

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

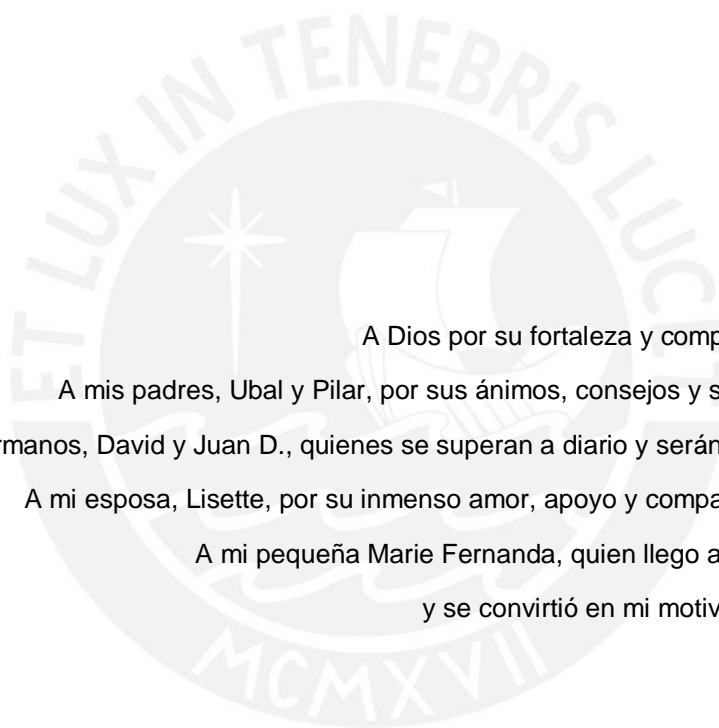
**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO ELÉCTRICO Y
FLUVIAL BASADO EN TECNOLOGÍA GSM PARA UNA MINI
CENTRAL HIDROELÉCTRICA**

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

Darko Gabriel de Jesús Malasquez Huayapa

ASESOR: Ing. Alejandro Carlos Alcócer García

Lima, Setiembre del 2018



A Dios por su fortaleza y compañía en todo momento

A mis padres, Ubal y Pilar, por sus ánimos, consejos y sacrificios. ¡Lo hicimos!

A mis hermanos, David y Juan D., quienes se superan a diario y serán grandes profesionales

A mi esposa, Lisette, por su inmenso amor, apoyo y compañía. Te admiro mucho!

A mi pequeña Marie Fernanda, quien llegó a alegrar nuestras vidas

y se convirtió en mi motivo diario de superación.

RESUMEN

Actualmente, los sistemas de monitoreo remoto son implementados por aquellas empresas que necesitan conocer el estado y funcionamiento de sus equipos, se encuentran en zonas alejadas o en lugares de difícil acceso con el fin de desarrollar acciones preventivas frente a problemas futuros.

En particular, una mini central hidroeléctrica, es una instalación en zona alejada donde la energía del flujo de los ríos es transformada en energía eléctrica a través de distintos procesos. Con el fin de asegurar el buen funcionamiento de sus equipos y la calidad de su servicio de generación, es necesario el monitoreo constante de los estos parámetros: voltaje, corriente, frecuencia, potencia y nivel de caudal. Por la lejanía de la instalación se sugiere un enlace vía la red de telefonía celular.

El objetivo de esta tesis es el diseño y la implementación de un sistema de monitoreo de parámetros eléctricos y fluvial para una mini central hidroeléctrica, empleando la tecnología GSM. La visualización de estos parámetros permitirá tomar acciones preventivas a problemas futuros o acciones correctivas frente a problemas actuales.

Luego de implementar el sistema de monitoreo para la mini central hidroeléctrica de Santa Leonor se observó el cumplimiento de los objetivos iniciales tales como el envío de datos en tiempo real, la visualización interactiva de las gráficas en la página web o en la App del celular, así como los mensajes de alerta frente a cortes o reconexiones en la central. Finalmente se concluye que el sistema de monitoreo basado en la tecnología GSM es una opción viable y económica frente a otras tecnologías para la supervisión remota de datos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
INTRODUCCIÓN	1
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS: DEFINICIÓN Y PROBLEMÁTICAS	2
1.1 Centrales Hidroeléctricas.....	2
1.2 Infraestructura Civil.....	2
1.2.1 Bocatoma y barraje (intake weir and settling basin).....	2
1.2.2 Canal de aducción o captación de agua (channel)	3
1.2.3 Desarenador	3
1.2.4 Cámara de carga.....	3
1.2.5 Tubería forzada (penstock).....	3
1.2.6 Casa de máquinas (power house).....	4
1.3 Mini central Hidroeléctrica de Santa Leonor	4
1.4 ADINELSA.....	5
1.5 Establecimiento del Problema.....	5
1.5.1 Causas que originan el problema	5
1.5.2 Aspectos teóricos.....	5
1.6 Antecedentes.....	6
1.6.1 Organización de la C.H Santa Leonor.....	6
1.6.2 Procedimiento de toma de datos eléctricos.....	6
1.7 Propósito del estudio.....	7
1.8 Metodología.....	7
1.8.1 Fuentes Primarias:.....	7
1.8.2 Fuentes Secundaria:.....	7
1.9 Significancia del campo	8
1.9.1 Beneficios a Corto Plazo:.....	8
1.9.2 Beneficios a Largo Plazo:	8
1.10 Alcance de la tesis.....	8

1.11	Delimitación de la tesis	8
TECNOLOGÍAS APLICADAS A LOS SISTEMAS DE MONITOREO REMOTO		9
2.1	Diseño de un sistema de monitoreo de parámetros eléctricos basado en tecnología GSM para un Riogenerador PUCP	9
2.2	Modelado y simulación de un Sistema automático de adquisición de datos en centrales hidroeléctricas pequeñas.....	10
2.3	Presentación del Asunto de Estudio	11
2.4	Sensores.....	12
2.4.1	Sensor de Voltaje.....	12
2.4.2	Sensor de Corriente.....	13
2.4.3	Sensor de Caudal.....	14
2.4.4	Medidor de Frecuencia por conteo de ciclos.....	15
2.5	Suministro de energía eléctrica alterno	16
2.5.1	Fuente de Alimentación Conmutada	16
2.5.1.1	Módulo rectificador de onda completa	16
2.5.1.2	Módulo cargador de baterías.....	17
2.5.1.3	Módulo comparador de energía	17
2.6	Dispositivo de Control: Microcontrolador.....	17
2.7	Telecomunicaciones.....	18
2.7.1	GSM/GPRS.....	18
2.7.2	Modem GSM/GPRS.....	18
2.7.3	Comandos AT.....	18
2.8	Interfaz Web	18
2.8.1	Elementos de identificación:.....	19
2.8.1.1	Elementos de navegación:.....	19
2.8.1.2	Elementos de contenidos:.....	19
2.8.1.3	Programa servidor web:	19
2.8.1.4	Sistema de gestión de base de datos:	19
2.8.1.5	Entorno de desarrollo	19
2.9	Modelo Teórico	20
2.9.1	Acondicionamiento de señal y control:.....	20
2.9.2	Módulo de comunicación GSM/GPRS:.....	21
2.9.3	Fuente Conmutada:	21
2.9.4	Servidores:	21

2.9.5	Interfaz Web:.....	21
2.10	Objetivos	21
2.10.1	Objetivo General	21
2.10.2	Objetivos Específicos	21
	DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO	22
3.1	Diagrama de bloques del sistema de monitoreo	22
3.2	Diagrama de Interconexiones Eléctricas del Sistema de Monitoreo	23
3.3	Descripción del sistema	24
3.4	Selección de componentes	24
3.4.1	Módulo de Telecomunicación GSM/GPRS.....	24
3.4.2	Sensores	26
3.4.2.1	Sensor de Voltaje.....	26
3.4.2.2	Sensor de Corriente.....	27
3.4.2.3	Sensor de Frecuencia.....	28
3.4.2.4	Sensor de Nivel	28
3.4.3	Microcontrolador.....	29
3.4.4	Suministro de Energía Eléctrica.....	31
3.4.5	Interfaz Web.....	32
3.4.6	Teléfono Celular	32
3.4.7	Interfaz Web: ThingSpeak.....	32
3.4.8	Aplicación Móvil.....	33
3.5	Diseño Electrónico.....	33
3.5.1	Circuito para medición de voltaje.....	33
3.5.2	Circuito para medición de corriente	34
3.5.3	Circuito para medición de frecuencia	35
3.5.4	Circuito para medición de nivel de caudal.....	36
3.5.5	Circuito del microcontrolador	37
3.6	Alojamiento del sistema de monitoreo	37
3.6.1	Montaje del sistema	38
3.6.2	Conexionado interno a la planta	39
3.6.3	Conexionado externo a la planta	40
3.7	Aspectos de comunicación.....	40
3.5	Lógica del Sistema	41

3.5.1	Lógica del programa del microcontrolador	42
3.5.2	Lógica de Interfaz Web.....	43
3.6	Comandos AT	44
3.6.1	Envío de mensaje de texto SMS.....	44
3.6.2	Transmisión de datos por Internet.....	44
3.6.3	Actualización de datos de canal:.....	44
IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS FINALES		46
4.1	Pruebas de las lecturas de los sensores.....	47
4.1.1	Circuito del Sensor de Voltaje	48
4.1.2	Circuito del sensor de Corriente.....	49
4.1.3	Circuito del Sensor de Frecuencia.....	50
4.1.4	Circuito del sensor de Nivel de Caudal.....	51
4.2	Prueba de transmisión del Módulo GSM/GPRS + Módulo Arduino.....	52
4.2.1	Módulo de Comunicaciones GSM/GPRS	52
4.3	Prueba Final del hardware	55
4.4	Prueba de la interfaz Web.....	55
4.5	Prueba de Aplicación celular y recepción de mensaje de texto.....	58
4.6	Presupuesto del diseño	59
CONCLUSIONES.....		60
RECOMENDACIONES		61
BIBLIOGRAFÍA:.....		62
ANEXOS		

ÍNDICE DE FIGURAS

CÁPITULO 1

Figura 1.1 Infraestructura civil de una central Hidroeléctrica

Figura 1.2 Golpe de Ariete

Figura 1.3 Mini central Hidroeléctrica Santa Leonor, Picoy – Huaura. Lima

Figura 1.4 Logo Oficial de Adinelsa

Figura 1.5 Organigrama de C.H Santa Leonor

Figura 1.6 Procedimiento de toma de datos eléctricos

CÁPITULO 2

Figura 2.1 Sistema de generación de energía eléctrica y bombeo de agua

Figura 2.2 Sistema de adquisición, monitoreo y validación de datos

Figura 2.3 Sensor por Efecto Hall de Lazo cerrado (izq.). Sensor 100% electrónico (der.)

Figura 2.4 Circuito contador de frecuencia

Figura 2.5 Módulo de conmutación de energía

Figura 2.6 Etapa de rectificación de onda completa

Figura 2.7 Módulo Cargador de Batería

Figura 2.8 Comparador OR lógico con diodos

Figura 2.9 Modelo Teórico del Sistema

CÁPITULO 3

Figura 3.1 Diagrama de bloques del Sistema de Monitoreo interno a la planta

Figura 3.2 Diagrama de bloques del Sistema de Monitoreo externo a la planta

Figura 3.3 Diagrama de interconexiones Eléctricas del Sistema de Monitoreo

Figura 3.4 Esquema del sensor de voltaje

Figura 3.5 Diagrama esquemático del circuito medidor de voltaje

Figura 3.6 Diagrama esquemático del circuito medidor de corriente

Figura 3.7 Diagrama esquemático del circuito medidor de frecuencia

Figura 3.8 Diagrama de conexiones del circuito medidor de nivel de caudal

Figura 3.9 Diagrama esquemático de la tarjeta Arduino Uno

Figura 3.10 Montaje del circuito sobre la bandeja del PLC

Figura 3.11 Conexión Interno a la Planta

Figura 3.12 Diagrama del circuito externo a la planta

Figura 3.13 Diagrama de flujo del programa del microcontrolador

Figura 3.14 Diagrama de flujo de flujo de la Interfaz Web

Figura 3.15 Comando AT para envío de mensaje de texto

CÁPITULO 4

Figura 4.1 Diagrama del Hardware Interno utilizado para realizar pruebas

Figura 4.2 Diagrama del Hardware Externo utilizado para realizar pruebas

Figura 4.3 Circuito del sensor de voltaje

Figura 4.4 Valor de voltaje obtenido del PLC

Figura 4.5 Circuito del sensor de corriente

Figura 4.6 Valor de corriente obtenido del PLC

Figura 4.7 Circuito del sensor de frecuencia

Figura 4.8 Valor de frecuencia obtenido del PLC

Figura 4.9 Circuito del sensor de nivel de caudal

Figura 4.10 Valor de Nivel de caudal medido manualmente

Figura 4.11 Respuesta del módulo de comunicaciones al comando AT

Figura 4.12 Comandos AT para iniciar una conexión a internet

Figura 4.13 Transmisión de datos a internet

Figura 4.14 Envío de mensaje de texto por corte del servicio

Figura 4.15 Envío de mensaje de texto por restablecimiento del servicio

Figura 4.16 Implementación final del sistema

Figura 4.17 Validación de usuario y contraseña

Figura 4.18 Entorno Web Thingspeak

Figura 4.19 Detalle de la gráfica de Voltaje

Figura 4.20 Simulación de corte y restablecimiento del servicio

Figura 4.21 Gráfica de Frecuencia en la aplicación móvil

Figura 4.22 Recepción de mensaje de texto ante corte o restablecimiento

ÍNDICE DE TABLAS

CÁPITULO 1

Tabla 1.1 Clasificación de centrales hidroeléctricas según su potencia

Tabla 1.2 Clasificación de centrales hidroeléctricas según su potencia

CÁPITULO 2

Tabla 2.1 Sensor Comparación entre las tecnologías disponibles de sensores de corriente

CÁPITULO 3

Tabla 3.1 Características del módulo GSM/GPRS de marca Delcomp

Tabla 3.2 Características del módulo de comunicaciones Wavecom Fastrack Supreme 20

Tabla 3.3 Características del módulo de comunicaciones GSM/GPRS TinySine

Tabla 3.4 Requisitos de Selección

Tabla 3.5 Características del sensor de corriente LEM HAIS 100-P

Tabla 3.6 Características del Medidor Digital AC

Tabla 3.7 Características del Transformador de Corriente de Núcleo Dividido

Tabla 3.8 Características del Transductor de Nivel 0-5mH₂O/50kPA

Tabla 3.9 Características del sensor More Suns DIY

Tabla 3.10 Características del sensor Ultrasónico HC – SR04

Tabla 3.11 Características del Microcontrolador ATmega 328P

Tabla 3.12 Características del Microcontrolador ATmega 2560

Tabla 3.13 Características del Microcontrolador AT91SAM3X8E

Tabla 3.14 Tabla de requerimientos del suministro eléctrico

Tabla 3.15 Características de la Batería Externa Case Logic

Tabla 3.16 Características de la Batería Externa Coca Cola

Tabla 3.17 Características de la Batería Externa Cool Box

Tabla 3.14 Comandos AT para realizar pruebas de comunicación con el modem

CÁPITULO 4

Tabla 4.1 Voltajes y error obtenido por el sensor

Tabla 4.2 Corrientes y error obtenido por el sensor

Tabla 4.3 Frecuencias y error obtenido por el sensor

Tabla 4.5 Costo del sistema de monitoreo

INTRODUCCIÓN

La presente tesis contiene el diseño e implementación de un sistema de monitoreo basado en tecnología GSM de parámetros eléctricos como corriente, voltaje y frecuencia; además de la supervisión del nivel de caudal que alimenta a una mini central. La Empresa de Administración de Infraestructura Eléctrica, ADINELSA, es quien administra estas hidroeléctricas en zonas rurales con el fin de beneficiar a las comunidades que no cuentan con sistemas de electrificación en sus viviendas.

Los sistemas de monitoreo a distancia son actualmente las soluciones más eficientes para la industria rural, ya que al estar ubicados en lugares de difícil acceso o muy alejados, los gastos de transporte de personal son muy elevados. Por tal motivo una supervisión a distancia permite realizar el seguimiento actual de parámetros específicos para la prevención de eventualidades, reduce así mismo los costos de operación y permite delegar nuevas actividades a su personal que antiguamente se encargaba de esa labor.

Esta tesis plantea tecnologías innovadoras las cuales pretenden solucionar los problemas descritos en el asunto de estudio. Se espera por otra parte, que esta investigación sirva para futuros trabajos y contribuya a la mejora del servicio para brindar una mejor atención a los pobladores.

El estudio se ha dividido en cuatro capítulos:

- En el capítulo 1 es teórico y en él se definen conceptos relacionados a centrales hidroeléctricas, además de presentar sus problemáticas actuales.
- En el capítulo 2 se desarrolla el estado del arte de los sistemas de monitoreo tanto local como del extranjero y a partir de ellos, se dan a conocer el objetivo general y los objetivos específicos.
- En el capítulo 3 se describen los pasos seguidos para el diseño del hardware y software del sistema.
- En el capítulo 4 finalmente se realizan las pruebas y ensayos del sistema ya implementado. Se realiza la verificación de resultados

Capítulo 1

CENTRALES HIDROELÉCTRICAS: DEFINICIÓN Y PROBLEMÁTICAS

1.1 Centrales Hidroeléctricas

Una central hidroeléctrica, denominada en adelante C.H, es una instalación que permite aprovechar las masas de agua en movimiento que circulan por los ríos para transformarlas en energía eléctrica, utilizando turbinas acopladas a alternadores.

En la tabla 1.1 se muestra la clasificación de las Centrales Hidroeléctricas según la potencia instalada. [10]

Tabla 1.1 Clasificación de centrales

Grande	> 30 MW
Mediana	5MW – 30MW
Pequeña	1MW – 5MW
Mini	50KW – 1MW
Micro	10KW – 50KW
Pico	1KW – 10KW

1.2 Infraestructura Civil

En la figura 1.1, se detalla las partes que conforman la infraestructura civil de una C.H. [11]

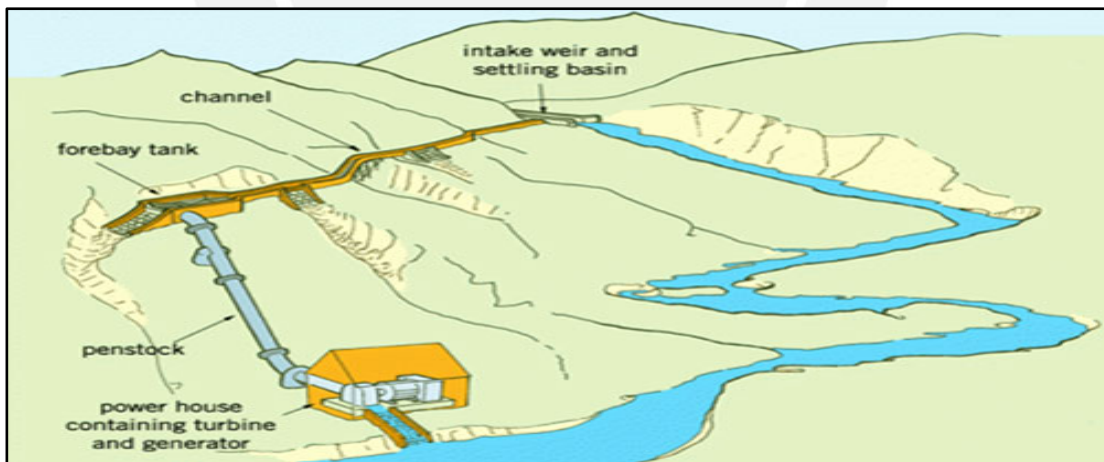


Figura 1.1 Infraestructura civil de una central Hidroeléctrica [12]

1.2.1 Bocatoma y barrage (intake weir and settling basin)

Es la infraestructura que yace en la entrada del canal de captación y la encargada de tomar y desviar parte del caudal de la corriente de agua. Como objetivo adicional busca reducir la

cantidad de *sedimentos* que vienen con el río para minimizar costos de operación y mantenimiento.

Sedimentos: Conjunto de partículas sólidas que, habiendo estado suspendidas en un líquido, se posan en el fondo por su mayor gravedad

1.2.2 Canal de aducción o captación de agua (channel)

Canal por donde se conduce o se transporta el agua captada del río.

1.2.3 Desarenador

Son obras hidráulicas que sirven para separar (decanter) y remover (evacuar) el material sólido que lleva el agua de un canal.

1.2.4 Cámara de carga

Depósito localizado al final del canal y donde comienza la tubería forzada. Se utiliza como depósito final de regulación del volumen de agua, donde se controla el flujo que ingresará a la turbina en caso exista mayor o menor demanda de energía.

1.2.5 Tubería forzada (penstock)

Es la tubería que se encarga de llevar el agua desde la cámara de carga hasta la turbina. Debe estar preparada para soportar la presión que produce la columna de agua, además de la sobrepresión que provoca el *golpe de ariete* en caso de una eventual parada brusca de la mini central. La figura 1.2 ejemplifica el cierre repentino o golpe de ariete.

Golpe de Ariete: Presión violenta ejercida sobre las paredes de un conducto forzado, cuando el movimiento original del líquido es modificado bruscamente.



Figura 1.2 Golpe de Ariete [11]

1.2.6 Casa de máquinas (power house)

Espacio donde se concentran los equipos electromecánicos directamente responsables de la generación de energía. En ella encontramos la turbina, el generador, el sistema de excitación, el regulador de velocidad, entre otros.

Mayor Información sobre C.H podrá ser encontrada en el Anexo 1, “Teoría de Centrales Hidroeléctricas”

1.3 Mini central Hidroeléctrica de Santa Leonor

La figura 1.3 muestra la mini central hidroeléctrica ubicada en la localidad de Picoy, provincia de Huaura, departamento de Lima. Debido a su ubicación, aun presenta difícil acceso por causa de su geografía accidentada. En cuanto a las telecomunicaciones, Picoy posee cobertura celular de Movistar y Claro; sin embargo, la señal está presente por sectores y no de forma total sobre la provincia. La tabla 1.2 resume sus principales características:

Tabla 1.2 Clasificación de centrales

Central Hidroeléctrica	Santa Leonor
Capacidad	560Kw
Localidad	Picoy
Distrito	Santa Leonor
Provincia	Huaura
Región	Lima Provincias
Coordenadas	-10.948367,-76.744904
Cobertura Celular	Movistar
Población Beneficiada Aprox	12000



Figura 1.3 Mini central Hidroeléctrica Santa Leonor, Picoy – Huaura. Lima

1.4 ADINELSA

La Empresa de Administración de Infraestructura Eléctrica, fue creada en 1994 por PROINVERSION. Tiene como objetivo social la administración y sostenimiento de la infraestructura eléctrica rural que el estado le transfiere. Cuenta con 171 instalaciones eléctricas entre Generación, Transmisión y Distribución, siendo la Mini C.H de Santa Leonor una de las instalaciones de generación eléctrica a cargo. La figura 1.4 muestra el logo oficial de la Adinelsa.



