UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TÍTULO A OBTENER:

INGENIERO AMBIENTAL

TEMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA LA UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA CAMPUS CENTRAL.

AUTORES:

JOAO ALEXANDER COSTALES GUAMBO

YORI PAOLA MERINO MACAS

DIRECTOR DE PROYECTO:

MSC. WILLAM BLADIMIR CEVALLOS CEVALLOS

PUYO - ECUADOR

2019 – 2020

CERTIFICACIÓN DE CULMININACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del presente, yo Willam Bladimir Cevallos Cevallos, con número de cédula 060250373-2 docente de la Universidad Estatal Amazónica y Tutor del proyecto de investigación "PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA LA UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA CAMPUS CENTRAL", certifico que el mismo fue desarrollado en su totalidad tanto en su fase de campo, como la redacción final del documento por los egresados: Joao Alexander Costales Guambo con cedula 060516869-7 y Yori Paola Merino Macas con cedula 150114441-2, el cual ya ha culminado en todas sus etapas cumpliendo un total de 400 horas.

MSc. Willam Bladimir Cevallos Cevallos

0602503732

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El presente proyecto de investigación y desarrollo, titulado: **"Propuesta de implementación de una Pequeña Central Hidroeléctrica para la Universidad Estatal .Amazónica campus central",** bajo la responsabilidad de Joao Alexander Costales Guambo y Yori Paola Merino Macas, fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

Para constancia firman:

Dr. Amaury Perez

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

MSc. Pedro Peñafiel

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

MSc. Karem Cazares

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscriben, Joao Alexander Costales Guambo portador de la cédula de identidad N° 060516889-7 y Yori Paola Merino Macas portadora de la cédula de identidad N° 150114441-2, hacemos constar que somos los autores del proyecto de investigación con el título **"Propuesta de implementación de una Pequeña Central Hidroeléctrica para la Universidad Estatal Amazónica campus central"** el cual contribuye a mejorar las condiciones de vida de las personas involucradas y con asesoramiento, dirección del trabajo del MSc. Willam Bladimir Cevallos Cevallos en tal sentido, se manifiesta la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de resultados y la elaboración de conclusiones, dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo, a la vez cedo los derechos a la Universidad Estatal Amazónica que pueda realizar publicaciones sobre la misma, así como su almacenamiento tanto en medio físico y electrónico.

Joao Alexander Costales Guambo

060516889-7

Yori Paola Merino Macas

150114441-2

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi madre por apoyarme en cada momento de mi vida, dándome fuerza para seguir adelante, a mi padre que a pesar de todas nuestras diferencias siempre estado a mi lado guiándome para tener un mejor futuro, a los docentes del colegio y de la universidad que guiaron mi camino paso a paso, al M.sc. Simon Leib que se comprometió y nos guio durante todo este proyecto, compartiendo su conocimiento y dándonos siempre ánimos, y a mis amigos que siempre tuvieron confianza en mí y me apoyaron impulsándome hacia delante.

Joao Alexander Costales Guambo

A Dios, por haberme dado la fuerza y valor necesario para culminar esta etapa de mi vida, por los triunfos y momentos difíciles que me han enseñado a valorar cada esfuerzo realizado durante mi carrera.

A mis padres, hermanos, abuelitos y a toda mi familia en general por brindarme siempre su apoyo económico y motivación durante mi formación académica, creyendo en mí en todo momento y nunca dudaron de mi capacidad.

A la Universidad Estatal Amazónica por permitirme ser parte de esta noble institución, a los docentes que laboran con gran esfuerzo para poder transmitirnos de mejor manera sus conocimientos, a mis compañeros y amigos que han sido parte de esta trayectoria estudiantil en la cual quedan marcados tantas anécdotas, buenos y malos momentos que jamás olvidaré.

Al MSc. Simon Alexander Leib, por brindarnos su valioso aporte a nuestro proyecto de investigación y compartirnos sus conocimientos que nos servirá toda la vida.

Yori Paola Merino Macas

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres que han sabido formarme con buenos valores y sentimientos, los cuales me han ayudado a salir adelante en todos los momentos de mi vida, a toda mi familia y amigos en general que me han brindado su apoyo y ha compartido conmigo buenos y malos momentos, siempre cuidándome y guiándome en mi camino.

Joao Alexander Costales Guambo

Con mucho cariño por ser personas muy especiales en mi vida:
A mis padres, José Merino Narváez y Carmen Macas Maldonado.
A mis abuelitos: Roberto Merino y Mariana Narváez; Filemón Macas y Julia Maldonado
A mis hermanos, Meri, Yajaira y Mainer Merino Macas.
Al más pequeñito de la casa, mi querido sobrino Carlitos Cabrera Merino.
A mi persona favorita, Edison Barrionuevo.
Para ustedes este proyecto, por confiar siempre en mi capacidad de poder lograr esta meta propuesta hace 5 años y apoyarme durante todo mi trayecto estudiantil.

Yori Paola Merino Macas

RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto de investigación buscó determinar si la potencia hidráulica del río Puyo puede satisfacer el consumo de energía eléctrica de la Universidad Estatal Amazónica (UEA), a través de la implementación de una pequeña central hidroeléctrica (PCH) de agua fluyente y conocer el dimensionamiento de sus principales partes. Se realizó una revisión de fuentes bibliográficas que fueran relevantes para esta investigación como: las planillas eléctricas de la plataforma virtual de la empresa eléctrica EEASA, medición del caudal del río Puyo, PCH y centrales hidroeléctricas. Estos son los temas detallados en el contenido y direccionados al tema de estudio. Para el trabajo de campo se realizó un estudio del consumo eléctrico de la UEA por bloques, contabilizando el alumbrado y los equipos eléctricos, y se realizó mediciones del caudal del río Puyo desde el mes de octubre hasta diciembre para complementar la información bibliográfica existente. Se dimensionó las principales partes de la PCH de agua fluyente que a propia consideración son: canal de desvió, reservorio, y tubería forzada, utilizando la información ya recabada. Se puede observar en este proyecto cual es el consumo de electricidad actual y estimada a futuro, el caudal del río Puyo en el año 2019 a excepción de los meses julio, agosto y septiembre, el caudal útil requerido para cumplir la demanda eléctrica de la UEA, las medidas requeridas de las principales partes de la PCH de agua fluyente y los tipos de turbinas que se pueden implementar según el caudal útil y altura.

PALABRAS CLAVES

Pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH), caudal río Puyo, consumo eléctrico de la UEA, potencia hidroeléctrica, hidroeléctrica de agua fluyente

ABSTRACT

This research project sought to determine if the hydraulic power of the Puyo River can satisfy the electricity consumption of the Amazonian State University (UEA), through the implementation of a small hydroelectric power plant (SHP) of flowing water and to know the dimensioning of its main construction parts. Bibliographic reviews were made, selecting the relevant sources for this research which were: the electric spreadsheets of the virtual platform of the electricity company EEASA, measurement of the Puyo River´s flow, small hydroelectric power stations, and hydroelectric power stations. These are the detailed subjects in the content and with contribution to the study topic. For the field work, a study was carried out of the electric consumption at UEA by blocks, counting the lighting and electrical equipment, and measurements were made of the flow of the Puyo River from October to December in order to complement the existing bibliographic information. The main parts of the flowing water SHP were dimensioned, which are: diversion channel, reservoir, and pressure pipe, using the already collected information. In this project it can be observed the amount of the current and the estimated future electricity consumption, the flow of the Puyo River in 2019 except for the months July, August and September, the useful required flow to meet the electric demand at UEA, the required measures of the main construction parts of the of flowing water SHP and the types of turbines that can be implemented according to the useful flow and net head.

