando websockets. COMTEL 2016, VIII Congreso Internacional de Computación y Telecomunicaciones. 94-101.

Yáñez-Sedeño, P., Agüí, L., Villalonga, R. & Pingarrón, J.M., (2014). Biosensors in forensic analysis. A review. *Analytica Chimica*



## Anexo A

### Lista de Exigencias

Lista de Exigencias		Hoja 1 de 2	
		Edición: 1	
Proyecto:		Sistema Automático de Monitoreo de Mercurio en Tiempo Real en aguas aledañas a Explotaciones Mineras y Petroleras usando una plataforma IoT	Fecha: 1/12/2018
			Revisado: 15/05/2018
Cliente:		Pontificia Universidad Católica del Perú	Elaborado: Fernando León
Fecha (cambios)	Deseo o Exigencia	Descripción:	RESPONSABLE
1/12/2018	E	<b><u>Función Principal:</u></b> Diseñar un sistema para el monitoreo de mercurio presente en el agua y enviar estos datos a una plataforma en la Nube usando una solución IoT	Fernando León
	D	Al ser el diseño un prototipo, se debe experimentar para obtener medidas lo más exactas posibles, de modo que pueda ser certificado posteriormente para su aplicación en campo	Fernando León
1/12/2018	E	<b><u>Material:</u></b> El material de la estructura del sistema debe poder resistir la corrosión y la temperatura del ambiente	Fernando León
1/12/2018	D	<b><u>Geometría:</u></b> El sistema debe ser lo más compacto posible para no generar mucho impacto en el ambiente	Fernando León
1/12/2018	E	<b><u>Fuerza:</u></b> La estructura en tierra debe poder mantener el nodo con los sensores sujeto a ella para evitar ser arrastrado por la fuerza del agua,	Fernando León

		así como el peso de los componentes que estarán sobre ella.	
1/12/2018	E	<b><u>Energía:</u></b> El sistema debe estar en funcionamiento sin conexión directa a corriente eléctrica y, asimismo, llegar a ser autosustentable usando un panel solar	Fernando León
	E	El sistema debe ser autónomo energéticamente por lo menos 2 días.	Fernando León
1/12/2018	E	<b><u>Software:</u></b> Poder leer las señales de los sensores y filtrarlas para su posterior procesamiento	Fernando León
1/12/2018	E	<b><u>Comunicación:</u></b> La transmisión de datos se debe realizar mediante comunicación inalámbrica entre los nodos	Fernando León
	E	Los nodos estarán conectados formando una topología tipo estrella para la comunicación	Fernando León
1/12/2018	E	<b><u>Plataforma en la Nube:</u></b> La visualización de los datos en tiempo real usará una plantilla propia de la plataforma para una adecuada toma de decisiones	Fernando León
1/12/2018	E	<b><u>Número de Módulos:</u></b> Para el monitoreo, se deben colocar mínimo 2 puntos de monitoreo. Uno aguas arriba de la fuente de contaminación y otro, aguas abajo.	Fernando León
1/12/2018	E	<b><u>Lectura de Datos:</u></b> Los datos serán mostrados en gráficos para facilidad de lectura	Fernando León
1/12/2018	E	<b><u>Frecuencia de Emisión de Datos:</u></b> El sistema enviará datos a la nube cada minuto para su visualización	Fernando León
1/12/2018	E	<b><u>Medición:</u></b> Para efectos prácticos, el sistema leerá parámetros de mercurio. Además, leerá los	Fernando León

