

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA PUESTA EN OPERACIÓN DE UN PICO-GENERADOR ELÉCTRICO PARA EL PARQUEADERO DEL HOSPITAL PABLO TOBÓN URIBE

Jorge Hernán Saldarriaga Yepes

Ingeniería Electromecánica

Director(es) del trabajo de grado

CARLOS ALBERTO ACEVEDO ALVAREZ, IM.

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2018

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar un estudio de las condiciones de consumo eléctrico del Hospital Pablo Tobón Uribe (HPTU), más específicamente en el área de iluminación del parqueadero. Este estudio buscó la viabilidad técnica y económica de implementar un sistema de autogeneración de energía eléctrica por medio de un pico-generador; por lo cual se comenzó con un análisis de las características topográficas e hídricas del sitio. Se partió inicialmente de las mediciones del consumo de agua potable, consiguiendo un promedio por mes entre los años 2016 y 2017. Consecutivamente se tomaron mediciones de los consumos eléctricos del parqueadero, exclusivamente de las lámparas. Dentro del proyecto se evaluaron variables fundamentales que resultaron determinantes para una correcta selección del pico-generador, como lo son el caudal y la carga neta del fluido sobre el eje de la turbina. Con estos datos se procedió a calcular la potencia requerida del equipo y posteriormente a escoger la turbina más adecuada. Otro de los aspectos evaluados fue la viabilidad de modernizar el actual sistema de iluminación del parqueadero, al tratarse de un conjunto de lámparas fluorescentes, se buscó reemplazarlas por un sistema de iluminación LED, al trabajar con menos potencia, se aprovecha al máximo la corriente generada por el pico-generador y evidentemente esto se traduce en un menor costo de energía eléctrica.

Dado que el parqueadero consiste en un edificio de 5 pisos dividido en dos secciones identificadas como A y B, resultó muy difícil conseguir un equipo dentro de la clasificación del pico-generador que entregue la potencia necesaria para cubrir todo el sistema de iluminación de esta zona del Hospital. En este caso, sería necesario implementar un equipo de mayores prestaciones y de un costo más elevado, correspondiendo a una pequeña central hidroeléctrica, sin embargo, este tipo de sistema resulta inviable en el Hospital por no cumplir con los requerimientos mínimos de salto neto y caudal.

De acuerdo con el estudio realizado de las características topográficas, hídricas y eléctricas del lugar, se estimó que con el nuevo sistema de generación se consigue alimentar hasta dos secciones del parqueadero, es decir, un piso completo del edificio. Esto significa que, del objetivo general propuesto, se logra alimentar hasta 24 lámparas con el nuevo sistema de iluminación LED, consiguiendo además un ahorro energético del 73%.

Palabras clave: Energía eléctrica, Hidroeléctrica, Turbina, Generador, Pico-generador, LED, Sistema de Iluminación, Regulador Electrónico.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

RECONOCIMIENTOS

Quiero agradecer a mi asesor del presente trabajo de grado, el profesor Carlos Alberto Acevedo Álvarez, por su oportuno acompañamiento durante la realización de este proyecto.

Agradezco profundamente a todos los docentes de la Institución que fueron parte de mi formación profesional y aportaron además un valor incomparable en mi visión de la vida.

A mis compañeros y futuros colegas, por hacer que este paso por la Universidad fuera tan ameno y productivo.

Deseo reconocer el inmenso aporte que ha hecho la Institución por mi formación profesional a través de sus excepcionales laboratorios, aulas de informática, biblioteca y demás espacios que sirvieron de esparcimiento. Hago además un merecido reconocimiento a todos los trabajadores de la Institución, por su calidad humana, la perseverancia que les caracteriza y que, con su trabajo, hacen del ITM una de las mejores Instituciones de Educación Superior de Colombia.

Al Hospital Pablo Tobón Uribe por servir como uno de los escenarios en donde logré desempeñar una etapa importante de mi vida al aplicar los conocimientos de la carrera en el campo laboral.

A mi familia, por su apoyo y comprensión durante el desarrollo de mi carrera profesional, y que, de algún modo, es el logro de todos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

ACRÓNIMOS

CFL: Lámpara Compacta Fluorescente

ELS: Efficient Lighting Systems

EPM: Empresas Públicas de Medellín

FEM: Fuerza Electromotriz

HPTU: Hospital Pablo Tobón Uribe

LED: *Light Emitting Diode*

OLADE: Organización Latinoamericana de Energía

PCH: Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

PID: Proporcional-Integral-Derivativo

RETILAP: Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Generalidades	7
1.2 Objetivos	8
1.3 Organización del trabajo	9
2. MARCO TEÓRICO	10
2.1 Energía Hidroeléctrica	10
2.2 Pico-generador eléctrico	12
2.2.1 Clasificación las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) según la potencia y caída	13 13
2.2.2 Ventajas de un Pico-generador eléctrico	13
2.2.3 Componentes de una Pico-Central Hidroeléctrica	14
2.3 Turbina	15
2.3.1 Turbina Banki	17
2.3.1.1 Ventajas de la Turbina Banki	20
2.4 Generador Eléctrico	21
2.4.1 Principio de operación de un generador eléctrico	21
2.5 Sistema de Iluminación LED	23
2.5.1 Ventajas de la Tecnología LED	23
2.5.2 Desafíos actuales de la iluminación LED	24
2.5.3 Bombillas tradicionales vs Lámparas LED	25
3. METODOLOGÍA	28
3.1 Ubicación del parqueadero del HPTU	29

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

3.2 Características del estudio	30
3.3 Demanda Hídrica	30
3.3.1 Caudal	31
3.4 Demanda Eléctrica	33
3.5 Cálculo del Pico-Generador	35
3.5.1 Criterio de selección del Pico-Generador	35
3.5.2 Circuito bypass hidráulico	39
3.5.3 Circuito bypass eléctrico	40
3.6 Control de la Frecuencia y voltaje generado en la turbina	42
3.6.1 Método del control de la carga	43
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1 Características técnicas de la turbina	48
4.2 Iluminación del Parqueadero	49
4.3 Análisis Financiero	53
4.3.1 Costo de ejecución del proyecto	53
4.3.2 Costo anual de operación del sistema de iluminación actual vs sistema LED mediante la App ELS Calculator	
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	61
REFERENCIAS	63

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

1. INTRODUCCIÓN

En el Hospital Pablo Tobón Uribe se desarrollan diferentes actividades que implican un consumo constante de energía eléctrica, como lo son la operación de aire acondicionado, generación de vapor, equipos de biomédica e iluminación en general.

Dentro de las diferentes zonas de la infraestructura del Hospital se encuentran los parqueaderos. Esta zona corresponde a un edificio de cinco pisos dividido en dos secciones: A y B. El edificio cuenta además con un sistema de iluminación permanente con el fin de facilitar el monitoreo mediante cámaras de seguridad para reportar cualquier irregularidad o accidente.

El propósito del presente proyecto es realizar un estudio de las condiciones actuales del consumo de energía eléctrica en esta área específica del Hospital, evaluar las características topográficas e hídricas del sitio y encontrar la viabilidad técnica y económica de implementar un pico-generador eléctrico aprovechando una caída de agua potable suministrada por EPM. Como resultado final se espera obtener una reducción porcentual en el consumo de energía eléctrica para el área de parqueaderos.

1.2 Generalidades

En el parqueadero del Hospital Pablo Tobón Uribe existe la viabilidad de implementar un pico-generador eléctrico. Existen dos razones principales por las cuales un pico-generador resulta ser la mejor opción. Primero se debe al tipo de infraestructura que presenta el parqueadero del Hospital. Al ser un edificio de 5 pisos se puede aprovechar la energía dinámica del agua potable suministrada por EPM desde una subestación llamada “Palenque”, encargada de abastecer de agua a todas las áreas del Hospital, excepto la lavandería. Para el suministro de agua se debe hacer pasar previamente por dos tanques

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

subterráneos con una capacidad de 256000 litros cada uno y luego por 7 tanques de 48000 litros cada uno. Posteriormente mediante un sistema de bombeo, el agua es dirigida hacia la zona más alta del edificio para ser distribuida en cada uno de los servicios.

La segunda razón es que, al ser agua potable, esta no se puede dejar estacionaria por largos periodos de tiempo, ya que se pueden alterar sus composiciones fisicoquímicas y microbiológicas. Esto garantiza que exista un constante movimiento del fluido a través del pico-generador.

1.2 Objetivos

General

Realizar un estudio de factibilidad técnica y económica de la generación de energía eléctrica en el parqueadero del Hospital Pablo Tobón Uribe a través de un pico-generador.

Específicos

- Evaluar los consumos eléctricos del parqueadero del HPTU usando como referencia mediciones en el campo.
- Determinar la potencia máxima que puede entregar el generador en función del caudal y la carga neta del agua sobre la turbina.
- Seleccionar el pico-generador más adecuado teniendo en cuenta la potencia requerida por el sistema de iluminación, el caudal generado y el salto neto existente entre los tanques de distribución y de contingencia.
- Presentar un informe económico del pico-generador de acuerdo con los requerimientos del sistema de iluminación en el parqueadero y evaluar su impacto energético en el Hospital.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

1.3 Organización del trabajo

El proyecto está dividido en 4 secciones. La primera comprende toda la información referente a los conceptos básicos que ayudarán a una mejor comprensión del desarrollo del trabajo. La segunda sección (tercer capítulo) recopila la metodología utilizada en la ejecución del proyecto. En la tercera parte se presentan los principales resultados del estudio, selección y cotización de los equipos, así como un análisis financiero sobre los costos por energía eléctrica actual del Hospital y cuánto ahorraría con la implementación del pico-generador. Finalmente, la cuarta sección abarca las principales conclusiones del estudio y algunas propuestas a desarrollar en el futuro.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2. MARCO TEÓRICO

Actualmente la energía eléctrica es un servicio que se ha convertido en una necesidad esencial para la actual sociedad. Existen 4 etapas principales en el manejo de este tipo de energía. Primero se encuentra la fase de generación, luego la transmisión, la distribución, y finalmente el consumo. La generación de la energía eléctrica se puede obtener de distintas fuentes, las más comunes son la hidráulica, la eólica, la térmica o la nuclear. De acuerdo con el Ministerio de Minas y Energía, la capacidad efectiva del Sistema Interconectado Nacional (SIN), está compuesta por un 64% hidráulica, un 30.8% térmica y un 4.8% corresponde a cogeneradores y plantas menores (MinMinas, 2012). La transmisión está compuesta por las líneas de transporte de energía eléctrica. Esta etapa se ejecuta a través de cables de acero, cobre o aluminio, así como por sus elementos de apoyo, las torres de alta tensión. La distribución consiste en una amplia red de suministro de la energía desde la subestación eléctrica hasta los usuarios finales. La etapa final es la más importante para el usuario porque de aquí se deriva un consumo debido al funcionamiento de los aparatos eléctricos en función de la potencia que manejan y del tiempo que estén operando.

Para el propósito del presente proyecto se describirá a continuación una de las principales fuentes de energía eléctrica mejor aprovechadas en el territorio nacional.

2.1 Energía Hidroeléctrica

Para comprender el concepto de un pico-generador, es importante conocer el proceso básico mediante el cual se obtiene la energía eléctrica. Para este estudio se considera la energía hidroeléctrica, al ser la más utilizada en Colombia, y por tratarse de un recurso renovable.

La energía hidroeléctrica es una forma de energía y uno de los recursos renovables más utilizados. Como establecen Ottmar, E., Pichs, M., y Youba, S., en su informe especial del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (2011), este tipo de energía “además de su gran potencial para mitigar el cambio climático, las energías renovables pueden aportar muchos beneficios”.

La energía hidroeléctrica aprovecha la energía potencial del agua disponible a determinada altura. Esta se transforma en energía mecánica al pasar por una turbina y finalmente en energía eléctrica a través de un generador. (Ver Fig. 1)

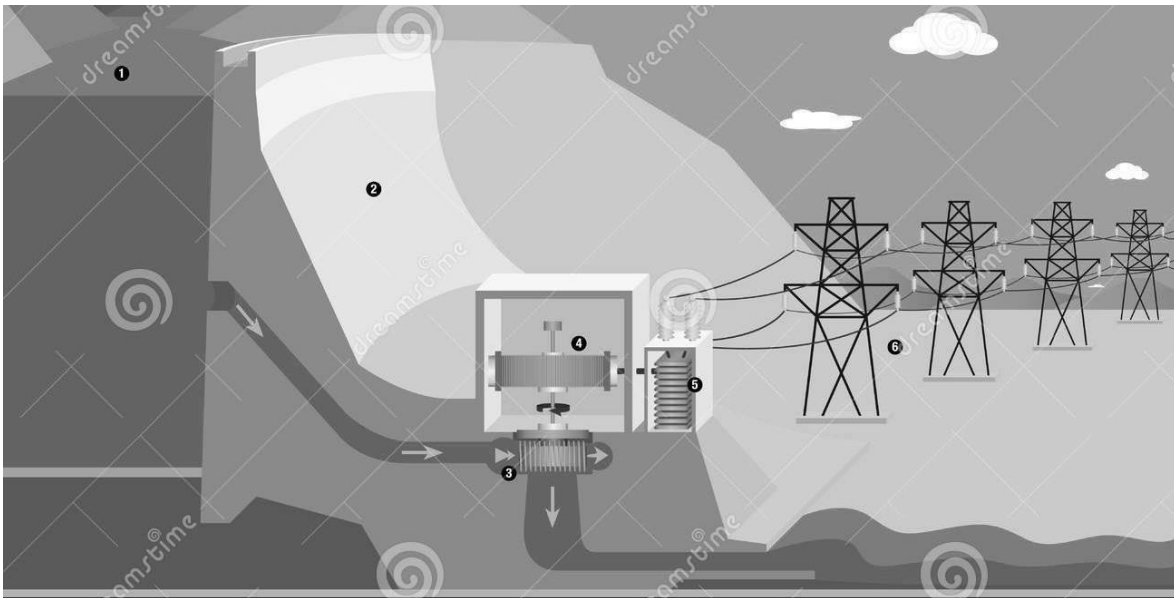


Fig. 1. Operación de una central de energía hidroeléctrica. Fuente:

<https://es.dreamstime.com>

En la Fig. 1 se puede apreciar la operación de una central de energía hidroeléctrica a través de las etapas que se describen a continuación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

1. Una represa que sirve como depósito del agua que se utilizará para convertir la energía potencial disponible en energía cinética.
2. Presa o dique construido para embalsar el agua.
3. Una turbina construida a partir de paletas curvas sobre las que el fluido ejerce una presión haciendo que estas giren.
4. Un generador que transforma la energía mecánica producida por la turbina en energía eléctrica.
5. Un transformador que permite convertir la energía eléctrica alterna de un nivel de tensión, en energía alterna de otro nivel de tensión.
6. Una red eléctrica que suministra la electricidad a los consumidores.

2.2 Pico-generador eléctrico

Un Pico-generador eléctrico hace parte de la clasificación de las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) que utiliza la energía renovable de medianos o pequeños caudales de agua, para posteriormente transformarla en energía eléctrica. Landa y Llanganate, (2009) afirman: “Los pico-generadores funcionan con desniveles de 2 a 200 *m* y caudales de 0.5 a 3000 $\frac{l}{s}$. Proporcionan energía eléctrica en corriente continua o alterna en un rango de 0.5 hasta 5 *kW* de potencia”. (p.13).