KEYWORDS

Small hydroelectric power plants (SHP), Puyo River flow, UEA electricity consumption, hydroelectric power, flowing water hydroelectric plant

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I **1**

INTRODUCCIÓN **1**

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN **2**

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2

1.1.2. JUSTIFICACIÓN 3

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA **4**

1.3. OBJETIVOS **4**

1.3.1. OBJETIVO GENERAL 4

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4

CAPÍTULO II **5**

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN **5**

2.1. ANTECEDENTES **5**

2.2. BASES TEÓRICAS **7**

2.2.1. ENERGÍA 7

2.2.2. TIPOS DE CENTRALES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA 7

2.2.2.1. POR LA ENERGÍA PRIMARIA QUE UTILIZAN 7

2.2.2.2. POR LA POTENCIA GENERADA 9

2.2.3. PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS (PCH) 9

2.2.3.1. TIPOS DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS 10

2.2.3.2. DISEÑO DE UN APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO 11

2.2.3.3. INSTALACIONES DE OBRA CIVIL 11

2.2.4. DEMANDA ELÉCTRICA ACTUAL Y SU PROYECCIÓN AL FUTURO 16

2.2.5. RECURSO HÍDRICO 16

2.2.5.1. CAUDAL 16

2.2.5.2. BATIMETRÍA 16

2.2.5.3. APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE MANNING 16

2.2.5.4. CAUDALES ECOLÓGICOS 17

2.2.6. PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA COPAL 17

2.2.7. MARCO INSTITUCIONAL DEL SECTOR ELÉCTRICO 17

2.2.8. NORVATIVA LEGAL PARA LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS ELÉCTRICOS 18

CAPÍTULO III **19**

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN **19**

3.1. LOCALIZACIÓN **19**

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN **19**

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN **20**

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN **20**

3.4.1. INDAGACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO MENSUAL Y ANUAL DE LA UEA 20
3.4.2. CÁLCULO ESTIMADO DEL CONSUMO ELÉCTRICO POR BLOQUES ACTUAL Y A FUTURO 21
3.4.3. CÁLCULO DE LA POTENCIA 22
3.4.4. COMPORTAMIENTO HÍDRICO DEL RÍO PUYO 23
3.4.5. DIMENSIONAMIENTO DE LAS PRINCIPALES PARTES DE LA PCH 25
3.4.6. DIMENSIÓN DEL CANAL DE DESVIO PARA LA PCH 25
3.4.7. CÁLCULO DE LA ALTURA (SALTO NETO) 26
3.4.8. VOLUMEN DE RESERVA 27
3.4.9. DIMENSIÓN DEL RESERVORIO PARA LA PCH 28
3.4.10. DIMENSIÓN DE LA TUBERÍA FORZADA PARA LA PCH 29
3.4.11. SELECCIÓN DE LA TURBINA PARA LA PCH 30

CAPÍULO IV 32

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 32

4.1. INDAGACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO MENSUAL DE LA UEA 32
4.2. INDAGACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL DE LA UEA 33
4.3. CÁLCULO ESTIMADO DEL CONSUMO ELÉCTRICO MENSUAL POR BLOQUES 33
4.4. CÁLCULO ESTIMADO DEL CONSUMO ELÉCTRICO POR BLOQUES A FUTURO 34
4.5. CÁLCULO DE LA POTENCIA USADA EN LA UEA SEGÚN DIFERENTES VARIABLES 35
4.6. COMPORTAMIENTO HÍDRICO DEL RÍO PUYO 36
4.7. DIMENSIÓN DEL CANAL DE DESVIO PARA LA PCH 38
4.8. CÁLCULO DE LA ALTURA (SALTO NETO) SEGÚN LAS DIFERENTES POTENCIAS 39
4.9. VOLUMEN DE RESERVA EN COMPARACIÓN CON PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS DEL ECUADOR 39
4.10. DIMENSIÓN DEL RESERVORIO PARA LA PCH 40
4.11. DIMENSIÓN DE LA TUBERIA FORZADA 42
4.12. TIPO DE TURBINA HIDROELÉCTRICA 42

CAPÍTULO V 44

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 44

5.1. CONCLUSIONES 44

5.2. RECOMENDACIONES 45

BIBLIOGRAFÍA 46

ANEXOS 51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación por potencia generada 9
Tabla 2. Formato para calcular el consumo de energía eléctrica para iluminaria 21
Tabla 3. Formato para calcular el consumo para equipos eléctricos 21
Tabla 4. Formato para el cálculo de potencia eléctrica 23
Tabla 5. Formato para el cálculo de la altura (salto neto) 27
Tabla 6. Energía y potencia eléctrica usada en el campus Puyo de la UEA. 36
Tabla 7. Mediciones del caudal en el primer punto 36
Tabla 8. Mediciones del caudal en el segundo punto 37
Tabla 9. Resultados del caudal 37
Tabla 10. Cálculo de la altura (salto neto) 39
Tabla 11. Volumen para el reservorio 40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Central de agua fluyente y sus partes 10
Figura 2. Central de pie de presa y sus partes 10
Figura 3. Área de estudio del proyecto de investigación. 19
Figura 4. Central de agua fluyente y sus partes 25
Figura 5. Campo de utilización de los diferentes tipos de turbinas 30
Figura 6. Gráfico con campo de aplicación típico de turbinas hidráulicas 31
Figura 7. Consumo eléctrico del año 2017, 2018, 2019 32
Figura 8. Consumo eléctrico anual 33
Figura 9. Estimación del consumo eléctrico mensual por bloque de la UEA hasta el año 2019 34
Figura 10. Consumo eléctrico actual y su estimación al futuro 35
Figura 11. Comportamiento hídrico del río Puyo 38
Figura 12. Dimensión del canal de desvío 38
Figura 13. Escenarios del dimensionamiento para el reservorio de la PCH 41
Figura 14. Dimensionamiento de la tubería forzada 42
Figura 15. Diseños de Turbinas 43