Figura 1.4 Logo Oficial de Adinelsa. [13]

1.5 Establecimiento del Problema

La falta de monitoreo constante y en tiempo real de variables eléctricas y fluvial en la mini central Santa Leonor, reduce la efectividad de acciones preventivas y correctivas. Si bien ADINELSA posee registros actuales de estas variables, considera que es una actividad poco eficiente y con una inversión importante de tiempo y personal.

1.5.1 Causas que originan el problema

Entre las causas que impiden el correcto funcionamiento de la central tenemos:

- La supervisión no constante de parámetros eléctricos y datos fuera de tiempo real.
- El desconocimiento de agentes externos sobre el caudal que obstaculicen su recorrido.
- La geografía rural y accidentada de la localidad.

Estos problemas reducen la efectividad en la ejecución de acciones preventivas y correctivas lo que lleva a fallas en la generación de energía.

1.5.2 Aspectos teóricos

Un sistema de monitoreo comprende la teoría y la técnica de sensores, los circuitos eléctricos, la programación en entornos web, la comunicación GSM, el manejo de base de datos, entre otros temas que serán abordados a lo largo de la tesis.

1.6 Antecedentes

1.6.1 Organización de la C.H Santa Leonor

El funcionamiento de la central está a cargo de un equipo de trabajo conformado por 10 personas, entre ellos, el supervisor encargado, los técnicos de CH y PSE, el tomero y el chofer. La figura 1.5 muestra el organigrama de la central.

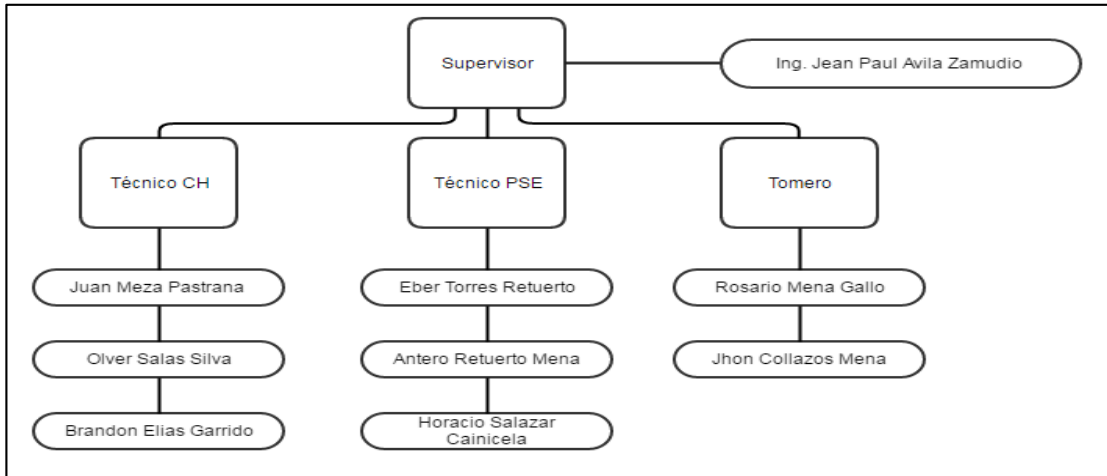


Figura 1.5 Organigrama de C.H Santa Leonor [11]

1.6.2 Procedimiento de toma de datos eléctricos

La figura 1.6 muestra el procedimiento de toma de datos eléctricos.

1) Adquisición de datos del PLC

2) Registro de parámetros eléctricos según formato

Figura 1.6 Procedimiento de toma de datos eléctricos [11]

Actualmente la toma de datos está a cargo del técnico de planta, cuya primera función es la de obtener y registrar los datos de los parámetros eléctricos como tensión, corriente, frecuencia, entre otros, de un equipo PLC Siemens SIMATIC S7 300. Cabe resaltar que la única función del PLC instalado es solo la de adquirir datos, mas no procesarlos o enviarlos por disposición de la empresa. Como segunda acción los datos registrados serán escritos sobre una plantilla bridada por la empresa para finalmente ser entregada de forma mensual.

La empresa sostiene que entre sus principales problemas encontrados en su procedimiento está los retrasos adicionales por parte de los técnicos, extravíos del formato o alteración de datos. Todos estos problemas se resumen a un próximo manejo desactualizado de información.

1.7 Propósito del estudio

El presente trabajo de Tesis tiene como objetivo principal la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real y de inspección constante a la mini central de Santa Leonor, propiedad de ADINELSA. Esta implementación permitirá realizar las siguientes mejoras:

Área Técnica:

- Prevención frente a desbalances de tensión o sobrecargas.
- Cuidado de turbinas frente a reducción de caudal.
- Soluciones técnicas remotas.

Área Comercial:

- Elaboración de Índice de interrupciones.
- Elaboración de balances energéticos comerciales en tiempo real.

1.8 Metodología

La recopilación de información para la realización del presente trabajo se puede clasificar en dos grupos:

1.8.1 Fuentes Primarias: Compuesta por ADINELSA y GRUPO-PUCP quienes brindaran información específica y de relevante del trabajo.

1.8.2 Fuentes Secundaria: Son todas aquellas fuentes que proveen información complementaria o adicional al trabajo de investigación. Entre ello: INEI, OSIPTEL, MEM, etc.

1.9 Significancia del campo

La implementación de un sistema de monitoreo en una central hidroeléctrica no solo contribuye en la mejora de eficiencia energética, sino que es la primera etapa de un proceso de automatización futura.

1.9.1 Beneficios a Corto Plazo:

Monitoreo constante y en tiempo real de variables eléctricas y fluviales. Acciones rápidas frente a obstrucciones en el canal o desperfectos en los circuitos.

1.9.2 Beneficios a Largo Plazo:

Mejora de acciones preventivas y correctivas. Automatización de la Central.

1.10 Alcance de la tesis

- Área Geográfica: Distrito de Santa Leonor, Huaura. Región de Lima Provincias.
- Horizonte de Tiempo que se atenderá: 5 años
- Población involucrada: 3000 familias aproximadamente.
- Restricciones de configuración: alteración en la programación base del PLC Siemens SIMATIC S7 300.
- Restricciones de acceso: Libre acceso a instalaciones.

1.11 Delimitación de la tesis

El proyecto de tesis no cubrirá los siguientes puntos:

- Video vigilancia de la central.
- Medición de grado de turbidez de las aguas del río.
- Control a distancia de la Planta.

Capítulo 2

TECNOLOGÍAS APLICADAS A LOS SISTEMAS DE MONITOREO REMOTO

2.1 Diseño de un sistema de monitoreo de parámetros eléctricos basado en tecnología GSM para un Riogenerador PUCP

Esta tesis, sustentada por el Ing. Diego Romero (2015), propone el diseño de un sistema de monitoreo para un regulador de carga de un riogenerador PUCP, el cual se define como un dispositivo que tiene por finalidad producir el acople correcto entre una fuente de energía eléctrica, las baterías y los elementos de consumo. El objetivo principal fue monitorear constantemente el voltaje y la corriente entre el regulador de carga y sus baterías para determinar, de esta manera, la correcta operatividad del riogenerador.

Debido a la ubicación distante de este tipo de generadores se requirió la transmisión de datos vía una red de telecomunicaciones, tal como GSM. La figura 2.1 se muestra la secuencia a seguir para la generación de energía eléctrica y de bombeo de agua del riogenerador PUCP.

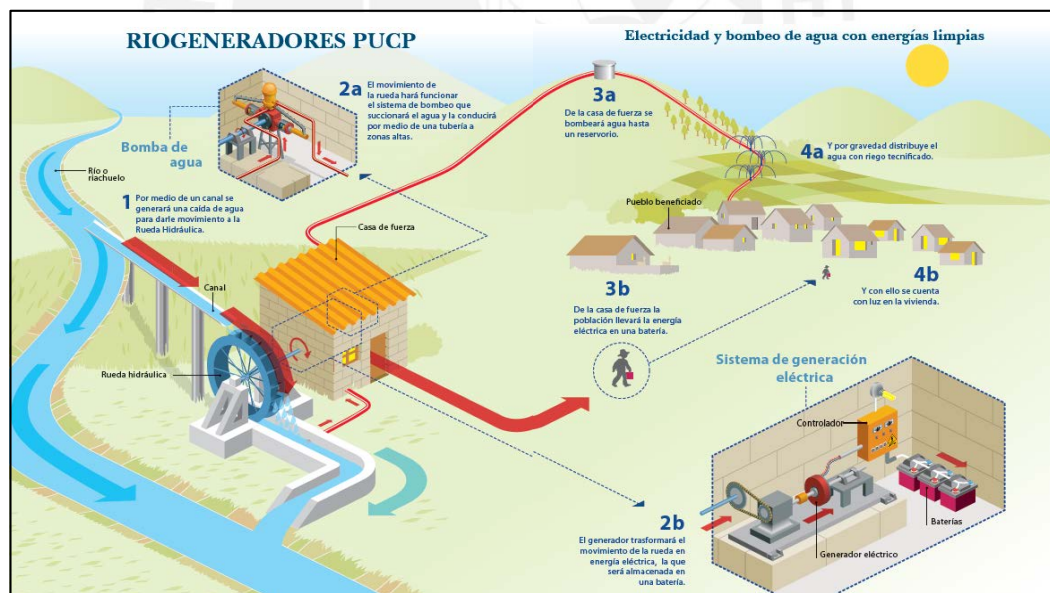


Figura 2.1 Sistema de generación de energía eléctrica y bombeo de agua. [1]

Las variables eléctricas serán obtenidas mediante los sensores correspondientes, posteriormente serán transmitidas mediante un módulo de comunicación GSM/GPRS hacia un servidor web donde serán procesadas y almacenadas. Finalmente serán mostradas

mediante una Interfaz en Internet. Adicionalmente al diseño base, posee un sistema fotovoltaico como alimentación eléctrica secundaria.

Esta tecnología presenta resultados favorables al trabajar con baterías y cargas pequeñas, además de solucionar la transmisión de datos al utilizar la comunicación GSM; sin embargo, en una mini central hidroeléctrica no siempre existen baterías de almacenamiento, ya que los sistemas actuales de generación presentan reguladores de nivel de caudal lo que controla la producción exacta de energía eléctrica. Por otra parte, el factor de frecuencia es un parámetro importante a supervisar ya que está normalizado y controlado por el Servicio de Regulación de Frecuencia del Estado. [6]

Por tanto, la tecnología actual presentada no está especializada para la supervisión de variables en una mini central hidroeléctrica debido a la falta de monitoreo de parámetros adicionales como frecuencia, caudal y potencia.

2.2 Modelado y simulación de un Sistema automático de adquisición de datos en centrales hidroeléctricas pequeñas

En esta tesis, sustentada por el Ing. Santiago Freire (2015), se propone el modelamiento de un sistema de adquisición de datos en Centrales Hidroeléctricas Pequeñas, entre las variables a supervisar están la tensión, corriente y frecuencia generada. El análisis y la evaluación de aquellos parámetros se realizaron a través de simulaciones en diferentes programas acoplados y concatenados.

El sistema completo consta de cuatro etapas. La primera es donde se realizará la simulación de circuitos acondicionadores para la medición de frecuencia, voltaje y corriente en el programa Proteus, los cuales posteriormente serán analizados por un microcontrolador PIC 18F452. La segunda etapa es un programa creador de puertos virtuales que permitirá la comunicación de datos entre la primera y la tercera etapa. Esta última, está conformada por un programa de análisis y muestreo de datos desarrollado en LabView que permite a su vez crear una base datos en el programa Microsoft Excel. Finalmente en la cuarta etapa, está el programa de análisis matemático Matlab donde se presentarán gráficas de la tensión y corriente para ser analizadas por el usuario. [2]

La figura 2.2 muestra la descripción gráfica del proceso de adquisición.

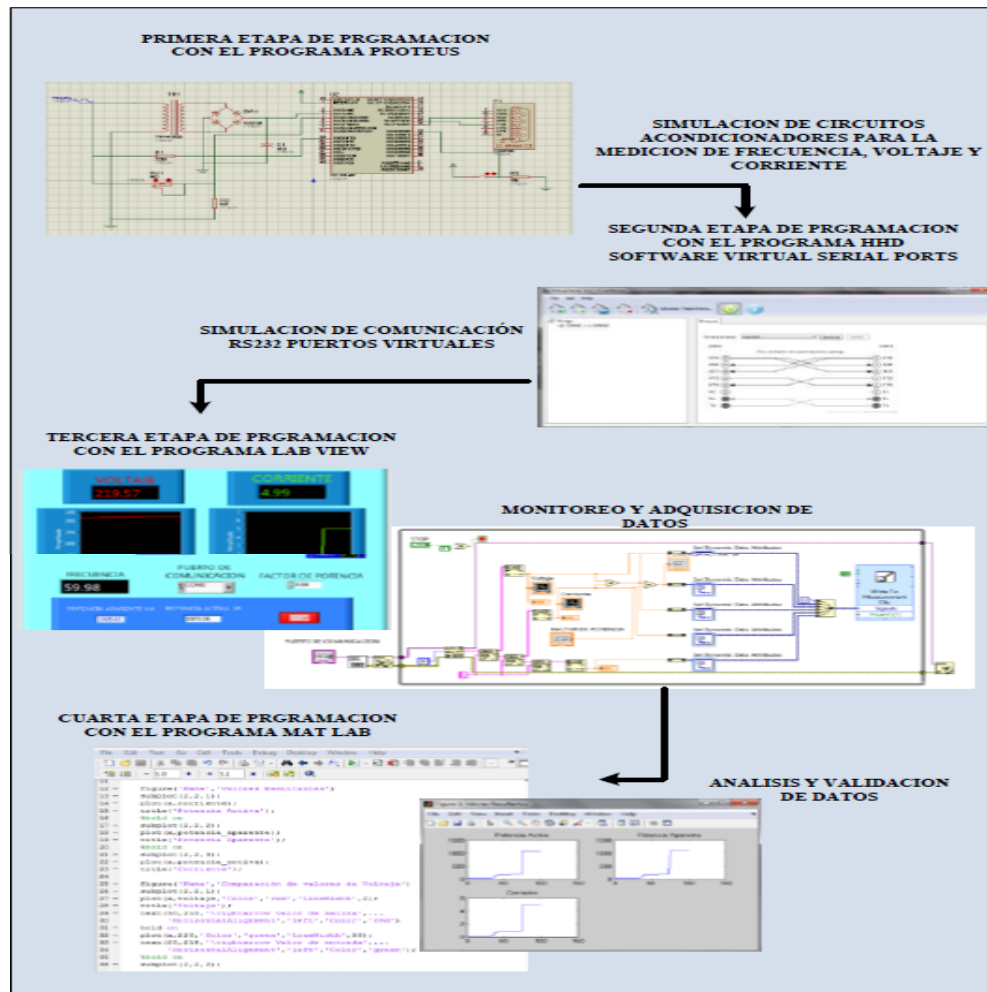


Figura 2.2 Sistema de adquisición, monitoreo y validación de datos. [2]

El sistema presentado fue simulado sin carga alguna, es decir, para un sistema de generación de energía pura y con circuitos eléctricos ideales. En el día a día esta situación no se cumple, ya que la producción de energía está en constante variación debido a la demanda de sus consumidores o a factores externos diversos. Por tanto, la implementación bajo carga, además de la supervisión del caudal y la transmisión de datos serán mejoras a desarrollar en el presente proyecto de tesis.

2.3 Presentación del Asunto de Estudio

En la actualidad los sistemas de monitoreo a distancia son utilizados debido a la necesidad de control de procesos y supervisión de parámetros específicos en una planta. La finalidad de estos sistemas es prescindir la visita de personal calificado en sitio, reduciendo de forma

considerable los costos de viáticos además de brindar información actual para la elaboración de informes o manuales de operación y mantenimiento.

Las tecnologías actuales facilitan el monitoreo de diversos procesos a través de diferentes sistemas de comunicación para el reporte de los parámetros elegidos a supervisar. Según la ubicación de la planta y presupuesto de inversión, existen distintos medios de transmisión de datos como la Radiofrecuencia, la Comunicación por Red Eléctrica, la Comunicación Satelital, la Tecnología GSM, entre otros. En esta Tesis se seleccionó la tecnología GSM debido a su constante evolución progresiva, por su presencia alrededor del mundo con más de 450 millones de usuarios y a su bajo costo de implementación. [4]

La presente tesis plantea un método de solución para lograr el monitoreo de parámetros en la mini central Santa Leonor utilizando comunicación GSM. De manera específica, el estudio está aplicado al monitoreo de parámetros eléctricos y fluvial. El objetivo principal será la mejora de la calidad de servicio de la central y el procesamiento de datos actuales.

Seguidamente, se muestra las tecnologías existentes usadas en sistemas de monitoreo remoto.

2.4 Sensores

Son dispositivos electrónicos que producen datos eléctricos, ópticos o digitales derivados de una condición física o un evento. En la actualidad existen diversos tipos de sensores en el mercado para medir todo tipo de fenómenos naturales por lo que su selección dependerá de los factores tales como el tipo y la magnitud de la variable a medir. [5] Los sensores a utilizar en esta tesis se clasifican como sensores eléctricos. Estos examinan el cambio en las señales eléctricas, tales como voltaje o corriente, obteniendo como resultado una señal analógica o digital.

2.4.1 Sensor de Voltaje

Según el catálogo técnico de la empresa ABB, existen dos tipos de tecnologías en la fabricación de sensores de voltaje: Efecto Hall de lazo cerrado y una tecnología 100% electrónica. Los sensores basados en efecto Hall utilizan los efectos generados por un campo magnético obteniendo una señal de voltaje proporcional al voltaje medido [7]. Por otro lado, los sensores basados en tecnología 100% electrónica utilizan solo componentes electrónicos. Otra opción más simple y de menor costo es emplear divisores resistivos para la reducción de tensión a niveles lógicos capaces de ser procesados por microcontroladores.

La figura 2.3 muestra a la izquierda el sensor por efecto hall de lazo cerrado y a la derecha el sensor 100% electrónico.

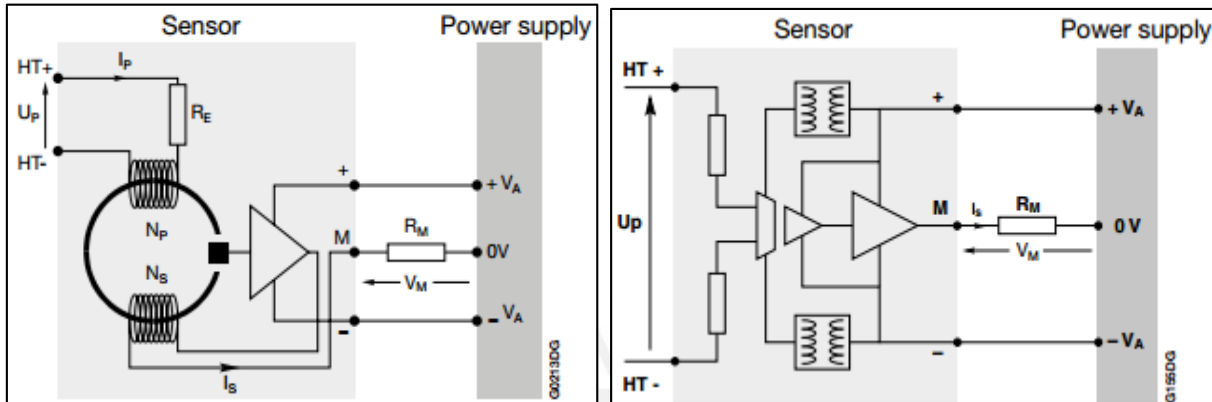


Figura 2.3 Sensor por Efecto Hall de Lazo cerrado (izq.). Sensor 100% electrónico (der.) [7]

2.4.2 Sensor de Corriente

Existen diferentes tecnologías comerciales para el sensado de corrientes alternas o continuas, entre ellas: Shunt de Corriente de baja resistencia, transformador de corriente, sensor de efecto Hall y Bobina de Rogowski.

- Shunt de corriente de baja resistencia: este dispositivo consta de una resistencia que se coloca en paralelo al dispositivo que se desea medir y se observa el voltaje generado en dicha resistencia.
- Transformador de Corriente: este dispositivo convierte la alta corriente del lado primario a una corriente más pequeña en el lado secundario. Por esta razón, puede medir altas corrientes y consumir poca potencia
- Sensor de Efecto Hall: Cuando fluye corriente por este sensor y se aproxima a un campo magnético, que fluye en dirección vertical al sensor, entonces este crea un voltaje saliente proporcional al producto de la fuerza del campo magnético y de la corriente. Si se crea el campo magnético por medio de corriente que circula por una bobina o un conductor, entonces se puede medir el valor de la corriente en este.
- Bobina de Rogowski: el principio de funcionamiento de este dispositivo es una bobina toroidal, con un centro no ferromagnético. La señal de salida del sensor, corresponde a la derivada de la corriente circulante por el cable que pasa por medio de ella. Por esta razón, requieren de una etapa externa extra, la cual consta de un integrador, con lo cual se puede obtener el valor proporcional de la corriente de medición

La Tabla 2.1 muestra un cuadro comparativo de las tecnologías citadas.

Tabla 2.1 Sensor Comparación entre las tecnologías disponibles de sensores de corriente. [7]

Tipo de sensor	Shunt de Corriente	Transformador de corriente	Bobina de Rogowski	Sensor de Efecto Hall
Consumo de Potencia	Alto	Bajo	Bajo	Bajo
Variación de la salida con respecto a la temperatura	Medio	Bajo	Muy Bajo	Medio
Linealidad dentro del rango de medición	Muy buena	Buena	Buena	Buena
Costo	Muy bajo	Medio	Bajo	Bajo
Problema de error de desplazamiento	si	No	No	Si
Problema de saturación e histéresis	no	Si	No	Si
Aislamiento eléctrico	no	Si	Si	Si
Capacidad de medición de altas corrientes	Muy mala	Buena	Buena	Buena

2.4.3 Sensor de Caudal

Existen varios procedimientos para la medida de la velocidad del agua en continuo; unos realizan la medida en un punto, otros en una banda, generalmente horizontal, y otros en una sección de la masa de agua circulante. A partir de este valor se calcula la velocidad media en la sección de medida que, junto con el valor del nivel, permite el cálculo del caudal circulante por la estación de aforo. [8]

- **Molinete permanente:** Una hélice unida a un pequeño dínamo, proporciona una señal eléctrica con la que se puede calcular la velocidad en un punto de la corriente del agua. La señal proporcionada es analógica. Una rueda de paletas, cuyo eje conforma un flotador, que gira semisumergida en la superficie del agua unida a una dinamo, permite conocer la velocidad puntual de la misma con una señal de tipo analógico. Generalmente este sistema viene complementado con el brazo articulado comentado anteriormente, que proporciona el dato de nivel mediante la modificación de su ángulo.
- **Efecto Doppler:** La velocidad en un punto se mide con un sensor que contiene un emisor-receptor y un microprocesador que la calcula mediante la emisión de trenes de ondas que

se reflejan en las partículas circulantes en el agua y son seguidamente captados. El análisis de las frecuencias proporciona el dato de velocidad. El principio de medida es analógico, pero el sistema puede proporcionar una señal analógica o digital.

