



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PRÁCTICA PROFESIONAL

CONTROL DE OPERACIÓN EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

AGUAS VIVAS

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO EN ENERGÍA

PRESENTADO POR:

11621078 VICTOR ALEJANDRO VELASQUEZ FONSECA

ASESOR METODOLÓGICO: ING. RAFEL AGUILAR

CAMPUS TEGUCIGALPA; JUNIO, 2022

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Irene Fonseca y Alejandro Velasquez, por los enormes sacrificios y esfuerzos que han hecho para proveerme de las mejores posibilidades para tener una educación de calidad, por su paciencia y ánimos durante los momentos más difíciles y por el mejor testimonio y ejemplo de su parte para luchar por los objetivos y metas propuestas.

Por último, a Enrique Chinchilla, Arnaldo Palma, Mauro Delloro y Rigoberto Chacón, socios de los proyectos hidroeléctricos Peña Blanca y Aguas Vivas, por abrirme sus puertas para poder realizar mi práctica profesional.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento es un informe detallado sobre las actividades, trabajos y estudios realizados en la práctica profesional en la empresa Sociedad Hidroeléctrica Aguas Vivas, desarrollando un papel como ingeniero de control en el Departamento de Control y Operación en la central hidroeléctrica Aguas Vivas. En esta área, el objetivo es mantener una generación de energía eléctrica fiable y eficiente a mínimo coste con ayuda del monitoreo del estado de las maquinas, aplicación de nuevas tecnologías de información y comunicación y planes de mantenimiento preventivos y correctivos.

La práctica tuvo comienzo con una primera visita para conocer las instalaciones, el recorrido de la tubería, la casa de maquinas y sus diversos componentes de automatización. Para las siguientes visitas a la central se realizaron estudios para comprender el proceso de automatización con sus sensores, controladores y actuadores y el funcionamiento de las turbinas Kaplan. Adicionalmente se tomaron cursos para agilizar el aprendizaje en la automatización industrial, programación de PLCs, y manejo de TIA Portal y se generaron reportes sobre la potencia producida en el año en curso. Finalmente, se propuso soluciones ante los problemas encontrados durante la práctica como alternativas a la adquisición de datos del PLC y gestión de datos con tableros visuales interactivos e incluso.

Palabras clave: automatización industrial, PLC, TIA Portal, Kaplan

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Hoja de Firmas	4
I. Introducción.....	11
II. Generalidades de la Empresa.....	12
2.1 Descripción de la Empresa	12
2.2 Descripción del Departamento.....	12
2.3 Objetivos de Puesto.....	12
2.3.1 Objetivo General	12
2.3.2 Objetivos Específicos.....	13
III. Marco Teórico.....	14
3.1 Energía Hidráulica (Hidroeléctrica).....	14
3.1.1 Principales componentes de una central hidroeléctrica	14
3.1.2 Turbinas tipo Kaplan.....	16
3.1.3 Turbina tipo axial tubular.....	17
3.2 Ingeniería de Control y Automatización	19
▪ Diseñan y gestionan toda la maquinaria involucrada en el proceso de producción.	19
3.2.1 Teoría de Control.....	20
3.2.2 Automatización industrial.....	21
3.2.3 Propósito de la Automatización Industrial.....	22

3.2.4 Automatización industrial Basada en Computadora.....	24
3.2.5 Introducción a los Controladores Lógicos Programables (PLC).....	24
3.2.5.1 Estructura de un sistema de PLC.....	25
3.2.5.2 Arquitectura Modular de un PLC.....	26
3.2.6 Programación de los Controladores Lógicos Programables.....	27
3.2.7 Programación de los Controladores Lógicos Programables.....	27
3.2.8 Protocolos de Comunicación Industriales.....	29
3.3 Cuarta Revolución Industrial – Industria 4.0.....	30
3.3.1 Cuarta Revolución Industrial.....	30
3.3.2 Pilares de la Industria 4.0.....	31
3.3.3 Aplicaciones Tecnológicas de la IloT.....	32
IV. Desarrollo.....	34
4.1 Descripción del Trabajo Desarrollado.....	34
4.2 Cronograma de actividades.....	37
V. Conclusiones.....	38
VI. Recomendaciones.....	40
VII. Bibliografía.....	42
Anexos.....	44

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Turbina Kaplan	17
Ilustración 2. Turbina axial tipo tubular o tipo "S" que opera como una Kaplan de eje horizontal.	18
Ilustración 3. Ejemplo 3D del esquema turbina-generador implementado en Aguas Vivas	18
Ilustración 4. Sistema de Control, un valor requerido en la variable de entrada y un valor deseado en la variable de salida	20
Ilustración 5. Elementos básicos para un sistema automatizado	23
Ilustración 6. Sistema de un PLC	25
Ilustración 7. Arquitectura Modular de un PLC.....	26
Ilustración 8. Ejemplo del Lenguaje Ladder para programación de PLCs	28
Ilustración 9. Ejemplo de Lenguaje FBD	28
Ilustración 10. Servicio Inteligente, ejemplo de Mantenimiento Predictivo	32

LISTA DE SIGLAS Y GLOSARIO

PLC	Controlador Lógico Programable
HMI	Interfaz del Humano con la Maquina
SCADA	Supervisión, Control y Adquisición de Datos
W	Watt o vatio, unidad derivada coherente del Sistema Internacional para la potencia
kW	Mil unidades de watts
E/S	Entradas y salidas analógicas o digitales
ET 200 SP	Tipo de controlador lógico programable modular
IIoT	Internet Industrial de las Cosas (Industrial Internet of Things)
TIA Portal: Totally Integrated Automation Portal – software para integración y programación de automatización de la marca SIEMENS	
Kaplan: nombre que se le da al tipo de turbina hidráulica de flujo axial, de acción y admisión total.	
Aprendizaje Automático: subcampo de ciencias de computación y rama de inteligencia artificial cuyo objetivo es desarrollar sistemas que aprenden o mejoran el rendimiento en función de los datos que consumen.	
Python: lenguaje de programación de propósito general.	

I. INTRODUCCIÓN

Hoy gracias a la digitalización y las nuevas posibilidades de comunicación existe un mercado enorme para la automatización de centrales hidroeléctricas. La puesta en servicio de nuevas instalaciones y la modernización de instalaciones existentes que van quedando obsoletas refuerza aún más esta tendencia. La digitalización en la Industria 4.0 y sus pilares como la automatización, la conexión en red, servicios de nube y el big data van a jugar un papel decisivo para la industria. En las mini y micro centrales se encuentran soluciones sencillas con un mínimo número de componentes que cumplen varias funciones al mismo tiempo y con la ayuda de interfaces de ingeniería y métodos de comunicación fáciles de usar para el control operativo con muy poco personal son un requisito para el desarrollo y factibilidad de estos proyectos. De lo anterior, implica un reto para los nuevos ingenieros en Energía adaptarse a los cambios en la industria energética ya que la tecnología seguirá desarrollándose y abriendo nuevas oportunidades y formas de gestionar los recursos renovables y no renovables.

Este informe contiene el desarrollo de las actividades que se realizarán durante el período de práctica profesional en la central hidroeléctrica Aguas Vivas ubicado en el sector de Peña Blanca, Cortés. En el transcurso de la práctica se llevarán a cabo actividades como estudios de automatización industrial, cuáles son los componentes de la automatización en la central Aguas Vivas y como es su funcionamiento. Además, se analizarán los recursos bibliográficos y material adicional referente al tema de la automatización para apoyar en capacitaciones al personal de la planta con el fin de que puedan tener una mayor capacidad de gestión en la planta sobre los diversos componentes como la turbina, el generador, la unidad hidráulica y con ayuda de la recopilación de datos poder elaborar modelos matemáticos para pronósticos de producción de potencia y generación de energía con ayuda de herramientas de tecnología de la información. También, se buscaran soluciones y mejoras a los problemas identificados durante la estancia en el proyecto hidroeléctrico.

II. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La central hidroeléctrica Aguas Vivas se encuentra ubicada en el sector de Peña Blanca, municipio de Santa Cruz de Yojoa, Cortés. Es un proyecto formado por la Sociedad Hidroeléctrica Aguas Vivas con el propósito de ampliar la generación de energía renovable en Honduras a través del aprovechamiento hidráulico de las cuencas y ríos que pasan por el sector de Peña Blanca, abasteciendo de energía eléctrica a la comunidad. La planta fue fundada en 2019 y tiene una capacidad 500 kW, opera con una turbina Kaplan y posee un salto neto de 12 metros. El motivo del proyecto hidroeléctrico fue por la oportunidad de aprovechar el agua turbinada proveniente de la Central Peña Blanca.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL DEPARTAMENTO

El Departamento de Control en la central hidroeléctrica Aguas Vivas es el encargado de la gestión del proceso de generación de energía eléctrica de la central con el fin de que la turbina, el generador, la unidad hidráulica de potencia y los sistemas de control automáticos operen de forma óptima y en buen estado. Además, se encarga del monitoreo del nivel de agua en la boca toma, el estado de las maquinas y el registro de la generación de potencia y energía constantemente.

