



Universidad
Señor de Sipán

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA**

TESIS

**DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA
REGULAR LA VELOCIDAD DE LA TURBINA DE
LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHAUPE
PUCARÁ – JAÉN**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autores

Bach. Cotrina Fernandez, Clever Josue

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2003-317X>

Bach. Paisig Alvarado, Edinson Flavio Felix

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4764-4498>

Asesor

Mtro. Juan Carlos Vives Garnique

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0988-9881>

Línea de Investigación:

Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente.

Pimentel – Perú

2024

**DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA REGULAR LA
VELOCIDAD DE LA TURBINA DE LA MINI CENTRAL
HIDROELÉCTRICA CHAUPE PUCARÁ, JAÉN**

Aprobación del jurado

Dra. GASTIABURÚ MORALES SILVIA YVONE

Presidente del Jurado de Tesis

MSc. ROJAS CORONEL ANGEL MARCELO

Secretario del Jurado de Tesis

Mtro. VIVES GARNIQUE JUAN CARLOS

Vocal del Jurado de Tesis



DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quienes suscribimos la DECLARACIÓN JURADA, somos egresados del Programa de Estudios de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaramos bajo juramento que somos autores del trabajo titulado:

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA REGULAR LA VELOCIDAD DE LA TURBINA DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHAUPE PUCARÁ – JAÉN

El texto de nuestro trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Cotrina Fernández Clever Josué	DNI: 47953313	
Paisig Alvarado Edinson Flavio Félix	DNI: 42903692	

Pimentel, 24 de setiembre de 2024

Dedicatoria

Dedicamos nuestra tesis en primer lugar a nuestras esposas, con mucho amor, cariño y respeto puesto que ellas han apostado por nuestras capacidades colmándonos de amor y comprensión en este largo y sacrificado camino de esta carrera profesional.

A nuestros hijos ya que ellos son la razón principal de querer superarnos día a día para poder forjar un futuro mejor para ellos.

A nuestros amados padres que con su amor y sabio consejo siempre han sabido poner esperanza y ganas de superación en nuestros corazones.

A todas y a cada una de las personas que se involucraron directa e indirectamente para lograr este tan anhelado sueño, amigos, compañeros, profesores estamos muy agradecidos con todos es por eso por lo que les dedicamos esta tesis que desarrollamos con mucho esfuerzo y dedicación.

Agradecimiento

El agradecimiento de nuestra tesis va dirigido primeramente a Dios quien nos guio y nos ha dado las fortalezas de seguir adelante.

Agradecemos por su orientación y atención a nuestras consultas a nuestros asesores por la dedicación y apoyo que se nos ha brindado en todo este proceso de elaboración de tesis, por el respeto a nuestras sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que se nos ha facilitado a la misma.

Damos gracias por permitirnos tener una buena experiencia dentro de la universidad y convertirnos en profesionales en lo que tanto nos apasiona.

Finalmente agradecemos a quienes lean este apartado y más de nuestra tesis y permitir nuestras experiencias, investigación y conocimientos, de incurrir dentro de su repertorio de información mental.

Índice

Dedicatoria.....	4
Agradecimiento.....	5
Resumen.....	8
Abstract.....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Realidad problemática.....	12
1.2. Formulación del problema.....	16
1.3. Hipótesis.....	16
1.4. Objetivos.....	16
1.5 Teorías relacionadas al tema.....	17
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	20
2.1. Tipo y diseño de investigación.....	20
2.2. Variables, Operacionalización.....	20
2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección.....	22
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	22
2.5. Procedimiento de análisis de datos.....	22
2.6. Criterios Éticos.....	23
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
3.1. Resultados.....	24
3.2. Discusión.....	56
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
4.1. Conclusiones.....	58
4.2. Recomendaciones.....	59
Referencias.....	60
V. ANEXOS.....	62

Índice de Tablas

Tabla 1: Tipos de turbinas y sus características	17
Tabla 2: Número Variaciones de la velocidad de la Turbina	26
Tabla 3: Presupuesto del Control de Velocidad	53
Tabla 4: Evaluación Económica	55

Índice de Figuras

Figura 1: Esquema del regulador de velocidad de una planta hidráulica	18
Figura 2: Gráfica de regulación de la turbina.....	19
Figura 3: Gráfica de regulación estática con amortiguamiento	19
Figura 4: Forma de análisis de datos	23
Figura 5: Control de la Turbina	28
Figura 6: Diagrama de bloques del sistema de posición	30
Figura 7: Modelo del Sistema en Bloques	30
Figura 8: Diagrama de bloques en cascada	32
Figura 9: Sistema de control de posición de bucle cerrado de un servomotor.	33
Figura 10: Esquema simplificado del servomotor DC en lazo abierto.....	33
Figura 11: Esquema de Bode de la función de transferencia	34
Figura 12: Variación del modelo en función de ω_n y Ψ	34
Figura 13: Diagrama de bloques del Servo.	35
Figura 14: Arquitectura del regulador de velocidad	36
Figura 15: Esquema de la mini central hidroeléctrica	37
Figura 16: Diseño completo con sus controladores	37
Figura 17: Función de Transferencia con su modelo matemático	37
Figura 18: Valores finales del sistema de control	42
Figura 19: Reducción del sistema	43
Figura 23: Diagrama de Flujo.....	45
Figura 24: Controlador digital PID.	46
Figura 25: Esquema de la mini central hidroeléctrica	48

Resumen

El proyecto de investigación que detallamos a continuación se desarrolla en la mini central hidroeléctrica Chaupe Pucará, es un sistema aislado en el Perú y se encuentra situada en la localidad de El Chaupe, distrito de Pucará, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca. La mini central hidroeléctrica Chaupe Pucará no forma parte del Sistema Eléctrico, tiene más de 20 años de operación y cuenta con dos turbinas Pelton de 215 kW de Potencia Nominal, con salto neto de 95,95 m y un Q_{nominal} de 0,55 m³/s. La planta opera actualmente con una potencia máxima de 430 kW y presenta una serie de inconvenientes, entre ellos la incapacidad de las turbinas 02 para regular la velocidad, lo que se hace manualmente. Además, cuando se tiene en cuenta el consumo de energía, la energía fluctúa mucho, lo que hace que la planta se detenga, disminuya o acelere la velocidad, produciendo un deficiente servicio para los abonados que hacen uso de este recurso y que proporciona esta mini central. El tipo de investigación es no experimental y el diseño de la investigación es descriptiva. El objetivo general fue diseñar un sistema de control de velocidad para la turbina de la minicentral hidroeléctrica Chaupe Pucará - Jaén. Los objetivos específicos fueron: Diagnosticar el estado situacional del actual sistema de control de velocidad de turbinas de la minicentral; Definir las medidas para el diseño del sistema de control de velocidad de la turbina; Proponer el modelo del sistema de control de velocidad mediante; y Realizar la evaluación económica del sistema de control a diseñar. Estos son los hallazgos de esta investigación: La minicentral hidroeléctrica Chaupe Pucará, tiene una potencia instalada de 430 kW, con una caída de 95,95m y un caudal de 0,55 m³/s, los grupos de generación hidráulica son 02 turbinas tipo Pelton de eje vertical de 215 kW de potencia y 720 RPM, presenta en promedio mensual de 20 variaciones de la velocidad de la turbina, originando problemas en el funcionamiento de la minicentral. Los parámetros de diseño del sistema de control son: velocidad de rotación, rpm de la bomba de aceite, el rango de velocidad en el que puede operar el regulador se denomina regulación. El modelo del órgano de regulación de velocidad consta de control

de flujo, creado específicamente para el control automático de centrales hidroeléctricas pequeñas. Esta válvula está controlada por un servomotor. La inversión a realizar es de S/.83 260,0, con una producción mensual de S/. 11 145,60 lo que nos da en un periodo de 20 años, un Valor actual Neto S/. 3 016,26 y una TIR de 13%.

Palabras claves: Regulador de Velocidad, Sistema de Control, Turbina hidráulica.

Abstract

The research project detailed below is developed in the Chaupe Pucará mini hydroelectric plant, it is an isolated system in Peru and is located in the town of El Chaupe, district of Pucará, province of Jaén, department of Cajamarca. The Chaupe Pucará mini hydroelectric plant is not part of the Electrical System, it is an isolated system and is located in El Chaupe, a town that belongs to the district of Pucará, province of Jaén, department of Cajamarca, it has more than 20 years of operation and has two Pelton turbines of 215 kW Nominal Power, with a net head of 95.95 m and a $Q_{nominal}$ of 0.55 m³/s. The plant currently operates with a maximum power of 430 kW and has a series of drawbacks, including the inability of the 02 turbines to regulate the speed, which is done manually. Furthermore, when power consumption is taken into account, the power fluctuates greatly, causing the plant to stop, slow down or speed up, producing poor service for the subscribers who make use of this resource and provided by this mini central. The type of research is not experimental and the research design is descriptive. The general objective was to design a speed control system for the turbine of the Chaupe Pucará - Jaén mini hydroelectric plant. The specific objectives were: Diagnose the situation of the current turbine speed control system of the mini-plant; Define the measures for the design of the turbine speed control system; Propose the model of the speed control system through; and Carry out the economic evaluation of the design control system.

These are the findings of this research: The Chaupe Pucará mini hydroelectric plant has an installed power of 430 kW, with a head of 95.95m and a flow of 0.55 m³/s, the hydraulic generation groups are 02 Pelton-type turbines with a vertical axis of 215 kW of power and 720 RPM, presents a monthly average of 20 variations in the speed of the turbine, causing problems in the operation of the mini-plant. The design parameters of the control system are: rotation speed, oil pump rpm, the speed range in which the governor can operate is called regulation. The model of the speed regulation body consists of flow control, created

specifically for the automatic control of small hydroelectric plants. This valve is controlled by a servomotor. The investment to be made is S/.83 260,0, with a monthly production of S/. 11145.60 which gives us, in a period of 20 years, a Net Current Value /. 3 016,26 and an IRR of 13%.

Keywords: Speed Regulator, Control System, Hydraulic Turbine.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática.

La energía hidroeléctrica representa el 72% de la producción de energía de Perú, y la energía térmica constituye el 28% restante. Según criterios eléctricos, una central hidroeléctrica es la fuente de energía más rentable porque emplea el agua como fuente de generación de electricidad. Las centrales hidroeléctricas se construyen con turbinas de agua. La totalidad de las plantas hidroeléctricas en uso hoy en día tienen más de 30 años y se construyeron para suministrar energía adicional y poder cubrir las máximas demandas en su jurisdicción. Pero como la demanda de electricidad ha aumentado y los generadores ahora integran el sistema interconectado nacional, varias de ellas no pueden satisfacerla y en su lugar han decidido cargar sus generadores para asegurar el aumento durante la generación asegúrese de que sus unidades estén funcionando a su máximo potencial en un futuro próximo [1]. Es muy sabido que la Turbina Pelton emplea la energía de la altura de una importante cantidad de agua. Una vez que el agua ha circulado por la tubería de presión y llega al inyector, donde se produce un caudal que incide en la turbina y acelera la rotación del impulsor y el eje conectado. Pero la mayoría de las veces, la velocidad debe permanecer en un nivel particular. Regrese a estos valores predeterminados tan pronto como pueda si no es así, es decir, si cambia la velocidad. La justificación dada en párrafos anteriores se basa en que las turbinas operan alternadores para suministrar electricidad a varias industrias, donde la frecuencia debe permanecer sin ninguna variación [1]. En Chiqche y Namora en Cajamarca, Perú, existen micro centrales hidroeléctricas como se pueden encontrar algunos casos de este tipo de autorregulación. Eduardo Soto Sánchez estudió un sistema hídrico y permuta proporcional de celeridad de turbina a mayor escala, como la hidroeléctrica Mantaro, pero al mismo tiempo se elevó el costo de su implementación. [2]. Una turbina Pelton es una hidro máquina accionada hidráulicamente que fue creada para trabajar tanto en alturas de agua altos como bajos. Está compuesto

por uno o más inyectores y un rotor con álabes captadores de agua. Los surtidores de agua de los inyectores inciden sobre los álabes y producen un par mecánico al eje de la turbina. Una válvula de aguja, también conocida como aguja, está instalada dentro del inyector para regular el caudal de agua. Esto cambia el área donde discurre el agua que pasa a través del inyector y hacia la máquina. El regulador controla dónde se inserta la aguja [3]. Las transiciones hidráulicas son inevitables en cualquier ducto que acarrea líquidos y pueden ser provocadas por una serie de eventos, incluido el bloqueo de compuerta, el acaparamiento repentino de aire, el colmado de la tubería, la parada o el arranque de las bombas de la tubería y las variaciones en la potencia de la turbina. u otra razón para los cambios en el flujo o la presión de la tubería. La presión y el caudal afectan a todos los elementos de un sistema hidráulico siempre que los transitorios se transmitan a través de las líneas. Esta es la condición de contorno. Esto es muy importante para gestionar las transiciones hidráulicas y las escalas de respuesta del sistema. [4]

La mini central hidroeléctrica Chaupe Pucará no forma parte del Sistema Eléctrico, es un sistema aislado y está situada en El Chaupe, localidad que pertenece al distrito de Pucará, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca, tiene más de 20 años de operación y cuenta con dos turbinas Pelton de 215 kW de Potencia Nominal, con salto neto de 95,95 m y un Q_{nominal} de 0,55 m³/s. La planta opera actualmente con una potencia máxima de 430 kW y presenta una serie de inconvenientes, entre ellos la incapacidad de las turbinas 02 para regular la velocidad, lo que se hace manualmente. Además, cuando se tiene en cuenta el consumo de energía, la energía fluctúa mucho, lo que hace que la planta se detenga, disminuya o acelere la velocidad, produciendo un deficiente servicio para los abonados que hacen uso de este recurso y que proporciona esta mini central.

