

Propuesta de controladores de frecuencia para las futuras micro y mini centrales hidroeléctricas de Saurimo

Proposal of frequency controllers for the future mini and micro hydroelectric power stations of Saurimo

Nelson dos Santos Castigo^{1*}, Franklyn González Segura², José Eduardo Márquez Delgado³.

¹ Ingeniero Eléctrico. Empresa PRODEL. Lunda Sul. Angola. nelcastigo015@gmail.com

² MSc. Profesor Auxiliar de la Universidad de Holguín, Cuba. franklyngonzalezsegura1969@gmail.com

³ Phd. Profesor Titular de la Universidad de Granma. Cuba.

* Autor para correspondencia: franklyngonzalezsegura1969@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se expone el análisis de los tipos de reguladores de frecuencia, los métodos implementados y las posibilidades de su uso en las futuras micro y mini centrales hidroeléctricas que trabajen en modos aislados para impleentarse en el municipio de Saurimo, provincia Lunda Sul, Angola. Se describen de forma general los diferentes bloques que suele llevar un controlador de este tipo. Se muestra la situación hipotética de una instalación hidrogeneradora. Además, se presenta el desarrollo del diseño, construcción de un controlador inteligente de frecuencia basado en microcontroladores PIC18F452 de la firma MICROCHIP. Se explican las pruebas simuladas a los diferentes bloques del controlador y su validación para dicha instalación. Se muestran los resultados obtenidos mediante el uso de método de regulación por carga lastre bajo un aseguramiento programativo.

Palabras claves: micro y mini central hidroeléctrica, controlador de frecuencia, carga lastre, PIC18FXX2.

ABSTRACT

In this work one exposes the analysis of the types of frequency regulators, the implemented methods and the possibilities of their use in the micro and mini hydroelectric central that they work in isolated ways. It is described in a general way the different blocks that a controller of this type normally has. The current situation at the hypothetical hydroelectric installation is shown of the municipality Saurimo, province Lunda Sul, Angola. Also, the development of the design, construction of an intelligent frequency controller is presented based on microcontroller PIC18F452 of the company MICROCHIP. The tests carried out to the controller's different blocks and their validation in this installation is explained. The obtained results are shown by the use of regulation method by ballasts load under a programmatic insurance.

Keywords: micro and mini hydroelectric central, controller of frequency, ballasts loads, PIC18FXX2.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la crisis mundial ha afectado a millones de personas en el mundo entero. La principal causa es el encarecimiento de los combustibles fósiles no renovables como el petróleo, el gas natural y el carbón. Estos recursos tienen un gran impacto ambiental en su uso y explotación. Por otra parte, el desarrollo mundial demanda un mayor consumo de la energía eléctrica. Una alternativa para satisfacer esta demanda, es evitar la contaminación y garantizar la preservación del medio ambiente al buscar y utilizar fuentes de energía renovable, de acuerdo con (Batista, 2015). Una fuente renovable tradicional e importante es la hidráulica. La conversión de energía hidráulica en energía eléctrica se lleva a cabo en las centrales hidroeléctricas, las cuales se clasifican en dependencia de la potencia de generación.

Una pequeña central hidroeléctrica posee una autonomía energética con tecnología relativamente sencilla y de fácil mantenimiento. Además tiene una larga vida útil y no requiere un sistema complejo de transmisión de energía eléctrica. En comunidades aisladas, como muchas que se encuentran en la región de Saurimo, ubicadas en zonas rurales y de difícil acceso, además carentes de suministro eléctrico, una central hidroeléctrica puede ayudar al desarrollo económico y social, a la conservación de alimentos, al acceso de los medios de telecomunicación, entre otros, según (Bonow et al., 2017).

Sus ventajas más importantes son: mínimo impacto ambiental, muy bajo costo de diseño, construcción y operación y una rápida recuperación de las inversiones, sin necesidad de transporte y uso de combustibles fósiles y a la vez permite aumentar las oportunidades para la industria local, desde las perspectivas de (Edenhofer et al., 2011). La regulación de frecuencias y tensión eléctrica frente a variaciones de la carga demandada son problemas aún no resueltos para la casi totalidad de las futuras instalaciones hidro generadoras que podrían implementarse en Saurimo. Principalmente para las micro y mini centrales hidroeléctricas. Mientras más pequeñas son las instalaciones hidro generadoras, más vulnerable resulta la frecuencia de la tensión generada por cambio en la potencia conectada a la línea de suministro.

