

Simposio Internacional “Desafíos del Derecho en el Siglo XX”

Calidad y derecho de acceso a la energía en el contexto hidroenergético cubano

Quality and access right to the energy in the Hydropower Cuban context

MSc. Leonardo Peña Pupo¹, Dr.C. Ernesto Y. Fariñas Wong²

- 1- Leonardo Peña Pupo. Empresa de Hidroenergía, Cuba.
leonardo@stg.hidro.une.cu
- 2- Ernesto Yoel Fariñas Wong. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Cuba. farinas@uclv.edu.cu

Resumen: En este artículo se aborda el tema de la calidad de la energía generada en las mini y micro centrales hidroeléctricas autónomas ubicadas en regiones montañosas de Cuba donde estas constituyen la única fuente de suministro energético. La calidad de la energía generada y su disponibilidad constituye un derecho de los pobladores de estas comunidades en igualdad de condiciones que aquellos cuyo suministro es a través de la red eléctrica. En tal sentido, las normas jurídicas y técnicas existentes en Cuba si bien definen igualdad de derechos, también imponen condiciones técnicas y económicas inviables. En este artículo se demuestra que producto de la mala calidad de la energía generada en estas centrales según las normas técnicas existentes, los consumidores no aprovechan todo el potencial energético disponible en el recurso hídrico. A través de una muestra representativa del total de centrales y las mediciones de las principales variables de calidad de la energía eléctrica generada se cuantifica la energía no aprovechada por concepto de mala calidad de la energía. Se proponen vías soluciones con el respectivo análisis de las ventajas y desventajas que ello supone. Por último, se propone una adecuación de las normas técnicas existentes para la generación de los sistemas autónomos.

Abstract: *In this article is approached the topic of the quality of the energy generated in the mini and micro autonomous hydroelectric power stations located in mountainous regions of Cuba where these they constitute the only source of energy supply. The quality of the generated energy constitutes a right of the residents of these communities in*

equality of conditions that those whose supply is through the electric network. In such a sense, the existent juridical and technical norms in Cuba although they define equality of rights, they also impose non-viable technical and economic conditions. In this article it is demonstrated that product of the bad quality of the energy generated in these power stations according to the existent technical norms, the consumers don't take advantage of the whole available energy potential from water. Through a representative sample of the total of central and measurements of the main variables of quality of the generated electric power are not quantified the energy taken advantage by concept of bad quality of the energy. They intend roads solutions with the respective analysis of the advantages and disadvantages that it supposes it. Lastly, the proposition of an adaptation of the existent technical norms for the generation of the autonomous systems is done.

Palabras Clave: Calidad de la energía; Derecho de acceso a la energía; Hidroeléctricas autónomas

Keywords: Energy Quality; Access right to the energy, Autonomous run-of-river hydro

1. Introducción

A nivel mundial ha tomado especial importancia el empleo de las Fuentes Renovables de Energía (solar, hidráulica, eólica, geotérmica, biomasa, mareomotriz, entre otras) como vía para la reducción de la contaminación causada al medio ambiente por la creciente explotación de los combustibles fósiles (IRENA, 2014).

La Hidroenergía es una fuente energética renovable basada en el ciclo natural del agua. Es la más madura, fiable y económica de las tecnologías energéticas renovables disponibles (Brown, 2011). Constituye la mayor fuente energética renovable a nivel mundial con un 16.5 % de la producción energética global; más de 25 países en el mundo dependen en más del 90% del suministro energético con esta fuente (Noruega con 99,3%) y 12 países confían 100% en ella para su balance energético. En 65 países se produce un volumen importante de electricidad con esta fuente y con su presencia desempeña alguna función en más de 150 países (IRENA, 2012). Canadá, China y los Estados Unidos de América son los países con mayor capacidad de generación (IRENA, 2012), (IHA, 2017).