2.3 OBJETIVOS DE PUESTO

2.3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar nuevas técnicas para el control de operación en la planta en base a los conceptos de la automatización industrial y los avances de la cuarta revolución industrial o Industria 4.0 y ampliar la capacidad de interacción de los operarios con el sistema automático de control.

2.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Recopilar y analizar los datos históricos de los sensores y potencia producida para generación de reportes semanales para analizar en conjunto con los operarios con gráficos para una visualización amigable.
2. Uso de datos históricos de la producción de potencia para elaborar modelos de pronóstico de producción de la planta a corto plazo utilizando técnicas de aprendizaje automático con ayuda de las tecnologías disponibles en la planta y si es necesario proponer posibles alternativas para mejorar la gestión de los procesos de operación de la planta con la analítica de datos.
3. Estudiar la programación básica de PLC, HMI con TIA Portal de Siemens para comprender e interpretar correctamente el sistema utilizado para el control de las maquinas en la planta.
4. Realizar capacitaciones a los operarios para ampliar sus facultades en el manejo y comprensión de los sistemas de control (PLC, pantalla HMI y SCADA)

III. MARCO TEÓRICO

3.1 ENERGÍA HIDRÁULICA (HIDROELÉCTRICA)

La fuerza del agua en movimiento es uno de los recursos energéticos renovables más empleados. Más del 20 por ciento de la electricidad del mundo se origina en las centrales hidroeléctricas. La energía eléctrica que se puede obtener a partir de este recurso depende de los cauces de agua y los desniveles de terreno de una zona.

El principio de la obtención de energía eléctrica por medio del movimiento del agua no es más que una conversión de energía, de cinética a mecánica y de mecánica a eléctrica. Para lograrlo se aprovecha un desnivel para conducir el fluido hacia una instalación situada más abajo. En ella se hace pasar el agua a gran presión por una turbina, provocando un movimiento rotatorio. A partir de la rotación de un rotor electromagnético impulsado por la turbina, se induce la tensión en los paquetes de bobinas del estator, que es una pieza que contiene un electroimán encargado de crear el campo magnético fijo y en la cual se produce la electricidad. Finalmente, de las terminales o bornes del estator es posible extraer energía eléctrica. Realizado este proceso, el agua se devuelve al río y se normaliza su curso (EPEC, s/f).

Por lo tanto, la función de una central hidroeléctrica es utilizar la energía potencial almacenada del agua y/o la energía cinética del movimiento hidráulico y convertirla en energía eléctrica. Esta transformación de energía se logra por medio de la captación de agua de los cauces o ríos, la cual es conducida por tuberías hasta la turbina. Al pasar el agua por la turbina a una determinada velocidad provoca un movimiento de rotación al chocar con los alabes y este hace rotar un eje conectado al generador donde se transforma finalmente en energía eléctrica. Se puede decir que una central hidroeléctrica involucra obras de ingeniería de carácter civil, mecánico, eléctrico, electrónico e incluso de la información.

3.1.1 PRINCIPALES COMPONENTES DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

Se pueden dividir en dos grupos. El primero está compuesto por las obras y equipamientos dedicados al almacenamiento, captación y encaminamiento del agua, tales como el embalse, la represa, la toma de agua, los rebosaderos, rejillas y la tubería forzada. El segundo está conformado por las

instalaciones dentro de la casa de máquinas, tales como las turbinas hidráulicas, generadores, alternadores, unidades hidráulicas de potencia, sistemas eléctricos, sensores y paneles de control (De Ingenierías, 2019). Dentro de los principales componentes se pueden mencionar los siguientes:

- Represas: es una estructura cuya función principal es retener y almacenar grandes cantidades de agua y tienen como propósito crear un salto de agua (diferencia de altura) para lograr esa energía potencial para lograr altas potencias y también se permite contar con un embalse para controlar el empleo de agua.
- Toma de agua: es el punto donde el agua ingresa al conducto, generalmente tuberías forzadas, y posteriormente será dirigida a la casa de máquinas.
- Tuberías forzadas: conocidos también como canales de derivación, conducen el agua hasta la casa de máquinas para impulsar las turbinas hidráulicas.
- Turbina hidráulica: Una turbina está compuesta básicamente por una serie de álabes fijos (distribuidor), y otra de álabes móviles (rueda, rodete, rotor). Dicha turbina se compone de tres partes diferentes, donde el fluido va atravesando sucesivamente: el distribuidor, el rodete y el difusor (Reyes & Espitia, 2018). Los alabes son los encargados de recibir la presión del agua y de esta manera hacer girar su eje, este movimiento de rotación es transmitido al generador eléctrico. La selección de la turbina depende de las características del salto de agua, presiones y otros parámetros y las más conocidas son: Pelton, Francis y Kaplan. Los tipos de turbinas se pueden dividir de la siguiente manera:
 - Turbinas de acción: Son aquellas en las que la incidencia del flujo del agua y el sentido de giro del rodete coinciden con el punto en el que se produce el choque del agua sobre los alabes, por lo tanto, el fluido de trabajo no sufre cambios considerables de presión a su paso a través del rodete.
 - Turbinas de reacción: son aquellas en las que el fluido de trabajo si sufre un cambio de presión importante en su paso a través del rodete (Suarez, s/f).

- Generador eléctrico: es el componente encargado de la transformación de la energía rotacional del eje a energía eléctrica posee componentes como el rotor y estator, los cuales, mediante dicha rotación son capaces de producir fuerza electromotriz.
- Transformadores: son equipos que pueden elevar o disminuir la fuerza electromotriz producida por el generador. En una central hidroeléctrica es utilizado generalmente para ampliar el voltaje o fuerza electromotriz del generador.

3.1.2 TURBINAS TIPO KAPLAN

Turbina de flujo axial, de reacción y de admisión total, su principal característica es que cuenta con un rodete que contiene álabes regulables, su función es controlar la componente tangencial de la velocidad a la entrada del rodete, en consecuencia el fluido sale de los álabes directores (distribuidor) y entra en la rueda con un momento angular adquirido (Reyes & Espitia, 2018).

Gracias a sus álabes orientables tanto en el rodete como en el distribuidor, se puede operar con muy buena eficiencia dentro de un rango amplio de caudales debido a su doble regulación. También se puede encontrar turbinas Kaplan con álabes fijos o llamadas también turbinas de hélice, con ellos se logra una reducción significativa de costos, pero se reduce la eficiencia, especialmente a cargas parciales.

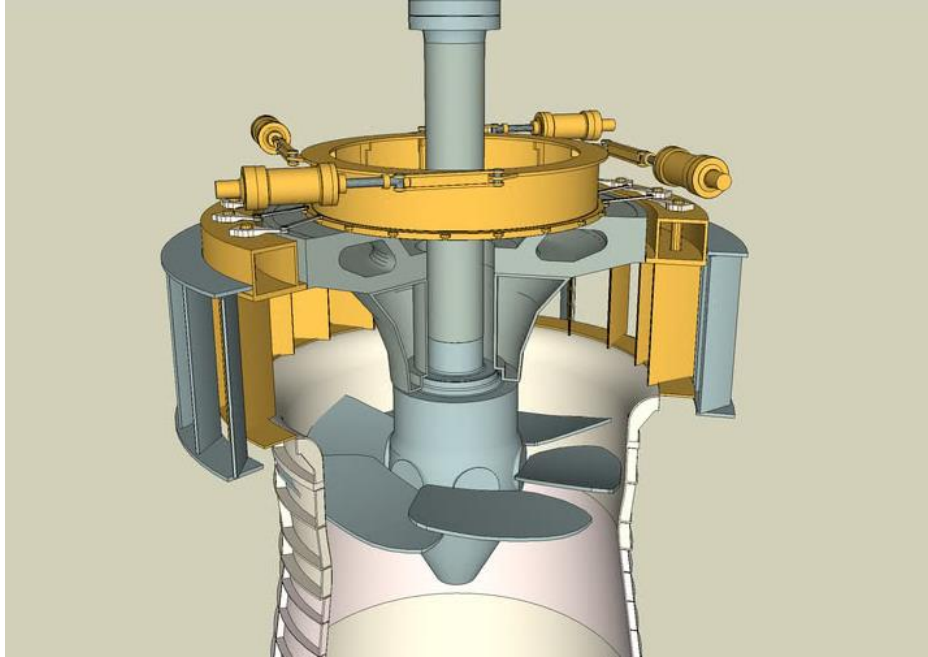


Ilustración 1. Turbina Kaplan

Fuente: (Sullivann C., 2014)

3.1.3 TURBINA TIPO AXIAL TUBULAR

Turbina que tiene un rodete tipo Kaplan y un distribuidor tipo Fink adaptado al flujo axial, en vez de la cámara espiral posee una carcasa cilíndrica o también de forma troncocónica de sección convergente. Su característica principal es la extensión del eje de la turbina hasta la sala de máquinas para que accione el generador. Esta turbina llamada también tipo "S" es aplicada a bajas caídas y además puede tener álabes fijos o regulables.