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Consumo de energía eléctrica 21
Ecuación 2. Potencia de los equipos eléctrico 22
Ecuación 3. Pendiente 23
Ecuación 4. Perímetro de mojado 24
Ecuación 5. Área de mojado 24
Ecuación 6. Radio hidráulico 24
Ecuación 7. Velocidad Manning 24
Ecuación 8. Caudal 24
Ecuación 9. Caudal ecológico 24
Ecuación 10. Caudal util 24
Ecuación 11. Área del canal 25
Ecuación 12. Radio del medio circulo 26
Ecuación 13. Diámetro del medio círculo 26
Ecuación 14. Perímetro del medio círculo 26
Ecuación 15. Altura (salto neto) 26
Ecuación 16. Tiempo de retención 27
Ecuación 17. Volumen de la pirámide 28
Ecuación 18. Área de la base de la pirámide 28
Ecuación 19. Apotema 28
Ecuación 20. Área lateral de la pirámide 29
Ecuación 21. Área total de la pirámide 29
Ecuación 22. Área de la tubería 29
Ecuación 23. Radio de un círculo 29
Ecuación 24. Diámetro del círculo 29
Ecuación 25. Perímetro del círculo 30

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el medio ambiente se ha visto alterado por diversos factores, propios de la naturaleza o por actividades antrópicas, que se han relacionado con la política, la economía y el desarrollo de los países, generando cambios positivos o negativos en la calidad de vida de las personas y del ambiente. Debido a estos cambios para la implementación de cualquier proyecto ya sea de construcción de carreteras, infraestructura, educación, vivienda, electricidad, se deberá cumplir con los requisitos necesarios para el desarrollo de dichas actividades.

De manera particular, desarrollar actividades de construcción en el sector eléctrico, lleva consigo diversos cambios en los componentes bióticos, abióticos y socioeconómicos, en la cual se requiere de una evaluación de impacto ambiental, para determinar los impactos más significativos derivados de las actividades de construcción de centrales eléctricas.

Actualmente, según la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCE, 2019), Ecuador genera electricidad mediante centrales eléctricas, como: Hidráulica Térmica a base de petróleo, Térmica Turbogas, Térmica Turbovapor, Biomasa, Fotovoltaica, Eólica y a través de Biogás, abasteciendo la demanda energética del país.

Considerando que la mayor cantidad de energía eléctrica que genera es mediante centrales hidroeléctricas, mismas que existen a pequeñas, medianas y grandes escalas y que se complementan con aportes de centrales térmicas y posteriormente aportan al Sistema Nacional Interconectado.

Se ha visto la necesidad de proponer la implementación de una pequeña central hidroeléctrica, misma que abastecerá de electricidad a la Universidad Estatal Amazónica y emplea medidas adecuadas para minimizar los daños generados al ambiente y además de ser viable de manera económica, también se deberá cumplir la normativa ambiental establecida.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde la separación del Ecuador de la Gran Colombia en 1830, se ha buscado tener una autonomía energética comenzando con el carbón de leña y desde el descubrimiento del petróleo en el territorio ecuatoriano en 1911 en Ancón en la península de Santa Elena (PETROECUADOR, 2013), Ecuador empezó su ruta hacia un país petrolero, luego de tener una alza en la exportación de petróleo que se le conoce como "Período Petrolero del Ecuador" o "Boom Petrolero" en 1972 (PETROECUADOR, 2013), buscaron también beneficiarse energéticamente del mismo, por lo cual en 1970 inicia la operación comercial de la primera central termoeléctrica del país llamada Monay con una potencia total efectiva de 2200 KW (Borrero, 2010), y junto a esa empezaron a incrementar las centrales termoeléctricas para satisfacer la demanda energética que necesita el Ecuador. Incluso hasta el año 2012 la matriz energética del Ecuador dependía aproximadamente del 90% de petróleo y sus derivados, y no brindaba una óptima calidad de electricidad al país (Muñoz, 2016).

Actualmente el Ecuador satisface su necesidad energética de una manera más amigable con el ambiente, pero aún no ha podido dejar su dependencia del petróleo y otras fuentes de energía no renovables, para el 2019 según la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCE, 2019) la potencia efectiva y el porcentaje de las diferentes centrales son: Hidráulica (5.043,18 MW) 62,59%, Térmica a base de petróleo (1.616,84 MW) 20,06%, Térmica Turbogas (775,55 MW) 9,62%, Térmica Turbovapor (431,74 MW) 5,36%, Biomasa (136,40 MW) 1,69%, Fotovoltaica (26,74 MW) 0,33%, Eólica (21,15 MW) 0,26%, Biogás (6,50 MW) 0,08%. Dando un total de potencia efectiva de 8.058,11 MW.

Aunque se considera a la energía hidroeléctrica como una fuente de energía limpia y renovable, la construcción acelerada y mal regulada de grandes hidroeléctricas que se han venido construyendo durante las últimas décadas en Ecuador ha provocado una gran fragilidad a los ecosistemas adyacentes a los cauces de ríos a los cuales se les ha implementado este uso, inundando bosques nativos, matando la vida acuática como producto de la eutrofización, cambiando las características físicas y químicas del agua, desestabilizando el suelos, provocando la migración de las especies, interrumpiendo los ciclos de vida y obligando a comunidades humanas que utilizaban este recurso a emigrar a

otros lugares (Fernández & Carrillo, 2010), provocando que este tipo de energía sea mal vista por la sociedad.

El uso de otras energías alternativas como la fotovoltaica, eólica, biomasa o biogás en el Ecuador no es de mucha relevancia comparado con el uso de energías térmicas y de grandes hidroeléctricas (ARCE, 2019), por lo que se podría decir que el Ecuador todavía produce una parte considerable de su energía de fuentes contaminantes y destructoras de ecosistemas naturales respectivamente. Y la gran mayoría de la población utiliza esta energía eléctrica.

La ciudad de Puyo depende totalmente de la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC), y la Universidad Estatal Amazónica de igual manera, teniendo como fuente secundaria de abastecimiento energético, un generador a Diésel que se usa en caso de existir una suspensión del servicio público eléctrico, siendo fuente de emisión de gases contaminantes.

La UEA es una institución que promulga la búsqueda de soluciones a problemas ambientales, sociales y tecnológicos, se ha planteado implementar una Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH), demostrando la capacidad que tienen los estudiantes de Ingeniería Ambiental en cuanto a la implementación de nuevas tecnologías que sean más amigables con el ambiente, en este caso la implementación de una PCH que a diferencia de las grandes hidroeléctricas, su modificación provocada en los ecosistemas es mínima y puede producir una gran cantidad de energía eléctrica que podría abastecer a la Universidad convirtiéndose en autosuficiente energéticamente en cuanto a electricidad.

1.1.2. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto consiste en proponer el dimensionamiento del canal de desvío, el reservorio y la tubería forzada de una Pequeña Central Hidroeléctrica de agua fluyente y seleccionar el tipo de turbina, tomando como fuente de producción energética al río Puyo, siendo la UEA la principal beneficiaria de este proyecto ya que se convertiría en la primera Universidad autosustentable en el Ecuador en cuanto a energía eléctrica, además la PCH posee una vida útil de 30 a 50 años o más, son de larga vida y solo la turbina en determinado tiempo se debe cambiar o reparar.