Estas plantas desempeñan un papel vital en la electrificación rural de los países en desarrollo como una generación de energía descentralizada y, por lo general, funcionan en régimen autónomo: aisladas de la red y como una fuente única de energía (Peña *et al.*, 2005a, Ashfaq *et al.*, 2015). La **figura 1** ilustra una central hidroeléctrica conocida como

de pasada o “a filo de agua” como las que se encuentran enclavadas en las zonas montañosas cubanas. En estas centrales el escurrimiento del río se canaliza mediante una pequeña obra de captación que luego se conduce mediante ductos hasta una sala de máquinas donde la energía cinética y potencial del agua es convertida en energía mecánica mediante una turbina hidráulica; esta a su vez transmite la energía a un generador eléctrico que se encarga de convertirla en electricidad. Luego mediante una red de suministro se distribuye la energía a los consumidores.

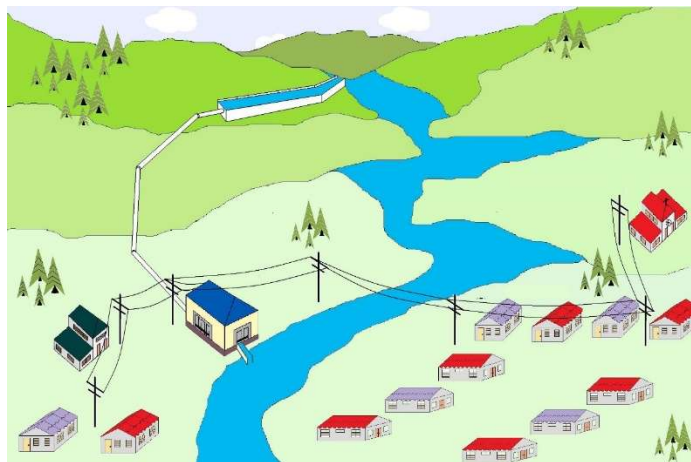


Figura 1. Micro central Hidroeléctrica de pasada o “a filo de agua”. Fuente: elaboración propia, 2019

En este sentido y a nivel global, se ha fomentado la explotación de micro, mini y pequeñas centrales hidroeléctricas, como alternativa de generación de energía eléctrica en zonas rurales montañosas donde por razones económicas no se justifica la conexión con una red eléctrica mayor (Pérez, 1999). Se estima que hacia el 2010 había instalado 61 GW de potencia en pequeña Hidroenergía a nivel mundial (Catanase *et al.*, 2010). De igual forma China ha sido exitosa con más de 45 000 pequeñas centrales con una producción de 160 TWh (IN-SHP, 2010).

En Cuba, las estadísticas refieren a instalaciones de este tipo distribuidas por toda la geografía de la isla y abasteciendo a un número importante de comunidades rurales y serranas. Cuba tiene 144 centrales hidroeléctricas en funcionamiento, el 74% (107) de las cuales se encuentran en regiones montañosas aisladas del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), lo que permite el suministro de energía a miles de personas, además de lugares sociales y económicos (Hidroenergía, 2018).

Las comunidades que reciben el servicio eléctrico generadas por las instalaciones hidroeléctricas, están constituidas por poblaciones significativas, que se dedican a importantes planes cafetaleros, forestales, agrícolas, ganaderas, pesqueras y de

procesamiento de productos agropecuarios, los que requieren de servicios vitales de abasto de agua con calidad, salud pública, educación, alimentación, industrias locales, etc. Además, como política del estado es de interés que todas las escuelas ubicadas en estas zonas dispongan de televisores, computadoras y otros medios audiovisuales, que las poblaciones cuenten con servicios médicos integrales, hospitales con equipamientos esenciales para la salud, todos los cuales requieren de un servicio eléctrico con calidad. La Ley Eléctrica Cubana (Ley-1287, 1975) de igual forma las normas técnicas establecidas para las principales variables eléctricas (NC62-04, 1981, NC800, 2017), no establecen diferencia alguna entre centrales conectadas y aisladas en cuanto a calidad de energía, sin embargo, desde el punto de vista técnico no es posible brindar el mismo servicio de calidad por razones técnico-económicas.