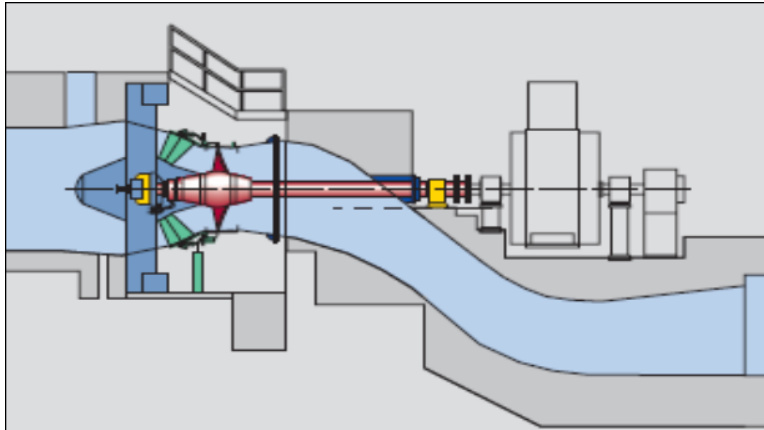


Ilustración 2. Turbina axial tipo tubular o tipo "S" que opera como una Kaplan de eje horizontal.

Fuente: (Reyes & Espitia, 2018)

A continuación, se presenta un ejemplo de esquema de la Central Hidroeléctrica Aguas Vivas, se utiliza una turbina Kaplan y un generador de 500 kW de potencial nominal diseñados por la empresa austriaca KOCHENDÖRFER.

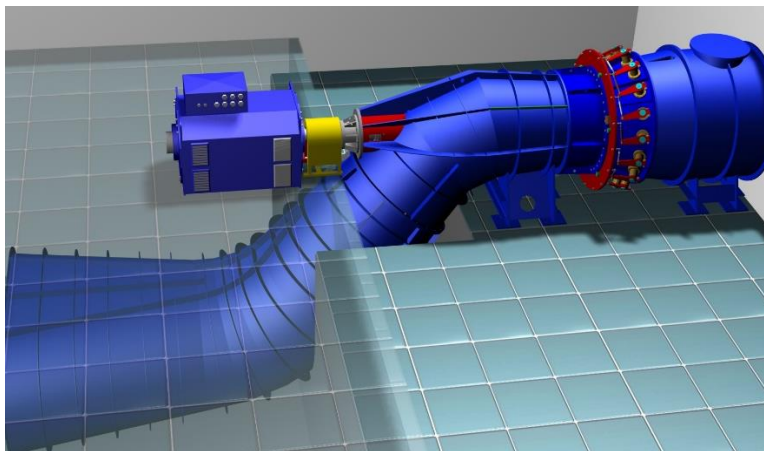


Ilustración 3. Ejemplo 3D del esquema turbina-generador implementado en Aguas Vivas

Fuente: (WTW-Polonia, s/f)

3.2 INGENIERÍA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

Hay muchísimos sistemas integrados en una central hidroeléctrica y en el caso de Aguas Vivas, un proyecto hídrico reciente, la integración de la automatización en el control de las diversas máquinas de la central implica una mejora en la eficiencia del proceso de generación de energía, pero una tarea con un mayor desafío para las personas en el entendimiento no solo del proceso de generación de energía sino también del proceso de control. Los ingenieros y el personal de automatización y control:

- Diseñan y gestionan toda la maquinaria involucrada en el proceso de producción.
- Utilizan la tecnología para mejorar, mejorar y automatizar el proceso de producción, reduciendo así los recursos humanos necesarios.
- Sus diversas responsabilidades incluyen planificar, implementar y supervisar todos los procesos desarrollados por ellos. Necesitan saber cómo integrar todas las soluciones de software y hardware que ayudan a la automatización de procesos.
- Las funciones que un ingeniero de control y automatización puede desempeñar pueden ser:
 - Descubrir el potencial de automatización en el proceso de software/hardware
 - Proyección e implementación de medidas de instrumentos, sensores y algoritmos.
 - Participar en la planificación y diseño de soluciones de automatización
 - Estandarización y verificación de control de calidad
 - Pruebas de bases de datos, sistemas, redes, hardware, etc.
 - Instalar bases de datos y/o automatizar aplicaciones clave.
 - Utilizar consolas de automatización e interfaces PLC para desarrollar proyectos de automatización.

3.2.1 TEORÍA DE CONTROL

Antes de introducir el concepto de control y sistemas de control se define un sistema como una disposición de piezas dentro de unos límites que funcionan conjuntamente para proporcionar algún tipo de resultado a partir de una entrada o entradas específicas. La frontera divide el sistema del entorno y el sistema interactúa con el entorno mediante señales que cruzan la frontera desde el entorno hacia el sistema, es decir, las entradas, y señales que cruzan la frontera desde el sistema hacia el entorno, es decir, las salidas (Bolton, 2002).

Al considerar los dispositivos como sistemas, podemos concentrarnos en lo que hacen y no en su funcionamiento interno. Así, si conocemos la relación entre la salida y la entrada de un sistema, podemos saber cómo se comportará, ya sea un sistema mecánico, neumático, hidráulico, eléctrico o electrónico. Por lo tanto, los sistemas de control se definen como sistemas que se utilizan para mantener un resultado o valor deseado. Un termostato de habitación es un ejemplo de controlador, que controla el sistema de calefacción para dar la temperatura ambiente deseada, encendiendo o apagando el calefactor para reducir el error entre la temperatura real y la deseada. Otro ejemplo de un controlador es el distribuidor de una turbina hidráulica ya que regula el paso del agua hacia el rodete para dar la potencia máxima con la mayor eficiencia posible.

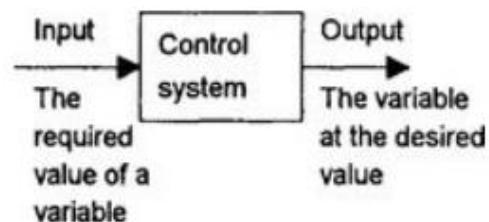


Ilustración 4. Sistema de Control, un valor requerido en la variable de entrada y un valor deseado en la variable de salida

Fuente: (Bolton, 2002)

3.2.2 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Existen las diferencias en los significados fundamentales entre los conceptos de control automático y automatización industrial. El control automático puede definirse como el control continuo de una variable física analógica mediante la utilización de cualquier tipo de actuadores, mientras que la automatización industrial se refiere al control secuencial o digital ON-OFF de los dispositivos de dos estados. Entre los dispositivos discretos, también se ha incluido un dispositivo de control de tiempo continuo en el sistema industrial, con el fin de presentar el concepto general de que, en un sistema de control industrial, múltiples unidades de control de tiempo continuo pueden integrarse y actuar de forma cooperativa con el resto de las unidades de control de automatización (Manesis & Nikolakopoulous, 2018).

En el caso de los procesos de control industrial (procesos por lotes), existen múltiples variables de proceso que, aunque nos gustaría tenerlas fijadas en valores constantes, presentan variaciones aleatorias, principalmente debidas a múltiples perturbaciones externas durante las fases de producción. La reducción y eliminación de estas variaciones puede lograrse mediante la aplicación adecuada de los principios de control automático. En muchos casos, también es deseable que una variable del proceso altere el valor de consigna de uno existente convergente a otro punto de funcionamiento, mientras que ciertas especificaciones suelen ser modificadas para lograr esta transición, por ejemplo, un tiempo de transición corto o lento, un cambio de esfuerzo de control mínimo, un bajo rebasamiento durante la alteración del punto de consigna, una convergencia corta, etc. Este problema también puede ser abordado por la teoría de control automático y mediante la aplicación de los enfoques teóricos y aplicados existentes, por ejemplo, la teoría del control proporcional-integral-diferencial (PID).

A diferencia de los principios de control automático, la teoría de la automatización industrial se centra en variables físicas y máquinas que se encuentran en uno o dos estados, por ejemplo, "existe o no un líquido", "la presión ha alcanzado el valor deseado o no", o "el pistón de aire comprimido se ha extendido o no". Por otra parte, la automatización industrial se refiere a los dispositivos, máquinas y circuitos y, en general, a las máquinas electrónicas, electromecánicas y electroneumáticas integradas, cuyo principio de funcionamiento se describe mediante la lógica

booleana y las correspondientes interconexiones secuenciales entre las etapas de producción. En el campo de la automatización, la acción de control está restringida por la aplicación de actuadores de dos estados, por lo que la acción de control aplicada sólo puede tener los valores específicos de ON-OFF.