Además, este proyecto busca demostrar que las pequeñas centrales hidroeléctricas son generadores de energía amigables con el ambiente y que su cambio en la zona de influencia es mínimo. Desde el punto de vista ambiental es el uso coherente del agua, utilizando solamente una parte del cauce del río, ya que ésta se recoge del río en un punto y se devuelve al cauce en una cota inferior sin sufrir contaminación alguna y no requieren la inundación

de grandes terrenos ni produce residuos contaminantes (Morales *et al*, 2014), a diferencias de las medianas y grandes centrales hidroeléctricas que causan graves problemas ambientales.

Para una fuente nueva de electricidad en forma de una central es la responsabilidad del estado de garantizar la regularidad, continuidad y calidad según art. 314 de la Constitución (Const., 2008), la confiabilidad en art. 5 ítem a) de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico (Ley 00, 1996), la soberanía, seguridad según la Agenda Nacional de Energía 2016-2040 (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2016) en el sentido de independencia de otras centrales o países o en el caso de apagones que afectan a la red de transmisión.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se puede utilizar el potencial hídrico del río Puyo para poder cubrir la demanda eléctrica actual y a futuro de la Universidad Estatal Amazónica?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer la implementación de una pequeña central hidroeléctrica utilizando el potencial hídrico del río Puyo para satisfacer la demanda eléctrica de la Universidad Estatal Amazónica, logrando la autonomía eléctrica.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular la demanda eléctrica de la Universidad Estatal Amazónica de acuerdo a sus elementos proyectivos de crecimiento.
- Analizar el comportamiento hídrico del río Puyo y su potencial hidroeléctrico.
- Dimensionar el canal de desvío, el reservorio y la tubería forzada de una Pequeña Central Hidroeléctrica de agua fluyente y seleccionar el tipo de turbina según la disponibilidad del caudal del río.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. ANTECEDENTES

A inicios del siglo XIX se instaló la primera turbina hidráulica a nivel mundial. Es importante recalcar que la energía hidráulica tuvo mucha importancia durante el periodo de la Revolución Industrial, ya que impulsó las industrias textiles, industrias del cuero y los talleres de construcción de máquinas a principios del siglo XIX. Aunque las máquinas de vapor ya estaban perfeccionadas, el carbón en aquellas épocas era escaso y la madera poco satisfactoria como combustible, por lo que implementar turbinas para generar energía hidráulica ayudó al crecimiento de las nuevas ciudades industriales que fueron creadas inicialmente en Europa y América. La primera central hidroeléctrica se construyó en el año 1880 en Northumberland (Gran Bretaña), donde se aprovechaba la fuerza del agua que caía desde una determinada altura para operar una turbina que al mismo tiempo hacía girar un alternador que producía la energía eléctrica (Amaya, *et. al*., 2009).

A principios de la década de los noventa, las primeras potencias productoras de hidroelectricidad eran Canadá y Estados Unidos. Canadá obtiene un 60% de su electricidad de centrales hidráulicas. En todo el mundo, la hidroelectricidad representa aproximadamente la cuarta parte de la producción total de electricidad, y su importancia sigue en aumento. Los países en los que constituye fuente de electricidad más importante son Noruega (99%), Zaire (97%) y Brasil (96%). La central de Itaipú, en el río Paraná, está situada entre Brasil y Paraguay; se inauguró en 1982 y tiene la mayor capacidad generadora del mundo. Como referencia, la presa Grand Coulee, en Estados Unidos, genera unos 6.500 MW y es una de las más grandes (Fernández *et al*., 2017).

En algunos países, dentro de ellos Ecuador, se han instalado centrales pequeñas, con capacidad para generar entre un kilovatio y un megavatio. De aquí nace la pequeña central hidroeléctrica, la misma que se refiere a las centrales hidroeléctricas con capacidad instalada en el rango de 0,2 kW (las cuales suministran a hogares rurales individuales) hasta 500 kW (suministran a aldeas o actividades industriales, o ambas). Las centrales dentro de este rango, aunque son similares en principio a las mini-centrales hidroeléctricas (10 MW) y a las grandes centrales hidroeléctricas (100 MW), requieren un enfoque diferente en su diseño, desarrollo y operación. Su pequeña dimensión y comparativa menor inversión de capital por

central imposibilita estudios de ingeniería costosos y pericia técnica especializada para el manejo y el mantenimiento (Loboguerrero, 2016).

El servicio eléctrico en el Ecuador inició con el empleo de la electricidad como uso doméstico a partir del año 1897, año en que la Empresa Eléctrica Luz y Fuerza instaló 2 turbinas hidráulicas de 12 kW cada una en el río Malacatos para generación eléctrica en la ciudad de Loja, dirigida principalmente a satisfacer las necesidades tales como iluminación y para el funcionamiento de equipos eléctricos de esta población. "A partir de esto, se amplió el servicio a otras partes del país, la mayoría de las veces financiado por inversionistas extranjeros y caracterizado por la falta de planificación, administración ineficaz y sobre todo la aparición de celos regionalistas que impidieron un desarrollo integral". "Ya para el año de 1961, se habían instalado masivamente 1.106 pequeñas centrales de generación con una potencia instalada de 120 MW" (Acosta, 1992).

Un largo tiempo ya había transcurrido desde que empezó a funcionar la primera turbina hidráulica en el río Malacatos y la potencia instalada en el Ecuador era de 226,4 MW en 1979 hasta llegar a los 5.090,3 MW con los cuales el Ecuador tiene que cubrir su demanda eléctrica en el 2012 (CONELEC, 2011).

Ecuador, país donde los ingresos gracias a la bonanza petrolera, le permitieron construir centrales hidroeléctricas de tal manera que la participación de éstas dentro del total de potencia instalada creció hasta casi los 1.000 MW, mientras que la producción de energía de fuente hidráulica a finales de los años ochenta, llegó a estar muy cerca de la energía obtenida de fuente térmica, la misma que no dejó de ser necesaria para cubrir la demanda eléctrica del Ecuador (Godoy, 2013).

Actualmente existen 8 proyectos hidroeléctricos emblemáticos en el Ecuador por el MEER, los que proporcionarán un incremento de 2.756 MW a la matriz eléctrica del Ecuador, son: Manduriacu, Mazar Dudas, Sopladora, Toachi-Pilatón, Quijos, Delsitanisagua, Minas-San Francisco, Coca Codo Sinclair (MEER, 2012).

Mientras que los principales proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas son: Calope, Bimbe, EL Batán, EL Baboso Hidromira Carchi EP y Caliche (CBS INGENIERíA, 2010).

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. ENERGÍA

La energía es la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo: trabajo mecánico, emisión de luz, generación de calor, etc.

La energía puede manifestarse de distintas formas: gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, etc., existiendo la posibilidad de que se transformen entre sí, pero respetando siempre el principio de conservación de la energía: "La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma" (Schallenberg *et al.* 2008).

Las energías no renovables: son aquellas que existen en la naturaleza en una cantidad limitada. No se renuevan a corto plazo y por eso se agotan cuando se utilizan. La demanda mundial de energía en la actualidad se satisface fundamentalmente con este tipo de fuentes energéticas: el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio (Schallenberg *et al.* 2008).