En este sentido el presente trabajo persigue como objetivo principal demostrar que la baja calidad de la energía suministrada en las mini y micro centrales hidroeléctricas autónomas cubanas no fomenta el consumo energético y crea *per se* diferencias en el desarrollo de los pobladores. Ante este escenario es pertinente crear las condiciones técnicas que garanticen la requerida calidad de la energía a la vez que se adecúan las normas técnicas y jurídicas existentes a las realidades económicas del sitio donde se encuentran estas instalaciones.

En los acápites siguientes se da respuesta a las siguientes interrogantes:

- ¿Qué relación existe entre calidad de la energía y consumo energético?
- ¿Cuánta energía no se aprovecha adecuadamente en las centrales hidroeléctricas autónomas cubanas?
- ¿Qué cambios son pertinentes realizar en las normativas actuales?

2. Metodología

A través de una revisión bibliográfica y análisis documental se detallan en este artículo las normas técnicas que rigen la calidad de la energía en el sistema eléctrico cubano y particularmente en las mini y micro centrales hidroeléctricas cubanas, los problemas que estas presentan y la relación entre calidad de la energía y aprovechamiento energético. De igual forma se caracteriza el contexto actual de la temática en Cuba, así como los beneficiarios directos. Mediante un estudio de caso, correspondiente a la micro-central hidroeléctrica “El Dian”, del municipio Guamá, provincia Santiago de Cuba, se realiza una evaluación del comportamiento dinámico de la planta y se elaboran encuestas para conocer el nivel de satisfacción y características del consumo. Se ejemplifica el bajo aprovechamiento con una muestra de 20 centrales a las que se le realiza un estudio

energético. Los resultados muestran que la metodología es aplicable al total de instalaciones hidroeléctricas del país que operan en régimen autónomo.

3. Resultados y discusión

3.1. Calidad de la energía en mini y micro centrales autónomas

Mantener constante la velocidad de rotación de la turbina en los sistemas de generación de electricidad es indispensable para mantener constantes el voltaje y la frecuencia de salida. Si una central hidroeléctrica trabaja sin regulador en operación autónoma su velocidad es correcta sólo cuando la carga es constante. Una disminución de la carga significa un aumento de la velocidad de rotación de la turbina, por el contrario, un aumento de la carga significa una disminución de la velocidad de rotación de la turbina. Esto afectaría considerablemente a los consumidores debido a que la mayoría de los equipos eléctricos están diseñados para operar a un voltaje y frecuencia específicos y no soportan grandes variaciones.

La velocidad de giro de la turbina está estrechamente ligada a la frecuencia eléctrica generada, esta magnitud física constituye uno de los indicadores de calidad de la energía en las centrales eléctricas y el principal indicador en las centrales eléctricas autónomas. La **figura 2** muestra el comportamiento típico de la frecuencia de una central hidroeléctrica autónoma sin regulación de velocidad.