- **Ultrasónico:** Esta medición requiere una instalación más compleja consistente en dos emisores-receptores de ondas que se colocan uno en cada margen de la sección de medida; se unen mediante cables eléctricos a un sistema electrónico de control, que emite trenes de ondas por uno de los emisores actuando el otro como receptor; a continuación se realiza la emisión a la inversa, el que acaba de funcionar como receptor emite, recibiendo el anteriormente emisor; el microprocesador del sistema electrónico calcula la velocidad del agua en la banda atravesada por el tren de ondas en función de la diferencia entre los tiempos de tránsito de las ondas en cada sentido. El principio de medida es analógico, pero el sistema puede proporcionar una señal analógica o digital.
- **Electromagnético:** Este sistema requiere una instalación muy compleja consistente en una bobina eléctrica instalada de manera que genere un campo magnético que atraviesa toda la corriente de agua; este campo magnético genera una corriente eléctrica en la masa de agua que se recoge mediante dos electrodos instalados uno en cada lateral de la sección de control; esta señal es analizada por un sistema electrónico, que calcula la velocidad media del agua circulante. El principio de medida es analógico, pero el sistema puede proporcionar una señal analógica o digital.

2.4.4 Medidor de Frecuencia por conteo de ciclos

El contador de frecuencia es el circuito más económico y simple de implementar para la medición de la frecuencia. La figura 2.4 ilustra su principio de funcionamiento. [18]

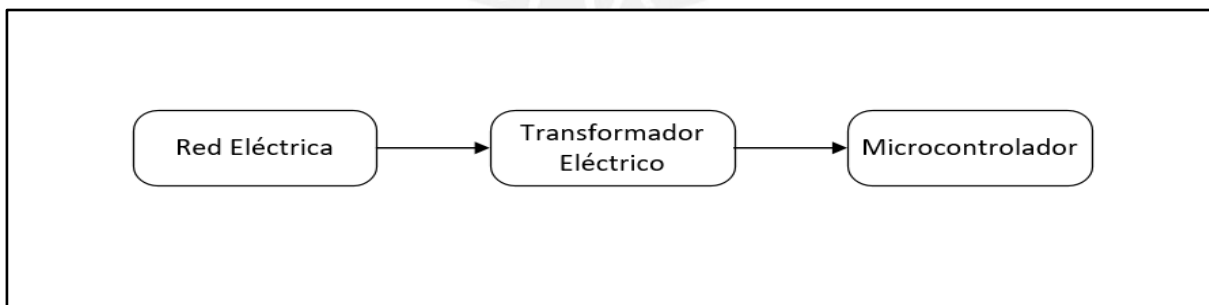


Figura 2.4 Circuito contador de frecuencia. [18]

El primer bloque es la etapa de reducción de tensión por medio de un transformador para alcanzar los valores de tensión reducidos necesarios para el microcontrolador, de 0 a 5Vdc aproximadamente. La última etapa será realizada por el programa desarrollado en el

microcontrolador, el cual utiliza la lógica del conteo por cruce por cero. Es decir, se contará cuantas veces la onda oscilante cruza por cero durante un período normal.

2.5 Suministro de energía eléctrica alterno

En esta sección se selecciona la batería externa que dará autonomía al circuito de la red eléctrica.

2.5.1 Fuente de Alimentación Conmutada

Este circuito se alimenta básicamente de energía eléctrica de la Red; sin embargo, para garantizar la autonomía de funcionamiento bajo algún corte eléctrico cuenta con una batería de respaldo, la cual se mantiene cargada mientras se alimenta de la red doméstica. La figura 2.5 muestra el módulo de conmutación de energía.

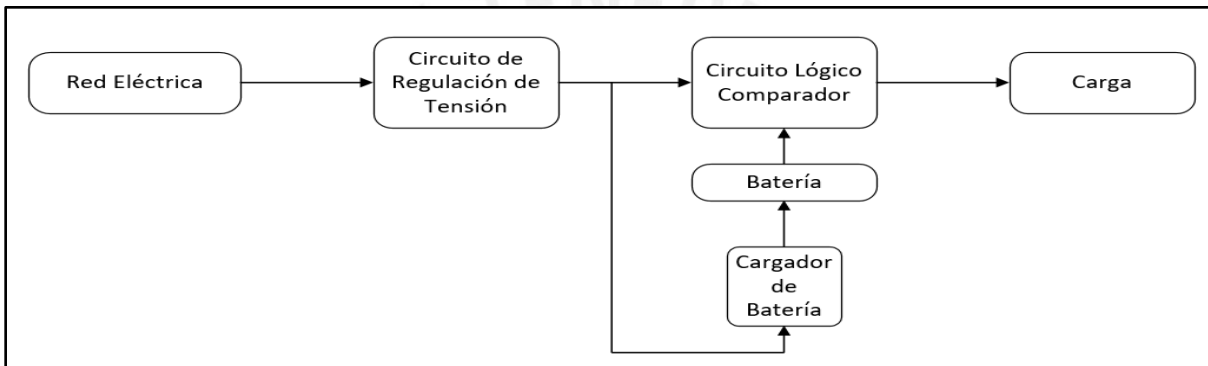


Figura 2.5 Módulo de conmutación de energía.

2.5.1.1 Módulo rectificador de onda completa

La primera etapa es a través de un transformador reductor de voltaje donde se disminuirá la tensión pico a pico de la onda, la segunda etapa es la de rectificación donde se elimina la comba negativa de la onda base. La tercera etapa es el filtrado que reduce el tiempo de descarga entre ondas tendiendo a la continuidad. Luego la etapa de regulación de tensión reduce el rizado aun presente hasta un nivel que tiende a cero. La figura 2.6 ilustra las etapas de rectificación de onda. [16]

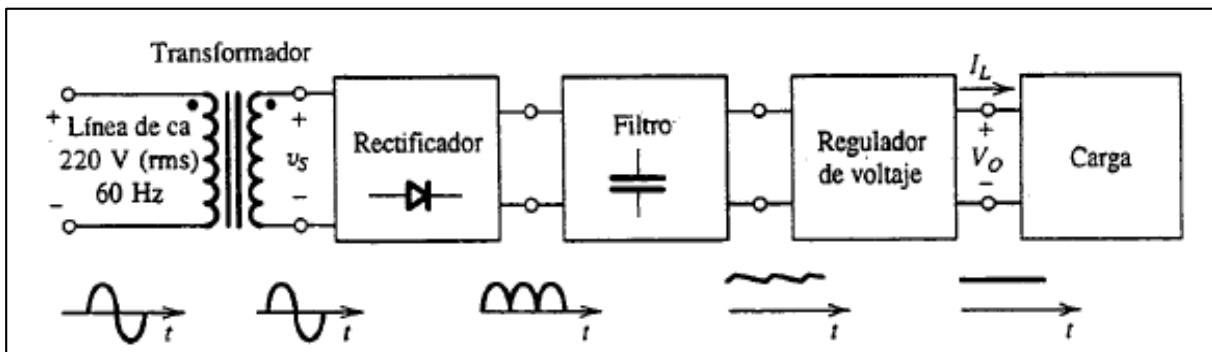


Figura 2.6 Etapa de rectificación de onda completa. [16]

2.5.1.2 Módulo cargador de baterías

Conformado por una etapa de transformación reductora de voltaje y posteriormente una etapa de rectificación de onda completa donde se suprime la alternancia de la señal base. Por último, la etapa de regulación de tensión será la encargada de fijar un voltaje y corriente constante a la salida, con lo que se carga la batería. Las etapas son mostradas en la figura 2.7. [16]

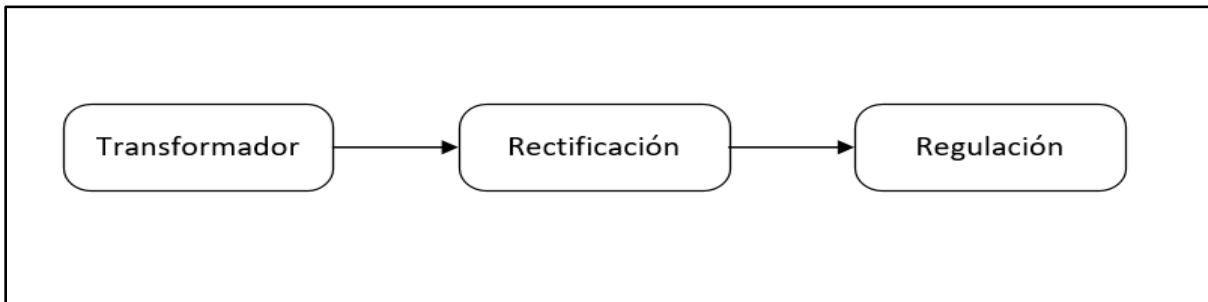


Figura 2.7 Módulo Cargador de Batería. [16]

2.5.1.3 Módulo comparador de energía

La figura 2.8 muestra un circuito basado en la lógica Diodo-Resistor donde los componentes actuarán como un comparador, arreglo OR lógico. Se obtendrá un nivel de voltaje 1 a la salida si alguna o ambas entradas son 1. La salida es de 0 si ambas entradas están en el nivel 0. [17]

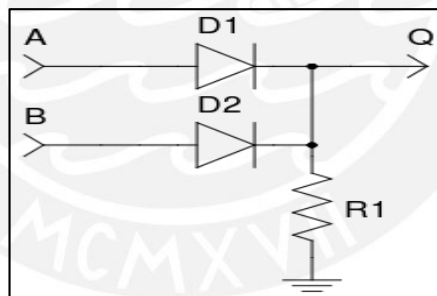


Figura 2.8 Comparador OR lógico con diodos. [17]

2.6 Dispositivo de Control: Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado capaz de llevar a cabo procesos lógicos. Entre sus principales componentes se encuentran: [9]

- Unidad Central de Procesamiento (CPU).
- Sistema de reloj, para dar secuencia a las actividades de la CPU.
- Memoria para almacenamiento de instrucciones y manipulación de datos.
- Puerto de Entra y Salida (I/O).
- Programa base (Firmware) para definir un objetivo del sistema.

2.7 Telecomunicaciones

2.7.1 GSM/GPRS

GPRS ("General Packet Radio Service") es una tecnología de comunicación orientada a telefonía móvil. Es considerada como Segunda Generación y Media (2.5G).

Es una tecnología basada en paquetes, es decir que los datos se transmiten en paquetes sobre una red IP, donde los canales de comunicación se comparten entre los distintos usuarios de forma dinámica. Su tarificación se realiza por paquetes de datos enviados/recibidos, al contrario de la tecnología GSM que se tarifica por tiempo de conexión. GPRS coexiste con GSM, compartiendo gran parte de la infraestructura, pero ofreciendo un servicio portador más eficiente para la comunicación de datos. Con una velocidad teórica de comunicación de 56 kbps es, a efectos prácticos, más rápida que GSM. Provee una conexión "siempre activa" que no exige que el usuario deba conectarse cada vez que desea obtener acceso a datos. [14]

2.7.2 Modem GSM/GPRS

Es el elemento encargado de la transmisión y recepción de la información a través de las redes GSM y GPRS. Su funcionamiento es similar al de un teléfono celular por lo que requiere una tarjeta SIM (Módulo de identificación del suscriptor) para conectarse a la red del proveedor de telefonía celular. La forma utilizada para controlar el módem es por medio de comandos AT, estos comandos son instrucciones codificadas que al ser enviadas al módem hacen que este dispositivo realice acciones como [1]:

- Enviar y/o recibir mensajes de texto
- Transmisión de datos por internet

2.7.3 Comandos AT

El conjunto de comandos AT, oficialmente conocido como Conjunto de Comando AT Estándar de Hayes, es el grupo de instrucciones por defecto para configurar y controlar los módems. [21]

Los comandos son secuencias cortas de caracteres ASCII. Todas las cadenas de comandos (es decir, secuencias de caracteres) deben estar precedidas por las letras AT, una abreviatura de *Atención*, lo que explica el nombre del conjunto.

2.8 Interfaz Web

Una interfaz web es una estructura formada por una serie de elementos gráficos que permiten a los usuarios acceder a los contenidos de un sitio en internet. Su función principal es permitir

a los usuarios navegar de forma fácil, eficaz y cómoda por un sitio web. A continuación se detallan los componentes de una interfaz web.

2.8.1 Elementos de identificación:

Son los elementos que identifican un sitio web. El usuario al verlos sabe a qué sitio a accedido. Ejemplos de estos elementos son: logos, título de la página, nombre de dominio, banderas, etc.

2.8.1.1 Elementos de navegación:

Son elementos fundamentales en el diseño web. Estos elementos permiten a los usuarios del sitio navegar por todas sus páginas web. Por lo que estos elementos están presentes en todas las páginas de internet deben ser muy intuitivos. Habitualmente los elementos de navegación de un sitio se sitúan en la barra de navegación superior y/o en una barra de navegación lateral.

2.8.1.2 Elementos de contenidos:

Son las zonas donde se muestra el contenido o información relevante de cada página web de nuestro sitio. Se subdivide en título y contenido propiamente dicho.

2.8.1.3 Programa servidor web:

Es un programa diseñado para transferir páginas web que utiliza el protocolo de transferencia HTTP. Los usuarios que desean acceder a una página web lo pueden hacer desde un navegador web, el cual enviará peticiones hacia el servidor donde a modo de respuesta se mostrará la página web con la información solicitada o un mensaje indicando error [1]. Uno de los programas servidores web más conocido y utilizado es Apache.

2.8.1.4 Sistema de gestión de base de datos:

Es un software que sirve como interfaz entre los usuarios y las bases de datos, con el cual los usuarios pueden crear, definir, mantener y proporcionar un acceso controlado a las bases de datos [1]. El MySQL es un sistema de gestión de base de datos relacional y multiusuario con más de 6 millones de instalaciones y además, es desarrollado como software libre.

2.8.1.5 Entorno de desarrollo

Es una aplicación, que cuenta con las herramientas necesarias para realizar páginas web, programas en lenguaje de programación web, etc. [1]

2.9 Modelo Teórico

La figura 2.9 presenta el modelo teórico del sistema. Seguidamente cada bloque será descrito.

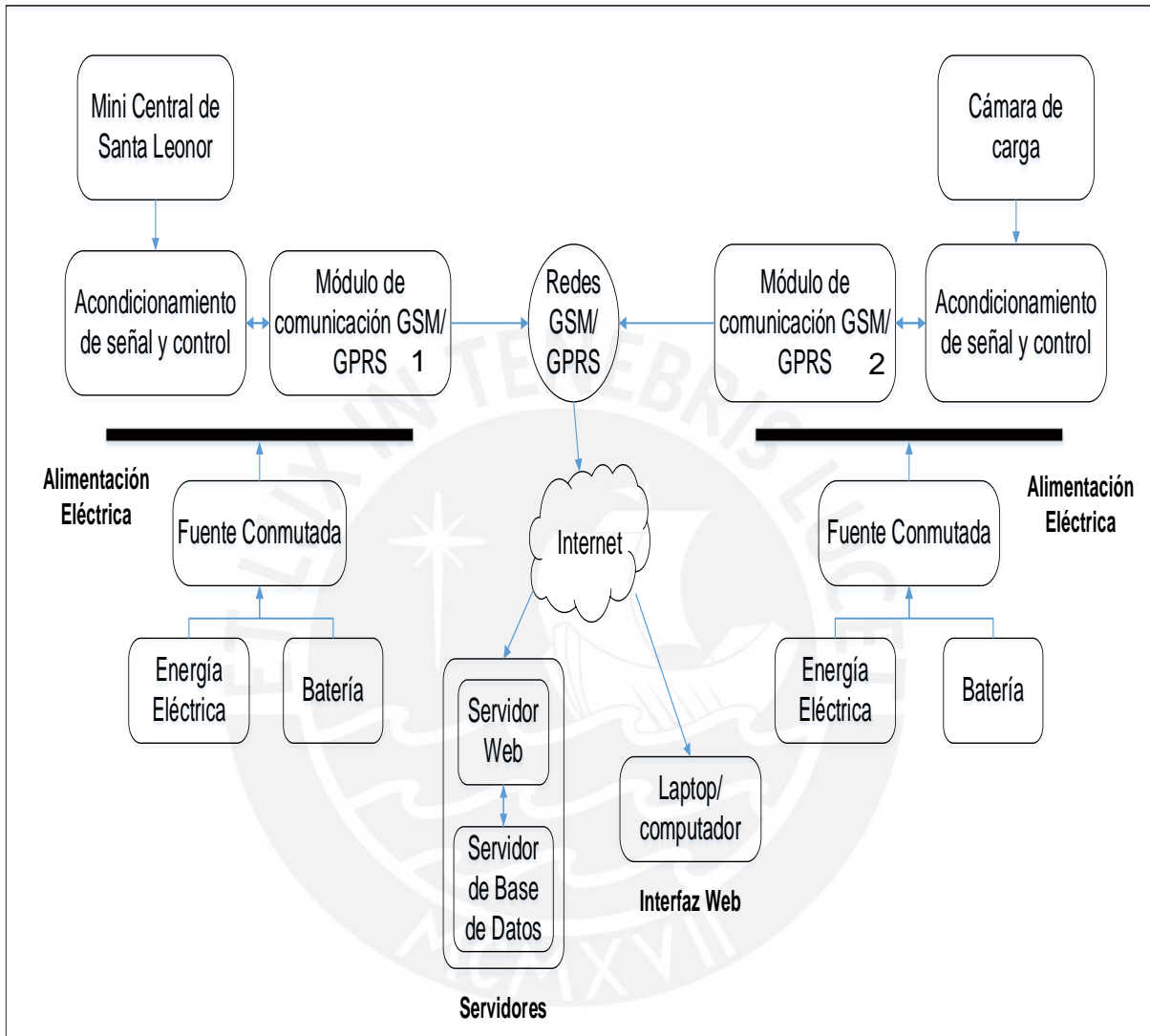


Figura 2.9 Modelo Teórico del Sistema

2.9.1 Acondicionamiento de señal y control:

Conformado por los sensores de tensión, corriente, frecuencia y caudal, además de sus respectivos circuitos de acondicionamiento. En la parte de control se ubica el módulo electrónico que contiene al microcontrolador. Este dispositivo será el encargado de recibir las señales de los sensores para posteriormente, a través del programa principal a desarrollar, será capaz de procesar estos datos y finalmente enviarlos hacia el módulo de comunicación por medio del puerto serial USART.

2.9.2 Módulo de comunicación GSM/GPRS:

Recibe los datos proporcionados por el microcontrolador para luego realizar la transmisión de datos por internet o el envío de mensajes de texto.

2.9.3 Fuente Conmutada:

Responsable de la alimentación de todo el circuito, está compuesta por un circuito conmutador, energía eléctrica doméstica o batería, que brindara autonomía al sistema ante cortes eléctricos.

2.9.4 Servidores:

Lugar de almacenamiento de la aplicación web desarrollada, aquí también se realizará el procesamiento de los datos monitoreados.

2.9.5 Interfaz Web:

Permite la interacción entre la página web desarrollada y el usuario quien accederá a través de una computadora o laptop. Es aquí donde se visualizarán finalmente los datos monitoreados ya procesados.

2.10 Objetivos

2.10.1 Objetivo General

- Diseñar e implementar un sistema de monitoreo de parámetros eléctricos como tensión, corriente, frecuencia y caudal para una mini central Hidroeléctrica, empleando tecnología GSM.

2.10.2 Objetivos Específicos

1. Selección de sensores.
2. Desarrollo del hardware y software.
3. Transmisión de datos vía tecnología GSM.
4. Desarrollo de aplicación web.
5. Ensayos: prueba del prototipo final totalmente implementado.

Capítulo 3

DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO

3.1 Diagrama de bloques del sistema de monitoreo

El sistema de monitoreo está compuesto por dos bloques respecto a la planta: uno interno y otro externo. La figura 3.1 muestra el diagrama interno a la mini central y la figura 3.2 el diagrama externo.