A continuación, se especifica investigaciones relacionados a mi investigación de tesis:

En Colombia en el proyecto de investigación titulado "Diseño de un control avanzado para regular la velocidad de una turbina tipo Terry", se utiliza planes de mantenimiento

predictivo, además de planes difuso para componer el funcionamiento dinámico de 03 turbinas acopladas a un generador de corriente continua, no tener en cuenta los cambios de presión, que serán abordados en trabajos posteriores con el fin de incluir variables y modeladores fiables de variables de perturbación. El acercamiento de una válvula sobre la turbina produce una respuesta transitoria dentro de la masa, pero es necesario estudiar modelos para capturar con mayor precisión la actuación de estos 02 dispositivos [5]. En idéntica línea, en México, en el proyecto titulado “Control de la velocidad de laminación de una turbina a vapor de 350 MW”, tiene como objetivo desarrollar componentes electrohidráulicos para el dominio numérico de la celeridad de la turbina y estudiar la velocidad electrohidráulica sirve como unidad fundamental de análisis para todas las partes de la turbina. Crear modelos matemáticos específicos para este fin a partir de diagramas de bloques de sistemas de control de celeridad. Debido a que el método de vigilancia de celeridad electrohidráulico digital ha eliminado en gran medida los muchos elementos de requisitos de mantenimiento del sistema de control de celeridad, requiere poco mantenimiento que el sistema de control de celeridad electrohidráulico [6]. En Ecuador, en el proyecto titulado “Modernización del sistema de regulación de velocidad en la central hidroeléctrica Carlos Mora”, tiene como objetivo actualizar el procedimiento de regulación de celeridad en la central hidroeléctrica Carlos Mola con la finalidad en que cada ensayo origina cuantificar la operación y actuación de los reguladores en relación de la potencia, frecuencia, y velocidad. Debido a las restricciones impuestas a los componentes de la turbina, tales como tuberías forzadas, cámaras de carga, etc., es imperativo ajustar la máxima apertura y cierre del servo durante las etapas iniciales de operación [7].

En Cuzco, en la investigación titulada “Automatización del sistema de regulación de velocidad de la minicentral hidroeléctrica Colina, en Marcapata” cuyo objetivo era determinar las opciones más adecuadas para controlar indeliberadamente la celeridad de los generadores y turbinas. El sistema de control automático de velocidad con régimen de variación de caudal con reguladores, que ampara el control de la frecuencia del alternador,

resultó ser el más útil de cualquier otro tipo o tecnología. Debido a que el generador siempre debe funcionar a plena capacidad, acelerando el desgaste y acortando su vida útil, no se recomiendan dispositivos de control de celeridad de carga estática cuando se genera a potencias superiores a 100 kW [8]. En Cuzco, el proyecto "Regulación por sistema electrohidráulico para obtener velocidad constante de la turbina Pelton de la FIM-UNCP", el objetivo fue crear los componentes del procedimiento de control, incluidos los sensores de celeridad, los servomecanismos y las válvulas de control. Así, existen dos instalaciones: una instalación experimental (EE) y la otra de control (EC), siendo la primera una instalación existente para mejorar y la otra es una instalación para diseñar y construir. El rango de valores de mejora para el inyector de refuerzo de choque se determina para producir un movimiento ligeramente lineal expresado como una función de $y = 0,1047x + 177,97$ en recorrido de 57.60 mm. A una celeridad de operación de 184 RPM, el rango de magnitudes obtenido para el giro del deflector de la turbina Pelton arroja un valor de ángulo de $38,50^\circ$. Este rendimiento lineal aproximado viene dado por la función $y = 0.1619x + 177.77$ [9]. En Cuzco, en el proyecto denominado, "Diseño de un sistema de regulación de velocidad de turbina Pelton utilizando el algoritmo pi digital", menciona una tecnología nueva que permita administrar el flujo de servomotores de CC para regular la producción de electricidad. La ventaja de utilizar servomotores como controladores para centrales hidroeléctricas pequeñas y micro se descubrió durante el avance de la tecnología, y el esquema de control propuesto se probó exhaustivamente empleando el software Matlab y sus vínculos de vínculo simbólico para exponer la eficiencia del modelo sugerido [10].

Justificación e importancia del estudio.

Técnica. Al realizar mejoras, nos aseguraremos de que los suscriptores de Mini Central reciban un servicio ininterrumpido.

Económica. Esta investigación se basa en controlar la rapidez de una turbina para evitar detenidas anticipadas y, en consecuencia, impedir que la central renuncie a operar y de comercializar la electricidad que genera.

Tecnológica. La tecnología local será apoyada a través de este proyecto de investigación para que pueda ser utilizada para controlar la celeridad de una turbina.

Ambiental. La justificación ambiental sería plausible porque uno de mis objetivos es mejorar el sistema eléctrico de bajo voltaje, lo que aumenta el uso de la electricidad y mejora su eficiencia. Debido a que este tipo de energía es limpia y renovable y no requiere quemar combustible, no causará emisiones de gases de efecto invernadero y, por lo tanto, puede ser utilizada por los consumidores.

Social. Al ayudar a optimar la operación de Mini Central para sus suscriptores, podemos asegurarnos de que no haya interrupciones en el servicio para ellos.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo regular la velocidad de la Turbina de la de la mini central hidroeléctrica Chaupe Pucará – Jaén?

1.3. Hipótesis

Mediante el diseño del sistema del control se regula la velocidad de la turbina de la mini central hidroeléctrica Chaupe Pucará – Jaén.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

Diseño del sistema de control de velocidad para la Turbina de la mini central hidroeléctrica Chaupe Pucará – Jaén.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Diagnosticar el estado situacional del actual sistema de regulación de la velocidad de la Turbina de la mini central hidroeléctrica Chaupe Pucará – Jaén.

- Definir los parámetros para el diseño del sistema de control de velocidad de la turbina en la mini central hidroeléctrica Chaupe Pucará – Jaén
- Proponer el modelo del sistema de control de velocidad mediante funciones de transferencias del sistema de control.
- Desarrollar y comprobar las funciones de transferencia del sistema de control de velocidad de la turbina, teniendo al servomotor, turbina y generador mediante el uso de Matlab.
- Realizar la evaluación económica del sistema de control a diseñar.

1.5 Teorías relacionadas al tema.

Turbinas Hidráulicas

La Turbina es uno de los componentes más esenciales de una central eléctrica, pues permite convertir la energía cinética en par mecánico, que luego se transmite al eje del generador. La cantidad de carga disponible, la potencia máxima utilizable (hp), la velocidad a la que fluye el agua a través del impulsor y la velocidad de rotación deben tenerse en cuenta al elegir el tipo de turbina a utilizar. Estos representan los valores nominales de los distintos tipos de turbinas producidos recientemente. [3]

Tabla 1: Tipos de turbinas y sus características

TIPO DE TURBINA	KAPLAN	FRANCIS	PELTON
Salto neto, H(m)	2...70	2...500	40...100
D.E del rodete (m)	1...10	1...7	0,5...5
Potencia en eje	Hasta 250	Hasta 750	Hasta 400
Velocidad específica	400...800	50...450	20...40

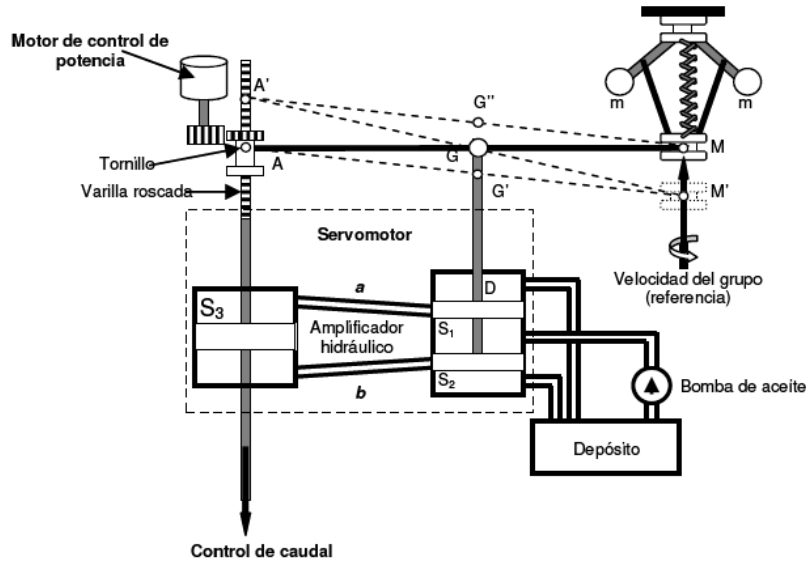
Nota: [11]

Regulador De Velocidad

La turbina ajusta los rpm a la velocidad de rotación original y agrega agua gradualmente para que la turbina pueda continuar produciendo la potencia requerida. Esto sucede a medida que en la turbina la carga cambia paulatinamente.

El trabajo del gobernador automático es mantener un equilibrio que permita que la turbina funcione a RPM adecuadas, independientemente de la carga. [2]

Figura 1: Esquema del regulador de velocidad de una planta hidráulica



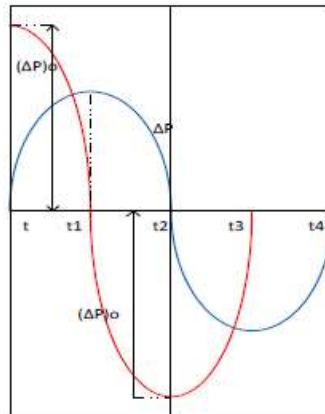
Nota: [7]

Regulación

El servomotor funciona con aceite presurizado suministrado por la bomba y opera un interruptor de turbina que requiere más fuerza que un gobernador centrífugo. Al abrir o cerrar la entrada de agua, la turbina hidráulica se puede cambiar para equilibrar el trabajo realizado por el generador y la turbina hidráulica. Un control isocinético es aquel en el que la velocidad no cambia con la potencia, mientras que un control estático ve una caída de la velocidad a medida que aumenta la potencia. El dispositivo debe responder a las influencias disruptivas lo más rápido posible para lograr un control estable. El gráfico de abscisas de tiempo de la Figura 2 demuestra cómo la potencia (P) y la velocidad (V) cambian con el tiempo. El controlador no puede ingresar con éxito al nuevo estado porque la velocidad de transición de un estado a otro varía constantemente. Como el gobernador se ve afectado por la apertura de la turbina, no podrá operar a la misma velocidad de ralentí

a plena carga, ya que provocará una diferencia en las rpm y, por lo tanto, una diferencia en la velocidad del turbo. [12]

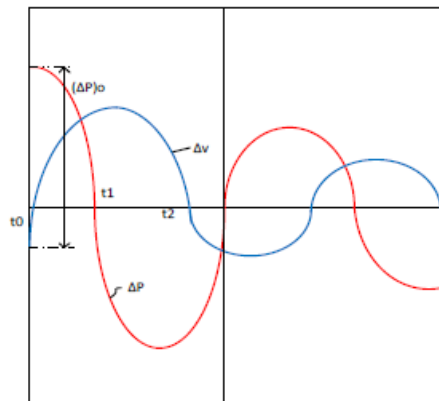
Figura 2: Gráfica de regulación de la turbina



Nota: [12]

El uso de una tasa de caída positiva junto con un sistema de regulación estático reduce gradualmente las fluctuaciones de velocidad. Estas atenuaciones se muestran en la Figura 3. De forma predeterminada, el conector regresa al comienzo de la fase (t_0 a t_1), salta (t_1 a t_2), luego se detiene y reanuda su velocidad inicial. [12]

Figura 3: Gráfica de regulación estática con amortiguamiento



Nota: [12]

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Tipo y diseño de investigación

2.1.1. Tipo y diseño de investigación.

El proyecto utilizará un alimentador eléctrico de media tensión existente, y se estudiará la factibilidad técnica en base a los datos actuales para que pueda llevarse a cabo en el futuro.

Se realizará un estudio detallado para controlar la celeridad de la turbina de la mini central hidroeléctrica Chaupe Pucará – Jaén.

De acuerdo a los siguientes factores se desarrollará el diseño de la investigación:

- Investigación descriptiva con el objetivo de delimitar los rasgos de la población de investigación. En este curso, se enfatiza más el "qué" del objeto de investigación que su "por qué".
- En otras palabras, su objetivo es describir la naturaleza de las divisiones de población sin considerar las causas de fenómenos específicos. Esto significa que, si bien "describe" el tema del estudio, deja de lado el "por qué" detrás de él.

2.2. Variables, Operacionalización.

2.2.1. Variable independiente

Diseño del sistema de control de velocidad.

2.2.2. Variable dependiente

Regular la velocidad de la turbina.

2.2.3. Operacionalización.

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala de medición
<p>INDEPENDIENTE: Diseño del sistema de control de velocidad.</p>	<p>El diseño del sistema de regulación de velocidad se ve afectado por la velocidad del campo magnético giratorio. [13]</p>	<p>El sistema de regulación se diseña después de que se hayan establecido los parámetros del sistema de regulación.</p>	<p>Parámetros de funcionamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad del agua • Alta presión • Tiempo nominal de apertura del agua en la línea de entrada 	<p>Esquema de recolección de datos.</p>	<p>Proporción</p>
<p>DEPENDIENTE: Regular la velocidad de la turbina</p>	<p>Las turbinas requieren controladores de velocidad para mantener la velocidad y garantizar una salida de energía de calidad. Esto es necesario y una parte integral del diseño de la turbina. [4]</p>	<p>Se utiliza un mecanismo particular para regular la celeridad de rotación de la turbina.</p>	<p>Celeridad de Giro</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de rotación (RPM) • Capacidad (HP) 	<p>Esquema de recolección de datos.</p>	<p>Proporción</p>

2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección

Las dos turbinas Pelton de la mini central hidroeléctrica Chaupe Pucará en Jaén sirven como población y muestra para la presente investigación.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

Se requerían instrumentos para nuestra investigación; este equipo nos ayudó a recopilar los datos y la información que se presenta a continuación:

2.4.1. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas que se utilizaran en el presente trabajo son:

- **Análisis documental:** Es un método que nos ayuda a recopilar datos de diversas fuentes bibliográficas para realizar el tema investigado.
- **Búsqueda de información de campo:** Ayudará recabar datos sobre el estado actual de funcionamiento de la minicentral hidroeléctrica Chaupe Pucará - Jaén.