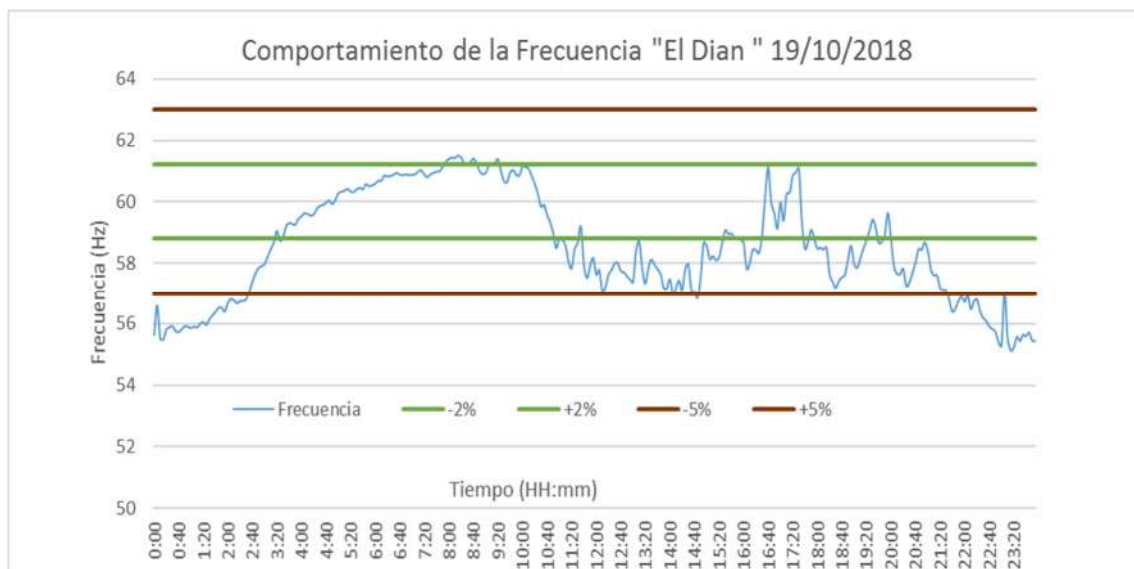


Figura 3. Comportamiento típico de la Frecuencia de una micro-hidroeléctrica sin regulación. Adaptado de (López, 2018)

Según la norma cubana NC 62-04, el valor permisible de desviación de la frecuencia es de un 1% con respecto al valor nominal de 60 Hz. La norma aplica para los sistemas

electro-energéticos de todo el territorio nacional, sin distinción de sistemas conectados a una red central o aislados de esta. Nótese que el valor de la frecuencia eléctrica generada (proporcional a la velocidad de rotación de la turbina) representada en la **figura 2** oscila fuera de los límites operacionales establecidos la mayor parte del tiempo.

Por las dimensiones de la red, las demandas energéticas a un sistema eléctrico de gran potencia representan un valor porcentual pequeño respecto a un sistema autónomo de baja potencia como las centrales hidroeléctricas bajo estudio. Así mismo la gran inercia de las masas rotatorias de las centrales conectadas las hace más estables frente a iguales valores de demanda eléctrica, por esta razón no deben tener igual requerimiento técnico respecto a su comportamiento dinámico y de calidad.

Del total de 107 mini y micro hidroeléctricas de Cuba solo 6 disponen de algún mecanismo de regulación de la velocidad de rotación de turbina (Hidroenergía, 2018), lo que implica muy baja calidad de la energía según las normas del SEN (NC62-04, 1981, NC800, 2017), lo que ponen evidentes desventajas de acceso a una fuente energética de calidad a los consumidores de estas centrales.

En encuestas realizadas durante labores de medición y mantenimiento de las mini y micro centrales autónomas, se pudo comprobar que los usuarios desconectan sus equipos cuando la experiencia comprobada les indica que la calidad de la energía es baja. Este comportamiento, desde el punto de vista técnico, no incentiva el consumo energético lo que causa un bajo aprovechamiento del portador energético disponible (agua). Esto evidencia una relación directa entre calidad de la energía y aprovechamiento energético. La comunidad de “El Dian” ubicada en el históricamente conocido Ocuja del Turquino, en la Sierra Maestra, cuenta con 375 viviendas, 3 escuelas, 1 hospital, 2 consultorios del médico de la familia entre otros para un total de 27 objetivos económicos y sociales. En todo el país, la empresa de Hidroenergía está presente en 107 asentamientos poblacionales garantizando el servicio a 7252 viviendas (Hidroenergía, 2018).

3.2. Aprovechamiento energético en las mini y micro centrales autónomas

El potencial hídrico aprovechable se determina mediante una gráfica que se denomina curva de caudales clasificados (ESHA, 2006). Esta curva, permite escoger el flujo de equipamiento con el que se puede evaluar la potencia de la planta y la producción anual esperada para un caso particular, generalmente para un año hidrológico medio (Souza *et al.*, 2018). Esta gráfica forma parte de un profundo estudio hidrológico el río. En la **figura 3** se muestra una curva de caudales clasificados típica.