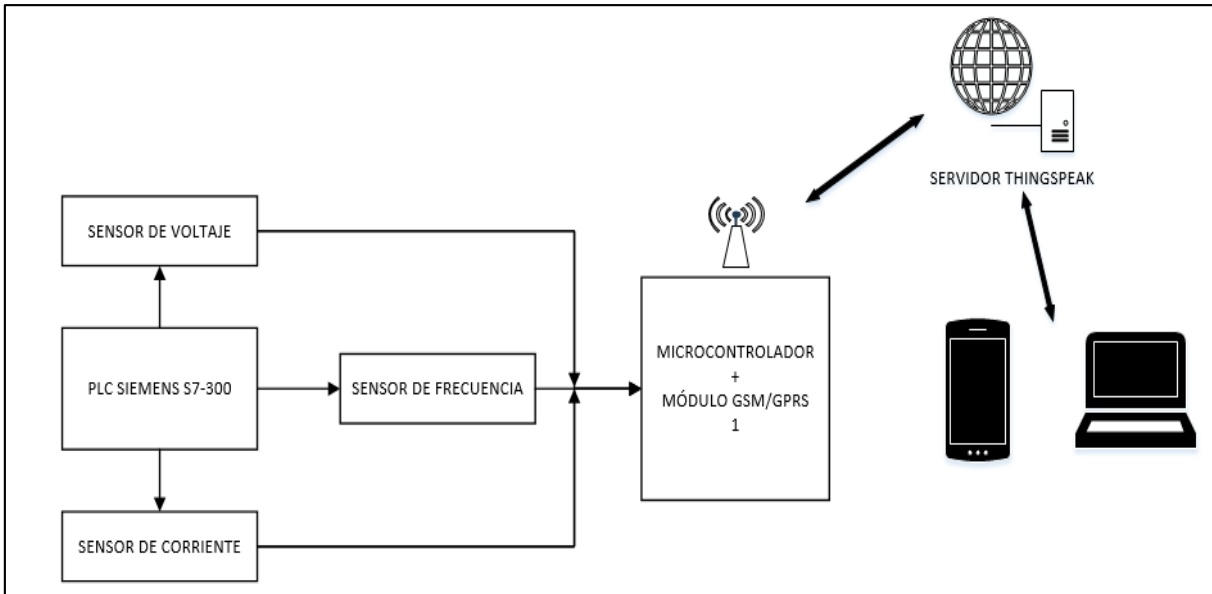


Figura 3.1 Diagrama de bloques del Sistema de Monitoreo interno a la planta

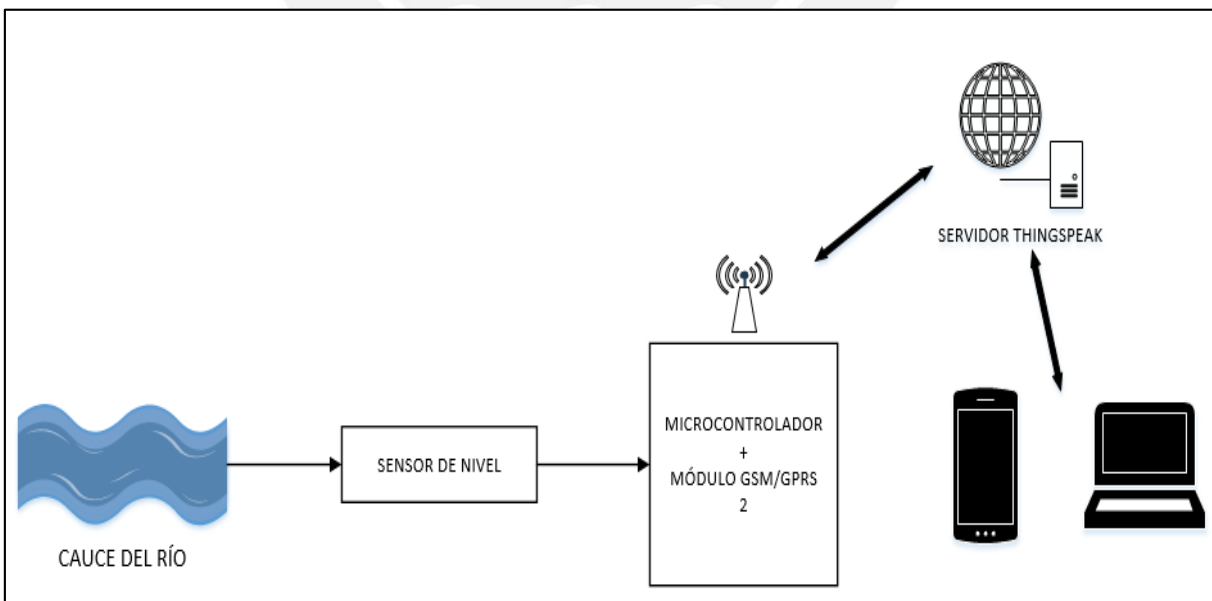


Figura 3.2 Diagrama de bloques del Sistema de Monitoreo externo a la planta

3.2 Diagrama de Interconexiones Eléctricas del Sistema de Monitoreo

La figura 3.3 muestra el diagrama de interconexiones eléctricas del sistema de monitoreo

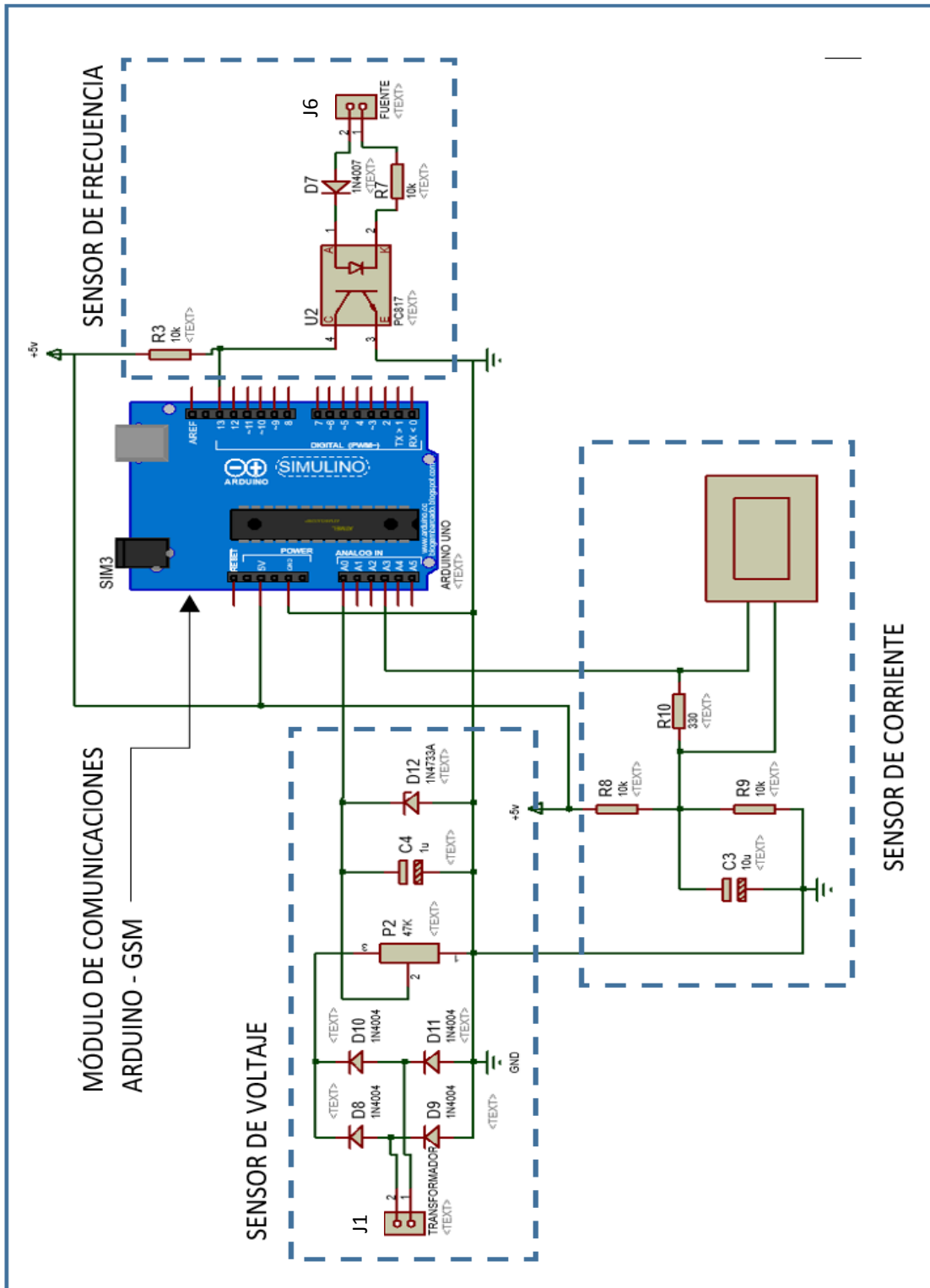


Figura 3.3 Diagrama de interconexiones Eléctricas del Sistema de Monitoreo

3.3 Descripción del sistema

El sistema a implementar será utilizado para la supervisión remota de dos parámetros importantes en una mini central. El primer parámetro está integrado por las variables eléctricas como voltaje, corriente y frecuencia producidos por la planta interna a través de un punto eléctrico debidamente habilitado para la toma de estos datos. El segundo parámetro comprende el monitoreo del nivel de caudal dirigido a la mini central, el cual deberá ser implementado en los exteriores del establecimiento, la planta externa. En los siguientes ítems se expondrán los conceptos utilizados para la selección de componentes, el diseño electrónico, el alojamiento del sistema de monitoreo en sus dos etapas (interna y externa al establecimiento), la transmisión de datos recolectados, la lógica de los programas que procesarán la información y los comandos AT a utilizar.

3.4 Selección de componentes

Para la selección de los componentes adecuados se realizará la comparación entre tres elementos del mercado, siendo el elegido aquel que cumpla con la siguiente descripción: precio accesible, compatibles con tecnologías actuales, amigables al usuario y de alto rendimiento.

La hoja de datos de cada uno de los elementos presentados se encuentra en el anexo 2, "Hoja de Datos"

3.4.1 Módulo de Telecomunicación GSM/GPRS

El sistema de monitoreo requiere un módulo específico para la transmisión de los datos procesados a través de la red GSM/GPRS.

Requerimientos:

- Este módulo debe aceptar comandos AT.
- Ser robusto frente a ambientes rurales. (Temperatura de -21°C a 40°C)
- Compatible con operadoras locales.

Las tablas 3.1, 3.2 y 3.3 detallan las especificaciones técnicas de diferentes módulos de comunicación GSM/GPRS en el mercado.

- Módulo de Comunicación 1: Módulo de Comunicación GSM/GPRS

Tabla 3.1 Características del módulo GSM/GPRS de marca Delcomp

Marca	Delcomp
Redes	GSM, GPRS, EDGE
Cuatribanda	850/900/1800/1900 MHz
Alimentación	12 V DC
Comunicación	UART, SPI, I2C
Consumo	150mA @ 12 V DC
Antena	Externa tipo cable
Otras características	Soporta comandos AT, cuenta con mic. Y parlantes externos
Precio (S/.)	220

- Módulo de Comunicación 2: WAVECOM FASTRACK SUPREME 20

Tabla 3.2 Características del módulo de comunicaciones Wavecom Fastrack Supreme 20

Marca	Wavecom
Redes	GSM, GPRS, EDGE, CSD
Cuatribanda	850/900/1800/1900 MHz
Alimentación	5.5 @ 32 V DC
Comunicación	Puerto Serial RS232
Consumo	164 mA @ 13.2 V DC
Antena	SMA
Otras Características	Soporta comandos AT, requiere ser importado.
Temperatura de Operación	-30°C a 75°C
Precio (S/.)	300

- Módulo de Comunicación 3: Módulo GSM/GPRS Sim900 TinySine

Tabla 3.3 Características del módulo de comunicaciones GSM/GPRS

Marca	TinySine
Redes	GSM, GPRS
Cuatribanda	850/900/1800/1900 MHz
Alimentación	5 V DC
Comunicación	UART, SPI
Consumo	400 mA @ 5 V DC
Antena	GSM incluida
Otras Características	Soporta comandos AT, compatible con Arduino IDE
Temperatura de Operación	-40°C a 85°C
Precio (S/.)	200

Módulo Seleccionado

Según las características expuestas anteriormente, se optó por el módulo GSM/GPRS de la marca TyniSine, el cual es compatible con las operadoras locales como Claro, Movistar, Bitel y Entel. Soporta comandos AT además de poseer la comunicación Soft Serial compatible con las librerías de Arduino. Adicionalmente, es la tarjeta que presenta el menor costo, cumple con los requisitos y se encuentra con facilidad.

3.4.2 Sensores

Los sensores a utilizarse deberán cumplir con los requisitos mostrados en la Tabla 3.4:

Tabla 3.4 Requisitos de Selección

	Sensor de Corriente	Sensor de Voltaje	Sensor de Frecuencia	Sensor de Nivel
precisión	<5%	<5%	<2%	<5%
Tipo (invasivo-no invasivo)	no invasivo	no invasivo	no invasivo	-
rango de medición	0-1A AC	0-100V AC	0-100 Hz	0-3m
Temperatura de Operación	-21°C a 40°C	-21°C a 40°C	-21°C a 40°C	0°C a 40°C

3.4.2.1 Sensor de Voltaje

No se escogieron sensores fabricados porque presentan amplios rangos de medición y precios muy elevados. Por tal motivo se optó por el diseño de un circuito reductor de voltaje que será acondicionado posteriormente para obtener a la salida valores de 0-5 VDC, el cual es el rango de tensión aceptado por el ADC de los microcontroladores. El error de este tipo de circuitos no supera el 1%, son no invasivos y posee un rango de medición de 0 a 220VAC. La figura 3.4 muestra el esquema del sensor de voltaje.

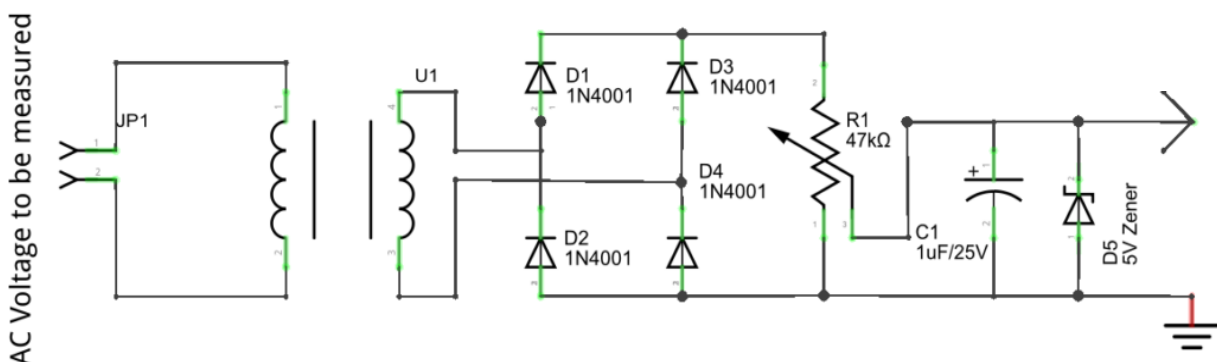


Figura 3.4 Esquema del sensor de voltaje

3.4.2.2 Sensor de Corriente

Según los requisitos ya establecidos, el sensor de corriente a seleccionar deberá tener un rango de medición entre 0-1A mínimo, además de ser necesariamente no invasivo con el fin de no alterar alguna configuración de la mini central. Los posibles sensores se muestran en las Tablas 3.5, 3.6 y 3.7:

- **Sensor de corriente 1: Transductor LEM HAIS 100-P**

Tabla 3.5 Características del sensor de corriente LEM HAIS 100-P

Modelo	LEM HAIS 100-P
Tecnología	Efecto Hall
Tipo de Corriente	AC, DC, pulsos
Rango	0 a 100 A
Temp. De Operación	-40 a 85 °C
Alimentación	5 V DC
Precio (S/.)	50

- **Sensor de corriente 2: Medidor Digital AC**

Tabla 3.6 Características del Medidor Digital AC

Modelo	PZEM - 061
Tecnología	Efecto Hall
Tipo de Corriente	AC
Rango	0 a 100 A
Temp. De Operación	10°C a 65°C
Alimentación	80 a 260VAC
Precio (S/.)	100

- **Sensor de corriente 3: Transformador de Corriente de Núcleo Dividido**

Tabla 3.7 Características del Transformador de Corriente de Núcleo Dividido

Modelo	SCT 013
Tecnología	Efecto Hall
Tipo de Corriente	AC
Rango	0 a 10 A
Temp. De Operación	-25°C a 70°C
Alimentación	5 V DC
Precio (S/.)	40

Sensor Seleccionado

A partir de la información expuesta se optó seleccionar el Transformador de Corriente de Núcleo Dividido ya que reúne los requisitos establecidos. Frente a los otros sensores, éste presenta un menor rango de medición volviéndolo más preciso además de poseer el menor precio. Adicionalmente presenta una estructura simple y tipo pinza, lo que facilitará su instalación y no alterará las configuraciones del sistema a medir inicial.

3.4.2.3 Sensor de Frecuencia

Para este sensor se optó por el diseño de un circuito propio, ya que en el mercado actual mayormente se encuentra un sensor de frecuencia integrado en Tarjetas de Adquisición de Datos (DAQ). Estos productos poseen precios elevados, ya que incluyen múltiples funciones adicionales a este tipo de sensado. El circuito a implementar está compuesto inicialmente por una resistencia de acondicionamiento de corriente y un diodo rectificador de media onda. Esta señal atravesará un optoacoplador donde se detectará el cruce por cero de las ondas a través del envío de señales al microcontrolador quien, mediante software, calculará la frecuencia.

3.4.2.4 Sensor de Nivel

Este sensor medirá el nivel de caudal, enviando una señal de alerta frente a posibles crecidas del río. En el mercado se obtuvieron los sensores mostrados en las Tablas 3.8, 3.9 y 3.10:

- **Sensor de Nivel 1: Transductor de Nivel 0-5mH₂O/50kPA**

Tabla 3.8 Características del Transductor de Nivel 0-5mH₂O/50kPA

Modelo	SPW-M1D1KZ-5Mh ₂ O
Tecnología	Transductor de Presión
Rango de medición	0 a 6 metros
Temp. De Operación	-20°C a 120°C
Alimentación	9 - 32 V DC
Precio (S/.)	155

- **Sensor de Nivel 2: More Suns DIY**

Tabla 3.9 Características del sensor More Suns DIY

Modelo	XKC-Y26-V
Tecnología	Sin Contacto, Biosensor
Rango de medición	0 a 5 metros
Temp. De Operación	0°C a 85°C
Alimentación	5 - 24 V DC
Precio (S/.)	30

- **Sensor de Nivel 3: Sensor Ultrasónico HC – SR04**

Tabla 3.10 Características del sensor Ultrasónico HC – SR04

Modelo	HC – SR04
Tecnología	Ultrasonido
Rango de medición	0 a 4 metros
Temp. De Operación	-15°C a 60°C
Alimentación	5 V DC
Precio (S/.)	14

Sensor Seleccionado

Debido a que el nivel de caudal presenta un comportamiento constante en la mayoría de tiempo, se optó por el sensor de nivel Ultrasónico HC-SR04 por su simplicidad y efectividad de sensado. Cumple con los requisitos solicitados y presenta un precio accesible.

3.4.3 Microcontrolador

Según los sensores previamente seleccionados se procederá a escoger el microcontrolador.

Requisitos:

- Capacidad de memoria de programa de 15 KBytes y memoria de datos: 1 KByte.
- Comunicación por puerto serial USART.
- Dos Puertos Analógicos y 3 Digitales como mínimo.
- Compatibilidad con los sensores y módulos a emplear.
- Bajo consumo de potencia y bajo precio.

En el mercado existen diversos microcontroladores que cumplen con estos requisitos, entre los que resaltan ATMEL y MicroChip. Sin embargo, también es importante verificar su entorno de programación, compatibilidad con diversos módulos o sensores, simplicidad y precio.

Por tal motivo y siguiendo los requerimientos previamente expuestos se seleccionó a la familia de tarjetas Arduino. Quienes presentan el entorno de desarrollo IDE de Arduino con librerías de fácil acceso y sin costo, compatibilidad con los sensores y módulos a emplear; además de accesibilidad gratuita y de fácil programación con reconocidos servidores Web.

La lista de los microcontroladores analizados se muestra en las Tablas 3.11, 3.12 y 3.13

- **Microcontrolador ATmega 328P: Arduino Uno**

Tabla 3.11 Características del Microcontrolador ATmega 328P

Microcontrolador	ATmega 328P
V. de Alimentación	7-12 V DC
V. de Operación	5 V DC
FLASH (KB)	32
SRAM (KB)	2
I/O digitales	14
Pines Analógicos	6
UART	1
Compatibilidad con Shields	Excelente
Precio (S/.)	85

- **Microcontrolador ATmega 2560: Arduino Mega**

Tabla 3.12 Características del Microcontrolador ATmega 2560

Microcontrolador	ATmega 2560
V. de Alimentación	7-12 V DC
V. de Operación	5 V DC
FLASH (KB)	256
SRAM (KB)	8
I/O digitales	54
Pines Analógicos	16
UART	4
Compatibilidad con Shields	Buena(algunas diferencias en pines)
Precio (S/.)	185

- **Microcontrolador AT91SAM3X8E: Arduino DUE**

Tabla 3.13 Características del Microcontrolador AT91SAM3X8E

Microcontrolador	AT91SAM3X8E
V. de Alimentación	7-12 V DC
V. de Operación	3.3 V DC
FLASH (KB)	512
SRAM (KB)	96
I/O digitales	54
Pines Analógicos	12
UART	4
Compatibilidad con Shields	Mala(se deben adaptar)
Precio (S/.)	185

Microcontrolador Seleccionado

Según los requerimientos expuestos, se optó por el microcontrolador ATmega 328P, integrado en la tarjeta Arduino Uno. Esta tarjeta cubre con lo solicitado y posee una excelente compatibilidad con diferentes shields y sensores. Además de su precio accesible y su fácil localización en tiendas locales. Las demás opciones no fueron consideradas debido a que poseen características adicionales a las requeridas, por lo que sería ineficiente su empleo.

3.4.4 Suministro de Energía Eléctrica

Para la selección de la batería de respaldo se tendrá en cuenta el consumo de los principales componentes del sistema. La tabla 3.14 muestra los requerimientos del suministro eléctrico.

Tabla 3.14 Tabla de requerimientos del suministro eléctrico

ELEMENTO	CONSUMO (ma)
Módulo Sim900	500
Módulo Arduino Uno	435
Sensor HC SR04	15
Total	950

Además, debido a que el módulo GSM/GPRS presenta picos de corriente de hasta 2 A. Finalmente se tiene un consumo promedio del sistema: 2.5 A

La lista de baterías analizadas se muestra en las tablas 3.15, 3.16 y 3.17:

- **Batería Externa Case Logic**

Tabla 3.15 Características de la Batería Externa Case Logic

Marca	Case Logic
Capacidad	2600 mAh
Entrada	5 V @ 1 A
Salida	5 V @ 1 A
Peso	80 gr
Precio	S/. 60.00

- **Batería Externa Coca Cola**

Tabla 3.16 Características de la Batería Externa Coca Cola

Marca	Coca Cola
Capacidad	2600 mAh
Entrada	5 V @ 1 A
Salida	5 V @ 1 A
Peso	95 gr
Precio	S/. 34.90

- **Batería Externa Cool Box**

Tabla 3.17 Características de la Batería Externa Cool Box

Marca	Cool Box
Capacidad	3000 mAh
Entrada	5 V @ 1 A
Salida	5 V @ 1 A
Peso	75 gr
Precio	S/. 69.90

Batería Seleccionada

Según los requerimientos expuestos, se optó por la batería Cool Box de 3000mAh de capacidad debido a los picos de corriente que puede suceder en el módulo de comunicaciones y para tener una capacidad no tan ajustada a lo solicitado.

3.4.5 Interfaz Web

Existen tres formas de interactuar con el sistema de monitoreo, las cuales serán expuestas a continuación:

3.4.6 Teléfono Celular

Será utilizado para la recepción de mensajes de texto frente a alarmas detectadas, indicando un aumento importante en el nivel de caudal.

3.4.7 Interfaz Web: ThingSpeak

ThingSpeak es un servicio de plataforma de análisis de IoT que le permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en vivo en la nube. Brinda visualizaciones instantáneas de los datos enviados por sus dispositivos a la plataforma. Ejecuta el código MATLAB® para realizar análisis y procesamiento en línea de los datos a medida que van siendo enviados. [19]

Entre sus características principales se tiene:

- Compatibilidad con diversos protocolos IoT para el envío de datos.
- Visualización en tiempo real de los datos de tu sensor.
- Análisis MatLab para un mejor procesamiento de datos.
- Construcción de sistemas IoT sin necesidad de servidores o software de desarrollo.
- Entorno de Desarrollo compatible con Arduino IDE.

