

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE SISTEMAS



**“PROTOTIPO DE SISTEMA MÓVIL DE ADQUISICIÓN DE DATOS
PARA LA SUPERVISIÓN DEL CAUDAL DE AGUA EN LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA DE CHIJSIA-SANDIA EN EL AÑO 2016”**

TESIS

PRESENTADA POR:

RONNIE ARQUE QUENTA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE SISTEMAS

PUNO – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
SISTEMAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE SISTEMAS

**”PROTOTIPO DE SISTEMA MÓVIL DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA
SUPERVISIÓN DEL CAUDAL DE AGUA EN LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA DE CHIJSIA-SANDIA EN EL AÑO 2016”**

**TESIS PRESENTADA POR:
RONNIE ARQUE QUENTA**

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20/12/2017



**PARA OPTAR EL TITULO DE:
INGENIERO DE SISTEMAS**

APROBADA POR EL JURADO FIRMANTE CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:


M.Sc. Ing. EDELFRE FLORES VELASQUEZ

PRIMER MIEMBRO:


M.Sc. Ing. MARGA ISABEL INGALUCHE ARAPA

SEGUNDO MIEMBRO:


M.Sc. Ing. MAGALI GIANINA GONZALES PACO

DIRECTOR DE TESIS:


Dr. Ing. HENRY IVÁN CONDORI ALEJO

Área: Informática

Tema: Sistemas de informática tradicionales y expertos

AGRADECIMIENTO

A todos los miembros de mi familia, en especial a mis padres que siempre me apoyaron incondicionalmente. A mi pareja por su constante soporte para la realización del presente trabajo y a mi hija por ser mi motor y motivo en el logro de mis metas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE GRAFICOS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
II. MARCO TEORICO	20
2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN	20
2.2 SUSTENTO TEORICO	26
2.3 GLOSARIO DE TERMINOS BASICOS	48
2.4 HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	53
2.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	53
III. DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN	55
3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	55
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN	56
3.3 UBICACIÓN Y DESCRIPCION DE LA POBLACIÓN	57
3.4 MATERIAL EXPERIMENTAL	58
3.5 TECNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACION	58
3.6 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	59
3.7 PROCEDIMIENTO DEL EXPERIMENTO	59
3.8 PLAN DE TRATAMIENTO DE DATOS	60
3.9 DISEÑO ESTADISTICO PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	60
IV. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	62
CONCLUSIONES	117
RECOMENDACIONES	119
BIBLIOGRAFÍA	120
ANEXOS	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Fases de desarrollo del prototipo relacionado a los objetivos de proyecto.....	38
Tabla 2.2: Operacionalización de variables	54
Tabla 3.1: Población de investigación	56
Tabla 3.2: Muestra de investigación	57
Tabla 3.3: Ubicación de la central hidroeléctrica de Chijisia – Sandia.	58
Tabla 4.1: Requerimientos funcionales del Prototipo.....	64
Tabla 4.2: Requerimientos no funcionales del Prototipo.....	64
Tabla 4.3: Variables físicas a manipular del sistema físico	67
Tabla 4.4: Señales a adquirir por el prototipo.....	68
Tabla 4.5: Sub Fases para el modelo de procesamiento de datos del prototipo	76
Tabla 4.6: Descripción de campos de colección CHECKS	80
Tabla 4.7: Descripción de campos de colección CHECKS	80
Tabla 4.8: Descripción de campos de colección HORAS, DIAS.....	81
Tabla 4.9: Descripción de campos de colección MESES, AÑOS	81
Tabla 4.10: Caudal Turbinado tercer grupo turbina-generator.	102
Tabla 4.11: Registro de potencia eléctrica del tercer grupo turbina-generator.....	105
Tabla 4.12: Resultados encuesta PRE TEST	110
Tabla 4.13: Resultados encuesta POST TEST.....	111
Tabla 4.14: Presentación de calificativos	113
Tabla 4.15: Definición de variables	113
Tabla 4.16: Contrastación de encuesta PRE TEST y POST TEST	113

ÍNDICE DE GRAFICOS

Grafico 4.1: Caudal Turbinado tercer grupo turbina-generator.	103
Grafico 4.2: Continuidad de datos adquiridos por el prototipo	104
Grafico 4.3: Potencia Eléctrica con registro manual vs prototipo	106
Grafico 4. 4: Contrastación de la prueba de hipótesis estadística.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema central hidroeléctrica	29
Figura 2.2: Diseño metodológico EDT por fases para la construcción del prototipo.....	37
Figura 2.3: Explicación gráfica de integración de señal y sistema.....	39
Figura 2.4: Partes de un sistema de adquisición de datos	40
Figura 2.5: Ejemplo de un documento en Formato JSON	44
Figura 4.1: Fotografía Exterior de central hidroeléctrica de Chijisia – Sandia	62
Figura 4.2: Fotografía Líneas de transmisión de 22.9 kV.	63
Figura 4.3: Fotografía central hidroeléctrica de Chijisia – Sandia	65
Figura 4.4: Fotografía Tercer grupo turbina-generator.....	65
Figura 4.5: Fotografía canal de desfogue del tercer grupo turbina-generator.....	66
Figura 4.6: variables para cálculo de caudal en canales de sección rectangular	67
Figura 4.8: Ejemplo de funcionamiento del sensor ultrasónico.....	69
Figura 4.8: Sensor ultrasónico HC-SR04	69
Figura 4.9: Sensor de flujo de agua SEN-FLOW-YF-DN50.....	70
Figura 4.10: Tarjeta Arduino Mega 2560 R3	71
Figura 4.11: Modelado físico del instrumento de medición	75
Figura 4.12: Pseudocódigo de algoritmo filtro de media móvil	77
Figura 4.13: Código fuente en lenguaje programación de Arduino	78
Figura 4.14: Diseño físico de la base de datos MongoDB.....	79
Figura 4.15: Colección de documentos en MongoDB.....	79
Figura 4.16: Estructura de documentos de la Colección Pings en MongoDB.....	82
Figura 4.17: Tarjeta Shiel Ethernet montada sobre Arduino Mega 2560 R3	83
Figura 4.18: Arquitectura general de la comunicación de datos.....	84
Figura 4.19: Configuración de aplicativo Uptime	86

Figura 4.20: Arquitectura de comunicación panel HMI	87
Figura 4.21: Codificación de la función del servidor de aplicación que realiza el procesamiento de la información del RTU	91
Figura 4.22: Código en el servidor de aplicaciones, que recibe datos de RTU y envía al lado del cliente para su visualización	92
Figura 4.23: Codificación del lado del cliente para el tratamiento de los datos enviados por el RTU	93
Figura 4.24: Arquitectura de aplicaciones Uptime-HMI2	94
Figura 4.25: RTU - Primer Nivel. Lista los RTU registrados.....	95
Figura 4.26: RTU - Segundo Nivel. Supervisión de Variables del RTU.....	95
Figura 4.27: RTU - Tercer Nivel. Detalle de Variables del RTU por hora	96
Figura 4.28: Pantalla tiempo Real RTU. Uptime-HMI	96
Figura 4.29: Ejecución de servidor monitor en línea de comandos.....	97
Figura 4.30: Ejecución de servidor de interfaz – tiempo real en línea de comandos	98
Figura 4.31: Ejecución de servidor de base de datos MongoDB.....	98
Figura 4.32: Fotografía Prototipo de Unidad Terminal Remota y sensores	99
Figura 4.33: Arquitectura general modelo SCADA del prototipo de supervisión.....	100
Figura 4.34: Fotografía Prototipo RTU instalado en el canal de desfogue.....	101
Figura 4.36: Fotografía Conexión del prototipo RTU al Router	101
Figura 4.36: Hoja de registro manual de generación eléctrica de los grupos turbina- generador	104
Figura 4.37: Captura de pantalla de panel HMI desde una Laptop	108
Figura 4.38: Captura de pantalla A de panel HMI desde un Smartphone	108
Figura 4.39: Captura de pantalla B de panel HMI desde un Smartphone	109

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Encuesta PRE TEST	124
Anexo 2: Encuesta POST TEST	125
Anexo 3: Ficha de observación.....	126
Anexo 4: Hoja de recolección de datos	127
Anexo 5: Características técnicas del grupo turbina-generator	128
Anexo 6: Especificaciones técnicas sensor de flujo	129
Anexo 7: Especificaciones técnicas sensor ultrasónico	130
Anexo 8: Especificaciones técnicas Arduino Mega	131

RESUMEN

La presente investigación describe el desarrollo de un prototipo de sistema móvil de adquisición de datos para la supervisión del caudal de agua en la central hidroeléctrica de Chijisia-Sandia utilizando tecnología de bajo costo y accesible para las empresas de la región. Se utilizó la metodología de descomposición de trabajo en fases (WBS) por su flexibilidad para la integración de actividades secuenciales dentro del marco de gestión de proyectos, de esta forma se logró una integración exitosa entre el hardware y software para la construcción del prototipo. Inicialmente en la fase de análisis se identificó los requerimientos de gestión para el funcionamiento del prototipo. La adquisición de variables y señales del sistema físico se realizó a través de sensores y una tarjeta de adquisición de datos de bajo costo. En la fase de diseño se utilizó el filtro digital de media móvil para el procesamiento de datos analógicos, el almacenamiento de datos se realizó a través del modelo de base datos noSQL Mongo DB y se utilizó el protocolo Ethernet TCP/IP sobre una red WiFi para la comunicación de datos. La implementación de codificación del panel de control HMI se desplegó en un entorno web que permite su funcionamiento en diversos entornos y dispositivos móviles como una laptop o un Smartphone, permitiendo la visualización de datos en tiempo real y datos históricos. Finalmente en base a resultados e indicadores estadísticos se concluyó que el prototipo de sistema móvil de adquisición de datos para la supervisión del caudal de agua, si permite supervisar adecuadamente el caudal de agua utilizada en la generación de energía eléctrica de la central hidroeléctrica de Chijisia- Sandia.

PALABRAS CLAVE: Caudal, hmi, generación hidroeléctrica, scada, supervisión.

ABSTRACT

This research describes the development of a prototype mobile data acquisition system for monitoring water flow at the Chijisia-Sandia hydroelectric power plant using low-cost and affordable technology accessible to companies in the region. The work decomposition in phases (WBS) methodology was used because of its flexibility to integrate sequential activities within the project management framework, thus achieving a successful integration between hardware and software for the construction of the prototype. Initially in the analysis phase, management requirements for the operation of the prototype were identified. The acquisition of variables and signals from the physical system was done through sensors and a low-cost data acquisition card. In the design phase, the digital moving average filter was used for analogue data processing, data storage was performed through the non-SQL database model Mongo DB and the Ethernet TCP/IP protocol over a WiFi network was used for data communication. The implementation of HMI control panel coding was deployed in a web environment that allows its operation in various environments and mobile devices such as a laptop or Smartphone, allowing the visualization of real-time data and historical data. Finely based on results and statistical indicators, it was concluded that the prototype of a mobile data acquisition system for monitoring water flow, if it allows the adequate monitoring of the water flow used in the generation of electric power from the Chijisia-Sandia hydroelectric power plant.

Key Words: Flow, hmi, hydroelectric generation, scada, supervision.

INTRODUCCIÓN

Como resultado de la “21 Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP 21)”, celebrada en París el año 2016, la comunidad internacional se comprometió a alcanzar un acuerdo universal, vinculante y sostenible de convergencia y movilización general contra el cambio climático. En ese sentido para facilitar a los Estados Miembros el cumplimiento de este objetivo, la Comisión identificó una serie de acciones, entre las que destacan por su importancia; proseguir y promover la labor investigadora y científica sobre los océanos, el agua dulce, la biodiversidad y las energías renovables para hacer frente al cambio climático.

De acuerdo a proyecciones del Ministerio de Energía y Minas del Gobierno del Perú, para el período 2014 – 2025 se impulsará una política de eficiencia energética dirigida a la disminución de la dependencia externa, el aumento de la competitividad del sector energía, menores impactos ambientales, mejora en el acceso a la energía y la aplicación de nuevas tecnologías para impulsar la eficiencia energética.

Desde los comienzos de la producción de electricidad, la hidráulica ha sido, y sigue siendo, la primera fuente renovable utilizada para su generación. La mayoría de las pequeñas centrales hidroeléctricas son del tipo de agua fluyente, lo que quiere decir que las turbinas generan electricidad mientras pase por ellas un caudal de agua igual o superior a su mínimo técnico y se paran cuando el caudal desciende por debajo de ese nivel. En ese contexto nace la importancia de poder monitorear el caudal de agua usado para la generación de electricidad.

De esta manera, con el fin de aplicar las tecnologías, hoy accesibles a la gran mayoría de personas, en procesos industriales; es que en el presente trabajo de investigación se describe el proceso seguido en el diseño e implementación de un

prototipo de sistema móvil de adquisición de datos para la supervisión del caudal de agua utilizado en la central hidroeléctrica de CHIJSIA-SANDIA; que de acuerdo al proceso científico, obedece a los lineamientos comunes de un trabajo de investigación los cuales se describen a continuación:

CAPITULO I. Se describe el planteamiento del problema de investigación en base a la necesidad de las empresas de la región de acceder a tecnología que mejore sus procesos industriales y que además tengan un bajo costo.

CAPITULO II. Se describe el marco teórico enfocado a la construcción del prototipo de sistema móvil de adquisición de datos basado en la metodología de descomposición de trabajo en fases (WBS) por su flexibilidad para la combinación de actividades secuenciales que permitió una integración exitosa entre el hardware y software del prototipo.

CAPITULO III. Se describe de forma general la metodología de la investigación aplicada para el análisis e interpretación de los resultados.

CAPITULO IV. Orientado al análisis a través de técnicas matemáticas aplicadas y el uso de herramientas durante el diseño de la investigación que permitieron desarrollar el modelo de procesamiento de datos del prototipo, así como la codificación e integración de los módulos del panel HMI para su acceso y utilización por los usuarios de la empresa, además de la interpretación de los resultados de la investigación a través de las técnicas estadísticas donde se experimentó el grado de supervisión de la cantidad de agua utilizada en la generación de energía eléctrica en intervalos de tiempo previamente definidos.

CAPITULO I

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad el rol que desempeña la tecnología es de suma importancia para el hombre y la sociedad. Uno de los usos más vanguardistas que se le ha dado a los avances tecnológicos es mejorar las operaciones y procesos industriales de las empresas.

En el departamento de Puno, la empresa regional de servicio público de electricidad de Puno Sociedad Anónima Abierta [Electro Puno S.A.A.], sostiene como giro de negocio la distribución y comercialización de la energía eléctrica, con la utilización de sus propios sistemas de transmisión y generación para las localidades aisladas de la zona de concesión.

En el 2014 el Ministerio de Energía y Minas [MINEM] concluyó según estudios que el Perú experimenta una expansión en el uso de la electricidad y la demanda continuará con la tendencia creciente en los próximos veinte años. La expansión del sistema eléctrico peruano se hace fundamentalmente con base en el aprovechamiento de la energía hidráulica, por lo tanto la producción de energía eléctrica provendrá, en mayor proporción, de las centrales hidroeléctricas (MINEM, 2014).

De acuerdo a los datos del 2014 en la Memoria anual 2014 de Electro Puno S.A.A., la empresa opera la Central Hidroeléctrica de Chijisia ubicada en la Provincia de Sandia. En este lugar la empresa llevo a cabo un proyecto referente al tema de Generación de energía eléctrica que fue la ampliación de un tercer grupo de 1,2 MW cuyo objetivo principal fue incrementar los ingresos de la empresa por mayor generación de energía eléctrica. Actualmente la CH de Chijisia cuenta con 3 turbinas hidráulicas tipo Pelton (2 de 1.20 MW y 1 de 1.29 MW), tiene como la cuenca del recurso hídrico el Rio Inambari con un caudal medio disponible en la bocatoma de 2.1 m³/seg. La producción cuenta con una potencia instalada de 3.69 MW y una potencia total efectiva de 4.40 MW.

Las plantas hidroeléctricas aprovechan la energía del agua que fluye y mediante turbinas y generadores la convierten en electricidad. Por consiguiente el recurso hídrico es el principal recurso de las hidroeléctricas para la generación de energía eléctrica.

Por consiguiente, las necesidades y los avances en el desarrollo de software de supervisión e implementación de equipos de adquisición de datos van orientadas hacia la automatización de los diferentes procesos en la Generación de Energía Hidroeléctrica y con el fin de tener una mayor integración e interacción entre los datos implicados en las diferentes etapas del proceso se busca tener una información más precisa y en tiempo real, con el fin de mantener en sobre aviso el proceso de monitoreo y control de estas variables que es el que necesita la Central Hidroeléctrica de Chijisia.

En la Central Hidroeléctrica de Chijisia las variables físicas importantes que intervienen en el proceso de generación hidroeléctrica son supervisadas y controladas desde el sitio llamado “Sala de Control” por parte del personal de operación. Para realizar dicha supervisión el personal de operación necesita que los datos de campo del proceso sean adquiridos, enviados y presentados en Sala de Control. Sin embargo existe el

inconveniente que no se dispone de algunas de las mediciones de las variables importantes del proceso en la “Sala de Control” debido a dos causas, siendo la primera el hecho de no existir ningún instrumento que se encargue del procesamiento de la información de campo y la segunda causa es que algunos de los instrumentos existentes han dejado de funcionar. Por lo tanto el operador necesita salir hacia los distintos sitios de la planta donde están ubicadas las variables de las que no se dispone de información en sala de control y proceder a tomar las lecturas de las mismas mediante instrumentos de medición locales analógicos y/o digitales de tipo indicador. Lo anterior indica que no se posee una información continua de los datos de campo por lo que en caso de producirse una falla, como por ejemplo el aumento o disminución indebido del valor de la variable, no se puede saber de su ocurrencia en sala de control para tomar las debidas acciones correctivas sino hasta que el operador vaya a tomar la lectura local.

La problemática analizada incluye la supervisión de la cantidad de agua utilizada en la producción de energía eléctrica, para obtener la producción energética que viene a ser el producto de la potencia generada por una unidad de tiempo determinada. Es así, que en este proyecto de investigación se describe el desarrollo e implantación de un prototipo de sistema de supervisión y adquisición de datos para el monitoreo del caudal de una pequeña hidroeléctrica mediante dispositivos móviles.

1.1.1 PROBLEMA GENERAL

¿Con un prototipo de sistema móvil de adquisición de datos se logra supervisar el caudal de agua utilizado en la generación de energía eléctrica en una central hidroeléctrica?

1.1.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- a) ¿Las técnicas de adquisición de variables y señales nos permitirán la supervisión del caudal de agua usada en una central hidroeléctrica?
- b) ¿Las técnicas de almacenamiento, procesamiento y gestión de datos en tiempo real nos permitirán la supervisión de la potencia generada de energía eléctrica en una central hidroeléctrica?
- c) ¿Las técnicas de codificación de módulos HMI nos permitirán la supervisión de la producción energética sobre diversas plataformas móviles en una central hidroeléctrica?
- d) ¿Las tecnologías de software, hardware y comunicaciones que se usan para desarrollar el prototipo de sistema móvil de adquisición de datos nos permitirán supervisar la cantidad utilizada de agua para la generación de energía eléctrica en una central hidroeléctrica?

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Las motivaciones prácticas se revelan en el interés del investigador como futuro ingeniero, por aportar a la solución de problemas determinados que afecten a organizaciones públicas y privadas, agrandando sus conocimientos los cuales se manifiestan en la creación de nuestra propia tecnología y de acuerdo a nuestras necesidades.

Asimismo, uno de los problemas de nuestra región es por supuesto la falta de tecnología en la industria de la automatización industrial y como las existentes en el mercado son muy costosas, entonces un sistema de supervisión, monitoreo de bajo costo utilizando las herramientas adecuadas solucionaría al menos en parte esta necesidad.

Según el MINEM (2014), para el período 2014 – 2025 se impulsará una política de eficiencia energética dirigida a la disminución de la dependencia externa, el aumento de la competitividad del sector energía, menores impactos ambientales, mejora en el acceso a la energía y la aplicación de nuevas tecnologías para impulsar la eficiencia energética.

Esta creciente necesidad tecnológica más la de contar con información en tiempo real de procesos productivos de hidroelectricidad, así como el registro y gestión de datos para la toma de decisiones oportunamente y sin la necesidad de estar cerca de las líneas de producción, es una ventaja que se puede aprovechar de este tipo de sistemas.

En el mercado existe variedad de sistemas de supervisión y monitoreo remoto en tiempo real, pero estas tecnologías implican un costo elevado para la mayoría de las empresas de nuestra región, y cualquier necesidad adicional en particular por parte de los usuarios requiere un costo adicional, haciendo de estas tecnologías aún más costosas y hasta prácticamente inaccesibles.

La implementación de un sistema de supervisión y adquisición de datos para el monitoreo de procesos con capacidad de ser ejecutado en plataformas de escritorio y plataformas móviles, con funciones de almacenamiento y acceso remoto para los usuarios del sistema, reduce sustancialmente los costos de implementación y operación al utilizar herramientas de bajo costo. De tal manera, que el sistema que se presenta sea una herramienta que brinde altas prestaciones para implementarse de forma sencilla, con el mínimo requerimiento de licencias de software, no dependiendo de un fabricante.

Sin embargo es difícil para las empresas de la región la accesibilidad a estos últimos avances tecnológicos debido al elevado costo que significan, es el motivo por el cual en el presente proyecto se pretende diseñar e implementar un sistema de supervisión,

monitoreo y control remoto pero basado en software profesional mucho menos costoso, con las ventajas de un gran potencial como la incursión en el área de control inalámbrico vía dispositivos móviles, facilitando las tareas de producción al personal y optimizando sus resultados finales, por ejemplo al someter los resultados a un mejor análisis para mantener y en el mejor de los casos mejorar la calidad de sus productos.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo de sistema móvil de adquisición de datos para la supervisión del caudal de agua utilizada en la generación de energía eléctrica de la central hidroeléctrica de Chijisia–Sandia, perteneciente a la empresa Electro Puno S.A.A.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analizar los requerimientos de gestión, las variables y señales a adquirir para supervisar el caudal de agua utilizado en la Central Hidroeléctrica de Chijisia-Sandia.
- b) Diseñar las tareas a realizar para la construcción de prototipo y el modelo de procesamiento de los datos del prototipo para supervisar la potencia generada de energía eléctrica en la Central Hidroeléctrica de Chijisia-Sandia.
- c) Implementar la codificación del panel de control HMI e integración de módulos del prototipo para supervisar la producción energética sobre diversas plataformas móviles de la central hidroeléctrica de Chijisia-Sandia.
- d) Probar el grado de supervisión de la cantidad de agua utilizada en la generación de energía eléctrica de la central hidroeléctrica de Chijisia-Sandia con la ayuda del prototipo de sistema móvil de adquisición de datos.

CAPITULO II

II. MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

Se han realizado innumerables estudios orientados a los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos para diferentes empresas, con diferentes programas y en distintos rubros. A continuación mencionaremos algunas de ellas, los cuales y de acuerdo a sus conclusiones demuestran que este tipo de programas o aplicaciones son realmente factibles.

2.1.1 Desarrollo de un sistema SCADA para uso en pequeñas y medianas empresas

(Tesis): Elaborado por David Aguirre Zapata en el año 2013 en la Universidad de Piura, Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas. El trabajo muestra el desarrollo de un sistema automatizado para ser implementado en empresas de bajos recursos, las cuales no pueden acceder a sistemas comerciales similares. Dichas empresas siguen manteniendo elevados costos en registros a mano, impresiones, correos y mano de obra, consecuentemente no pueden competir con las empresas extranjeras que si tienen fondos para invertir en ese tipo de software.

El desarrollo de dicho software promueve el uso de software libre, respetando la complejidad, compatibilidad, recursos y los requerimientos de operatividad y seguridad de pymes.

El desarrollo de la tesis se divide en 4 partes: marco teórico, diseño, seguridad, e implementación. Esos 4 capítulos engloban toda la información y los procedimientos con que fue desarrollado “Soft-Control”. Una vez visto todos los capítulos, el lector será capaz de entender términos clave en automatización, obtendrá conocimientos informáticos, conocerá más acerca de lenguajes de programación tanto web como de escritorio, conocerá el concepto de base de datos, además sabrá los pasos para realizar un diseño de software según la ingeniería de software, estará al tanto de las tecnologías de software libre que existen hoy en día y podrá proponer una solución empresarial para la automatización industrial con un software de costo muy bajo, eficiente y confiable.

Conclusiones de estudio

Los sistemas SCADA están evolucionando al mismo tiempo con las tecnologías de la información, esto implica que el hardware ya no es limitante del mismo. Es el software el que le da el mayor valor agregado al sistema.

Las tecnologías de código abierto son igual de competentes e incluso más competentes que algunas tecnologías de pago. Esto significa que las tecnologías de código libre son una tendencia para la industria del software en el futuro.

Actualmente, el mayor limitante de los sistemas SCADA no se encuentra alojado en alguna característica del hardware o en el software. Las comunicaciones son un tema muy delicado pues se debe manejar de tal modo que la seguridad no sea baja, ni que baje las velocidades de transferencia de datos.

Los gestores de bases de datos ciertamente son de gran utilidad hoy en día en el desarrollo de estos tipos de software, pues ellos se encargan de funciones tales como la seguridad, almacenamiento, reportes, alertas, etc. Dejando así al sistema SCADA más recursos para que cumpla con sus funciones específicas de supervisión, control y adquisición de datos.