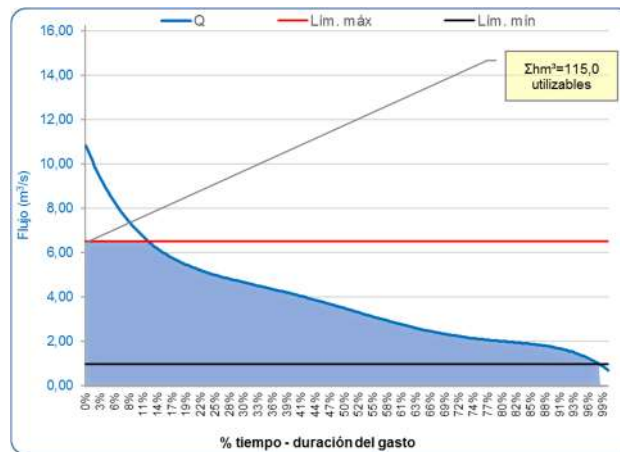


Figura 3. Curva de caudales clasificados. Fuente: elaboración propia

En la **figura 3** se muestra en color rojo el flujo de diseño, se ha resaltado en color azul el área que representa el volumen de agua utilizable para la producción de electricidad. Este análisis suele ser un compromiso entre el menor costo de equipamiento y la mayor producción de energía o beneficios económicos según algunos autores (Souza *et al.*, 2018).

El indicador técnico que miden cuánta potencia de la disponible es empleada o cuánta energía de la producida es consumida se denomina factor de planta (Coz *et al.*, 1995, Souza *et al.*, 2018), es el cociente entre la energía utilizada y la energía disponible. La **tabla 1** resume los valores del factor de carga para las centrales tomadas como muestra, tomadas al azar, todas de la provincia Santiago de Cuba.

Tabla 1. Factor de carga calculado. Fuente: elaboración propia, 2019

No	Instalación	Factor de Carga (%)	No	Instalación	Factor de Carga (%)
1	Cueva I	0,51	11	La Cachimba	0,13
2	Cueva II	0,58	12	La Tina	0,18
3	Mar verde del Turquino	0,37	13	San Antonio	0,06
4	Las Agujas	0,49	14	La Victoria	0,05
5	Los Gallegos	0,23	15	Pinarito	0,15
6	Alcarraza	0,19	16	Piloto	0,21
7	La Cueva	0,07	17	La Vigía	0,09
8	El Jobo	0,13	18	Pedernal	0,32
9	La Bruja	0,20	19	La Caridad	0,03
10	Oro Abajo	0,10	20	Rancho Alegre	0,47

Se ilustra gráficamente en la **figura 4** la producción de energía durante los años 2013-2017 y el correspondiente valor de energía según el cálculo de potencial hidrológico, se nota que solo dos instalaciones emplean más del 50% de la energía disponible.