Las energías renovables: son aquellas cuyo potencial es inagotable, ya que provienen de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua, como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de la Luna. Son fundamentalmente la energía hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica y las marinas (Schallenberg *et al.* 2008).

2.2.2. TIPOS DE CENTRALES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La energía eléctrica es obtenida de la transformación de energías primarias que se encuentran en la naturaleza, a lo largo de la historia la tecnología ha ido evolucionando para encontrar diversas formas de transformar las energías en energía eléctrica, y con la evolución de la tecnología se han podido ir potenciando nuevas formas de obtener energía eléctrica (Criollo & Quezada, 2011).

2.2.2.1. POR LA ENERGÍA PRIMARIA QUE UTILIZAN

Hay diversas maneras de obtener energía eléctrica a partir de las fuentes de energía que existe en el medioambiente entre otras opciones, las más importantes consideradas por Criollo & Quezada (2011) son:

CENTRALES TERMOELÉCTRICAS

Son las centrales que utilizan la energía térmica obtenida de la combustión de hidrocarburos principalmente, para la generación de vapor que se lo introduce en una turbina que va conectada a un generador de energía eléctrica.

CENTRALES EÓLICAS

Estas centrales están diseñadas para aprovechar la energía del viento, mediante hélices que transforman la energía cinética del viento en energía mecánica que en combinación con un generador transforman la energía del viento en energía eléctrica.

CENTRALES FOTOELÉCTRICAS

Estas centrales transforman la energía lumínica del sol en energía eléctrica mediante el uso de paneles solares, estas centrales tienen la particularidad de no utilizar el generador en el proceso de la obtención de la energía eléctrica.

CENTRALES NUCLEARES

Las centrales nucleares utilizan la energía térmica que genera la división o fusión de átomos, esta energía a su vez es transformada en vapor que luego se utiliza para mover una turbina para generar energía eléctrica.

CENTRALES TERMO SOLARES

El principio de funcionamiento de la central termo solar es obtener energía térmica de los rayos del sol para obtener vapor de agua y utilizarla en turbinas de la misma manera que una central térmica.

LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Son aquellas que transforman la energía cinética del agua en energía mecánica que se utiliza en un generador para obtener la energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas son las más utilizadas para la obtención de energía eléctrica debido a su alta eficiencia.

2.2.2.2. POR LA POTENCIA GENERADA

De acuerdo a la cantidad de potencia generada tenemos la siguiente clasificación:

Tabla 1. Clasificación por potencia generada

Potencia En (kW)	Tipo
0-50	Micro central
50-500	Mini central
500-5000	Pequeña central

Fuente: Ortiz, 2001

Micro central: Son aquellas instalaciones que debido a su ubicación poseen recursos naturales subutilizados, mismos que nos brindan características favorables para la producción de energía en cantidades mínimas, pero solventables para la generación de electricidad de una población (Vásquez, 2015).

Mini central: Es una instalación donde se utiliza la energía hidráulica para generar reducidas cantidades de electricidad, por medio de uno o más conjuntos o grupos turbina-generador (OLADE, 2001).

Pequeña Central: Son aquellas instalaciones en la cual las centrales cuya potencia instalada es de 250-5000 kW (Ortiz, 2001).

2.2.3. PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS (PCH)

Una central hidroeléctrica de pequeña escala es un conjunto de instalaciones que tienen como objetivo utilizar la energía potencial (asociada a la altura) y cinética (asociada al movimiento) que tiene un río, y transformarla en energía eléctrica. La potencia de una central hidroeléctrica se mide generalmente en kilovatio (kW), megavatio (MW) y gigavatio (GW) que equivalen a mil, un millón y mil millones de vatios, respectivamente.

El agua es almacenada en una estructura y es conducida por una tubería de alta presión (HG) hacia la casa de máquinas, en donde en su recorrido va transformando su energía potencial en cinética (pierde su potencia de altura y adquiere velocidad). Al llegar el agua a la casa de máquinas y mover la turbina hidráulica, la energía cinética se convierte en energía mecánica de rotación la cual mueve el eje de la turbina hidráulica produciendo energía eléctrica a través de un generador controlado por un sistema de cómputo. Finalmente, en una subestación esta energía es transformada, transportada y distribuida hacia las áreas de consumo como viviendas, comercios e industrias (Fundación Solar, 2013).

2.2.3.1. TIPOS DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Las pequeñas centrales hidroeléctricas, están muy condicionadas por las peculiaridades y características que presente el lugar donde se vaya a implementar una instalación de este tipo, hay que tener en cuenta que la topografía del terreno va a influir tanto en la obra civil como en la selección de la maquinaria.

Según el emplazamiento de la central hidroeléctrica se realiza la siguiente clasificación general:

Centrales de agua fluyente. Captan una parte del caudal del río, lo trasladan hacia la central y una vez utilizado, se devuelve al río.

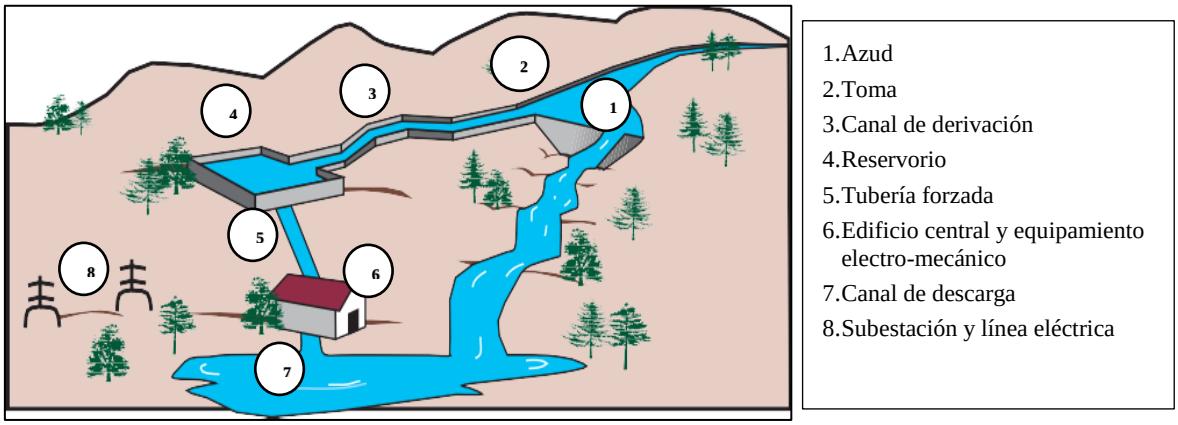


Figura 1. Central de agua fluyente y sus partes

Fuente: IDAE, 2006

Centrales de pie de presa. Se sitúan debajo de los embalses destinados a usos hidroeléctricos o a otros usos, aprovechando el desnivel creado por la propia presa.