Estos sistemas son compatibles con cualquier tipo de infraestructura, siempre y cuando se manejen caudales y flujos constantes de agua; además de ser una alternativa energética factible y económica.

La energía utilizada en las PCH es una fuente no contaminante; requiere de un limitado uso hídrico para generar energía eléctrica; el equipo ocupa poco espacio, siendo su mantenimiento una tarea sencilla y de bajo costo (Landa y Llanganate, 2009).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.2.1 Clasificación de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) según la potencia y caída

Las PCH se pueden clasificar en función de la potencia generada. La Tabla 1 registra la forma en que la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) clasifica las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) en función de la potencia y el salto.

Tabla 1. Clasificación de las PCH según la potencia. Fuente: (Ortiz, 2001).

Potencia (<i>kW</i>)	Clase	Baja (m)	Media (m)	Alta (m)
0,5-5	Pico-central	H<10	10<H>35	H>35
5-50	Micro central	H<15	15<H>50	H>50
50-500	Minicentral	H<20	20<H>100	H>100
500-5000	Pequeña central	H<25	25<H>130	H>130

2.2.2 Ventajas de un Pico-generador eléctrico

De las ventajas del pico-generador se destaca los costos menores por kilovatio, en relación con los fotovoltaicos solares o de viento y sistemas de generación Diesel (Soluciones Prácticas, 2015).

- Utiliza una fuente de energía limpia.
- Es amigable con el medio ambiente porque no produce gases ni humo en su funcionamiento.
- Trabaja con caudales pequeños.
- Equipo pequeño, compacto y de fácil transportabilidad.
- Admite el funcionamiento de equipos electrodomésticos y máquinas de producción.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.2.3 Componentes de una Pico-Central Hidroeléctrica

Los elementos que constituyen una pico-central hidroeléctrica son mucho más simples que las que integran una central convencional. A continuación, se detallan cada uno de los pasos que se deben cumplir en todo proyecto que implemente una PCH. Estos puntos están basados en la ficha técnica número 9 de Soluciones Prácticas (2015) en su sección de Colección de Tecnologías Transformando Vidas.

a. Bocatoma o Captación de agua

Es el elemento que capta y desvía parte de los caudales de los ríos o captación de manantes, que serán utilizados en la PCH.

b. Canal de Conducción

Dispuesta para conducir el agua desde la bocatoma hasta la cámara de carga.

c. Cámara de carga

Dispuesta para el almacenamiento de agua en caso de que el caudal sea insuficiente en temporada seca.

d. Tubería de Fuerza

El agua fluye desde la cámara de carga cuesta abajo por una tubería larga denominada Tubería Forzada, hasta el equipo electromecánico. Al final de la Tubería Forzada el agua sale por una tobera, en forma de chorro a alta presión. Se recomienda una caída de agua mínimo de 20 m con el fin de generar suficiente potencia para cubrir las necesidades básicas de un grupo familiar, comunidad, o para el caso del presente estudio, para cubrir el mayor número de lámparas del parqueadero del HPTU.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

e. Casa de Máquinas

Es la zona donde se instalan todos los equipos de generación y control.

f. Equipos Electromecánicos

Constituyen la parte más delicada, pues de aquí se derivan los equipos de generación y control de la pico-central hidroeléctrica. A continuación, se mencionan cada uno de ellos.

- **Turbina:** Es el equipo encargado de generar la potencia hidráulica a través de una presión de agua. La turbina viene acoplada al generador. En la sección 2.3 se amplía toda la información referente al tipo de turbina seleccionada para el presente estudio.
- **Generador:** Su función básica es convertir la potencia mecánica giratoria de la turbina en potencia eléctrica. En la sección 2.4 se amplía toda la información referente al generador.
- **Controlador eléctrico:** Su operación permite que la potencia eléctrica generada se mantenga constante con el fin de evitar que el voltaje suba y baje, hecho que puede dañar las luces y otros dispositivos eléctricos.

Soluciones Prácticas (2015), estiman que la eficiencia del sistema para la generación de electricidad utilizando tecnología PCH típicamente es de entre 40% y 50%.

2.3 Turbina

Una turbina es una máquina que transforma la energía cinética y potencial de un fluido (normalmente agua) en energía mecánica de rotación (Ver Fig. 2).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

De acuerdo con la terminología utilizada internacionalmente, se denominan PCH a los sistemas de potencia inferior a 5000 kW y altura media de instalación de 25 a 130 m . Aris (2014) afirma:

“La micro generación menor a 5000 kW por medio de turbinas hidroeléctricas, tiene un amplio campo de desarrollo. Este tipo de generación eléctrica ayuda a diversificar la actual matriz energética y avanzar hacia una generación a nivel país más eficiente y sustentable. Las micro centrales hidroeléctricas, además del consumo personal, permiten eventualmente la inyección y venta de potencias excedentarias a la red de distribución, lo que incentiva al usuario a adoptar nuevas tecnologías de eficiencia energética” (p.7).

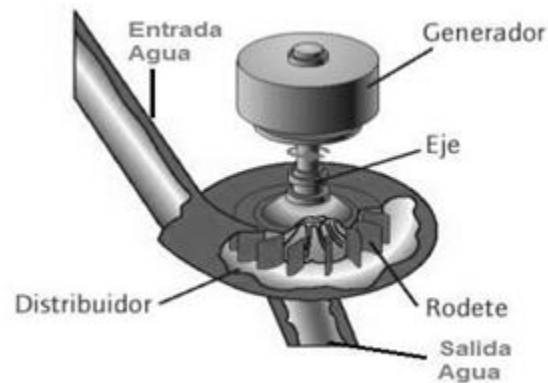


Fig. 2. Partes de una turbina tipo radial. Fuente: <http://www.areatecnologia.com>

Para el propósito del presente estudio, se ofrece a continuación toda la información teórica de la turbina Banki, comúnmente utilizada en proyectos de PCH. Se ha hecho mayor preferencia por este tipo de turbina, ideada por tres brillantes ingenieros, Anthony Michell, Dónat Banki y Fritz Ossberger, quienes definieron el paso a la construcción de PCH con el fin de abastecer pequeñas poblaciones de energía eléctrica. Acevedo, López y Sánchez (2015).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.3.1 Turbina Banki

También conocida como turbina de flujo transversal o comercialmente denominada turbina Michell-Banki o turbina Ossberger (ver foto de la turbina en la Fig. 3). Es una máquina utilizada principalmente para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Esta turbina consiste fundamentalmente en un rotor de forma cilíndrica que descansa sobre un eje horizontal (ver Fig. 4). Los álabes del rodete están sobre la periferia de este; una tobera de sección rectangular guía el agua hacia el rodete, ya sea vertical u horizontalmente. Marchegiani, Audisio y Varela (2011).

En Colombia, este tipo de turbina ha sido poco utilizada en PCH. Se estima que dicha turbina puede jugar un papel decisivo en proyectos hidroeléctricos pequeños, dado su menor impacto ambiental y social. Gómez, Palacio y Paredes (2008).

Por su sencillo diseño es la turbina más económica del mercado. Ideal para proyectos de micro-centrales hidroeléctricas y pico-eléctricas, las más pequeñas que pueden existir. Dependiendo del tamaño de la turbina Banki, se pueden trabajar con rangos desde 4 hasta 200 m de altura de cabeza, y con caudales desde 90 hasta 20000 l/s.

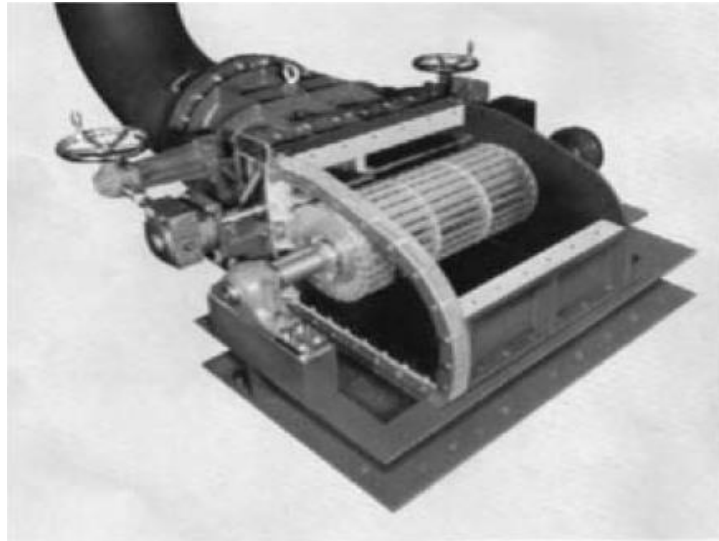


Fig. 3. Foto Turbina Banki. Fuente: <https://www.solucionespracticas.org>

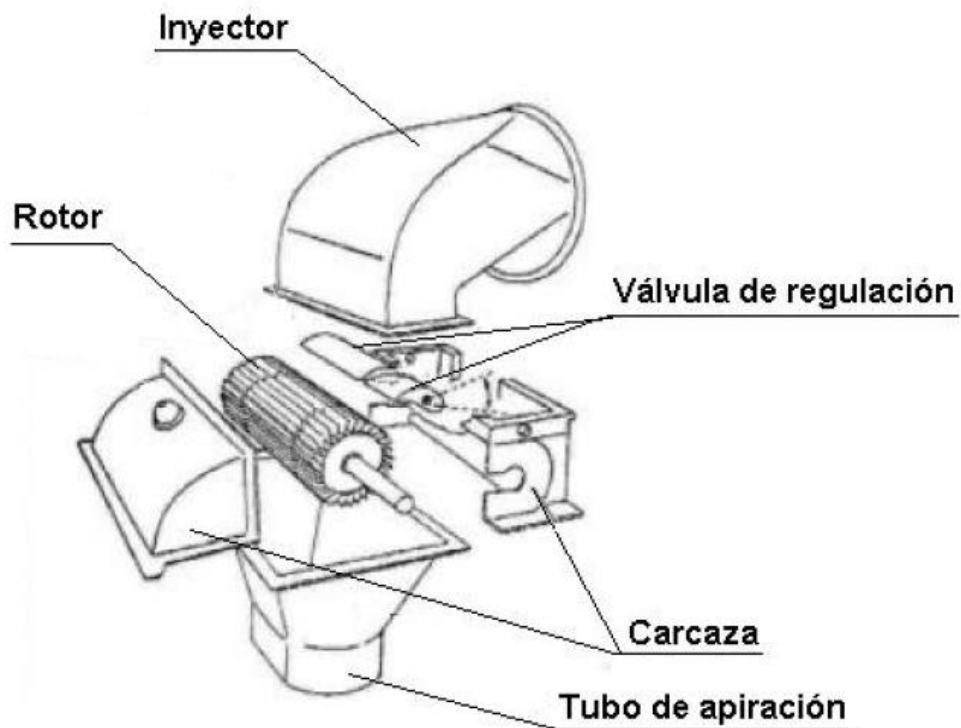


Fig. 4. Turbina Banki. Fuente: <https://www.emaze.com>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tal como se muestra en la Fig. 4, la Turbina Banki está compuesta por una carcasa, un rotor, un inyector, una válvula de regulación y un tubo de aspiración. A continuación, se explica el funcionamiento de cada uno de los componentes que integran a este tipo de turbina.

Carcasa

Todo el cuerpo que protege la turbina se encuentra construida en acero, haciéndola más robusta y resistente a los golpes.

Rotor

Es la parte más importante de la turbina. Consiste en un conjunto de álabes fabricados en acero perfilado laminado y adaptados a discos finales en ambos lados. De acuerdo con el tamaño de la turbina, el rotor puede contener hasta 37 álabes curvados linealmente.

Inyector

El inyector o distribuidor se encuentra ajustado en la parte superior de la carcasa. Consiste en dos palas directrices las cuales dividen y conducen la corriente de agua hacia el rotor sin efecto de golpe.

Válvula de regulación

La utilización de la válvula de regulación permite controlar el caudal de entrada hacia la turbina.

Tubo de aspiración

También denominado difusor o desfogue. Cada vez que el agua realiza trabajo por medio de los álabes dispuestos en el rodete, ésta se descarga por medio de un tubo de aspiración.

La Fig. 5 ofrece una vista de la sección transversal de la turbina y en la cual se evidencia dos etapas importantes dentro del equipo.

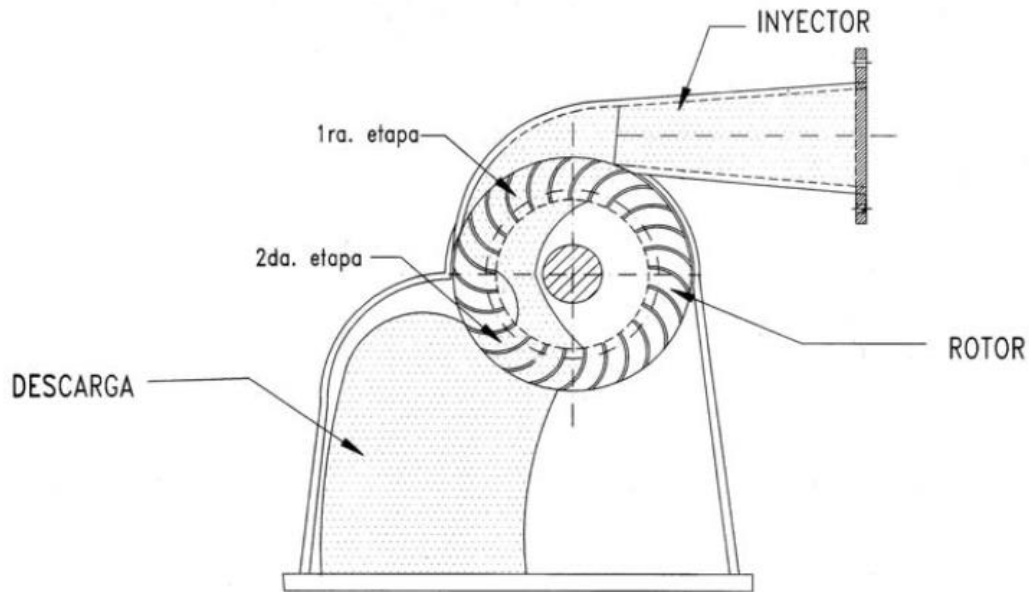


Fig. 5. Vista transversal de la Turbina Banki. Fuente:

<https://www.solucionespracticas.org.pe>

En la ficha técnica número 2 de Soluciones Prácticas (2009), se sostiene que el agua es transferida al rotor en las dos etapas descritas en la Fig. 5. La primera etapa entrega un promedio del 70% de la energía total transferida al rotor, mientras que la segunda alrededor del 30% restante.