Las metodologías tanto de diseño como de desarrollo de software también son un punto a resaltar hoy en día. No solo se pueden aplicar en el campo de la informática, sino que también, como el caso de la presente tesis, se pueden aplicar para proyectos industriales tales como el desarrollo o implementación de sistemas SCADA.

Con los sistemas de código abierto la pequeña y mediana empresa tiene una gran oportunidad de volverse más competitivo, tener mayor control sobre sus procesos, agilizar el manejo de la información y poder llegar a más clientes.

Con el software de código libre, la pequeña y mediana empresa puede implementar un centro de desarrollo de software. Logrando así disminuir sus costos en software de pago y tener un software hecho a la medida que se adapte totalmente a su forma de operar. (Aguirre Zapata, David, 2013).

2.1.2 Diseño de sistemas SCADA con conexión a bases de datos, visualización y control en dispositivos móviles (Tesis): Trabajo de Tesis elaborado por Carlos Alejandro Guzmán Solano en el año 2011 en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Este trabajo explica la creación de un sistema SCADA, utilizando el programa para desarrollo de aplicaciones Labview, el cual requirió conexión hacia bases de datos, específicamente a bases creadas utilizando el programa de computo MySQL. También

explica cómo se logró ver y controlar ese sistema a través de un teléfono inteligente, con lo cual, implementando estas medidas en un entorno físico, se puede disminuir el tiempo de falla dentro de una empresa y alcanzar una mayor productividad.

El desarrollo del sistema SCADA comienza con la creación de un algoritmo que controla el nivel y la temperatura de líquido en un tanque, utilizando la herramienta Labview. Luego se procede a crear la base de datos de los usuarios que tendrán acceso al sistema SCADA, los cuales podrán ver y cambiar los parámetros del sistema para su funcionamiento óptimo.

A continuación se procede a crear la interfaz gráfica del programa para el teléfono inteligente y a introducir la programación en la computadora, que permitirá que el teléfono controle el proceso. Por último se programa el teléfono para que haga lo que el usuario le solicite.

Conclusiones de estudio

Los sistemas de control deben ser de fácil visualización y sobre todo ser amigables con el usuario, ya que el mismo no debe ser un experto para entender lo que sucede en la fábrica.

Un sistema SCADA debe tener la capacidad de establecer un registro de actividades, de alarmas y mediciones realizadas durante los procesos, para que en caso de tener que reemplazar parte del equipo de la producción, se tenga un patrón de comportamiento deseado que deberá ser provisto por el equipo nuevo; de esta premisa surge la necesidad de la conexión del sistema a una base de datos como por ejemplo: una base de datos en MySQL, la cual fue utilizada en este Sistema.

Por medio del sistema SCADA que se realizó, se logró que el sistema fuera capaz de crear automáticamente respaldos de la base de datos en la cual se encuentran usuarios y alarmas que el sistema ha presentado con anterioridad. Estos respaldos son posteriormente almacenados en un servidor FTP en prevención de un fallo de la computadora donde se encuentra el sistema. Es por ello que se tienen dichos datos, los cuales se consideran de vital importancia, en una localidad segura; ahorrando de esta manera tiempo y dinero en una nueva configuración del sistema, que a su vez deberá ser reinstalado en el equipo nuevo. (Guzmán Solano, Carlos Alejandro, 2011).

2.1.3 Diseño e Implementación de un Sistema SCADA para la Central

Hidroeléctrica La Península (Tesis): Proyecto de grado para la obtención del título en ingeniería elaborado por Andrés Humberto Cañar Ramírez en el año 2009, en la escuela politécnica del ejército de Ecuador. El autor describe el proceso de producción de energía hidráulica se realiza con información e investigación científica y con tecnología de punta, para evitar impactos sociales y ambientales relacionados principalmente con el deterioro de los elementos físicos y bióticos del medio ambiente y los desequilibrios sociales, culturales y organizacionales de la comunidad en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico. Buscando así minimizar el impacto ambiental y cumplir con parámetros técnicos para la instrumentación y puesta en marcha del proceso utilizando un sistema SCADA.

Conclusiones de estudio

El desarrollo de este proyecto se enfocó en la utilización controlada del recurso hídrico para el proceso de generación eléctrica. El alcance de éste, se ha logrado con un diseño para el Sistema de Control y Monitoreo para un grupo de generación eléctrica de la central la Península, partiendo del sistema ya implantado que era controlado de forma

manual por el personal de operación. Para esto, se analizaron las variables involucradas en el sistema y cada componente que interviene en el proceso de generación.

Una vez implantado el sistema de control y monitoreo, se procedió al análisis de la instrumentación más idónea que se adaptó a los parámetros y estrategias de control. Los dispositivos utilizados fueron dimensionados para el proceso de generación de un solo grupo.

Se obtuvo un sistema de control de temperatura mediante la cual se pudieron usar eficientemente las bombas de lubricación a las temperaturas adecuadas para el correcto proceso de generación y así optimizando la vida útil de las bombas como también las de las chumaceras y equipos en su entorno.

Mediante la HMI lograda y luego de la capacitación dada a los operarios se concluyó que el programa es totalmente amigable y comprensible además que este era un gran adelanto para la central, y que con tan poco presupuesto se logre una operación y ejecución tan efectiva de un modo útil, fácil de aprender y sin riesgos para los operadores.

Se pudo concluir que con la automatización de un grupo de generación de la Central la Península se optimizó tiempo y recurso hídrico en más de un 25%, puesto que las válvulas son de acción directa y el controlador regula la cantidad de agua que se debe dejar pasar, así mismo el tiempo de conexión se redujo de dos minutos a un minuto y medio, ahorrando agua en 0.82 m³/ seg., al 40% de la carga final que es la de conexión. Además que es muchos más confiable con un bajo riesgo para los operadores ya que no están en contacto directo con las máquinas. (Cañar Ramírez, Andrés Humberto, 2009).

2.2 SUSTENTO TEORICO

2.2.1 Teoría de centrales hidroeléctricas

De acuerdo a Gavilán, J., Hermosilla, A., López, J., Ojeda, A. y Vallejos, W. (2009), se conoce que los $\frac{3}{4}$ de la superficie terrestre está cubierta de agua y por ende su aprovechamiento es de vital importancia. La energía hidroeléctrica proviene indirectamente de la energía del sol, responsable del ciclo hidrológico natural. La radiación que procede de las fusiones nucleares que se producen en el sol calienta la superficie terrestre, ríos, lagos y océanos, provocando la evaporación del agua. El aire caliente transporta el agua evaporada en forma de nubes y niebla a distintos puntos del planeta, donde cae nuevamente en forma de lluvia y nieve. Una parte de la energía solar permanece almacenada en el agua de los ríos, los lagos y los glaciares. (Gavilán, et al, 2009)

La energía hidráulica es la energía proveniente de los ríos, saltos de agua y embalses, que se manifiesta en forma de energía potencial gravitatoria, que se puede aprovechar conduciendo el agua y haciéndola caer por efecto de la gravedad. La energía hidroeléctrica comparte las ventajas de ser autóctona, limpia e inagotable como el resto de las energías renovables. (Gavilán, et al, 2009)

La energía hidráulica es transformada a energía eléctrica en las centrales hidroeléctricas, donde la energía potencial del agua es transformada en energía cinética, la cual hace funcionar el rotor del generador que transforma la energía cinética en energía eléctrica finalmente. (Gavilán, et al, 2009)

2.2.1.1 Las Centrales Hidroeléctricas

En las centrales hidroeléctricas es en donde la energía potencial del agua es transformada en energía cinética, la cual hace funcionar el rotor del generador que transforma la energía cinética en energía eléctrica.

Las centrales hidroeléctricas de cualquier tipo, transforman esa energía en electricidad, aprovechando la diferencia de desnivel existente entre dos puntos. La energía se transforma primero en energía mecánica en la turbina hidráulica, ésta activa el generador, que transforma en un segundo paso la energía mecánica en energía eléctrica. (Gavilán, et al, 2009)

2.2.1.2 Mini centrales Hidroeléctricas

Si bien no hay consenso a nivel mundial respecto a la potencia máxima instalada que puede tener una central para ser calificada como minicentral hidroeléctrica, se considerara como tal a las que no sobrepasen los 10 MW, por recomendación de la UNIPEDA (Unión de Productores de Electricidad).

2.2.1.3 Elementos constitutivos de una mini central hidroeléctrica

A) Azud: muro transversal al curso del agua que no produce una elevación notable del nivel, provoca un remanso en el río para desviar parte del caudal hacia la toma.

B) Canal de derivación: El canal de derivación se utiliza para conducir agua hasta las turbinas de la central. Estos conductos de comunicación pueden ser canales, túneles o tuberías para llegar a la cámara de carga. Para llegar a la turbina sólo se utilizan tuberías.

C) Cámara de carga: La cámara de carga es un depósito localizado al final del canal del cual arranca la tubería forzada. En algunos casos se utiliza como depósito final de regulación, aunque normalmente tiene solo capacidad para suministrar el volumen necesario para el arranque de la turbina sin intermitencias.

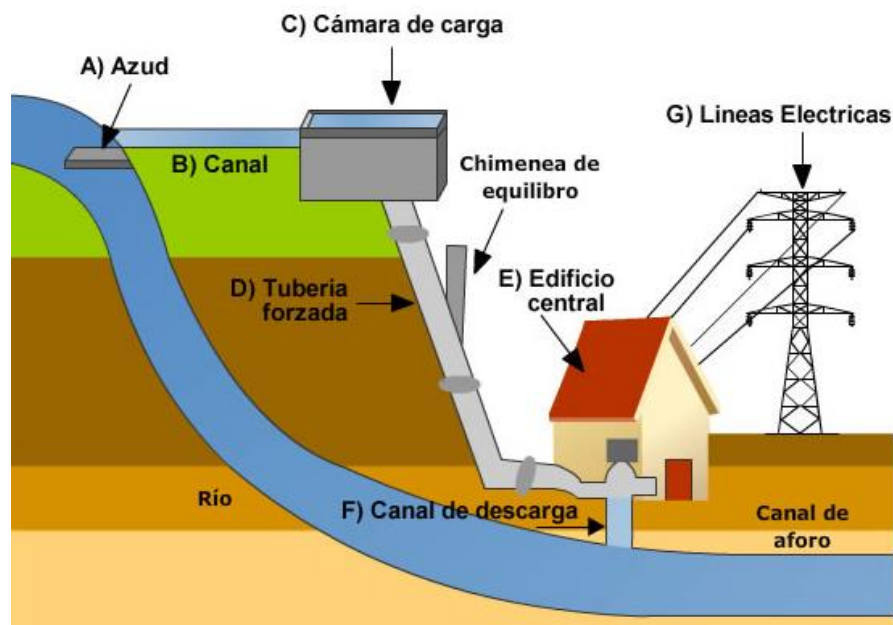
D) Tubería forzada: Es la que conduce el agua desde la cámara de carga hasta la turbina, esta tubería debe soportar la presión producida por la columna de agua, además de la sobrepresión que se podría provocar por golpe de ariete en caso de parada brusca de la minicentral. Esta tubería puede ser colocada de manera enterrada o aérea. Son construidas de acero, fibrocemento y/o plástico reforzado con fibra de vidrio. El espesor mínimo de la tubería forzada es de 6mm (la cual se calcula en función del salto y del diámetro, y a su vez el diámetro suele ir en función del caudal).

E) Edificio central: Es aquí donde se ubica el equipamiento: turbinas, bancadas, generadores, alternadores, cuadros eléctricos, cuadros de control, etc. El edificio será ubicado según lo indique la topografía, geología y accesibilidad al lugar, independiente de donde se sitúe, debe contar con las conducciones necesarias para que el agua llegue a las turbinas con las menores pérdidas de carga posibles. Además se debe tomar en cuenta que el diseño de dicho edificio debe generar el menor impacto visual posible, minimizando también los costes económicos.

F) Canal de descarga: Es el encargado de conducir las aguas turbinadas hacia el punto de descarga.

G) Líneas eléctricas: Es la encargada de transportar la energía producida hasta los centros de consumo o hasta la red de distribución.

Figura 2.1: Esquema central hidroeléctrica



Elaboración: Propia

2.2.1.4 Ventajas de las Mini Centrales Hidroeléctricas

La energía obtenida en mini centrales hidroeléctricas ofrece, los siguientes beneficios:

- Uso no consuntivo del agua, ya que ésta se recoge del río en un punto y se devuelve al cauce en una cota inferior, una vez transformada su energía en energía eléctrica a su paso por la turbina.
- Carácter autóctono, por lo que su desarrollo implica la reducción del grado de dependencia del sector energético exterior.
- Energía limpia, no produce residuos contaminantes, excepto en la fase de construcción.
- Costos de mantenimiento son bajos.
- Es respetuosa con el medio ambiente, porque los impactos que genera son pequeños y fácilmente minimizables, incluso muchos son evitables si se toman las medidas adecuadas.

- Es inagotable gracias al ciclo hidrológico natural.

2.2.1.5 Desventajas de las Mini Centrales Hidroeléctricas

Las desventajas de la aplicación de la energía hidroeléctrica basada en mini centrales son las siguientes:

- No es una energía almacenable.
- Imprevisibilidad de las precipitaciones.
- Coste inicial elevado.

2.2.2 Teoría de Sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA)

Según Rodríguez Penin, Aquilino. (2008), damos el nombre de SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition o Control con Supervisión y Adquisición de Datos) a cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo. No se trata de un sistema de control, sino de una utilidad software de monitorización o supervisión, que realiza la tarea de interface entre los niveles de control y los de gestión, a un nivel superior. (Rodríguez Penin, 2008)

2.2.2.1 Objetivos de un sistema SCADA

Los sistemas SCADA se conciben principalmente como una herramienta de supervisión y mando. Entre sus objetivos Rodríguez Penin (2008) destacó:

- Economía: Es más fácil ver qué ocurre en la instalación desde la oficina que enviar a un operario a realizar la tarea. Ciertas revisiones se convertirán en innecesarias.

- **Accesibilidad:** Un parque eólico al completo (velocidad de cada rotor, producción de electricidad), lo tenemos en un clic de ratón encima de la mesa de trabajo. Será posible modificar los parámetros de funcionamiento de cada aerogenerador, poniendo fuera de servicio los que den indicios de anomalías; consultar el estado de las estaciones transformadoras del parque, detener los molinos que no sean necesarios, etc.
- **Mantenimiento:** La adquisición de datos materializa la posibilidad de obtener datos de un proceso, almacenarlos y presentarlos de manera inteligible para un usuario no especializado. La misma aplicación se puede programar de manera que nos avise cuando se aproximen las fechas de revisión o cuando una máquina tenga más fallos de los considerados normales.
- **Ergonomía:** Es la ciencia que procura hacer que la relación entre el usuario y el proceso sea lo menos tirante posible. Los modernos ordenadores, con sus prestaciones gráficas, intentan sustituir a los grandes paneles, repletos de cables, pilotos y demás aparellaje informativo. Pero hay un problema que aún persiste: cómo presentar toda esa información sin aburrir ni fatigar al usuario.
- **Gestión:** Todos los datos recopilados pueden ser valorados de múltiples maneras mediante herramientas estadísticas, gráficas, valores tabulados, etc., que permitan explotar el sistema con el mejor rendimiento posible.
- **Flexibilidad:** Cualquier modificación de alguna de las características del sistema de visualización (añadir el estado de un contador de piezas, realizar algún cálculo) no significa un gasto en tiempo y medios, pues no hay modificaciones físicas que requieran la instalación de un cableado o del contador.

- Conectividad: Se buscan sistemas abiertos, es decir, sin secretos ni sorpresas para el integrador. La documentación de los protocolos de comunicación actuales permite la interconexión de sistemas de diferentes proveedores y evita la existencia de lagunas informativas que puedan causar fallos en el funcionamiento o en la seguridad.

2.2.2.2 Prestaciones de un Sistema SCADA

El paquete SCADA, en su vertiente de herramienta de interface hombre-máquina, comprende toda una serie de funciones y utilidades encaminadas a establecer una comunicación lo más clara posible entre el proceso y el operador: Entre las prestaciones de una herramienta de este tipo Rodríguez Penin (2008) destacó:

- La monitorización: Representación de datos en tiempo real a los operadores de planta. Se leen los datos de los autómatas (temperaturas, velocidades, detectores...). Una máquina simple, una instalación hidroeléctrica, un parque eólico, pueden ser vigilados desde muchos kilómetros de distancia.
- La supervisión: Supervisión, mando y adquisición de datos de un proceso y herramientas de gestión para la toma de decisiones (mantenimiento predictivo, por ejemplo). Tienen además la capacidad de ejecutar programas que puedan supervisar y modificar el control establecido y, bajo ciertas condiciones, anular o modificar tareas asociadas a los autómatas. Evita una continua supervisión humana.
- La adquisición de datos de los procesos en observación: Un sistema de captación solar se puede observar mediante herramientas registradoras y obtener así un valor medio de la irradiación en la zona, guardando los valores obtenidos y evaluándolos a posterioridad (los parámetros de velocidad y

temperatura de cada máquina de la línea se almacenan para su posterior proceso).

- La visualización de los estados de las señales del sistema (alarmas y eventos): Reconocimiento de eventos excepcionales acaecidos en la planta y su inmediata puesta en conocimiento a los operarios para efectuar las acciones correctoras pertinentes. Además, los paneles de alarma pueden exigir alguna acción de reconocimiento por parte del operario, de forma que queden registradas las incidencias.
- El mando: Posibilidad de que los operadores puedan cambiar consignas u otros datos claves del proceso directamente desde el ordenador (marcha, paro, modificación de parámetros...).
- Grabación de acciones o recetas: En algunos procesos se utilizan combinaciones de variables que son siempre las mismas. Un sistema de recetas permite configurar toda una planta de producción ejecutando un solo comando.
- Garantizar la seguridad de los datos: Tanto el envío como la recepción de datos deben de estar suficientemente protegidos de influencias no deseadas, intencionadas o no (fallos en la programación, intrusos, situaciones inesperadas, etc.).
- Garantizar la seguridad en los accesos: Restringiendo zonas de programa comprometidas a usuarios no autorizados, registrando todos los accesos y acciones llevadas a cabo por cualquier operador.
- Posibilidad de programación numérica: Permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador (lenguajes de alto nivel, C y Visual Basic, generalmente).

2.2.2.3 SCADA para una Central de Generación Eléctrica

En el caso particular de un SCADA para una central de generación eléctrica, Rodríguez Penin (2008) escribió que se encuentra conformado básicamente por:

- Unidad Terminal Maestra conformada por los servidores y el software. Es la encargada de recolectar todas las variables extraídas del campo por los controladores de campo (PLC, RTU, etc) y los dispositivos finales (transductores, relés, sensores, entre otros). Esta información es presentada al operador a través del interfaz humano – máquina (HMI).
- Unidad Terminal Remota de campo son unidades que se ocupan de recolectar la información recabada por los dispositivos de campo, y enviarla al SCADA ubicado en el Centro de Control. Los controladores utilizan varios protocolos de comunicación para comunicarse con el SCADA.
- El protocolo de comunicación permite la comunicación de los diferentes dispositivos que conforman el sistema SCADA. El protocolo de comunicación, debe ser entendido tanto por la estación maestra como por los controladores, para que a través del medio de comunicación puedan establecer el intercambio de información (ej.: MODBUS, HART, Ethernet TCP/IP, etc.).

2.2.3 Teoría de Sistemas para dispositivos móviles

Según Domínguez, et. al, (2014), para el diseño de aplicaciones para dispositivos móviles se consideran cuatro enfoques principales:

- a) Clientes nativos: Las aplicaciones se escriben en lenguajes de bajo nivel como C o ensamblador y compilados en un lenguaje de máquina para un grupo específico de procesadores y configuraciones hardware, y luego se ejecuta como código

nativo en esos dispositivos móviles. El principal beneficio de este enfoque es la capacidad para utilizar al completo todas las características de un hardware determinado. Este enfoque se debe utilizar si el dispositivo móvil tiene un hardware especializado al que solo se puede acceder utilizando una API de C. Otro beneficio de desarrollar en clientes nativos es que se pueden ajustar los bucles, la gestión de memoria y el acceso a datos para lograr un alto nivel de rendimiento de la aplicación.

b) Clientes JME (Java Platform Micro Edition , Plataforma Java Micro Edición):

Las aplicaciones se escriben en Java y se compilan para ejecutarse contra una máquina virtual Java (JVM), diseñada específicamente para computadoras de mano y clientes móviles. Este enfoque proporciona dos beneficios principales: tiempo de desarrollo rápido y la posibilidad de utilizar el mismo código base en un gran número de dispositivos. La cantidad de código necesario escrito en Java es por lo general menor que si se escribe en un lenguaje de bajo nivel como C. Esto se debe a que la máquina virtual se encarga de manejar automáticamente muchas de las operaciones tediosas, entre ellas el manejo de memoria. Esto significa que para realizar la misma operación se necesitan pocas líneas de código y menos errores.

c) Clientes basados en web: Son similares a los clientes web estándar excepto porque

se debe tener en cuenta el diseño de la página. Un cliente basado en web se ejecuta dentro del navegador web del dispositivo, desde el cual accede a la página que el servidor web envía utilizando las mismas facilidades que un cliente web de sobremesa. El principal beneficio de este enfoque es que simplifica el mantenimiento del cliente independientemente de que las características de las versiones cambien.

d) Clientes basados en middleware (software que ayuda a una aplicación a interactuar o comunicarse con otras aplicaciones, software, redes, hardware y/o sistemas operativos): El diseño de este tipo de aplicaciones utiliza un conjunto de herramientas y tiempos de ejecución para abstraer la aplicación y las tareas de adquisición de datos lejos de cualquier dispositivo. El principal beneficio de este tipo de implementación es el desarrollo rápido y el mantenimiento del código específico del dispositivo. En el enfoque middleware se crea una aplicación utilizando un conjunto de herramientas de diseño para terceros, en un sistema operativo propietario. Además controla aspectos como lo que se muestra en pantalla, los diálogos, los datos en el lado cliente, la gestión del estado de conexión del dispositivo y la gestión de los datos fuera de línea.

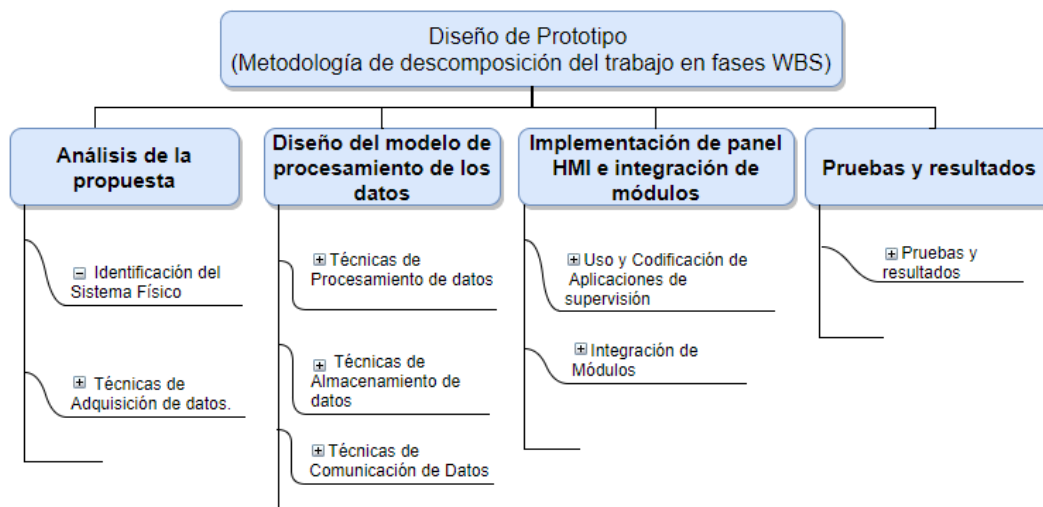
2.2.4 Teoría enfocada al proceso de implementación

La construcción del prototipo de sistema móvil de adquisición de datos para la supervisión del caudal de agua en la central hidroeléctrica de Chijisia-Sandia, se dividió en fases; siguiendo la metodología de descomposición del trabajo en fases (WBS) por su flexibilidad y facilidad, basando el desarrollo de estas en la Gestión de Proyectos, que es la disciplina que permite organizar y administrar las tareas y recursos para culminar con el proyecto dentro del alcance definido.

La estructura del proyecto, dentro del marco de la metodología de descomposición del trabajo en fases estará orientada a la programación; subdividiendo las actividades en tareas secuenciales o fases.

A continuación se el diseño metodológico para la construcción del prototipo.

Figura 2.2: Diseño metodológico EDT por fases para la construcción del prototipo



Elaboración: Propia

A continuación se muestra el cuadro donde se relaciona cada fase con los objetivos estratégicos del proyecto, lo cual asegura su culminación.

Tabla 2.1 Fases de desarrollo del prototipo relacionado a los objetivos de proyecto

Fase	Sub Fase	Objetivo específico
Análisis de la propuesta	1.- Identificación del Sistema Físico 2.- Técnicas de Adquisición de datos.	OE1.- Analizar los requerimientos de gestión, las variables y señales a adquirir para supervisar el caudal de agua utilizado en la Central Hidroeléctrica de Chijisia-Sandia.
Diseño del modelo de procesamiento de los datos	3.- Técnicas de Procesamiento de datos 4.- Técnicas de Almacenamiento de datos 5.- Técnicas de Comunicación de Datos	OE2.- Diseñar las tareas a realizar para la construcción de prototipo y el modelo de procesamiento de los datos del prototipo para supervisar la potencia generada de energía eléctrica en la Central Hidroeléctrica de Chijisia-Sandia.
Implementación de panel HMI e integración de módulos	6.- Uso y Codificación de Aplicaciones de supervisión 7.- Integración de Módulos	OE3.- Implementar la codificación del panel de control HMI e integración de módulos del prototipo para supervisar la producción energética sobre diversas plataformas móviles de la central hidroeléctrica de Chijisia-Sandia.
Pruebas y resultados	7.- Pruebas y resultados	OE4.- Probar el grado de supervisión de la cantidad de agua utilizada en la generación de energía eléctrica de la central hidroeléctrica de Chijisia-Sandia con la ayuda del prototipo de sistema móvil de adquisición de datos.