Por esta razón, el objetivo de este trabajo de investigación es proponer a modo de prototipo controladores para la variación de frecuencia en las micro, mini y pequeñas centrales hidroeléctricas (PCHs) que trabajan en formas aisladas para implementarse en el futuro en Saurimo.

DESARROLLO

Las micro, mini y pequeñas centrales hidroeléctricas se definen por su capacidad de generación. En la tabla 1 aparece la clasificación de los tipos de centrales hidroeléctrica según la ANEEL.

Tabla 1Tipos de centrales según su capacidad de generación.

Tipo de centrales	Potencia generada
Microcentrales hidroeléctricas (μ CH)	hasta 50 kW
Minicentrales hidroeléctricas (mCH)	50 - 500 kW
Pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)	500 - 5000 kW

Fuente: (ANEEL, 2020).

Aunque estas cifras pueden variar si se define por otra institución. Pero en este trabajo, una PCH es toda aquella central hidroeléctrica que su capacidad de generación sea menor que 5 MW.

Generalmente, estas instalaciones van equipadas con generadores sincrónicos, los cuales son máquinas robustas, de simple control y de bajo nivel de mantenimiento. Estas máquinas generan energía eléctrica cuya frecuencia y velocidad son sincrónicas, de ahí su denominación, de acuerdo con (Perius e Arregaro, 2015).

Las micro, mini y pequeñas centrales hidroeléctricas pueden trabajar como parte de un sistema electroenergético y en régimen autónomo o también denominado en régimen aislado. Las centrales que trabajan en régimen aislado, o sea no conectados al sistema eléctrico nacional, presentan la necesidad de mantener constante tanto la tensión como la frecuencia, independiente de las variaciones de carga originadas por el consumo eléctrico y las variaciones del flujo de agua en la turbina.

Los dos parámetros de mayor importancia son la amplitud y la frecuencia. Las variaciones en la forma de la onda de tensión tienen que ver con la presencia de armónicos. La simetría tiene relevancia en los sistemas polifásicos. Sobre la amplitud, un generador entregará un voltaje nominal cuando sea arrastrado a su velocidad nominal de giro, sin carga conectada a él. Cuando se conecta carga al generador, el voltaje caerá debido a la caída de tensión interna en los bobinados del estator y debido a efectos magnéticos, según (Rosales, 2016).

Las variaciones de velocidad se traducen en variaciones de la frecuencia y de la tensión a la salida del generador. Por esta razón es importante la regulación automática de estos parámetros, mediante un sistema con respuesta rápida, confiable y de bajo costo.

En Angola, la frecuencia nominal de la tensión de la red es de 50 Hz. Según la norma internacional, la frecuencia no debe variar $\pm 1\text{Hz}$ respecto de su valor nominal.

El controlador de frecuencia denominado también como regulador de frecuencia es un aparato capaz de mantener la frecuencia generada en una PCH dentro de su valor específico. Los controladores son diseñados generalmente en base a uno de los dos métodos de regulación existentes. Por lo tanto, a continuación se describe los métodos usados y los bloques principales que conforman el controlador.

Método de regulación usado para los controladores.

- Regulación por carga lastre: Carga lastre también conocida como carga fantasma o carga secundaria o carga auxiliar, es un banco de resistencia capaz de disipar energía eléctrica de gran potencia generalmente de orden de las decenas kW.

Este tipo de regulación se realiza manteniendo el caudal constante y modificando el valor de carga lastre necesario para que la potencia que ésta disipa, junto con la potencia consumida, sea igual a la potencia generada, de acuerdo con (Soares, 2018).

$$P_g = P_c + P_l$$

Donde:

P_g : Potencia generada.

P_c : Potencia consumida en los usuarios.

P_l : Potencia disipada en la carga lastre.