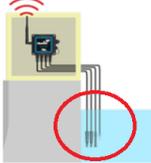
		parámetros de conductividad eléctrica y de pH para verificar la presencia de metales pesados como medición indirecta	
1/12/2018	E	<b><u>Localización:</u></b> El sistema tendrá un GPS para así determinar su posición	Fernando León
1/12/2018	D	<b><u>Lugar de Funcionamiento:</u></b> El sistema propuesto será diseñado para funcionar en la región de Madre de Dios, es decir, en la parte selva del país	Fernando León
1/12/2018	D	<b><u>Costo:</u></b> El costo del sistema no debería exceder los 10000 soles	Fernando León
1/12/2018	E	<b><u>Mantenimiento:</u></b> El sistema será revisado cada 3 meses	Fernando León
1/12/2018	D	<b><u>Fabricación:</u></b> A diferencia del sensor de mercurio, el resto del sistema debe poder ser ensamblado en el país	Fernando León

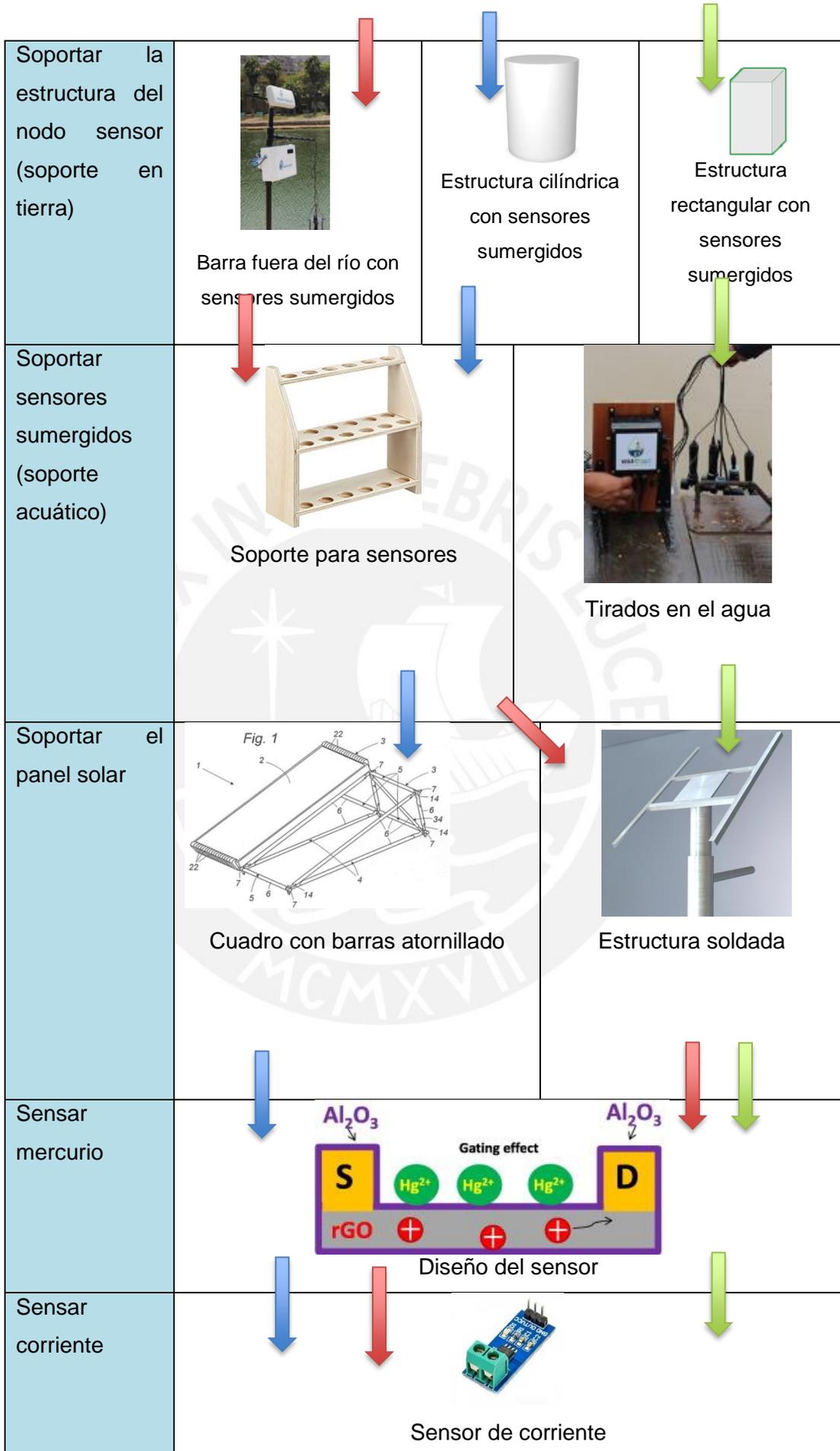
## Anexo B

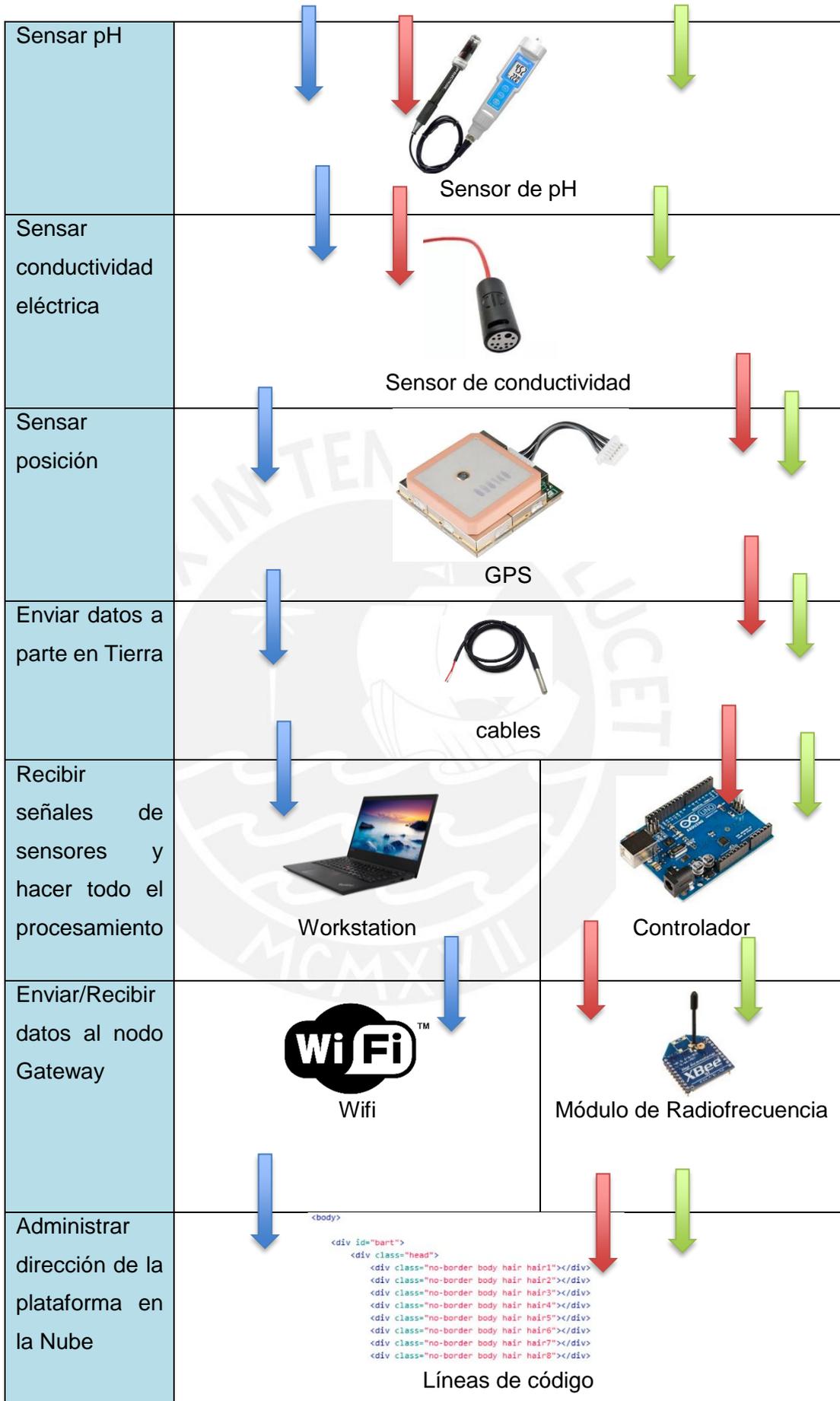
### Matriz Morfológica

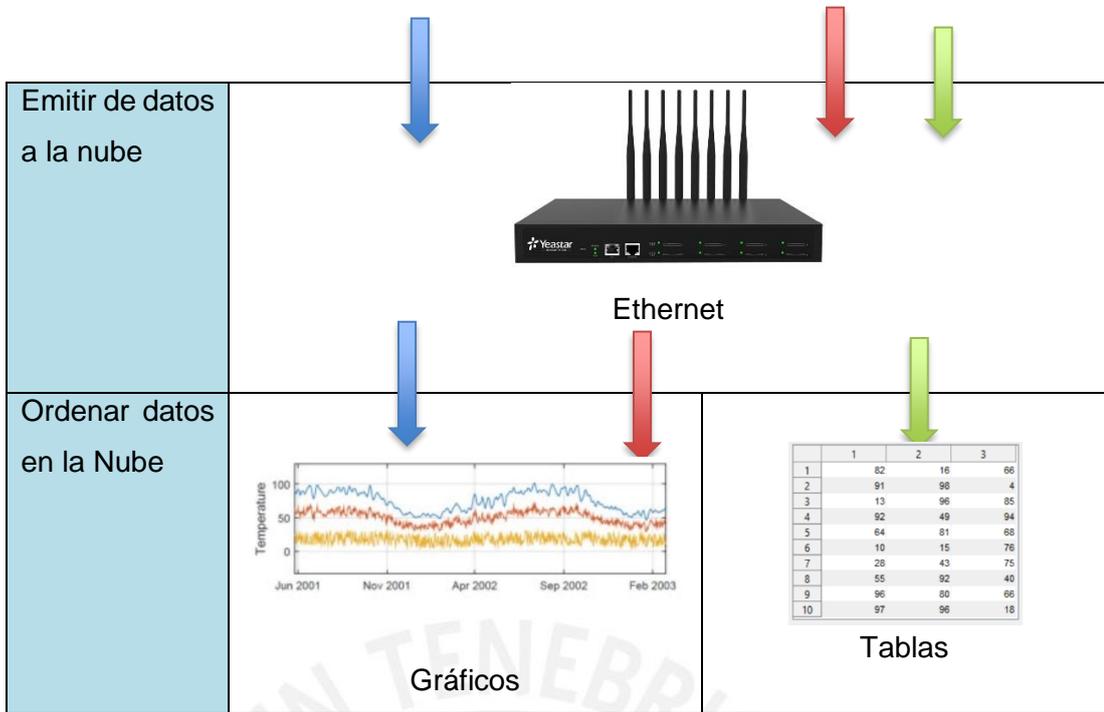
**Tabla B.1 Leyenda para las soluciones en la matriz morfológica**  
(Fuente: Elaboración Propia)

Solución	Color de Flecha
Solución A	
Solución B	
Solución C	

Funciones	Componentes
Energizar sistema (Captar energía solar)	 Batería + Panel Solar
Regular carga solar	 Controlador de carga
Encender Sistema	<div style="text-align: center;">             Interruptor Pulsador         </div> <div style="text-align: center;">             Interruptor de switch         </div>
Ingresar Agua / Analizar Agua / Salir Agua	 Sumergir sensores







Anexo C

Datasheets



Anexo D

Normas Legales, Estándares de Calidad Ambiental