A través de esta página web se podrá visualizar los valores de los parámetros eléctricos monitoreados en la mini central.

Finalmente se seleccionó esta página web por su compatibilidad de programación con Arduino IDE, diversidad de ejemplos de aplicaciones desarrolladas en internet, tutoriales, etc.

3.4.8 Aplicación Móvil

- **ThingSpeak App:** a través de esta aplicación móvil podremos monitorear los parámetros de forma continua y sencilla gracias a su entorno gráfico amigable. Posee las mismas características que la plataforma origen: ThingSpeak.
- **Twitter App:** Debido a su gran acogida y popularidad, se utilizará ésta reconocida aplicación, como respaldo indicador de alarmas además de los SMS.

3.5 Diseño Electrónico

El diseño electrónico del sistema de monitoreo está compuesto por 4 secciones tales como: circuito para medición de voltaje, circuito para medición de corriente, circuito para medición de frecuencia y circuito para medición de nivel de caudal. Todos ellos conectados a la tarjeta del microcontrolador Arduino Uno. A continuación, se muestran los diagramas esquemáticos de los circuitos mencionados, adicionalmente se hará una descripción de funcionamiento y utilidad.

3.5.1 Circuito para medición de voltaje

La figura 3.5 muestra el circuito para medición de voltaje cuyo diseño detallado se encuentra en el anexo 3, “Diseño del Circuito Medidor de Voltaje”

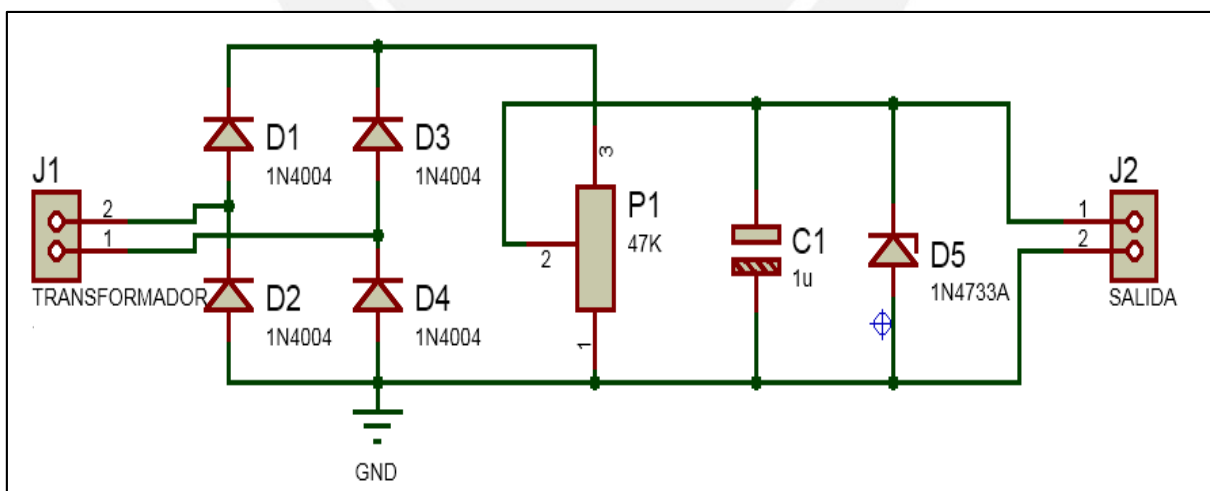


Figura 3.5 Diagrama esquemático del circuito medidor de voltaje

Función: Rectificar y acondicionar el voltaje alterno a sensor para luego enviarlo al pin analógico del microcontrolador.

Descripción del circuito: El circuito diseñado está compuesto por las siguientes etapas

- La entrada J1 representa el voltaje a la salida del transformador reductor (220vac-6vac).
- Los Diodos D1,D2,D3 y D4 conforman el puente rectificador de voltaje.
- El potenciómetro P1 permite calibrar la tensión de salida.
- EL capacitor C1 sirve para reducir el rizado aun persistente de la señal rectificada.
- El diodo D5 protege la entrada del microcontrolador frente a exceso de voltajes.

3.5.2 Circuito para medición de corriente

La figura 3.6 muestra el circuito para medición de corriente cuyo diseño detallado se encuentra en el anexo 4, "Diseño del Circuito Medidor de Corriente"

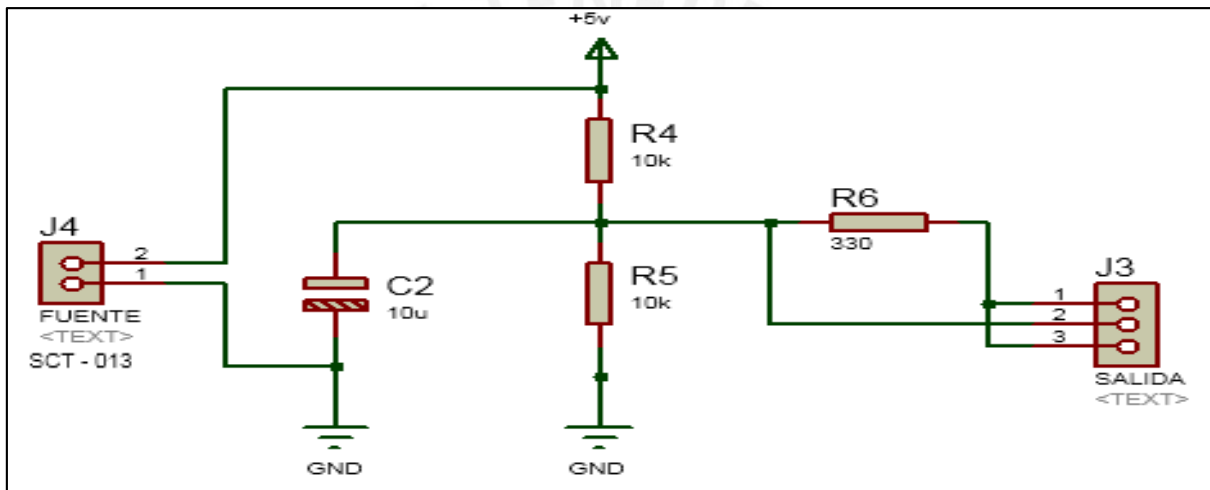


Figura 3.6 Diagrama esquemático del circuito medidor de corriente

Función: Obtener a la salida una señal de voltaje entre 0-5V DC proporcional a la corriente medida. La señal de salida del circuito esta conecato a un pin analógico del microcontrolador.

Descripción del circuito: El circuito diseñado esta compuesto por las siguientes etapas:

- La entrada J4 es quien proporciona al circuito los 5V DC.
- donde se obtiene el voltaje proporcional a la corriente medida.
- Las resistencias R4 y R5 actuan como divisor resistivo y adicionan 2.5V DC a la señal de entrada.
- El capacitor C2 sirve como camino secundario a las corrientes alternas que pueden atravesar por las resistencias.
- J3-1 y J3-2 son terminales donde se obtiene el voltaje proporcional a la corriente medida.
- J3-3 es la salida analógica que será procesada por el microcontrolador.

3.5.3 Circuito para medición de frecuencia

La figura 3.7 muestra el circuito para medición de frecuencia cuyo diseño detallado se encuentra en el anexo 5, "Diseño del Circuito Medidor de Frecuencia"

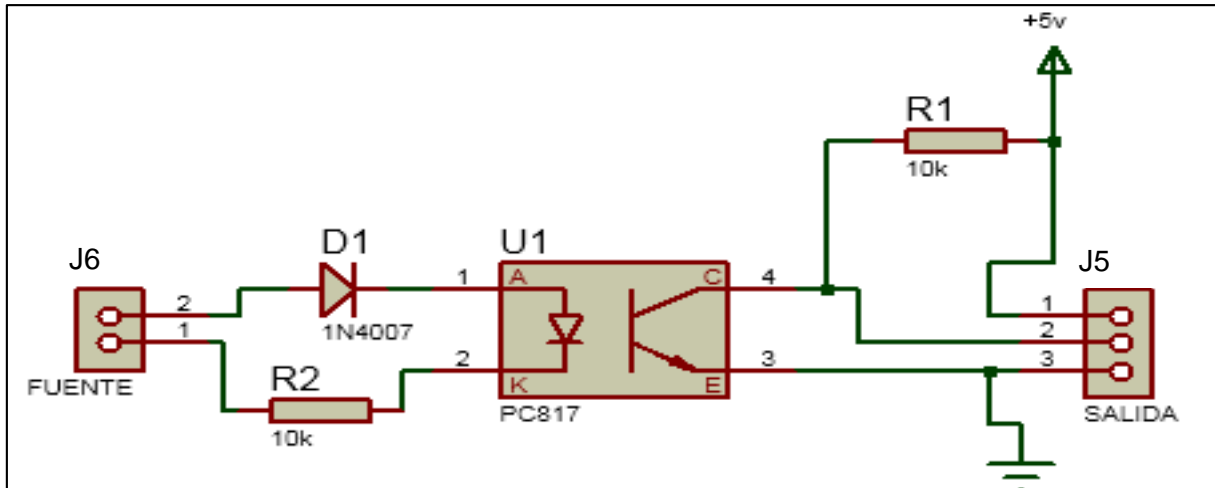


Figura 3.7 Diagrama esquemático del circuito medidor de frecuencia

Función: Obtener la frecuencia de la línea eléctrica a través del conteo de cruces por cero de la señal alterna.

Descripción del circuito: El circuito diseñado está compuesto por las siguientes etapas:

- La entrada J6 va conectada a la línea eléctrica local.
- El diodo D1 sirve como rectificador de media onda.
- La resistencia R2 limita la corriente que atravesará el integrado.
- El integrado PC817 es un optoacoplador óptico que aísla la etapa de potencia y control del circuito.
- La resistencia R1 limita la corriente que ingresará al microcontrolador.
- J5-1 y J5-3 proporcionan los 5v DC de alimentación del circuito.
- J5-3 es la señal de salida conectada al pin digital del microcontrolador.

3.5.4 Circuito para medición de nivel de caudal

La figura 3.8 muestra el circuito para medición de caudal.

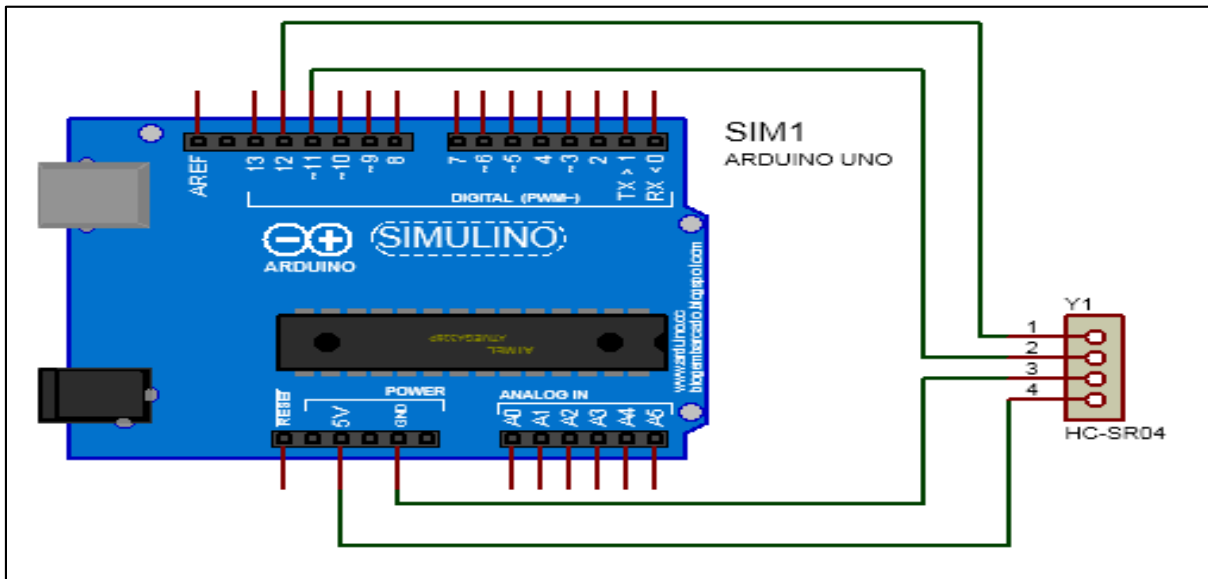


Figura 3.8 Diagrama de conexiones del circuito medidor de nivel de caudal

Función: Obtener el nivel de altura del caudal a través de ondas ultrasónicas.

Descripción del circuito: El circuito diseñado esta compuesto por las siguientes etapas:

- La entrada Y1-1 corresponde al trigger del sensor de ultrasonido. Señal inicial para comenzar el sensado.
- La entrada Y1-2 corresponde al Echo del sensor de ultrasonido.
- Las entradas Y1-3 y Y1-4 proporcionan el voltaje de alimentación del sensor. 5v DC.

NOTA:

Los Diagramas Esquemáticos de los circuitos presentados anteriormente se encuentra en el anexo 6, "Diagramas Esquemáticos"

3.5.5 Circuito del microcontrolador

La figura 3.9 muestra el diagrama esquemático de la tarjeta Arduino Uno.

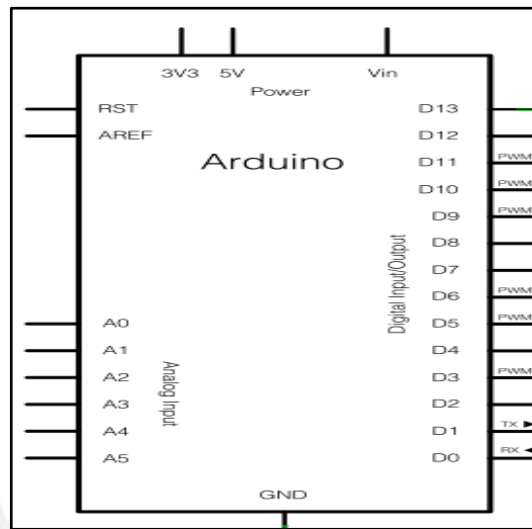


Figura 3.9 Diagrama esquemático de la tarjeta Arduino Uno.

Funciones:

- Compilar y ejecutar la programación general del sistema.
- Procesar de datos(señales de entrada y salida).
- Brindar la alimentación eléctrica a los componentes que requieran.

Descripción del circuito: El circuito diseñado esta compuesto por las siguientes etapas:

- Las entradas/salidas analógicas están representadas por los pines A, desde A0 hasta A5. A0 esta conectado a la salida J2-1 del circuito para medición de tensión y A5,a la salida del circuito para medición de corriente.
- Las entradas/salidas digitales están representadas por los pines D, desde D0 hasta D13. D13 está conectado a la salida J1-2 del circuito para medición de frecuencia y D12, D11 conectados a Trigger y Echo del circuito para medición de nivel de caudal respectivamente.
- El microcontrolador Atmega 328 es el encargado de la ejecución del programa general almacenado en su memoria.
- El pin 5v es quien proporciona la alimentación a los circuitos que lo requieran.
- El pin GND es la tierra común del circuito.

3.6 Alojamiento del sistema de monitoreo

El alojamiento del proyecto se divide en dos partes: El montaje y conexiado del sistema

3.6.1 Montaje del sistema

Los circuitos diseñados y los módulos se montarán directamente sobre uno de los gabinetes del PLC. Este gabinete posee la ventilación adecuada para circuitos y es de fácil acceso. Una característica adicional es el aislamiento del ruido de las máquinas externas. La figura 3.10 muestra el montaje del circuito sobre la bandeja del PLC.

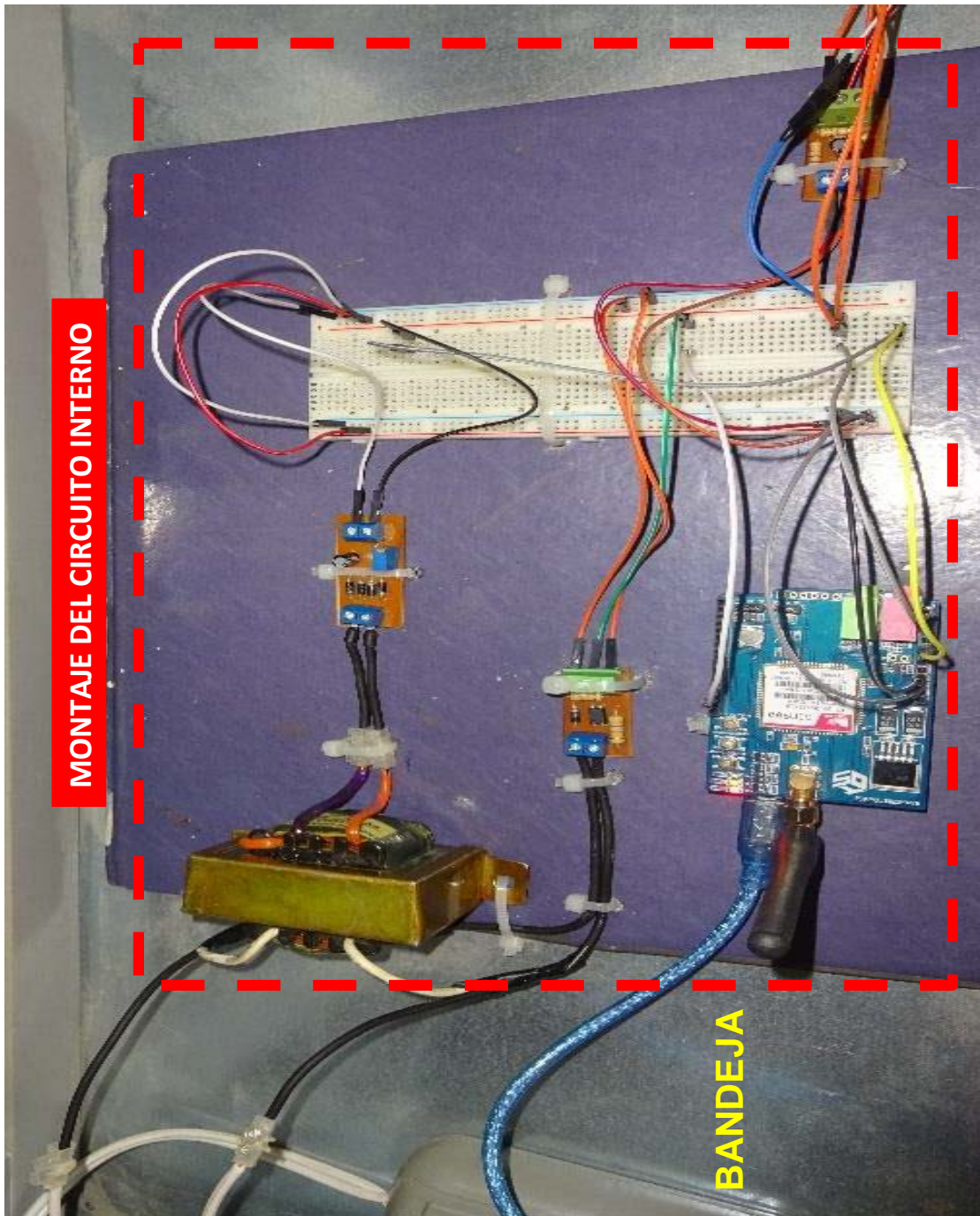


Figura 3.10 Montaje del circuito sobre la bandeja del PLC

3.6.2 Conexión interno a la planta

En la figura 3.11 se muestra el conexionado interno del sistema dentro del gabinete del PLC.

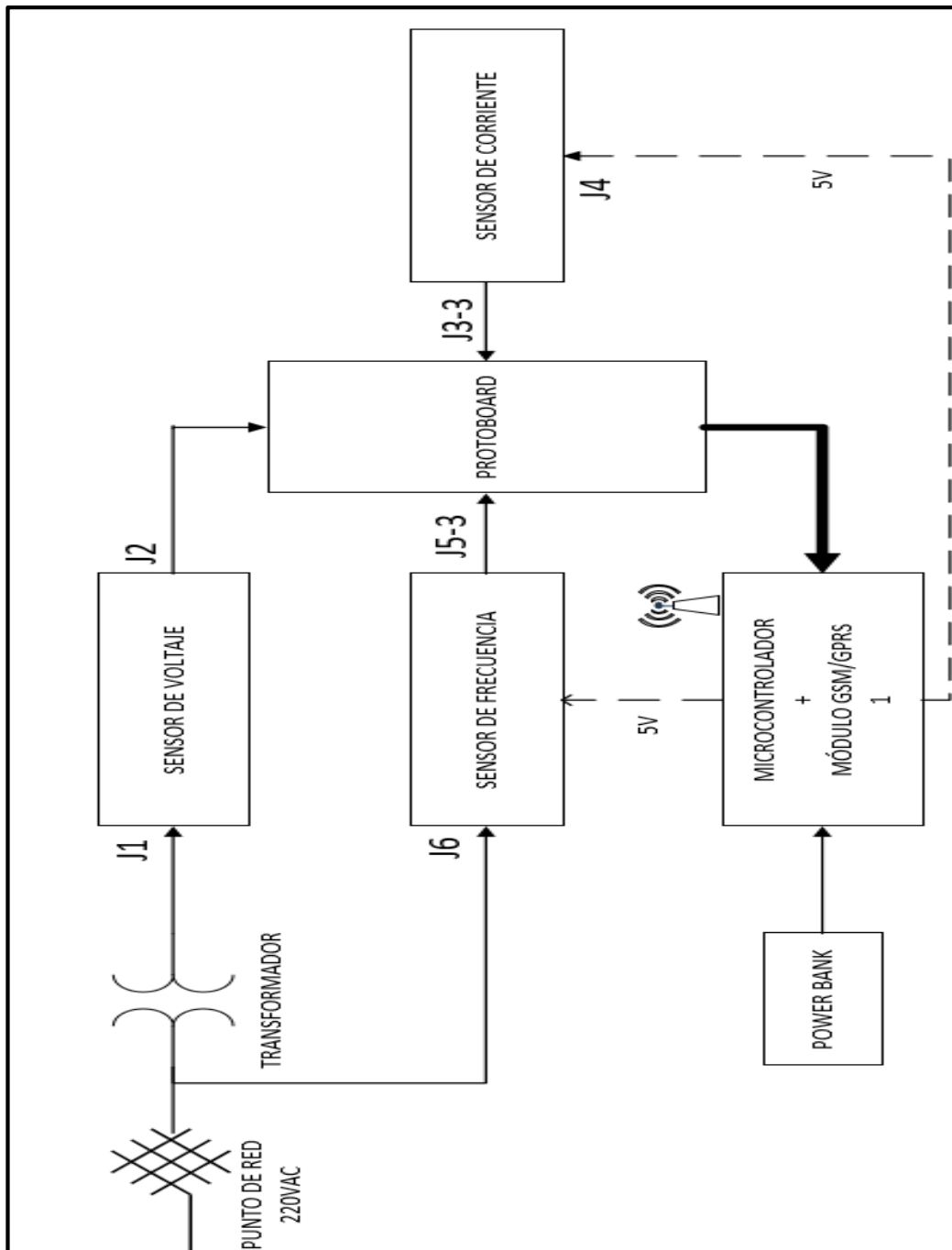


Figura 3.11 Conexión Interno a la Planta

Entre los circuitos instalados se listan: el sensor de voltaje, el sensor de corriente, el sensor de frecuencia y el módulo de comunicaciones GSM/GPRS unido a la plataforma Arduino.