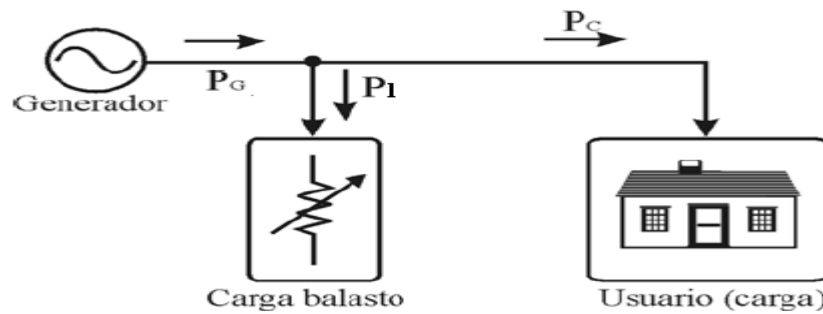


Figura 1. Regulación de carga lastre. (Autores, 2020).

Los métodos más difundidos para realizar este tipo de regulación son:

- Absorción de carga mediante resistencias eléctricas.
- Absorción de carga por corrientes de Foucault.

Según (Lima, 2018), el empleo de resistencias de carga es una forma ineficiente de regulación, ya que gran parte de la energía se desperdicia al disiparse en las resistencias. Desde el punto de vista de la eficiencia, es mucho mejor el empleo de un accionamiento que actúe sobre la válvula de control del flujo de la turbina. De esta manera se ahorra energía a través de la reducción del consumo de agua, la cual puede ser almacenada en algún reservorio para su posterior uso. Por lo general, las micro centrales no cuentan con tales reservorios ya que la mayoría se ubica sobre el mismo curso de agua. Hoy en día, sólo las mini centrales y centrales de gran escala utilizan este tipo de accionamientos.

Hay varias formas de implementar lo anterior. Estas son: Regulación por variación de ángulo de fase, modulación por ancho de pulso y cargas binarias.

La regulación por variación de ángulo de fase consiste en modificar continuamente el ángulo de disparo de los elementos de potencia, triacs o tiristores, de forma de variar la potencia entregada a la carga. En algún momento durante cada medio ciclo de la onda de tensión sinusoidal producida por el generador, se conecta la carga secundaria y ésta permanece conectada durante el resto del semiperíodo. El momento en el cual se conecta la resistencia de carga se denomina ángulo de fase. Justo al comienzo de cada semiperíodo el ángulo de fase es 0° y al final es de 180° . La mayor ventaja de este método es el hecho de que sólo emplea componentes simples y robustos como son los triacs y tiristores. La desventaja de este método es el ruido electrónico que se produce si se disparan los triacs cuando el voltaje del generador es elevado, esto es, cerca de los 90° de ángulo de disparo.

Por otro lado, este método emplea sólo una resistencia de carga por fase, lo cual tiene una ventaja y una desventaja. La ventaja se da en el costo económico y la simplicidad del sistema. La desventaja se refiere a que la regulación se suspenderá por completo ante una falla en esa única resistencia de carga.

Otra forma de regulación es la modulación por ancho de pulso. Para un voltaje dado, se genera un nuevo voltaje a través de la conmutación rápida. El valor medio del segundo voltaje puede regularse ajustando el ciclo de trabajo, esto es, la fracción de tiempo que se conecta la carga secundaria. Por lo general esto se hace cambiando la duración de cada pulso mientras se mantiene constante el tiempo entre pulsos (también puede hacerse en forma inversa).

Este sistema puede resultar demasiado complejo para la mayoría de las aplicaciones en micro aprovechamientos. Su principal ventaja es que requiere circuitos electrónicos simples para controlar los transistores de potencia. Entre las desventajas están el precio relativamente elevado, la poca disponibilidad en plaza y gran fragilidad de los transistores a emplear (IGBT o MOSFET). Además, la disipación en este tipo de controladores es alta debido a que primero se rectifica la tensión del generador antes de que ésta pase a la siguiente etapa, por lo tanto se necesitan mayores disipadores que en un regulador por variación de ángulo de fase de la misma potencia.