Elaboración: Propia

A continuación se describe la teoría relacionada a cada fase de desarrollo del prototipo.

2.2.4.1 Sistema físico

La primera fase en el diseño e implementación de nuestro prototipo empieza a partir de la observación del fenómeno físico que se pretende supervisar y la identificación de la señal que se quiere manipular.

- a) Señal: En nuestro contexto, una señal es cualquier fenómeno físico que cambie en el tiempo y que se procura usar para transmitir información. Las señales se procesan u operan por medio de sistemas. Cuando una o más señales de excitación se aplican a una o más entradas del sistema, éste produce una o más señales de respuesta en sus salidas.

Figura 2.3: Explicación gráfica de integración de señal y sistema



Elaboración: Propia

- b) Modelado: El proceso de describir un sistema y analizarlo mediante un modelo sin construir, a menudo recibe el nombre de modelado, con su concurso se procede a la construcción de un objeto artificial: el modelo nos permite profundizar en el conocimiento del sistema, conocer a que pautas responden sus cambios, y básicamente analizar racionalmente el comportamiento de un sistema (Galindo-Quispe, 2015).

2.2.4.2 Adquisición de datos

La segunda etapa de la fase de análisis o es la adquisición de datos cuyo propósito es medir fenómeno físico o eléctrico como un voltaje, corriente, temperatura,

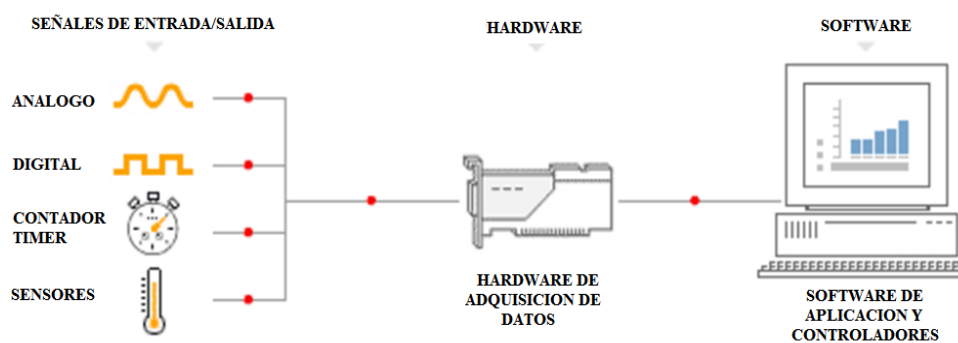
presión o sonido en un periodo determinado de tiempo. Mientras cada sistema de adquisición de datos es definido por estos requerimientos de aplicación, todos los sistemas buscan un objetivo común el de adquirir, analizar y presentar la información.

En resumen, adquisición de datos es el proceso de:

- Adquirir una señal desde un fenómeno del mundo real.
- Digitalización de la señal.
- Analizar, presentar y guardar los datos.

El sistema de adquisición de datos involucra las siguientes partes, como se muestra en la siguiente figura 2.4:

Figura 2.4: Partes de un sistema de adquisición de datos



Elaboración: Propia

El Hardware o dispositivo de adquisición de datos (DAQ) funciona como una interfaz entre la computadora y el mundo exterior. Su función principal es actuar como un dispositivo que digitaliza señales analógicas para que el computador puede interpretar. Un dispositivo de adquisición de datos comúnmente tiene

funciones de; Entradas analógicas, Salidas analógicas, Entradas y salidas digitales, Contadores y relojes. (Galindo-Quispe, 2015)

2.2.4.3 Procesamiento de datos

En esta fase, después de la adquisición de datos, procede el procesamiento que consiste en la aplicación de técnicas matemáticas o algoritmos informáticos para que la señal adquirida nos sea útil para nuestro propósito. El objetivo del procesamiento de datos es almacenar la señal digital lo más parecida a la analógica para ser reproducida y distribuida en el tiempo real.

- a) Procesamiento: El procesamiento de señal es la aplicación de una serie de operaciones lógicas y matemáticas a un conjunto de datos provenientes de una señal con el objetivo de modificarla, mejorarla o transformarla de algún modo para producir información significativa, mediante la ayuda de un procesador o computadora. (Galindo-Quispe, 2015).
- b) Ruido blanco: Toda señal útil siempre tiene una señal indeseable agregada a ella llamada ruido. El ruido blanco es una señal no correlativa, es decir, en el eje del tiempo la señal toma valores sin ninguna relación unos con otros.
- c) Filtro digital: En informática un filtro digital se implementa a partir del estudio y análisis de filtros analógicos, estos son modelados, linealizados y discretizados mediante algoritmos matemáticos y finalmente implementados en sistemas discretos mediante algoritmos informáticos que permiten representar datos como secuencias de bits. (Galindo-Quispe, 2015).

d) Eliminación de ruido: Un uso muy importante de los filtros es la eliminación del ruido de una señal. Las fuentes de ruido son muchas y variadas. Mediante el diseño cuidadoso, es posible reducir el ruido hasta un mínimo pero nunca puede eliminarse por completo (Galindo-Quispe, 2015).

2.2.4.4 Almacenamiento de datos

Luego del procesamiento de datos, la siguiente sub tarea es almacenar la información, que no es otra cosa que guardar o registrar la señal de valores discretos en una base de datos.

a) Base de datos:

Hueso Ibañez, Luis. (2014) indica que una base de datos es un conjunto de datos almacenados entre los que existen relaciones lógicas y ha sido diseñada para satisfacer los requerimientos de información de una empresa u organización. Asimismo, una base de datos (cuya abreviatura es BD) es una colección de datos organizados en estructuras y que se utilizan al mismo tiempo por muchos equipos y usuarios. En lugar de almacenarse en ficheros desconectados y de manera redundante, los datos en una base de datos están centralizados y organizados, de forma que se minimice la redundancia y se facilite su gestión.

b) Base de datos no SQL

Las base de datos NoSQL han sido diseñadas para manipular grandes volúmenes de datos de manera muy rápida, y no siguen el modelo entidad-relación típico de las bases de datos tradicionales. (oyanes Aguilar, 2016)

Las bases de datos relaciones, aunque tiene unas característica muy potentes para el manejo de tipos de datos mediante lenguaje SQL, su funcionamiento se ralentiza considerablemente cuando aumenta el volumen de datos a manipular. Las bases de datos tradicionales basa su funcionamiento en tablas, joins, y transacciones ACI, mientras que las bases de datos No SQL no demandan una estructura de datos en forma de tablas y relaciones entre ellas, y no imponen un esquema prefijado de tablas. Las bases de datos NoSQL son más flexibles, ya que suelen permitir información en otros formatos como clave-valor, mapeo de columnas, documento o grafos. (oyanes Aguilar, 2016)

Los datos almacenados no requieren estructuras fijas como tablas, normalmente no garantizan las características ACID (atomicidad, coherencia, aislamiento y durabilidad), aunque al final terminan cumpliendo estas características. Habitualmente son muy escalables en sentido horizontal, tanto para recursos como para usuarios.

Las características principales de las bases de datos NoSQL son:

- Almacenamiento de gran cantidad de datos
- Escalamiento lineal (escalabilidad) sin afectar al rendimiento
- Acceso muy rápido
- Distribución y manipulación de datos no estructurados.

c) Base de datos NoSQL orientada a documentos:

Las bases de datos orientadas a documentos o también denominadas como Bases de datos documental, trabajan bajo el marco de la definición de un "Documento", donde cada motor que usa esta definición difiere en los detalles, pero la mayoría concuerda en cómo se almacena la información con algún

formato estándar. Los formatos más utilizados por los motores de base de datos más populares son: JSON y BSON. Se podría considerar este tipo documental como el más utilizada en la actualidad. (Javier Antiñanco, 2013)

Cada documento, es muy similar a un registro en una base de datos relacional, donde se puede observar un esquema parecido más no rígido. Dos documentos no tienen por qué tener un esquema igual, aunque sean de una misma colección de datos.

Figura 2.5: Ejemplo de un documento en Formato JSON

```
{
  _id : 1 ,
  nombre : "MongoDB" ,
  url : " http : / / www . mongodb . org " ,
  tipo : " Documental "
}
```

Elaboración: Propia

Este ejemplo demuestra la sencillez de un documento, se observa un modelo al estilo **clave: valor**. Una analogía con las bases de datos relacionales sería: Clave = Campo y Valor = Dato del campo, hasta allí queda la analogía.

2.2.4.5 Red de comunicación de datos

El prototipo propuesto requiere de un sistema de comunicación que permita la transmisión y recepción de datos a una alta velocidad y en tiempo real para que los datos almacenados puedan ser usados por distintos usuarios para fines distintos.

Según Oliva Alonso, Nuria (2013), la evolución en la automatización ha ido a la par con el desarrollo tecnológico. Específicamente la introducción de tecnologías

de la comunicación permitió pasar de los clásicos sistemas centralizados, típicos en la década de los setenta, basados en equipos de altas prestaciones y de coste elevado, a los actuales sistemas distribuidos, basados en equipos más sencillos conectados a través de redes de comunicación. (Oliva Alonso, 2013)

a) Protocolos de Red

Los protocolos de red son normas que permiten a los ordenadores comunicarse. Un protocolo define la forma en que los ordenadores deben identificarse entre sí en una red, la forma en que los datos deben transitar por la red, y cómo esta información debe procesarse una vez que alcanza su destino final. (Galindo-Quispe, 2015).

Aunque cada protocolo de la red es diferente, todos pueden compartir el mismo cableado físico. Este concepto es conocido como "independencia de protocolos," lo que significa que dispositivos que son compatibles en las capas de los niveles físicos y de datos permiten al usuario ejecutar muchos protocolos diferentes sobre el mismo medio físico. (Galindo-Quispe, 2015).

b) Ethernet

Está basado en el estándar IEEE 802.3 par Ethernet y 802.11 para wireless LAN. Sus avances radican en la seguridad de procesos de automatización en cuando al ancho de banda o mayor velocidad, protección de la red y datos dentro de la empresa. Para los procesos que requieren de comunicaciones inalámbricas de fácil movilidad y conectividad ofrecen un sistema fiable, robusto y seguro. (Galindo-Quispe, 2015).

Cada vez más crece la aceptación que Ethernet tiene en el campo industrial. Esto es debido fundamentalmente a las ventajas que aporta cuando es instalado en una industria, a la forma de interconectarlo y a las posibilidades de diagnosticar su funcionamiento. (Oliva Alonso, 2013).

En pocos años ha podido verse un cambio interesante en las redes industriales. En el 2013, Oliva Alonso concluyo que adoptar Ethernet en el mundo de la automatización ha sido el principio de este cambio. La primera razón de su uso es sin duda que los usuarios potenciales de automatización ven a priori tener una base de conocimientos más elevada en redes basadas en Ethernet que en soluciones de bus de campo propietarias y convencionales.

- Control y mantenimiento remoto: Gracias al uso de la tecnología IP, los controladores suelen estar dotados con servidores Web. Estos servidores Web tienen acceso a los procesos de datos. Con este tipo de equipamiento se consiguen múltiples ventajas: con lenguaje HTML se puede realizar códigos de actuación en un control industrial, no es necesario formación específica en automatización. La posibilidad de comprobar procesos no se limita a la distancia del cable, sino a la que puede ofrecer Ethernet. Muchas veces es necesario comprobar el estado de cientos y cientos de sensores, por los que se podría navegar si sus procesos estuvieran en un servidor Web. El servidor Web no tiene que ser una solución ideal para todos los casos, pero sí en bastantes de ellos. La reducción de costes por establecimiento de conexiones vía MODEM, impedir que la distancia sea una limitación al trabajo y permitir la carga de programas vía Internet, son algunas de sus cualidades.

- Atravesar la frontera del cableado físico: En muchas plantas industriales el uso de cableado puede llegar a tener un coste excesivo, sobre todo si se ha trasladado alguna parte de la instalación conllevando costes duplicados. También es un problema cuando el equipamiento debe estar en movimiento. Gracias a Ethernet existe una solución: Wireless Ethernet, que ofrece los beneficios de Ethernet sin necesidad de utilizar cableado.

2.2.4.6 Aplicaciones informáticas de supervisión

Desde el punto de vista del usuario, se requiere que el prototipo ofrezca un entorno amigable para poder supervisar, monitorear y tener acceso a la información del proceso, desde cualquier dispositivo móvil conectado a una red cableada o inalámbrica. Esta tarea se logra gracias a las aplicaciones informáticas o software desarrollado para cubrir este objetivo.

a) Programas o aplicaciones informáticas

Un programa es un tipo de software diseñados para o por los usuarios para facilitar la realización de tareas específicas en la computadora. Para la supervisión, una aplicación normalmente realiza tareas como: Monitoreo en tiempo real, Análisis de datos, Almacenamiento de datos y ofrece interfaz humana máquina (HMI).

La interfaz de usuario/interfaz hombre-máquina (HMI) es el punto de acción en que un hombre entra en contacto con una máquina. El caso más simple es el de un interruptor: No se trata de un humano ni de una "máquina" (la lámpara), sino una interfaz entre los dos.

2.2.4.7 Integración de módulos y pruebas

Se refiere a las pruebas integrales o pruebas de integración se realizan para verificar que todos los elementos unitarios que componen el prototipo, funcionan juntos correctamente probándolos en grupo. Se centra principalmente en probar la comunicación entre los componentes y sus comunicaciones ya sea hardware o software.

2.3 GLOSARIO DE TERMINOS BASICOS

2.3.1 Estructura de Desglose del Trabajo en Fases

Estructura de Descomposición del Trabajo (o WBS por sus siglas en inglés: Work Breakdown Structure) permiten identificar todo el trabajo requerido para la ejecución de un proyecto de forma que este quede descompuesto en fragmentos constituidos por bloques de tareas o paquetes de trabajo.

2.3.2 Express.JS

Express.js, o simplemente Express, es un marco de aplicación web para Node.js, lanzado como software libre y de código abierto bajo la Licencia MIT. Está diseñado para crear aplicaciones web y API.

2.3.3 Flujo de agua (Caudal)

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal,...) por unidad de tiempo. El cálculo de caudal de agua viene expresado por la ecuación de continuidad:

Ecuación 2.1: Cálculo del caudal

$$Q_n = V_n * A_n (m^3/s) \dots\dots\dots(Ecuación 2.1)$$

Dónde:

Q_n : Caudal (m³/s)

V_n : Velocidad (m/s)

A_n : Área del Canal (m²)

2.3.4 HMI

Del inglés: “Human Machine Interface”, es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. Permite una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas.

2.3.5 MongoDB

MongoDB es un sistema de base de datos NoSQL orientado a documentos, desarrollado bajo el concepto de código abierto. MongoDB forma parte de la nueva familia de sistemas de base de datos NoSQL. En lugar de guardar los datos en tablas como se hace en las base de datos relacionales, MongoDB guarda estructuras de datos en documentos similares a JSON con un esquema dinámico (MongoDB utiliza una especificación llamada BSON), haciendo que la integración de los datos en ciertas aplicaciones sea más fácil y rápida. MongoDB ha sido creado para brindar escalabilidad, rendimiento y gran disponibilidad, escalando de una implantación de servidor único a grandes arquitecturas complejas de centros multidados. MongoDB brinda un elevado rendimiento, tanto para lectura como para escritura, potenciando la computación en

memoria. La replicación nativa de MongoDB y la tolerancia a fallos automática ofrece fiabilidad a nivel empresarial y flexibilidad operativa.

2.3.6 Node.js

Node.js es un entorno en tiempo de ejecución multiplataforma, de código abierto, para la capa del servidor (pero no limitándose a ello) basado en el lenguaje de programación ECMAScript, asíncrono, con I/O de datos en una arquitectura orientada a eventos y basado en el motor V8 de Google. Fue creado con el enfoque de ser útil en la creación de programas de red altamente escalables, como por ejemplo, servidores web.

2.3.7 Potencia Eléctrica

La potencia eléctrica es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio (watt), sin embargo para este proyecto se mide en Megavatios (kW).

La potencia nominal de una pequeña central hidroeléctrica vendrá dada por:

Potencia eléctrica calculada

Ecuación 2.2: Cálculo de la potencia calculada

$$P_n = 9.8 * Q_n * H_n * \eta_{turb} * \eta_{alt}(MW) \dots\dots\dots(\text{Ecuación 2.2})$$

Dónde:

P_n : potencia en alternador

Q_n : caudal de equipamiento o caudal nominal

H_n : altura de salto neto

η_{turb} : rendimiento de la turbina

η_{alt} : rendimiento alternador

2.3.8 Proceso

Se define un proceso como la agrupación de las diversas etapas que hay que atravesar para completar una cierta operación. Un proceso, en este sentido, contempla el paso por diferentes estados hasta que se alcanza la forma final de algo.

2.3.9 Producción Energética

Es la energía obtenida en la central hidroeléctrica durante un periodo de tiempo. Mientras la potencia se mide en kilovatios, la energía producida se mide agregándose el factor de tiempo, ya sea en megavatios hora o gigavatios hora. Si se multiplica la potencia instalada (megavatios) por el total de horas que tiene el año, se obtendría la producción energética en gigavatios hora. La producción energética de una central hidroeléctrica vendrá dada por la siguiente formula.

Ecuación 2.3: Cálculo de Generación Energética

$$E_n = P_n * t_n (Gwh) \dots\dots\dots(Ecuación 2.3)$$

Dónde:

E_n : Energía Obtenida

P_n : Potencia Eléctrica

t_n : período de tiempo

2.3.10 Prototipo

Para este proyecto se refiere a cualquier tipo de máquina en pruebas o un objeto diseñado para una demostración de cualquier tipo.

2.3.11 Sistemas en Tiempo Real

Los sistemas en tiempo real son sistemas en los cuales deben producirse la respuesta correcta en un espacio definido de tiempo. El espacio de tiempo al que se refiere el párrafo anterior está determinado por los requerimientos del proceso. Por ejemplo, una transacción bancaria puede aceptar tiempos del orden de los segundos, pero un sistema de control de velocidad de un motor requiere generalmente tiempos muchos menores.

3.3.12 Socket.IO

Socket.IO es una biblioteca de JavaScript para aplicaciones web en tiempo real. Permite la comunicación bidireccional en tiempo real entre clientes web y servidores. Tiene dos partes: una biblioteca del lado del cliente que se ejecuta en el navegador y una biblioteca del lado del servidor para Node.js. Ambos componentes tienen una API casi idéntica. Al igual que Node.js, está orientado a eventos.

2.3.13 Supervisión

Se entiende como supervisión de un proceso el conjunto de acciones desempeñadas con el propósito de asegurar el correcto funcionamiento del proceso incluso en situaciones anómalas. De hecho, podemos afirmar que la supervisión está presente en cualquier proceso productivo y que se realiza a través de encargados y operarios especializados, que detectan la presencia de comportamientos anómalos y actúan en consecuencia (ajustando parámetros, cambiando consignas y activando

accionamientos para prevenir un mal superior o conservar la capacidad operativa del proceso).

El propósito de la supervisión es la automatización de estas tareas. Para ello debe sacarse provecho de toda la información y conocimiento disponible sobre el proceso. La dificultad de tales sistemas reside en la diversidad de procesos existentes y las diferentes manifestaciones del conocimiento que sobre estos se dispone. Debido a estos y otros inconvenientes, hoy en día no es posible todavía, cerrar el lazo que supone la supervisión sin incluir en el al operario humano.

2.4 HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.2.1 HIPÓTESIS GENERAL

Un prototipo de sistema móvil de adquisición de datos nos permite supervisar el caudal de agua utilizada en la generación de energía eléctrica de la central hidroeléctrica de Chijisia- Sandia.

2.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

El siguiente cuadro muestra las variables dependientes e independientes con sus respectivas dimensiones e indicadores.

Tabla 2.2: Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES De V.I
Variable Independiente : Prototipo de sistema móvil de adquisición de datos	Adquisición de datos (Señales)	- Situación con prototipo/sin Prototipo - Periodo de Muestreo en tiempo real - Continuidad de la señal adquirida
	Procesamiento de datos. (Procesos)	- Situación con prototipo/sin Prototipo - Procesamiento de datos en tiempo real - Almacenamiento de Datos
	Panel de control (HMI)	- Situación con prototipo/sin Prototipo - Operación sobre diversas plataformas móviles
Variable Dependiente Supervisión del caudal de agua (utilizada en la generación de energía eléctrica)	Cantidad de agua usada (Flujo)	- Volumen de agua en m ³ /s.
	Potencia generada	- Potencia eléctrica en MW
	Producción energética	- Producción energética en Gwh

Elaboración: Propia

CAPITULO III

III. DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación, se desarrollara siguiendo la metodología experimental según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010), y del tipo de investigación aplicada o tecnológica, debido a que el prototipo desarrollado ayudará a supervisar el caudal de agua utilizado para la generación de energía eléctrica de la central hidroeléctrica de Chijisia Sandia, además de poder inspirar futuros proyectos para la eficiencia en el uso del agua para generación de energía eléctrica.

3.1.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a Sampieri, et al, (2010), el diseño de la investigación es cuasi-experimental, con un solo grupo experimental el cual fue sometido a una prueba de pretest y postest, ya que es un primer acercamiento al problema de investigación.

En la presente investigación el grupo experimental estuvo conformado por el personal que labora en la central hidroeléctrica de Chijisia – Sandia de la Empresa ElectroPuno S.A.A. La representación gráfica es la siguiente:

Ecuación 3.1: Prueba experimental de preprueba/posprueba con un solo grupo

$$G_1 = O_1XO_2 \dots \dots \dots \text{(Ecuación 3.1)}$$

Donde:

G₁: Grupo experimental.

X: Tratamiento con el prototipo de sistema móvil de adquisición de datos

O₁: Test antes del experimento.

O₂: Test después del experimento.

Este diseño de grupo experimental permite la comparación de los resultados antes y después de la prueba con un alto nivel de probabilidad que el prototipo de sistema móvil de adquisición de datos que representa la variable independiente ha sido un factor determinante que permite la supervisión del caudal de agua (utilizada en la generación de energía eléctrica) en la central hidroeléctrica de Chijisia - Sandia.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 POBLACIÓN

La población de este proyecto está constituida por todos los trabajadores de la Gerencia de Operaciones de la empresa Electro Puno S.A.

Tabla 3.1: Población de investigación

Nro.	Porcentaje
52 trabajadores	100%

Elaboración: Propia

3.2.2 MUESTRA

La muestra, de acuerdo a nuestra población se determinó a criterio no probabilístico en la que la elección de los elementos de la población no depende de la probabilidad sino de las características de la investigación. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010).

Tabla 3.2: Muestra de investigación

Nro.	Porcentaje
8 trabajadores	15%

Elaboración: Propia

La muestra para el presente proyecto son los 8 trabajadores de la central hidroeléctrica de Chijisia – Sandia de la empresa Electro Puno S.A. Las pruebas se realizarán en el tercer grupo turbina-generator de la central hidroeléctrica de Chijisia – Sandia.

3.3 UBICACIÓN Y DESCRIPCION DE LA POBLACIÓN

El prototipo de sistema de supervisión, control y adquisición de datos para supervisar el caudal de agua usado en la generación de energía eléctrica se desarrolló en la central hidroeléctrica de Chijisia de la empresa Electro Puno S.A.A. ubicada en la provincia de Sandia.

La central hidroeléctrica de Chijisia, está ubicada una zona denominada Chijisia en el distrito y provincia de Sandía, departamento de Puno, la altitud de la zona varía entre los 2,600 y 2320 msnm. Geográficamente se encuentra en las siguientes coordenadas:

Tabla 3.3: Ubicación de la central hidroeléctrica de Chijisia – Sandia.

Latitud sur	Longitud oeste
14° 18' 00''	69° 25' 30''
14° 22' 47''	69° 28' 39''

Elaboración: Propia

3.4 MATERIAL EXPERIMENTAL

Los materiales utilizados con la ficha de observación para el tratamiento de los escenarios con prototipo y sin prototipo son los siguientes:

- a) Prototipo de sistema móvil de adquisición de datos de caudal de agua y su respectivo censado mediante sensores alimentados con un voltaje referencial.
- b) El servidor de aplicaciones, el servidor de base de datos y los clientes que prácticamente son computadoras personales o dispositivos móviles o celulares para el almacenamiento, procesamiento y supervisión de datos.
- c) La capa física de red ETHERNET y todos sus componentes básicos que la integran una red LAN para la comunicación cableada e inalámbrica.

3.5 TECNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACION

3.5.1 TÉCNICAS

- OBSERVACION: A través de la ficha de observación, esta técnica que nos permitió tener contacto directo con la realidad del grupo y poder validar los datos a analizar.

- ENCUESTAS: A través de la encuesta con preguntas específicas, nos permitió obtener información que suministra la muestra en relación a uso del prototipo materia de la presente investigación.

3.5.1 INSTRUMENTO

- CUESTIONARIO: El cuestionario se realiza de forma escrita mediante un formato en papel conteniendo una serie de preguntas cerradas.
- FICHA DE OBSERVACION: Examen visual, validando datos del prototipo con la realidad.