3.2.3 PROPÓSITO DE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

La era industrial inició con los esfuerzos por automatizar las instalaciones industriales existentes como forma de mejorar la calidad de los productos fabricados y los volúmenes de producción globales. En contra de lo que se suele pensar, la automatización industrial no es un descubrimiento del pasado reciente, sino que es tan antigua como la propia industria. Desde el principio, el diseñador de un sistema de producción industrial ha intentado conseguir un funcionamiento lo más autónomo posible, siempre basado en las herramientas instrumentales disponibles. Los procesos de producción industrial iniciales han basado su funcionamiento en los ojos, las manos y el cerebro de los trabajadores, como alternativas a los sensores, actuadores y unidades informáticas contemporáneas. Todas las operaciones automatizadas actuales de los procesos industriales se basan en estos tres factores. A través de los sensores, se recogen las señales y mediciones necesarias del proceso controlado, como se muestra en la figura

A través de la evolución de múltiples tecnologías relacionadas y a través de los desarrollos en el campo del control analógico y discreto en la era de los microprocesadores y PLCs, se produjo una transición desde la automatización industrial centralizada a pequeña escala, a una descentralizada y a gran escala, controlada por numerosos PLCs distribuidos, capaces de sincronizar múltiples procesos industriales. La descentralización de la automatización industrial se dio gracias a la introducción de las redes industriales (“industrial networking” en inglés). Los elementos básicos de un sistema automatizado son los siguientes:

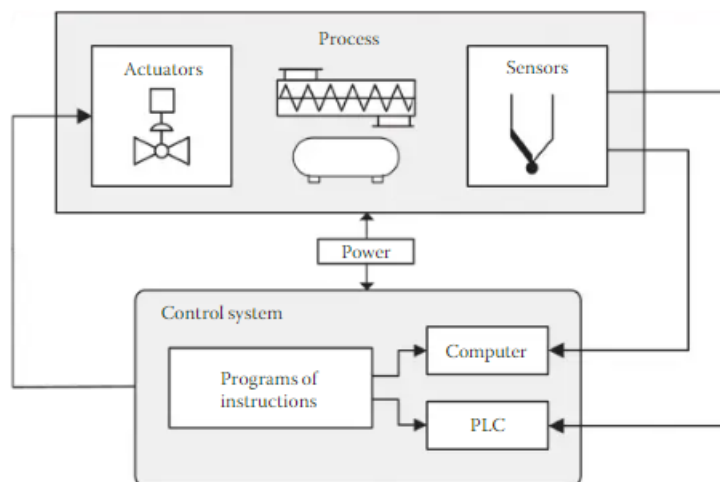


Ilustración 5. Elementos básicos para un sistema automatizado

Fuente: (Manesis & Nikolakopoulos, 2018)

Una motivación fundamental para la automatización de un proceso industrial es que la viabilidad de la empresa, y en particular el beneficio empresarial en términos de utilidad puede lograrse a través de los siguientes objetivos

- Aumento de la producción
- Reducción de costes, principalmente por la reducción de los costes humanos
- Mejora de la calidad del producto

Además, otros beneficios pueden surgir a partir de la automatización de procesos industriales, tales como, crecimiento de la seguridad en la planta y reducción de la contaminación ambiental. No obstante, los objetivos de la automatización industrial suelen ser difíciles de alcanzar por varias razones, como las limitaciones inherentes a la planta, los costes de implantación y la situación general del mercado. A pesar de estas dificultades, la automatización industrial ha experimentado un desarrollo continuo desde el punto de vista de las herramientas y los métodos de control. En consecuencia, los avances en materia de automatización y control han hecho posible el desarrollo de procesos más amplios y complejos de diversa índole (por ejemplo, refinado de petróleo y gas, química, farmacia, alimentación y bebidas, agua y aguas residuales, pasta y papel, minería,

siderurgia, cemento, etc.), lo que ha aportado numerosas ventajas tecnológicas y económicas nuevas.

3.2.4 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL BASADA EN COMPUTADORA

La tarea de controlar un proceso industrial ha evolucionado mucho en los últimos años, partiendo de una operación completamente manual, continuando en la era del control analógico y la automatización de bajo nivel, y llegando recientemente a un enfoque de control y automatización totalmente basado en la informática.

Hoy en día, un sistema de control y automatización industrial, desde el punto de vista del hardware, es un término general que engloba varios tipos de dispositivos digitales, como ordenadores personales industriales (I-PC), controladores lógicos programables (PLC), controladores de automatización programables (PAC), PLC integrados y otros controladores digitales específicos. Además, las grandes configuraciones de sistemas de control y automatización incluyen plataformas de software y hardware, como los subsistemas de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), los subsistemas de control distribuido (DCS) y los subsistemas de comunicación industrial. Los PLC se han diseñado específicamente para aplicaciones de control y automatización industrial, se caracterizan por una gran durabilidad operativa y están equipados con un hardware de E/S digital y analógico reconfigurable que puede ajustarse específicamente a las necesidades de la aplicación actual. Los PLC se consideran la primera opción de los ingenieros de automatización, sobre todo si se comparan con los clásicos ordenadores personales destinados a un funcionamiento más doméstico

3.2.5 INTRODUCCIÓN A LOS CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC)

Un PLC ,siglas de "programmable logic controller" (controlador lógico programable),es una máquina electrónica programable diseñada para ser utilizada en un entorno industrial (considerado hostil), que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario para implantar unas soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencias, temporizaciones ,conteos y funciones aritméticas con el fin de controlar mediante entradas y salidas, digitales y analógicas diversos tipos de máquinas o

procesos (IEC 61131-1:2003 | IEC Webstore | water automation, water management, smart city, s/f).

3.2.5.1 Estructura de un sistema de PLC

Un sistema PLC tiene los componentes funcionales básicos de la unidad de procesamiento, la memoria de las entradas, la memoria de la salida, la unidad de alimentación, la sección de interfaz de entrada/salida, la interfaz de comunicaciones y el dispositivo de programación (Bolton, 2015). La literatura muestra de diversas maneras los elementos que componen un PLC ya que están basados en diferentes fabricantes, pero a nivel general todos comparten una CPU, una interfaz de entrada con su respectiva memoria, memoria de programa, interfaz de salida con su respectiva memoria y sus módulos de entrada y salida.

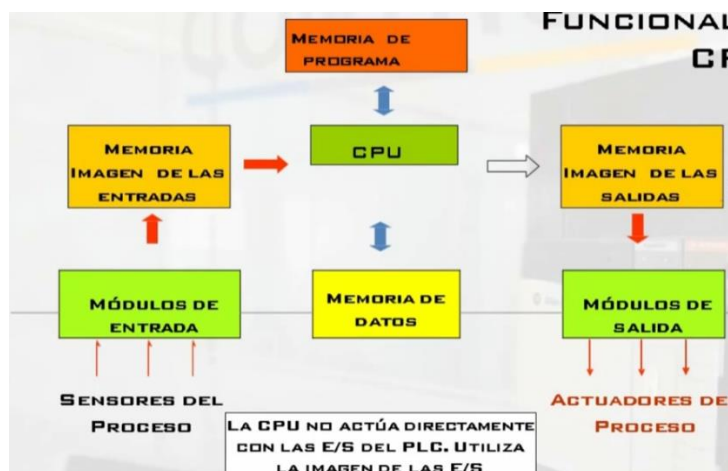


Ilustración 6. Sistema de un PLC

Fuente: (Altamirano, 2022)

- La CPU, unidad central de procesamiento, interpreta las señales de entrada y realiza las acciones de control según el programa almacenado en su memoria, comunicando las decisiones como señales de acción a las salidas. Ejecuta el programa del usuario, el cual es realizado previamente a través de la consola de programación y almacenado en la memoria de programa. Renueva el estado de las salidas en función de la imagen de estas obtenidas al final del ciclo de ejecución del programa, a través de las señales de las entradas.

- Memoria del Programa: contiene el programa del usuario que el PLC debe ejecutar de manera cíclica.
- Memoria de Datos: contiene información actualizada de temporizadores, contadores.
- Memoria de imagen de entradas y salidas: almacena las ultimas señales tanto las leídas en la entrada como las enviadas a la salida actualizándolas tras cada ejecución completa del programa (Altamirano, 2022).
- La fuente de alimentación es necesario para convertir el voltaje de corriente alterna de la red eléctrica a la baja tensión continua necesaria para el procesador y los circuitos de los módulos de interfaz de entrada y módulos de interfaz de entrada y salida.