El tercer método es el uso de cargas binarias. Se utiliza un conjunto de cargas en el cual cada carga tiene un valor igual al doble de la precedente y a la mitad de la carga que le sigue. Con n cargas distintas pueden lograrse un total de 2^n combinaciones de valores de potencia a conectar. Para la conmutación de estas cargas se puede usar toda una serie de interruptores de estado sólido. Éstos consisten principalmente en triacs y tiristores pero no se genera en este caso ruido electrónico ya que se disparan justo al comienzo de cada semiciclo o se mantienen apagados.

Al igual que los dos sistemas anteriores, la electrónica de control es muy simple. Además, el sistema es más confiable ya que no depende del buen funcionamiento de una única resistencia. Las desventajas más importantes son el elevado costo de las resistencias de carga y la mayor cantidad de cableado requerido.

El controlador de frecuencia que se describe en este trabajo utiliza la variación de ángulo de fase.

Regulación por gasto de agua. Ver figura 2.

En este tipo de regulación, la potencia generada está definida exclusivamente por el consumo, esto es: $P_g = P_c$, Donde: P_g : Potencia generada y P_c : Potencia consumida en los usuarios.

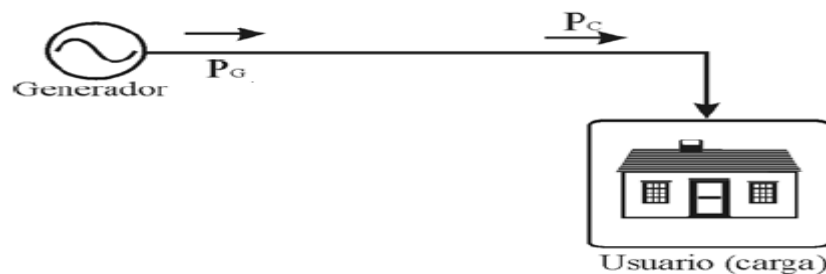


Figura 2. Regulación por gasto de agua. (Autores, 2020).

Este tipo de regulación se utiliza tanto en grandes como en pequeñas máquinas, y consiste en adecuar la potencia generada a la potencia consumida variando el flujo de agua que ingresa a la turbina.

Regulación por caudal de agua y por carga complementaria o regulación mixta de frecuencia.

Los inconvenientes señalados respecto de los tiempos de respuesta y las variaciones relativas de carga hacen que se deba recurrir a métodos alternativos para el control de la frecuencia generada.

Una opción para el control de la frecuencia de la tensión generada puede estar en un sistema que combine las ventajas del sistema de regulación por carga ficticia, con las ventajas del método de regulación por caudal.

Este método consiste en la regulación de la frecuencia combinando el control del gasto de agua y la potencia disipada en una carga lastre. Dada las particularidades de los consumidores, la carga

complementaria puede implementarse de modo que represente entre el 20 y 30% de la potencia nominal del generador. Los accionamientos mecánicos son caros y requieren un mantenimiento riguroso, lo que encarece el costo de estas centrales. Las antiguas micro centrales usaban este tipo de mecanismos pero sólo porque la electrónica de ese entonces no permitía la construcción de dispositivos a precios razonables.

El bloque de control se basa generalmente en diseños empleando componentes electrónicos discretos, tanto analógicos como digital o mediante el empleo de microcontrolador o microcomputadora. Los diseños basados en componentes electrónicos discretos son habitualmente complejos y son muy rígidos a la hora de hacer cambios tanto de sus bloques funcionales como en la estrategia de control utilizado en el equipo. Los diseños basados en microcomputadora (puede ser una computadora personal, una computadora embebida o un microcontrolador) son más simples y flexibles porque las soluciones de las diferentes funciones se realizan por software. Por lo tanto, el bloque de control del presente diseño se concibe en base a un microcontrolador de la familia PIC18F452.

El bloque de la visualización e indicación generalmente están compuestos por diodos led que indican los modos de trabajo (modo manual o automático), el funcionamiento del aparato, la indicación de los estados de las fuentes, la alarma y la protección del generador. Además, se visualiza la frecuencia en un bloque de 3 indicadores de siete segmentos o en un cristal líquido. El uso de cristal líquido limita la visualización en horario nocturno o en locales de poca iluminación, aunque tiene mayor posibilidad de mostrar información adicional.