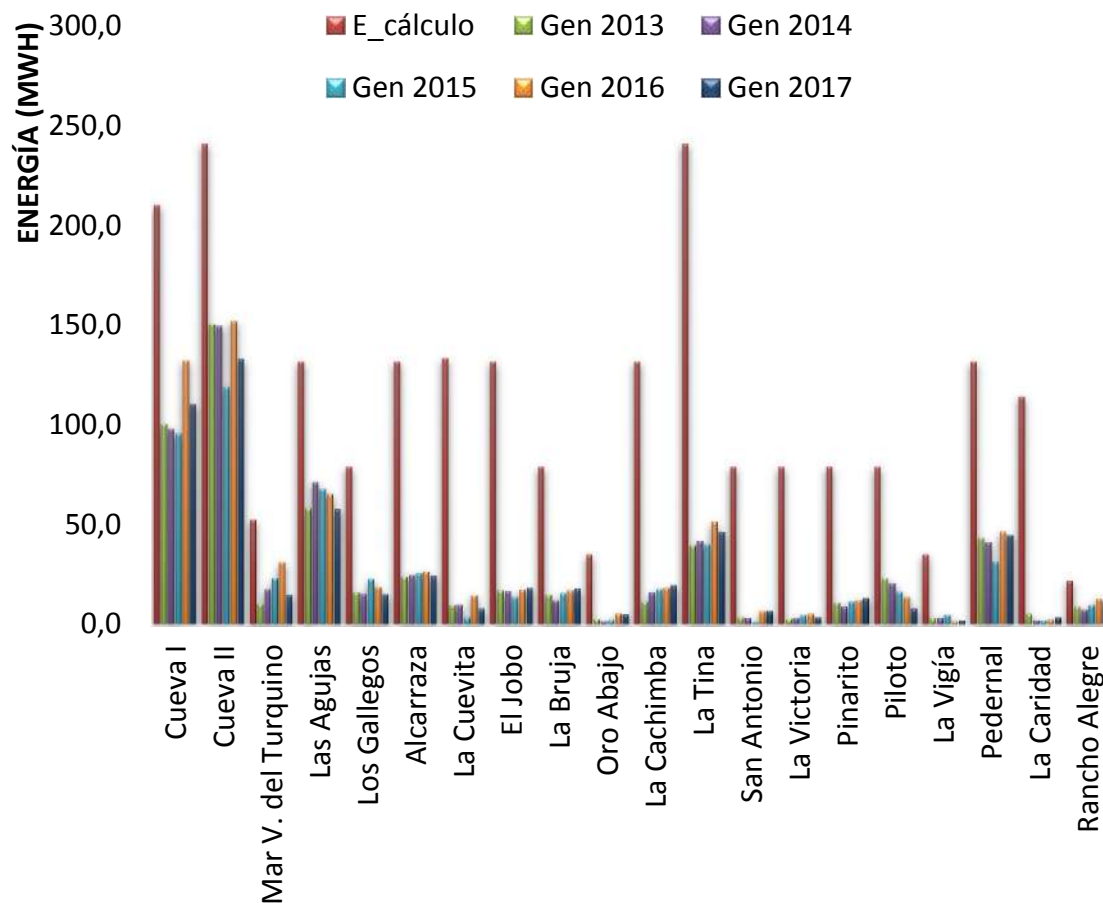


Figura 4. Aprovechamiento energético de las centrales estudiadas. Fuente: elaboración propia, 2019

En general el factor de carga varía de una comunidad a otra indicando el bajo aprovechamiento energético, las causas van desde bajos ingresos que no les permiten acceder a equipos electrodomésticos hasta factores técnicos como la mala calidad de la energía. Mediante programas sociales el Estado Cubano ha facilitado la adquisición de equipos electrodomésticos en algunas comunidades con facilidades de pago, acción que fue comprobada en visitas y entrevistas realizadas a los pobladores de varias comunidades (Peña, 2015).

Con el objetivo de mejorar la calidad de la energía y el aprovechamiento energético de las mini y micro centrales hidroeléctricas cubanas, la Empresa de Hidroenergía y el Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales (CEETA) lleva a cabo un proyecto para el desarrollo de métodos de regulación de la velocidad de las turbinas basado en las necesidades establecidas por Hidroenergía (Hidalgo, 2018) y el Ministerio de energía y Minas (Lázaro, 2016, MINEM, 2019).

3.3. Pertinencia de la adecuación de la normativa actual

Como se ha señalado en los acápites anteriores, las normas de calidad de la energía para las centrales hidroeléctricas autónomas son las mismas que aplican las grandes centrales que forman parte de una red mayor. La ley 1287 (Ley-1287, 1975) del sistema eléctrico cubano fue aprobada en un contexto en que la participación de Fuentes Renovables de Energía en el SEN era muy baja, donde no estaba previsto el autoabastecimiento energético y donde los sistemas de generación distribuidos y autónomos, como las mini y micro centrales hidroeléctricas eran aún incipientes.