2.4.2. Instrumento de recolección de datos.

Los instrumentos a emplear son:

- **Ficha de Análisis Documental,** Esta herramienta se utiliza para recopilar datos sobre el tema que se investiga a partir de diversas fuentes bibliográficas.
- **Ficha de recopilación de información de campo,** a través de esta herramienta se recopila información sobre el estado operativo actual de la central hidroeléctrica Chaupe Pucará - Jaén.

2.5. Procedimiento de análisis de datos.

La información utilizada en esta investigación será analizada mediante el siguiente proceso:

Figura 4: Forma de análisis de datos



Nota: <https://tesisdeceroa100.com/el-proceso-de-analisis-de-datos-explicado-paso-a-paso/>

Las estadísticas descriptivas se utilizan para analizar datos empleando:

Una medida de tendencia central. Es la medida estadística de tendencia central más importante para ayudar a estimar la cantidad media de pérdidas en un sistema de energía.

Medida de dispersión. Una medida estadística de separación entre los datos y el promedio aritmético. Use un rango como su métrica de distribución.

2.6. Criterios Éticos.

El artículo 5 y sus principios rectores deben respetarse en todo momento durante la actividad científica. Código de Ética en Investigación de la USS SAC, Sección 6.

Además del asentimiento o consentimiento informado (según corresponda), el Informe Belmont y la Declaración de Helsinki deben ser utilizados en investigaciones con seres humanos y deben ser aprobados por el comité de ética en investigación de la institución.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

A. Diagnóstico del estado situacional del actual sistema de regulación de la velocidad de la Turbina de la mini central hidroeléctrica Chaupe Pucará – Jaén. En el CCPP El Chaupe distrito de Pucará, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca, alberga la minicentral hidroeléctrica Chaupe Pucará, que forma parte de un Sistema Aislado.

El agua que fluye por el arroyo El Chaupe, con un caudal máximo de 0,55 m³/s, es el recurso hídrico que se aprovecha.

Los parámetros hidroenergéticos de la central son los siguientes.

Caudal de Diseño	0,55 m ³ /s
Caída Bruta	96 m
Caída neta (Hn)	95,95 m
Potencia Instalada	430 kW

La Central Hidroeléctrica de Pucara tiene las siguientes estructuras:

1. Bocatoma
2. Desarenador
3. Canal de Adicción
4. Cámara de Carga
5. Tubería de Presión
6. Casa de Maquina y Patrio de Llaves

La Chaupe Pucará cuenta con dos grupos hidráulicos y un grupo térmico, los grupos de generación hidráulica son 02 turbinas tipo Pelton de eje vertical de 215 kW de potencia; y el grupo térmico es de marca Detroit Diésel de 450 kW de potencia.

La máxima demanda del sistema Pucara en hora punta alcanza los 430 kW. para lo que genera los grupos hidráulicos en paralelo con el Grupo térmico que genera en promedio 110 kW.; mientras que en hora valle se alcanza una demanda de 220 kW, que es cubierta por los grupos hidráulicos, el suministro de agua a la central es de la quebrada El Chaupe.

Equipo Mecánico: Posee 02 turbinas, cada una de las siguientes características

Turbina	Tipo PELTON
Fabricante	Algesa
Caudal Nominal	0,275 m3/seg.
Caída de succión Neta	95,95 m.
Potencia Nominal al eje	215 KW
Velocidad Nominal	720 RPM

Generador

Tipo	Síncrono
Potencia Nominal	250 KVA
Factor de Potencia	0,8
Número de fases	3
Tensión	200 KW
Frecuencia Nominal	60 Hz
Velocidad Nominal	720 RPM
Amperaje	328 A
Voltaje	440 V
Velocidad Nominal	720 RPM

B. Actualmente la regulación se realiza mediante el control manual de la compuerta, con la que se aumenta o disminuye el Caudal, produciendo que la velocidad de la turbina aumente o disminuya.

Como es manual, la regulación está en función a la experiencia del operador, quien en ocasiones no opera bien la compuerta lo que origina que la turbina se embale y en otras ocasiones se ralentice, esto origina que los valores de tensión y frecuencia se vean alterados, produciendo que la calidad del servicio de energía eléctrica no se encuentre de acuerdo a la NTCSE.

En la siguiente tabla presentamos el número de variación de la velocidad de las turbinas durante el año 2022.

Tabla 2: Número Variaciones de la velocidad de la Turbina

Mes	Número Variaciones de la velocidad
Enero	15
Febrero	12
Marzo	22
Abril	24
Mayo	18
Junio	19
Julio	25
Agosto	23
Setiembre	17
Octubre	19
Noviembre	22
Diciembre	21

Nota: Fuente Electro Oriente

En la tabla anterior podemos evidenciar que la Turbina tiene demasiadas variaciones de velocidad como consecuencia que no cuenta con un regulador de velocidad.

B. Parámetros para el diseño del sistema de control de velocidad de la turbina en la mini central hidroeléctrica Chaupe Pucará – Jaén.

Los criterios de diseño del sistema de control de celeridad de las 02 turbinas Pelton de la mini central hidroeléctrica Chaupe Pucará - Jaén son los siguientes:

- a. Velocidad de rotación del péndulo o tacómetro (rpm) en los modelos mecánico, hidráulico y electrohidráulico.
- b. rpm de la bomba de aceite, que es controlada y accionada. Es una bomba eléctrica independiente
- c. El período de tiempo que un pistón del servomotor puede moverse para cambiar la posición del mecanismo de entrada de agua de inactivo a completamente cargado se mide en milímetros (m).
- d. La capacidad de trabajo se mide en kilogramos por metro cuadrado (Kg-m), y se calcula multiplicando la fuerza máxima necesaria para accionar el mecanismo de entrada de agua de la turbina por la carrera del servomotor.
- e. El rango de velocidad en el que puede operar el regulador se denomina regulación o ajuste de velocidad (en porcentaje); este ajuste se realiza ajustando el dispositivo variador de velocidad y se expresa en porcentaje de la velocidad nominal.
- f. La caída permanente (en porcentaje), que es la diferencia proporcional entre las velocidades de la turbina sin carga y con carga completa, generalmente oscila entre 0 y 6 por ciento.
- g. La cantidad de tiempo que tarda el pistón del amortiguador en completar una carrera completa cuando un resorte actúa como amortiguador, medido en segundos. El uso de una válvula de aguja permitirá la graduación.
- h. El período de corte de agua (en seg.), que normalmente oscila entre 3 y 15 segundos, es la cantidad de tiempo que necesita el servo para lograr un cierre completo del mecanismo de admisión de agua a la turbina.
- i Usando la medida de fricción que está presente en el regulador, podemos calcular el grado de insensibilidad (en porcentaje) como la variación de velocidad requerida para que comience la regulación.

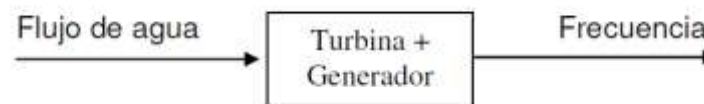
j. La presión de operación del aceite (PSI), que puede ser controlada por una válvula de seguridad, es la presión máxima de trabajo en el circuito hidráulico y normalmente alcanza los 300 PSI.

C. Modelo del sistema de control de velocidad mediante funciones de transferencias del sistema de control

3.3.1. Estructura del Control de la Mini Central Hidroeléctrica.

A continuación, se muestra un diagrama de bloques del sistema de control del generador y de la turbina:

Figura 5: Control de la Turbina



Nota: Elaboración propia

a. Control del Sistema.

La energía del agua se usa en plantas hidroeléctricas para alimentar un generador y turbina que produce electricidad para la cuadrícula. La frecuencia tendrá un impacto directo en la velocidad del generador y la turbina. Hacer este ajuste requiere alterar el flujo que va a la turbina. A medida que cambia la carga de la red, la frecuencia también lo hace.

Nuestro proyecto, un controlador de turbina para pequeñas plantas de energía hidroeléctrica, terminará utilizando un regulador integral proporcional.

Lo que se busca es permanecer sin variar la celeridad del alternador para mantener constante la frecuencia.

La celeridad de rotación de la turbina se reduce a medida que aumenta la carga, pero el flujo se mantiene constante mediante un cambio en la frecuencia del generador a una más baja. Como se puede observar, el generador y la turbina utilizan como signo

de entrada al caudal y como signo de salida a la frecuencia. Al resolver el problema de regulación de frecuencia, la carga causa interferencia.

$$V(t) = V_0 + K_p (f_{ref}(t) - f(t)) \quad \text{Ecuación 1}$$

La frecuencia debería aumentar a medida que lo hace el flujo, lo cual tiene sentido. El tipo de retroalimentación se llama retroalimentación proporcional. Reducir el error de frecuencia es sencillo con esta clase de retroalimentación.

El error no puede eliminarse por completo hasta que f sea igual a la frecuencia de referencia. Con un aumento en la carga y el flujo, la frecuencia cae para el flujo normal y aumenta para el flujo anormal.

El aumento continuo de la señal de ingreso hasta alcanzar la frecuencia esperada es, por supuesto, la única solución a este problema. Esto indica que tanto los términos proporcionales como los integrales están presentes en la señal de entrada. $f_{ref}(t) - f(t)$
Cuando una carga es de 215 kW, necesitamos 0,55 m³/s.

b. Control del Sistema.

En una mini central hidroeléctrica, es necesario una inspección de flujo suficiente para regular la velocidad de la turbina hidráulica al nivel deseado.

El control de potencia es posible gracias al desplazamiento recto de la aguja de la válvula. El modelo de control de flujo fue desarrollado específicamente para la inspección automática de hidroeléctricas pequeñas. El patrón recomendado emplea un servomotor para controlar el movimiento lineal de la válvula de control, que a su vez regula el flujo.

En un sistema hidroeléctrico, el consumidor demanda voltaje y frecuencia constantes. Para mantener estos parámetros constantes, el sistema debe tener un control.

El bosquejo básico del sistema de control de la celeridad de una hidroeléctrica se muestra a continuación:

Figura 6: Diagrama de bloques del sistema de posición



Nota: Elaboración propia

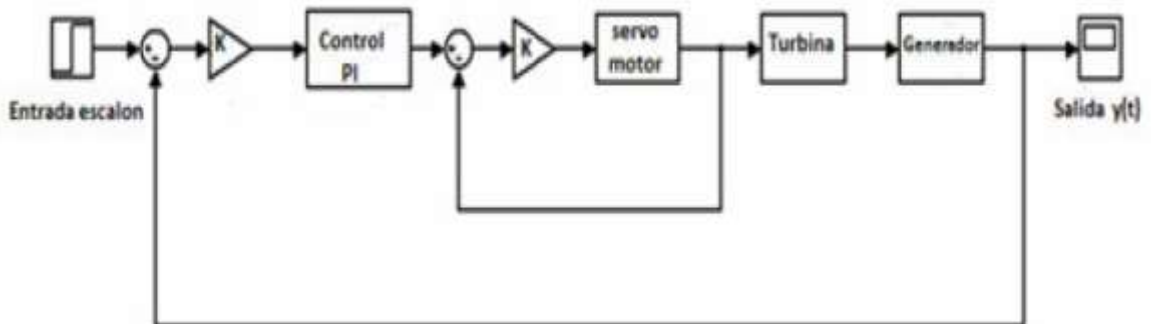
Esta tesis analiza el tema de mantener la frecuencia constante en el sistema de regulación de celeridad de una pequeña central hidroeléctrica.

c.. Modelo Propuesto

El sistema sugerido empleará una válvula de un solo pistón para controlar el flujo de agua. La válvula proporcionará control de flujo para generar energía dependiendo de la carga. En la consistencia del flujo de control, se basa la válvula de control. Un servomotor controla esta válvula.

La figura a continuación muestra en cascada la arquitectura general.

Figura 7: Modelo del Sistema en Bloques



Nota: Elaboración propia

d. Desarrollo de la arquitectura

Vamos a crear una estructura que controle el flujo, así como la potencia y velocidad de la hidroturbina. La válvula que controla el caudal de agua en el diseño propuesto será accionada por un servomotor.

Consideré usar un servomotor de CC para controlar plantas de energía hidráulica pequeñas y medianas para este modelo. Por lo tanto, nuestro diseño requerirá de poca mantenimiento y es menos costoso que los controladores hidráulicos electroneumáticos y mecánicos. convencionales.

Estos tres elementos componen todo el sistema de control de la turbina.

El director.

Servosistema.

Turbina

Generador

La arquitectura siguiente es la propuesta para el control de una Minicentral Hidroeléctrica, de acuerdo a la figura 7.

Funciones de transferencia:

$1/(1-sT_1)$ Modelo de regulación eléctrica del servo.

$1/(1-sT_2)$ Modelo de regulación mecánica del servo.

$(1-sT_w)/(1-0.5sT_w)$ Modelo de regulación de la turbina

$Kp/(1-sT_p)$ Modelo de regulación del generador

Con esto controlamos la frecuencia del generador para proporcionar a la turbina una entrada de flujo específica para una carga dada.

Usamos el modelo de una central para nuestro análisis, donde el servomotor controla el flujo en su totalidad.