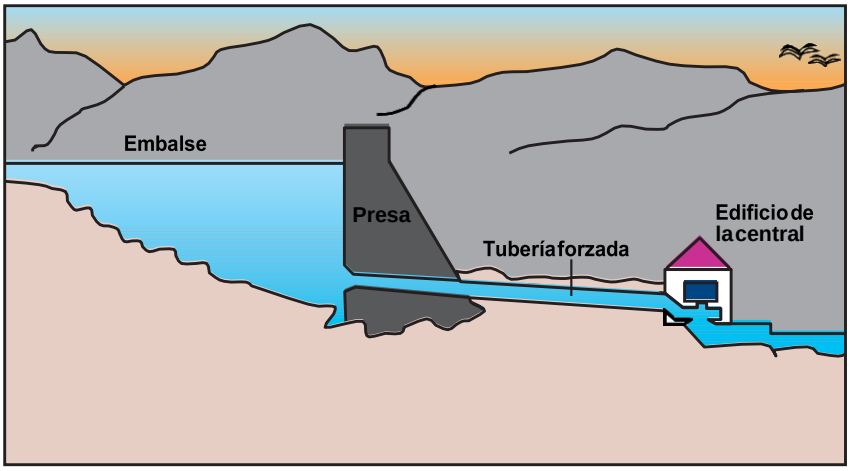


Figura 2. Central de pie de presa y sus partes

Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA), 2006

Centrales en canal de riego o de abastecimiento. Se distinguen dos tipos de centrales dentro de este grupo: Aquellas que utilizan el desnivel existente en el propio canal y aquellas que aprovechan el desnivel existente entre el canal y el curso de un río cercano (IDAE, 2006).

2.2.3.2. DISEÑO DE UN APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO

La potencia de una central hidroeléctrica es proporcional a la altura del salto y al caudal turbinado, por lo que es muy importante determinar correctamente estas variables para el diseño de las instalaciones y el dimensionamiento de los equipos (IDAE, 2006).

POTENCIA A INSTALAR Y PRODUCCIÓN

Para proponer la construcción de represas o captaciones para generar electricidad con turbinas hidráulicas en centrales hidroeléctricas. Se calcula la potencia con la fórmula que incluye las dos variables de caudal y el desnivel de diferencia altitudinal (Carta *et al*., 2009).

2.2.3.3. INSTALACIONES DE OBRA CIVIL

Es necesarias para derivar, conducir y restituir el agua turbinada, así como para albergar los equipos electromecánicos y el sistema eléctrico general y de control. (IDAE, 2006).

AZUDES Y PRESAS

La obra que se lleva a cabo para provocar una retención en el cauce de un río puede ser de dos tipos:

- Azud. Muro transversal al curso del río, de poca altura, que provoca un remanso de agua sin producir una elevación notable del nivel. Existen 3 tipos de azud: de hormigón, de escollera y de tierra.

- Presa. En este caso el muro que retiene el agua tiene una altura considerable y provoca una elevación notoria del nivel del río mediante la creación de un embalse.

- Azudes y presas inflables. Consisten en un tubo de material resistente y deformable re-lleno de agua o aire a una presión determinada (IDAE, 2006).

ALIVIADEROS, COMPUERTAS Y VÁLVULAS

Todas las centrales hidroeléctricas disponen de dispositivos que permiten el paso del agua desde el embalse hasta el cauce del río, aguas abajo, para evitar el peligro que podrían ocasionar las avenidas.

- **Los aliviaderos de superficie** pueden disponer de diferentes tipos de compuertas, que permiten mantener totalmente cerrado el paso del agua, abierto parcialmente o abierto total.

- **Los desagües de fondo o medio fondo** utilizan las válvulas y las compuertas como elementos de cierre. Las válvulas se emplean en instalaciones con caudales moderados o medios (IDAE, 2006).

TOMA DE AGUA

Consiste en la estructura que se realiza para desviar parte del agua del cauce del río y facilitar su entrada desde el azud o la presa (IDAE, 2006).

CANALES.

Según el tipo de pequeña central que se vaya a construir, se necesita una red mayor o menor de conducciones. Las instalaciones situadas a pie de presa no tienen cámara de carga (es el propio embalse), al contrario que las centrales en derivación donde el agua tiene que hacer un recorrido más largo: primero desde la toma a la cámara, y después hasta la turbina (IDAE, 2006).

CÁMARA DE CARGA O RESERVA

La cámara de carga es un depósito localizado al final del canal del cual arranca la tubería forzada. Cuando la conducción entre la toma de agua y la cámara de carga se realiza en presión, ésta última será cerrada y tendrá además una chimenea de equilibrio, para amortiguar las variaciones de presión y protegerla de los golpes (Aguilar *et al.*, 2010).

TUBERÍA FORZADA

Es la tubería que se encarga de llevar el agua desde la cámara de carga hasta la turbina y debe estar preparada para soportar la presión que produce la columna de agua. Dependiendo de la orografía del terreno y de los factores medioambientales, la colocación de la tubería forzada será enterrada o aérea. Los materiales más utilizados para la construcción de este tipo de tuberías son el acero, la fundición, el fibrocemento y el plástico reforzado con fibra de vidrio, en función del desnivel existente (IDAE, 2006).

EDIFICIO DE LA CENTRAL

Es el emplazamiento donde se sitúa el equipamiento de la pequeña central: turbinas, bancadas, generadores, alternadores, cuadros eléctricos, cuadros de control, etc.

La ubicación del edificio debe analizarse muy atentamente, considerando los estudios topográficos, geológicos y geotécnicos, y la accesibilidad al mismo. El edificio puede estar junto al azud, situarse al pie de éste, estar separado aguas abajo cuando hay posibilidad de aumentar la altura del salto, e incluso puede construirse bajo tierra (IDAE, 2006).

ELEMENTOS DE CIERRE Y REGULACIÓN

En caso de parada de la central es imprescindible la existencia de dispositivos que aíslen la turbina u otros órganos de funcionamiento (IDAE, 2006)..

- **Ataguías.** Se emplean para cerrar el acceso de agua a la toma cuando es necesario realizar una limpieza de la instalación o reparaciones en las conducciones.
- **Compuertas.** En las centrales de pequeño salto se suelen emplear las compuertas verticales, que cortan el paso del agua a la pequeña central, donde se encuentra la turbina.

EQUIPAMIENTO ELECTROMECÁNICO

Las turbinas y el resto de equipos de una central presentan actualmente una alta eficiencia, cubriendo toda la gama de caudales desde 0,1 a 500 m^3/s, pudiendo utilizarse hasta 1.800 m de salto neto con rendimientos buenos mecánicos (IDAE, 2006).

TURBINAS

La turbina hidráulica es el elemento clave de la pequeña central. Aprovecha la energía cinética y potencial que contiene el agua, transformándola en un movimiento de rotación, que transferido mediante un eje al generador produce energía eléctrica. Las turbinas hidráulicas se clasifican en dos grupos: turbinas de acción y turbinas de reacción. En una turbina de acción la presión del agua se convierte primero en energía cinética como principales están Pelton, Turgo, Ossberger o Banki-Michell. En una turbina de reacción la presión del agua actúa como una fuerza sobre la superficie de los álabes y decrece a medida que avanza hacia la salida como principales están la Francis y Kaplan.