En trabajos previos de los autores (Peña *et al.*, 2005b) y otros artículos científicos (Domínguez *et al.*, 2004) se plantea la necesidad de un análisis casuístico según las características técnicas de cada fuente de energía a la vez que se demuestra técnicamente que las variaciones de frecuencia eléctrica de la tensión para los sistemas aislados y autónomos podrían estar en el orden del 2% como límite de operación normal al 5% para cambios temporales menores de un minuto (Peña *et al.*, 2019). Este es solo un ejemplo de los ajustes necesarios, sin embargo, habrá que tener en cuenta no solo los aspectos técnicos sino todos los relacionados con la producción de electricidad con hidroeléctricas y otras fuentes renovables.

Si bien los aspectos técnicos y tecnológicos definen qué y para qué es necesario cambiar la concepción del sistema eléctrico cubano, la forma de llevar a la práctica el cambio es el ¿cómo?. La respuesta a esta interrogante es la forma en que se organizan todos los recursos para lograr un objetivo alcanzable, integrador, sustentable.

Una forma de regular la conducta social de los individuos es a través de normas jurídicas que definan las funciones y límites de competencia de los actores, los niveles de compatibilidad entre instituciones, la imbricación con otras normas y políticas relacionadas o no con el ámbito energético, las relaciones de propiedad, las formas de inversión, las premisas e índices de análisis y toma de decisiones. Todos estos aspectos, a juicio nuestro, deberían estar contenidas en la necesaria futura ley eléctrica.

Las medidas del tipo normativas no son nuevas; uno de los líderes mundiales actuales en el sector de la energía: Alemania, ha logrado niveles cercanos al 30% de producción renovable en parte gracias a la aplicación de estas medidas. En el informe anual de la Agencia Alemana de Energía (dena), se plantea que ...(El incremento en el uso de energías renovables en Alemania se debe, principalmente, a la ley de energías renovables (EEG) aplicable desde el 1 de abril de 2000 para el sector de la electricidad) (dena, 2015).

4. Conclusiones

Con la realización de este trabajo ha quedado evidenciada la baja calidad de la energía generada en las mini y micro centrales hidroeléctricas cubanas, sus causas y la relación con el bajo aprovechamiento energético que estas presentan. De igual forma se requiere el ajuste de las normas técnicas y jurídicas actuales al contexto energético actual toda vez que frena el fomento de las fuentes renovables y no permite la introducción de nuevas técnicas con fundamentos económicos que beneficien el acceso a la energía con calidad en las comunidades rurales.

5. Referencias bibliográficas

- Ashfaq, H., M. Saood and R. Singh (2015). "Autonomous micro-hydro power system for distributed generation: A power quality analysis." International Journal of Current Engineering and Scientific Research (IJCESR) 2(9).
- Brown, A. S. M. a. Z. D. (2011). ""Renewable energy markets and prospects by technology". " International Energy Agency (IEA)/OECD, Paris.
- Catanase, A. and W. Phang (2010). "Sensitivity analysis of Small Hydropower Plant." Presentation to British Hydro Association's 2010 annual conference, Glasgow.
- Coz, F., T. Sánchez and B. Viani (1995). Manal de mini y microcentrales hidraulicas: una guía para el desarrollo de proyectos. Lima. ITDG. Perú 1995, ITDG.
- dena (2015). Suministro de energía con renewables - Made in Germany. Información sobre tecnologías, proveedores, productos y servicios. Renewables Made in Germany. E. 2016. Berlin. Alemania., Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Agencia Alemana de Energía. 1.
- Domínguez, H., P. Arafet, F. Chang and L. Peña (2004). "Fuzzy Switched Mode Control for a Linearized Plant subjected to impulsive load disturbances". XI Congreso Latinoamericano de Control Automático, Ciudad de la Habana. Cuba, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría. CUJAE.
- ESHA (2006). "Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica". www.esha.be, European Small Hydropower Association - ESHA
- Hidalgo, G. R. (2018). "Estado de la Automática en las Hidroeléctricas de Cuba". Entrevista al Director de Desarrollo. L. P. Pupo. Empresa de Hidroenergía. Dirección de Desarrollo.
- Hidroenergía (2018). "Estado de las Instalaciones actualizado 30-10-2018". Informe Mensual de Operaciones. E. d. H. D. Técnica. Empresa de Hidroenergía, Unión Eléctrica. **Vol. Octubre 2018:** pp. 30.
- IHA (2017). Hydropower Status Report 2017. i. h. r. 2017. www.ih.org, International Hydropower Association. **2017:** p 84.
- IN-SHP (2010). ""World Expo Special Edition Newsletter" " International Network on Small Hydro Power (IN-SHP) **Vol. 1**(Issue 3).
- IRENA (2012). ""Renewable energy technologies: cost analysis series. Hydropower". " IRENA working paper. Power Sector **Volume 1**(Issue 3/5).
- IRENA (2014). "REmap 2030. A renewable Energy Roadmap Report". Abu Dhabi. I. www.irena.org/remap.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL "II CCI UCLV 2019"