El controlador tiene la siguiente función de transferencia del servomotor:

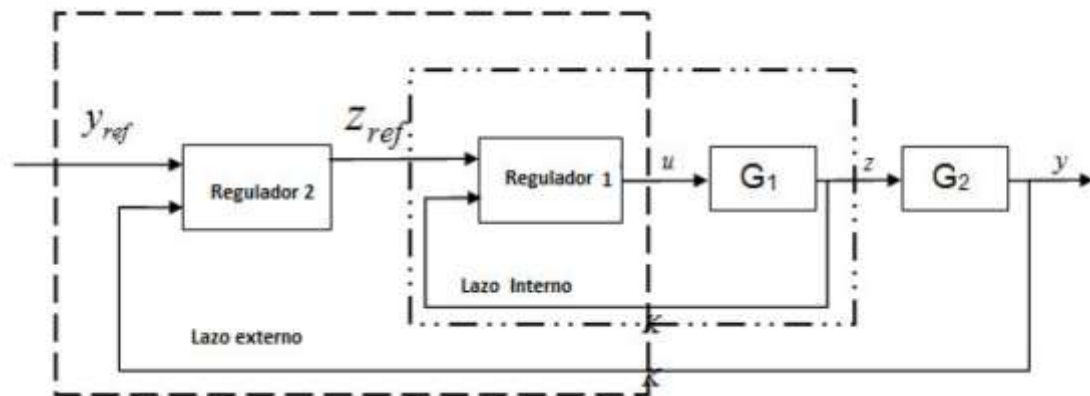
$$G_S = \frac{1}{1-sT_1} \frac{1}{1-sT_2} \text{ Ecuación 2}$$

Para: tiempo constante mecánico es T_1 y el tiempo constante eléctrico T_2

e. Configuración en Cascada.

La estructura del controlador en cascada se utiliza en el siguiente modelo:

Figura 8: Diagrama de bloques en cascada



Nota: Elaboración propia

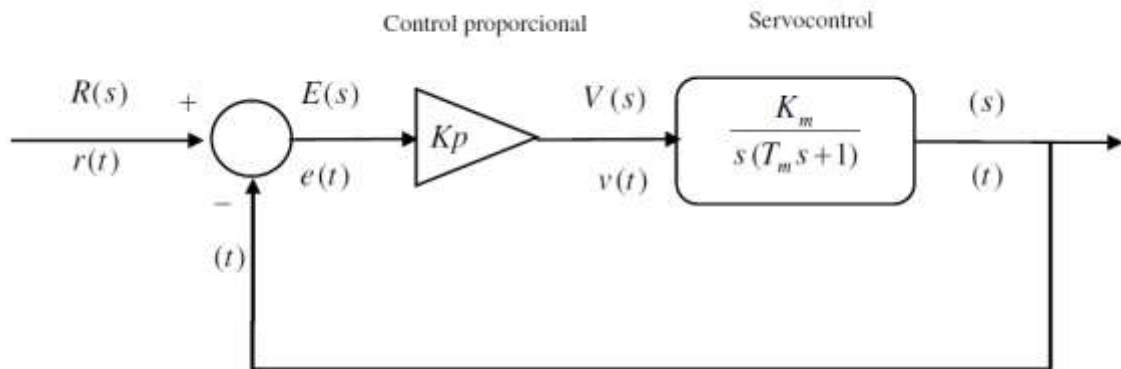
En este escenario, el regulador de frecuencia del sistema está ubicado fuera del lazo interno del sistema, que se utiliza para el control de posición.

Lazo Interno

Usando un servomotor de CC y un controlador proporcional, implementaremos el control de posición en este subsistema.

Se utilizará una entrada de paso para simular la respuesta de este sistema antes de que se implemente realmente para mostrar cómo responde en la práctica.

Figura 9: Sistema de control de posición de bucle cerrado de un servomotor

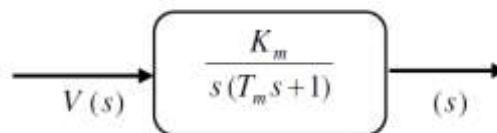


Nota: Elaboración propia

f. Análisis en Lazo Abierto del Servomotor DC

El modelo de Servomotor es un sistema de segundo orden. En atención a ello se utilizará con una constante de tiempo simplificada para representar el servomotor de DC.

Figura 10: Esquema simplificado del servomotor DC en lazo abierto

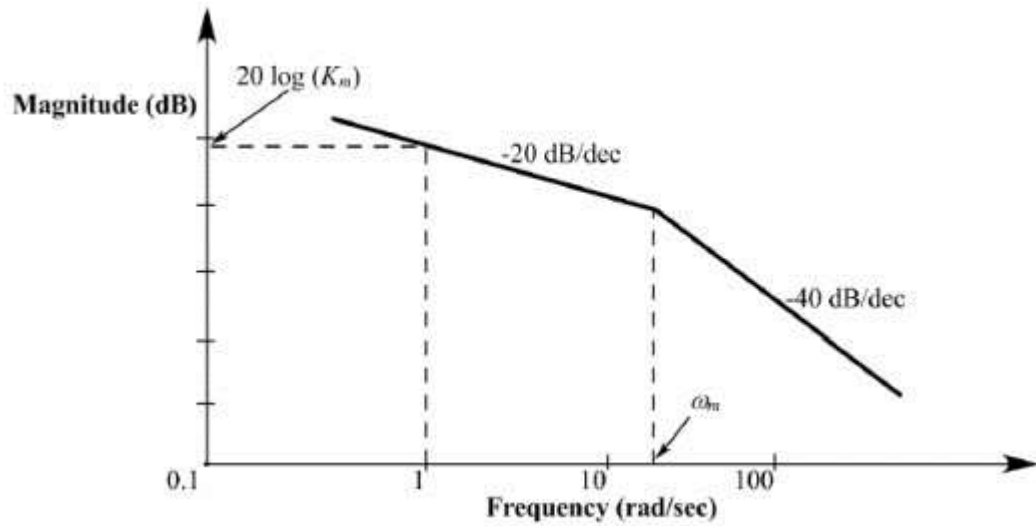


Nota: Elaboración propia

donde T_m es la constante de tiempo electromecánica del sistema y K_m es la ganancia neta del sistema. La posición angular está representada por $l_a(s)$ salida(s), y la entrada de voltaje del sistema está representada por $V(s)$.

El siguiente diagrama muestra el diagrama de Bode de la función de transferencia:

Figura 11: Esquema de Bode de la función de transferencia



Nota: Elaboración propia

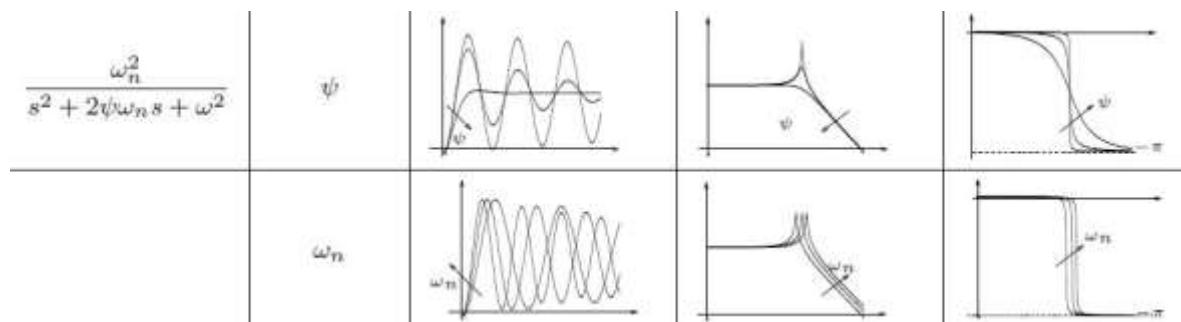
$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{K_m}{(T_m s + 1)s} \quad \text{Ecuación 3}$$

El sistema de segundo orden que se utilizará tiene la siguiente función de transferencia.

$$\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad \text{Ecuación 4}$$

Para: ω_n es la frecuencia natural del sistema, consideran que es el punto de quebrante.

Figura 12: Variación del modelo en función de ω_n y ζ .



Análisis en Lazo Cerrado

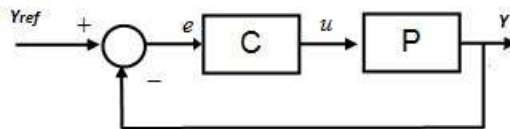
El sistema de control de posición de bucle cerrado se representa en forma de diagrama de bloques en la fig. 13 La siguiente es su función de transferencia:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{K_p K_m}{s^2 T_m + s + K_p K_m}$$

Ecuación 5

Si hay una función de transferencia para la retroalimentación.

Figura 13: Diagrama de bloques del Servo.



Para el bloque P es el servomotor:

$$P = \frac{K_m}{s(T_m s + 1)}$$

Ecuación 6

$$C = K_p$$

El lazo externo, controla el dispositivo de flujo primario a través del servomotor de CC y establece el punto de referencia para el lazo interno, que regule la variable principal, la frecuencia, responderá inmediatamente ante una variación de carga provocado por la perturbación. El estado del sistema de segundo orden del bucle interno es una ventaja.

El control en cascada tiene como propósito principal dividir el control del proceso en dos partes, crear un lazo de control secundario alrededor de las perturbaciones

grandes y restringir el controlador primario para que maneje las perturbaciones pequeñas.

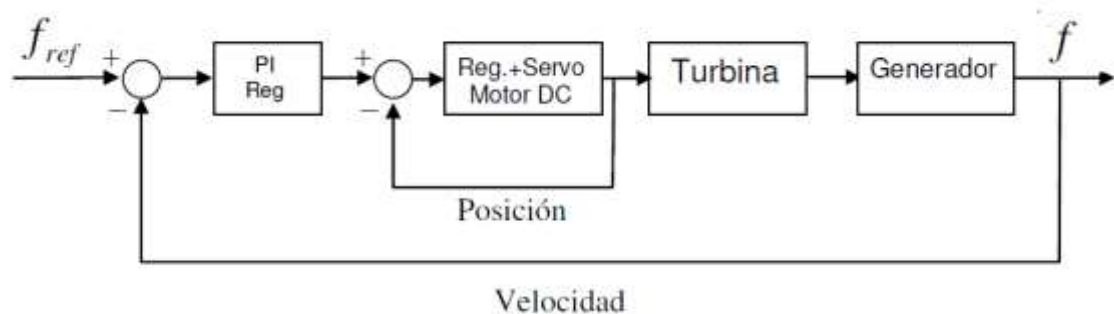
Los beneficios del control en cascada son los siguientes.

- Mejora del control sobre la variable principal.
- La variable primaria es menos susceptible a choques.
- Restauración después de las anomalías.
- Incrementar la frecuencia intrínseca del sistema.
- Disminuir la magnitud real del retardo de tiempo.
- Mejora del rendimiento dinámico.
- Especificar límites para la variable auxiliar.

La verificación en cascada requiere que el bucle secundario se construya cerca del ruido primario. La capacidad de las variables secundarias para adaptarse rápidamente a las perturbaciones también es importante.

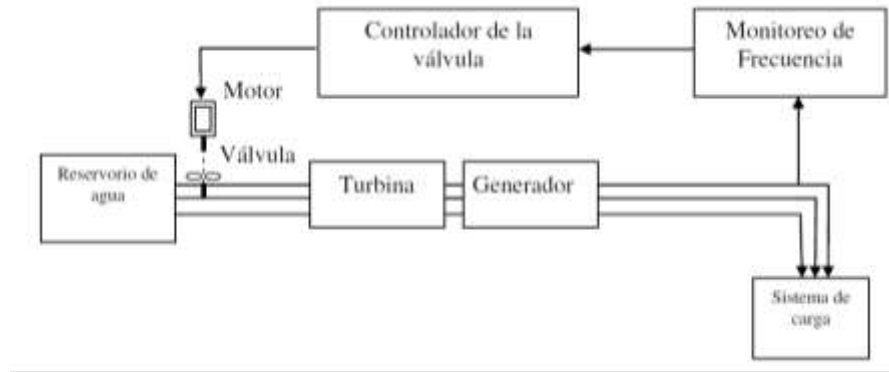
Como se muestra en la siguiente figura, solo hay un controlador maestro, normalmente un controlador esclavo y una variable manipulada.

Figura 14: Arquitectura del regulador de velocidad



Nos desempeñamos mejor con la regulación en cascada que con un solo regulador. Debido a que el regulador interno regulará más rápidamente cuando exista una variación significativa, este tipo de control es común en los procesos que existe en las industrias.

Figura 15: Esquema de la mini central hidroeléctrica



El siguiente diagrama muestra cómo funciona el diagrama de flujo de diseño general. Contiene bloques para controlador de velocidad, controlador de posición, turbina y generador.