2.3.1.1 Ventajas de la Turbina Banki

Gómez et al. (2008) afirman que la turbina Banki posee una eficiencia máxima menor en comparación de una turbina Kaplan, Francis o Pelton. No obstante, alcanza una curva de eficiencia plana bajo carga variable, la cual varía de 1/6 de la carga máxima hasta el 100%. Por otro lado, dado su bajo costo, su buena regulación de caudal y potencia por medio de los álabes ajustables, este tipo de turbina resulta ideal para proyectos de micro y pico-hidroeléctricas con rangos de menos de 50 kW. Entre otras virtudes de esta turbina, se pueden destacar:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Amplio rango en la velocidad de giro.
- Óptima para la producción de electricidad no vigilada.
- Posee un aceptable nivel de rendimiento en aplicaciones de PCH.
- Fácil mantenimiento, por lo que no conserva residuos en los corredores o álabes de flujo.

2.4 Generador Eléctrico

Como se explicó en la sección anterior, las turbinas son máquinas que transforman la energía cinética del agua en energía mecánica de rotación. Esta energía mecánica de rotación es normalmente aprovechada para transformarla en energía eléctrica mediante el acoplamiento de la turbina a un generador. Tal como sucede en las grandes hidroeléctricas, en una PCH la caída del fluido hace girar el eje de la turbina, y ésta a su vez hace girar el eje del generador produciendo energía eléctrica.

2.4.1 Principio de operación de un generador eléctrico

El funcionamiento de un generador eléctrico, así como el de otras máquinas eléctricas como el motor y el transformador, se basa en la ley de Faraday (1791-1867). Este principio establece básicamente que una corriente eléctrica puede inducirse en un circuito mediante un campo magnético variable (ver Fig. 6).

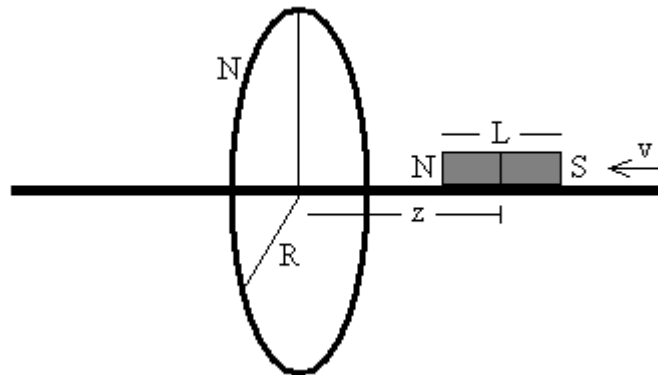


Fig. 6. Movimiento relativo entre un imán y una bobina. Fuente: <http://www.sc.ehu.es>

La Fig. 6 ilustra el modo experimental en el que se consigue inducir una corriente eléctrica a partir de un imán que se introduce/retira a través de una bobina de N espiras apretadas de radio R . Las signaturas N y S del imán indican los polos magnéticos del mismo. El imán de longitud L se mueve con velocidad constante v . Para conseguir una lectura del valor de la corriente inducida, basta con conectar un amperímetro a la disposición antes descrita (ver Fig. 7).

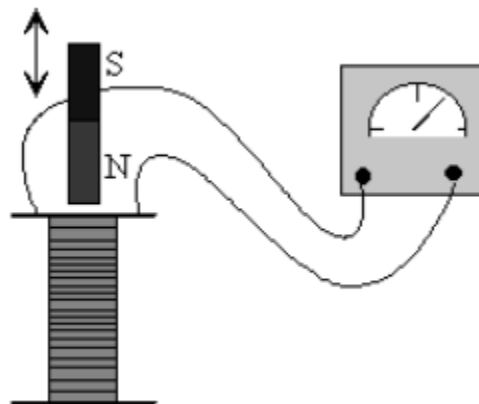


Fig. 7. Medición de la corriente inducida a través de un amperímetro. Fuente:

<http://www.sc.ehu.es>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

La ley de inducción de Faraday señala además que la fuerza electromotriz (FEM) inducida en un circuito es proporcional a la razón de cambio en el tiempo del flujo magnético a través del circuito. Matemáticamente se expresa tal como se indica en la ecuación (1):

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (1)$$

2.5 Sistema de Iluminación LED

La tecnología LED (*Light Emitting Diode*) es hoy el máximo exponente en el campo del alumbrado gracias a sus características de iluminación. Un LED (Diodo Emisor de Luz) está formado por un material semiconductor de dos terminales, denominados ánodo y cátodo (ver Fig. 8). Cuando se aplica tensión o voltaje a los terminales, los electrones se configuran en una región del semiconductor conocida como PN, liberando energía en forma de fotones.

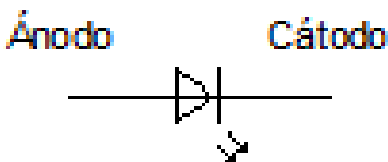


Fig. 8. Símbolo electrónico de un LED. Fuente: Autor.

2.5.1 Ventajas de la Tecnología LED

(Pomatta, Piñero, Almazón y Hernández, 2015) sostienen que los LED se han posicionado como una tecnología avanzada y novedosa, cuya característica más destacable frente a cualquier otro tipo de tecnología de iluminación, es su eficacia luminosa, que actualmente se sitúa entre 80 – 90 *lm/W* (lúmenes por vatio), siendo la previsión alcanzar en los

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

próximos años los 150 lm/W . En este sentido, los sistemas de iluminación basados en tecnología LED favorecen el ahorro al poseer una mayor eficiencia energética.

Otra de las ventajas que presenta los LED respecto a otros tipos de sistemas de iluminación, es su elevada vida útil (generalmente entre 30.000 y 50.000 horas), lo que unido al bajo consumo de energía eléctrica, posibilita un retorno de la inversión en un periodo de tiempo muy reducido, sobre todo en el sector terciario e industrial. (Pomatta et al, 2015, p. 4).

Entre los aspectos más positivos de esta tecnología, se pueden destacar:

- Ausencia de radiaciones ultravioleta e infrarroja.
- Escasa generación de calor.
- Encendido instantáneo.
- Buen rendimiento del color.
- Mayor control de regulación de la luz que permite una gestión total de la instalación de alumbrado.

2.5.2 Desafíos actuales de la iluminación LED

Una de las principales desventajas que presenta actualmente la tecnología LED es su alto costo de producción, convirtiéndolo en un producto poco atractivo para los usuarios, pese a sus innumerables prestaciones. En este sentido, y como menciona Carral (2014) en su estudio La Tecnología LED, las empresas dedicadas a desarrollar este tipo de tecnología se hallan trabajando duro con el fin de disminuir el coste de producción, sin afectar su eficiencia y resistencia a altas temperaturas.

Conseguir luz blanca pura ha sido otro de los retos de la industria de iluminación. Los avances conseguidos hasta ahora no eran rentables, ya que la única forma de conseguir luz

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

blanca pura era con la combinación de suficientes colores, cada uno regulado de forma diferente. (Carral, 2014, p. 7).

Finalmente, la meta principal es convertirse en el número uno en el mercado de iluminación. No obstante, en algunas áreas ya se ha conseguido, como en el desarrollo de pantallas de televisión. Se espera que en los próximos años la tecnología LED se ratifique como el mejor sistema de iluminación.

2.5.3 Bombillas tradicionales vs Lámparas LED

Actualmente cerca del 70% de la energía empleada para la iluminación artificial es consumida por bombillas tradicionales, para las que, ciertamente, hay alternativas más eficientes (Gutiérrez, 2014).

De acuerdo con una encuesta realizada por la compañía Phillips a 1.300 consumidores, un 65% de los encuestados reemplazará las bombillas tradicionales por las de bajo consumo; un 21% las sustituirá por LED y un 14% preferirán las halógenas. Por otro lado, un 74% cambiará su actual sistema de iluminación con el fin de lograr un mayor ahorro energético, mientras que un 17% lo hará para contribuir con el cuidado medioambiental.

Continuando con el estudio de Gutiérrez (2014), un 95% de la energía que consume una bombilla incandescente de 100W se traduce en calor. Únicamente el 5% se convierte en luz. Esto clasifica a la incandescencia como una tecnología altamente ineficiente y de ahí que se haya retirado el uso de esta. Por otra parte, los sistemas de iluminación existentes en el mercado (halógenas, ahorradoras, fluorescentes y LED) son sin duda alguna, alternativas eficientes a las bombillas incandescentes, consiguiendo ahorros energéticos de hasta un 90%, según Mar Gandolfo, responsable de Formación y Auditorías Energéticas de Phillips Ibérica.

La Fig. 9 ofrece un gráfico comparativo de ahorro de energía frente al consumo eléctrico de diferentes tipos de tecnología empleada en las bombillas (ver a continuación el tipo de

lámpara según el número). Se observa, por ejemplo, que con la iluminación LED es posible reducir el consumo eléctrico hasta un 80%.

1. Bombillas incandescentes convencionales.
2. Bombillas incandescentes mejoradas (clase C en la etiqueta de energía, lámpara halógena rellena con gas xenón).
3. Bombillas incandescentes mejoradas (clase B en la etiqueta de energía, lámpara halógena con revestimiento infrarrojo).
4. Lámparas compactas fluorescentes (CFLs).
5. Diodos de emisión de luz (LED).

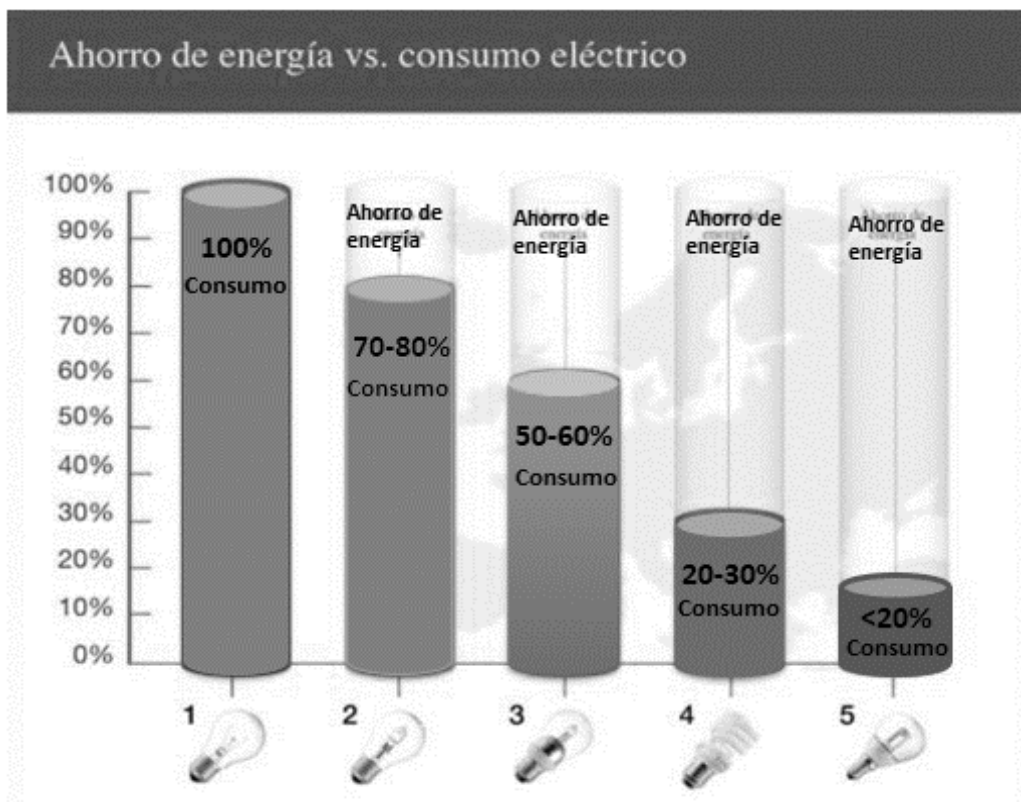


Fig. 9. Gráfico comparativo de ahorro energético de distintas bombillas. Fuente: (Comisión Europea, 2009).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

En el próximo apartado del presente trabajo se estudiarán las diferentes variables topográficas, hídricas y eléctricas del parqueadero del HPTU con el fin de determinar la factibilidad técnica y económica de un pico-generador eléctrico.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

3. METODOLOGÍA

Este capítulo ofrece cada uno de los pasos realizados en la ejecución del estudio de factibilidad técnica y económica de un pico-generador eléctrico para el parqueadero del HPTU. Se comienza con una breve descripción topográfica de la zona del Hospital en estudio, su división, tipo y número de lámparas actualmente en funcionamiento. Más adelante, una explicación de los aspectos más importantes que se tocarán en el análisis y cómo se busca dar solución a eventuales paros del sistema por mantenimiento o fallo del equipo de autogeneración. La sección 3.3 ofrece las características de los dos tanques de distribución, los siete de reserva y el salto neto existente. Así mismo, se presentan los consumos de agua en m³ por mes y el cálculo de los caudales mínimo y máximo. La sección 3.4 ofrece los consumos eléctricos actuales y el cálculo de la potencia total consumida entre todas las lámparas fluorescentes de ambas torres del parqueadero. En la sección 3.5 se procede a calcular la potencia de la turbina en función del caudal y el salto neto existente entre el punto de distribución y los tanques de reserva. Continúa con una explicación de los circuitos bypass para el agua y eléctrico, finalizando con el cálculo de la potencia real requerida por el nuevo sistema de iluminación a partir de lámparas LED.

Con la implementación del pico-generador eléctrico se busca una alternativa eficiente y económica de generación de energía eléctrica en una de las áreas del Hospital. La generación solo dependerá del correcto funcionamiento del equipo y de la disponibilidad del fluido.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

3.1 Ubicación del parqueadero del HPTU

El estudio está enfocado exclusivamente para el parqueadero del HPTU. Esta zona consta de un edificio de 5 pisos divididos en dos secciones A y B (Ver Fig. 10). Cada sección cuenta con un total de 12 lámparas de doble tubo con una potencia de 45 W, es decir, por ejemplo, para el piso 3A, se tienen 24 tubos fluorescentes, lo que representa un total de 240 tubos para los 5 pisos.

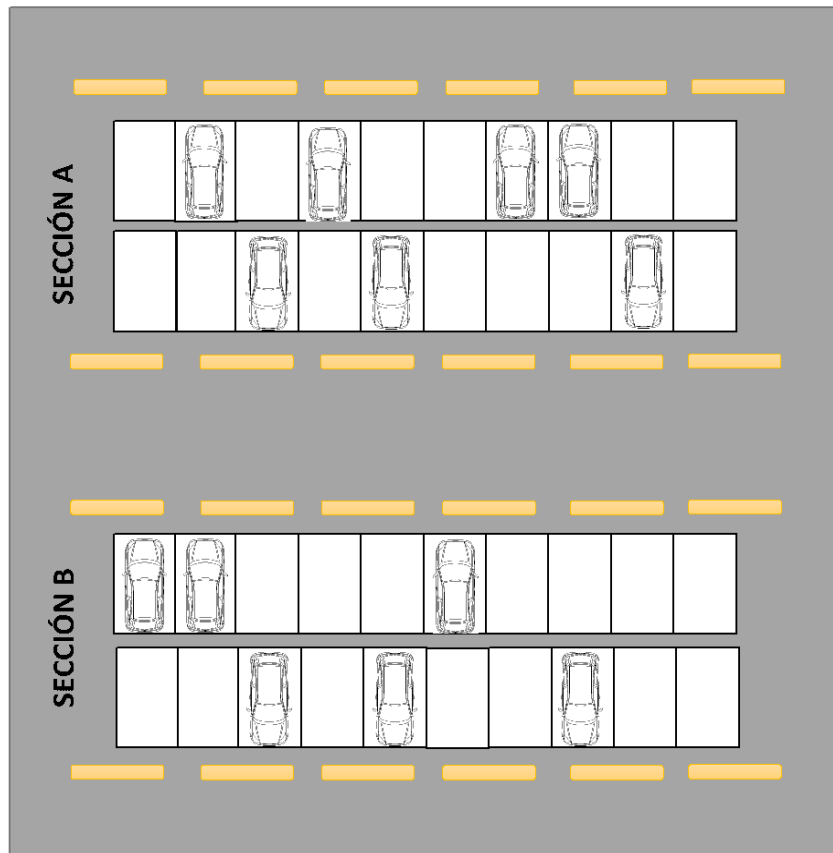


Fig. 10. División del parqueadero del HPTU. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

La Fig. 10 sirve de ejemplo para representar la forma en que cada piso del parqueadero se habilita en dos secciones, A y B. Cada sección dispone actualmente de un grupo de 12 lámparas fluorescentes.