El bloque de regulación de la potencia de la carga lastre o bloque de regulación del flujo de agua o ambos, es un bloque importante del controlador conocido como bloque actuador. La regulación por carga lastre mencionado anteriormente se realiza mediante una de las 3 variantes más empleadas y la regulación por gasto de agua se realiza mediante una electroválvula o una válvula con un motor reversible (motor paso a paso o motor trifásico).

El bloque de configuración es sencillamente un teclado de pocas teclas donde el técnico o especialista puede cambiar los parámetros del controlador, por ejemplo las constantes de la estrategia de control empleada. Este teclado conlleva con el display cristal líquido. Además, se cuenta con botones como el botón de reset para resetear el controlador, el botón de selección de modo de trabajo, botón de desconexión del regulador, etc.

El bloque de comunicación es opcional, donde se puede muestrear o tomar la frecuencia medida y cambiar los parámetros de la configuración del controlador.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la instalación hidro generadora se realizó un primer montaje del circuito eléctrico para comprobar el funcionamiento del regulador y de las condiciones de funcionamiento del grupo turbina-generador. Se hicieron diversas pruebas donde se comprobó el correcto desempeño del regulador en modo manual y automático.

Después de las pruebas preliminares se hizo el montaje definitivo cumpliendo con las normas de seguridad y constructivas del regulador y banco de resistencias disipadoras en un tanque de enfriamiento por agua.

La conexión eléctrica es la misma a la realizada en el laboratorio de máquinas eléctricas para la comprobación experimental del funcionamiento del regulador por el método de regulación por

carga lastre, utilizando los dos modos de operación implementados. Además, en el montaje se emplearon algunos relés de protección como se muestra en la figura 3.

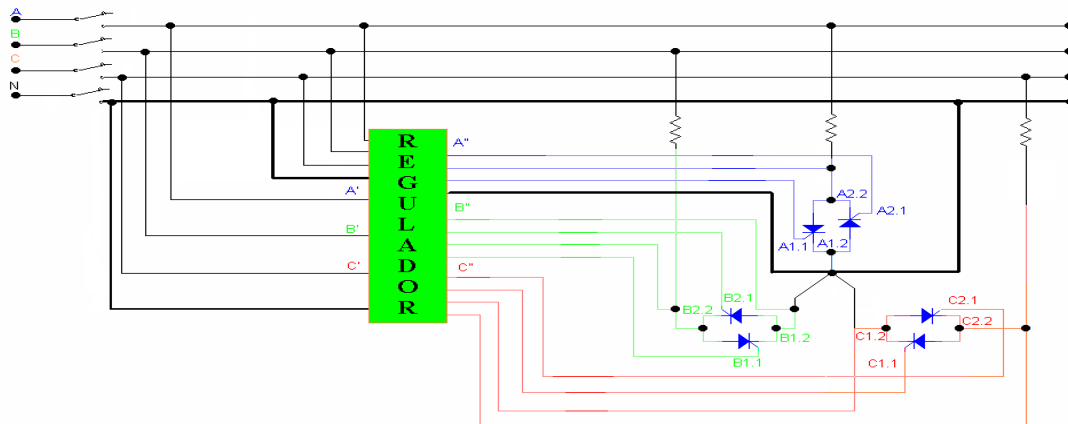


Figura 3. Conexión realizada para la central hidroeléctrica. Fuente: (Autores, 2020).

El software de prueba ha sido realizado mediante el programa “PIC C Compiler” (Costum Computer Services Inc., 2015) versión 4.049. Este programa se basa en lenguaje C para los microcontrolador PIC de la firma MICROCHIP para gama baja, mediana y alta (PIC12, PIC16 y PIC18).

La estructura principal del programa es el siguiente:



Figura 4. Estructura principal del programa. Fuente: (Autores, 2020).