Figura 16: Diseño completo con sus controladores

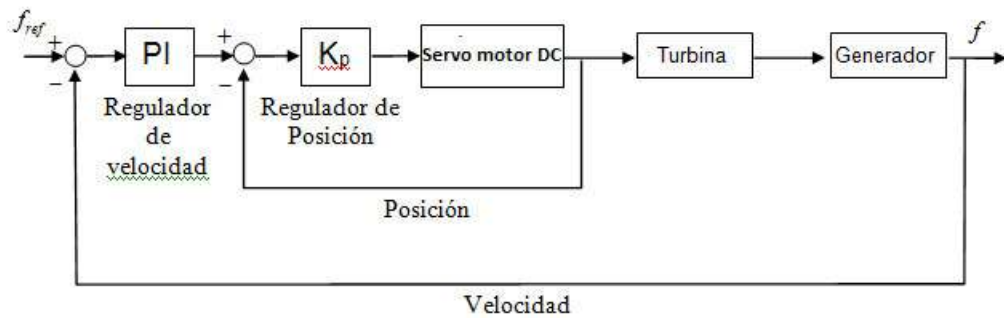
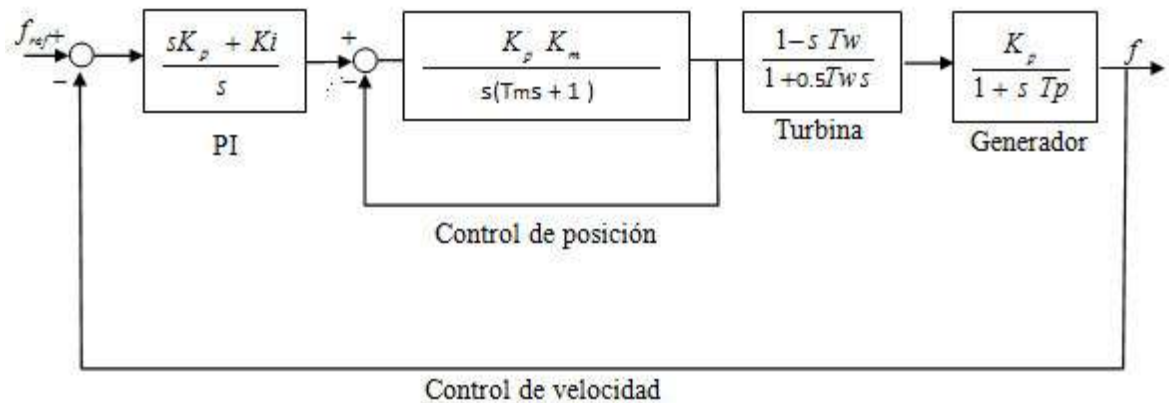


Figura 17: Función de Transferencia con su modelo matemático



El esquema antes indicado, ilustra cómo se transfiere la función del Sistema de Control Micro Hidroeléctrico a nuestro regulador automático.

Para regular la velocidad de un microsistema hidroeléctrico usando un regulador PI, calcularemos las funciones de transferencia del servomotor, generador y de la turbina.

Modelando la Transferencia de Función de la Turbina Hidráulica

Comparando la respuesta de una turbina al inicio del par con la respuesta de una turbina, el tiempo de inercia es mayor cuando el agua es la fuente de energía.

La función subsiguiente es una buena aproximación del modelo de transferencia de funciones de la hidroturbina:

$$\Delta P_g (s) = \frac{-T_w s + 1}{(T_w / 2)s + 1} \Delta P_E (s)$$

Ecuación 7

Sabemos que:

T_w = Tiempo de arranque nominal de agua en la tubería de carga. = $\mu L / g H$

L = Longitud de la tubería (m)

μ = Velocidad del agua

H = Presión de altura (m)

G = gravedad (m/s^2)

ΔP_G = La potencia Incremental (torsión) salida de la turbina (p.u.)

ΔP_E = Entrada de la potencia incremental a la turbina. (Posición de la válvula) (p.u.)

s = Transformada de Laplace

Los datos de la mini central hidroeléctrica son:

$P = 215 \text{ kW}$

$$H = 95,95 \text{ m}$$

$$\eta = 0.85 \%$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$Q = 0.55 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$L = 195 \text{ m}$$

La Función de Transferencia de la Turbina

$$\frac{\Delta P_G(s)}{\Delta P_L(s)} = \frac{1 - sT_w}{1 + 0.5sT_w} \quad \text{Ecuación 8}$$

ΔP_G = A la salida de la turbina la potencia incremental (torsión) (p.u.)

ΔP_E = Potencia incremental a la entrada de la turbina. (Posición de la válvula) (p.u.)

$$T_w = \frac{\mu L}{gH}$$

L = Longitud del ducto (m) = 195 m

L = 195 m.

μ = velocidad del agua (m/s)

$$\mu = \sqrt{2 \cdot g \cdot L} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 195} = 61,85 \text{ m/s}$$

$$\mu L = 61,85 \times 195$$

$$T_w = \frac{\mu L}{gH} = \frac{61,85 \times 195}{9,81 \times 91,95}$$

$$T_w = 0,13 \text{ s}$$

$$\frac{1 - sT_w}{1 + 0,5T_w s} = \frac{1 - 0,13s}{1 + 0,08s} \quad \text{Ecuación 9}$$

Función de transferencia del servomotor DC.

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K_p K_m}{s^2 T_m + s + K_p K_m}$$

Ecuación 10

donde K_p es el valor del bucle interno del control proporcional del bucle de control de posición del servomotor de corriente continua.

Los valores de inicio son:

$$K_p = 0,10$$

$$K_m = 10,00$$

$$T_m = 0,25$$

$$G(s) = \frac{1}{0,25s^2 + s + 1} = \frac{4}{s^2 + 4s + 4}$$

Ecuación 11

Función de Transferencia del Generador

Está dada por la siguiente fórmula:

$$G(s) = \frac{K_p}{1 + sT_p} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

$$K_p = 1/D$$

$$D = \frac{P_L}{f P_R}$$

Donde D se asume que es el rendimiento de la última carga.

$$T_p = \frac{2H}{fD} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

T_p = Es el tiempo de respuesta del sistema.

H = Es la inercia constante del generador.

f = Frecuencia nominal del sistema.

Si se tiene una carga nominal de: $P_L = 215 \text{ kW}$ a una frecuencia de 60 Hz la potencia del generador es: $P_R = 269 \text{ kW}$

Entonces:

$$D = (215) / (60 \times 269) = 0,013 \text{ p.u./Hz}$$

Para el sistema con un tiempo y una ganancia permanente.

$$K_p = 1 / 0,013 = 76,92 \text{ Hz/p.u}$$

$$H = 1 \text{ s}$$

$$T_p = 2,56 \text{ s}$$

Reemplazando los datos calculados, presentamos la función de transferencia del generador:

$$G(s) = \frac{K_p \quad 76,92}{1 + sT_p} \quad 1+2$$

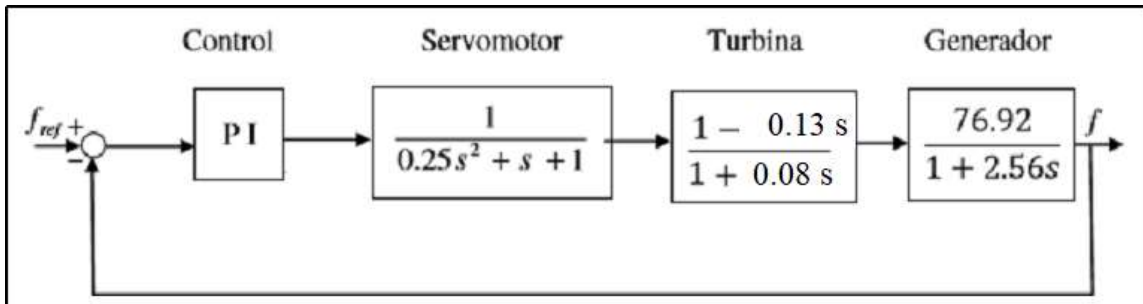
A continuación, tenemos:

$$PI = \frac{sK_p + K_i}{s} \quad \text{Ecuación 14}$$

Resultado de los bloques del sistema

La función de transferencia de los valores del modelo es la siguiente:

Figura 18: Valores finales del sistema de control



Nota: Elaboración propia

Reducción del sistema

La sustitución de todos los valores calculados no da como resultado el modelo siguiente.

Dicho modelo en cascada para el cálculo de control de la pequeña central hidroeléctrica para entradas escalonadas.

Cortando la holgura.:

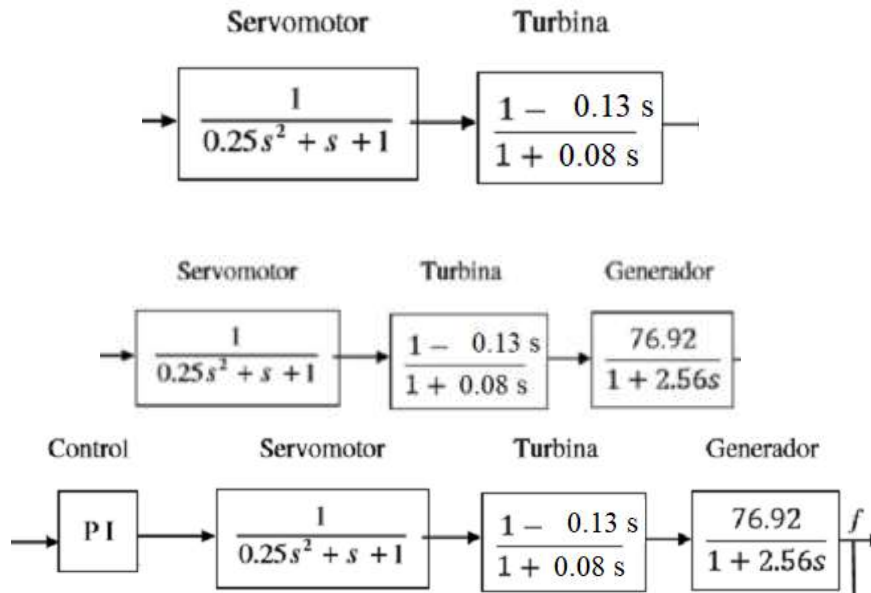
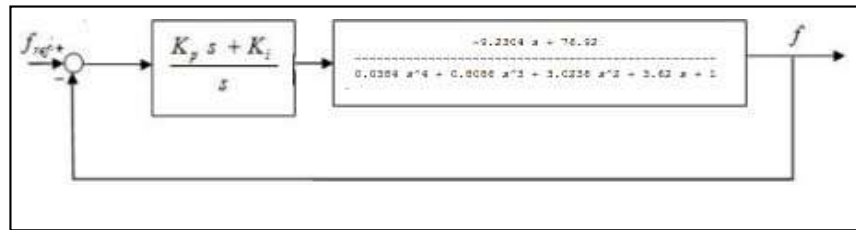


Figura 19: Reducción del sistema



Nota: Elaboración propia

```
>> Kp=0.01;
>> Ki=0.005;
>> num1= [ 0 0 Kp Ki];
>> den1= [0 0 1 0];
>> num2= [ 0 0 -9.2304 76.92];
>> den2= [ 0.0384 0.8086 3.0236 3.62 1];
>> [num,den]=series(num1,den1,num2,den2);
>> printsys(num,den)
```

num/den =

$$\frac{-0.092304 s^2 + 0.72305 s + 0.3846}{0.0384 s^5 + 0.8086 s^4 + 3.0236 s^3 + 3.62 s^2 + s}$$

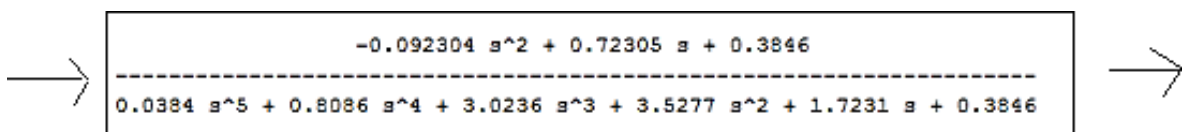
Tenemos:

```
>> num1=[ 0 0 -0.092304 0.72305 0.3846];
>> den1=[ 0.0384 0.8086 3.0236 3.62 1 0];
>> num2=[ 0 0 0 0 1];
>> den2=[ 0 0 0 0 1];
>> [num,den]=feedback(num1,den1,num2,den2);
>> printsys(num,den)
```

num/den =

$$\frac{-0.092304 s^2 + 0.72305 s + 0.3846}{0.0384 s^5 + 0.8086 s^4 + 3.0236 s^3 + 3.5277 s^2 + 1.7231 s + 0.3846}$$

Tenemos el sistema final reducido



g. Implementación del software de un control digital PID

Los controladores PID se pueden implementar en software y hardware.

Un controlador PID o controlador proporcional, integral y derivativo, es un mecanismo de control que a través de un lazo de retroalimentación permite regular la velocidad, temperatura, presión y flujo entre otras variables de un proceso en general. El controlador PID calcula la diferencia entre nuestra variable real contra la variable deseada.

El algoritmo del control PID consta de tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor proporcional depende del error actual, el integral depende de los errores pasados y el derivativo es una predicción de los errores futuros. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar el proceso por medio de un elemento de control, como la posición de una válvula de control o la potencia suministrada a un calentador.

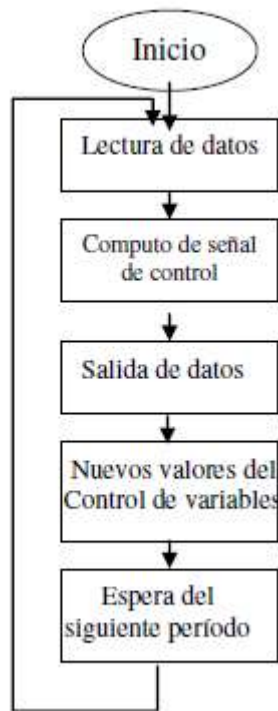
Los reguladores se implementan en software que se ejecuta en tiempo discreto, mientras que los controladores se ejecutan en sistemas físicos en tiempo continuo.

Para tiempo discreto, la señal de control cambia solo a intervalos específicos, como una vez por segundo o más frecuentemente.

Si las mediciones de la señal se muestrean a intervalos de tiempo específicos, entonces las mediciones de la señal también son discretas.

La siguiente imagen muestra el diagrama de flujo del software:

Figura 20: Diagrama de Flujo



Nota: Elaboración propia

Ocurre lo siguiente:

lectura del voltaje del sensor.

Envío a los actuadores de un cálculo de tensión.

el actuador está recibiendo una señal de voltaje.

Espera hasta el inicio del período de muestreo subsiguiente.