3.2 Características del estudio

Para el correcto desarrollo del proyecto se considera la evaluación de las siguientes condiciones y parámetros:

- Flujo y consumo permanente de agua potable al tratarse de un hospital, y con el que se satisfacen todos los procesos que requieren del uso de este líquido.
- Dada la condición topográfica del edificio, se busca aprovechar la energía dinámica del fluido debida a la caída desde una parte alta.
- A modo de previsión, en el montaje del equipo debe considerarse un bypass inteligente tanto para el circuito eléctrico como para el de agua; esto con el propósito de garantizar el servicio en caso de presentarse cortes de energía eléctrica, mantenimiento del pico-generador o fallo de este.
- Control de la frecuencia y voltaje generado en la turbina.
- Condiciones del espacio físico para la instalación del equipo y cada uno de sus componentes.

3.3 Demanda Hídrica

El Hospital cuenta con el servicio de agua potable de EPM mediante la subestación de Palenque. Esta subestación está encargada de distribuir el agua en todas las zonas del Hospital, menos el área de la lavandería. El agua se distribuye desde dos tanques subterráneos con una capacidad de 256000 litros cada uno, y luego se dirige en un trayecto de 20 m hasta siete tanques de reserva con una capacidad de 48000 litros cada uno (Ver Fig. 11). Finalmente, mediante un sistema de bombeo, se direcciona el agua a la parte más alta del edificio para ser utilizada en cada uno de los servicios.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

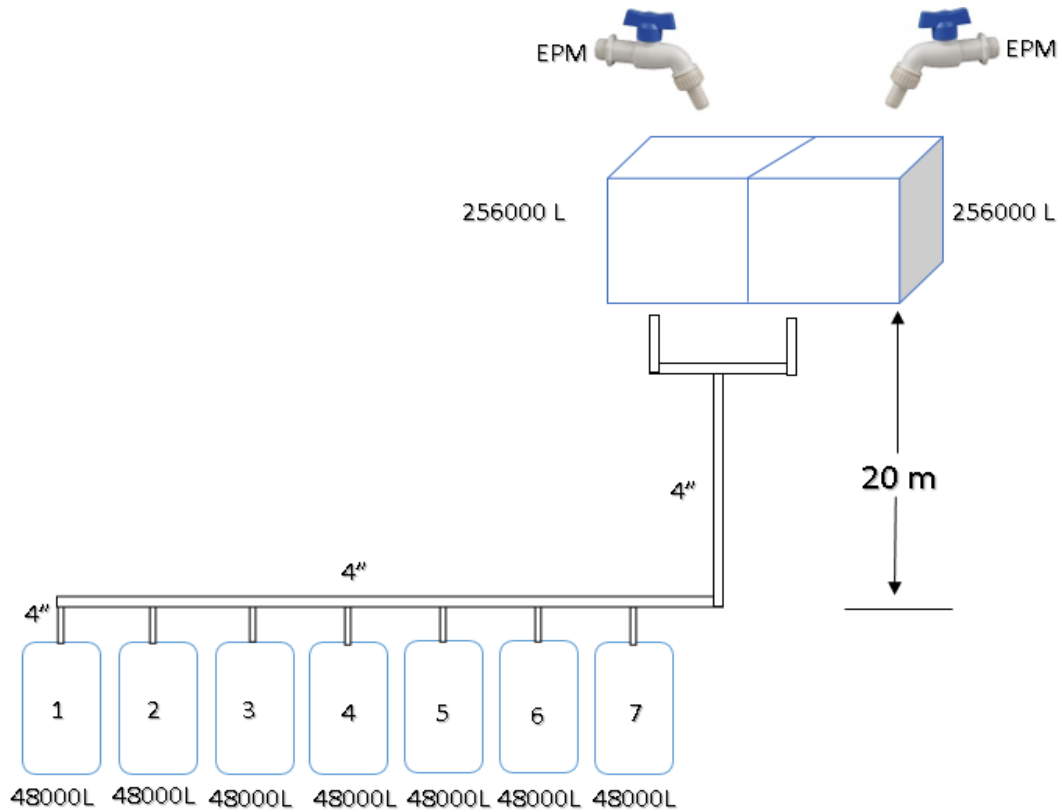


Fig. 11. Circuito de agua potable de palenque. Fuente: Autor.

3.3.1 Caudal

Resulta indispensable determinar el consumo en m^3 por día en el Hospital. Para el presente estudio se ha tomado la medición del caudal entre los años 2016 y 2017.

Este caudal se presenta entre el punto de distribución y los tanques de contingencia de la Fig. 9. La Tabla 3 ofrece los consumos totales del Hospital mediante el circuito de Palenque.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 3. Consumo de agua en el circuito de Palenque. Fuente: Autor.

Año	Mes	Días consumo	Consumo (m^3)	Caudal/día (m^3)
2016	Octubre	30	7382	246,07
2016	Noviembre	29	7443	256,66
2016	Diciembre	30	7690	256,33
2017	Enero	32	9086	283,94
2017	Febrero	29	9086	313,31
2017	Marzo	32	13229	413,41

De la Tabla 3 se observa que los días de consumo no coinciden con los días calendario de cada mes y esto se debe a que las lecturas se tomaron en los días de semana más cercano al primero de cada mes.

A continuación, se selecciona el caudal más pequeño (Q_{\min}) presente en el intervalo de tiempo mostrado en la Tabla 3. Este valor ayuda a determinar posteriormente la corriente mínima necesaria con el que debería trabajar el sistema. Como el dato se ha tomado en $\frac{m^3}{\text{día}}$, y para facilitar los cálculos, se procedió a realizar la conversión en $\frac{m^3}{s}$ y $\frac{L}{s}$.

$$Q_{\min} = \frac{246,07m^3}{\text{día}} * \frac{1\text{día}}{24h} * \frac{1h}{60min} * \frac{1min}{60s}$$

$$Q_{\min} = 0.002848 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{\min} = 0.002848 \frac{m^3}{s} * 1000 \frac{L}{m^3}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

$$Q_{\min} = 2,848 \frac{L}{s} \approx 3 \frac{L}{s}$$

De igual modo resulta útil calcular el caudal máximo presente (Q_{\max}). Conociendo entonces que el caudal máximo es de $413,41 \frac{m^3}{día}$, se realizó la conversión como en el cálculo anterior.

$$Q_{\max} = \frac{413,41 m^3}{día} * \frac{1 día}{24 h} * \frac{1 h}{60 min} * \frac{1 min}{60 s}$$

$$Q_{\max} = 0.04784 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{\max} = 0.04784 \frac{m^3}{s} * 1000 \frac{L}{m^3}$$

$$Q_{\max} = 4,784 \frac{L}{s} \approx 5 \frac{L}{s}$$

3.4 Demanda Eléctrica

Cada sección del parqueadero del HPTU dispone de un *breaker* independiente, y un tablero eléctrico que alimenta a las lámparas fluorescentes disponibles en cada área. La existencia de estos tableros facilitó la lectura de las intensidades de corrientes eléctricas consumidas por cada sección del parqueadero, tal como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Consumo de corriente en cada sección del parqueadero del HPTU. Fuente: Autor.

Nivel	Sección	Amperaje (A)	Número de lámparas
1	A	3,83	12
	B	4,11	12
	A	4,13	12

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2	B	3,80	12
3	A	6,80	12
	B	6,44	12
4	A	4,60	12
	B	4,90	12
5	A	5,60	12
	B	5,70	12
Total		49,91	120

Las intensidades de corrientes eléctricas mostradas en la Tabla 4 fueron tomadas con todas las lámparas encendidas en cada sección para obtener la medición más completa posible.

A continuación, y a partir de la ecuación (2), se calcula la potencia total consumida en el parqueadero, teniendo en cuenta que las lámparas se alimentan a una tensión de 110 VAC.

$$P = V * I \quad (2)$$

Donde:

P: Potencia consumida por las lámparas en W

V: Voltaje de alimentación en V

I: Corriente o intensidad de corriente eléctrica en A

$$P = 110V * 49,91A$$

$$P = 5490,1 W = 5,49 kW$$

Obsérvese que se requiere como mínimo en la producción de energía eléctrica, un total de 5,49 kW

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

3.5 Cálculo del Pico-Generador

Como ya se mencionó en el marco teórico, una turbina hidráulica es una máquina que aprovecha la energía cinética del agua para transformarla luego en energía mecánica. Esta transformación se realiza gracias a diferentes variables que adquiere el fluido en la entrada del equipo, como lo son la presión, la altura y el caudal específico. A su vez, esta turbina viene acoplada a un generador, el cual, mediante el movimiento mecánico que se genera en su eje, induce en el motor una corriente eléctrica que se utiliza para realizar un trabajo, para este caso, la iluminación de las lámparas del parqueadero del Hospital. La Fig. 12 ofrece un panorama más claro sobre este proceso.

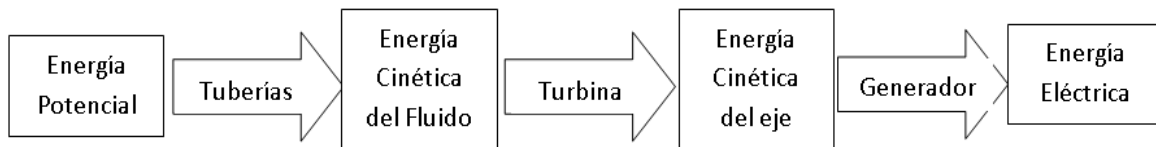


Fig. 12. Pasos en la generación de energía en un pico-generador. Fuente: Autor.

3.5.1 Criterio de Selección del Pico-Generador

Para la correcta selección del pico-generador es importante considerar dos variables fundamentales previamente descritas. La primera consiste en el caudal existente entre el punto de distribución y los tanques de contingencia. La segunda variable hace referencia a la altura o carga neta del agua sobre la turbina. Con estos datos se procede a calcular la potencia hidráulica neta en kW que puede entregar el equipo. Para el cálculo de la potencia se ha remitido a un estudio análogo de Almeida y Loo (2015) en donde la ecuación (3) es una fórmula básica utilizada en el diseño de selección de turbinas hidráulicas, y para el presente estudio resulta útil para determinar la potencia con la que trabajará el pico-generador.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

$$P = \eta * \rho * g * Q * H \quad (3)$$

Donde:

P: Potencia mecánica producida por el eje de la turbina en kW

η : Eficiencia hidráulica (Un valor entre 0.7 y 0.9)

ρ : Densidad del agua $(1000 \frac{kg}{m^3})$

g: Aceleración de la gravedad $(9.81 \frac{m}{s^2})$

Q: Caudal en $\frac{m^3}{s}$

H: Altura en m

Se asume una eficiencia hidráulica de la turbina del 80% y el caudal tomado será el valor más pequeño calculado en la sección 3.3.1.

$$P = 0.8 * 1000 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 0.002848 \frac{m^3}{s} * 20m$$

$$P = 447.02 W \approx 0.5 kW$$

Como se observa, esta potencia se encuentra dentro de la clasificación de pico-central de acuerdo con la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

Ahora, conociendo la potencia de trabajo $P = 0.5 kW$, el caudal mínimo de $Q_{\min} = 0.002848 \frac{m^3}{s}$, y un salto neto de 20 m, se consiguió determinar el tipo de turbina hidráulica más conveniente para el sistema a través de la Fig. 13.

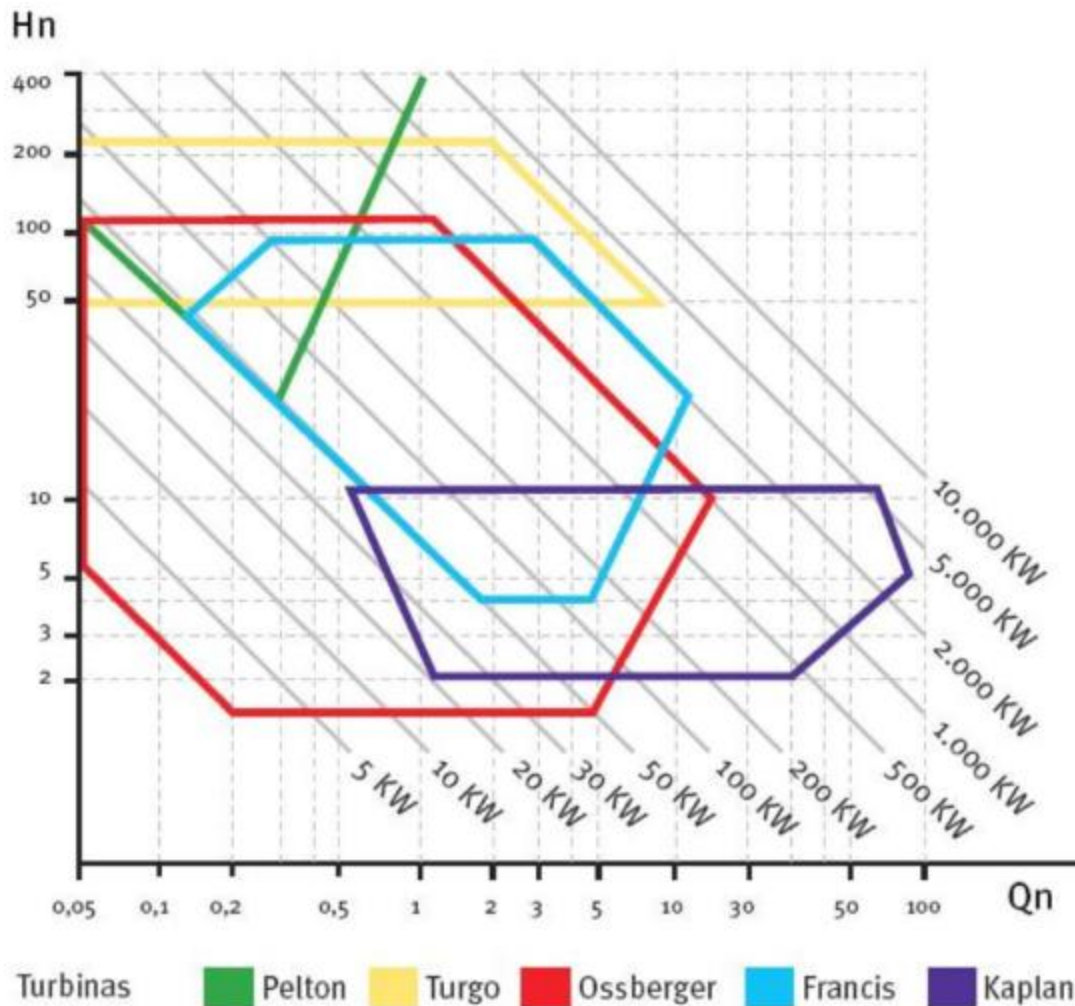


Fig. 13. Tipos de turbinas hidráulicas con relación al caudal, salto y potencia. Fuente:

<http://cef.uca.edu.sv>

En la Fig. 13 se estiman potencias para diferentes valores de caudal y altura.