En detalle se desarrolla el siguiente pseudo-código de programación: Paso 1: Configurar los recursos del PIC18F452. Configurar los puertos A, B, C, D y E. Desconectar la carga lastre. Configurar las interrupciones INT0, INT1 e INT2. Configurar los temporizadores TIMER0, TIMER1, TIMER2 y TIMER3. Configurar la modulación del ancho de impulso PWM. Configurar el conversor analógico digital ADC para canal 0. Deshabilitar el resto de los recursos.

Paso 2: Chequeo de estado en panel. Prueba de diodos LED y los siete segmentos.

Paso 3: Leer EEPROM para descargar las constantes del controlador PI: Kp y Ti. Habilitar las interrupciones. Activar el perro guardián.

Paso 4: Si cumple 16 ms, pasar al paso 5, sino al paso 6.

Paso 5: Medir el período del ciclo, así como la frecuencia es su inversa. Leer estado de los botones. Chequear la alarma. Chequear la protección. Determinar el ángulo de disparo dependiendo el método utilizado. Reactivar el perro guardián.

Paso 6: Mostrar la frecuencia en los siete segmentos. Retornar al paso 4.

En las figuras 5, 6 y 7 se muestran la regulación de la frecuencia bajo distintas condiciones y a diferentes horarios del día. La medición se realizó con un segundo controlador construido por mismo autor. Esta experiencia demuestra la posibilidad de utilizar el controlador como un equipo de monitorio y adquisición de datos de frecuencia en una pequeña central hidroeléctrica.

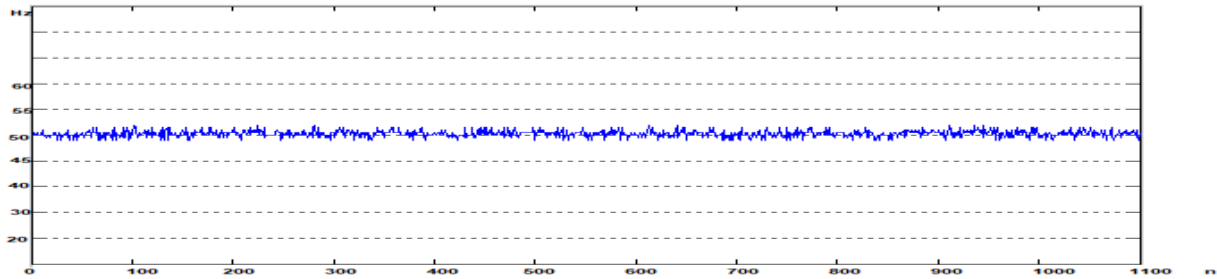


Figura 5 La regulación de frecuencia a las 12:35 AM del día 20 de Mayo del 2019 mediante 1100 mediciones con tiempo de muestreo de 100ms. Fuente: (Autores, 2020).

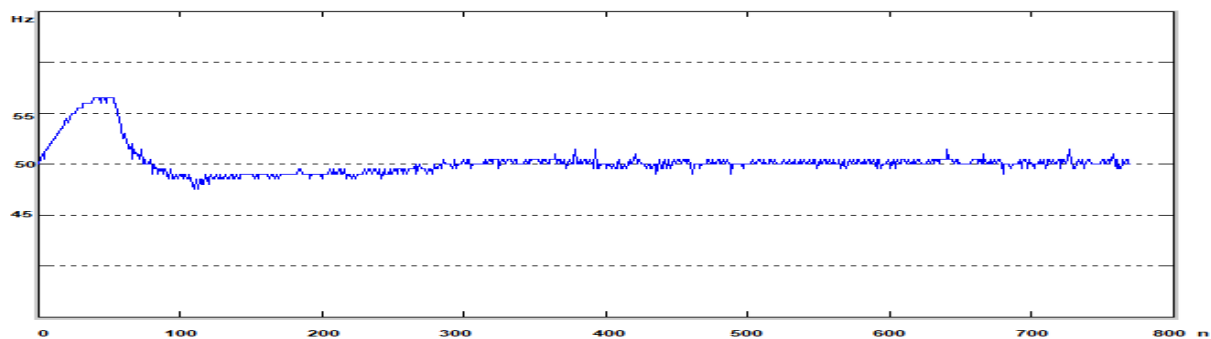


Figura 6 La regulación de frecuencia a las 12:40 PM de día 20 de Mayo de 2019 bajo la desconexión de una carga usuario de 1 kW (un calentador de agua) que presenta un cambio de 20% de la capacidad de generación en el momento. Fuente: (Autores, 2020).