Implementación del Algoritmo PID Discreto

Dado que las computadoras solo pueden trabajar con valores discretos y finitos, las ecuaciones del controlador PID deben discretizarse para lograr el algoritmo de control. Después de la discretización, se cuantifica la acción de control en cada momento de muestreo. Si se calcula una nueva acción de control cada vez que se utilizan nuevas salidas del sistema, el sistema debería poder acercarse al estado deseado especificado por los criterios con cada recálculo. Las siguientes ecuaciones

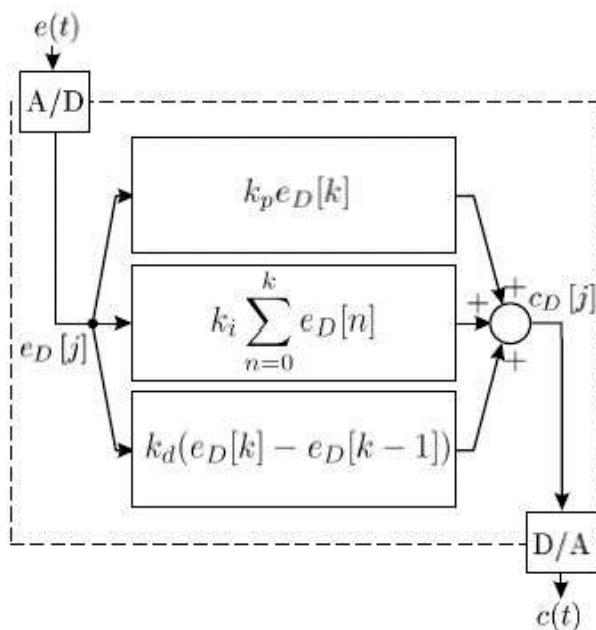
se pueden usar para representar las ecuaciones del regulador discreto que se pueden usar en su computadora

$$u_{(t)} = K_p e_{(t)} + K_i T_s \sum_{k=0}^t e_k + K_d \frac{e_{(t)} - e_{(t-1)}}{T_s}$$

Ecuación 15

En la siguiente figura se presenta la versión digital.

Figura 21: Controlador digital PID.



Nota: Elaboración propia

Para:

La ganancia proporcional digital del regulador es K_p .

La ganancia integral digital del regulador (K_i) es igual a 1.

K_d es la ganancia del regulador en derivados digitales.

El tiempo de muestreo de la señal viene dado por T_s

El error de respuesta del sistema en el momento t se indica con el símbolo e_D .

Controlador Digital PID.

Haciendo uso de Laplace, el controlador PID discreto se consigue formular directamente. Aquí, el algoritmo PID se puede expresar como:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right]$$

Ecuación 16

Se puede utilizar la diferencia hacia atrás o el método de transformación bilineal. Como resultado, se obtendrá el equivalente del controlador PID discreto, lo que permitirá que la computadora realice las operaciones.

entonces se utiliza el enfoque de diferencias hacia atrás.

$$s = \frac{z-1}{zT} = \frac{1-z^{-1}}{T}$$

Ecuación 17

Donde: T: Tiempo de muestreo

Un controlador PID digital tiene la siguiente función:

$$U(z) = K_p \left[1 + \frac{T}{T_i (1-z^{-1})} + T_d \frac{(1-z^{-1})}{T} \right] E(z)$$

Ecuación 18

También puede ser representada la función de transferencia discreta:

$$u(t) = \underbrace{u(t-1)}_P + K_p \underbrace{[e(t)] - e(t-1)}_I + \frac{K_e T_s}{T_i} e(t) + \frac{K_e T_d}{T_s} \underbrace{[e(t) - 2e(t-1) + e(t-2)]}_D$$

Este es un PID de fórmula discreta.

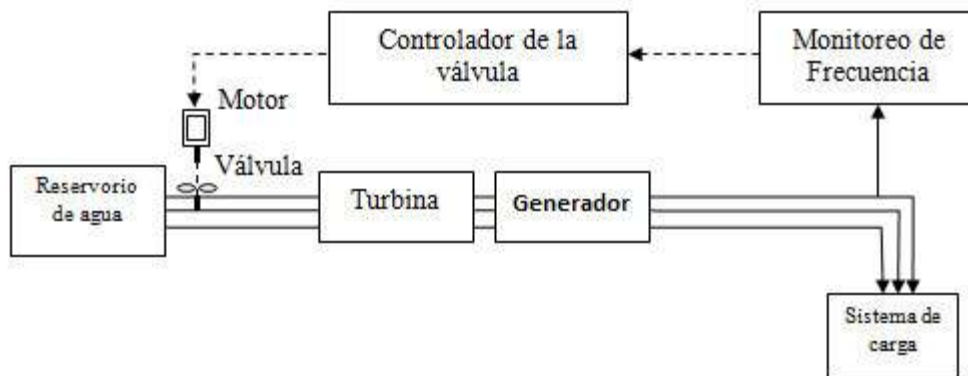
Implementación del software de un control digital PID

En nuestro sistema, la celeridad del alternador de inducción será administrada por una turbina Pelton.

La función principal del control de posición, es la necesidad de contar los pulsos que cada bucle ha recogido. La celeridad del generador, se puede calcular dividiendo el número de pulsos por el tiempo que lleva completar un ciclo, además este valor es la salida del sistema

La velocidad del generador se registrará en los diagramas a continuación, y cuando logre la celeridad requerida, el error será cero. Si no, el PID del controlador de velocidad tomará medidas para regular la celeridad.

Figura 22: Esquema de la mini central hidroeléctrica



Nota: Elaboración propia

El generador funcionará hasta que logre mantener la velocidad especificada por la referencia suministrada, momento en el cual el error resultará cero. Si esto no sucede, el controlador PI seguirá funcionando.

La subrutina del control de velocidad PI, que está escrita en C, usará los datos del ADC que está siendo censado para regular la velocidad a través del controlador PI.

Los pasos que componen la implementación del algoritmo digital son los siguientes:

Lea la entrada analógica, primero.

Se debe calcular la señal de ingreso.

El error debe ser calculado.

d) Calcule P, I y D.

Realice el cálculo de PID.

f) Inserte la "u" en el D/A.

g) Las variables deben actualizarse.

Así, el algoritmo se implementa de la siguiente manera:

Algoritmo de optimización de velocidad en lenguaje C. //Ti = 2 seg. período de integración en el ámbito temporal. // establezca el límite superior (Umax) del rango en diez.

especifique Umin 0.

Referencia flotante; // se refiere a algo.

Entrada desde el controlador, flotar Delta_u. procedimiento PID Ki es un parámetro integrador digital con valor 0.0005. // Parámetro digital derivado Kd= 0.

Especifique Kp como Kp = 0.01 // ganancia proporcional discreta. Ponga Ki = 0.0005 // ganancia integral discreta en su definición, la ganancia derivada discreta se define como Kd = 0. especifique Ts como el período de muestreo de la señal (Ts = 0,1). establezca el límite superior (Umax) del rango en diez.

especifique Umin 0.

Referencia flotante; // se refiere a algo.

Entrada desde el controlador, flotar Delta_u. procedimiento PID. flotar u; // La salida del PID. establezca el límite superior (Umax) del rango en diez.

especifique Umin 0.

Referencia flotante; // se refiere a algo.

*Entrada desde el controlador, flotar Delta_u. procedimiento PID K1, K2, K3 y flotador. Un parámetro discreto es k1 = kpkikd. Un parámetro discreto, k2, tiene la siguiente fórmula: k2 = -kp - 2*kd. Se utiliza el parámetro discreto k3=kd.*

pid() devuelve vacío. e2 = e1; // actualiza el error con nuevos datos. Actualice el error anterior con e1 = e. La variable y se lee del sensor usando readADC(). // Calcular el

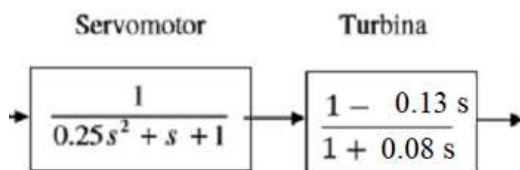
nuevo error. $e = \text{referencia} - y$. La salida del algoritmo PID digital es Δu ($u = U_{\min}$), entonces lo contrario. $u = U_{\min}$ }. Enviar a la tienda en u configurando u .

Actualización de la muestra anterior: $u_1 = u$.

D. Desarrollo y comprobación de las funciones de transferencia del sistema de control de velocidad de la turbina, teniendo al servomotor, turbina y generador mediante el uso de Matlab

Para la reducción usaremos Matlab para facilitar el proceso.

Servomotor – Turbina

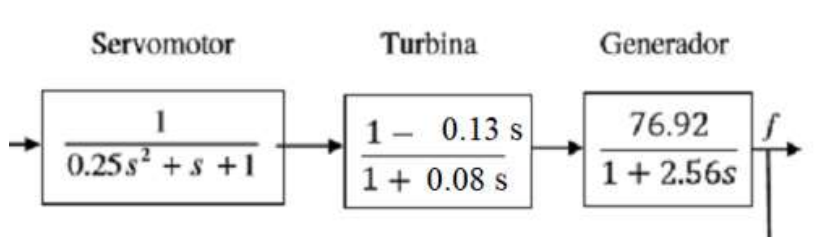


```
>> num1= [0 0 0 1];
>> den1= [0 0.25 1 1];
>> num2= [ 0 0 -0.12 1];
>> den2= [0 0 0.06 1];
>> [num,den]= series(num1,den1,num2,den2);
>> printsys(num,den)
```

num/den =

$$\frac{-0.12 s + 1}{0.015 s^3 + 0.31 s^2 + 1.06 s + 1}$$

Servomotor-Turbina-Generador



```

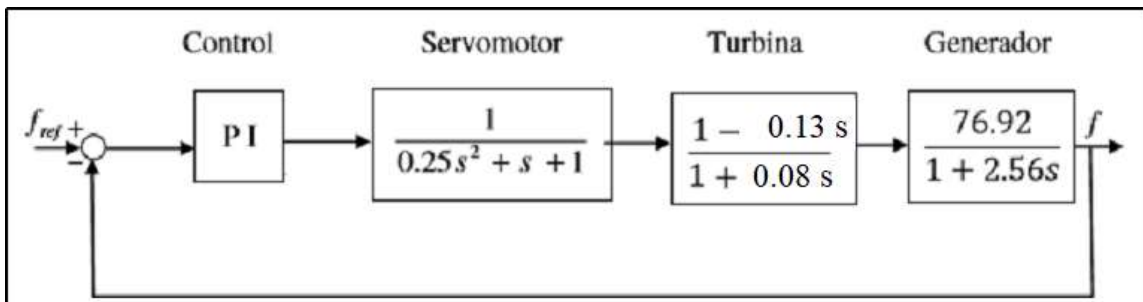
>> num1= [ 0 0 -0.12 1];
>> den1= [ 0.015 0.31 1.06 1];
>> num2= [0 0 0 76.92];
>> den2= [ 0 0 2.56 1];
>> [num,den]=series(num1,den1,num2,den2);
>> printsys(num,den)

num/den =

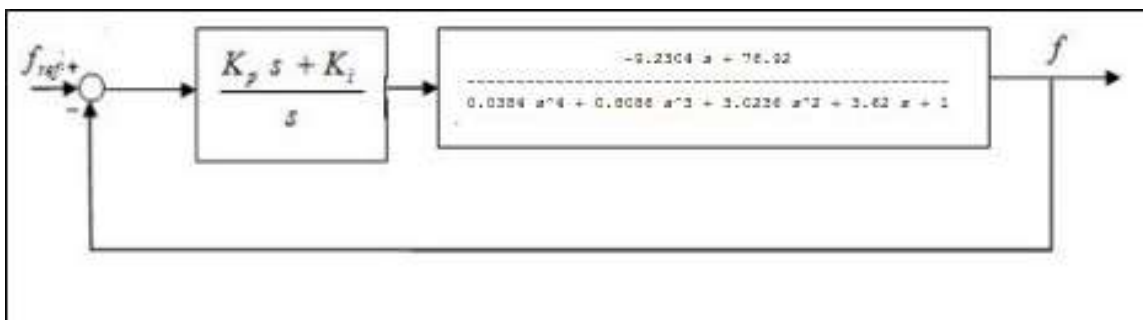
          -9.2304 s + 76.92
-----
0.0384 s^4 + 0.8086 s^3 + 3.0236 s^2 + 3.62 s + 1

```

Utilizando el controlador PI para el sistema



Con el resultado anterior la reducción



```

>> Kp=0.01;
>> Ki=0.005;
>> num1= [ 0 0 Kp Ki];
>> den1= [0 0 1 0];
>> num2= [ 0 0 -9.2304 76.92];
>> den2= [ 0.0384 0.8086 3.0236 3.62 1];
>> [num,den]=series(num1,den1,num2,den2);
>> printsys(num,den)

num/den =

    -0.092304 s^2 + 0.72305 s + 0.3846
-----
0.0384 s^5 + 0.8086 s^4 + 3.0236 s^3 + 3.62 s^2 + s