De esta forma, y de acuerdo con la Fig. 14 (resaltado en negro) se concluye que el equipo más conveniente para el presente estudio corresponde a una turbina de flujo transversal o cruzado (*Ossberger*). Obsérvese que si bien el salto se encuentra por encima de los 10 m, el caudal que maneja está muy por debajo de $1 \frac{m^3}{s}$; lo que es coherente con el valor de la potencia calculada mediante la ecuación (3).

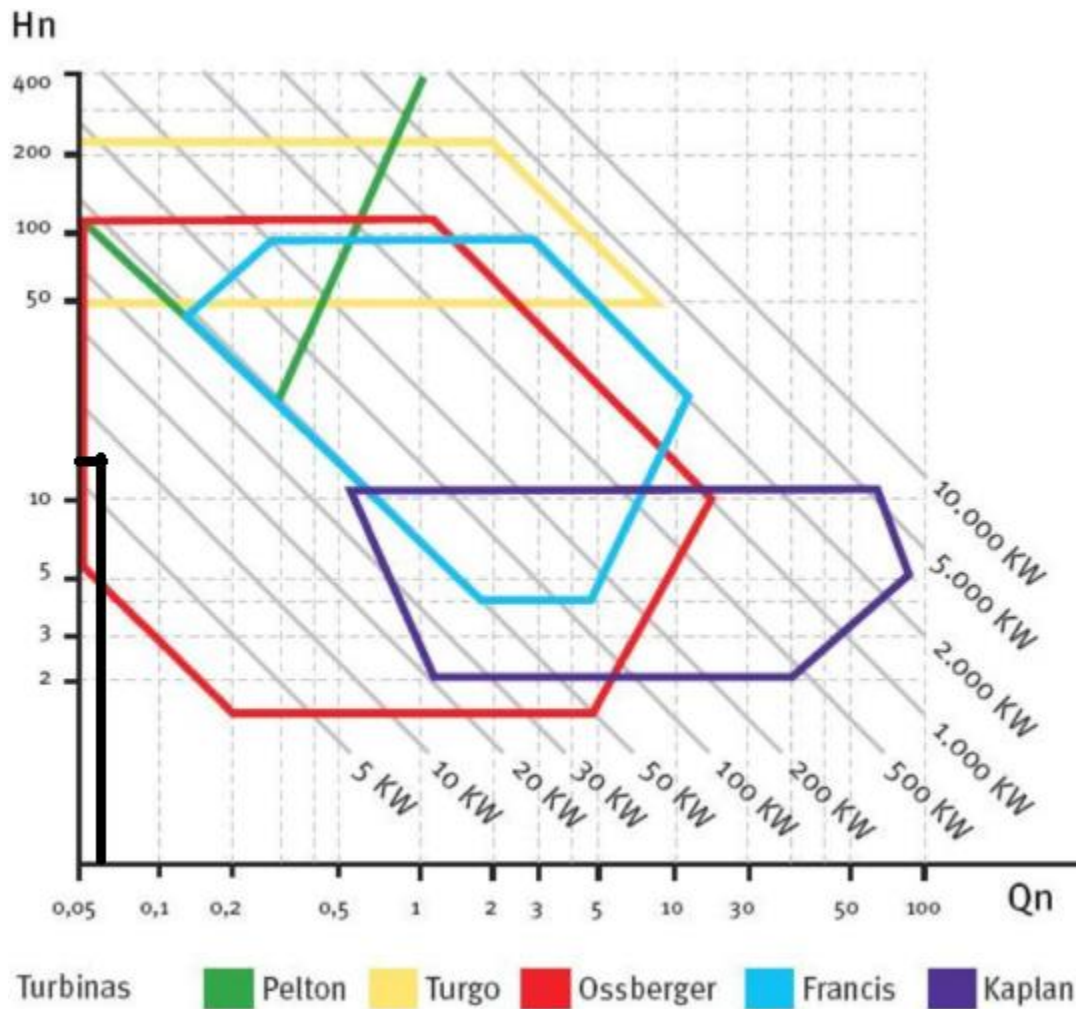


Fig. 14. Criterio de selección de la turbina hidráulica. Fuente: <http://cef.uca.edu.sv>

De acuerdo con el resultado de la ecuación (3), se necesita una turbina con una potencia de 0.5 kW y según la región determinada en la Fig. 14 corresponde a un tipo de turbina de flujo cruzado. Como se explicó en el marco teórico, se considera a la turbina Michell-Banki como el equipo idóneo para el presente estudio dada su gran utilidad en proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas. En la sección 4 se ofrecen las características técnicas de la turbina seleccionada.

3.5.2 Circuito bypass hidráulico

Es importante considerar dentro del circuito que conecta los dos tanques subterráneos de Palenque, la turbina y luego los siete tanques de contingencia, una válvula (V3) (ver Fig. 15) que se accione únicamente en caso de mantenimiento del acueducto principal, del equipo de generación de energía (G) o por fallo de éste. De esta forma se garantiza que el Hospital disponga en todo momento de este servicio indispensable en cada una de las actividades que se requieran.

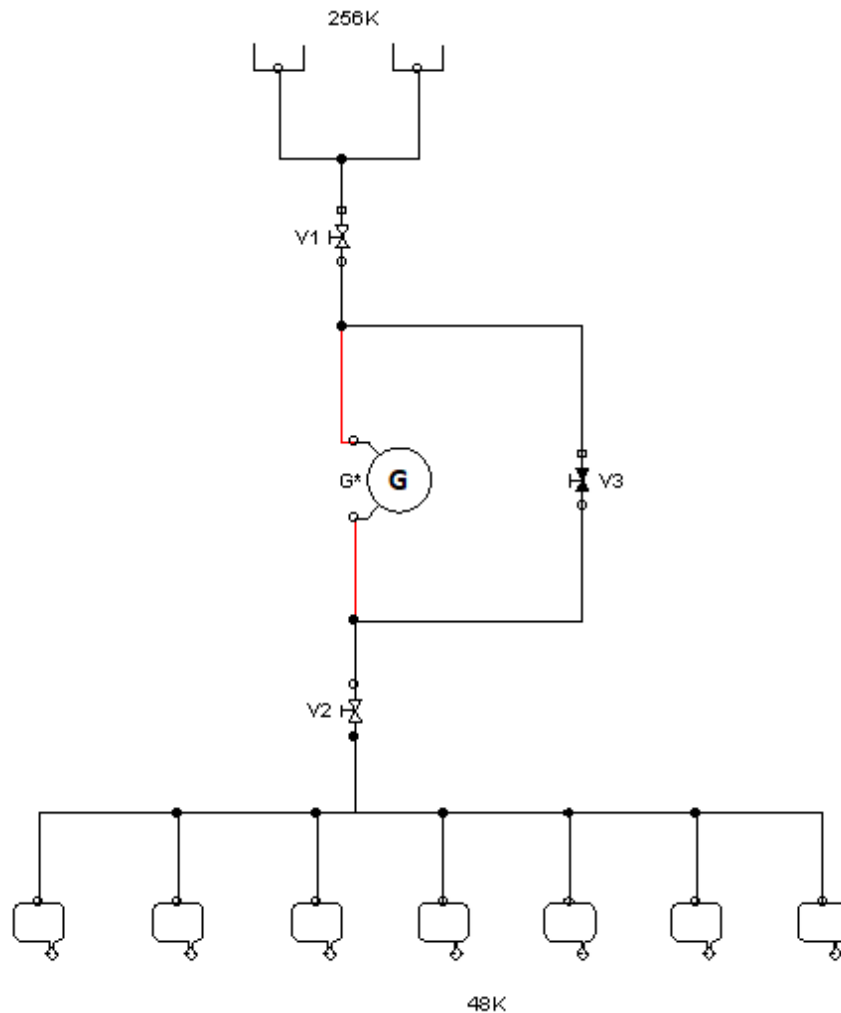


Fig. 15. Circuito bypass para el agua. Fuente: Autor.

3.5.3 Circuito bypass eléctrico

Con el fin de evitar cortes de la energía eléctrica en el circuito de iluminación debido a posibles fallos del pico-generador, se estima la opción de utilizar un selector de línea que conmute la carga entre dos fuentes. Este tipo de selectores operan de forma manual o automática y la transferencia se efectúa cuando detecta que una de las fuentes ha perdido o ganado el poder.

Ante la falla, el selector pone en contacto el circuito de iluminación a la red externa. En la Fig. 16 se presenta el circuito correspondiente para la situación actualmente planteada.

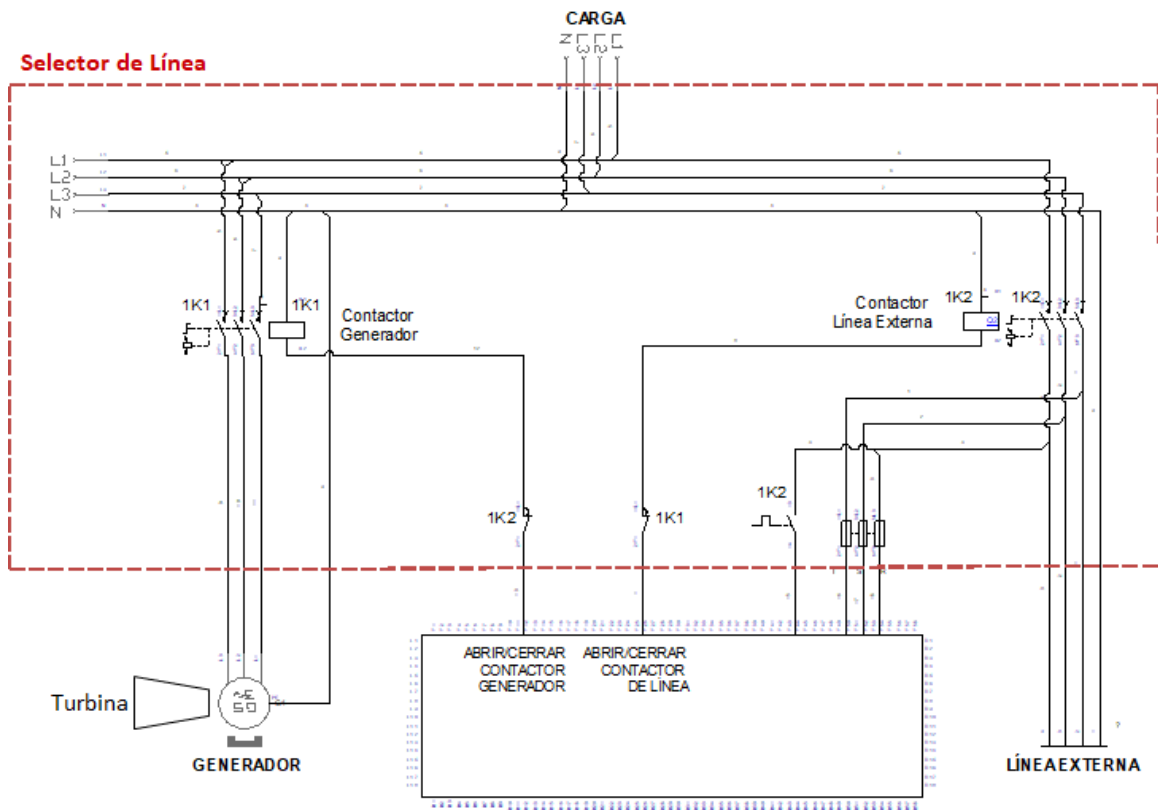


Fig. 16. Circuito bypass eléctrico. Fuente: Autor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

La transferencia entre las distintas fuentes presentada en el circuito de la Fig. 16 se efectúa de la siguiente forma:

1. Inicialmente los contactos $1K1$ y $1K2$ que corresponden respectivamente a las bobinas de los contactores de línea externa y generador, se encuentran normalmente cerrados.
2. Mientras no exista ningún tipo de falla en la turbina o generador, la bobina $1K1$ activa el grupo de tres contactos $1K1$, energizando en todo momento la carga. Por otro lado, el contacto $1K2$, que además posee una protección térmica, se mantendrá abierta, dejando inactivos la bobina $1K2$ y su correspondiente grupo de contactos de la línea externa.
3. El selector de línea se encuentra monitoreando a cada instante la tensión existente en el equipo generador, y en caso de que éste falle, detecta la caída de corriente, abriendo automáticamente el contacto $1K2$, desactivando la bobina correspondiente del generador. Por otra parte, se cierra el contacto correspondiente a la línea externa $1K2$, activando la bobina de línea y a su vez, el grupo de contactos de tres fases. De esta forma, el sistema de iluminación quedaría alimentado por el circuito convencional de EPM.

La Fig. 17 ofrece la imagen del selector de línea bypass (marca New Line) que se utilizaría en la aplicación. Este tipo de selectores resultan adecuados en casos en que es preciso dejar fuera de servicio cualquier equipo eléctrico por causas de mantenimiento, y no solamente en casos de fallo o por caída de corriente de alguna de las líneas. Facilita, por tanto, una desconexión segura y evita cualquier tipo de interrupción del servicio eléctrico.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



Fig. 17. Selector de línea bypass. Fuente: <https://www.corpnewline.com>

Características del selector de línea:

- Operación manual con selector de línea eléctrica.
- Operación automática con vigilante de voltaje integrado.
- Para sistemas monofásicos, bifásicos y trifásicos.
- Capacidad de 2 a 1000 Amperes.

3.6 Control de la frecuencia eléctrica y voltaje generado en la turbina

Dentro de la generación de energía eléctrica, resulta fundamental realizar un control de la frecuencia y el voltaje generado por el pico-generador con el fin de obtener una buena calidad de la energía producida. En este sentido, en el caso de las PCH, que son generadores aislados, se utilizan básicamente dos métodos de regulación eléctrica: regulación del flujo que entra a la turbina y por el control de carga que demandan los consumidores. Restrepo y Galvis (2013).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Un cambio excesivo de los valores nominales de la frecuencia y el voltaje para los que están diseñados cada uno de los equipos que trabajan con corriente alterna, pueden producir alteraciones en el correcto funcionamiento de estos, como también daños permanentes y reducción de la vida útil de los mismos (Ortiz y Erazo, 2011).