En función del salto (grande o pequeño) y del caudal (variable o constante, alto o bajo), es más conveniente usar un tipo u otro de turbina. Esto es lo que nos indica el rango de utilización (IDAE, 2006).

Además, hay que tener en cuenta la curva de rendimiento de cada turbina, que varía según sea el caudal de funcionamiento. En general, existen diversas turbinas como:

- **Francis.** Saltos más elevados y variaciones de caudal moderadas. se conocen como turbinas de sobrepresión por ser esta variable en el rodete, o también como turbinas de admisión centrípeta o total por encontrarse el rodete sometido a la influencia directa del agua en toda su periferia. Sus componentes esencialmente los siguientes: cámara espiral, rodete, distribuidor, tubo de aspiración y eje (Perez, S. & Renedo, C. sf).

- **Pelton.** Su utilización es idónea en saltos de gran altura (alrededor de 200 m y mayores), y caudales relativamente pequeños (hasta 10 m^3/s). Sus componentes esenciales son los

siguientes: distribuidor, rodete, eje, sistema de frenado, carcasa, cámara de descarga, blindaje, destructor de energía. La energía potencial gravitatoria del agua embalsada (energía de presión hasta los orificios de las toberas) se convierte, salvo pérdidas, en energía cinética al salir el agua a través de dichos orificios en forma de chorros libres (Perez, S. & Renedo, C. sf).

- **Kaplan.** Saltos pequeños y caudales variables. Las turbinas Kaplan son turbinas de reacción y de admisión total, cuyo funcionamiento es adecuado a pequeños saltos (hasta 50 m) y caudales medios y grandes (15 m3/s). Se conocen también como turbinas de doble regulación. En las turbinas Kaplan las palas del rodete están situadas a un nivel más bajo que el distribuidor, de modo que la corriente de agua que fluye por éste incide sobre dichas palas en su parte posterior, en dirección paralela al eje de la turbina. Sus principales componentes son: distribuidor, palas de rodete, compuerta de admisión, rejilla, distribuidor, rodete y tubo de aspiración (Perez, S. & Renedo, C. sf).

- **Bulbo.** Son turbinas con cubierta perimetral que confina al grupo turbina - generador. Son turbinas que requieren conductos hidráulicos de formas más sencillas y dimensiones más reducidas, mismas que permiten aumento de la potencia específica y por ende van a tener una reducción de costos de la obra civil. Sus principales componentes son los siguientes: distribuidor, generador, paletas reguladoras o directrices, columnas de soporte y escotilla, cono fijo, cojines, servomotores, cabezal hidráulico, anillo de descarga, tubo de aspiración y chumaceras (CFE - Comisión Federal de Electricidad, 2015).

GENERADOR

Es la máquina que transforma la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica. El generador, o alternador, está compuesto de dos partes fundamentales:

Rotor o inductor móvil. Su función es generar un campo magnético variable al girar arrastrado por la turbina.

Estator o inducido fijo. Sobre el que se genera la corriente eléctrica aprovechable.

El generador puede ser de dos tipos: síncrono o asíncrono.

Síncrono: En este tipo de generador la conversión de energía mecánica en eléctrica se produce a una velocidad constante llamada velocidad de sincronismo.

Asíncrono: Debido a la simplicidad, robustez y bajo costo de los clásicos motores eléctricos, se han usado como generadores eléctricos sobre todo en centrales de pequeña potencia.

EQUIPO ELÉCTRICO GENERAL Y LÍNEA

El equipamiento eléctrico es necesario en la central hidroeléctrica, ya que es el encargado de la transformación de la tensión, de la medición de los diferentes parámetros de la corriente eléctrica, de la conexión a la línea de salida y de la distribución de la energía.

- **El transformador de tensión.** Dependiendo de la tensión de trabajo del generador, la transformación puede ser baja/media o media/alta tensión. El objetivo es elevar la tensión al nivel de la línea existente para permitir el transporte de la energía eléctrica con las mínimas pérdidas posibles.
- **Transformador en aceite.** Requieren la construcción de un cubeto para prever la recogida de aceite ante una fuga o derrame.
- Los equipos eléctricos necesarios se disponen en cuadros eléctricos situados en el interior del edificio central, y básicamente son: Disyuntores y seccionadores, transformadores de medida, tanto de tensión como de intensidad, transformadores de equipos auxiliares.
- La línea eléctrica necesaria para transportar la energía producida hasta el consumo
- Las características de la red que hay que conocer son frecuencia y tensión

AUTOMATIZACIÓN

La automatización de una pequeña central permite reducir los costes de operación y mantenimiento, aumentar la seguridad de los equipos y optimizar el aprovechamiento energético de la instalación. En cuanto a la tecnología se puede distinguir entre:

- Convencional. Basada en los relés electromecánicos o estáticos.
- Digital. Se refiere a técnicas informáticas que permiten la gestión de todas las funciones de la central.

SISTEMAS AUXILIARES

Los equipos más comunes que se pueden considerar como auxiliares en una central son: ventilación, alumbrado normal y de emergencia, equipo de corriente continua empleado para alimentar las bobinas de desconexión del disyuntor y contactores, bombas para el drenaje de posibles fugas o achique en inundación, batería de condensadores, en caso de que exista grupo asíncrono para mejorar el factor potencia, puente grúa aunque en algunos casos pueda ser suficiente una grúa portátil durante el montaje y operaciones de mantenimiento, reja y limpia rejas, protección contra incendios, agua refrigeración y caudalímetro (IDAE, 2006).

2.2.4. DEMANDA ELÉCTRICA ACTUAL Y SU PROYECCIÓN AL FUTURO

Es la cantidad de potencia que un consumidor utiliza en cualquier momento (variable en el tiempo). Dicho de otra forma, es la demanda de una instalación eléctrica en los terminales receptores, tomada como un valor medio en un intervalo determinado. El período durante el cual se toma el valor medio se denomina intervalo de demanda. La demanda real se encuentra en la planilla de la electricidad que es la base de la facturación mensual de la empresa eléctrica. Los datos de consumo se obtienen de la lectura del medidor (Castaño, 2009).

2.2.5. RECURSO HÍDRICO

El aprovechamiento de esta fuente hídrica por parte de la población corresponde con su localización, las infraestructuras que permiten su acceso y explotación, así como el fin con el que se pretenda utilizar las aguas. La parte alta de la cuenca sirve para el abasto de agua a los principales poblados, por lo que existen represamientos para su captación y transporte. A medida que se desciende se encuentran varias construcciones civiles, destinadas a la actividad turística, que comprende el cauce de agua destinados a balnearios, más concurridos por la población local, nacional e internacional (Sucoshañay, 2016).

2.2.5.1. CAUDAL

Es la cantidad de agua que fluye a través de una sección transversal, se expresa en volumen por unidad de tiempo. El caudal en un tiempo dado puede medirse por varios métodos diferentes y la elección del método depende de las condiciones de cada sitio.