```

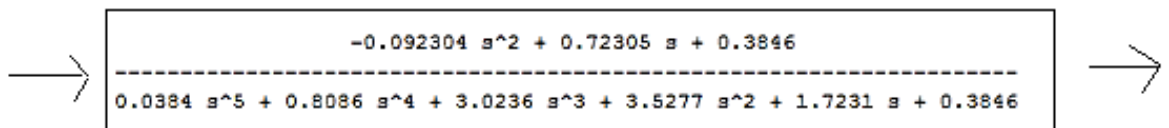
Tenemos:

```
>> num1=[ 0 0 -0.092304 0.72305 0.3846];  
>> den1=[ 0.0384 0.8086 3.0236 3.62 1 0];  
>> num2=[ 0 0 0 0 1];  
>> den2=[ 0 0 0 0 1];  
>> [num,den]=feedback(num1,den1,num2,den2);  
>> printsys(num,den)
```

num/den =

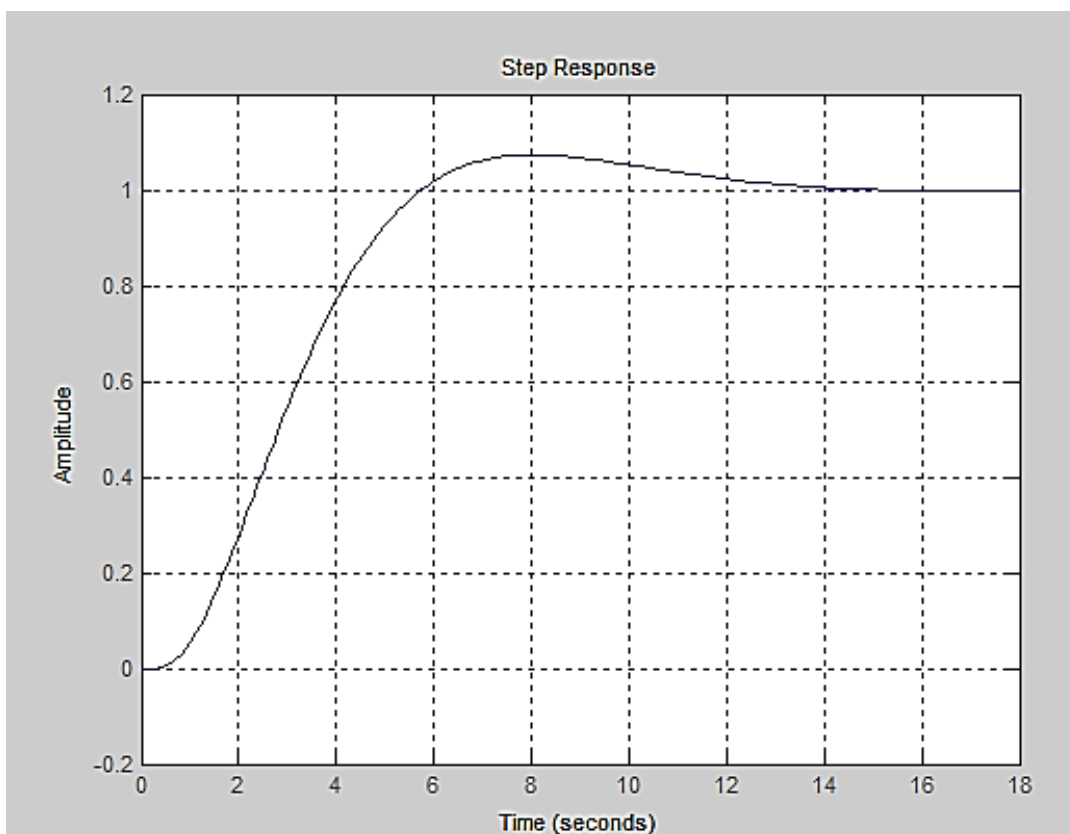
$$\frac{-0.092304 s^2 + 0.72305 s + 0.3846}{0.0384 s^5 + 0.8086 s^4 + 3.0236 s^3 + 3.5277 s^2 + 1.7231 s + 0.3846}$$

Tenemos el sistema final reducido:



Respuesta escalón del sistema diseñado:

```
>> num=[0 0 -0.092304 0.72305 0.3846];  
den=[0.0384 0.8086 3.0236 3.5277 1.7231 0.3846];  
step(num,den);  
>> grid;
```



En la gráfica podemos como la velocidad se controla rápidamente, es decir después de 14 segundos la velocidad es controlada rápidamente, haciendo que la velocidad sea constante. Este retraso de 14 segundos para regular la velocidad sobre la frecuencia, produce que la velocidad en un comienzo sea variable.

E. Evaluación económica del sistema de control a diseñar.

A continuación, presentamos una revisión del sistema de control propuesto.

Tabla 3: Presupuesto del Control de Velocidad

ITEM	DESCRIPCION	UNID.	CANT.	COSTO UNITARIO US\$	TOTAL
1.00	SUMINISTRO				
1.10	VÁLVULA DE CONTROL ARI-STEVI 440	und	2	3500.0	7000.0
1.20	PLC 10" HMI with CONTROLLINO runtime	und	2	1500.0	3000.0
1.30	Sensores	und	2	1200.0	2400.0
1.40	Red Land	Glb	1	1800.0	1800.0

1.50	Interruptor Termomagnético de 30 A	und	1	40.0	40.0
1.60	Conductor THW 2.5 mm2	m	30	2.5	75.0
2.00	MONTAJE				
2.10	Mano de obra	Glb	2	1500.0	3000.0
2.20	Programación de PID y MATLAB	Glb	1	2500.0	2500.0
3.00	TRANSPORTE				
3.10	Transporte hasta el emplazamiento		2	500.0	1000.0
TOTAL (US\$)				12542.5	20815.0
TOTAL (S/.)				50170.0	83260.0

Nota: Elaboración propia

Costo	S/.	83260.0
Mantenimiento	S/.	832.6
Total	S/.	84092.6
Costo por kWh	S/./kWh	0,1
Producción Mensual		
	MWh	kWh
	309.6	309600
Producción + Beneficio		
	318.888	318888

Producción Mensual (soles)	Producción Anual (soles)
30960	371520
31888,8	382665,6
Diferencia Mensual	11145,6

Tabla 4: Evaluación Económica

Año	1	2	3	4	7	8	13	19	20
EGRESOS	-	-832.6	-832.6	-832.6	-832.6	-832.6	-832.6	-832.6	-832.6
Inversión	84092.6								
Mantenimiento	-832.6	-832.6	-832.6	-832.6	-832.6	-832.6	-832.6	-832.6	-832.6
INGRESOS	11145.6	11145.6	11145.6	11146	11145.6	11145.6	11145.6	11145.6	11145.6
Venta de Energía	11145.6	11145.6	11145.6	11146	11145.6	11145.6	11145.6	11145.6	11145.6
BENEFICIOS	-72947	10313	10313	10313	10313	10313	10313	10313	10313

VAN (S/.)	3016.26
TIR	13%

Nota: Elaboración propia

3.2. Discusión

La minicentral hidroeléctrica Chaupe Pucará, que se encuentra en la localidad de El Chaupe en el distrito de Pucará y tiene una potencia instalada de 430 kW, una caída de 95 metros y un caudal de 0,55 m³/s, presenta dos turbinas Pelton de eje vertical con una capacidad combinada de 215 kW y una velocidad de rotación de 720 RPM. Como resultado de la investigación que realizamos, encontramos que la mini central hidroeléctrica. Esto concuerda con la investigación realizada en 2019 por Pacheco Espinosa sobre el tema “Automatización del sistema de regulación de velocidad de la minicentral hidroeléctrica Colina, en Marcapata”, donde la situación problemática es similar a la encontrada en este trabajo de investigación. Esta Central cuenta con dos turbinas Pelton de 500 kW de eje vertical, cada una con una velocidad de rotación de 1200 RPM. A la fecha, la turbina tiene variaciones en la velocidad de la turbina, lo que provoca que el generador se detenga ocasionalmente.

El segundo resultado fue establecer los parámetros de diseño del sistema de control, que son la velocidad de rotación, el rpm de la bomba de aceite, el rango de velocidad que puede controlar el gobernador (en porcentajes) y el tiempo que le toma al pistón del amortiguador completar una carrera completa cuando un resorte actúa como un amortiguador, medido en segundos. Estas variables coinciden con las supuestas por Huerta Estrada, J. (2017) quienes utilizaron los mismos supuestos en su trabajo de investigación titulado "Diseño de un sistema de regulación de velocidad para una turbina Pelton utilizando el algoritmo pi digital" para crear el sistema de regulación.

El tercer hallazgo del estudio actual es un modelo de un sistema de control de velocidad de flujo controlado. El modelo propuesto emplea un servomotor para controlar el desplazamiento lineal de la válvula de control, que a su vez regula el flujo. El desplazamiento lineal de la válvula de la aguja permite regular la potencia. La válvula

ofrecerá control de flujo dependiendo de la carga para producir energía. La consistencia del flujo de control sirve como base para la válvula de control. Un servomotor controla esta válvula. El software se utiliza para implementar el regulador PID, que opera en un tiempo discreto en contraste con el controlador del sistema físico, que opera en un tiempo continuo. El sistema de control de velocidad creado por Carrera Orellana, J., y este resultado es compatible. A. (2020) creó un regulador PID para abordar el tema de la velocidad de la turbina existente en la investigación titulada "Modernización del sistema de regulación de velocidad en la planta de energía hidroeléctrica de Carlos Mora".

La inversión que se debe realizar se determinó en el cuarto resultado que se obtuvo de S/.83 260,0, con una producción mensual de S/. 11 145,60 lo que nos da en un periodo de 20 años, un Valor actual Neto S/. 3 016,26 y una TIR de 13% un desenlace diferente al encontrado por Alania Meléndez, M. (2017). "Regulación por sistema electrohidráulico para obtener velocidad constante de la turbina Pelton de la FIM-UNCP", donde la inversión fue de S/. 12500 con un Valor Actual Neto de S/. 14500 con una TIR del 25 %. Esto es así porque el diseño del regulador era más compacto que el creado para nuestro proyecto de investigación.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Las conclusiones del presente trabajo de investigación son:

- La minicentral hidroeléctrica Chaupe Pucará está ubicada en la localidad de El Chaupe en el distrito de Pucará de la provincia de Jaén, en el departamento de Cajamarca, que no forma parte del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) del Perú, tiene una potencia instalada de 430 kW, con una caída de 95,95m y un caudal de 0,55 m³/s, los grupos de generación hidráulica son 02 turbinas tipo Pelton de eje vertical de 215 kW de potencia y 720 RPM las mismas que presentan en promedio mensual de 20 variaciones de la velocidad de la turbina, originando problemas en el funcionamiento de la minicentral.
- Los parámetros de diseño del sistema de control son: velocidad de rotación, rpm de la bomba de aceite, el rango de velocidad en el que puede operar el regulador se denomina regulación o ajuste de velocidad (en porcentaje), la cantidad de tiempo que tarda el pistón del amortiguador en completar una carrera completa cuando un resorte actúa como amortiguador, medido en segundos.
- El control de flujo, un modelo del sistema de control de velocidad desarrollado específicamente para el control automático de pequeñas plantas de energía hidroeléctrica. El modelo sugerido emplea un servomotor para regular el flujo cambiando el desplazamiento lineal de la válvula de control. El movimiento lineal de la válvula de aguja permite el control de la potencia. El sistema sugerido empleará una sola válvula de pistón para regular el flujo de agua. La válvula proporcionará control de flujo para generar energía dependiendo de la carga. En la consistencia del flujo de control, se basa la válvula de control. Un servomotor controla esta válvula. Con la ayuda de un software y una PC, se puede implementar el regulador PID. Mientras que el controlador en el sistema físico opera en tiempo continuo, el regulador se implementa con un software que opera en tiempo discreto.

- El desarrollo y comprobación de las funciones de transferencia del sistema de control de velocidad de la turbina, teniendo al servomotor, turbina y generador, se ha realizado mediante el uso de Matlab, con lo cual se comprueba que el sistema de control funciona.
- La inversión a realizar es de S/.83 260,0, con una producción mensual de S/. 11 145,60 lo que nos da en un periodo de 20 años, un Valor actual Neto S/. 3 016,26 y una TIR de 13%.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda:

- Realizar una evaluación de ampliar la potencia de la minicentral pues se dispone de suficiente caudal.
- Evaluar la posibilidad de conectarla al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

Referencias

- [1] S. E. V. Angel, REPOTENCIACIÓN DE LAS TURBINAS FRANCIS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CAHUA, Ancash: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA, 2018.
- [2] F. Coz y T. Sánchez, Manual de Mini y micro centrales hidráulicas, Cajamarca: Soluciones Prácticas ITDG, 2019.
- [3] T. Kleis, Control de velocidad en turbinas hidráulicas PELTON por el deflector en transitorios, Barcelona, España, 2018.
- [4] Q. Zhang., Numerical Modeling of Active Hydraulic Devices and Their Significance for System, México, 2019.
- [5] D. C. Aza Sarabia, DISEÑO DE UN CONTROL AVANZADO PARA REGULAR LA VELOCIDAD DE UNA TURBINA TIPO TERRY, Bucaramanga, Colombia: Universidad Autonoma de Bucaramanga, 2018.
- [6] M. A. Bravo Dueñas, T. Carrasco Miranda y J. C. Soto Pérez, CONTROL DE LA VELOCIDAD DE RODAMIENTO DE UNA TURBINA DE VAPOR DE 350 MW, México: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, 2017.
- [7] J. A. Carrera Orellana, MODERNIZACION DEL SISTEMA DE REGULACION DE VELOCIDAD EN LA CENTRAL HIDROELECTRICA CARLOS MORA, Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana , 2020.
- [8] H. Pacheco Espinosa, AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE REGULACIÓN DE VELOCIDAD DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE COLINE, EN MARCAPATA, Cuzco, Perú: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cuzco, 2019.
- [9] M. Á. Alania Melendez, Regulación por sistema electrohidráulico para obtener velocidad constante de la turbina pelton de la FIM-UNCP, Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017.
- [10] J. Huerta Estrada, Diseño de un sistema de regulación de velocidad de una turbina peltón usando el algoritmo pi digital, Lima, Perú: Universidad Mayor de San Marcos, 2017.
- [11] L. Verdugo, Análisis y diagnóstico del sistema de excitación y construcción de un prototipo calibrador para el sistema de control del regulador de tensión de la Fase C de la Central Hidroeléctrica Paute, Cuenca, Ecuador, 202.
- [12] G. Zoppeti Judez, Centrales Eléctricas, Barcelona, España, 1974.