3.6 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

En la presente investigación, se realizara el tratamiento de datos en una hoja de cálculo electrónico y para su representación se utilizaron gráficos estadísticos de barras y líneas, interpretando los resultados según la media y desviación estándar de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Recolección y tabulación de datos.
- Análisis y consistencia de datos.
- Presentación de los resultados, en cuadros y tablas estadísticas.
- Interpretación de resultados y validación de Hipótesis mediante prueba de hipótesis.

3.7 PROCEDIMIENTO DEL EXPERIMENTO

Experimento 1: Adquisición de datos (Señales)

Correr el prototipo de sistema durante períodos de tiempo determinados para adquirir las señales determinadas y medir la continuidad de la misma, teniendo como resultado esperado el caudal de agua utilizada en la generación de energía eléctrica.

Experimento 2: Procesamiento de datos. (Procesos)

Esta propiedad se verificó realizando cálculos matemáticos con datos del prototipo para hallar la potencia eléctrica calculada de acuerdo a los datos censados y comparándola con la potencia registrada manualmente en el medidor digital del grupo turbina-generator.

Experimento 3: Panel de control (HMI)

Esta propiedad se verificó utilizando el panel de control HMI sobre diversos dispositivos móviles como son; computadora portátil o laptop y equipos celulares inteligentes o smartphone.

3.8 PLAN DE TRATAMIENTO DE DATOS

La confiabilidad o significado de los resultados del experimento serán mostrados estadísticamente, interpretando los resultados de la investigación con prototipo y sin prototipo en contraste con la hipótesis de la investigación y el sustento teórico.

3.9 DISEÑO ESTADISTICO PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Se utilizara la prueba de T Student para muestras dependientes, que se usa para comparar las medias de un mismo grupo en diferentes etapas, en nuestro caso para comparar los resultados de una prueba pre test y pos test. Entonces el planteamiento de la hipótesis nula y la hipótesis alterna es:

H₀= Sin el prototipo de sistema móvil de adquisición de datos para la supervisión del caudal de agua, permite supervisar adecuadamente el caudal de agua utilizada en la generación de energía eléctrica de la central hidroeléctrica de Chijisia- Sandia.

H₁= Con el prototipo de sistema móvil de adquisición de datos para la supervisión del caudal de agua, permite supervisar adecuadamente el caudal de agua utilizada en la generación de energía eléctrica de la central hidroeléctrica de Chijisia- Sandia.

La prueba de hipótesis se desarrolló utilizando la fórmula de la desviación estándar (Salaverry, 2000), con un nivel de significación del 5%.

PRUEBA DE T STUDENT: donde se utiliza las siguientes ecuaciones.

Ecuación 3.2: Diferencia de medias

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \dots\dots\dots(\text{Ecuación 3.2})$$

Ecuación 3. 3: Desviación estándar

$$S_D^2 = \frac{n \sum_{i=1}^n D_i^2 - (\sum_{i=1}^n D_i)^2}{n(n-1)} \dots\dots\dots(\text{Ecuación 3.3})$$

Ecuación 3. 4: t student

$$t = \frac{\bar{D}\sqrt{n}}{\sqrt{S_D}} \dots\dots\dots(\text{Ecuación 3.4})$$

Donde:

D_i = Diferencia (Antes – Después)

n = Número de sujetos de la muestra.

CAPITULO IV

IV. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. ANÁLISIS DE LA PROPUESTA

La propuesta se refiere al prototipo de sistema móvil de adquisición de datos, para la supervisión del caudal de agua usada para la generación de energía eléctrica, en la central hidroeléctrica (C.H.) de Chijisia - Sandia.

Figura 4.1: Fotografía Exterior de central hidroeléctrica de Chijisia – Sandia



Elaboración: Propia

La casa de máquinas de la C.H. alberga tres (3) grupos turbina-generator. Las turbinas son del tipo Pelton de eje horizontal directamente acopladas a sus respectivos generadores. La descarga de las aguas turbinadas retorna al río mediante un canal de concreto, de 0.80 x 1.10 metros, con muros de 20 centímetros de espesor.

La central hidroeléctrica tiene una capacidad instalada de 3.6 MW, mediante tres (3) grupos de 1.2 MW cada uno. El grupo de estudio del presente proyecto tiene una capacidad de 1.2 MW con un salto total de 226.26 m, un salto neto de 220.05 m y un caudal de diseño de 0.66 m³/s. En el anexo D se describe a mayor detalle los datos técnicos de los grupos turbina generator.

La energía eléctrica producida por la central es transmitida por dos líneas de transmisión de 22.9 kV.

Figura 4.2: Fotografía Líneas de transmisión de 22.9 kV.



Elaboración: Propia

4.1.1. Requerimientos de gestión de la propuesta

El prototipo de sistema móvil para adquisición de datos, responde a los siguientes requerimientos funcionales y no funcionales.

Tabla 4.1: Requerimientos funcionales del Prototipo

REQUISITOS FUNCIONALES		
FUENTE	REQUISITO	
	CODIGO	DESCRIPCION
Jefe de planta	R01	El prototipo debe permitir supervisar el Caudal turbinado en el canal de desfogue en m ³ /s.
Jefe de planta	R02	El prototipo debe permitir supervisar la Potencia eléctrica en kW.
Jefe de planta	R03	El prototipo debe permitir supervisar la Producción energética en Gwh.
Jefe de planta	R04	El módulo HMI debe permitir realizar consultas históricas de la información.
Jefe de planta	R05	El módulo HMI debe permitir observar datos en tiempo real.

Elaboración: Propia

Tabla 4.2: Requerimientos no funcionales del Prototipo

REQUISITOS NO FUNCIONALES		
FUENTE	REQUISITO	
	CODIGO	DESCRIPCION
Investigador	R06	La adquisición de datos debe ser mediante sensores.
Jefe de planta	R07	El prototipo debe permitir acceder solo al personal autorizado.
Jefe de planta	R08	El prototipo debe almacenar la información de los parámetros supervisados.
Jefe de planta	R09	El módulo HMI debe ser accesible desde dispositivos móviles conectado a la red local.
Investigador	R10	Debe ser posible acceder desde cualquier dispositivo móvil (Laptop, Smartphone, etc.)
Investigador	R11	El panel HMI debe tener una buena usabilidad.

Elaboración: Propia

4.1.2. Análisis de variables y señales a adquirir

Previamente se realizó un recorrido de la central hidroeléctrica, donde se observó el estado operativo de los equipos y se ubicó físicamente las partes que conforman la central hidroeléctrica.

Figura 4.3: Fotografía central hidroeléctrica de Chijisia – Sandia



Elaboración: Propia

Figura 4.4: Fotografía Tercer grupo turbina-generator



Elaboración: Propia

En la inspección previa se verificó que el tercer grupo turbina-generador cuenta con un canal de desfogue por donde el agua utilizada vuelve al río fluyente.

Figura 4.5: Fotografía canal de desfogue del tercer grupo turbina-generador



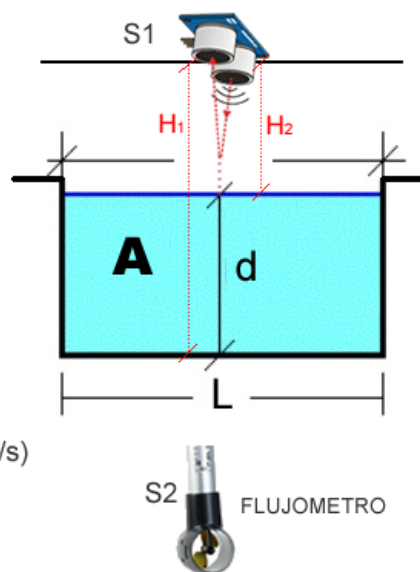
Elaboración: Propia

Considerando el principio de conservación de la energía, el flujo de agua o caudal que entra a la turbina es la misma que sale por el canal de desfogue, por lo que se consideró conveniente colocar el prototipo de medición en dicho canal de desfogue para realizar las mediciones.

- a) Variables a manipular: La información requerida del canal de desfogue de para realizar el cálculo el valor del caudal fueron de acuerdo a las siguientes variables física de la siguiente figura:

Figura 4.6: variables para cálculo de caudal en canales de sección rectangular

- L = Ancho de canal (m)
- d = Altura o pelo de agua (m)
- A = Área hidráulica (m²)
- H₁ = Altura total desde S1
- H₂ = Distancia de S1 hacia d
- S1 = Sensor de distancia
- S2 = Sensor de flujo de agua
- V = Velocidad del agua en canal (m/s)



Elaboración: Propia

De acuerdo a la figura 4.6, se puede identificar que las variables a manipular son:

Tabla 4.3: Variables físicas a manipular del sistema físico

Id	Descripción	Instrumento de medición	Intervalo de medición
L	Ancho del canal.	Wincha milimétrica.	Única vez. Discreta.
H ₁	Altura total desde S1	Wincha milimétrica.	Única vez. Discreta.
H ₂	Altura desde S1 a Nivel de agua	Sensor S1	Tiempo real. Continua.
d	Altura o nivel de agua	Formula: $d=H_1-H_2$	Tiempo real. Continua.
A	Área Hidráulica	Formula: $A= d*L$	Tiempo real. Continua.
V	Velocidad de agua	Sensor S2	Tiempo real. Continua.
Q	Caudal	Formula: $Q=A*V$	Tiempo real. Continua.

Elaboración: Propia

Dentro de las variables físicas, encontramos variables que son necesarias adquirirlas mediante sensores desde el sistema físico, este tipo de variables se denominan señales y de acuerdo a la tabla 4.3, se puede identificar las siguientes:

Tabla 4.4: Señales a adquirir por el prototipo

Ide	Señal	Instrumento	Descripción
H2	Distancia de Sensor S1 hasta el nivel de agua.	S1, Sensor ultrasónico.	Valor que se usara para el cálculo del nivel del agua, y por consiguiente para el cálculo del caudal en cada intervalo de tiempo. Se medirá en metros (m).
V	Velocidad de flujo de agua.	S2, Sensor de flujo de agua.	Valor que se usara para el cálculo del caudal en cada intervalo de tiempo. Se medirá en m/s.

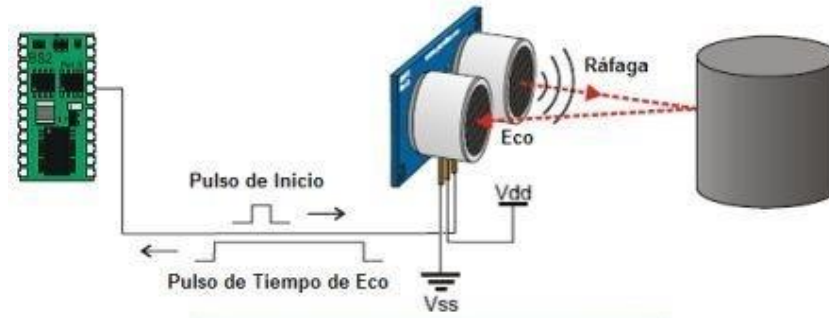
Elaboración: Propia

b) adquisición de señales: Para la adquisición de las señales se usaron los siguientes sensores:

- **Sensor de distancia (S1)**

Mide la distancia del nivel de agua hacia la posición del sensor S1, y se utilizó el Sensor Ultrasonido HC-SR04, que es un sensor de distancia de bajo costo que utiliza ultrasonido para determinar la distancia de un objeto en un rango de 2 a 450 cm, voltaje de operación de 5V y tiene un rango de precisión de +- 3mm. Destaca por su pequeño tamaño, bajo consumo energético, buena precisión y excelente precio. Mayores detalles técnicos se disponen en el anexo F.

Figura 4.7: Ejemplo de funcionamiento del sensor ultrasónico



Elaboración: Propia

De acuerdo a la figura anterior la distancia se puede calcular utilizando la siguiente formula:

Ecuación 4.1: Cálculo de distancia sensor ultrasónico

$$D = \frac{(T_{eco} * V_s)}{2} \dots\dots\dots (Ecuación 4.1)$$

Donde:

- D : Distancia en metros (m).
- T_{eco} : Tiempo de retorno del eco en segundos (s).
- V_s : Velocidad del sonido en m/s = 340m/s

Figura 4.8: Sensor ultrasónico HC-SR04



Elaboración: Propia

▪ **Sensor de flujo de agua (S2)**

Se encarga de medir la velocidad con la que circula el agua a través de una sección determinada. Se utilizó el sensor de flujo de agua SEN-FLOW-YF-

DN50 que está construido de plástico sólido, mide el flujo del agua por medio de un rotor (turbina) de agua interno que activa un sensor de efecto Hall, este envía pulsos por cada rotación. El sensor está aislado del agua y el rotor, de manera que siempre se mantiene seco y seguro. Opera bajo un voltaje de 5V, el rango de error es de +- 10%, Las especificaciones se encuentran en el anexo E.

Figura 4.9: Sensor de flujo de agua SEN-FLOW-YF-DN50



Elaboración: Propia

La adquisición de datos propiamente dicha se realizó un dispositivo de adquisición de datos de bajo coste conocido como tarjeta Arduino Mega 2560 R3 modelo ARD-MEGA que utiliza un microcontrolador ATmega2560, memoria flash de 256K, con un reloj de operación de 16 Mhz, y voltaje de operación de 5V. Posee 16 entradas analógicas, 54 entradas/salidas digitales que son suficientes para el presente proyecto. La tarjeta contiene todo lo necesario para el funcionamiento del microcontrolador; basta conectarlo al puerto USB o alimentarlo con una fuente

de voltaje continuo o una batería para empezar a usarlo. Las especificaciones técnicas del Arduino Mega 2560 R3 se encuentran en el anexo G.

Figura 4.10: Tarjeta Arduino Mega 2560 R3



Elaboración: Propia

c) Modelo para el cálculo de variables

Las variables a adquirir son el caudal, la potencia eléctrica y la producción energética las cuales a continuación se detalla el modelado para su cálculo.

i) Caudal turbinado: Para la medición del caudal turbinado se realizó la medición directa con correntómetro de acuerdo al Procedimiento 18 del COES (COES PR-18), en el que se usó el método de área-velocidad, que consiste en efectuar mediciones de velocidad del flujo de agua en una misma sección transversal y multiplicarlo por el área de la sección en este caso rectangular.

Es así que de acuerdo al marco teórico tenemos la siguiente ecuación 4.2 que define el caudal calculado.

Ecuación 4.2 Calculo de Caudal nominal

$$Q_n = V_n * A_n(m^3/s) \dots\dots\dots (Ecuación 4.2)$$

Donde la velocidad está representada por V_n , y cuyo valor será obtenido por el correntómetro o sensor de flujo, y el área de la sección transversal representado por A_n por tratarse de un área rectangular está definido por la siguiente ecuación 4.3.

Ecuación 4.3 Calculo de Área hídrica

$$A = L * d(m^2) \dots \dots \dots \text{(Ecuación 4.3)}$$

De la ecuación 4.2, donde L es representada por el ancho del canal y d es la altura o pelo de agua que representa el nivel de agua. El ancho del canal (L) es un valor estático y según la medición realizada con una wincha milimétrica es de **1.10 metros**. El nivel de agua (d) en la sección del canal es un valor dinámico que será obtenido con un sensor de proximidad colocado a una altura fija, que para el cálculo de resta de la altura total (H_1) desde el piso del canal hasta el sensor S1, y la señal adquirida de distancia (H_2) del nivel de agua hacia la altura del sensor. Siendo expresado en la siguiente ecuación 4.4:

Ecuación 4.4. Calculo de distancia total menos distancia nivel de agua

$$d = H_1 - H_2(m) \dots \dots \dots \text{(Ecuación 4.4)}$$

Finalmente para calcular el caudal turbinado del grupo turbina-generator sobre la base de los resultados del proyecto, se determinó como el promedio de las sumatorias de las mediciones de caudal turbinado registrados por el prototipo de medición de flujo instalada en canal de desfogue; es decir la medición se realizó de forma directa en tiempo real. Este valor será el caudal turbinado según la ecuación 4.5.

Ecuación 4.5: Cálculo del Caudal turbinado

$$Q_t = \sum_{i=1}^n \frac{Q_{t_i}}{n} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4.5)}$$

Donde:

Q_t : Caudal turbinado de la central hidroeléctrica.

Q_{t_i} : Caudal medido de la i-ésima medición.

i : Valor i-ésimo

n : Número de mediciones.

ii) Potencia eléctrica: Para el cálculo de la potencia eléctrica se utilizó la ecuación 2.2 del marco teórico, donde fue necesario contar con el valor del caudal turbinado, además de valores propios de las maquinas como son; altura de salto neto, rendimiento de la turbina y rendimiento del alternador valores que de acuerdo a los proporcionados por la empresa son los siguientes:

$H_n = 220.05 \text{ m}$: altura de salto neto

$\eta_{\text{turb}} = 0.9526 \%$: rendimiento de la turbina

$\eta_{\text{alt}} = 0.95\%$: rendimiento alternador

De manera que la fórmula utilizada para el cálculo de la variable Potencia Eléctrica solo dependería del valor del caudal Q_n , y reemplazando lo valores anteriores quedó de la siguiente forma:

Ecuación 4. 6: Cálculo de la potencia calculada en base al caudal

$$P_n = 9.8 * Q_n * 220.05 * 0.9526 * 0.95 \text{ (MW)} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4.6)}$$

iii) Producción energética: La producción energética depende de las dos variables anteriores, sin embargo no merece mayor análisis que del reemplazar los valores en la ecuación 2.3 del marco teórico y multiplicarlo por la total de horas que tiene el año.

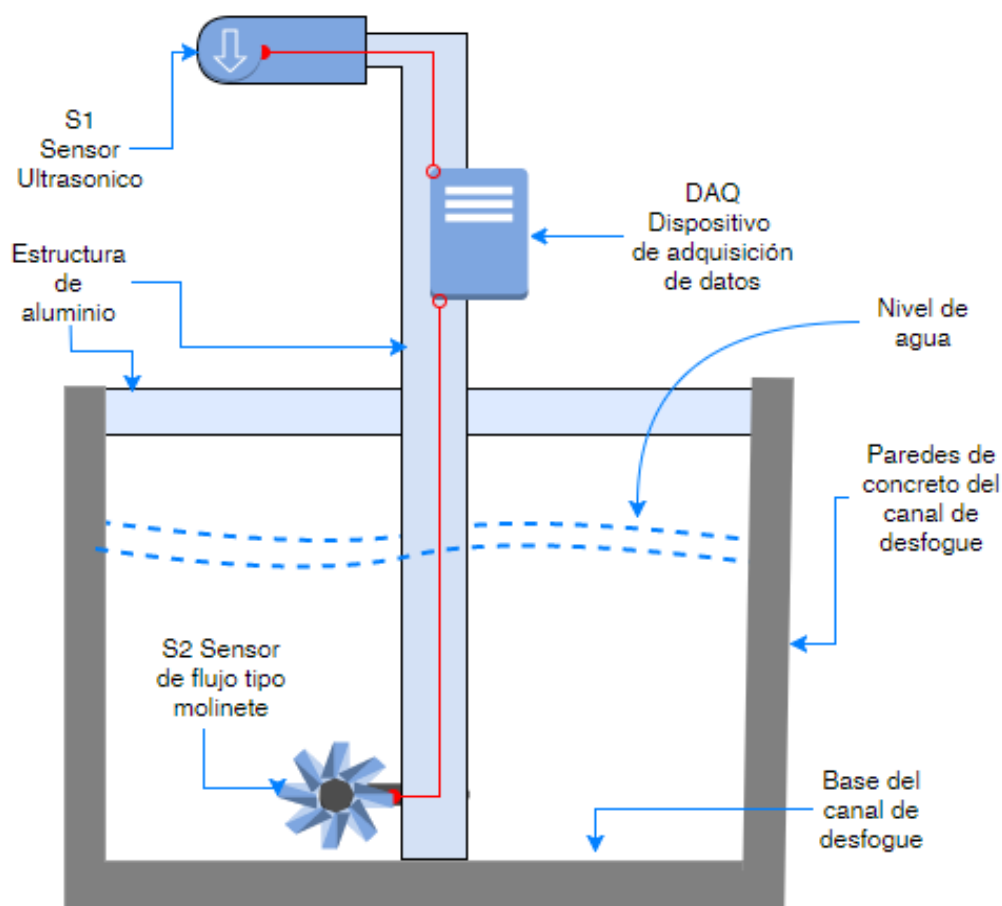
d) Modelo físico para instrumento de medición

El instrumento para adquirir las variables en conjunto se construyeron en base a materiales de bajo costo y de fácil acceso en el mercado.

En una visita previa se identificó el lugar idóneo para instalar el prototipo y en base a ello se ideó el modelo físico del instrumento el cual se instaló en las paredes de concreto de del canal de desfogue de cada grupo turbina-generador.

A continuación en la siguiente figura se muestra el modelo el cual fue construido usando tubos rectangulares de aluminio, que sirvieron como esqueleto para anclar los sensores y el dispositivo de adquisición de datos. Por el interior de los tubos se conectan los sensores con el dispositivo DAQ a través de cable conductores para su conexión. Las conexiones fueron selladas con silicona para que puedan trabajar dentro del agua.

Figura 4.11: Modelado físico del instrumento de medición



Elaboración: Propia

4.2. DISEÑO DE LA PROPUESTA

Para desarrollar el diseño de la propuesta en la siguiente tabla, se describe las tareas o sub fases en el marco de la metodología de descomposición de trabajo en fases (WBS) para desarrollar el diseño de procesamiento de datos:

Tabla 4.5: Sub Fases para el modelo de procesamiento de datos del prototipo

N	SUB FASE	DESCRIPCIÓN GENERAL
1	Técnica de procesamiento de datos	<ul style="list-style-type: none"> - Filtro digital para eliminación de ruido. - Algoritmos de procesamiento de variables y señales.
2	Técnica de almacenamiento de datos	<ul style="list-style-type: none"> - Elección de Motor de Base de datos. - Diseño de la base de datos.
3	Tecnología de comunicación de datos	<ul style="list-style-type: none"> - Elección de Protocolos de Red - Arquitectura general de la comunicación. - Tiempo Real

Elaboración: Propia

4.2.1 Técnica de procesamiento de datos

En esta etapa nos referimos al camino que sigue la señal a partir de la digitalización o la obtención de la señal en números según un intervalo de tiempo determinado.

Sin embargo durante el desarrollo de las pruebas se reconoció que los sensores tienen un error suficientemente grande como para distorsionar la lectura. Este error fue tratado con el filtro de media móvil, cuyo algoritmo se explica en el siguiente diagrama:

Figura 4.12: Pseudocódigo de algoritmo filtro de media móvil

```

1  Algoritmo FiltroMediaMovil
2  Indice <- 1;
3  Filtros <- 10;
4  Dimension VectorValores[Filtros];
5  SumaTotal<-0;
6  Mientras ConexionSensor Hacer
7      Leer DatoSensor;
8      Si EsPrimerLectura Entonces
9          Repetir
10             VectorValores[Indice]=DatoSensor;
11             Indice <- Indice+1;
12             SumaTotal<-SumaTotal+DatoSensor;
13             Hasta Que Indice<=Filtros
14             Escribir DatoSensor;
15         SiNo
16             Si Indice<Filtros Entonces
17                 SumaTotal <- SumaTotal-VectorValores[Indice+1];
18             SiNo
19                 SumaTotal <- SumaTotal-VectorValores[1];
20             Fin Si
21             VectorValores[Indice]=DatoSensor;
22             SumaTotal <- SumaTotal+VectorValores[Indice];
23             Escribir SumaTotal/Filtros;
24         FinSi
25         Si Indice<Filtros Entonces
26             Indice<-Indice+1;
27         SiNo
28             Indice<-0;
29         Fin Si
30     Fin Mientras
31 FinAlgoritmo

```

Elaboración: Propia

En un filtro de media móvil de largo M , la salida actual consiste en el promedio de las últimas M muestras de la entrada. Para tomar el valor filtrado de un punto de la onda debemos conocer el valor real de la últimas M medidas.

A continuación se muestra el código en lenguaje de programación de Arduino:

Figura 4.13: Código fuente en lenguaje programación de Arduino

```

float ValorVelocidad;
int PrimerLectura=1;
const int NumeroFiltros = 10;
float FiltroVelo[NumeroFiltros];
float TotalVelocidad = 0;
int index = 1;

void getData() {
    float ValorVelocidad = LEER_SENSOR(velocidad)
    if (PrimerLectura)
    {
        for (int i = 1; i <= NumeroFiltros; i++) {
            FiltroVelocidad[i] = ValorVelocidad;
            TotalVelocidad += FiltroVelocidad[i];
        }
        PrimerLectura = 0; |
    }
    else
    {
        if (index < NumeroFiltros)
            TotalVelocidad= TotalVelocidad - FiltroVelo[index+1];
        else
            TotalVelocidad= TotalVelocidad - FiltroVelo[1];
        FiltroVelo[index]=ValorVelo;
        TotalVelocidad= TotalVelocidad + FiltroVelo[index];
        ValorVelo = TotalVelocidad/NumeroFiltros;
    }
    if (index < NumeroFiltros)
        index = index + 1;
    else
        index = 1;
}

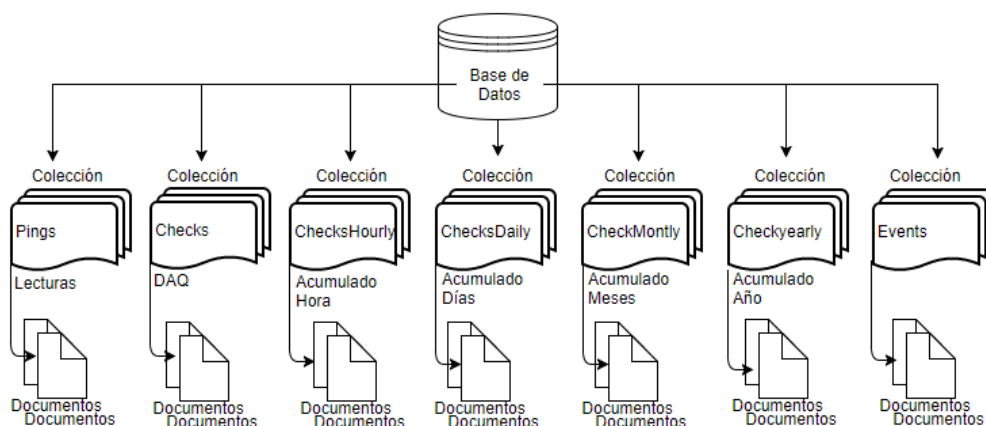
```

Elaboración: Propia

4.2.2 Técnica de almacenamiento de datos

La base de datos que se eligió fue de tipo no relacional, por la gran cantidad de datos que es capaz de soportar. A continuación de muestra el diseño físico de la BD implementada en MongoDB.