3.6.3 Conexión externa a la planta

Conformado por el circuito medidor de nivel. Este circuito se encuentra instalado al borde del cauce del río ubicado en la cámara de fuerza, a 200 metros por encima de la mini central. La figura 3.12 muestra a continuación el diagrama de la instalación.

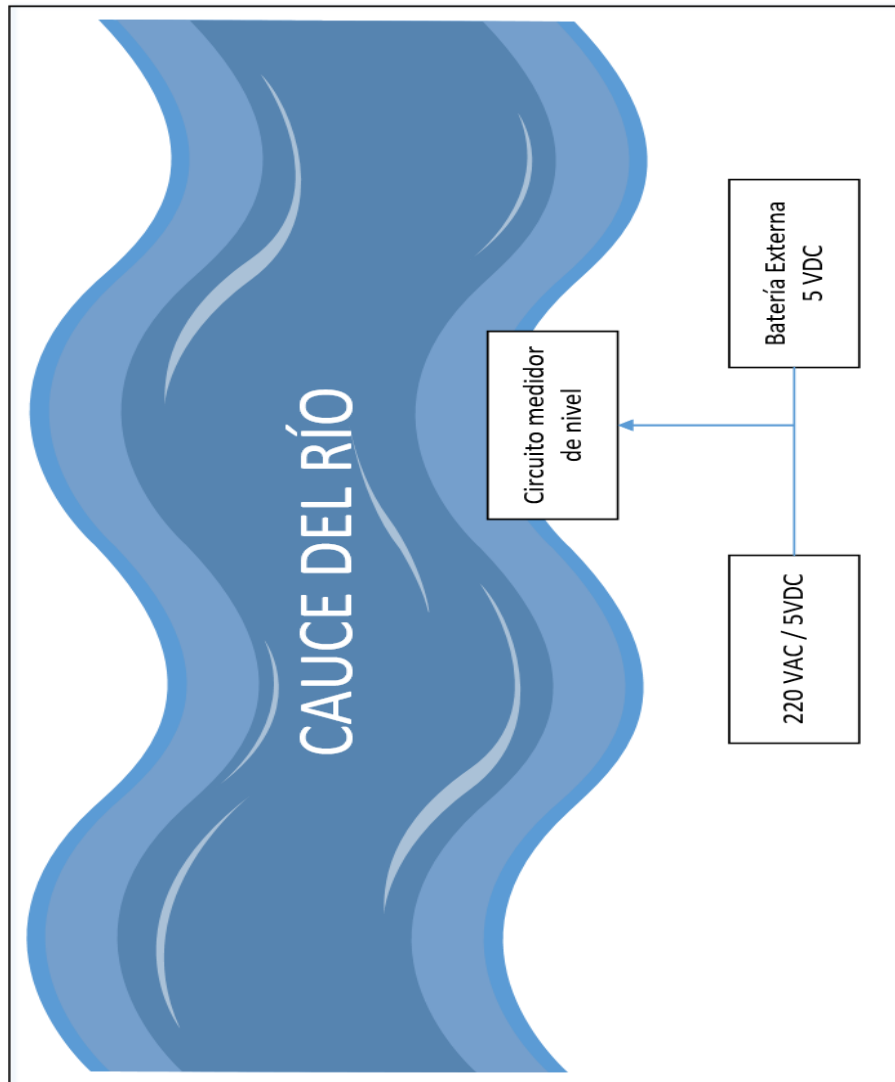


Figura 3.12 Diagrama del circuito externo a la planta

3.7 Aspectos de comunicación

Para comprobar que el módulo de comunicación GSM/GPRS funciona correctamente se deberá realizar una prueba de comunicación y configuración en el lugar donde será instalado. La prueba consiste en que el módulo GSM/GPRS ejecute ciertos comandos AT desde la plataforma IDE de Arduino.

Los comandos a utilizar serán descritos en la tabla 3.18.

Tabla 3.18 Comandos AT para realizar pruebas de comunicación con el modem

Comando AT	Pregunta	Respuesta
AT+CREG?	¿El módulo está registrado a la Red?	<ul style="list-style-type: none"> - La primera cifra es 0 - La segunda cifra puede ser : <ul style="list-style-type: none"> 0: No registrado 1: Registrado, red local 2: Modem en curso de registro 3: Negación de Registro 4: Desconocido 5: Modem registrado por operador extranjero
AT+CSQ	¿Cuál es la calidad de señal del dispositivo?	Primera cifra: <rssi> indicador de cobertura <ul style="list-style-type: none"> - 0: -115 dBm o menos - 1: -111 dBm - 2 a 9: -109 a -95 dBm - 10 a 19: -93 a -75 dBm - 20 a 30: conocido o no detectable Segunda cifra: <ber> Tasa de error de bit <ul style="list-style-type: none"> - 99 no conocido o no detectable

Para indicar el buen funcionamiento del modem instalado y comprobar un entorno favorable de trabajo, se deberá obtener respuestas tales como:

AT+CREG: 0,1

+CSQ: 18,9

Finalmente si no se llegasen a obtener resultados favorables, según lo indicado en la tabla x.xx, una medida correctiva del problema es la reubicación de la antena externa GSM hacia otro lugar con mejor cobertura o señal.

3.5 Lógica del Sistema

A continuación se presenta la lógica del programa del microcontrolador y la lógica de la interfaz web.

3.5.1 Lógica del programa del microcontrolador

El diagrama de flujo del programa en el MCU se muestra en la figura 3.13.

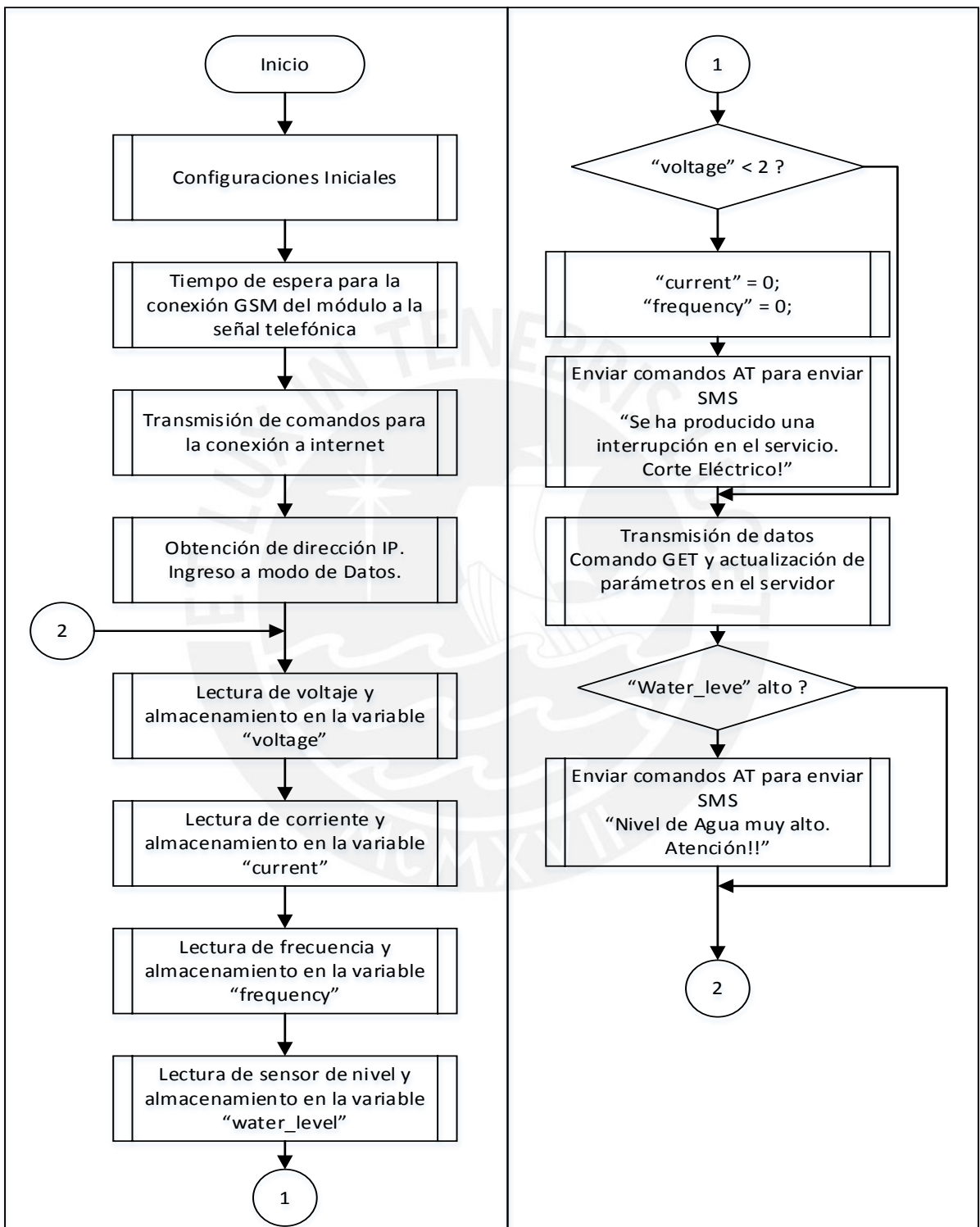


Figura 3.13 Diagrama de flujo del programa del microcontrolador

3.5.2 Lógica de Interfaz Web

Las rutinas y procesos realizados por la interfaz web se muestran en el diagrama de flujo de la figura 3.14:

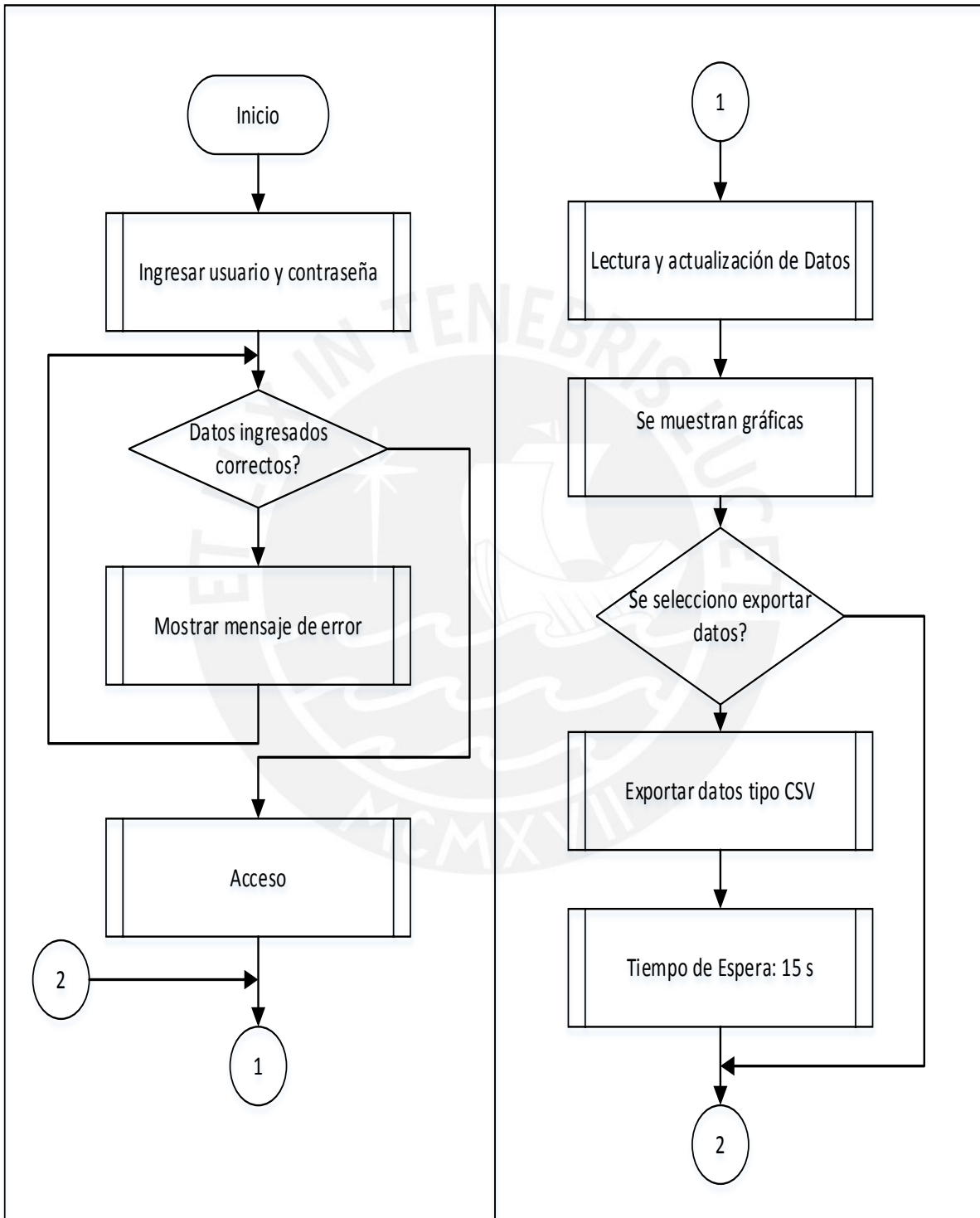


Figura 3.14 Diagrama de flujo de flujo de la Interfaz Web

3.6 Comandos AT

Los comandos AT fueron transmitidos desde la plataforma IDE del microcontrolador hacia el módulo de comunicaciones GSM/GPRS por medio del Soft Serial.

La configuración base de la trama es la siguiente:

- Velocidad de transmisión 9600 bps
- 8 bits por carácter
- 1 bit de parada
- sin paridad

Los comandos utilizados han sido extraídos del documento oficial de comandos AT del módulo Sim900. [20]

3.6.1 Envío de mensaje de texto SMS

El comando empleado para enviar un mensaje de texto a un teléfono celular fue el siguiente

-AT+CMGS: este comando envía un mensaje de texto a un celular GSM. Se envía automáticamente a través de la función `sms.SendSMS(numero,texto)` perteneciente a la librería GSM del módulo de comunicaciones GSM/GPRS arduino.

3.6.2 Transmisión de datos por Internet

A continuación se describirán los comandos utilizados para la verificación de la red, configuración a internet y transmisión de datos:

-AT+CREG: Nos da a conocer si estamos registrados a alguna red de telefonía.

-AT+SAPBR: Permite realizar la configuración de portadora para aplicaciones basadas en IP, abrir la portadora y comprobar el estado de conexión.

-AT+HTTPIPINIT: Inicializa el servicio HTTP.

-AT+HTTTPARA: Configurar los valores de los parámetros HTTP.

3.6.3 Actualización de datos de canal:

Para actualizar el valor de un parámetro a supervisar en la página web, por ejemplo el voltaje, se deberá realizar una petición tipo GET o POST. El servidor de la página web será el encargado de realizar la actualización y almacenar el dato temporal en su base de datos.

La petición de actualización posee el siguiente formato:

-GET <servidor>?api_key=<clave_de_actualización>&<ID_canal>=<valor>;

Donde:

<servidor> : indica el nombre del servidor o dirección IP del mismo.

<clave_de_actualización> : clave única para poder acceder a los datos y modificarlos.

<ID_canal>: número de canal. Hace referencia a los parámetros analizados.

<valor>: nuevo valor del parámetro.

Ejm:

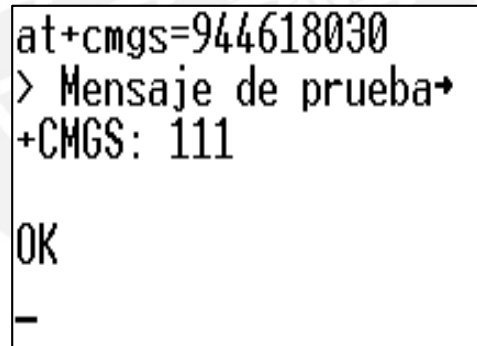
-GET https://api.thingspeak.com/update?api_key=l1448YR5S13UDROA&field1=0

El comando AT para realizar la petición GET se describe a continuación:

-AT+HTTPACTION: Método de acción del HTTP. GET, POST o HEAD.

EJEMPLO:

En la figura 3.15 se observa el envío de un mensaje de texto a un celular y la respuesta al comando.

A screenshot of a terminal window showing the execution of an AT command. The text displayed is: 'at+cmgs=944618030', '> Mensaje de prueba+', '+CMGS: 111', 'OK', and a cursor line. The background features a faint watermark of the University of TENERIFE logo.

```
at+cmgs=944618030
> Mensaje de prueba+
+CMGS: 111

OK
-
```

Figura 3.15 Comando AT para envío de mensaje de texto

NOTA:

La programación final del microcontrolador se encuentra en el anexo 7, “Código del Programa”

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS FINALES

En este capítulo se comprobarán los objetivos a través de pruebas en el sistema. La figura 4.1 presenta el diagrama de bloques de la implementación con los elementos internos utilizados en este capítulo.

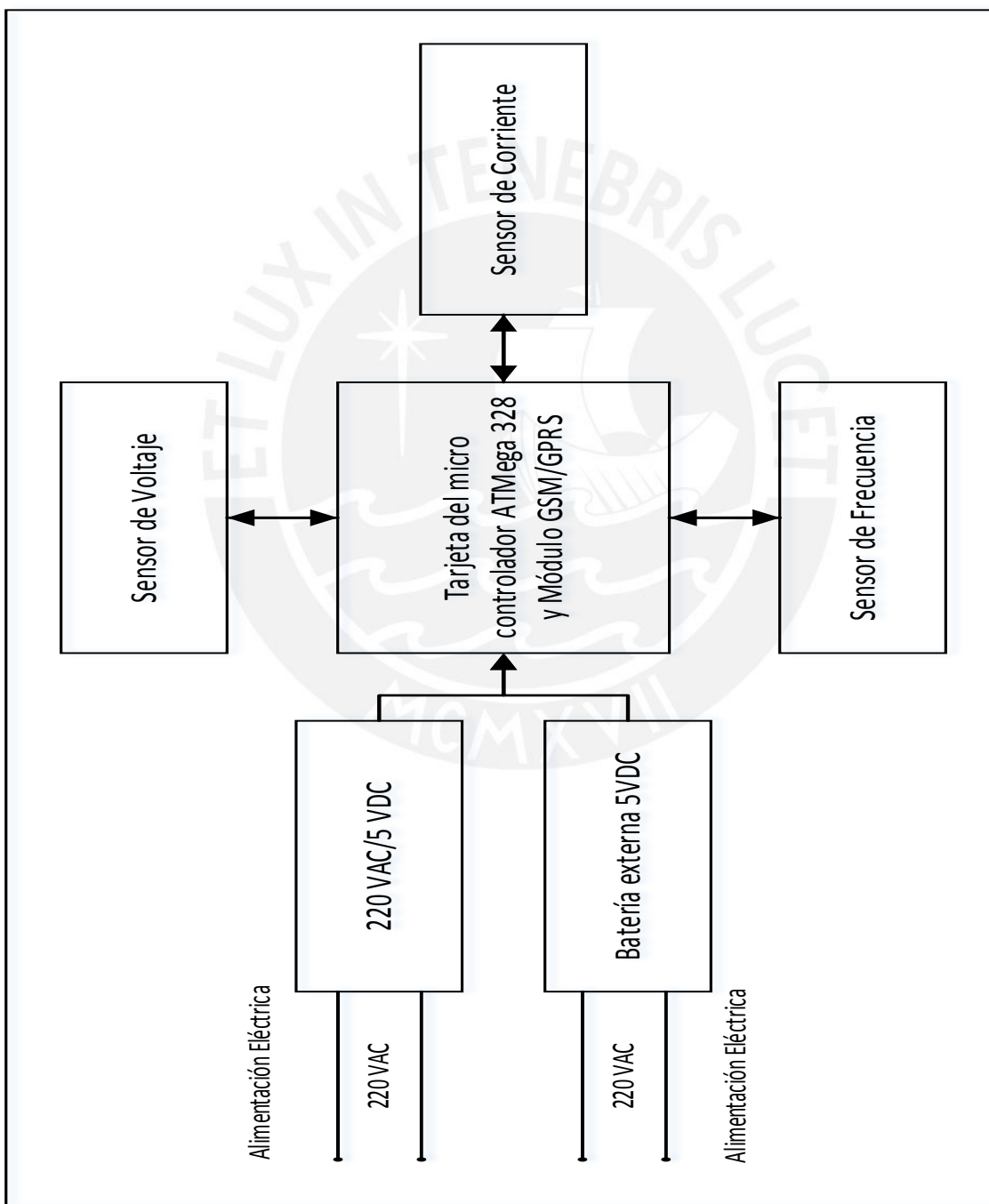


Figura 4.1 Diagrama del Hardware Interno utilizado para realizar pruebas

La figura 4.2 presenta el diagrama de bloques de la implementación con los elementos externos utilizados en este capítulo.