- Lázaro (2016). La Operación del Sistema Eléctrico Cubano con la introducción de las Fuentes Renovables de Energía., Informe anual. Unión Eléctrica. Ministerio de Energía y Minas. Cuba: 40.
- Ley-1287 (1975). Ley número 1287. Ley Eléctrica. Poder Ejecutivo del Consejo de Ministros. Presidente de la República de Cuba. Ley 1287. Gaceta Oficial de la República de Cuba, Dorticós, Torrado Osvaldo.
- López, L. P. (2018). "Informe mHE "El Dian" Análisis de los resultados recogidos con el analizador de redes AR6 de Circutor utilizando el software PowerVisionPlus v1.4.". Reporte Interno, Departamento Técnico. Empresa de Hidroenergía. UEB Santiago de Cuba: 10.
- MINEM. (2019). "Ministerio de Energía y Minas de la República de Cuba. <https://www.minem.gob.cu/energias-renovables> Copyright © 2019. Actualizado el Lunes, Febrero 18, 2019 - 09:55." Retrieved 20 de marzo de 2019.
- NC62-04 (1981). "Sistema Electroenergético Nacional. Frecuencia nominal y sus desviaciones permisibles". www.nc.cubaindustria.cu, Oficina Nacional de Normalización: P. 3.
- NC800 (2017). Reglamento Electrotécnico Cubano para Instalaciones Eléctricas en Edificaciones NC 800:2017 (Ed. 2.0). www.nc.cubaindustria.cu, Oficina Nacional de Normalización.
- Peña, P. L. (2015). ""Estudio de Factibilidad Técnico Económico y Financiero de la Rehabilitación de la Central Minihidroeléctrica aislada UVERO". Empresa de Hidroenergía. Noviembre de 2015.
- Peña, P. L., A. H. Domínguez, J. F. Barrio and F. Chang (2005a). "Regulación de frecuencia por carga secundaria de una Minihidroeléctrica en régimen autónomo". XII Simposio de Ingeniería Eléctrica. Feijoo. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. 21-23 de junio del 2005. Cuba.
- Peña, P. L., A. H. Domínguez, B. J. Fong and P. J. A. Garcia-Alzórris (2005b). "Regulación de frecuencia en una Minihidroeléctrica por carga lastre mediante un pc Embebido". 9th Spanish Portuguese Congress on Electrical Engineering (9CHLIE), Marbella, España. 30/6 -2/7 de 2005, Book of Summaries. pp 151-152.
- Peña, P. L., W. E. Fariñas and A. H. Domínguez (2019). "Ajuste del punto de operación de micro-turbinas hidráulicas a través del método de regulación de velocidad combinada. Artículo no publicado."
- Pérez, F. D. (1999). "Máquinas Hidráulicas Rotodinámicas", Centro Nacional de Derechos de Autor de la República de Cuba. No. 03887-3887.
- Souza, Z. d., S. A. H. Moreira and B. E. da Costa (2018). "Centrais hidrelétricas: implantação e comissionamento". Rio de Janeiro 2018.