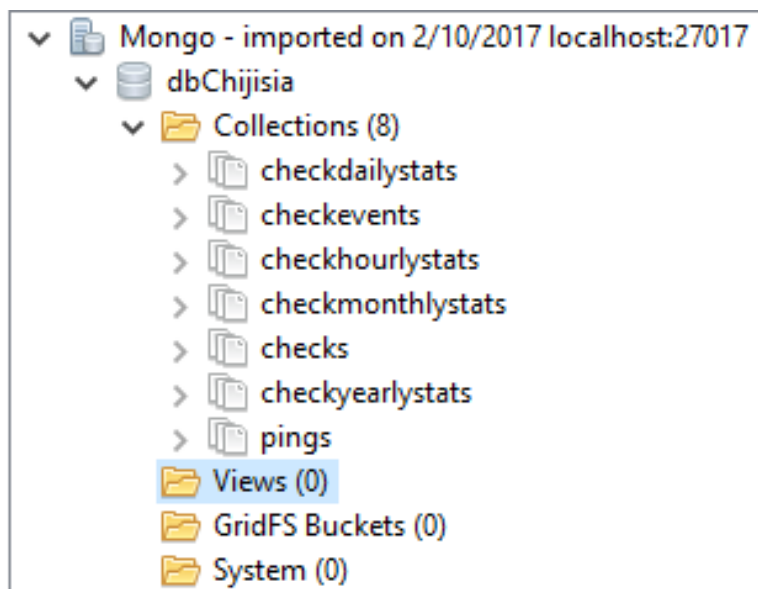
Figura 4.14: Diseño físico de la base de datos MongoDB



Elaboración: Propia

A continuación se muestra la lista de colecciones implementadas y seguidamente se describe cada colección de documentos.

Figura 4.15: Colección de documentos en MongoDB



Elaboración: Propia

CHECKS.- Donde se registran los datos y la dirección de red del RTU.

Tabla 4.6: Descripción de campos de colección *CHECKS*

Collection: <i>CHECKS</i>		
Documento	Descripción	Tipo
_id	Identificador del documento	ObjetoID
type	Tipo de conexión de red http https	String
Name	Nombre del RTU	String
URL	Dirección de red del RTU	String
Caudal	Valor medio del caudal turbinado del tipo de punto flotante	double
Uptime	Tiempo que el RTU está activado	Int32
Interval	Intervalo de monitoreo	Int32
LastTested	Fecha ultimo monitoreo	Date
FirstTestes	Fecha primer testeo	Date
isUp	Bandera si el RTU respondió	bool

Elaboración: Propia

PINGS.- Donde se registran los datos de monitoreo y muestreo por segundo del RTU.

Tabla 4.7: Descripción de campos de colección *CHECKS*

Collection: <i>PINGS</i>		
Documento	Descripción	Tipo
_id	Identificador del documento	ObjetoID
MonitorName	Nombre del servidor de monitoreo. (archivo de configuración)	String
check	Identificador del RTU registrado en la colección <i>CHECKS</i>	ObjetoID
velocidad	Valor de la velocidad de flujo	double
areahidrica	Valor de área hídrica	double
temperatura	Valor de temperatura en grados centígrados	Int32
caudal	Valor del caudal turbinado	double
time	Valor de tiempo de respuesta	Date
isUp	Bandera si el RTU respondió	bool
timestamp	Fecha y hora de medición	date

Elaboración: Propia

CHECKHOURLYSTATS, *CHECKDAILYSTATS*.- Donde se registran los datos medios de monitoreo en el periodo por HORAS y DIAS del RTU.

Tabla 4.8: Descripción de campos de colección HORAS, DIAS

Collection: <i>CHECKHOURLYSTATS</i> , <i>CHECKDAILYSTATS</i>		
Documento	Descripción	Tipo
_id	Identificador del documento	ObjetoID
check	Identificador del RTU registrado en la colección CHECKS	ObjetoID
caudal	Valor medio del caudal turbinado en el periodo de tiempo de la colección	double
count	Numero de datos en el periodo de tiempo	Int32
timestamp	Fecha y hora de medición	date
responsiveness	Numero de lecturas perdidas	Int32

Elaboración: Propia

CHECKMONTHLYSTATS, *CHECKYEARLYSTATS*.- Donde se registran los datos medios de monitoreo en el periodo por MES y AÑOS del RTU.

Tabla 4.9: Descripción de campos de colección MESES, AÑOS

Collection: <i>CHECKHOURLYSTATS</i> , <i>CHECKDAILYSTATS</i>		
Documento	Descripción	Tipo
_id	Identificador del documento	ObjetoID
check	Identificador del RTU registrado en la colección CHECKS	ObjetoID
caudal	Valor medio del caudal turbinado en el periodo de tiempo de la colección	double
count	Numero de datos en el periodo de tiempo	Int32
timestamp	Fecha y hora de inicio del periodo de medición	date
end	Fecha y hora de fin del periodo de medición	date
responsiveness	Numero de lecturas perdidas	Int32

Elaboración: Propia

La principal colección de nuestra base de datos, es la que guarda las lecturas de nuestros sensores de las variables que nos interesan. Está representado con el nombre (Pings) y registra los datos en una frecuencia de un (1) minuto. Las demás colecciones

realizan lo propio de acuerdo a la frecuencia que su nombre indica; por hora, diaria, mensual y anual. A continuación se muestra la estructura y datos de la colección PINGS.

Figura 4.16: Estructura de documentos de la Colección Pings en MongoDB

Key	Value	Type
▼ (1) {_id : 59416b38ef7493e80b000003}	{ 13 fields }	Document
_id	59416b38ef7493e80b000003	ObjectId
monitorName	origin	String
check	59416b30ef7493e80b000002	ObjectId
velocidad	2.98	Double
areahidrica	0.20701999999999982	Double
temperatura	32.75	Double
caudal	0.6169195999999995	Double
time	373	Int32
isResponsive	true	Bool
isUp	true	Bool
tags	[0 elements]	Array
timestamp	2017-06-14T16:58:32.103Z	Date

Elaboración: Propia

En la figura anterior se muestra la estructura de datos del documento Pings, que es donde se almacena los valores que se obtuvieron.

4.2.3 Tecnología de comunicación de datos

El protocolo usado en la comunicación a nivel general de los módulos fue TCP/IP, basado en el estándar IEEE 802.3 para Ethernet y 802.11 para Wi-Fi. Se utilizó un router marca NEXT, cable de red cat5e, una computadora portátil, un teléfono móvil marca Huawei p8.

Configuramos la red LAN de manera que nos permita conectar las computadoras y teléfonos móviles de forma cableada e inalámbrica. El router inalámbrico se configuro con el SSID: SCADA. Para garantizar la comunicación se realizó pruebas de conexión de los múltiples dispositivos conectados a la red.

Para conectar el Dispositivo de adquisición de datos a la red Ethernet se usó la tarjeta arduino Shield Ethernet que es la parte física que implementa la pila de protocolos TCP/IP. Shield Ethernet está basada en el chip ethernet Wiznet W5100. El Wiznet W5100 provee de una pila de red IP capaz de soportar TCP y UDP. Soporta hasta cuatro conexiones de sockets simultáneas. El shield provee un conector ethernet estándar RJ45.

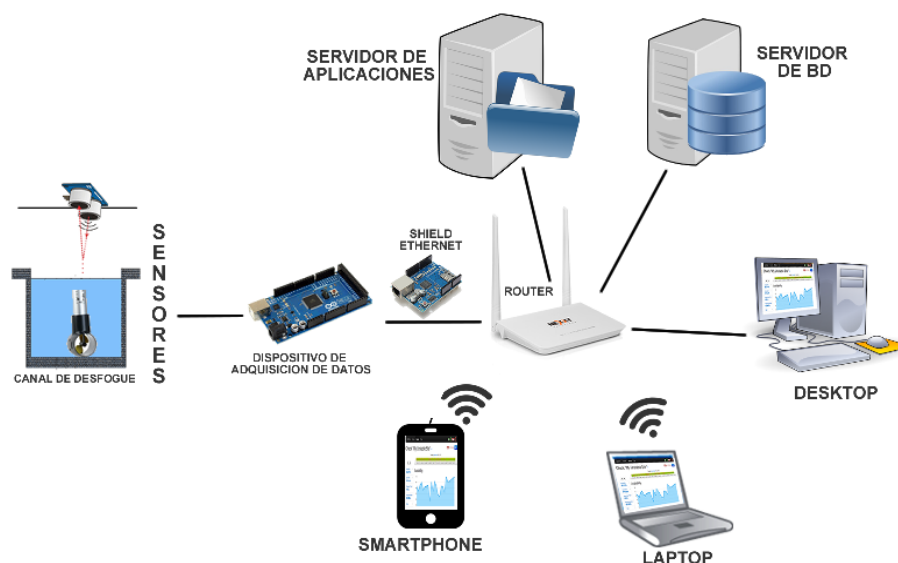
Figura 4.17: Tarjeta Shiel Ethernet montada sobre Arduino Mega 2560 R3



Elaboración: Propia

A continuación se grafica de forma general la arquitectura de comunicación implementada donde se identifica la comunicación entre todos sus partes.

Figura 4.18: Arquitectura general de la comunicación de datos



Elaboración: Propia

4.3. IMPLEMENTACION DEL PANEL HMI E INTEGRACION DE MODULOS DE LA PROPUESTA

4.3.1 Implementación de la codificación del panel HMI

Para interactuar con el hardware, se creó el panel HMI, en base Uptime 3.2 que es una aplicación de monitoreo remoto de sitios web potenciada por la programación asíncrona de Node.js. Esta aplicación registra estadísticas de disponibilidad para informes posteriores (con la tecnología de MongoDB). Brinda informes detallados de tiempo de actividad con gráficos animados y que se adecuaron con twitter bootstrap para que su diseño sea responsivo o adaptativo para su correcta visualización en pantallas de dispositivos móviles.

Esta aplicación de software se encuentra alojada en Github (<https://github.com>) bajo la licencia MIT, lo que implicó que tengamos la libertad de realizar

modificaciones y adecuarla a nuestras necesidades del prototipo. Dentro de sus principales características se puede describir las siguientes.

- Brinda la posibilidad de monitorear miles de sitios web (potenciados por la programación asíncrona de Node.js)
- Ajustar la frecuencia de monitoreo en un periodo de tiempo hasta por un segundo.
- Reciba notificaciones cada vez que no se disponga de respuesta del punto en pantalla gracias a la tecnología de socket.io
- Registre estadísticas de disponibilidad para informes posteriores (con la tecnología de MongoDB)

La implementación de Uptime 3.2 es sencilla y se describe a continuación:

Para instalar desde GitHub, clone el repositorio e instale dependencias usando `npm`.

```
$ git clone git://github.com/fzaninotto/uptime.git  
$ cd uptime  
$ npm install
```

De forma predeterminada, la interfaz de usuario web se ejecuta en el puerto 8082, por lo que simplemente busque:

```
http://localhost:8082/
```

Por último, inicie la aplicación con:

```
$ node app
```

A continuación se pone la configuración predeterminada, tomada de config/default.yaml.

Figura 4.19: Configuración de aplicativo Uptime

```
url:      'http://localhost:8082'

mongodb:
  server:  localhost
  database: uptime
  user:    root
  password:
  connectionString: # alternative to setting server, database, user and password separately

monitor:
  name:      origin
  apiUrl:    'http://localhost:8082/api' # must be accessible without a proxy
  pollingInterval: 10000 # ten seconds
  timeout:    5000 # five seconds
  userAgent: NodeUptime/2.0 (https://github.com/fzaninotto/uptime)

analyzer:
  updateInterval: 60000 # one minute
  qosAggregationInterval: 600000 # ten minutes
  pingHistory: 803520000 # three months

autoStartMonitor: true

plugins:
- ./plugins/console
- ./plugins/patternMatcher
- ./plugins/httpOptions
# - ./plugins/email
```

Elaboración: Propia

UPTIME se compone de dos servicios: una aplicación web (en app.js) y un monitor de sondeo (en monitor.js).

Por comodidad, los dos servicios comienzan juntos cuando se ejecuta el comando `node app`, sin embargo para el proyecto se inician separadamente, para lo cual en el archivo de configuración de establecer el valor de `autoStartMonitor` en `false`, y ejecutar el monitor a manualmente de la siguiente manera.

```
$ node monitor &
$ node app
```

La arquitectura de UPTIME se muestra en la siguiente figura:

Figura 4.20: Arquitectura de comunicación panel HMI



Elaboración: Propia

El usuario interactúa directamente con la aplicación web (Webapp), La aplicación web está compuesta de un a) dashboard que se representa por la pantalla visual con el menú y opciones para el usuario, además de mostrar la información almacenada en la base de datos, b) un api que realiza la tarea de registrar continuamente los datos obtenidos en la Base de datos, y c) MongoDB que se encarga de contener los datos almacenados. La aplicación web también se comunica con el monitor que se encarga de verificar la continuidad de la señal emitida por el dispositivo de adquisición de datos, por último el monitor tiene acceso a registrar en la base de datos a través de la Interfaz de programación de aplicación o API.

A continuación se listan los métodos que permiten la interacción con la API del sistema y son conocidas como métodos crear, leer, actualizar y borrar - CRUD.

GET /checks -> Devuelve una lista de todos los cheques

GET /checks/:id -> Devuelve un solo cheque

Parámetro:

id : (requerido) Id del cheque

Ejemplo: <http://localhost:8082/api/checks/527a25bdc9de6e0000000004>

GET /pings -> Devuelve una lista de todos los pings

Parámetros:

?page=1 : (opcional) resultados de Pagine por 50

?check=:id : (opcional) Devuelve solo los pings para un cheque determinado

Ejemplo: <http://localhost:8082/api/pings?check=527a25bdc9de6e0000000004>

GET /pings/events -> Devuelve una lista de eventos (CheckEvent) agregados por día.

POST /pings -> Crear un ping para un cheque, si el cheque existe y no está ya sondeado

Parámetros:

checkId : (requerido) Id del cheque

status : (requerido) Estado

timestamp : (opcional) Fecha de votación

time : (requerido) Tiempo de respuesta

name : (opcional) Nombre del monitor

error : (opcional)

details : (opcional)

PUT /checks -> Crea un nuevo cheque y devuélvelo

Parámetros:

url : (requerido) Url del cheque

name : (opcional) Nombre del cheque: si está vacío, el URL se establecerá como nombre de cheque

interval : (opcional) Intervalo de votación

maxTime : (opcional) Umbral lento

isPaused : (opcional) Estado de la votación

alertTreshold : (opcional) establece el umbral de los pings fallidos que crearán una alerta

tags : (opcional) lista de etiquetas (valores separados por comas)

type : (opcional) tipo de cheque (auto | http | https | udp)

POST /checks/:id -> Actualizar un cheque y devolverlo

Parámetros:

id : (requerido) Id del cheque

url : (opcional) URL del cheque

name : (opcional) Nombre del cheque: si está vacío, el URL se establecerá como nombre de cheque

interval : (opcional) Intervalo de votación

maxTime : (opcional) Umbral lento

isPaused : (opcional) Estado de la votación

alertTreshold : (opcional) establece el umbral de los pings fallidos que crearán una alerta

tags : (opcional) lista de etiquetas (valores separados por comas)

type : (opcional) tipo de cheque - valores: auto | http | https | udp

Ejemplo: <http://localhost:8082/api/checks/527a25bdc9de6e0000000004>

DELETE /checks/:id -> Eliminar un cheque

Parámetros:

id : (requerido) Id del cheque

Ejemplo: <http://localhost:8082/api/checks/527a25bdc9de6e0000000004>

GET /checks/:id/stat/:period/:timestamp -> Estadísticas de verificación de devolución por un período

Parámetros:

id : (requerido) Id del cheque

period : (requerido) Período - valores: hour | day | month | year

timestamp : (requerida) Fecha de inicio (marca de tiempo)

Ejemplo:

<http://localhost:8082/api/checks/527a25bdc9de6e0000000004/stat/day/1383260400000>

GET /checks/:id/stats/:type -> Estadísticas de verificación de devolución por un período

Parámetros:

id : (requerido) Id del cheque

type : (requerido) Período - valores: hour | day | month | year

?begin= : (requerido) Fecha de inicio (marca de tiempo)

?end= : (requerido) Fecha de finalización (marca de tiempo)

Ejemplo:

[http://localhost:8082/api/checks/527a25bdc9de6e0000000004/stats/month?
begin=1383260400000&end=1385852399999](http://localhost:8082/api/checks/527a25bdc9de6e0000000004/stats/month?begin=1383260400000&end=1385852399999)

GET /tags/:name/checks/:period/:timestamp -> Estadísticas de etiquetas de devolución por un período, unidas por cheques

Parámetros:

name : (obligatorio) Nombre de la etiqueta

period : (requerido) Período - valores: hour | day | month | year

timestamp : (requerida) Fecha de inicio (marca de tiempo)

Ejemplo: <http://localhost:8082/api/tags/good/checks/month/1384816432099>

GET /tags/:name/stat/:period/:timestamp -> Estadísticas de etiqueta de devolución por un período

Parámetros:

name : (obligatorio) Nombre de la etiqueta

period : (requerido) Período - valores: hour | day | month | year

timestamp : (requerida) Fecha de inicio (marca de tiempo)

Ejemplo: <http://localhost:8082/api/tags/good/stat/month/1383260400000>

GET /tags/:name/stats/:type -> Estadísticas de etiqueta de devolución por un período

Parámetros:

name : (obligatorio) Nombre de la etiqueta

type : (requerido) Período - valores: day | month | year

?begin= : (requerido) Fecha de inicio (marca de tiempo)

?end= : (requerido) Fecha de finalización (marca de tiempo)

Ejemplo:

[http://localhost:8082/api/tags/good/stats/month?begin=1383260400000&en
d=1385852399999](http://localhost:8082/api/tags/good/stats/month?begin=1383260400000&end=1385852399999)

Dentro de las modificaciones realizadas en la aplicación se tiene dos módulos;

Servidor de aplicaciones que muestra los datos procesados y almacenado en la

base de datos y el Servidor de tiempo real que muestra la información del RTU

con una frecuencia de 1 segundo.

Codificación Modulo Servidor Aplicaciones: En el cual se observa los datos procesados y almacenados en la base de datos Mongo DB. La función *PollCheck* se ejecuta cada minuto y es la que lanza un ping sobre la dirección IP del RTU, si esta contesta se procesa la información que está en formato de cadena separada por el carácter “|”. Luego se llama a la función *createPing* para almacenar la información en la base de datos.

Figura 4.21: Codificación de la función del servidor de aplicación que realiza el procesamiento de la información del RTU

```

Monitor.prototype.pollCheck = function(check, callback) {
  if (!check) return;
  var Poller, p;
  var now = Date.now();
  var self = this;
  var caudal=0, temperatura=0, areahidrica=0, velocidad=0;
  var AlturaAgua;
  var AlturaTotal=1.16; //Altura desde el Sensor S1 hasta el piso
  this.declarePoll(check, function(err) { });
  var details = {};
  var optionsRTU = {
    host: '192.168.1.200',
    port: 80
  };
  http.get(optionsRTU, function(result) { //Lanza ping
    if (result.statusCode != 200) {
      caudal=0;
    }
    var body = '';
    result.on('data', function(chunk) {
      body += chunk;
    });
    result.on('end', function() { //Procesa datos
      var datos = body.split("|");
      temperatura=datos[0];
      AlturaAgua=AlturaTotal-(datos[1]/100);
      areahidrica=1.10*AlturaAgua;
      velocidad=datos[2];
      caudal=areahidrica*velocidad;
    });
  }).on('error', function(e) {
    caudal=0;
  });
  var pollerCallback = function(err, time, res, pollerDetails) {
    if (err) {
      caudal=0;
      return self.createPing(err, check, now, time, caudal, temperatura, areahidrica,
        velocidad, pollerDetails || details, callback);
    }
    try {
      self.emit('pollerPolled', check, res, pollerDetails || details);
      self.createPing(null, check, now, time, caudal, temperatura, areahidrica, velocidad,
        pollerDetails || details, callback);
    } catch (error) {
      caudal=0;
      return self.createPing(error, check, now, time, caudal, temperatura, areahidrica,
        velocidad, pollerDetails || details, callback);
    }
  };
  try {
    p = new Poller(check.url, this.config.timeout, pollerCallback);
    if ('setUserAgent' in p) {
      p.setUserAgent(this.config.userAgent);
    }
    self.emit('pollerCreated', p, check, details);
  } catch (incorrectPollerUrl) {
    caudal=0;
    return self.createPing(incorrectPollerUrl, check, now, 0, caudal, temperatura,
      areahidrica, velocidad, details, callback);
  }
  //p.setDebug(true);
  p.poll();
};

```

Elaboración: Propia

Codificación del Módulo de Tiempo Real: En el cual se observa las señales provenientes de los sensores a través del dispositivo de adquisición de datos.

En el servidor de tiempo real se implementó el siguiente código que abre la conexión mediante Socket.io y empieza a recepcionar datos del RTU y envía al navegador a través de la vista. En este caso el RTU publica los datos adquiridos en una cadena separada por el carácter "|". Esta codificación separa dicha cadena y la asigna a un arreglo para su mejor tratamiento.

Figura 4.22: Código en el servidor de aplicaciones, que recepciona datos de RTU y envía al lado del cliente para su visualización

```
io.sockets.on('connection', function(socket) {
  numConexion += 1;
  socket.emit("usuarios", numConexion);
  socket.broadcast.emit("usuarios", numConexion);
  socket.on('OpenTimeReal', function (dat) {
    var optionsRTU = { host: '192.168.1.200', port: 80 };
    http.get(optionsRTU, function(res) {
      if (res.statusCode !== 200) {
        console.log("Error Status: " + res.statusCode);
        socket.emit("dataAng", 0);
      }
      var body = '';
      res.on('data', function(chunk) {
        body += chunk;
      });
      res.on('end', function() {
        var datos = body.split("|");
        socket.emit("dataAng", datos);
      });
    }).on('error', function(e) {
      console.log("Got error: " + e.message);
      socket.emit("dataAng", 0);
    });
  });
});
```

Elaboración: Propia

En el lado del navegador, el código de la vista que procesa los datos enviados por el servidor en tiempo real y que realiza el procesamiento de datos a través del modelado de cálculo de variables vitas en la fase de análisis se muestra en la figura siguiente. Realiza un retardo de 1 segundo (1000 milisegundos) para realizar un muestreo en tiempo real cada segundo.