Para garantizar que la frecuencia y el voltaje se mantengan constantes, o al menos, que se mantengan dentro de límites de variación mínimos, es importante que el flujo de agua hacia la turbina sea igualmente constante, ya que cualquier variación de velocidad se traduce en variaciones de frecuencia y voltaje a la salida del generador. Para el presente estudio se utilizará el método del control de la carga del generador con el fin de conseguir la generación de voltaje con frecuencia constante

3.6.1 Método del control de la carga

El método del control de la carga del generador consiste en un regulador electrónico, y su objetivo es mantener constante la potencia eléctrica de salida e igual a la potencia hidráulica de entrada, mientras cualquier variación de la carga es absorbida por un juego de resistencias compensatorias, tal como se indica en la ecuación (4).

$$P_{Hent} = P_{esal} + P_{per} \quad (4)$$

A la ecuación (4) se le conoce como Operación estable del sistema, y en forma general, “se debe cumplir que la potencia hidráulica de entrada a la turbina debe ser igual a la potencia eléctrica suministrada por el generador, más las pérdidas del proceso de conversión de energía” (Vásquez, Pinedo, Palacios y Ramírez, s.f, p.1).

El esquema del funcionamiento del regulador electrónico se ofrece en la Fig. 18.

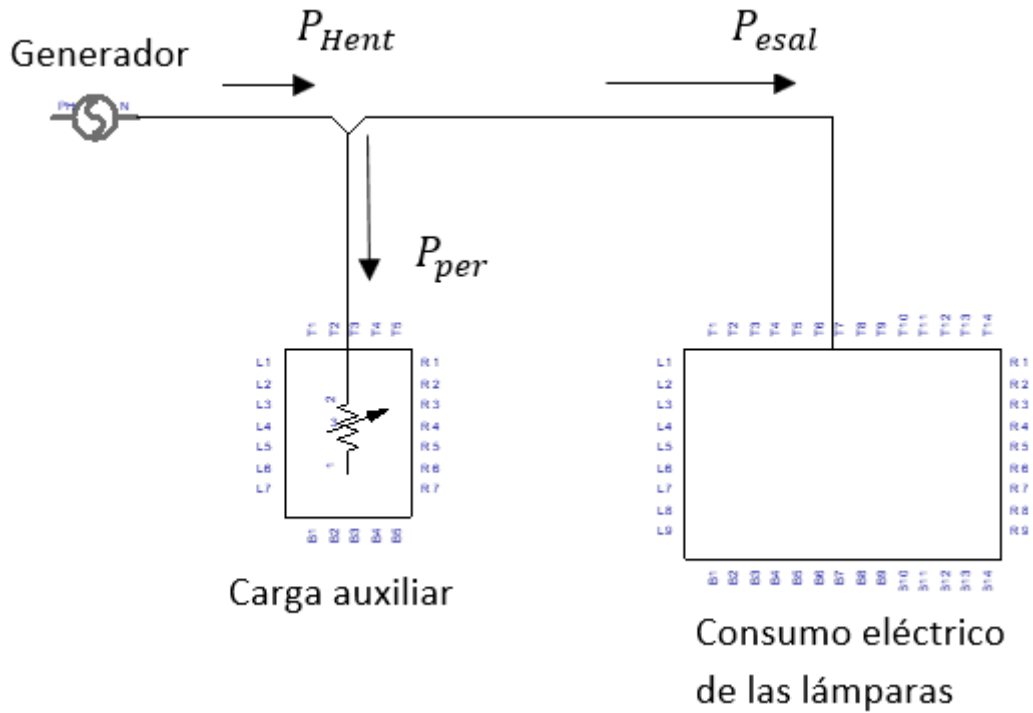


Fig. 18. Esquema del Regulador Electrónico. Fuente: Autor.

La energía no consumida se disipa en forma de calor a través de varias cargas auxiliares que consisten en un banco de resistencias. Esta energía disipada es proporcional al cambio de la frecuencia generada por el grupo turbina-generador. En definitiva, el regulador se encarga de monitorear constantemente la frecuencia generada comparándola con un patrón que previamente se fija como referencia.

En la Fig. 19 se presenta de forma más general el diagrama de bloques de un controlador electrónico de carga. Se puede observar que la carga auxiliar o carga balasto se conecta en paralelo con la carga consumida por el usuario, logrando de esta manera mantener constante la potencia generada (P_G) variando la potencia disipada por la carga auxiliar (P_B) en función de la potencia utilizada por el usuario (P_C). La etapa de medición toma el valor de frecuencia de la tensión generada y luego es comparada con una referencia patrón. De

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

esta forma se establecen las distintas relaciones de Frecuencia generada (F_g) vs Referencia patrón (R_p) y las acciones que debe tomar el regulador en cada caso.

- $F_g > R_p$ Cuando la frecuencia generada es mayor que la referencia patrón: en este caso el regulador desvía más energía hacia las cargas auxiliares.
- $F_g < R_p$ Cuando la frecuencia generada es menor que la referencia patrón: en este caso el regulador debe desviar menos energía hacia las cargas auxiliares

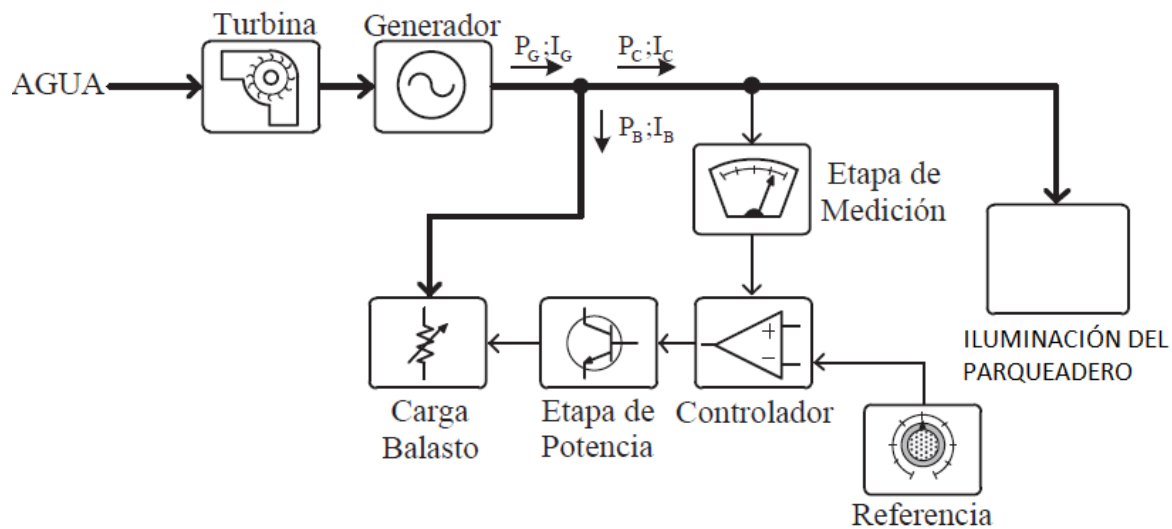


Fig. 19. Diagrama de bloques de un regulador electrónico de carga. Fuente: Castillo, 2015.

A continuación, se enumeran cada uno de los elementos que conforman un regulador electrónico y su función dentro del proceso de regulación:

1. **Captadores inductivos:** miden constantemente la velocidad de la turbina y la transmiten en paquetes de bits al procesador del regulador.
2. **Circuitos auxiliares:** el control de la velocidad se realiza a partir de circuitos integrados mediante la función PID. Este control se ejecuta en base a una función proporcional, un integrador y una función de derivación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

3. Un transductor: que traduce la señal electrónica del procesador a una señal hidráulica.

A continuación, se describe el equipo regulador seleccionado para el presente estudio (ver Fig. 20). Este regulador de carga electrónica cumple con los requerimientos de potencia calculada para el pico-generador. La Tabla 5 ofrece las características técnicas del regulador.

Tabla 5. Datos técnicos del regulador de carga electrónica. Fuente: <https://es.made-in-china.com>

Marca	XINDA
No. de Modelo	XD-HYDRO
Capacidad	Monofásico: 0.3~6kW Trifásico: 5~18kW
Frecuencia	50 Hz y 60 Hz Rango de variación de frecuencia: < 0.2%
Rango de Tensión	Rango de fluctuación: bajo (-40%~ +20%) Rango de regulación: (-10% + 5%)



Fig. 20. Regulador de carga electrónica XINDA. Fuente: <https://es.made-in-china.com>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado del presente trabajo se anexan las consideraciones finales respecto a las características de los equipos que cumplen con las condiciones arrojadas en los cálculos del capítulo anterior. Dadas las circunstancias topográficas que presenta el Hospital, resulta complejo conseguir la potencia necesaria para la totalidad de las lámparas del parqueadero, si bien el salto neto es suficiente, no lo es tanto el caudal, y como se apreció en el apartado anterior, estas dos variables son básicas dentro de la ecuación de la potencia de la turbina. Por tanto, el sistema podría cubrir parcialmente a una zona o sección específica del parqueadero, estimando además una modernización necesaria de las actuales lámparas fluorescentes por lámparas tipo LED. Finalmente, el capítulo presenta un análisis financiero de los costos en energía eléctrica actuales del Hospital y el ahorro generado en kW/h .

4.1 Características técnicas de la turbina

Recapitulando del capítulo anterior se tienen los siguientes datos:

$$Q_{\min} = 3 \frac{L}{s}$$

$$Q_{\max} = 5 \frac{L}{s}$$

$$\text{Salto neto} = 20 \text{ m}$$

$$\text{Potencia del generador} = 0.5 \text{ kW}$$

Es necesario que el equipo seleccionado cumpla con los requerimientos anteriores y tal como se ha concluido, el sistema que mejor cumple con estas características corresponde a una turbina tipo Banki (ver Fig. 21). A continuación, la Tabla 6 recoge la ficha técnica con los datos más importantes del modelo de turbina seleccionada.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 6. Datos técnicos de la turbina Banki. Fuente: <http://www.turbinas3hc.com>

Modelo	R125
Tipo	Michell Banki
Potencia	0.5 a 5 kW
Altura	10 a 35 m
Caudal	5 a 20 l/seg



Fig. 21. Turbina Banki. Fuente: <http://www.turbinas3hc.com>

4.2 Iluminación del Parqueadero

En el estudio se ha juzgado conveniente reemplazar la actual tecnología de las lámparas de tubos fluorescentes por la de tipo LED, con el objetivo de aprovechar al máximo la energía generada, y dado que este tipo de iluminación opera con menos potencia sin arriesgar la calidad lumínica del sitio, resulta una clara ventaja sobre otros tipos de iluminación.

Para la nueva operación de las lámparas LED, resulta conveniente calcular el consumo en potencia de cada sección del parqueadero mediante la ecuación (5), con el propósito de identificar cuáles se pueden cubrir de acuerdo con la demanda de corriente, puesto que el generador, tal como se calculó en la sección 3.5.1 del capítulo anterior, produce menos del

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

consumo mínimo necesario para todo el parqueadero. La Tabla 7 ofrece las potencias con las que operan diferentes tipos de lámparas.

$$P_S = N * P_{LED} \quad (5)$$

Donde:

P_S : Potencia consumida por una sola sección del parqueadero

N : Número de lámparas de la sección

P_{LED} : Potencia de operación de cada lámpara LED

Tabla 7. Consumo comparativo en Watts para distintos tipos de lámpara. Fuente:

<http://s2e.es/que-es-led/>

Luminancia (L_v)	Incandescente y halógena (W)	Fluorescentes focos ahorradores (W)	LED (W)
400-500	40	8-12	4-6
700-900	60	13-15	6,5-8
1100-1750	75-100	18-22	9-11
1800	100	23-30	11-15
2750	150	30-55	15-25

La Tabla 7 ofrece una comparación del consumo de cada bombilla en Watts. Se concluye que la luminaria LED consume mucha menor potencia para conseguir la misma luminancia equivalente de otros tipos de iluminación. Así se tiene, por ejemplo, que para una bombilla LED de 9 W, se consigue una luminancia de 1100 L_v comparada con los mismos lúmenes que produce una bombilla halógena de 75 W, o una ahorradora de 18 W.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

De acuerdo con el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (Ministerio de Minas y Energía, 2010), debe cumplirse con los niveles (mínimo, medio y máximo) de iluminación adecuados que faciliten el desarrollo de diferentes actividades, ya sean académicas, públicas o industriales. Sin embargo, no existe unos niveles exigibles para un parqueadero de sótano o de edificio, por lo que se deja a consideración del diseñador seleccionar con criterio profesional, el tipo de lámpara que mejor se adecue al lugar. La inexistencia de un valor exigible de iluminancia para un parqueadero se debe a que se trata de un lugar en donde no se realiza ningún tipo de actividad que requiera un marco de visibilidad óptimo.

De la Tabla 7 se va a seleccionar una potencia de 12W para el nuevo sistema de iluminación de lámparas LED. Antes de ofrecer las características del fabricante seleccionado, es importante realizar el cálculo de cada sección con el fin de conseguir la potencia requerida, considerando que en cada sección existen luminarias para 24 lámparas, se concluye a través de la ecuación (4) que la potencia en cada piso sería de:

$$24 \text{ lámparas} * 12W = 288W$$

Sabiendo que la potencia entregada por el generador eléctrico es de 0.5 kW y que cada sección del parqueadero requiere 0.288 kW, se estima entonces que con el pico-generador solo se abarcarían dos secciones del parqueadero.

La Tabla 8 ofrece las especificaciones técnicas del tipo de lámpara seleccionada (ver Fig. 22) y de acuerdo con la potencia requerida.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 8. Ficha técnica Lámpara LED. Fuente: <http://lowbill.green>

Marca	LOWBILL green
Tipo	Tubo LED T8 / 60 cm
Eficiencia	$\geq 85\%$
Consumo (Watts)	12 W
Lúmenes totales	1350
Eficiencia lumínica (Lm/W)	135
Factor de Potencia	$\geq .90$
Duración en Horas	50.000 hrs
Garantía de fábrica	5 años
LED	CHIP SMD SAMSUNG
Índice de refracción cromática (CRI)	85
Temperatura de trabajo	-20°C +45°C
Uso ideal para	Oficinas, comercio, salas de juntas, aulas de clase, centros comerciales, gimnasios, Hospitales, emergencias, entre otros.
Voltajes de operación	110V ~ 220V
Dimensiones	A(mm) 600 B(mm) \varnothing 26



Fig. 22. Lámpara LED LOWBILL Green. Fuente: <http://lowbill.green>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.3 Análisis Financiero

Colombia cuenta con entidades reguladoras en el sistema eléctrico, encargadas de la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica. Estas entidades estiman el precio en $\frac{kW}{h}$ de acuerdo con el tipo de generación y transmisión de la energía. En la Tabla 9 se anexan los costos en kW/h que le correspondieron al Hospital entre los años de 2016 y 2017.

Tabla 9. Consumo en kWh y costo en \$kWh entre los años 2016 y 2017. Fuente: Autor.

Año	Mes	kW/h	\$	\$kW/h
2016	JULIO	749696	192440252	256,6910481
	AGOSTO	748258	198189330	264,8676392
	SEPTIEMBRE	740610	198934746	268,6093166
	OCTUBRE	753820	197939149	262,5814505
	NOVIEMBRE	712500	180414771	253,2137137
	DICIEMBRE	736498	189848304	257,7716491
2017	ENERO	746486	197441194	264,4941687
	FEBRERO	688890	182998929	265,6431782
	MARZO	764921	199951961	261,4021069
	ABRIL	746013	196790523	263,7896699

Extrayendo el promedio del \$kW/h de la tabla 7 se tiene que el Hospital está pagando por cada kW \$262 en una hora, es decir, \$0,262 por cada W en una hora.