- [13] H. E. Carrillo Santamaría, Diseño de un sistema de control de velocidad para motores de inducción basado en el uso de computadora en tiempo real, Chile, 2018.

v. ANEXOS

Anexo 1: PLC 10" HMI with CONTROLLINO runtime




- 800 × 480 pixel (16:9)
- TFT-LCD touch screen
- 200 MB application memory
- 1 × Ethernet, 4 × serial, 1 × USB as standard
- Operating temperature -10° to +50° C
- CE, FCC, KCC, UL approvals

General description	
Warranty	2 year
Certifications	
General	CE, FCC, KCC, UL 61010-2-201
Mechanical	
Mechanical size	284 x 187 x 52mm
	1million finger touch operations
Touch type	Resistive
Cut-out size	275 x 177
Weight	1.3 kg
Housing material	Plastic (PC+ABS), Gray
Power	
Input voltage	24 V DC (18 to 32 VDC)CE: The power supply must conform with the requirements according to IEC 60950 and IEC 61558-2-4,UL and cUL: The power supply must conform with the requirements for class II power supplies.
Power consumption	10.8W
Input fuse	Internal DC fuse
CPU	ARM9 400 MHz
RAM	128 MB
FLASH	256 MB, 200 MB free
Environmental	
Operating temperature	-10°C to +50°C
Storage temperature	-20° to +60°C
Shock	15g, half-sine, 11ms according to IEC60068-2-27
Vibration	1g, according to IEC 60068-2-6, Test Fc
Sealing front	IP65
Sealing back	IP20
Humidity	5% – 85% non-condensed
Display	
Size diagonal	10.1" diagonal
Resolution	800x480 pixels
Backlight	LED Backlight
Backlight life time	20000 hours
Backlight brightness	350 cd/m ²
Backlight dimming	Industrial Dimming
Display type	TFT-LCD with LED backlight
Display pixel error	Class I (ISO9241-307)
Communication serial	
Number of serial ports	2 Port 9pin D5UB
Serial port 1	RS 232 (RTS/CTS)
Serial port 2	RS422/485
Serial port 3	RS 232
Serial port 4	RS 485
Ethernet communication	
Number of ethernet ports	1
Ethernet port 1	1x10/100 Base-T (shielded RJ45)
Expansion interface	
Expansion port	No
SD card	No
USB	1xUSB 2.0 400mA

Anexo 2: Válvula con actuador

VÁLVULA DE CONTROL ARI-STEVI 440



ARI ARMATUREN

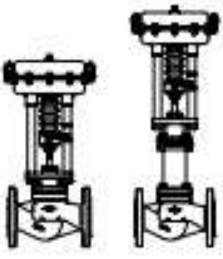
ARI-STEVI® 440 / 441 (DN15-250)

Control valve - straight through

With pneumatic and electric actuators

ARI-STEVI® 440 / 441
Pneumatic actuator
ARI-DP 32-34 Tri

- Reversible pneumatic actuator
- Actuator with rolling diaphragm
- Air supply pressure max. 6 bar
- Stem protection by bellows
- Maintenance-free O-ring sealing
- Assembly of additional devices acc. to DIN IEC 60534-6



Page 4





Fig. 440

ARI-STEVI® 440 / 441
Electric actuator
ARI-PREMIO 2,2-25kN
ARI-PREMIO-Plus 2G 2,2-25kN

- Enclosure IP 65
- 2 torque switches
- Handwheel
- Additional devices available, e.g. potentiometer



Page 12


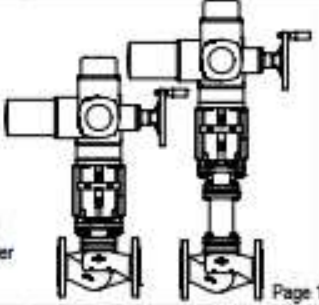


Fig. 441

ARI-STEVI® 440 / 441
Electric actuator
AUMA SAR 07.2-10.2

- Enclosure IP 67
- 2 torque switches
- 2 travel switches
- Handwheel
- Overheating protection for motor as standard
- Additional devices available, e.g. potentiometer
- Explosion proof version available



Page 14





Fig. 441

ARI-STEVI® 440
Electric actuator with fail-safe function
FR1.2

- Operation mode for fail-safe function CLOSE
- Enclosure IP 66
- Operating time adjustable
- Additional devices available, e.g. potentiometer



65

Control valve in straightway form with pneumatic actuator ARI-OP

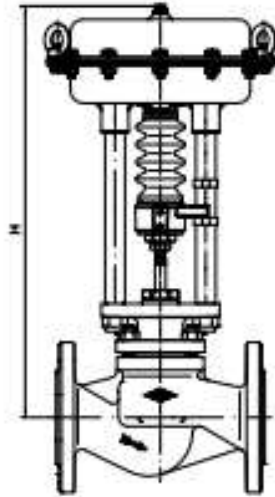


Fig. 440

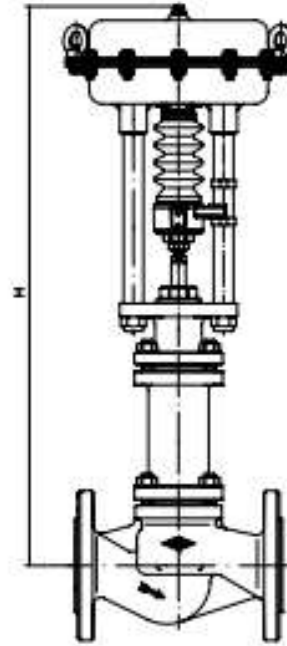


Fig. 441

Heights and weights

DN			15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250		
Fig. 440	DP32	H (mm)	442	442	450	490	457	463	465	480	499	-	-	-	-	-	
		PN16 (kg)	13	13	14	16	18	21	26	31	42	-	-	-	-	-	-
		PN40 (kg)	13	14	15	17	19	22	29	35	48	-	-	-	-	-	-
	DP33	H (mm)	497	497	505	505	512	518	531	546	565	-	-	-	-	-	-
		PN16 (kg)	19	19	20	22	24	27	32	37	48	-	-	-	-	-	-
		PN40 (kg)	19	20	21	23	25	28	35	41	54	-	-	-	-	-	-
	DP34	H (mm)	-	-	-	-	-	-	-	666	681	680	719	779	841	901	
		PN16 (kg)	-	-	-	-	-	-	-	62	67	78	95	118	190	304	
		PN40 (kg)	-	-	-	-	-	-	-	65	71	84	101	122	222	336	
	DP34T	H (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1051	1151	
		PN16 (kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	261	375	
		PN40 (kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	293	407	
	DP34Tri	H (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1313	1373	
		PN16 (kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	295	409	
		PN40 (kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	327	441	

Anexo 3: Servomotor Bidireccional.

A5 SERVOMOTOR BI-DIRECCIONAL

Function:	To supply energy to the system.
Manufacturer:	Galil
Model number:	N23-54-100
Maximun speed:	55 rpm
Torque:	2.95 N
Recommended supply voltage:	60 v
R - Armature resistance:	1.8 Ω
L - Armature inductance:	4.1 mH
T _e - Electrical time constant:	2.27 ms
T _m - Electro mechanical time constant:	0.25 ms

Servo Amplifier

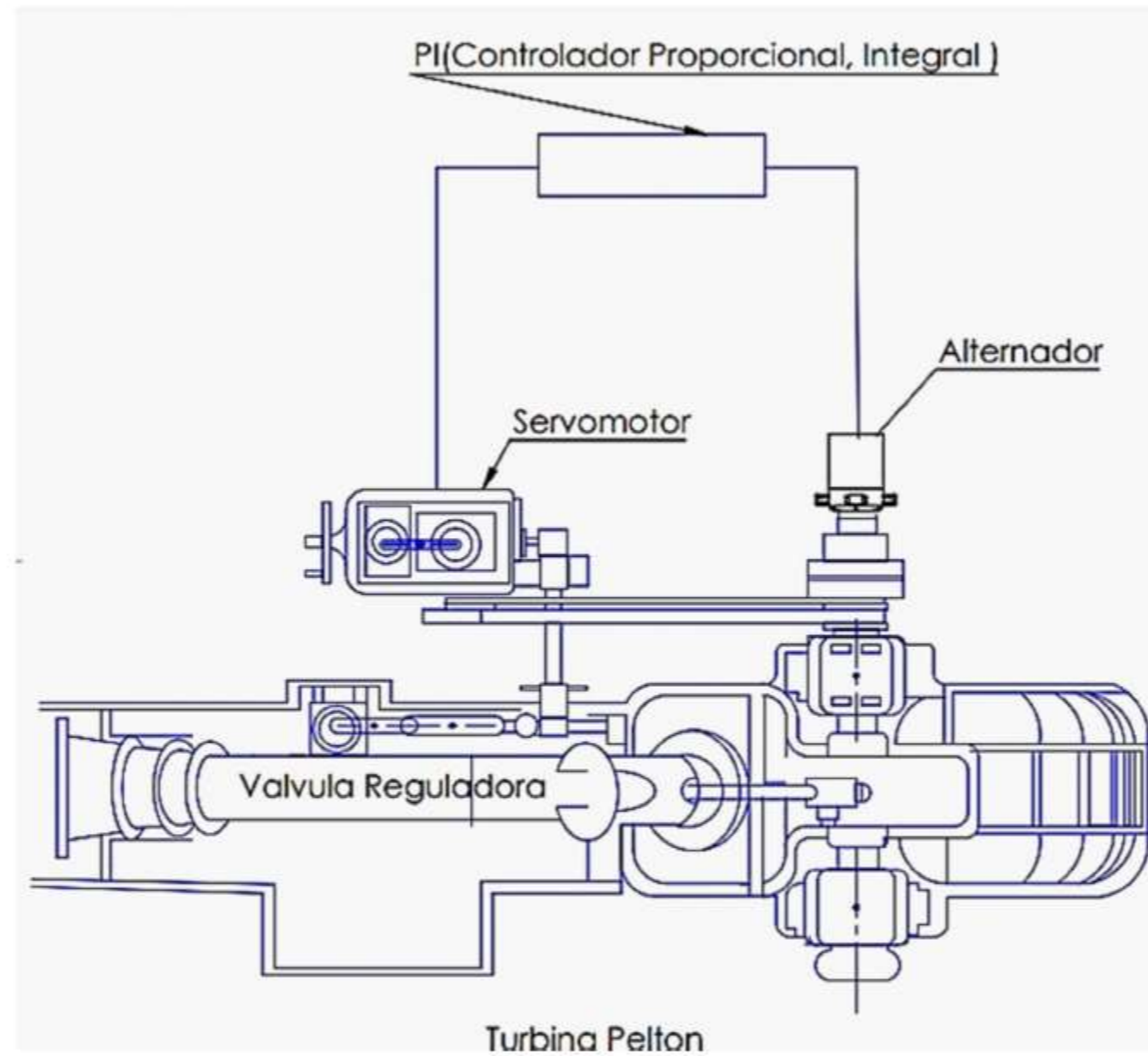
Function:	To supply power to drive the motor
Manufacturer:	Galil
Model number:	MSA-12-70

Has protection against over – voltage, over-current, over-heating, and short circuits, across motor, ground and power leads. Has adjustable gain.

Power supply

Function:	To provide DC supply voltage to the amplifier
Manufacturer:	Galil
Model number:	CPS-12-24
Power rating:	24 VDC@ 12A

Anexo 4: Plano de Ingeniería y Montaje



USS		UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA			
Proyecto: DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA REGULAR LA VELOCIDAD DE LA TURBINA DE LA MSA CENTRAL HIDROELECTRICA (MUSE) PUCMA - JARI			
Tema: DIAGRAMA DE MONTAJE DE COMPONENTES		Doc: 022	LI II
Elaborado: DAVID PARRONALES CHIVER JAYULLI	Diseño: DAVID PARRONALES CHIVER JAYULLI	Revisado: DAVID PARRONALES CHIVER JAYULLI	PM-1
Aprobado: DAVID PARRONALES CHIVER JAYULLI	Fecha: JUNIO 2024		

NOMBRE DEL TRABAJO

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA REGULAR LA VELOCIDAD DE LA TURBINA DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA

AUTOR

clever josue y flavio felix cotrina fernandez y paisig alvarado

RECUENTO DE PALABRAS

8075 Words

RECUENTO DE CARACTERES

42171 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

50 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.5MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 24, 2024 11:22 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 24, 2024 11:23 AM GMT-5

● 22% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 17% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 13% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado



**ACTA DE CONTROL DE REVISIÓN DE
SIMILITUD DE LA INVESTIGACIÓN**

Código:	F3.PP2-PR.02
Versión:	02
Fecha:	18/04/2024
Hoja:	1 de 1

Yo, **Silvia Yvone Gastiaturú Morales**, coordinador de investigación del Programa de Estudios de Ingeniería Mecánica Eléctrica, he realizado el control de originalidad de la investigación, el mismo que está dentro de los porcentajes establecidos para el nivel de Pregrado, según la Directiva de similitud vigente en USS; además certifico que la versión que hace entrega es la versión final de la Tesis titulado: **DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA REGULAR LA VELOCIDAD DE LA TURBINA DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHAUPE PUCARÁ, JAÉN** elaborado por el (los) Bachiller(es):

COTRINA FERNANDEZ CLEVER JOSUE

PAISIG ALVARADO EDINSON FLAVIO FELIX

Se deja constancia que la investigación antes indicada tiene un índice de similitud del **22%**, verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el software de similitud TURNITIN.

Por lo que se concluye que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con lo establecido en la Directiva sobre índice de similitud de los productos académicos y de investigación vigente.

Pimentel, 24 de setiembre de 2024

Dra. Gastiaturú Morales Silvia Yvone

Coordinador de Investigación

DNI N° 16481433