Figura 4.23: Codificación del lado del cliente para el tratamiento de los datos enviados por el RTU

```

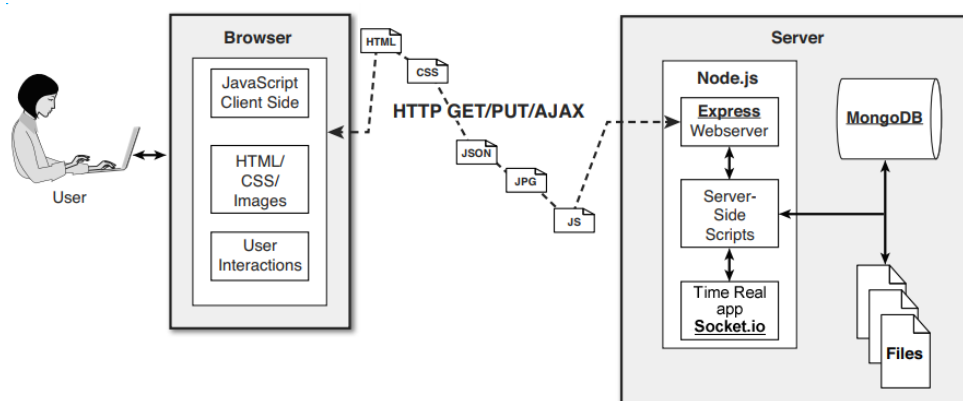
<script>
var distanciaAgua, velocidad, area;
var caudal, potencia, energia;
var AlturaAgua=0;
var AlturaTotal=1.16; //Altura desde el Sensor S1 hasta el piso
$(function () {
  socket.emit('OpenTimeReal', 1);
  socket.on("dataAng", function(data){
    if (data) {
      distanciaAgua=data[1];
      AlturaAgua=AlturaTotal-(distanciaAgua/100);
      $('#altura').html(AlturaAgua.toFixed(2).toString());
      area=1.10*AlturaAgua;
      $('#area').html(area.toFixed(2).toString());
      velocidad=data[2];
      $('#velocidad').html(data[2].toString());
      caudal=area*velocidad;
      $('#caudal').html(caudal.toFixed(2).toString());
      var alturaNeta=220.05;
      var RendiemitnoGenerador=0.9526;
      var RendiemitnoTurbina=0.95;
      potencia=9.81*caudal.toFixed(2)*alturaNeta*RendiemitnoGenerador*RendiemitnoTurbina;
      $('#potencia').html(potencia.toFixed(2).toString());
      energia=potencia*60;
      $('#energia').html(energia.toFixed(2).toString());
    }
    window.setTimeout(function() {
      socket.emit('OpenTimeReal', 1);
    }, 1000);
  });
});
</script>

```

Elaboración: Propia

De tal forma que la arquitectura de funcionamiento del aplicativo modificado cuyo nuevo nombre es Uptime-HMI2 queda descrita de la siguiente manera:

Figura 4.24: Arquitectura de aplicaciones Uptime-HMI2



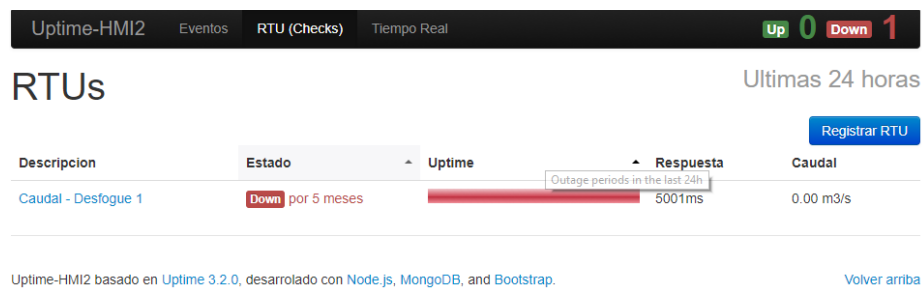
Elaboración: Propia

El panel HMI se compone del lado del cliente y el lado del servidor. En el lado del cliente se cuenta con HTML, CSS y Javascript. En el lado del servidor sobre Node.Js como plataforma se instaló Express como el servidor web, y socket.io como herramienta del servidor de tiempo real. Para la base de datos se instaló Mongo DB que interactúa nativamente con NodeJs.

La implementación se realizó en una computadora portátil de marca Toshiba con un procesador Intel i3 de 1.90 Ghz, memoria RAM de 12 GB y disco duro de un terabyte. El sistema operativo fue Windows 10 Profesional de 64 bits.

A continuación se muestra capturas de pantalla sobre los principales módulos implementados que brinda el panel HMI.

Figura 4.25: RTU - Primer Nivel. Lista los RTU registrados

**Elaboración: Propia**

Esta captura de pantalla muestra la lista de las unidades terminales remotas registradas para su supervisión, además se muestra el estado y el dato a supervisar. Al hacer click en el nombre del RTU se ingresará a un segundo nivel que se explica en la siguiente figura.

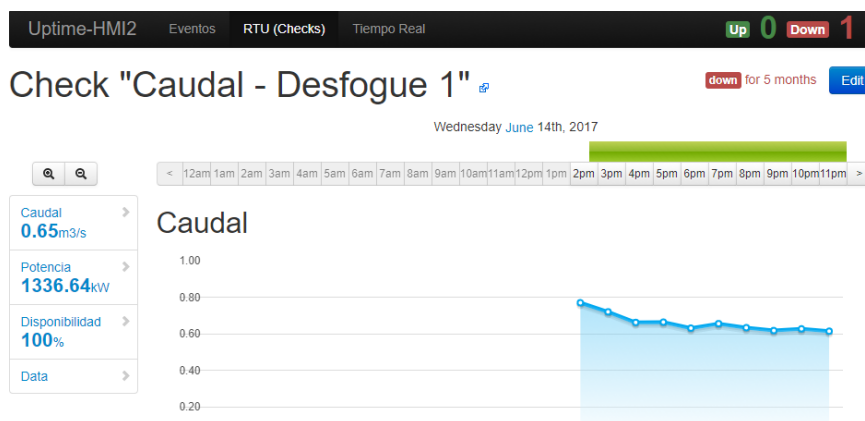
Figura 4.26: RTU - Segundo Nivel. Supervisión de Variables del RTU

**Elaboración: Propia**

Esta captura de pantalla, muestra al lado izquierdo las variables a supervisar, así como en el lado derecho la gráfica de comportamiento en el tiempo. El periodo de tiempo predeterminado es por día, sin embargo se puede interactuar con los periodos: Anual, Mensual, Diario, Hora, Minuto, con las opciones que lupan que

se encuentra en la parte superior de las variables. En la siguiente figura se puede apreciar un nivel abajo en el periodo de tiempo, en este caso; Horas.

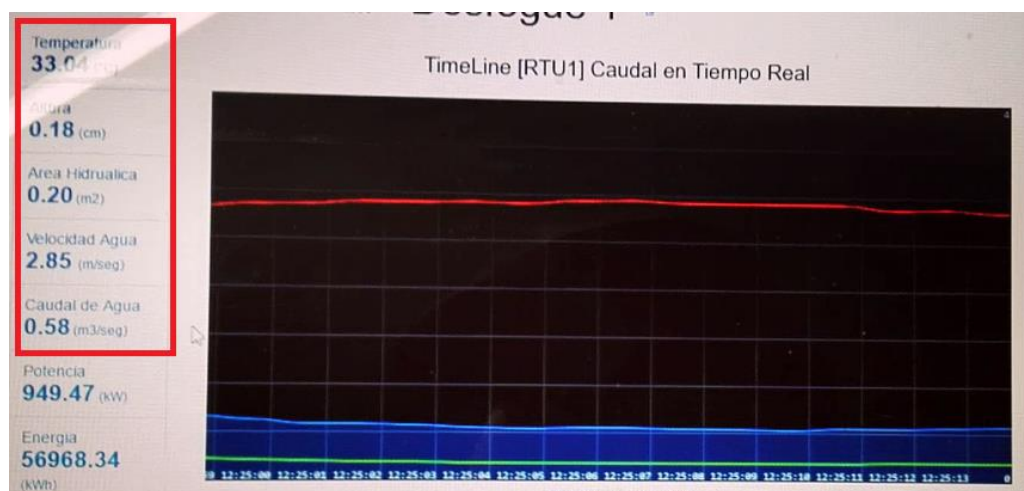
Figura 4.27: RTU - Tercer Nivel. Detalle de Variables del RTU por hora



Elaboración: Propia

El principal aporte al aplicativo, en el proceso de adecuación, fue proveerle un módulo de supervisión en tiempo real, el cual se muestra a continuación:

Figura 4.28: Pantalla tiempo Real RTU. Uptime-HMI



Elaboración: Propia

Esta captura de pantalla muestra el módulo de tiempo real, en el cual las variables y el grafico se actualizan en tiempo real. En el grafico se muestra variables; temperatura, área hidráulica y velocidad del agua. Este módulo utiliza Sockt.io

para obtener los datos de las variables en tiempo real a través del protocolo TCP/IP.

4.3.2 Integración de módulos

La integración de módulos se describe siguiendo el modelo de arquitectura de los sistemas SCADA, que están compuestos de tres partes principales, las cuales se listan a continuación:

- a. Unidad terminal maestra (MTU): Está constituida por el servidor recolector o monitoreo y el servidor de interfaz y tiempo real que corren sobre la plataforma de NodeJs, y el servidor de base de datos MongoDB.

- Servidor Recolector

El microprocesador de la tarjeta Arduino Mega 2560 R3, es el que se comunica con la estación central a través del protocolo TCP/IP mediante Ethernet. El servidor recolector es el que se encarga de mantener esa conexión para mostrar o registrar los datos obtenidos del RTU.

Para ejecutar el servidor recolector se establece el comando:

```
node monitor
```

Figura 4.29: Ejecución de servidor monitor en línea de comandos

```
Kero@DESKTOP-RALH8DE E:\TESIS\_Software\Uptime-HMI2
> node monitor
loading plugin ./plugins/patternMatcher on monitor
loading plugin ./plugins/httpOptions on monitor
loading plugin ./plugins/basicAuth on monitor
Monitor origin started
```

Elaboración: Propia

- Servidor de interfaz – Tiempo Real

Utiliza NodeJS con Express.JS para permitir a los usuarios la interacción con el sistema. Aquí se integra todos los servidores y funciones del software desarrollado para controlar el prototipo.

Para ejecutar el servidor recolector se establece el comando:

```
node app
```

Figura 4.30: Ejecución de servidor de interfaz – tiempo real en línea de comandos

```
Kero@DESKTOP-RALH8DE E:\TESIS\Software\Uptime-HMI2
> node app
loading plugin ./plugins/console on app
loading plugin ./plugins/patternMatcher on app
loading plugin ./plugins/httpOptions on app
loading plugin ./plugins/basicAuth on app
  info -- socket.io started
(node:1260) DeprecationWarning: process.EventEmitter is deprecated. Use require('events') instead.
Express server listening on host localhost, port 8082 in development mode
Mongoose: pings.ensureIndex({ timestamp: -1 }) { safe: undefined, background: true }
Mongoose: checkevents.ensureIndex({ timestamp: -1, check: 1 }) { safe: undefined, background: true }
Mongoose: checkhourlystats.ensureIndex({ timestamp: -1, check: 1 }) { safe: undefined, background: true, unique: true }
Mongoose: checkdailystats.ensureIndex({ timestamp: -1, check: 1 }) { safe: undefined, background: true, unique: true }
Mongoose: checkmonthlystats.ensureIndex({ timestamp: -1, check: 1 }) { safe: undefined, background: true, unique: true }
Mongoose: checkyearlystats.ensureIndex({ timestamp: -1, check: 1 }) { safe: undefined, background: true, unique: true }
Mongoose: taghourlystats.ensureIndex({ timestamp: -1, name: 1 }) { safe: undefined, background: true, unique: true }
Mongoose: tagdailystats.ensureIndex({ timestamp: -1, name: 1 }) { safe: undefined, background: true, unique: true }
Mongoose: tagmonthlystats.ensureIndex({ timestamp: -1, name: 1 }) { safe: undefined, background: true, unique: true }
Mongoose: tagyearlystats.ensureIndex({ timestamp: -1, name: 1 }) { safe: undefined, background: true, unique: true }
Mongoose: tags.ensureIndex({ name: 1 }) { safe: undefined, background: true, unique: true }
```

Elaboración: Propia

- Servidor de BD Histórico

Se corre el sistema de Base de datos Mongo DB, el cual se ejecuta en consola, como se muestra a continuación.

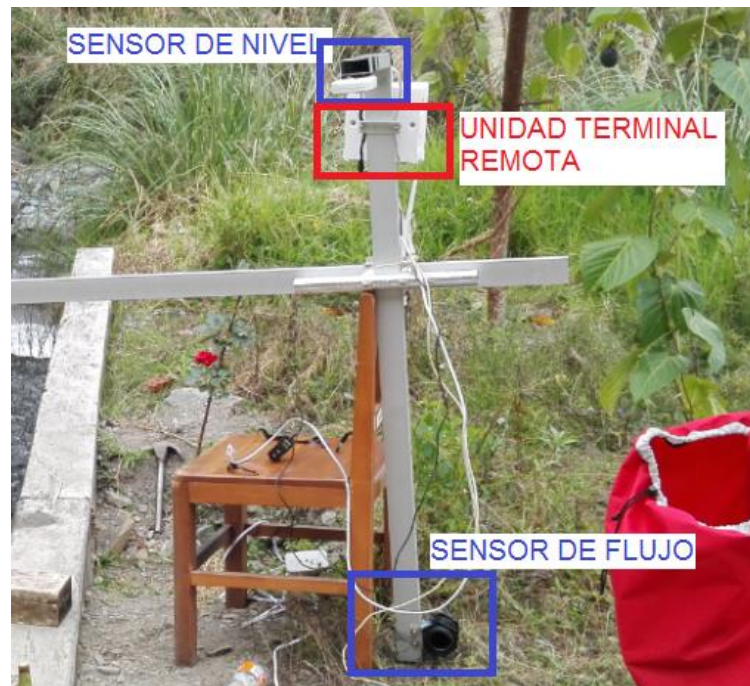
Figura 4.31: Ejecución de servidor de base de datos MongoDB

```
Kero@DESKTOP-RALH8DE C:\Program Files\MongoDB\Server\3.4\bin
> mongod
2017-11-15T11:48:14.545-0500 I CONTROL [initandlisten] MongoDB starting : pid=16960 port=27017 dbpath=C:\data\db\ 64-bit host=DESKTOP-RALH8DE
2017-11-15T11:48:14.549-0500 I CONTROL [initandlisten] targetMinOS: Windows 7/Windows Server 2008 R2
2017-11-15T11:48:14.550-0500 I CONTROL [initandlisten] db version v3.4.4
2017-11-15T11:48:14.551-0500 I CONTROL [initandlisten] git version: 888398515874a9debdd1b6c5d365f9ca86b44babd
2017-11-15T11:48:14.553-0500 I CONTROL [initandlisten] OpenSSL version: OpenSSL 1.0.1u-fips 22 Sep 2016
2017-11-15T11:48:14.554-0500 I CONTROL [initandlisten] allocator: tcmalloc
2017-11-15T11:48:14.555-0500 I CONTROL [initandlisten] modules: none
2017-11-15T11:48:14.556-0500 I CONTROL [initandlisten] build environment:
2017-11-15T11:48:14.557-0500 I CONTROL [initandlisten] distmod: 2008plus-ssl
2017-11-15T11:48:14.558-0500 I CONTROL [initandlisten] distarch: x86_64
2017-11-15T11:48:14.560-0500 I CONTROL [initandlisten] target_arch: x86_64
2017-11-15T11:48:14.562-0500 I CONTROL [initandlisten] options: {}
2017-11-15T11:48:14.576-0500 I CONTROL [initandlisten] Detected data files in C:\data\db\ created by the 'wiredTiger' storage engine, so setting
the active storage engine to 'wiredTiger'.
2017-11-15T11:48:14.580-0500 I STORAGE [initandlisten] wiredtiger_open config: create,cache_size=5579M,session_max=20000,eviction=(threads_min=
4,threads_max=4),config_base=false,statistics=(fast),log=(enabled=true,archive=true,path=journal,compressor=snappy),file_manager=(close_idle_tim
e=100000),checkpoint=(wait=60,log_size=2GB),statistics_log=(wait=0),
2017-11-15T11:48:16.481-0500 I CONTROL [initandlisten]
2017-11-15T11:48:16.483-0500 I CONTROL [initandlisten] ** WARNING: Access control is not enabled for the database.
2017-11-15T11:48:16.485-0500 I CONTROL [initandlisten] ** Read and write access to data and configuration is unrestricted.
2017-11-15T11:48:16.488-0500 I CONTROL [initandlisten]
```

Elaboración: Propia

- b. Unidad Terminal Remota (RTU): Está constituida por el dispositivo de adquisición de datos, en nuestro caso Arduino Mega, y por los sensores que intervinieron obteniendo las variables que nos interesan.

Figura 4.32: Fotografía Prototipo de Unidad Terminal Remota y sensores

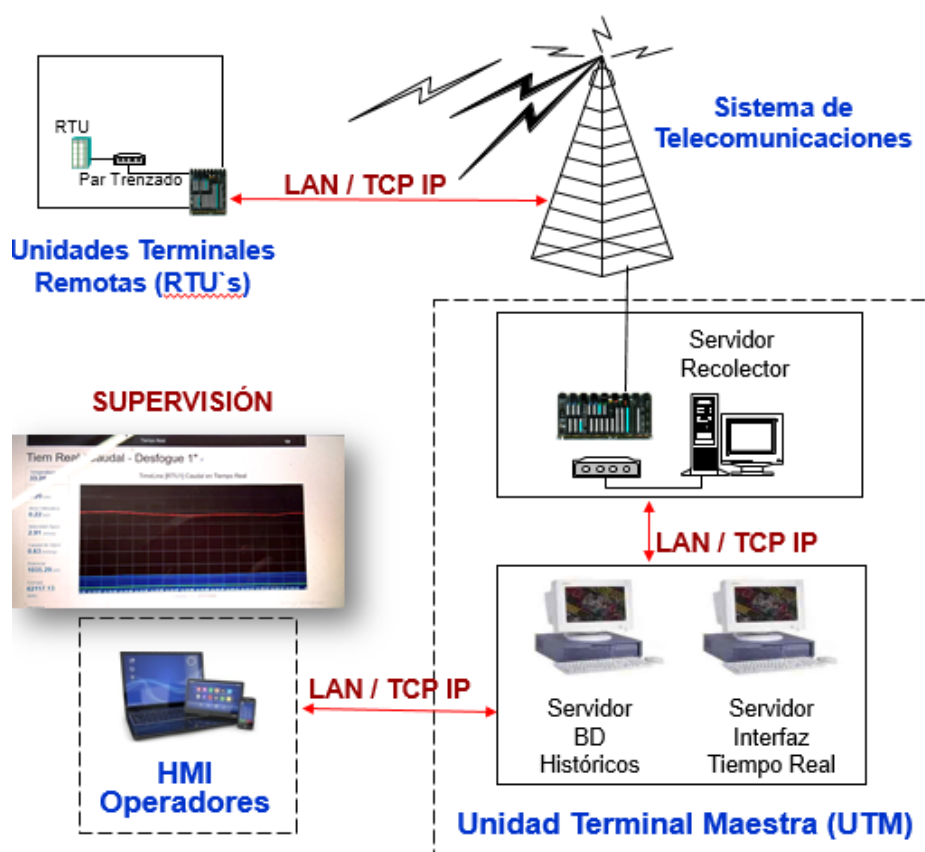


Elaboración: Propia

- c. HMI: Es la interfaz de usuario que se desarrolló en una plataforma web para que pueda ser accedido desde cualquier dispositivo móvil. En nuestro caso el aplicativo UPTIME HMI2.

La integración de los módulos se puede visualizar en la siguiente figura.

Figura 4.33: Arquitectura general modelo SCADA del prototipo de supervisión



Elaboración: Propia

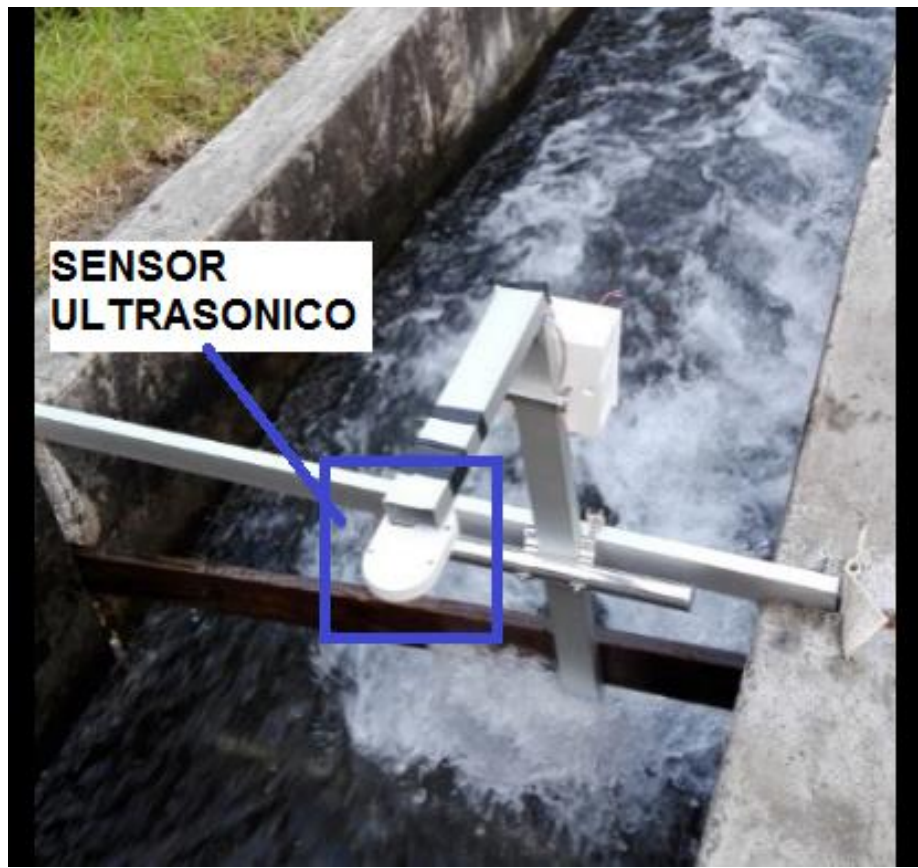
4.4. PRUEBAS Y RESULTADOS

4.4.1. Adquisición de datos (señales)

Mediante la hoja de recolección de datos se pudo identificar que antes de realizar las pruebas con el prototipo no se contaba con herramientas para la adquisición de datos sobre el caudal turbinado por los grupos turbina-generador.

Con la implementación del prototipo, mediante un dispositivo de adquisición de datos conectado a sensores se puede obtener datos de las variables involucradas; Caudal de agua que circula por el canal de desfogue. Se muestra a continuación la fotografía del canal con el prototipo.

Figura 4.34: Fotografía Prototipo RTU instalado en el canal de desfogue



Elaboración: Propia

Figura 4.35: Fotografía Conexión del prototipo RTU al Router



Elaboración: Propia

Las mediciones se realizaron con intervalos de cada minuto, sin embargo según procedimiento del COES (COES PR-18) para el presente cálculo se toman las mediciones del promedio de cada 15 minutos según la ecuación 4.5. El periodo de tiempo en el que se realizó las pruebas fue desde las 08 AM hasta 07 PM de fecha 14 de junio del año 2017.

Tabla 4.10: Caudal Turbinado tercer grupo turbina-generator.

FECHA	HORA	Caudal (m ³ /s)
14/06/2017	08:00	0.479
14/06/2017	08:15	0.468
14/06/2017	08:30	0.454
14/06/2017	08:45	0.419
14/06/2017	09:00	0.463
14/06/2017	09:15	0.467
14/06/2017	09:30	0.472
14/06/2017	09:45	0.439
14/06/2017	10:00	0.482
14/06/2017	10:15	0.439
14/06/2017	10:30	0.455
14/06/2017	10:45	0.498
14/06/2017	11:00	0.480
14/06/2017	11:15	0.507
14/06/2017	11:30	0.504
14/06/2017	11:45	0.483
14/06/2017	12:00	0.505
14/06/2017	12:15	0.493
14/06/2017	12:30	0.470
14/06/2017	12:45	0.452
14/06/2017	13:00	0.479
14/06/2017	13:15	0.492
14/06/2017	13:30	0.486
14/06/2017	13:45	0.459
14/06/2017	14:00	0.472
14/06/2017	14:15	0.366
14/06/2017	14:30	0.557
14/06/2017	14:45	0.590
14/06/2017	15:00	0.634
14/06/2017	15:15	0.652
14/06/2017	15:30	0.647
14/06/2017	15:45	0.638
14/06/2017	16:00	0.614
14/06/2017	16:15	0.625
14/06/2017	16:30	0.600
14/06/2017	16:45	0.615
14/06/2017	17:00	0.612
14/06/2017	17:15	0.635
14/06/2017	17:30	0.639
14/06/2017	17:45	0.595
14/06/2017	18:00	0.612
14/06/2017	18:15	0.621
14/06/2017	18:30	0.639
14/06/2017	18:45	0.586
14/06/2017	19:00	0.540
PROMEDIO		0.530

Elaboración: Propia

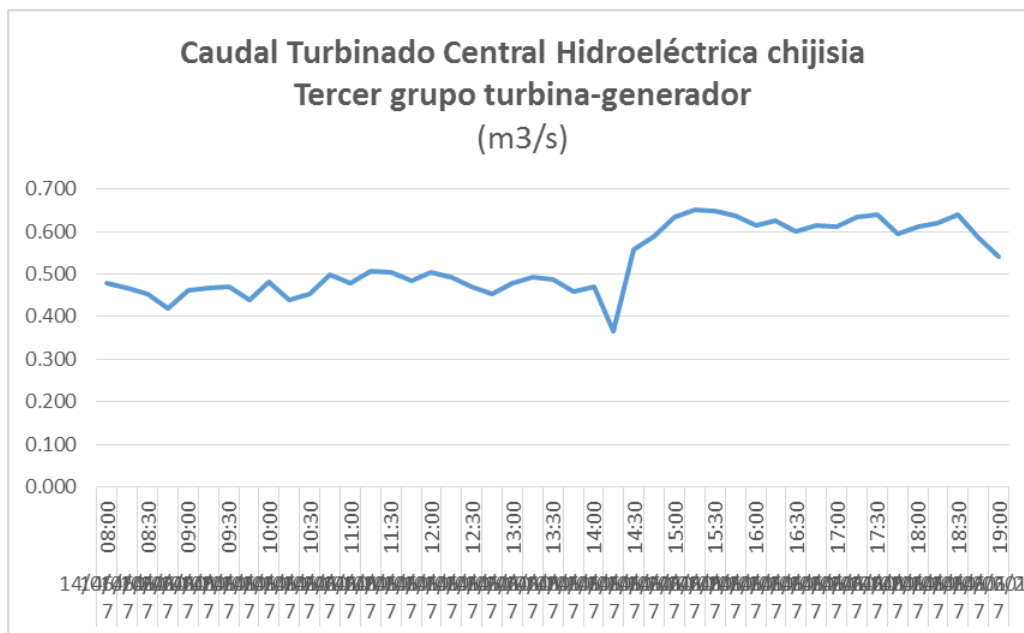
De la Tabla 4.9, obtenemos el caudal promedio turbinado por el tercer grupo turbina-generator de la central hidroeléctrica chijisia, igual a:

Ecuación 4.7 Calculo de Caudal nominal con valores

$$Q_t = \sum_{i=1}^n \frac{Q_{t_i}}{n} = 0.530 \text{ m}^3/\text{s} \dots \dots \dots (\text{Ecuación 4.7})$$

Con el caudal promedio hallado, en un mes la cantidad de agua que consume el tercer grupo turbina-generador es: $Q_t * 24 * 30 * 3600 = 1, 373,760 \text{ m}^3$.