4.3.1 Costo de ejecución del proyecto

La implementación del pico-generador requiere de la instalación de tuberías, cables eléctricos, contactores, entre otros. En la Tabla 10 se especifican el tipo de elementos necesarios para la ejecución del proyecto y el costo unitario.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 10. Costo de los equipos técnicos del pico-generador. Fuente: Autor.

Elemento	especificaciones	Precio unitario	cantidad	Precio total
Turbina Michell Banki	Modelo R125	\$5'342.590	1	\$5'342.590
Tubería 4 pulgadas	PVC	\$1.400	20 ms	\$28.000
Reducción a 2 pulgadas	PVC	\$8.000	1	\$8.000
Cable	Calibre 12	\$8.000	100 m	\$80.000
Tubería cable	EMT	\$2.600	70 m	\$182.000
Transferencia	ATL20-A240	\$2'391.000	1	\$2'391.000
Contactador	BF09.10A 02460	\$100.000	2	\$200.000
Regulador de carga electrónica XINDA	Modelo XD-HYDRO	\$1'442.500	1	\$1'442.500
Tubo LED	T8/60 cm	\$37.290	24	\$894.960
Mano de obra		\$5'300.000		\$5'300.000
Total				\$15'869.050

Conociendo que el costo por W/h es de \$0.262 y el pico-generador está suministrando 500W, se concluye entonces que el equipo estaría ahorrando $500 * \$0.262 =$ **\$131 por hora.**

4.3.2 Costo anual de operación del sistema de iluminación actual vs sistema LED mediante la App ELS Calculator

Para calcular el ahorro anual con el nuevo sistema de iluminación LED, se utiliza la aplicación gratuita para Android, ELS Calculator (Calculadora de sistemas de iluminación eficientes). En la Fig. 23 se muestra la pantalla principal de ELS Calculator.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



Fig. 23. Interfaz principal de ELS Calculator App. Fuente: ELS Calculator.

El uso de la aplicación es bastante sencilla e intuitiva. Una vez seleccionado START en la pantalla principal, se ofrecen varias opciones. En este caso, interesa realizar el cálculo del costo anual comparativo entre una serie de lámparas fluorescentes (actual sistema de iluminación del parqueadero) y las lámparas LED. De la segunda pantalla de la Fig. 24, se selecciona la opción CALCULATOR.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

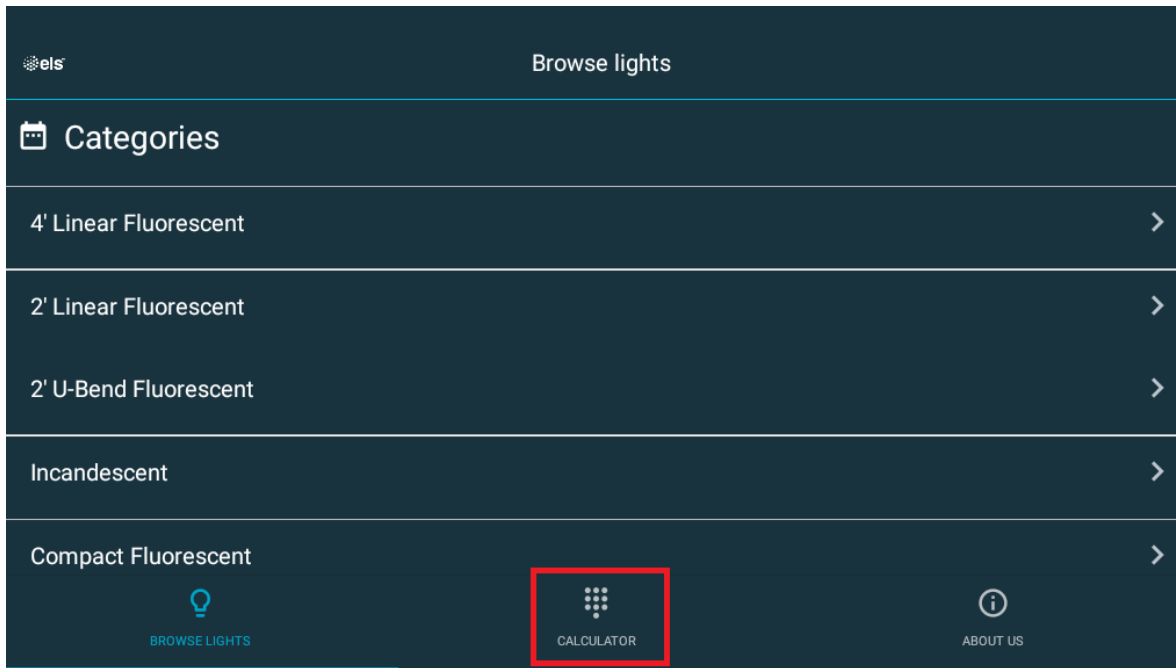


Fig. 24. Menú principal de ELS Calculator. Fuente: ELS Calculator.

Dentro de la opción CALCULATOR, se especifica el valor para las siguientes opciones (Ver Figs. 25, 26, y 27).

1. Potencia de trabajo de la lámpara anterior en W : En este caso se selecciona la potencia de trabajo de las lámparas que se encuentran actualmente en operación, es decir, 45 W .
2. Potencia de trabajo del nuevo sistema de iluminación eficiente: Se selecciona la potencia de trabajo de la lámpara LED seleccionada, es decir, 12 W .
3. Cantidad de elementos: Para seleccionar el número de lámparas que se desean calcular. Como se mostró a partir de la ecuación (5), se requiere un total de 24 lámparas LED. Por tanto, el cálculo se hará con el mismo número de lámparas fluorescentes para hacer la comparación.
4. Horas de operación al día: Se selecciona 24 horas de funcionamiento al día.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

5. Costo de la electricidad en kW/h : La aplicación funciona únicamente en moneda estadounidense. Sin embargo, es posible hacer una aproximación del valor del kW/h en peso colombiano. En este caso, se escoge 7 ¢.
6. Calcular mis ahorros: Finalmente se ejecuta el cálculo que realiza automáticamente la aplicación.

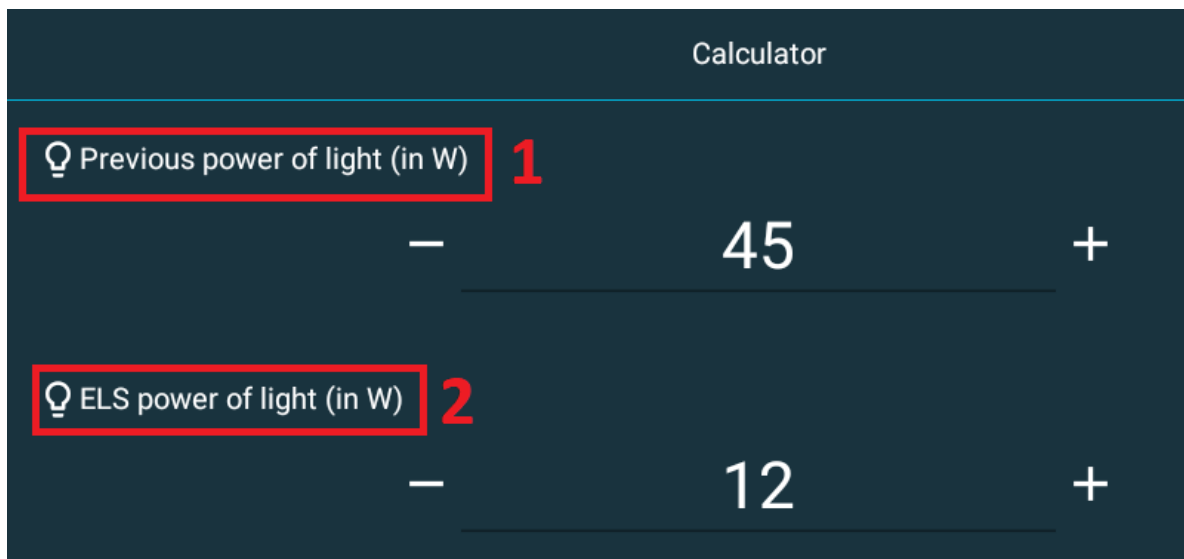


Fig. 25. Potencia de lámpara actual y LED. Fuente: ELS Calculator.

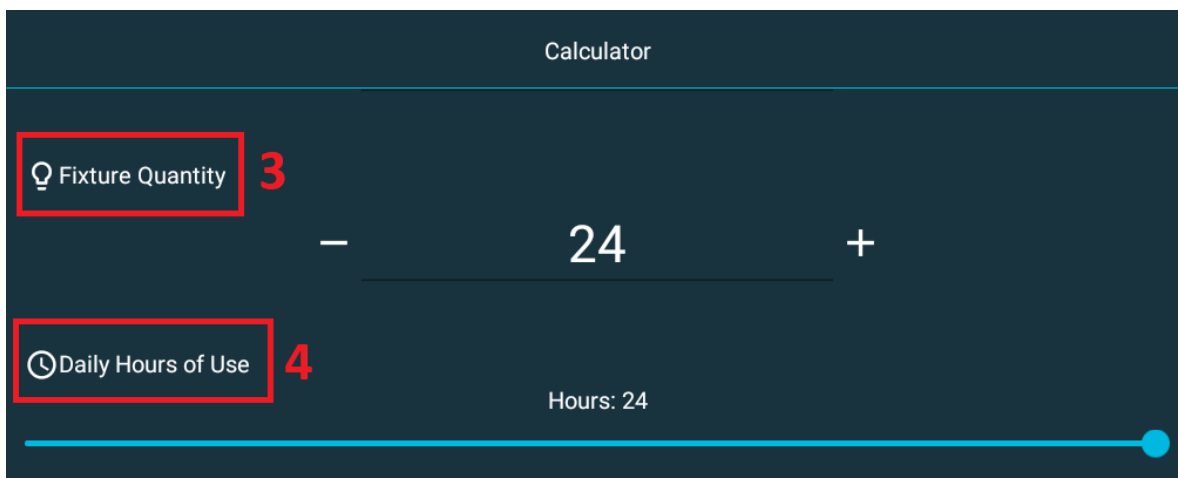


Fig. 26. Número de lámparas y horas de trabajo al día. Fuente: ELS Calculator.

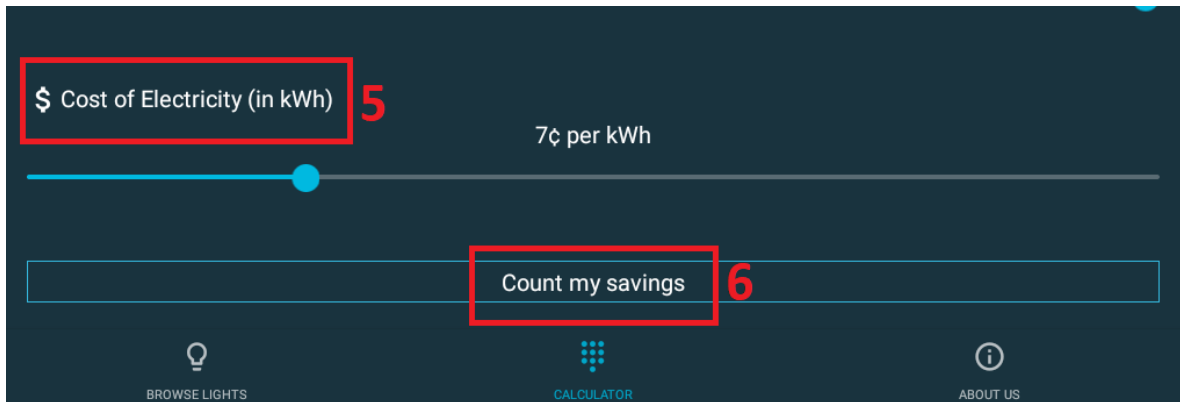


Fig. 27. Costo de la electricidad en kW/h y Calcular costos. Fuente: ELS Calculator.

La aplicación ofrece el costo anual de cada tipo de iluminación y el ahorro que generaría el uso de un sistema de iluminación eficiente como el LED (ver Fig. 28).

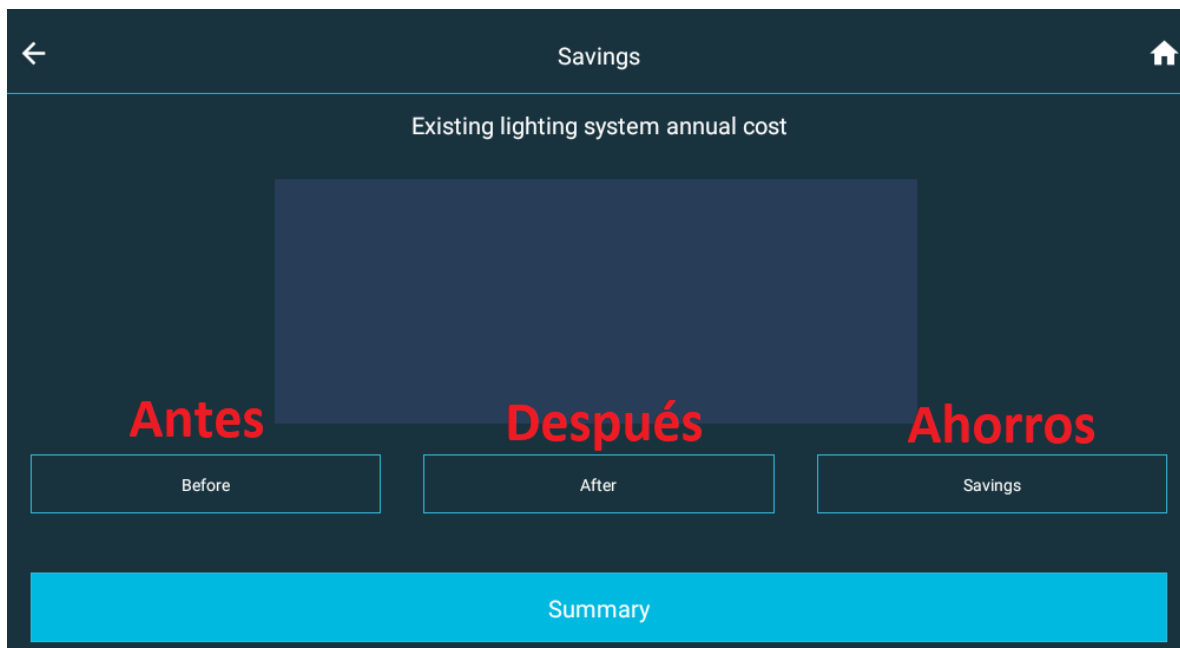


Fig. 28. Pantalla final con las distintas opciones a seleccionar. Fuente: ELS Calculator.