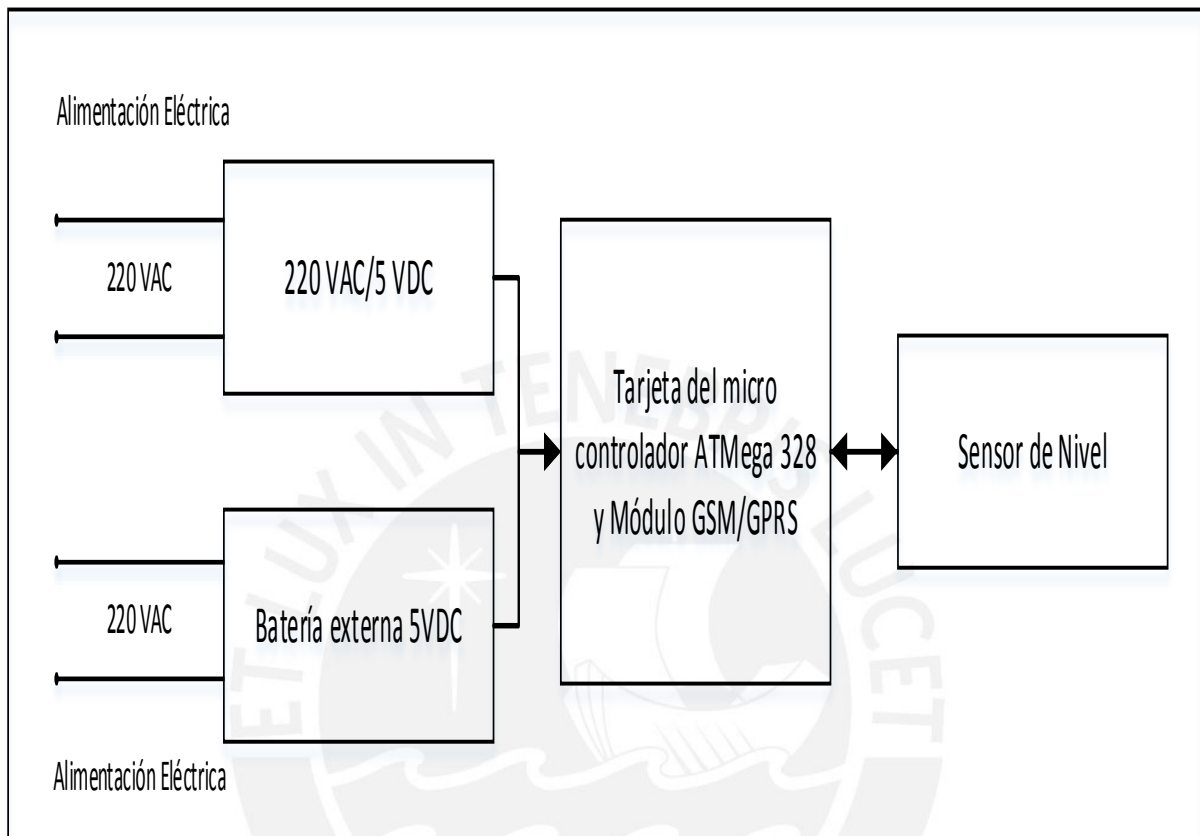


Figura 4.2 Diagrama del Hardware Externo utilizado para realizar pruebas

Las pruebas a realizar a continuación comprenden la lectura de los diferentes sensores utilizados, la transmisión de datos del módulo GSM/GPRS vía red celular y el envío de mensaje de texto, el cálculo del porcentaje de error y finalmente la visualización de las gráficas tanto en el entorno web como la aplicación celular.

4.1 Pruebas de las lecturas de los sensores

Las pruebas a continuación comprenden la lectura de los valores obtenidos por los sensores sobre una fase de la red, los cuales serán comparados con los valores oficiales dispuestos por

la empresa en rangos de tiempo aleatorios. Según la desviación obtenida se calculará el porcentaje de error.

4.1.1 Circuito del Sensor de Voltaje

La figura 4.3 muestra el sensor de voltaje desarrollado para las pruebas correspondientes.

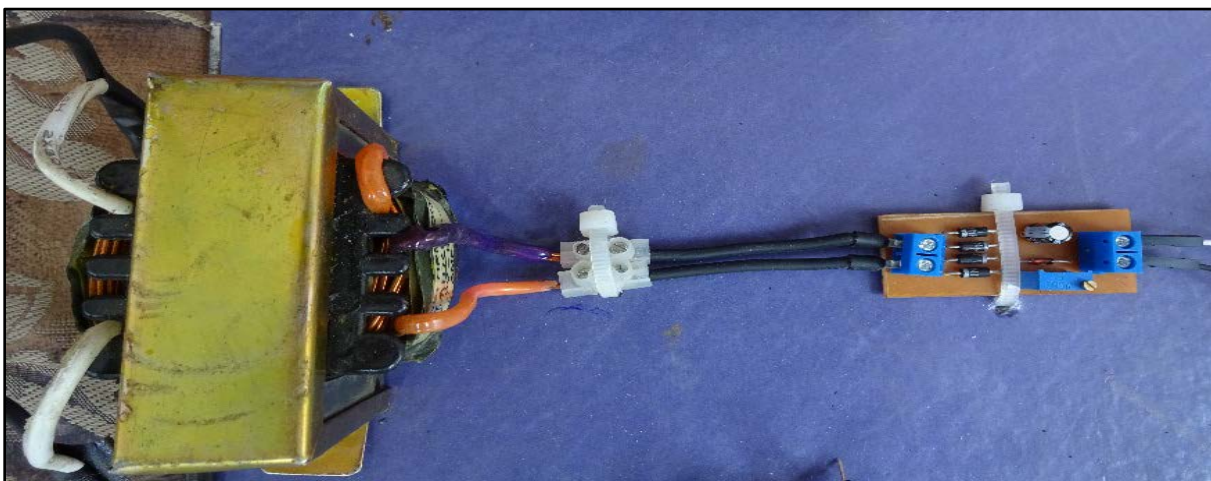


Figura 4.3 Circuito del sensor de voltaje

- **Voltaje mostrado en el panel Siemens S7-300**

En la figura 4.4 se muestra la lectura de la pantalla del PLC Siemens instalado en la empresa.

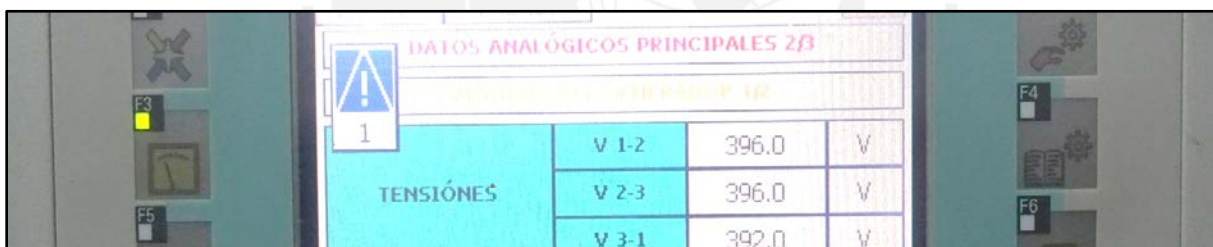


Figura 4.4 Valor de voltaje obtenido del PLC

- **Voltaje y error obtenido por el sensor**

A continuación, la tabla 4.1 muestra las lecturas del sensor de voltaje y el error relativo porcentual obtenidos del historial del servidor web en un rango de tiempo aleatorio.

Tabla 4.1 Voltajes y error obtenido por el sensor

Fecha de Creación	Voltaje (V)	Voltaje Patrón (V)	Voltaje del Sensor Promedio (V)	Error relativo porcentual
2017-06-25 21:50:16 UTC	396.23	396	396.174	-0.0439%
2017-06-25 21:50:43 UTC	396.18			
2017-06-25 21:51:10 UTC	396.51			
2017-06-25 21:51:38 UTC	395.45			
2017-06-25 21:52:05 UTC	396.5			
Promedio	396.174			

4.1.2 Circuito del sensor de Corriente

La figura 4.5 muestra el sensor de corriente desarrollado para las pruebas correspondientes.

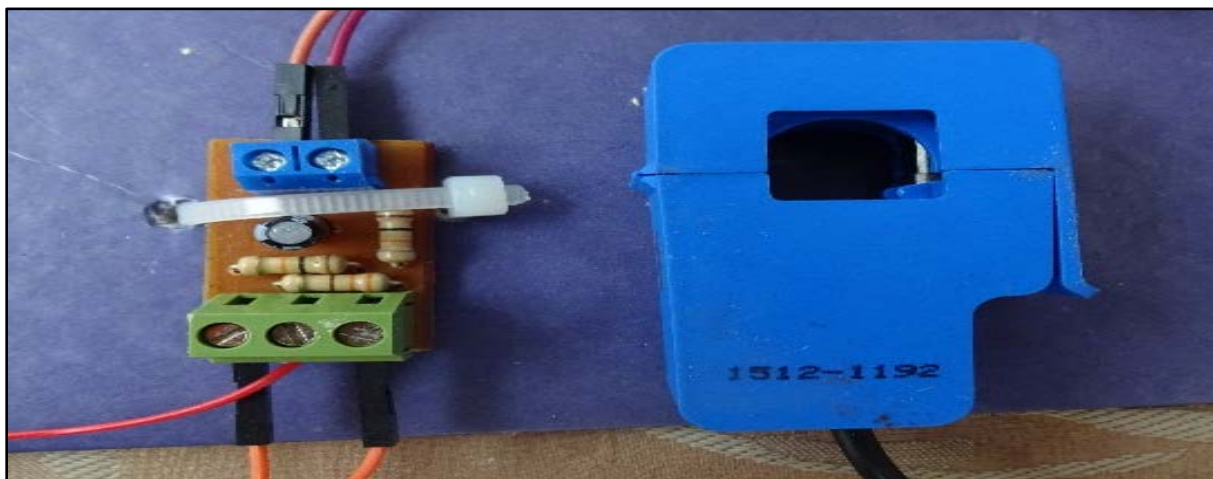


Figura 4.5 Circuito del sensor de corriente

- Corriente mostrada en el panel Siemens S7-300

En la figura 4.6 se muestra la lectura de la pantalla del PLC Siemens instalado en la empresa.

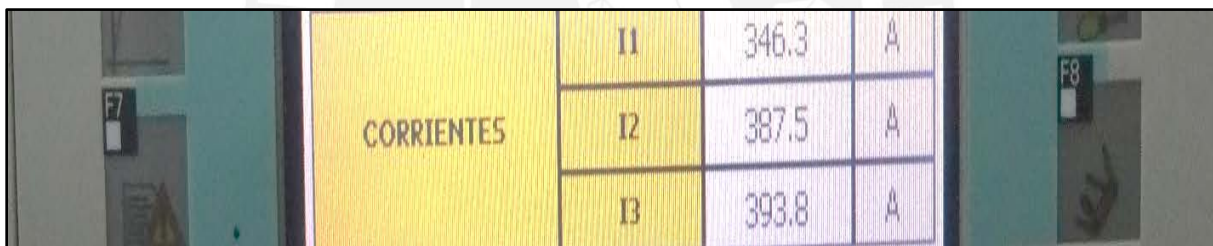


Figura 4.6 Valor de corriente obtenido del PLC

- Corriente y error obtenido por el sensor

A continuación, la tabla 4.2 muestra las lecturas del sensor de corriente y el error relativo porcentual obtenidos del historial del servidor web en un rango de tiempo aleatorio.

Tabla 4.2 Corrientes y error obtenido por el sensor

Fecha de Creación	Corriente (A)	Corriente Patrón (A)	Corriente del Sensor Promedio (A)	Error relativo porcentual
2017-06-25 11:57:14 UTC	352.17	346.3	349.764	-1.0003%
2017-06-25 11:57:39 UTC	349.42			
2017-06-25 11:58:02 UTC	349.14			
2017-06-25 11:58:29 UTC	348.57			
2017-06-25 11:58:52 UTC	349.52			
Promedio	349.764			

4.1.3 Circuito del Sensor de Frecuencia

La figura 4.7 muestra el sensor de frecuencia desarrollado para las pruebas correspondientes.

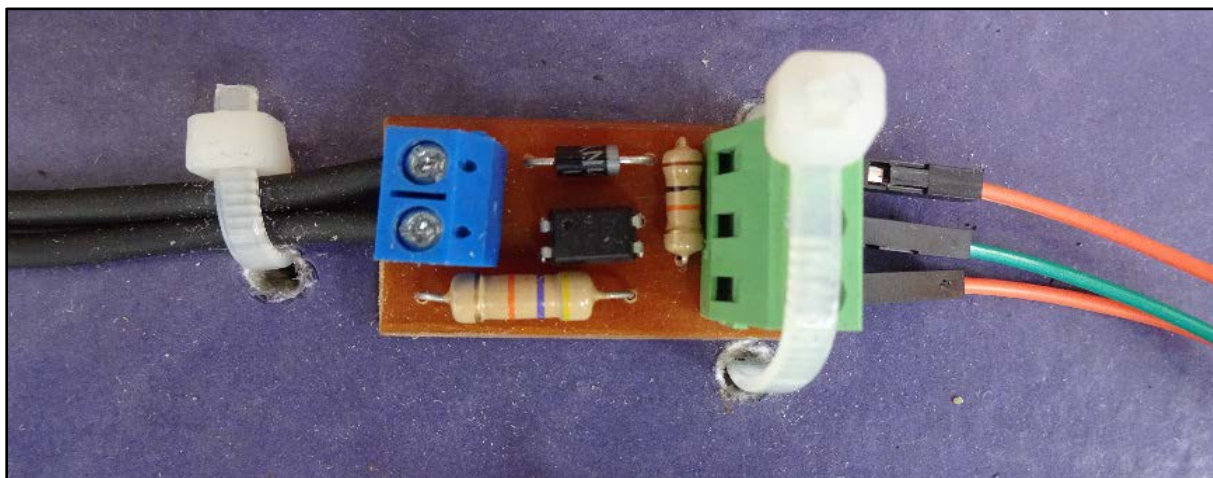


Figura 4.7 Circuito del sensor de frecuencia

- **Frecuencia mostrada en el panel Siemens S7-300**

En la figura 4.8 se muestra la lectura de la pantalla del PLC Siemens instalado en la empresa.

FRECUENCIA	60.00	Hz
ENERGÍA	5491330	kWh

Figura 4.8 Valor de frecuencia obtenido del PLC

- **Frecuencia obtenida por el sensor**

A continuación, tabla 4.3 muestra las lecturas del sensor de frecuencia y el error relativo porcentual obtenidos del historial del servidor web en un rango de tiempo aleatorio.

Tabla 4.3 Frecuencias y error obtenido por el sensor

Fecha de Creación	Frecuencia (Hz)	Frecuencia Patrón (Hz)	Frecuencia del Sensor Promedio (Hz)	Error relativo porcentual
2017-06-26 17:33:29 UTC	60.01	60.0	60.176	-0.2933%
2017-06-26 17:33:56 UTC	60.2			
2017-06-26 17:34:23 UTC	60.32			
2017-06-26 17:34:51 UTC	60.27			
2017-06-26 17:35:19 UTC	60.08			
Promedio	60.176			

4.1.4 Circuito del sensor de Nivel de Caudal

La figura 4.9 muestra el sensor de nivel de caudal desarrollado para las pruebas correspondientes.

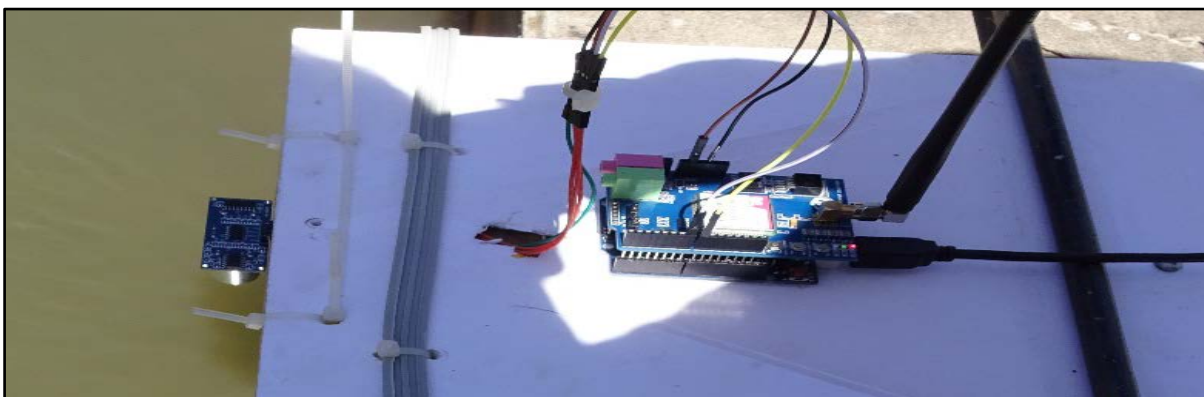


Figura 4.9 Circuito del sensor de nivel de caudal

- **Nivel de caudal obtenido mediante regleta**

En la figura 4.10 se muestra el nivel de caudal obtenido mediante el uso de una regleta.



Figura 4.10 Valor de Nivel de caudal medido manualmente

- **Nivel de caudal obtenido por el sensor**

A continuación, la tabla 4.4 muestra las lecturas del sensor de caudal implementado y obtenidos del historial del servidor web en un rango de tiempo aleatorio.

Tabla 4.4 Alturas y error obtenido por el sensor de nivel

Fecha de Creación	Altura(cm)	Altura Patrón (cm)	Altura del Sensor Promedio (cm)	Error relativo porcentual
2017-06-26 16:23:02 UTC	58.65	58.5	58.47	0.0513%
2017-06-26 16:23:24 UTC	58.65			
2017-06-26 16:23:46 UTC	58.35			
2017-06-26 16:24:53 UTC	58.35			
2017-06-26 16:25:15 UTC	58.35			
Promedio	58.47			

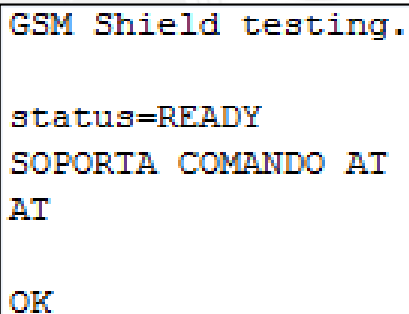
4.2 Prueba de transmisión del Módulo GSM/GPRS + Módulo Arduino

En esta sección se verificará la transmisión del módulo de comunicaciones a internet, además del envío de mensajes de texto. Las instrucciones desarrolladas en el microcontrolador se presentan en el código de programación que se encuentra en el anexo 7, “Código del Programa”.

4.2.1 Módulo de Comunicaciones GSM/GPRS

El módulo GSM/GPRS fue conectado al microcontrolador a través de la plataforma de programación Arduino. Para visualizar la conexión a internet y verificar la transmisión de datos se enviaron comandos AT además de otras instrucciones en lenguaje C. Cabe resaltar que el módulo de comunicaciones debe presentar un chip Claro con saldo y que permita el enlace a la red de telefonía celular.

- **Soporte de comandos AT:** Para comprobar que el módulo de comunicaciones sí soporta comandos AT se realizó una pequeña prueba, que consiste en enviar un comando y obtener una respuesta del sistema. Se ingresó el comando “AT” y se obtuvo como respuesta “OK”, lo que indica que el módulo si soporta estos comandos. La figura 4.11 presenta lo descrito.



```
GSM Shield testing.  
  
status=READY  
SOPORTA COMANDO AT  
AT  
  
OK
```

Figura 4.11 Respuesta del módulo de comunicaciones al comando AT

- **Conexión a Internet:** Para realizar la conexión a internet se enviaron comandos específicos, presentados previamente en el capítulo 3, para la configuración de:
 - Registro a la red de Telefonía
 - Configuración de la portadora
 - Obtención de IP
 - Inicialización del servicio HTTP

La secuencia de comandos ingresados es mostrada en la figura 4.12.

GSM Shield testing.	AT+SAPBR=1,1
status=READY	OK
CONFIGURING BEARER 1	AT+SAPBR=2,1
AT+SAPBR=3,1, "Contype", "GPRS"	OK
OK	+SAPBR: 1,1,"10.14.245.166"
AT+SAPBR=3,1,"APN","claro.pe"	OK
OK	AT+HTTPIPINIT
AT+SAPBR=3,1,"USER","claro"	OK
OK	AT+HTTTPARA="CID",1
AT+SAPBR=3,1,"PWD","claro"	OK
OK	OK

Figura 4.12 Comandos AT para iniciar una conexión a internet

- **Transmisión de datos:** Después de que cada circuito implementado obtenga su respectivo valor, estos datos serán enviado vía internet por el módulo de comunicaciones. Finalmente el servidor web responderá mediante una línea de comandos luego de cada actualización. La figura 4.13 muestra la transmisión de datos a internet.

```

COMENZANDO CON EL ENVIO DE DATOS
current: 1.11 A
frequency: 60.08 Hz
voltage: 219.79 V
power: 243.98 W
AT+HTTTPARA="URL", "https://api.thingspeak.com/update?api_key=I1448YR5S13UDROA&field1=VALOR"

+HTTTPACTION:1,200,4

OK
AT+HTTTPACTION=1

OK
current: 1.05 A
frequency: 59.89 Hz
voltage: 219.79 V
power: 229.77 W
AT+HTTTPARA="URL", "https://api.thingspeak.com/update?api_key=I1448YR5S13UDROA&field1=VALOR"

+HTTTPACTION:1,200,4

```

Figura 4.13 Transmisión de datos a internet

- **Envío de mensaje de texto:** Ante el corte o restablecimiento del servicio en la mini central, el módulo de comunicaciones enviará un mensaje de texto a un usuario previamente registrado. La figura 4.14 muestra el envío de mensaje de texto frente a un corte eléctrico.

```
Se ha producido un corte en el servicio,ALERTA
SMS send
current: 0.00 A
frequency: 0.00 Hz
voltage: 0.00 V
power: 0.00 W
AT+HTTTPARA="URL", "https://api.thingspeak.com/update?api_key=I1448YR5S13UDROA&field1=VALOR"

OK
AT+HTTPACTION=1
```

Figura 4.14 Envío de mensaje de texto por corte del servicio

A continuación, la figura 4.15 muestra el envío de mensaje de texto ante el restablecimiento del servicio.

```
Se ha restablecido el servicio
SMS send
current: 1.08 A
frequency: 60.00 Hz
voltage: 219.79 V
power: 238.06 W
AT+HTTTPARA="URL", "https://api.thingspeak.com/update?api_key=I1448YR5S13UDROA&field1=VALOR"

OK
AT+HTTPACTION=1
```

Figura 4.15 Envío de mensaje de texto por restablecimiento del servicio

NOTA:

Las pruebas presentadas a continuación (sensado de parámetros, envío de datos, prueba de Interfaz Web, etc) han sido registrados a través de videos que se encuentran en el anexo 8, "Videos".

4.3 Prueba Final del hardware

A continuación en la figura 4.16 se presenta la implementación final del circuito en la mini central.