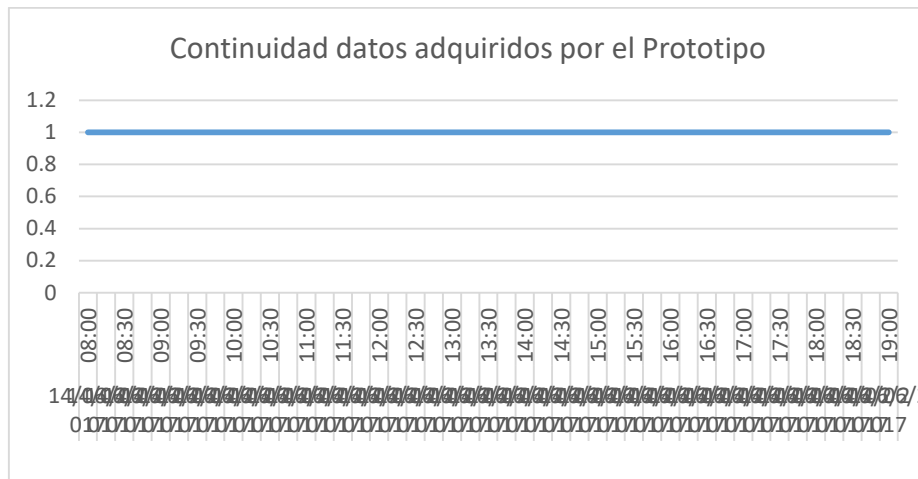
Grafico 4.1: Caudal Turbinado tercer grupo turbina-generador.



Elaboración: Propia

La continuidad de los datos adquiridos fueron óptimos, ya que no se perdió ningún valor enviado por el RTU lo que indica que posee una información continua de los datos de campo por lo que en caso de producirse una falla, como por ejemplo el aumento o disminución indebido del valor de la variable, en tiempo real se puede saber de su ocurrencia en sala de control para tomar las debidas acciones correctivas necesarias. En la siguiente grafica muestra los valores obtenidos durante el periodo de tiempo de las pruebas.

Grafico 4.2: Continuidad de datos adquiridos por el prototipo



Elaboración: Propia

4.4.2. Procesamiento de datos

Mediante la hoja de recolección de datos, se pudo comprobar que en una observación antes del prototipo los operadores de la central hidroeléctrica de Chijisia, registran datos de la potencia eléctrica de los grupos turbina-generador de forma manual y en hojas sueltas, lo que hace la tarea no eficiente.

Figura 4.36: Hoja de registro manual de generación eléctrica de los grupos turbina-generador

Hrs		TABLERO DEL GENERADOR										CUBICULO DE EXCITACIÓN				FRECUENCIA DE SERVICIO		TA
		R	S	T	KW	RS	ST	RT	C	I	KWH	A	KV	MEDIDOR	°C	HZ	R	AMP
01:00	92	92	91	600	4.06	4.06	4.01			0.95	32926835	4.2	3	57	60			
02:00	92	92	92	600	4.05	4.03	4.01			0.95	32923433	4.2	3	58	60			
03:00	92	92	92	600	4.05	4.03	4.0			0.95	32928091	4.2	3	59	60			
04:00	92	92	91	600	4.06	4.06	4.01			0.95	32928699	4.2	3	57	60			
05:00	92	92	91	600	4.06	4.02	4.02			0.95	32929307	4.2	3	54	60			
06:00	92	92	92	600	4.05	4.02	4.01			0.95	32929915	4.2	3	58	60			
07:00	92	92	92	600	4.06	4.06	4.01			0.95	32940524	4.2	3	58	60			
08:00	92	92	91	600	4.06	4.05	4.0			0.96	32941132	4.2	3	58	60			
09:00	92	92	91	600	4.05	4.06	4.01			0.95	32941740	4.2	3	57	60			
10:00	90	91	89	600	3.7	3.7	3.7			0.7	32942348	4.2	3	60	60			
11:00											32942956	4.2	3	60	60			

Elaboración: Propia

Con la puesta en prueba del prototipo, se puede registrar los datos en tiempo real, a continuación se realizara una comparación de datos registrados por el prototipo y datos registrados de manera manual para verificar la variabilidad de los datos.

Tabla 4.11: Registro de potencia eléctrica del tercer grupo turbina-generador

FECHA	HORA	Potencia (MW) Medidor Manual	Potencia (MW) Con Prototipo	Variabilidad
14/06/2017	08:00	0.86	0.94	8.92
14/06/2017	08:15	0.87	0.91	5.11
14/06/2017	08:30	0.87	0.89	1.89
14/06/2017	08:45	0.81	0.82	0.95
14/06/2017	09:00	0.82	0.90	10.21
14/06/2017	09:15	0.84	0.91	8.52
14/06/2017	09:30	0.84	0.92	9.66
14/06/2017	09:45	0.85	0.86	0.96
14/06/2017	10:00	0.86	0.94	9.42
14/06/2017	10:15	0.85	0.86	0.89
14/06/2017	10:30	0.88	0.89	0.93
14/06/2017	10:45	0.88	0.97	10.48
14/06/2017	11:00	0.88	0.94	6.58
14/06/2017	11:15	0.89	0.99	11.29
14/06/2017	11:30	0.89	0.98	10.67
14/06/2017	11:45	0.89	0.94	6.06
14/06/2017	12:00	0.89	0.99	10.91
14/06/2017	12:15	0.89	0.96	8.12
14/06/2017	12:30	0.88	0.92	4.41
14/06/2017	12:45	0.89	0.88	-0.69
14/06/2017	13:00	0.89	0.93	5.03
14/06/2017	13:15	0.89	0.96	8.08
14/06/2017	13:30	0.89	0.95	6.70
14/06/2017	13:45	0.90	0.90	-0.27
14/06/2017	14:00	0.92	0.92	0.17
14/06/2017	14:15	0.65	0.72	10.02
14/06/2017	14:30	1.01	1.09	7.68
14/06/2017	14:45	1.13	1.15	2.05
14/06/2017	15:00	1.15	1.24	7.74
14/06/2017	15:15	1.15	1.27	10.78
14/06/2017	15:30	1.15	1.26	9.94
14/06/2017	15:45	1.15	1.25	8.35
14/06/2017	16:00	1.15	1.20	4.33
14/06/2017	16:15	1.15	1.22	6.18
14/06/2017	16:30	1.15	1.17	1.88
14/06/2017	16:45	1.16	1.20	3.60
14/06/2017	17:00	1.16	1.20	3.11
14/06/2017	17:15	1.15	1.24	7.79
14/06/2017	17:30	1.15	1.25	8.56
14/06/2017	17:45	1.15	1.16	1.09
14/06/2017	18:00	1.14	1.20	4.93
14/06/2017	18:15	1.15	1.21	5.50
14/06/2017	18:30	1.15	1.25	8.54
14/06/2017	18:45	1.15	1.15	-0.38
14/06/2017	19:00	1.14	1.06	-7.43
PROMEDIO		0.98	1.03	
MAXIMO				11.29
MINIMO				-7.43

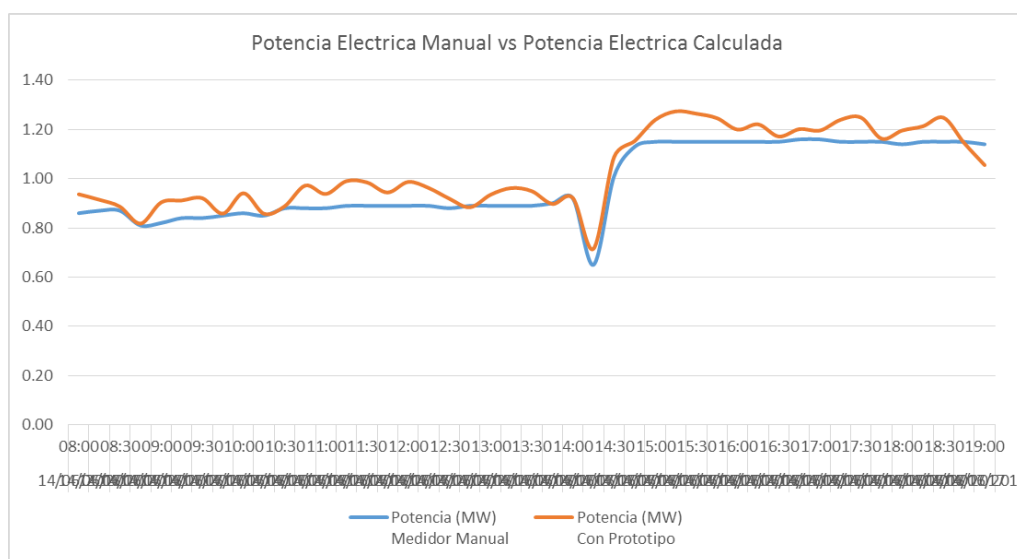
Elaboración: Propia

De la Tabla 4.11, obtenemos la potencia eléctrica del tercer grupo turbina-generador de la central hidroeléctrica de chijisa, siendo el promedio de:

Potencia Eléctrica Calculada Promedio= 1.03 MW

Los valores de la potencia eléctrica del tercer grupo turbina-generador obtenidos con el prototipo tienen una variabilidad dentro del rango de $\pm 11.29\%$, y considerando que el prototipo usa sensores de bajo costo con un rango de error de $\pm 10\%$ en el sensor de flujo, por lo que implica que este rango de error incide en los resultados para el cálculo del caudal.

Grafico 4.3: Potencia Eléctrica con registro manual vs prototipo



Elaboración: Propia

Aunque el rango de error está sobre los $\pm 11.29\%$, en la figura 4.40 se puede observar que se sigue la tendencia de la potencia generada obtenida de forma manual, en consecuencia, con el uso de sensores industriales cuyo rango de error es menor a $\pm 1.5\%$ la variabilidad de los datos bajará considerablemente.

Todos los valores de las variables son almacenados y se pueden recuperar para su posterior tratamiento en toma de decisiones.

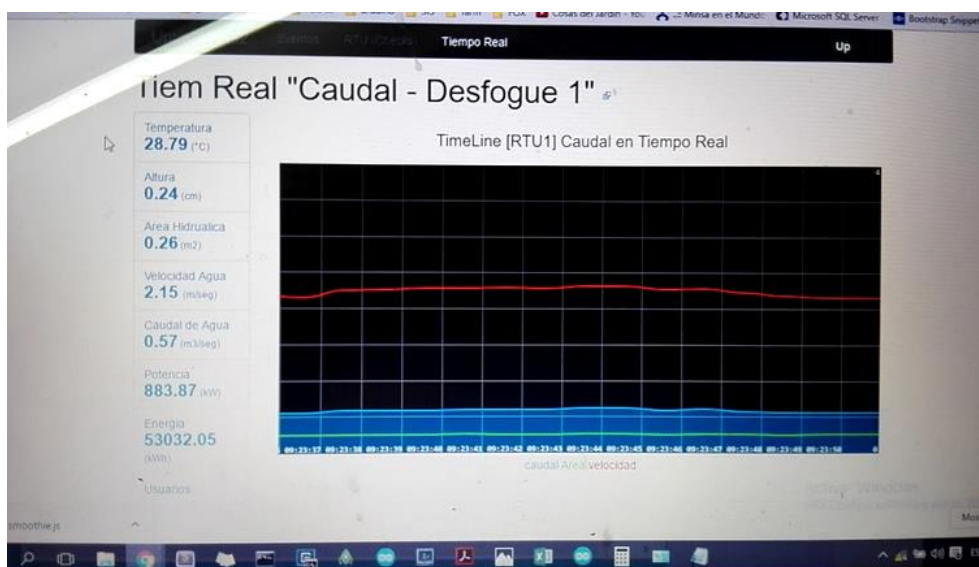
4.4.3. Panel de control (HMI)

Mediante la hoja de recolección de datos, se puede reconocer que no se cuenta con un panel HMI o aplicación similar que permita a los operarios supervisar el caudal de agua utilizada por las turbinas en la generación de energía eléctrica.

Mediante el panel HMI adaptado a partir de aplicaciones existentes, y luego de la capacitación a los operarios se pudo comprobar que el panel HMI es totalmente amigable y comprensible, además de ser de gran ayuda para los operarios en la tarea de llevar registros de operación de los grupos turbina-generator de la central hidroeléctrica de Chijisia. Significa también, un menor riesgo ante accidentes de trabajo para los operadores ya que no están en contacto directo con las máquinas.

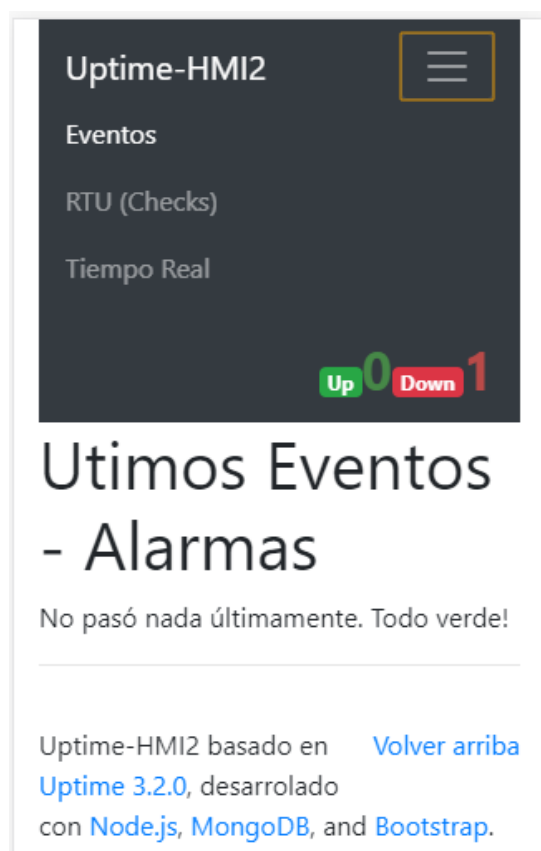
Finalmente se accedió al panel HMI desde distintos dispositivos móviles, en los cuales el Panel HMI se pudo visualizar y utilizar sin ningún inconveniente. Se utilizó las hojas de estilo CSS bootstrap para que el sistema sea amigable y responsivo para las pantallas de los dispositivos móviles. A continuación se muestra la captura de pantalla del panel HMI desde una laptop y un smarphone.

Figura 4.37: Captura de pantalla de panel HMI desde una Laptop



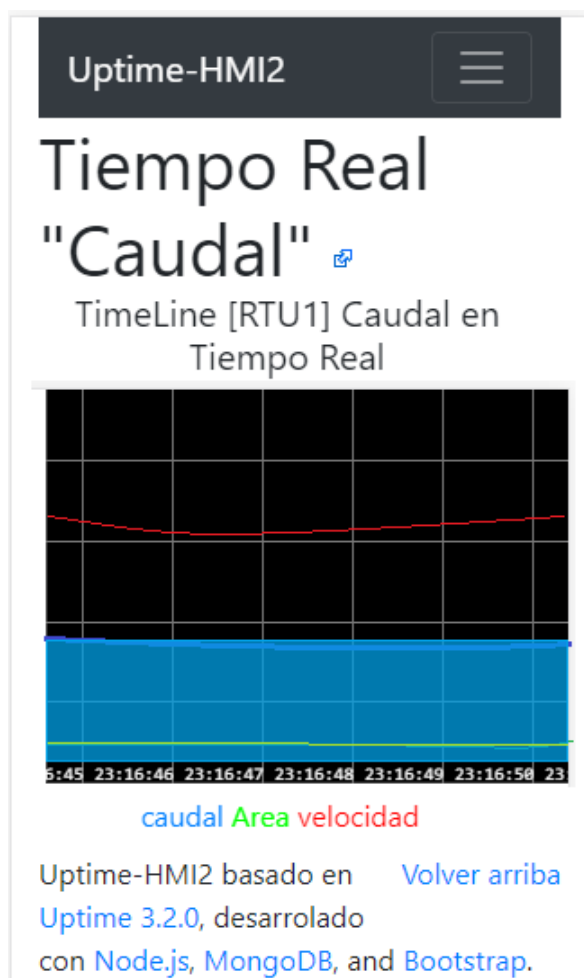
Elaboración: Propia

Figura 4.38: Captura de pantalla A de panel HMI desde un Smartphone



Elaboración: Propia

Figura 4.39: Captura de pantalla B de panel HMI desde un Smartphone



Elaboración: Propia

4.5. PRUEBA DE ENCUESTA

4.5.1. Resultado Encuesta Pre-test

Para conocer la situación actual sobre la supervisión del caudal de agua usado para la generación de energía eléctrica, se realizaron encuestas a los 8 trabajadores de la central hidroeléctrica de Chijisia, que son la muestra del presente trabajo. Los resultados se tabularon en el siguiente cuadro donde se muestra el puntaje y el promedio para cada pregunta.

Tabla 4.12: Resultados encuesta PRE TEST

PREGUNTA	CALIFICACION					Puntaje	Promedio
	MB	B	R	M	MM		
	5	4	3	2	1		
1.1. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para la adquisición de datos para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	0	0	1	3	1	10	1.25
1.2. ¿En qué medida es adecuado el periodo de muestreo de datos en tiempo real para la supervisión del caudal turbinado de agua utilizado para la generación de energía eléctrica?	0	0	0	3	2	8	1
1.3. ¿En qué medida es adecuado la continuidad de registro de datos para la supervisión del valor del caudal turbinado de agua utilizado para la generación de energía eléctrica?	0	3	4	1	0	26	3.25
1.4. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para el procesamiento de datos para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	0	1	3	4	0	21	2.625
1.5. ¿Cuál es la calificación para el procesamiento de datos en tiempo real para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	0	1	5	2	0	23	2.875
1.6. ¿Cuál es la calificación para acceder a la información histórica acerca del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	0	4	4	0	0	28	3.5
1.7. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para visualizar los datos para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	0	1	2	4	1	19	2.375
1.8. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para la supervisión móvil del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	0	0	0	3	5	11	1.375

Elaboración: Propia

4.5.2. Resultado Encuesta Post-test

Para medir el impacto una vez implementado el prototipo, se realizó una encuesta POST TEST sobre los mismos trabajadores de la muestra, donde en el siguiente cuadro se muestra el puntaje y el promedio de cada pregunta de indicador. Esta encuesta se encuentra en el anexo B.

Tabla 4.13: Resultados encuesta POST TEST

PREGUNTA	CALIFICACION					Puntaje	Promedio
	MB	B	R	M	MM		
	5	4	3	2	1		
1.1. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para la adquisición de datos para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	5	3	0	0	0	37	4.625
1.2. ¿En qué medida es adecuado el periodo de muestreo de datos en tiempo real para la supervisión del caudal turbinado de agua utilizado para la generación de energía eléctrica?	2	6	0	0	0	34	4.25
1.3. ¿En qué medida es adecuado la continuidad de registro de datos para la supervisión del valor del caudal turbinado de agua utilizado para la generación de energía eléctrica?	2	5	1	0	0	33	4.125
1.4. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para el procesamiento de datos para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	5	3	0	0	0	37	4.625
1.5. ¿Cuál es la calificación para el procesamiento de datos en tiempo real para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	3	5	0	0	0	35	4.375
1.6. ¿Cuál es la calificación para acceder a la información histórica acerca del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	1	5	2	0	0	31	3.875
1.7. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para visualizar los datos para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	5	3	0	0	0	37	4.625
1.8. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para la supervisión móvil del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	6	2	0	0	0	38	4.75

Elaboración: Propia

4.6. PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.6.1. Planteamiento de la hipótesis

Hipótesis NULA H_0 = El prototipo de sistema móvil de adquisición de datos para la supervisión del caudal de agua, no permite supervisar adecuadamente el caudal de agua

utilizada en la generación de energía eléctrica de la central hidroeléctrica de Chijisia-Sandia.

Hipótesis ALTERNA H_1 = El prototipo de sistema móvil de adquisición de datos para la supervisión del caudal de agua, si permite supervisar adecuadamente el caudal de agua utilizada en la generación de energía eléctrica de la central hidroeléctrica de Chijisia-Sandia.

$$H_0 = PA - PP \leq 0$$

$$H_A = PA - PP > 0$$

4.6.2. Nivel de significancia

El nivel de significancia (α) para la prueba de hipótesis será del 5%. Siendo $\alpha = 0,05$ (nivel de significancia) y $n-1 = 7$ grados de libertad (n = número de encuestados), se tiene el valor crítico de T de Student:

$$\text{Valor crítico: } t_{\alpha-0,05} = -1.895$$

4.6.3. Zona de rechazo

Como $\alpha = 0,05$ y $n-1 = 7$ grados de libertad, la región de rechazo consiste en valores de t menores que $t_{\alpha-0,05} = -1.895$

4.6.4. Estadístico de prueba

Para nuestra muestra de un total de 8 trabajadores, por la conveniencia es preferible aplicar la prueba T para validar la hipótesis, basándonos en las encuestas PRE TEST y POST TEST.

Tabla 4.14: Presentación de calificativos

ABREVIATURA	DESCRIPCION
MM	Muy buena
B	Bueno
R	Regular
M	Mala
MM	Muy Mala

Elaboración: Propia

Tabla 4.15: Definición de variables

ABREVIATURA	DESCRIPCION
PA _I	Puntuación sin Prototipo
PP _I	Puntuación con Prototipo
D _I	(PA _I – PP _I)
D _I ²	(PA _I – PP _I) ²

Elaboración: Propia

A continuación se muestra la contrastación entre el PRE TEST y POST TEST.

Tabla 4.16: Contrastación de encuesta PRE TEST y POST TEST

PREGUNTA	PA _I	PP _I	D _I	D _I ²
1.1. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para la adquisición de datos para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	1.25	4.63	-3.38	11.4
1.2. ¿En qué medida es adecuado el periodo de muestreo de datos en tiempo real para la supervisión del caudal turbinado de agua utilizado para la generación de energía eléctrica?	1	4.25	-3.25	10.6
1.3. ¿En qué medida es adecuado la continuidad de registro de datos para la supervisión del valor del caudal turbinado de agua utilizado para la generación de energía eléctrica?	3.25	4.13	-0.88	0.77
1.4. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para el procesamiento de datos para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	2.63	4.63	-2	4
1.5. ¿Cuál es la calificación para el procesamiento de datos en tiempo real para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	2.88	4.38	-1.5	2.25
1.6. ¿Cuál es la calificación para acceder a la información histórica acerca del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	3.5	3.88	-0.38	0.14
1.7. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para visualizar los datos para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	2.38	4.63	-2.25	5.06
1.8. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para la supervisión móvil del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?	1.38	4.75	-3.38	11.4
SUMATORIA	18.3	35.3	-17	45.6

Elaboración: Propia

De acuerdo a los resultados de las encuestas PRETEST y POSTEST, considerando la sumatoria del puntaje ideal a 320 que representaría una supervisión de un grado del 100%, se calcula el grado de supervisión que se tenía sin el prototipo con puntaje 146 que representa el 46%, y con la ayuda del prototipo se obtiene un puntaje de 282 que equivale a un 88%. Entonces se concluye que el grado de supervisión del caudal de agua utilizada en la generación de energía eléctrica con la ayuda del prototipo mejora en un 43%.

a) Procesamiento de datos

Diferencia de promedios:

Reemplazando en la Ecuación 4.8 tenemos:

Ecuación 4. 8 Reemplazo de valores en diferencia de promedios - 1

$$\bar{D} = \frac{-17}{8} \dots\dots\dots(\text{Ecuación 4.8})$$

Ecuación 4. 9 Reemplazo de valores en diferencia de promedios - 2

$$\bar{D} = -1.59 \dots\dots\dots(\text{Ecuación 4.9})$$

Desviación Estándar:

Reemplazando en la Ecuación 4.10 tenemos:

Ecuación 4. 10 Reemplazo de valores en desviación estándar - 1

$$S_D^2 = \frac{8 \cdot 45.6 - (-17)^2}{8(8-1)} \dots\dots\dots(\text{Ecuación 4.10})$$

Ecuación 4. 11 Reemplazo de valores en desviación estándar - 2

$$S_D^2 = 1.35 \dots\dots\dots(\text{Ecuación 4.11})$$

Calculo de T:

Reemplazando en la Ecuación 4.12 tenemos:

Ecuación 4.12 Reemplazo de valores en cálculo de T student - 1

$$t = \frac{-1.59\sqrt{8}}{\sqrt{1.35}} \dots\dots\dots(\text{Ecuación 4.12})$$

Ecuación 4. 13 Reemplazo de valores en cálculo de T student - 2

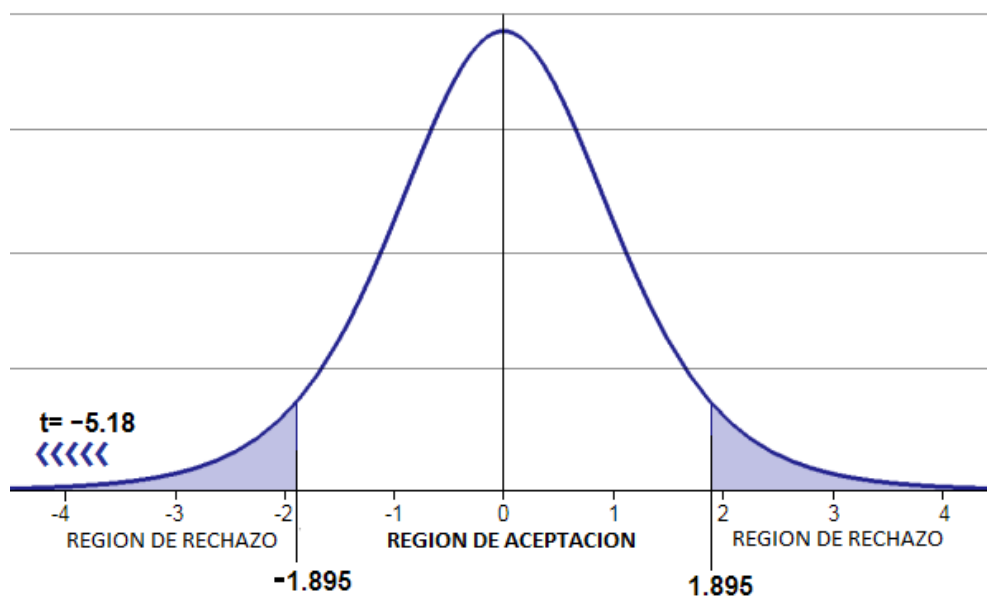
$$t = -5.18 \dots\dots\dots(\text{Ecuación 4.13})$$

El nivel de significancia (α) escogido para la prueba es de 5%. Siendo $\alpha = 0.05$ y 7 grados libertad, se tiene el valor T tabulado:

Resultados de muestras independientes:

T calculado = -5,18

Grafico 4. 4: Contrastación de la prueba de hipótesis estadística



Elaboración: Propia

4.6.5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Como T calculado es $-5.18 < t_0 = -1.895$ (tabular), estando el valor dentro de la región de rechazo, se concluye que $P_A - P_P < 0$, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa por lo tanto, con el nivel de error el 5% (nivel significancia de 0.05) se concluye que con prototipo de sistema móvil de adquisición de datos para la supervisión del caudal de agua, si permite supervisar adecuadamente el caudal de agua utilizada en la generación de energía eléctrica de la central hidroeléctrica de Chijisia-Sandia.