En la Fig. 29 se puede apreciar que el costo anual para el uso de 24 lámparas ahorradoras o fluorescentes sería de $US\$662$, que equivaldría a $\$1'909.539$ pesos colombianos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

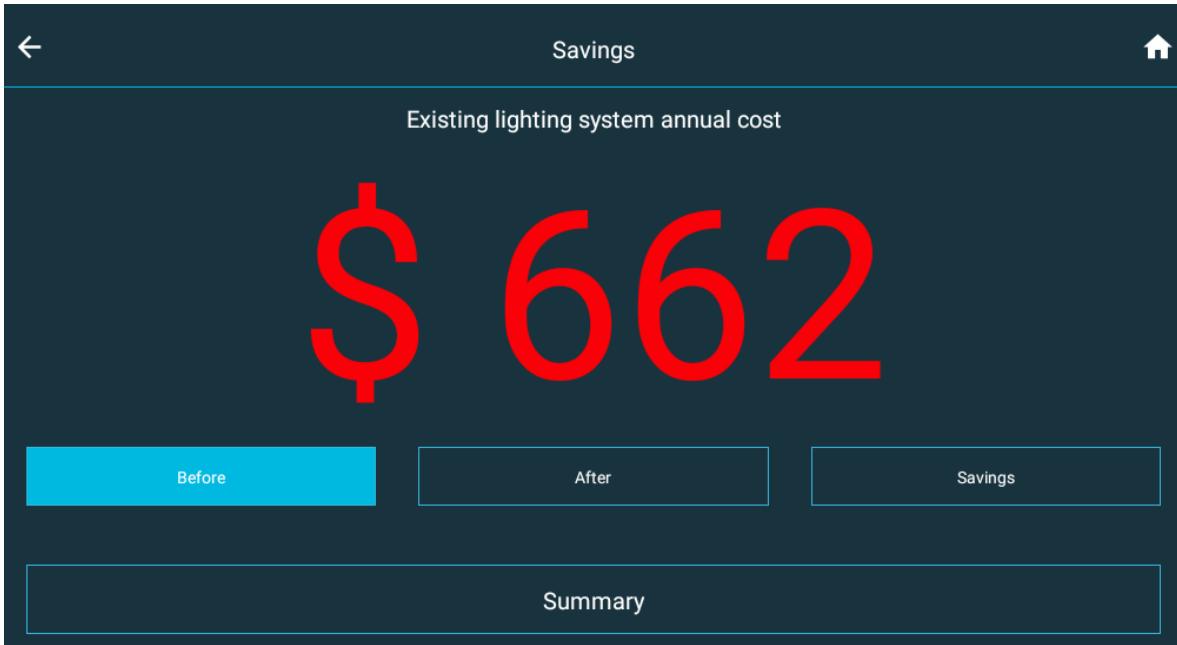


Fig. 29. Costo anual de 24 lámparas fluorescentes. Fuente: ELS Calculator.

Por otro lado, el costo anual de 24 lámparas LED sería de *US\$177*, es decir, \$510.556,5 pesos colombianos. Lo que representa un ahorro de *US\$486 = \$1'401.867* (ver Figs. 30 y 31). Esto representa aproximadamente un 73% de ahorro energético con el uso de las bombillas LED.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

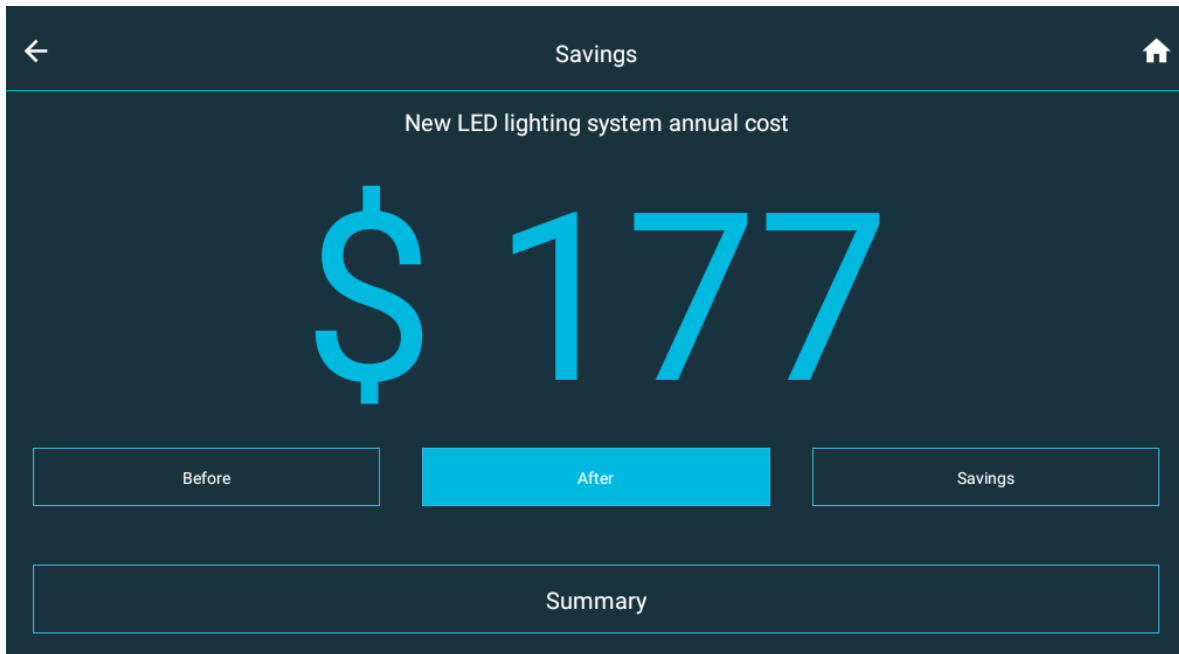


Fig. 30. Costo anual de 24 lámparas LED. Fuente: ELS Calculator.

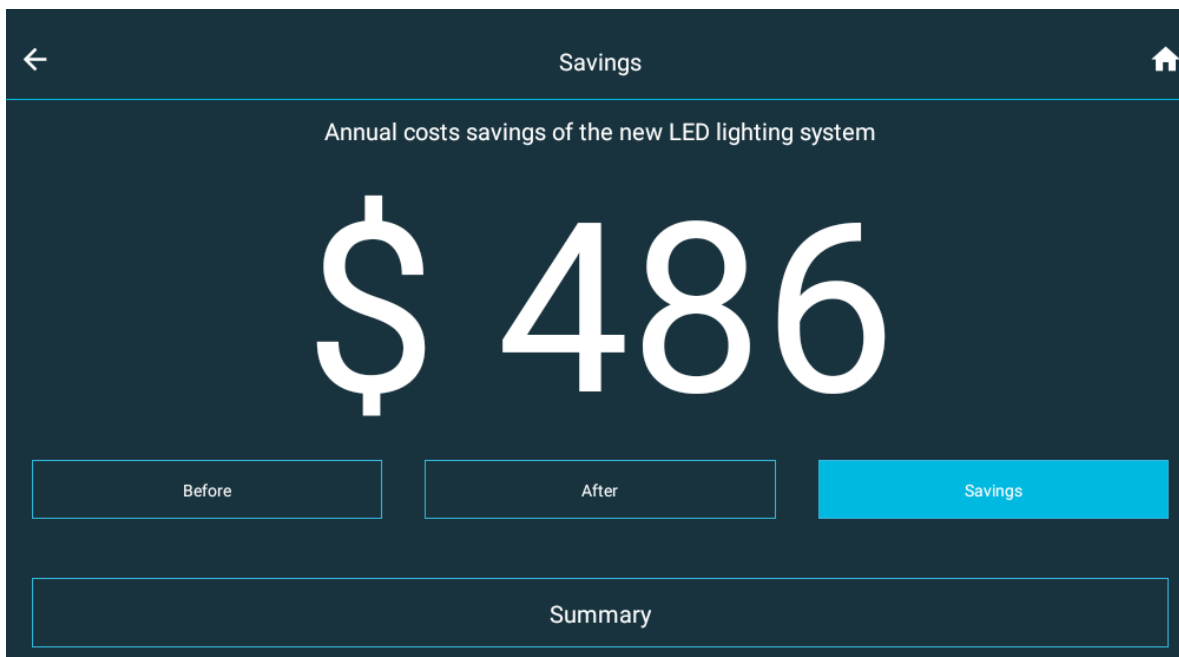


Fig. 31. Ahorro anual con el nuevo sistema de iluminación LED. Fuente: ELS Calculator.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

La autogeneración de energía eléctrica a través de una fuente renovable como el agua, representa solo una de entre muchas alternativas que se pueden implementar en los hogares y empresas. Es evidente la transformación tecnológica que está apuntando a utilizar fuentes de energía limpias y a reducir el impacto medio ambiental. Si bien en Colombia la mayor parte de la energía que se produce es por medio de grandes hidroeléctricas, es importante considerar además la opción de autogeneración, ya sea a través de pequeñas centrales hidroeléctricas, paneles solares, biomasa, geotérmica, entre otras.

El estudio además de tener un enfoque de autogeneración de energía eléctrica busca también reducir la dependencia de las entidades prestadoras del servicio eléctrico. Si bien la idea general era cubrir toda un área específica del Hospital y dada las condiciones topográficas y técnicas del lugar, resulta por el momento un objetivo difícil de cumplir. Sin embargo, las dos secciones del parqueadero que se logran abarcar pueden y deben abrir una puerta hacia la búsqueda de complementar el resto de la zona con nuevas formas de generación de energía eléctrica.

Resulta indispensable para la ejecución de este proyecto tomar mediciones de campo y de las condiciones actuales del sitio, como el consumo nominal de las lámparas en cada sección, el caudal mínimo y máximo presente en el salto neto o altura de operación y considerar el requerimiento energético. Además de los sistemas de control del generador para mantener constantes la frecuencia y el voltaje.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

La altura existente entre el tanque de distribución de Palenque y los siete tanques de contingencia resulta lo suficientemente adecuada para operar con una turbina de mayores prestaciones, sin embargo, el caudal presente impide trabajar con un equipo de mayor potencia, lo que hubiera permitido cubrir una mayor área del parqueadero.

La selección de la turbina se basa principalmente en la potencia requerida por el sistema de iluminación del parqueadero. Es el primer cálculo con el que se parte en el estudio. Sin embargo, la potencia del equipo lo determina la altura de operación y la carga neta del fluido sobre la turbina. Esta potencia, al ser menor que la requerida por todo el grupo de lámparas, solo permite cubrir hasta dos secciones del parqueadero.

La ejecución del proyecto de un pico-generador para el parqueadero del HPTU resulta viable y económico. Con su puesta en operación, el Hospital comenzaría a ahorrar hasta \$131 por hora, es decir, aproximadamente \$95.000 al mes.

Como trabajo futuro se busca potenciar el sistema de autogeneración por medio de la implementación de otros equipos o fuentes de energía renovable, como la energía solar, con la intención de abarcar el mayor número de pisos del parqueadero.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

REFERENCIAS

- Acevedo, L., López, J., & Sánchez, S. (2015). *Diseño de una Turbina Banki para la recolección de aguas y Generación de Energía en una propiedad Agrícola*. Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira .
- Aris, J. C. (2014). *Diseño, construcción y pruebas de turbina Pelton para microgeneración hidráulica*. Repositorio Académico de la Universidad de Chile .
- Carral, M. (2014). *La Tecnología LED*. I.E.S. Castro Alobre .
- Edenhofer, O., Madrugá, P., & Sokona, Y. (2011). *Fuentes de Energía Renovables y Mitigación del Cambio Climático* . Postdam: ipcc.
- Gómez, J., Palacio, E., & Paredes, C. (2008). *La Turbina Michell-Banki y su presencia en Colombia* . Medellín: SEDIC.
- Gutiérrez, M. (2014). *Iluminación LED. Ahorro, Eficiencia e Innovación* . San Cristóbal de La Laguna: Universidad de La Laguna .
- Landa, J., & Llanganate, E. (2009). *Diseño y Construcción de una Pico Central Hidroeléctrica utilizando una Turbina Michel Banki para generación eléctrica en el sector de las Carmelitas del Cantón Tena*. Latacunga : Escuela Politécnica del Ejército .
- Marchegiani, A., Audisio, O., & Varela, M. (2011). Regulación de Caudal mediante Válvula Mariposa en una Turbina Hidráulica de Flujo Transversal. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica* , 13.
- Martínez, G. (2015). *Diseño y Construcción de un Control Electrónico de Carga para regular la Frecuencia en una Micro Central Hidroeléctrica* . Quito: Escuela Politécnica Nacional.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Ministerio de Minas y Energía . (2013). *Energía Eléctrica* . Bogotá: Memoras del Congreso de la República.

Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público*. Bogotá.

Ortiz, E., & Erazo, H. (2011). *Algoritmo para los procedimientos de Regulación de Voltaje y Frecuencia para una Micro Central Hidroeléctrica aislada con Máquinas Reversibles*. Santiago de Cali: Universidad del Valle .

Pomatta, R., Piñero, I., Almazón, M., & Hernández, E. (2015). *Guía sobre Tecnología LED en el alumbrado* . Madrid: Consejería de Economía y Hacienda .

Restrepo, J., & Galvis, J. (2013). *Diseño de un Sistema de Generación a partir de una Picocentral Hidroeléctrica* . Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira .

Soluciones Prácticas . (2015). *Picocentral Hidroeléctrica* . Lima: Soluciones Prácticas .

Soluciones Prácticas . (2009). *Turbina Michell Banki* . Lima: Soluciones Prácticas .

Recuperado de <https://solucionespracticas.org.pe>

Vásquez, H., Pinedo, C., Palacios, J., & Ramírez, J. (s.f). *Regulación de Frecuencia en microcentrales hidroeléctricas mediante compensación electrónica de la carga*. Cali: Universidad del Valle .

Páginas Web

3HC Centrales Hidroeléctricas . (s.f.). *Modelos de Turbinas Hidráulicas Tipo Michell Banki*.

Obtenido de <http://www.turbinas3hc.com>

Dreamstime. (2006). *Dreamstime* . Obtenido de <https://es.dreamstime.com>

emaze. (s.f.). *Turbo Máquinas Hidráulicas* . Obtenido de <https://www.emaze.com>

Lowbill green. (s.f.). *Lámpara LED T8/60*. Obtenido de <http://lowbill.green/>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Reguladores de Voltaje y Transformadores Variables . (s.f.). *By-Pass Selector de Línea* .

Obtenido de <https://www.corpnewline.com>

sc.ehu. (s.f.). *Demostración de la ley de Faraday*. Obtenido de <http://www.sc.ehu.es>

Soluciones Prácticas . (2009). Obtenido de <https://www.solucionespracticas.org>

Solving Systems Engineering . (s.f.). *Qué es LED*. Obtenido de <http://s2e.es/que-es-led/>

Tecnología . (s.f.). *Turbinas Hidráulicas* . Obtenido de <http://www.areatecnologia.com>

Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas" . (s.f.). *Turbinas Hidráulicas* . Obtenido de <http://cef.uca.edu.sv>

Xinda . (s.f.). *Micro turbina hidroeléctrica Regulador de carga electrónica*. Obtenido de <https://es.made-in-china.com>

Código	
Versión	
Fecha	

Jorge HS

FIRMA ESTUDIANTES _____

Jorge

FIRMA ASESOR

se entrega proyecto de grado de **Jorge Saldarriaga**
para ser evaluado por segunda vez

ENTREGA: Julio 12 de 2018, 5:13 PM

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____