3.2.5.2 Arquitectura Modular de un PLC

Hay muchos casos en la industria en los cuales un sistema de PLC se divide en varios módulos ya que en el proceso industrial se cuenta con un número muy elevado de señales E/S de sensores y actuadores. En este tipo de casos se separan los módulos para efectuar funciones específicas, la arquitectura modular de estos sistemas se compone de la siguiente forma:



Ilustración 7. Arquitectura Modular de un PLC

Fuente: (Altamirano, 2022)

3.2.6 PROGRAMACIÓN DE LOS CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES

Programar en estos dispositivos implica generar un conjunto de instrucciones y ordenes con el fin de llevar a cabo una tarea determinada (Electrónica Edimar, 2020). La programación en PLC se compone en estas diversas fases:

1. Definición y análisis del problema: identificar la necesidad o problema a resolver a través del PLC.
2. Determinar la arquitectura de automatización: Hay que elegir el hardware que se utilizara para el sistema de control. Una vez que se tenga información sobre los procesos necesarios para monitorear y controlar, configurar las entradas del PLC para que pueda recibir los datos que se recibieran a través de los sensores. Se definen también las salidas a través de las cuales se activarán los procesos por medio de los actuadores.
3. Diseño de algoritmos: un algoritmo consiste en una secuencia de pasos requeridos para ejecutar una tarea.
4. Programación de código: con todos los procesos definidos, hay que redactar las ordenes que permitirán la comunicación entre el programa y el PLC. Para ello se emplean los lenguajes de programación.
5. Depuración, test y verificación del programa: la última fase implica una serie de tareas orientadas a comprobar el correcto funcionamiento del programa. Se detectan posibles errores en la comunicación y se hacen las correcciones oportunas para garantizar una óptima ejecución del automatismo programado.

3.2.7 PROGRAMACIÓN DE LOS CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES

Los lenguajes de programación en PLC se componen de una serie de símbolos, caracteres y reglas de uso que fueron diseñados para poder establecer una comunicación de los usuarios con las máquinas. Es el código mediante el cual somos capaces de crear un programa con instrucciones

para controlar el funcionamiento de cualquier proceso o máquina industrial. En la actualidad, el estándar internacional IEC 6131 define los principales lenguajes de programación en PLC:

1. IL (Instruction List) : Es el lenguaje de programación más antiguo y es un lenguaje de texto. Es la base del resto de lenguajes y se empleaba cuando las computadoras no tenían capacidad gráfica.
2. LD (Ladder) : Es un lenguaje gráfico y es la evolución del lenguaje IL. El lenguaje Ladder se conoce también como Diagrama de Escalera, ya que su estructura recuerda a la de una escalera: se compone de dos niveles verticales (alimentación) y de dos horizontales. Las instrucciones se colocan en el lado izquierdo y las salidas en el lado derecho. El procesador del PLC interpretará los lados de abajo arriba y de izquierda a derecha.

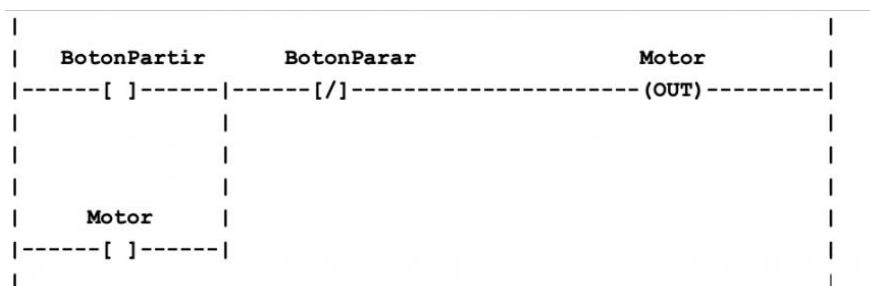


Ilustración 8. Ejemplo del Lenguaje Ladder para programación de PLCs

Fuente: (Electrónica Edimar, 2020)

3. FBD (FUNCION BLOCK DIAGRAM): Es un lenguaje gráfico que define la función entre las variables de entrada y las de salida. En este lenguaje se utilizan bloques de símbolo lógico.

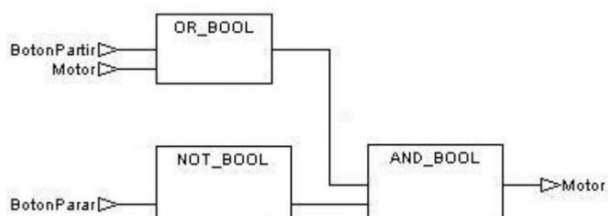


Ilustración 9. Ejemplo de Lenguaje FBD

Fuente: (Electrónica Edimar, 2020)

4. ST(Texto Estructurado): Es un lenguaje grafico que define la función entre las variables de entrada y las de salida. Es similar al lenguaje de programación C ya que se compone de una serie de instrucciones que se pueden ejecutar de manera condicionada.

3.2.8 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIALES

Un protocolo de comunicación industrial es un conjunto de normas que le permiten a dos identidades que se encuentren en un mismo sistema establecer una comunicación, con el objetivo de pasar información a través de diversas variables (GSL, 2021). Los protocolos de comunicación industrial son sistemas que hacen posible la transmisión de información entre diversos dispositivos y procesos como la comunicación entre dos o mas PLCs, entre un PLC y una PC, entre un PLC y un SCADA o un móvil (Gandhi, 2020). Existen diversos tipos de protocolos de comunicación entre los cuales destacan:

1. PROFINET: Este es uno de los protocolos más utilizados en la industria actual porque está basado en el estándar ethernet tan utilizado en la automatización. Es además un protocolo flexible que hace posible personalizar dispositivos y programas. Destaca además por su alta precisión y calidad en la comunicación.
2. Industrial Ethernet: El protocolo ideal para los ambientes industriales hostiles. Se trata de un sistema capaz de ofrecer velocidad, prueba de fallos y adaptabilidad. El ethernet industrial hace posible establecer una comunicación de red entre dispositivos en tiempo real y de manera funcional.
3. PROFIBUS: Este es un protocolo de estándar abierto. Destaca por sus altas velocidades de transmisión de datos y su durabilidad en ambientes hostiles, incluyendo riesgo de explosión. Este protocolo cuenta con más de 30 años en el sector industrial y continúa adaptándose a la evolución manufacturera.
4. OPC UA("Open Platform Communications – Unified Architecture): se trata de un protocolo de comunicación pensado para comunicar datos de equipos industriales, pero su principal diferencia es que, a diferencia de éste, no se limita sólo a comunicar datos entre aplicaciones SCADA y sensores, sino que su objetivo es ir más allá y que pueda

comunicarse con todas las aplicaciones de la empresa y a través de todas las capas empresariales. Busca llevar datos de máquinas a cualquier lugar, de forma segura y multiplataforma. Aplicaciones en el móvil, programas de gestión empresarial, MES, ERP's, hojas de excel, etc. Esta es la base del IIoT o Industria 4.0 (OPIRON, 2018).

3.3 CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL – INDUSTRIA 4.0

El término industria 4.0 se refiere a un nuevo modelo de organización y de control de la cadena de valor a través del ciclo de vida del producto y a lo largo de los sistemas de fabricación apoyado y hecho posible por las tecnologías de la información. El término industria 4.0 se utiliza de manera generalizada en Europa, si bien se acuñó en Alemania. También es habitual referirse a este concepto con términos como "Fábrica Inteligente" o "Internet industrial". En definitiva, se trata de la aplicación a la industria del modelo "Internet de las cosas" (IoT). Todos estos términos tienen en común el reconocimiento de que los procesos de fabricación se encuentran en un proceso de transformación digital, una "revolución industrial" producida por el avance de las tecnologías de la información y, particularmente, de la informática y el software.

3.3.1 CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

En la primera Revolución Industrial, entre los siglos XVIII y XIX, se mecanizaron los procesos de producción, transformando la economía agraria y artesanal en otra liderada por la industria. La segunda transición, en el siglo XX, trajo la producción en serie, con la aparición de fábricas y líneas de montaje que permitieron fabricar productos para el gran consumo. El despliegue de la electrónica y la informática en los procesos industriales permitió automatizar las líneas de producción y que las máquinas reemplazaran a las personas en tareas repetitivas (del Val Román, 2018).

Dos décadas de vertiginosos avances en la tecnología de Internet han producido un impacto radical en la economía y en la sociedad, provocaron la tercera revolución. Por último, la convergencia de las tecnologías de la información con la sensórica y la robótica están transformando la internet tradicional (información y personas) en internet de las cosas (IoT). Y este

nuevo escenario aplicado a la industria ha producido un impacto disruptivo en ésta, abriendo un escenario de enormes oportunidades basado en el aprovechamiento de la informática.

3.3.2 PILARES DE LA INDUSTRIA 4.0

Los productos inteligentes se caracterizan por disponer de electrónica, software embebido y conectividad lo que, en conjunto, le dotan de nuevas características, capacidades y funciones. Se les denomina sistemas ciber-físicos (CPS) y son los "habitantes" del ecosistema de la Internet de las cosas (IoT). La conectividad les proporciona capacidad de comunicación máquina a máquina (M2M) e interacción con humanos. El software les permite auto-gestionarse y tomar decisiones descentralizadas. Equipados con sensores captan información sobre su entorno y sobre su propio uso y estado, datos que pueden proporcionar a quien lo fabricó o gestiona su servicio.

Los servicios inteligentes permiten ofrecer servicios innovadores y establecer nuevos modelos de negocio, por ejemplo, modelos de pago por uso o servicio. La comunicación con el fabricante, la recogida de grandes cantidades de datos y su análisis es la base para generar nuevas ofertas de servicios y optimizar los modelos existentes. Los modelos analíticos aplicados a esos datos (Big Data) pueden automatizar la toma de decisiones. Por ejemplo, predecir el momento en que un sistema requerirá mantenimiento o pronosticar la cantidad de radiación solar para las siguientes 72 horas en un proyecto fotovoltaico.