Se realizaron 780 mediciones con tiempo de muestreo de 100ms. Como se observa en la figura 2.6.4, el generador se reestablece en aproximadamente 30s ($300 \times 100\text{ms} = 30\text{s}$).

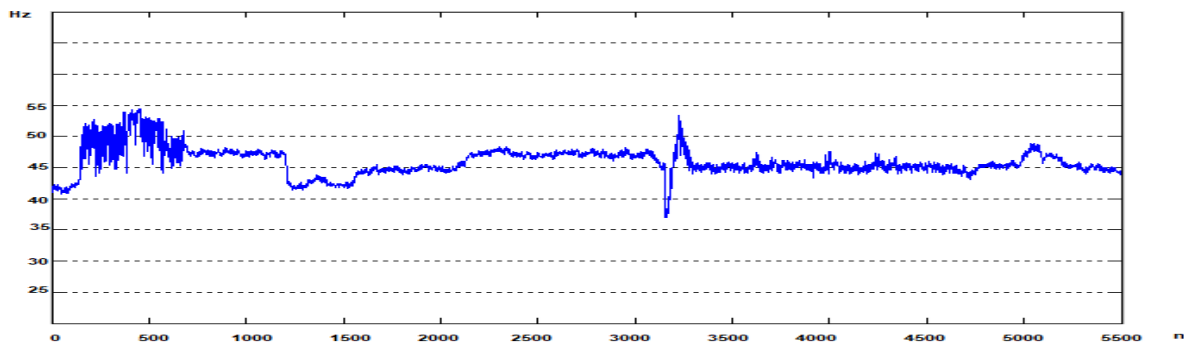


Figura 7 La regulación de frecuencia a las 11:45 AM de día de Mayo de 2019. Fuente: (Autores, 2020).

Nota: las figuras fueron realizadas en el programa Matlab versión 7.6 (The MathWorks™, 2019) y la medición se realizó mediante el programa Labwindows 9.0 (National Instruments). Esta prueba se realizó al mediodía, donde aparecen varias perturbaciones por conexión y desconexión de diversos equipos, también producto de la limitación en el caudal de agua suministrado a la turbina, sin embargo el regulador en todo momento tiende a llevar la frecuencia al valor nominal. Este monitoreo consiste en 5500 mediciones con tiempo de muestro de 120 ms. Como se aprecia este proceso se realizó durante tiempo relativamente largo, aproximadamente 11 minutos.

Valoración económica.

Según el diseño y el según el Catálogo RS-AMIDATA, se obtiene la tabla 2 donde se presenta una relación de los componentes utilizados y su valor comercial.

Tabla 2 Costo del diseño según catálogo RS-AMIDATA.

#	Nombre	Cantidad	Precio por unidad	Precio sub-total (USD)
1	CI PIC18F452	1	24.78	24.78
2	CTX 12M	1	5.50	5.50
3	C 15pF	2	0.14	0.28
4	T BC548	5	0.08	0.40
5	T BC139	3	0.37	1.11
6	CI LM324	1	4.53	4.53
7	CI 74LS08	1	0.85	0.85
8	R 300Ω	50	0.04	2.00
9	R 10kΩ	20	0.04	0.80
10	R 470Ω	2	0.04	0.08
11	R 130Ω	3	0.04	0.12
12	RV 10K	1	0.00	0.00
13	R 800Ω	4	0.04	0.16
14	CON 3 PINES MOD.39-26-3030	10	0.41	4.10
15	CON 12 PINES MOD.39-26-3120	4	1.30	5.20
16	CON RS232	1	0.94	0.94
17	C 1uF/25V	4	0.15	0.60
18	C 10nF	10	0.19	1.90
19	C 1000uF/25V	2	0.62	1.24
20	CI MAX232	1	3.62	3.62

Fuente: (Autores, 2020).