CONCLUSIONES

PRIMERO: Se comprobó en base a los resultados e indicadores estadísticos que, con la implementación de un prototipo de sistema móvil de adquisición de datos se logra supervisar el caudal de agua utilizado en la generación de energía eléctrica en la central hidroeléctrica de Chijisia–Sandia en un 88% mejor que la supervisión manual que solo brindaba un 46% de supervisión según los datos de las técnicas de recolección de información. La construcción del prototipo se realizó en base a la metodología de descomposición del trabajo en fases (WBS) por su flexibilidad y facilidad para especificar en forma escalonada el trabajo, de esta manera se logró realizar una integración exitosa entre hardware y software.

SEGUNDO: Se realizó el análisis de requerimientos de gestión que permitió identificar 5 requisitos funcionales y 6 no funcionales, el análisis permitió también reconocer dos señales o variables del sistema físico que fueron obtenidos a través de sensores y una tarjeta de adquisición de datos de bajo coste para la supervisión del caudal de agua utilizado en la Central Hidroeléctrica de Chijisia-Sandia.

TERCERO: Se realizaron las tareas para la construcción del prototipo las cuales permitieron diseñar el modelo de procesamiento de datos del prototipo bajo una metodología por fases que cumple con los requerimientos del sistema. Mediante la metodología de desglose del trabajo por fases se obtuvieron; las técnicas de procesamiento de datos a través de un filtro digital de media móvil, las técnicas de almacenamiento de datos a través del modelo de base de datos Mongo DB y las técnicas de comunicación de datos a través del protocolo Ethernet para supervisar la potencia generada de energía eléctrica de la Central Hidroeléctrica de Chijisia-Sandia.

CUARTO: Se realizó la implementación de codificación de los módulos del panel HMI o Interfaz Hombre-Máquina que permitió supervisar el caudal, la potencia eléctrica y la producción energética sobre diversos dispositivos móviles. La integración de los módulos del prototipo se realizó en base a la arquitectura de un sistema SCADA. Se realizaron pruebas en diferentes dispositivos móviles como son una laptop y un Smartphone no teniendo dificultades para su operación por los operadores de la central hidroeléctrica.

QUINTO: Se determinó que, con el prototipo de sistema móvil de adquisición de datos el grado de supervisión de la cantidad de agua utilizada en la generación de energía eléctrica de la central hidroeléctrica de Chijisia-Sandia mejora un 43% frente a su supervisión manual sin la ayuda del prototipo de acuerdo a los datos de las técnicas de medición del presente proyecto, ya que se puede acceder a la información en tiempo real y recuperar información histórica para su posterior análisis sin la necesidad de desplazarse físicamente hasta los equipo en la planta. Se encontró que el uso de sensores de bajo coste de un rango de error de $\pm 10\%$ produce una variabilidad de $\pm 11.29\%$ en comparación con la potencia eléctrica registrada por un medidor manual, sin embargo esto se reducirá con el uso de un sensor industrial cuyo rango de error es menor a $\pm 1.5\%$.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Realizar un estudio analítico para adaptar el esquema de construcción del prototipo basado en metodologías y estándares de la automatización industrial cuyo objetivo principal es la implementación de un prototipo o un sistema SCADA.

SEGUNDA: Realizar el estudio constante de nuevos modelos de procesamiento de datos para la mejora de los diferentes procesos que se tienen en la central hidroeléctrica.

TERCERO: Realizar un estudio sobre la caracterización de los distintos módulos de panel control HMI de licencia propietaria y licencias libres en base a estándares de la industria de automatización.

CUARTO: Realizar un estudio que determine la confiabilidad de la señal obtenida con la integración del prototipo siguiente la arquitectura SCADA para profundizar la investigación obtenida.

BIBLIOGRAFÍA

Acebal, Mariño. (1995). TRATAMIENTO DIGITAL DE LA SEÑAL - UNA INTRODUCCIÓN EXPERIMENTAL. Barcelona, José B., Edit. UPC.

Aguirre Zapata, David (2013). *DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA PARA USO EN PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS*. Tesis para obtener el título de ingeniero Industrial y de Sistemas. Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura, Perú.

Bolton, W. (2001). MECATRÓNICA – SISTEMAS DE CONTROL ELECTRÓNICO EN INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA, Barcelona, Seg. Edit., Edit. Alfaomega.

Cañar Ramírez, Andrés Humberto. (2009). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA PENÍNSULA*. Tesis para optar el título en ingeniería. Departamento de eléctrica y electrónica. Escuela politécnica del ejército, Ecuador.

COES PR-18. Procedimiento técnico del comité de operación económica del SEIN: DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA EFECTIVA DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS (2017), Aprobado por Osinergmin mediante Resolución N° 203-2017-OS/CD, publicada en el diario oficial “El Peruano” el 29.09.2017, vigente a partir del día siguiente de su publicación.

Colomer J., Melendez J. y Ayza J. (2000). *SISTEMAS DE SUPERVISIÓN. Introducción a la monitorización y supervisión experta de procesos*. España: Cetisa Boixareu.

Domínguez Mateos, F., Paredes Velasco, M. y Santacruz Valencia, L. (2014).

Programación multimedia y dispositivos móviles. RA-MA Editorial.

Galindo Quispe, John Armando. (2015). Diseño e implementación de un sistema de control y supervisión distribuido multiplataforma utilizando el entorno de programación delphi y firebird. *Universidad Nacional del Altiplano*. Recuperado en 22 de noviembre de 2017, de www.repositorio.unap.pe.

Gavilán, J., Hermosilla, A., López, J., Ojeda, A. y Vallejos, W. (2009). *MINI CENTRALES HIDROELÉCTRICAS*. Hidráulica General. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Gomariz, Espartacus. Viel, Domingo. Jose, Matas. Miguel, Reyes. (1998). *TEORÍA DE CONTROL – diseño electrónico*. Barcelona. Alfaomega, editores UPC.

Guzmán Solano, Carlos Alejandro. (2011). *DISEÑO DE SISTEMAS SCADA CON CONEXIÓN A BASES DE DATOS, VISUALIZACIÓN Y CONTROL EN DISPOSITIVOS MÓVILES*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGRAW-HILL.

Hueso Ibañez, Luis. (2014). *Base de Datos: Grado Superior*. RA-MA Editorial.

Kuo, Benjamín C. (2006). *SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO*. México. Edit. Prentice Hall.

Luis Eduardo, Garcia Jaimes. (2009). CONTROL DIGITAL, TEORÍA Y PRACTICA.
Medellin. Edit. Prentice Hall.

Memoria anual 2014 Electro Puno S.A.A. (2014).

MINEM (2014). PLAN ENERGÉTICO NACIONAL 2014-2025. Dirección general de
eficiencia energética, Ministerio de Energía y Minas.

Oliva Alonso, Nuria (2013). *Redes de Comunicaciones Industriales*. Universidad
Nacional de Educación a Distancia. Madrid: UNED Editorial.

Oyanes Aguilar, L. (2016). BIG DATA, Análisis de grandes volúmenes de datos en
organizaciones. MARCOMBO, S.A.

Ramírez Vásquez, José. (1995). *CENTRALES HIDROELÉCTRICAS*. *Enciclopedia
CEAC de electricidad*. España: Ediciones CEAC.

Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial 00 (2011) 1–8.
Aplicaciones Exitosas de Control Inteligente a Casos Reales.

Roberts, Michael J. (2005). SEÑALES Y SISTEMAS – análisis mediante métodos de
transformada y MATLAB. Mexico: McGraw-Hill Interamericana editores.

Rodríguez Penin, Aquilino. (2008). COMUNICACIONES INDUSTRIALES - Guía
Práctica, primera edición, mayo 2008, MACOMBO S.A.

Rodríguez Penin, Aquilino. (2008). SISTEMAS SCADA. MACOMBO Editorial (2da
Edición).

Rubén J. Fusario, Patricia S. Crotti, Andrés P. M. Bursztyn, Omar O. Civale. (2012).

TEORÍA DE CONTROL PARA INFORMÁTICOS. Buenos Aires, Argentina:

Alfaomega Grupo Editor (1era Edición).

Salaverry, L. (2000). Curso de Estadística Básica. Salto, Uruguay: Universidad de la

República.

ANEXOS

Anexo 1: Encuesta PRE TEST

ENCUESTA PARA TESIS

1. **Objetivo:** El objetivo de la presente encuesta es identificar el proceso de registro y supervisión de datos referentes al caudal turbinado de agua utilizado para la generación de energía eléctrica en el grupo turbina-generator en estudio:
2. **Datos del encuestado:**
 Nombres y apellidos:
 Cargo:
3. **Marque con una aspa (X) la respuesta que considere apropiada de las siguientes preguntas:**
 - 3.1. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para la adquisición de datos para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?
 a) Muy Buena b) Buena c) Regular d) Mala e)Muy Mala
 - 3.2. ¿En qué medida es adecuado el periodo de muestreo de datos en tiempo real para la supervisión del caudal turbinado de agua utilizado para la generación de energía eléctrica?
 a) Muy Buena b) Buena c) Regular d) Mala e)Muy Mala
 - 3.3. ¿En qué medida es adecuado la continuidad de registro de datos para la supervisión del valor del caudal turbinado de agua utilizado para la generación de energía eléctrica?
 a) Muy Buena b) Buena c) Regular d) Mala e)Muy Mala
 - 3.4. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para el procesamiento de datos para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?
 a) Muy Buena b) Buena c) Regular d) Mala e)Muy Mala
 - 3.5. ¿Cuál es la calificación para el procesamiento de datos en tiempo real para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?
 a) Muy Buena b) Buena c) Regular d) Mala e)Muy Mala
 - 3.6. ¿Cuál es la calificación para acceder a la información histórica acerca del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?
 a) Muy Buena b) Buena c) Regular d) Mala e)Muy Mala
 - 3.7. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para visualizar los datos para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?
 a) Muy Buena b) Buena c) Regular d) Mala e)Muy Mala
 - 3.8. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para la supervisión móvil del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?
 a) Muy Buena b) Buena c) Regular d) Mala e)Muy Mala

Anexo 2: Encuesta POST TEST**ENCUESTA PARA TESIS**

1. **Objetivo:** El objetivo de la presente encuesta es identificar el proceso de registro y supervisión de datos referentes a la generación de energía eléctrica: los datos que son objeto del estudio son: Caudal turbinado, Potencia energética y producción energética.
2. **Datos del encuestado:**
Nombres y apellidos:
Cargo:
3. **Marque con una aspa (X) la respuesta que considere apropiada de las siguientes preguntas:**
 - 3.1. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para la adquisición de datos para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?
a) Muy Buena b) Buena c) Regular d) Mala e)Muy Mala
 - 3.2. ¿En qué medida es adecuado el periodo de muestreo de datos en tiempo real para la supervisión del caudal turbinado de agua utilizado para la generación de energía eléctrica?
a) Muy Buena b) Buena c) Regular d) Mala e)Muy Mala
 - 3.3. ¿En qué medida es adecuado la continuidad de registro de datos para la supervisión del valor del caudal turbinado de agua utilizado para la generación de energía eléctrica?
a) Muy Buena b) Buena c) Regular d) Mala e)Muy Mala
 - 3.4. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para el procesamiento de datos para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?
a) Muy Buena b) Buena c) Regular d) Mala e)Muy Mala
 - 3.5. ¿Cuál es la calificación para el procesamiento de datos en tiempo real para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?
a) Muy Buena b) Buena c) Regular d) Mala e)Muy Mala
 - 3.6. ¿Cuál es la calificación para acceder a la información histórica acerca del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?
a) Muy Buena b) Buena c) Regular d) Mala e)Muy Mala
 - 3.7. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para visualizar los datos para supervisar el valor del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?
a) Muy Buena b) Buena c) Regular d) Mala e)Muy Mala
 - 3.8. ¿En qué medida es adecuado las herramientas actuales para la supervisión móvil del caudal turbinado de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?
a) Muy Buena b) Buena c) Regular d) Mala e)Muy Mala

Anexo 3: Ficha de observación

FICHA DE OBSERVACION PARA TESIS

1. Datos del observador:

Nombres y apellidos:

Cargo:

Modelo:

- a) Sin Prototipo de sistema móvil de adquisición de datos
- b) Con prototipo sistema móvil de adquisición de datos

2. Fecha y Hora de observación:

Fecha: ____/____/____

Hora: ____:____:____

3. Caudal turbinado:

Variable	Modelo	
	a) Sin Prototipo	b) Con prototipo
Volumen de Agua (m3/s)		

4. Potencia energética generada:

Variable	Modelo	
	a) Sin Prototipo	b) Con prototipo
Potencia energética (kW)		

5. Producción energética

Variable	Modelo	
	a) Sin Prototipo	b) Con prototipo
Producción energética (kWh)		

Anexo 4: Hoja de recolección de datos**HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA TESIS****1. Datos del observador:**

Nombres y apellidos:

Cargo:

2. Modelo:

- a) Sin Prototipo de sistema móvil de adquisición de datos
- b) Con prototipo sistema móvil de adquisición de datos

3. ¿Registra los volúmenes de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?

- a) Si
- b) No

4. Si la respuesta anterior fue: a) SI:

¿Cómo realiza el registro la Registra los volúmenes de agua utilizada para la generación de energía eléctrica?

5. ¿Realiza procesamiento de datos sobre potencia energética generada por las turbinas?

- a) Si
- b) No

6. Si la respuesta anterior fue: a) SI:

¿Cómo realiza el procesamiento de datos sobre potencia energética generada por las turbinas?

7. ¿Realiza procesamiento de datos sobre volumen de agua usada, potencia generada y producción energética?

- a) Si
- b) No

8. Si la respuesta anterior fue: a) SI:

¿Cómo realiza el procesamiento de datos sobre volumen de agua usada, potencia generada y producción energética?

Anexo 5: Características técnicas del grupo turbina-generator

El grupo turbina-generator del ensayo es el tercer grupo de año de fabricación del 2007 e implementada en el año 2014 según la Memoria anual 2014 Electro Puno S.A.A.

Datos técnicos de la turbina

Tabla D.1
Características de la Turbina

Descripción	Turbina 3
Nombre	TURBINA HIDRAULICA.
Tipo	PELTON
Eje	HORIZONTAL
Salto (m)	220.05
Caudal Diseño (m ³ /seg)	0.66
Potencia (kW)	1200
Rendimiento	0.95
Velocidad (rpm)	600

Datos técnicos del generador

Tabla D.2
Características del Generador

Descripción	Grupo 3
Nombre	GENERADOR ELECTRICO
Modelo	SFW1200-12/1730
Tipo de generador	Trifásico
Capacidad Nominal (kVA)	1500
Potencia Nominal (kW)	1200
Voltaje Nominal (V)	4160
Frecuencia (Hz)	60
Corriente Nominal (A)	208.2
Velocidad Nominal (rpm)	600
Rendimiento	0.9526
Numero de fases	3

Anexo 6: Especificaciones técnicas sensor de flujo

YIFA the plastics Ltd
Product Introduction

1. Modle: YF-DN50
 2. Product name: Hall sensor
 3. Flow Range: 300L/M
 4. (1) Connexion Method:

(2) Voltage Range 3.5-24VDC, Pulse Characteristic: F=7Q(L/MIN).
 (3) Extent of error ±5%.
 (4) Flow-Pulse
 2L/MIN=16HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ
 8L/MIN=65.5HZ 10L/MIN=82HZ

5. Bom

N°	Item	Material	Qty.
1	Connection wire		1
2	Bonnet	PA	1
3	Screw		4
4	Valve body	PA	1
5	Leak press valve		1
6	Magnet		1
7	Hall		1
8	Impeller	POM	1
9	Rustless Steel axis	SUS304	1

Flow-Pulse	Flow-Curve	Connection method																
- Flow Range: 100L/H-/1800H-L/H																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Flow (L/H)</th> <th>Freqq. (HZ)</th> <th>Error range</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>120 L/H</td> <td>16</td> <td rowspan="6" style="text-align: center; vertical-align: middle;">± 10</td> </tr> <tr> <td>240 L/H</td> <td>32.5</td> </tr> <tr> <td>360 L/H</td> <td>49.3</td> </tr> <tr> <td>480 L/H</td> <td>65.5</td> </tr> <tr> <td>600 L/H</td> <td>82</td> </tr> <tr> <td>720 L/H</td> <td>90.2</td> </tr> </tbody> </table>	Flow (L/H)	Freqq. (HZ)	Error range	120 L/H	16	± 10	240 L/H	32.5	360 L/H	49.3	480 L/H	65.5	600 L/H	82	720 L/H	90.2		<p>Connection method:</p>
Flow (L/H)	Freqq. (HZ)	Error range																
120 L/H	16	± 10																
240 L/H	32.5																	
360 L/H	49.3																	
480 L/H	65.5																	
600 L/H	82																	
720 L/H	90.2																	

Anexo 7: Especificaciones técnicas sensor ultrasónico

www.AccuDIY.com

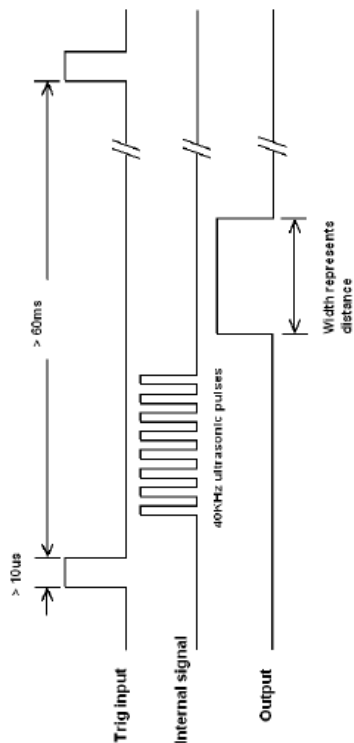


Fig. 4

- Notes:
1. The width of trig signal must be greater than 10us
 2. The repeat interval of trig signal should be greater than 60ms to avoid interference between connective measurements.

Specifications

Parameters	Specification
Operating Voltage	+5V DC
Operating Current	15mA
Operating Frequency	40KHz
Maximum Distance	400cm
Minimum Distance	2cm
Detect Angle	15 degree
Resolution	0.3cm
Input Trig Signal	>10us TTL pulse
Output Signal	TTL pulse with width representing distance
Weight	
Dimension	45 x 20 x 15 mm

Copyright 2011 AccuDIY.com All rights reserved

HC-SR04 Ultrasonic Range Finder Manual

Features

- Distance measurement range: 2cm - 400cm
- Accuracy: 0.3cm
- Detect angle: 15 degree
- Single +5V DC operation
- Current consumption: 15mA



Fig. 1

How It Works

HC-SR04 consists of ultrasonic transmitter, receiver, and control circuits. When triggered it sends out a series of 40KHz ultrasonic pulses and receives echo from an object. The distance between the unit and the object is calculated by measuring the traveling time of sound and output it as the width of a TTL pulse.

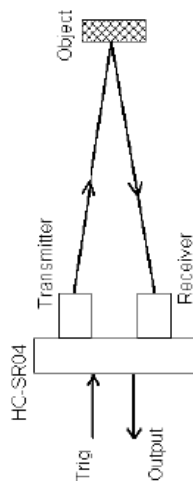


Fig. 2

How To Use It

To measure distance you need to generate a trig signal and drive it to the Trig Input pin. The trig signal level must meet TTL level requirements (i.e. High level > 2.4V, low level < 0.8V) and its width must be greater than 10us. At the same time you need to monitor the Output pin by measuring the pulse width of output signal. The detected distance can be calculated by the formula below.

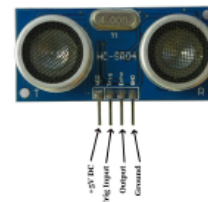


Fig. 3

$$\text{Distance} = \frac{\text{Pulse Width} * \text{Sound Speed}}{2}$$

where the pulse width is in unit of second and sound speed is in unit of meter/second. Normally sound speed is 340m/s under room temperature.

Anexo 8: Especificaciones técnicas Arduino Mega

Technical Specification

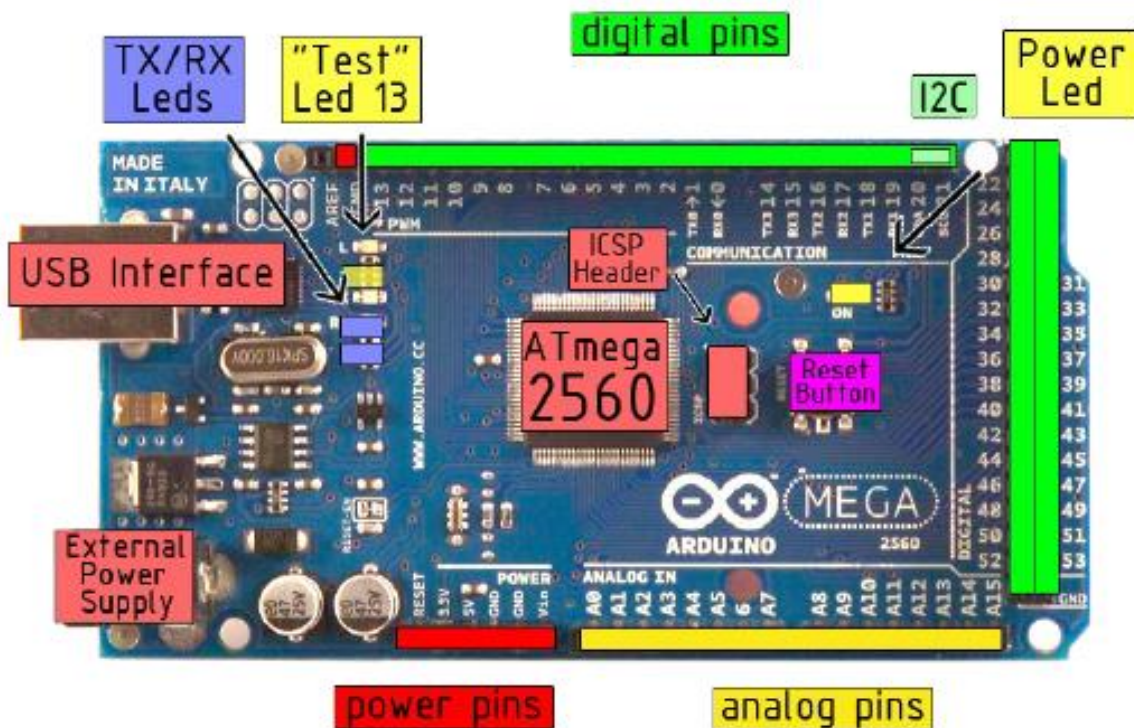


EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



Power

The Arduino Mega2560 can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically. External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the ATmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip .
- **External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2).** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 0 to 13.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Duemilanove and Diecimila.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
- **I²C: 20 (SDA) and 21 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I²C pins on the Duemilanove.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and [analogReference\(\)](#) function.

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Mega's digital pins.

The ATmega2560 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega2560 datasheet.

Programming

The Arduino Mega2560 can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The Atmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