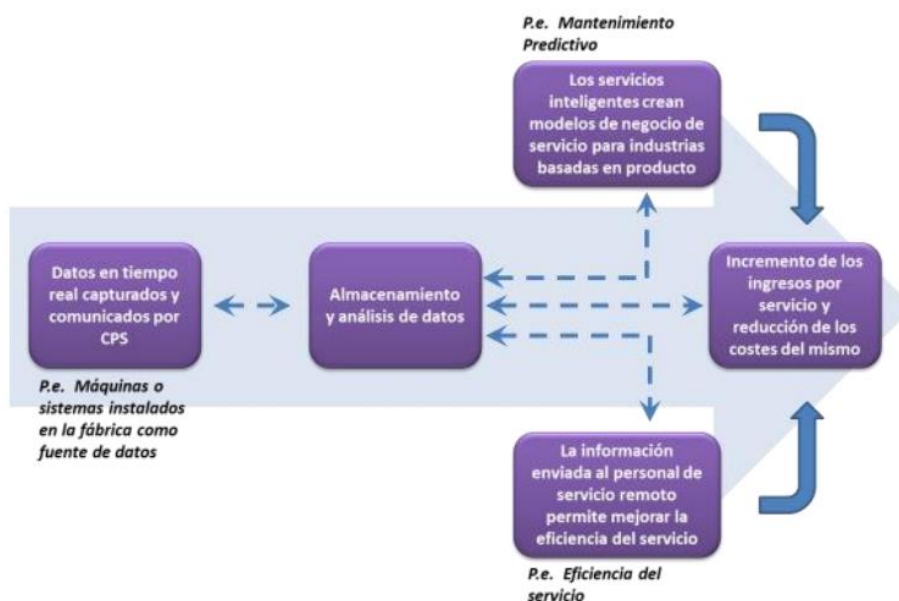


Ilustración 10. Servicio Inteligente, ejemplo de Mantenimiento Predictivo

Fuente: (del Val Román, 2018)

3.3.3 APLICACIONES TECNOLÓGICAS DE LA IIOT

Comunicaciones móviles: Las tecnologías móviles, internet móvil, son la base de IoT. El etiquetado de objetos y la comunicación M2M permiten un entorno de producción conectado en el que sistemas y productos se comunican entre sí.

Servicios de Nube: La nube comprende aplicaciones e infraestructuras ofrecidas como servicio a través de redes públicas o privadas, a menudo en modelo de pago por uso. Los productos y sistemas inteligentes (CPS y CPPS) generarán enormes cantidades de datos a almacenar y procesar que deben ser accesibles on-line desde cualquier lugar. La nube permite este flujo de datos sin fronteras y elimina la necesidad de inversión en infraestructuras para incrementar la capacidad.

Análisis de Datos: Con un número creciente de productos (CPS) y sistemas inteligentes (CPPS) en las fábricas y el mercado, la cantidad de datos de que dispondrán los fabricantes se multiplicará. Su análisis permitirá identificar patrones e interdependencias, analizar los procesos y descubrir ineficiencias e incluso predecir eventos futuros tales como fallas, pronósticos de generación de

energía y predicción de disponibilidad de recursos renovables como velocidad del viento, radiación solar y caudal de agua.

Comunicación Maquina a Maquina: La comunicación M2M es la tecnología básica de la "Internet de las cosas" (IoT). Hace referencia a tecnologías que permiten el intercambio de información entre los productos y sistemas inteligentes que constituyen el entorno Industria 4.0. Además, con esta información es posible construir una réplica virtual de la fábrica física, lo que permitirá simular no sólo productos sino procesos de fabricación completos. La forma de uso más evidente de comunicación M2M estará en la conexión de sistemas intra-empresa también será factor clave en la colaboración inter-empresas.

IV. DESARROLLO

4.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DESARROLLADO

Inicialmente se visitó la central hidroeléctrica para conocer las instalaciones, el lugar donde estaba ubicada, el personal que trabaja en la planta y también para buscar un sitio para hospedaje durante los días en que se realizo trabajos de forma presencial. Para la segunda semana, el objetivo fue familiarizarse con los procesos de producción, de mantenimiento y limpieza de rejilla, así como también con el sistema de control, de esta manera conocer como se estaban gestionando los datos obtenidos tanto de los sensores en los diferentes equipos (turbina, generador, unidad hidráulica de potencia, niveles de agua en la rejilla como después de la casa de máquinas y la producción de potencia. Para ello se realizó una investigación acerca del funcionamiento de las turbinas Kaplan y específicamente la de eje horizontal como la de tipo "S" que se encuentra en el proyecto hidroeléctrico Aguas Vivas, además, al tratarse de una central hidroeléctrica moderna su sistema de control o Panel de Control se compone de una comunicación entre sensores en los diferentes equipos como la turbina, el generador, la unidad hidráulica y el transformador, un controlador lógico programable modular con diversas entradas y salidas analógicas y digitales como también una serie de actuadores como válvulas mariposas y servomotores.

Cabe mencionar que, durante cada visita, se hizo limpieza de la rejilla 2 a 3 veces al día con el operario de turno como parte del Plan de Mantenimiento Preventivo que tiene la central, este consiste en una recolección de hojas, botellas y otro tipo de materiales que se quedan atorados por la rejilla. Los sedimentos se quedan en el fondo de un pequeño embalse aguas abajo de la central Pena Blanca el cual delimita con la rejilla y la bocatoma de la central Aguas Vivas.

En la tercera semana se estudió el funcionamiento y la composición del sistema de control, se observó cómo están acoplados los sensores y como envían las señales a Panel de Control , además se observaron y analizaron los diversos componentes en el Panel de Control, el PLC que es de tipo modular trata de un controlador ET 200SP conectado con 3 entradas digitales, 2 salidas digitales, 7 módulos de entradas analógicas, 1 salida analógica y 1 contador rápido. Este PLC se comunicaba

con la pantalla HMI a través de una conexión Ethernet. Posterior a este estudio se instaló el software TIA Portal de la marca Siemens ya que son los fabricantes del PLC y el HMI. El software se instaló en una máquina virtual ya que el objetivo era transferir todo el trabajo realizado se y desplegarlo en la computadora portátil que tienen en la planta a través de un software de maquina virtual VMware.

Se experimentaron dificultades durante el proyecto. Una de ellas, fue que la planta no cuenta con un sistema de control y adquisición de datos (SCADA) y tampoco con una base datos donde aquellos datos leídos por el PLC provenientes de los sensores fueran almacenados para su futura gestión. Únicamente se cuenta con una pantalla HMI donde los operarios toman el dato de la potencia producida, la apertura del distribuidor y la apertura del rodete cada hora y las respectivas fallas que suceden periódicamente. Por lo tanto, se entregaron reportes semanalmente con los datos disponibles haciendo uso de herramientas de programación como Python para obtener gráficos interactivos donde se observa la potencia producida con el cursor y se analizaron en conjunto con el personal de operarios de la central. Además, se entregaron reportes en pdf con gráficos amigables para su posterior análisis y disponibilidad al alcance de todo el personal en el futuro.

Debido a la poca disponibilidad de datos históricos no ha sido posible elaborar modelos de pronósticos de producción ya que se necesita una basta cantidad de datos de sensores y potencia para poder entrenar modelos aprendizaje automático. Por este motivo se elaboro un Plan de Alternativas para dar solución al inconveniente de la adquisición de datos el PLC, en la sección de Recomendaciones se resume este mismo.

Se tomaron dos cursos en línea a fin de poder agilizar el proceso y la curva de aprendizaje en los temas de la Automatización Industrial, Programación y Funcionamiento de PLC y también en aplicaciones de Industria 4.0 en la central. Se realizaron capacitaciones a los operarios en temas básicos del funcionamiento de los controladores lógicos programables y en los protocolos de comunicación disponibles para que ellos puedan conectarse al sistema de control con una computadora, tener acceso a los datos y conocer el proceso de control y automatización en la planta a un nivel mas profundo, es decir, analizando las conexiones de los sensores y hacia que

modulo del PLC entran, que tipo (analógico o digital) y como es la respuesta a estas señales por medio de los actuadores.

Se intento tener una comunicación con los proveedores del Sistema de Control, la empresa austriaca H&W Control, con el fin de poder contar con un apoyo para realizar una capacitación mas orientada al propio sistema de la planta y para contar con una retroalimentación sobre las ideas para poder solucionar el problema de la adquisición y almacenamiento de datos del PLC. Otro inconveniente fue que el proyecto que la empresa ha realizado en TIA Portal tiene contraseña en todos los bloques de programa, a pesar de lograr una conexión con el PLC no hay forma de interactuar o extraer los datos del PLC. Lamentablemente no se pudo tener una respuesta de la empresa tras dos intentos de comunicación.