De la tabla 2, el costo total de los componentes contenidos en este controlador es equivalente a un 17.8% del costo del equipo realizado por Abreu (2006) y a un 22.3% del otro realizado por Hechavarria y Bell (2008) (estos autores utilizaron el mismo catálogo RS-AMIDATA del mismo año 2002).

Los precios de los componentes en la actualidad se han reducido considerablemente. Según un estimado aproximado en el mercado electrónico de Vietnam, el precio total es menor de 40 euros.

CONCLUSIONES

Se realizó un estudio sobre los diferentes tipos de centrales hidroeléctricas de pequeña capacidad de generación que trabaja en forma aislada de la red nacional y de los parámetros fundamentales en estas instalaciones.

Se mostró un estudio profundo sobre los controladores a implementar en estas centrales: sus bloques fundamentales, los métodos más utilizados. Además se caracterizó diferentes controladores que se encuentran en la actualidad.

Se demostró la necesidad de implementar los reguladores en las instalaciones hidro generadoras para garantizar una buena calidad del servicio eléctrico y para humanizar el trabajo de los operadores.

Se diseñaron los diferentes bloques del controlador inteligente donde se aprovechó al máximo los recursos de controlador PIC18F452. Este aprovechamiento ayudó a simplificar el hardware que lleva el controlador y el uso del microcontrolador permitirá al usuario hacer los cambios necesarios en el futuro.

La construcción del dicho controlador se hizo con tecnología propia, gracias a la simplicidad del diseño. Se obtuvo un controlador pequeño y compacto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL. Guia del Emprendedor de Pequenas Centrais Hidroelétricas. 2003. Disponible en: <http://www2.aneel.gov.br/>. Consultado: Mayo de 2020.
- Batista, C. (2015). Desenvolvimento de Herramienta Computacional para Auxiliar Projetos Básicos de Pequenas Centrais Hidroelétricas.
- Bonow, A., Ibañez, A., Gedson B., Neto, T. (2017). Uso del Potencial Hidráulico para Micro Generación de Energía Eléctrica. 6p. Artigo (Graduação em Engenharia de Energia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Edenhofer, O., Madrugá, R. P., Sokona, Y. (2011). Fuentes de energía renovables e mitigación del cambio climático. Disponible en: www.energy.com. Consultado: Mayo de 2020.
- Lima, G. (2018). Microgeração em Sistemas de Abastecimento de Água. 86p. Monografia/Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Energia). Universidade Federal de Itajubá.
- Perius, M., Arregaro, J. (2015). Pequenas centrales hidroeléctricas como forma de reducción de impactos ambientales y crisis energéticas. Disponible en: <http://revista.pgskroton.com.br/index.php/ensaioeciencia/article/view>. Consultado: Junio de 2020.
- Rosales, J. (2016). Tesis, Determinación de Parámetros de Regulador de Tensión, Regulador de Velocidad y PSS de la Central de Carena. U. de Chile.
- Soares, J. (2018). Proyecto conceptual de una turbina hidráulica a ser utilizada en una hidroeléctrica externa de Henry Borden, p. 73. Disponible en: <http://monografias.poli.ufrj.br>. Consultado: Julio de 2020.

Síntesis curricular de los autores:

Ingeniero Eléctrico Nelson dos Santos Castigo, aspirante al título de Mestre em Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável. Especialista principal de la Empresa PRODEL, provincia Lunda Sul. Angola.

Mestre Franklyn González Segura: Profesor Auxiliar de la Universidad do Holguín, Cuba, a partir do ano 2003, profesor de la ESPtN Namibe, Angola, (2015-2019), e actualmente profesor de la Universidad (Lueji A'Nkonde) ESPLS, Angola, (2020). Mestre en Ciencias Técnicas. Ingeniero Eléctrico.

Doctor José Eduardo Márquez Magro: Profesor Titular de la Universidad de Granma, Cuba, a partir do ano 2004, e actualmente profesor de la Universidad (Lueji A'Nkonde) ESPLS, Angola, (2020). Doctor en Ciencias Técnicas 2012. Mestre en CAD/CAM 2002. Ingeniero Mecánico 1992.