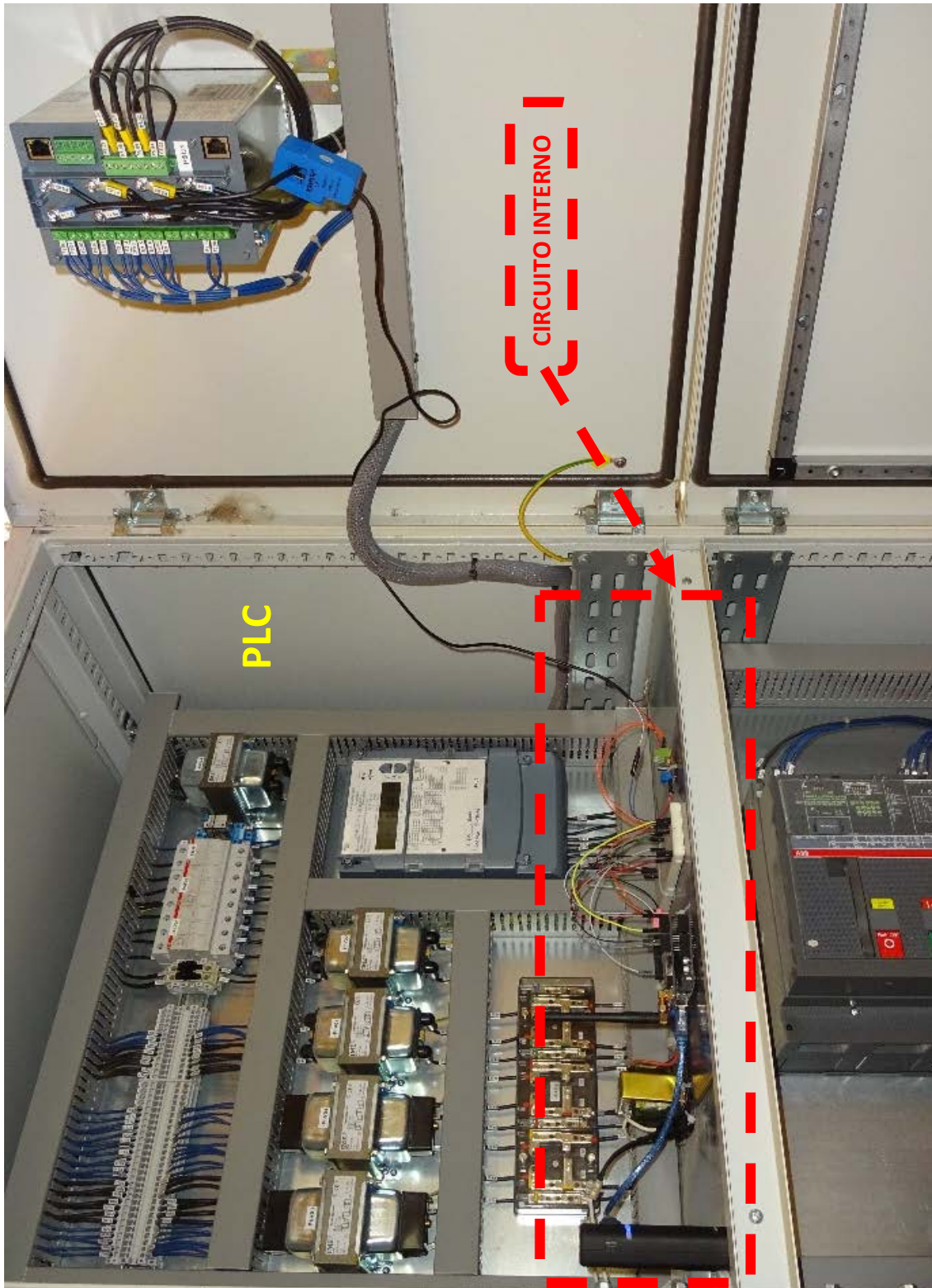


Figura 4.16 Implementación final del sistema

4.4 Prueba de la interfaz Web

Las pruebas realizadas y los resultados obtenidos se muestran a continuación:

- **Validación de Usuario y Contraseña:** Ingreso de usuario y contraseña para iniciar sesión. Un mensaje de error es mostrado si los datos ingresados fuesen incorrectos, caso contrario será direccionado a la página principal. La figura 4.17 presenta la validación en la página web.

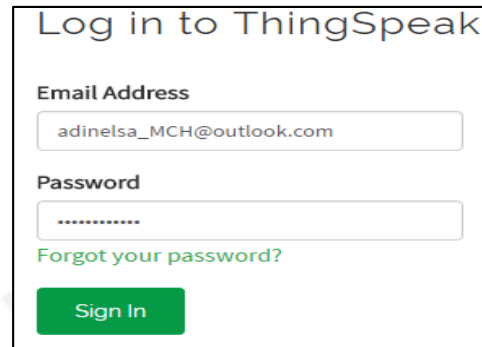


Figura 4.17 Validación de usuario y contraseña

- **Entorno principal:** Una vez registrados se ingresará a la página web principal, la cual contiene las gráficas, las herramientas de configuración de datos y visualización, entre otras. La figura 4.18 muestra el entorno web:

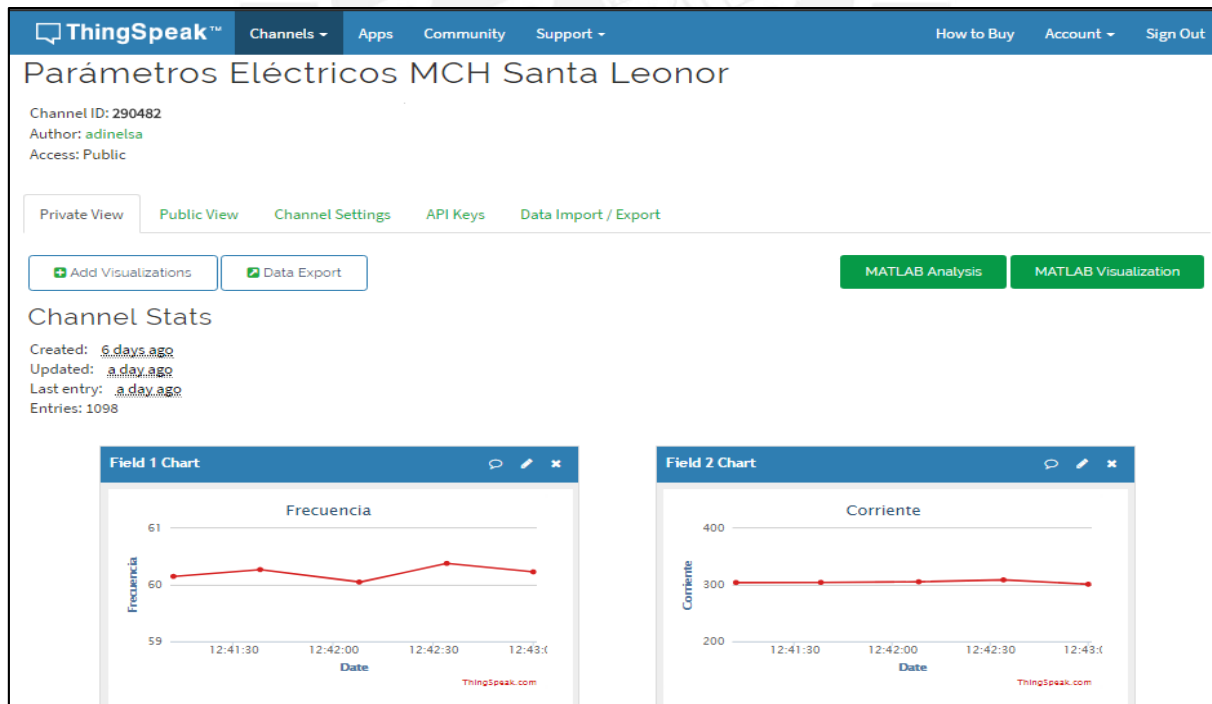


Figura 4.18 Entorno Web Thingspeak

- **Prueba de Gráficas:** La actualización de datos en la gráfica es en promedio cada 20 segundos por políticas del servidor y retardos en la programación o envío. Las gráficas presentan el nombre del parámetro a visualizar vs la fecha y hora; además de detallar la magnitud y hora en cada uno de sus puntos. La figura 4.19 muestra la gráfica de voltaje.

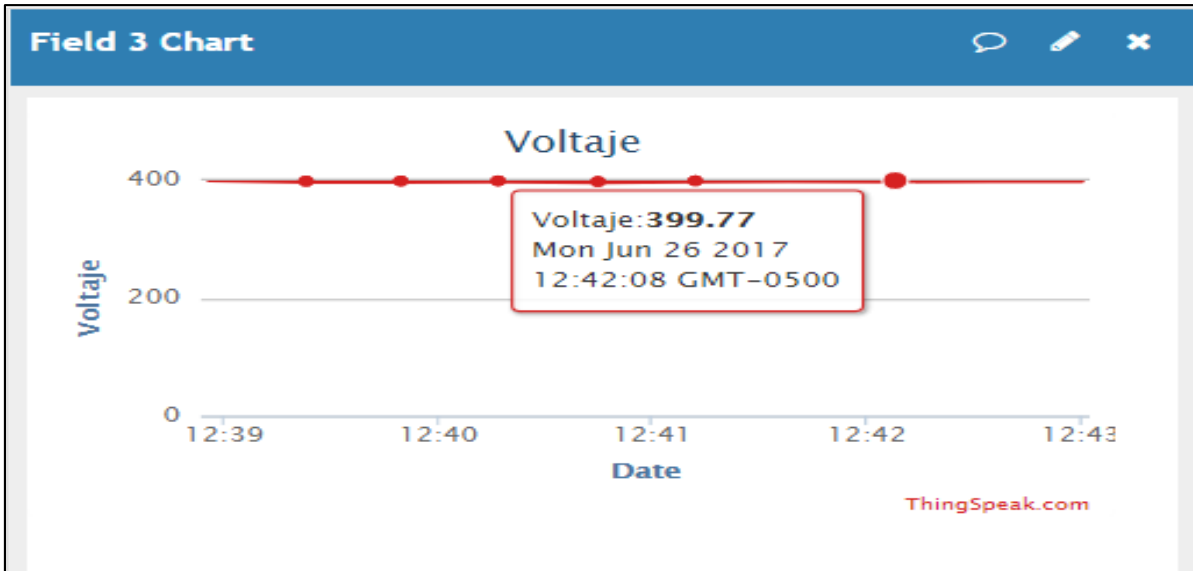


Figura 4.19 Detalle de la gráfica de Voltaje

- **Prueba de Corte y reconexión del servicio:** Las gráficas deben reflejar una interrupción del servicio de energía registrando todos los parámetros en cero y restableciéndolos cuando se repare la interrupción. La figura 4.20 presenta la simulación de corte en la página web.

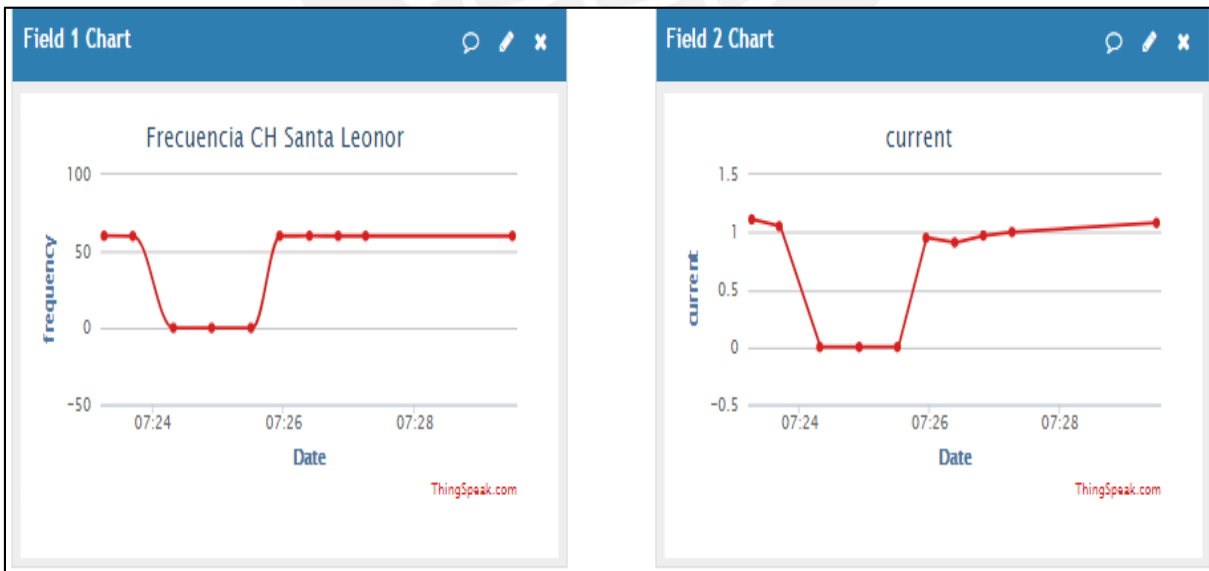


Figura 4.20 Simulación de corte y restablecimiento del servicio

4.5 Prueba de Aplicación celular y recepción de mensaje de texto

- **Aplicación celular:** La aplicación celular Thingspeak se encuentra disponible de forma gratuita en el entorno de descargas Play Store. El registro es el mismo que el realizado en la página web con variaciones en el entorno de presentación. Posee las gráficas de todos los parámetros además de algunos datos adicionales como valores máximos o mínimos, ultimo valor registrado, entre otros. La figura 4.21 muestra gráfica en la aplicación móvil.

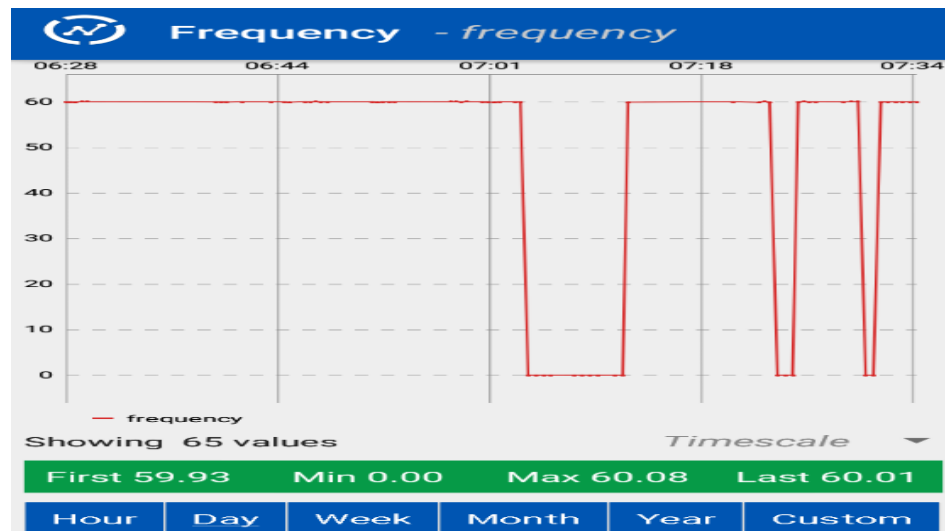


Figura 4.21 Gráfica de Frecuencia en la aplicación móvil

- **Recepción de mensaje de texto:** Se indicó anteriormente que ante un corte o restablecimiento del servicio, un mensaje de texto sería enviado a un usuario, lo cual ya fue probado por parte del módulo de comunicaciones. A continuación la figura 4.22 muestra la recepción del mensaje en el celular.



Figura 4.22 Recepción de mensaje de texto ante corte o restablecimiento

4.6 Presupuesto del diseño

A continuación la tabla 4.5 detalla el presupuesto del proyecto

Tabla 4.5 Costo del sistema de monitoreo

Componentes	Precio Aproximado (S/.)	Cantidad	Total
Tarjetas Electrónicas			
Módulo GSM/GPRS	220	2	440
Arduino Uno	80	2	160
Tarjeta de Sensor de Corriente	60	1	60
Tarjeta del sensor de Voltaje	70	1	70
Tarjeta del sensor de Frecuencia	10	1	10
Tarjeta del sensor de Nivel	20	1	20
Batería Externa			
Cool Box Power Bank	60	1	60
Interfaz Web			
Thinkspeak Server	0	1	0
Base de Alojamiento del Sistema			
Tripley	10	1	10
Plan de Datos Claro			
Chip Claro	5	2	10
Paquete de Datos	120/año	2	240/año
Mano de Obra			
Instalación	500	1	500
Viáticos	800	1	800
Trabajo de Ingeniería			
Diseño Realizado	2000	1	2000
Costo Total			4380

CONCLUSIONES

Se presentan las conclusiones de la Tesis:

1. Se diseñó e implementó un sistema de monitoreo de parámetros eléctricos como tensión, corriente, frecuencia y caudal para una mini central Hidroeléctrica, empleando tecnología GSM.
2. Se seleccionaron los sensores necesarios para la elaboración del sistema de monitoreo según los requerimientos de diseño y las delimitaciones iniciales.
3. Se desarrolló el hardware y el software base, que comprende el procesamiento de datos obtenidos por los sensores y que los transmite a la etapa de comunicación.
4. Se transmitieron los datos monitoreados vía tecnología GSM, se configuró la aplicación web para la visualización de los parámetros y se realizaron las pruebas del prototipo implementado.
5. Se desarrolló la aplicación web y se comprobó de forma satisfactoria que el programa desarrollado transmite los comandos necesarios para la conexión a internet del módulo de comunicaciones, así como el envío de mensajes de texto por interrupciones o restablecimiento de servicio.
6. Se realizaron ensayos sobre el prototipo totalmente implementado con la finalidad de verificar los objetivos propuestos inicialmente y recabar datos para el procesamiento de información.
7. Se simuló un corte de servicio de generación y se observó que el sistema responde correctamente, reflejando este evento en las gráficas y avisando vía mensaje de texto el comienzo y la culminación de dicha interrupción.
8. Se demostró la autonomía del sistema frente a cortes eléctricos, a través de la batería externa adicionada y simulando interrupciones de servicio.

RECOMENDACIONES

Se presentan las recomendaciones de la Tesis:

- Para brindar mayor seguridad a los componentes sería aconsejable desarrollar un sistema de Video vigilancia y de alarmas frente a robos, o en el caso de incendios, la instalación de sensores de humo y gas.
- Investigar la medición del grado de turbidez de las aguas de río como una nueva aplicación del módulo GSM/GPRS en otras áreas de estudio. Ya que se puede aprovechar la conexión a internet mediante cobertura celular para otros proyectos.
- Desarrollar una programación ya no sólo para monitoreo de parámetros, sino para el control remoto de ciertos elementos como válvulas o motores.
- Adquirir la versión completa del servidor web Thingspeak, ya que ofrece mayor velocidad de actualización de datos, además de herramientas adicionales de alarmas como llamadas telefónicas o avisos vía redes sociales.
- Mejorar la precisión de los sensores, con la adquisición de componentes más eficientes y precisos.
- Utilizar el PLC Siemens ya instalado en la mini central para un control y monitoreo más eficaz y eficiente. Se requiere capacitación de este tipo de sistemas de control.

BIBLIOGRAFÍA:

- [1] Romero Rodriguez, D. (2015). *Diseño de un sistema de monitoreo de parámetros eléctricos basado en tecnología GSM para un Riogenerador PUCP*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [2] Freire Piedra, S. (2015). *Modelado y Simulación de un Sistema Automático de Adquisición de Datos en Centrales Hidroeléctricas Pequeñas*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.
- [3] *Participación en el Congreso de Electrificación Rural - PERU 2016*. (2016). *Adinelsa.com.pe*. Retrieved 12 June 2016, from <http://www.adinelsa.com.pe/noticias.aspx>
- [4] "Advantages And Disadvantages Of Gsm Information Technology Essay", UKEssays, 2017. [Online]. Available: <https://www.ukessays.com/essays/information-technology/advantages-and-disadvantages-of-gsm-information-technology-essay.php>. [Accessed: 21- Mar- 2017].
- [5] "IEEE P1451.6 Terms & Definitions Page", Grouper.ieee.org, 2017. [Online]. Available: <http://grouper.ieee.org/groups/1451/6/TermsDefinitions.htm>. [Accessed: 24- Mar- 2017].
- [6] C. SINAC, "Servicio de Regulación de Frecuencia", Coes.org.pe, 2017. [Online]. Available: <http://www.coes.org.pe/Portal/operacion/ejecucion/index>. [Accessed: 17- Mar- 2017].
- [7] ABB "Current sensors-Voltage sensors. Technical Catalogue". Francia, 2015, pp. 4-11. Available: [http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/178528477d112c9bc12578c70042fa4e/\\$file/1sbc140152c0203%20-%20cat%20capteurs-br.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/178528477d112c9bc12578c70042fa4e/$file/1sbc140152c0203%20-%20cat%20capteurs-br.pdf) [Accessed: 19- Mar- 2017].
- [8] CAUDALES EN RIOS. INSTRUMENTOS DE MEDIDA Y REDES, 1st ed. España: EOI Escuela de Negocios, 2017, pp. 9,10.
- [9] G. Weber Denardin, Microcontroladores, 1st ed. Brasil: Universidade Do Estado de Santa Catarina, 2017, pp. 2-3.
- [10] Centrales Hidroeléctricas. (2017) (1st ed.). La Libertad, El Salvador. Retrieved from <http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m200018/doc1.pdf>
- [11] Malasquez Huayapa, D. (2017). Centrales Hidroeléctricas (1st ed.). ADINELSA.
- [12] GM Colombian Hydro. (2017). Colombianhydro.com. Retrieved 3 April 2017, from <http://www.colombianhydro.com/proyectos.php>
- [13] (2017). Adinelsa.com.pe. Retrieved 3 April 2017, from <http://www.adinelsa.com.pe/>
- [14] (2017). *Telecomunicaciones*. Sytek.es. Retrieved 8 April 2017, from <http://www.sytek.es/index.php/es/tecnologias/telecomunicaciones>
- [15] Barberá, J. (2017). Que es una interfaz web - horizonweb. Horizonweb. Retrieved 8 April 2017, from <http://www.xn--diseowebmurcia1-1qb.es/interfaz-web/>
- [16] Centeno Rojas, Luis. (2013). Diodos: Pequeña señal, rectificadores, reguladores de voltaje. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

[17] Puertas Lógicas con Diodos e Interruptores. España: Universidad de Zaragoza. Retrieved from <http://diec.unizar.es/~tpollan/libro/Apuntes/diq07.pdf>

[18] Arduino Frequency Counter Tutorial with Circuit Diagrams & Code. (2017). Circuitdigest.com. Retrieved 3 April 2017, from <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-frequency-counter-circuit>

[19] "Learn More - ThingSpeak", Thingspeak.com, 2017. [Online]. Available: https://thingspeak.com/pages/learn_more. [Accessed: 15- May- 2017].

[20] "SIM AT Command Manual V1.05", 1st ed. SIMCom, 2017. Available: http://www.dinteltec.com/descargas/SIM900_AT_Command_Manual_V1.05.pdf [Accessed: 03- Jun- 2017].

[21] AT Command Set definition by The Linux Information Project (LINFO). Available: http://www.linfo.org/at_command_set.html [Accessed: 03- Jun- 2017].



ANEXOS

Se adjunta a continuación un CD con las carpetas del documento tesis.

Contenido:

Anexo 1: Teoría de Centrales Hidroeléctricas

Anexo 2: Hoja de Datos

Anexo 3: Diseño del Circuito Medidor de Voltaje

Anexo 4: Diseño del Circuito Medidor de Corriente

Anexo 5: Diseño del Circuito Medidor de Frecuencia

Anexo 6: Diagramas Esquemáticos

Anexo 7: Código del Programa

Anexo 8: Videos