Antes de finalizar, se programó en Python un dashboard (tablero) compuesto de gráficos interactivos con los datos recopilados por los operarios en los periodos de 2021 al presente, con el objetivo de que estos gráficos presentados en los reportes pudieran ser desplegados en una computadora y les quedara a los operarios para análisis futuros. Además, la computadora donde ellos apuntan los datos cada vez posee menos memoria para almacenamiento y es una alternativa para poder almacenar los datos hasta ahora recopilados, en una tabla en formato .csv en la nube y con gráficos interactivos.

V. CONCLUSIONES

1. Se realizaron satisfactoriamente los análisis de datos disponibles en la central hidroeléctrica en conjunto con los operarios y se han comprendido las tendencias del comportamiento en la producción de potencia. Se han utilizado herramientas de programación para poder desplegar gráficos interactivos que tienen una visualización más amigable que los gráficos convencionales. Se ha podido analizar en conjunto con los operarios el descenso en la generación de energía debido a la disminución del nivel de agua en la bocatoma y la mala época de lluvia sufrida el pasado 2021.
2. Se entregaron reportes referentes a la producción de potencia, generación de energía y las fallas ocurridas durante el período de práctica y los tres meses anteriores de 2022 y formaran parte del material para el análisis del desempeño mensual de la planta.
3. A pesar de ser un tema complejo para englobar en un período corto de tiempo se ha estudiado el sistema de control de la planta y se ha comprendido su funcionamiento a detalle, desde la ubicación de los sensores, como estos emiten señales y son procesadas por el controlador, y este como emite señales a los actuadores para garantizar una generación eficiente de energía principalmente en la turbina y la unidad hidráulica donde se encuentran la mayorías de actuadores como válvulas mariposa, servomotores y pistones hidráulicos, esto se ha logrado gracias al material bibliográfico revisado, los cursos tomados y la experiencia en la planta. Se pudo lograr una conexión satisfactoria entre la computadora portátil y TIA Portal, lamentablemente no se encontró forma de interactuar a profundidad ni adquirir los datos del PLC ya que el proyecto tiene contraseña que solo posee la empresa H&W Control
4. Los cursos tomados para agilizar el aprendizaje en los temas de Automatización y Control Industrial fueron favorables y sirvieron también como material de apoyo para poder realizar las capacitaciones a los operarios. Los operarios comprenden el proceso de automatización que se lleva a cabo en la central, conocen los diversos protocolos de comunicación que existen en la industria, además son capaces de lograr una conexión ethernet con el PLC a través de TIA Portal.

5. De la experiencia durante la práctica, la tarea de un ingeniero de control en una minicentral hidroeléctrica como Aguas Vivas conlleva muchas actividades como el monitoreo de la salud de las maquinas como la turbina, el generador, el transformador y la unidad hidráulica de potencia, así como sus componentes internos: álabes, rodete, cojinetes axiales y radiales, estator, estado del aceite de la unidad hidráulica, funcionamiento optimo del distribuidor entre otros. Otro aspecto importante es el monitoreo de la cantidad de energía generada, dato es que es enviado al ODS y mediante esta información es que se define el pago recibido por generación de energía.

También, es importante un conocimiento amplio en temas de automatización industrial, como tipos de sensores, controladores como los PLCs, actuadores e interfaces hombre maquina como las pantallas HMI ya que todo este sistema es el cerebro de la planta y ante cualquier cambio presentado como una alteración del caudal en la turbina, una disminución en el nivel de agua en la boca toma, una falla en la red eléctrica o incluso una falla interna en algún equipo el sistema de control debe actuar a aras de la protección de las maquinas y la eficiencia de la producción, la generación de energía.

En una minicentral donde el personal de trabajo es reducido el ingeniero de control puede cooperar también en labores de mantenimiento preventivo tales como el aseguramiento de la limpieza en la rejilla para garantizar vía libre al agua en la bocatoma, la limpieza en los alabes de la turbina u otras labores necesarias donde el tiempo es clave especialmente en labores donde la planta debe pararse y por ende no se genera energía.

VI. RECOMENDACIONES

1. En una central hidroeléctrica se debe monitorear cada aspecto en el proceso de la generación de energía y esta debe ser de la forma mas eficiente, por lo tanto, tener acceso a los datos históricos de la central provenientes de los sensores en la turbina como las aperturas del distribuidor, la apertura en el rodete (posición de los alabes de la turbina Kaplan), presión y temperaturas de la unidad hidráulica, temperaturas en los cojinetes o rodamientos es muy recomendable porque mediante el análisis de datos se pueden tomar decisiones más estudiadas y deliberadas. Puede ser útil para tener de forma gráfica cada uno de los comportamientos y de esta manera notar comportamientos o tendencias, además se puede elaborar modelos con las nuevas técnicas de aprendizaje automático (Machine Learning, en inglés) para detectar anomalías y anticiparse a una falla y así tener un Plan de Mantenimiento Predictivo. Por otro lado, también se pueden obtener modelos para pronosticar la potencia producida, o cortes en la red eléctrica. Finalmente, la analítica de datos en central es un paso más que acercaría su proceso a los avances de la cuarta revolución industrial, llamada también Industria 4.0.

2. De la mano con la primera recomendación, es importante tener mayor contacto con los proveedores de las soluciones tecnológicas en la central. Por ejemplo, se debe tener un mayor acercamiento a la empresa proveedora del sistema de automatización y control H&W Control, ya que esto podría dar solución a los inconvenientes de no tener acceso a los datos históricos de la planta, incluso tener un SCADA para la central Aguas Vivas, ya que en la planta hermana de arriba Peña Blanca si se tiene un SCADA.

3. Hay otras soluciones posibles para poder acceder a estos datos del PLC, a través de las soluciones del IIoT. Protocolos de comunicación como el OPC UA y el MQTT. Este protocolo utiliza una entidad intermediaria en la cual se publican los datos que envía el PLC y luego este envía los datos a los clientes que están suscritos a este intermediario que pueden ser formas de SCADA, bases de datos, CRM entre otros. La solución propuesta consistía en enviar los datos del PLC a un intermediario llamado Node-RED que es una herramienta basada en programación visual creada por IBM dentro de un ambiente de JavaScript. Los datos del PLC iban a ser publicados en Node-RED y enviados a una base de datos para su análisis posterior. Lamentablemente no se pudo

lograr esta propuesta debido a que el proyecto en TIA Portal donde esta programado el PLC de la central Aguas Vivas está protegido con contraseña y no se tiene acceso a la misma, por lo tanto, no se podía editar la configuración del PLC para habilitar la comunicación PUT/GET que permitiese una comunicación entre el PLC y Node-RED.

4. Se recomienda la construcción de una pequeña galera a los alrededores de la casa de máquinas. El único lugar para estar y trabajar en la central es dentro de la casa de maquinas y se experimenta una exposición al ruido intenso proveniente de las maquinas (turbina y generador). A pesar de que se cuenta con medidas de protección como tapones y auriculares de protección auditiva, se experimenta una pequeña fatiga luego de una cantidad de tiempo. Con una galera ubicada a 10-15 metros de la casa de máquinas les permitiría a los operarios gozar de otro lugar para estar esos momentos en que no se están inspeccionando las máquinas y la producción es óptima.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Altamirano, S. (2022). *Suiler Altamirano. Automatización Industrial* [Online Courses]. PLC S7 1200

SIEMENS - BÁSICO | CO22-02. <https://www.suileraltamirano.com/>

Bolton, W. (2002). *Control Systems*. <https://www.scribd.com/book/282502042/Control-Systems>

Bolton, W. (2015). *Programmable Logic Controllers*.

<https://www.scribd.com/book/282667905/Programmable-Logic-Controllers>

De Ingenierias. (2019, marzo 18). *LAS PARTES DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA* -

Deingenierias.com. <https://deingenierias.com/hidroelectricas/partes-de-una-central-hidroelectrica/>

del Val Román, J. L. (2018). *Industria 4.0: La transformación digital de la industria*. *Facultad de*

Ingeniería de la Universidad de Deusto. <http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>

Electrónica Edimar. (2020, abril 14). *Programación en PLC: Controladores programables* | *Edimar*.

Electrónica Edimar. <https://edimar.com/programacion-en-plc/>

EPEC. (s/f). *La tecnología hidroeléctrica*. EPEC. <https://www.epec.com.ar/docs/epec-educando/la-tecnologia-hidroelectrica.pdf>

Gandhi, M. (2020, febrero 5). *Cuáles son los protocolos de comunicación industrial*. *AUTYCOM*.

<https://www.autycom.com/protocolos-de-comunicacion-industrial/>

GSL. (2021, agosto 26). *Protocolos de comunicación industrial*. Industrias GSL.

<https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/protocolos-de-comunicacion-industrial>

IEC 61131-1:2003 | *IEC Webstore* | *water automation, water management, smart city*. (s/f).

Recuperado el 7 de junio de 2022, de <https://webstore.iec.ch/publication/4550>

Manesis, S., & Nikolakopoulous, G. (2018). *Introduction To Industrial Automation | PDF | Programmable Logic Controller | Automation*. Scribd.

<https://www.scribd.com/document/479700994/Introduction-to-Industrial-Automation-1-pdf>

OPIRON. (2018, junio 18). ¿Que es OPC UA? Aprende en menos de 3 minutos. *Opiron*.

<https://www.opiron.com/que-es-opc-ua/>

Reyes, D. P., & Espitia, C. D. P. (2018). *DISEÑO DE UNA TURBINA TIPO KAPLAN PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA HIDRÁULICA*. 67.

Suarez, L. (s/f). *Turbinas Una turbina hidrulica es una turbomquina motora*. Recuperado el 7 de junio de 2022, de <https://slidetodoc.com/turbinas-una-turbina-hidrulica-es-una-turbomquina-motora/>

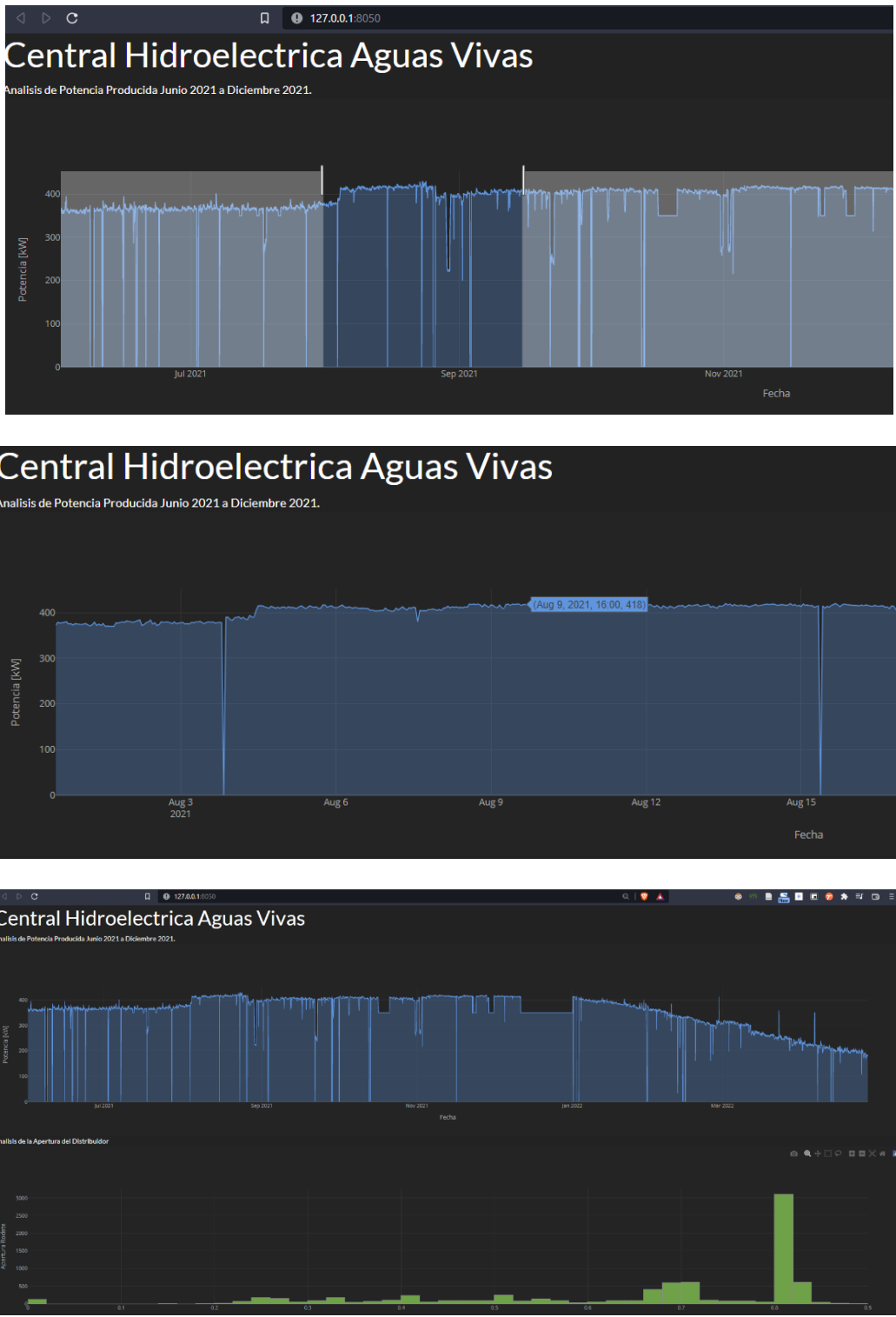
Sullivann C. (2014, marzo 21). *Turbina Kaplan*.

<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/750f89c94569e4dd984c0ddecfd73cea/Turbina-Kaplan>

WTW-Polonia. (s/f). *Errichtung des Wasserkraftwerkes Szabany (Weißbrusland)—Producent turbin wodnych dla elektrowni—WTW Poland*. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://www.wtw-poland.com/de/actuelles/362-budowa-elektrowni-wodnej-szabany-bialorus>

ANEXOS

Muestra del tablero programado con los datos recopilados.

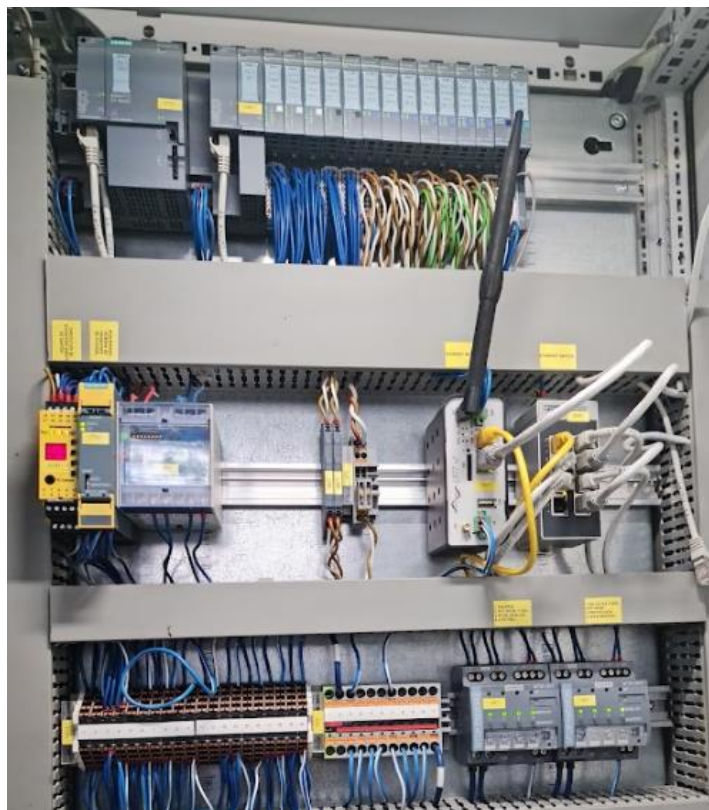


Imágenes de la Casa de Maquinas de la Central Hidroeléctrica Aguas Vivas





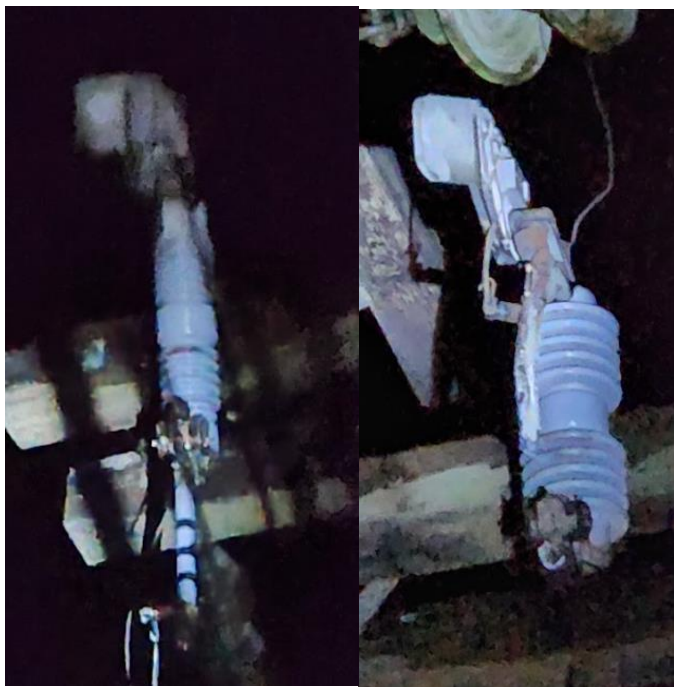
PLC y Panel de Control de la Central Hidroeléctrica Aguas Vivas



Limpezas en la Rejilla



Fallo de Fusible en la red eléctrica del pueblo de Peña Blanca



Salida del agua turbinada de la Central Peña Blanca y bocatoma de la Central Aguas Vivas