2.2.5.2. BATIMETRÍA

La batimetría consiste en la medición de las profundidades de un cuerpo de agua y tiene una gran importancia para la seguridad de la navegación, construcción de muelles, embalses y los estudios científicos diversos fines. Con la información de los datos de profundidad obtenidos a partir del levantamiento batimétrico, se pueden establecer de manera cuantitativa algunos índices del cuerpo de agua (Castillo *et. al.*, 2012).

2.2.5.3. APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE MANNING

Aunque la fórmula de Manning está deducida para canales y en condiciones de flujo uniforme, la experiencia de los últimos años indica que es un instrumento para analizar las características hidráulicas y geométricas de los aforos realizados (Pastora, 2010).

Además, cuando se tiene una creciente, la pendiente del eje hidráulico toma un valor promedio pasando por alto las pequeñas variaciones en pendiente del lecho. Es por esto que las fórmulas para canales abiertos pueden aplicarse a cauces naturales con mayor seguridad a los estados altos que a los bajos, pues estos últimos quedan notoriamente influenciados por las condiciones del lecho (Pastora, 2010).

2.2.5.4. CAUDALES ECOLÓGICOS

De acuerdo con la gestión sectorizada del agua en el Acuerdo Ministerial No.155 (R.O. 41 del 14 de marzo de 2007). Se define al caudal ecológico como el porcentaje de agua que debe circular en un río, como norma técnica ambiental para la prevención y control de la contaminación ambiental, emitido por el Ministerio del Ambiente (MAE.) y como norma técnica para controlar los impactos ambientales producidos por la construcción de las hidroeléctricas. Este índice señala que el caudal ecológico debe ser el 10 % del caudal mínimo promedio anual (Acuerdo Ministerial Nro 155, 2007).

2.2.6. PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA COPAL

La Central Hidroeléctrica Copal se encuentra ubicada en el Río Negro y está diseñada para captar 36 m^3/s de agua. Tiene una potencia de 55 MW, un caudal de 36 m^3/s, con un tanque de carga, de capacidad de 5.473 m^3, una altura de caída de 171 m y utilizan 3 turbinas Francis de eje horizontal (CBS INGENIERÍA, 2010).

2.2.7. MARCO INSTITUCIONAL DEL SECTOR ELÉCTRICO

Está regulado principalmente por el Estado Ecuatoriano a través de la Presidencia de la República, luego le sigue el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables como organismo regulador. Al mismo nivel de la organización institucional está el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC).

CONELEC está integrado por el directorio, director ejecutivo, personal técnico y operativo de acuerdo a la normativa interna correspondiente. Cuyas principales funciones son: la planificación, regulación y control del sector eléctrico y otorgará concesiones, permisos y licencias de acuerdo a la ley, para la implementación de programas de electrificación rural para lograr un mayor aprovechamiento de los recursos energéticos locales que posee Ecuador (Minaya & Villaroel, 2008).

2.2.8. NORVATIVA LEGAL PARA LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS ELÉCTRICOS

Las responsabilidades y funciones del CONELEC deben estar claramente identificadas en la nueva Ley de Electrificación, y éste requiere de la coordinación de un equipo multidisciplinario expertos en diferentes campos como: manejo de proyectos de desarrollo múltiple, manejo de cuencas hidrográficas, calidad de agua, establecimiento de tarifas y financiamiento (Minaya & Villaroel, 2008).

Una de las principales ideas que se tiene es crear proyectos sostenibles: social, ambiental y sobre todo económicamente para lograr un sólido manejo financiero que evite los subsidios del Estado, para lograrlo se propone establecer tarifas eléctricas y precios en niveles que se permitan cubrir los costos de: capital, operación, mantenimiento, generales e inclusive que genera excedentes que puedan luego ser empleados para la ampliación del mismo proyecto (Minaya & Villaroel, 2008).

Para la planificación integral del proyecto, incluyendo las futuras ampliaciones se debe considerar el manejo de los recursos hídricos, manejo de cuencas, disponibilidad del recurso, y control de erosión de las cuencas aportantes (Minaya & Villaroel, 2008).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. LOCALIZACIÓN.

El área de estudio fue el río Puyo en el lapso que comprende el campus central de la Universidad Estatal Amazónica, misma que se encuentra ubicada en el km 2 1/2 vía Puyo a Tena (Paso Lateral) lo que está indicado en Figura (3).

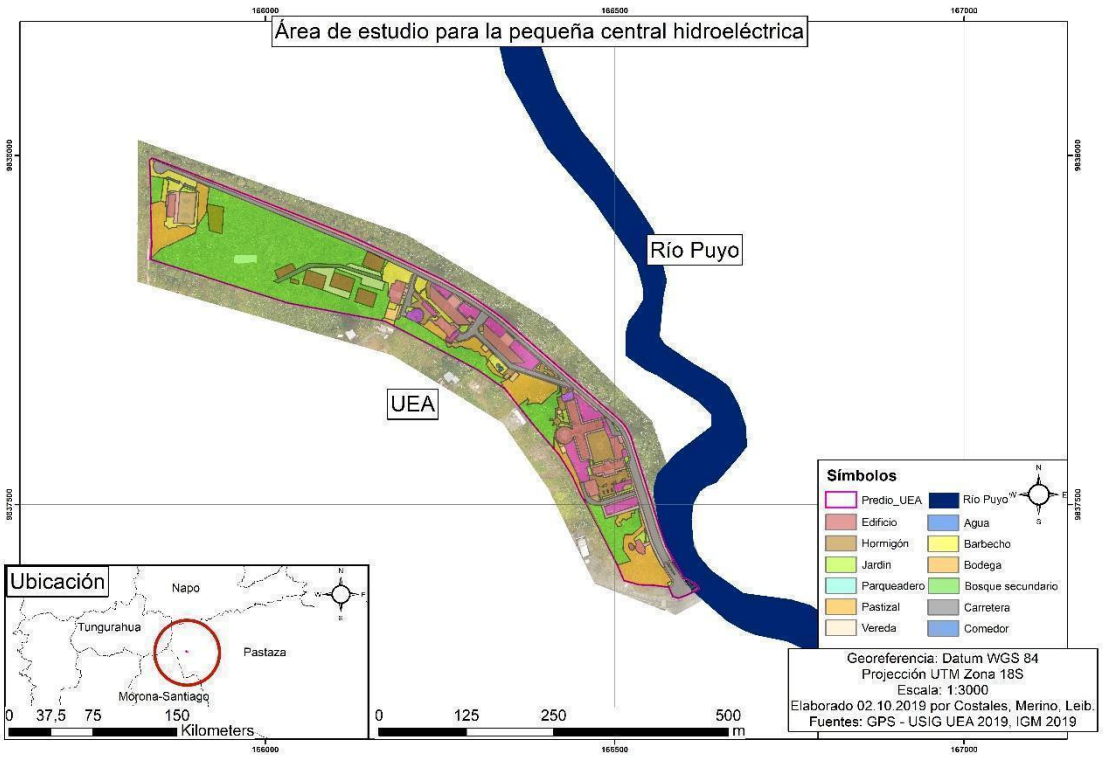


Figura 3. Área de estudio del proyecto de investigación.

Fuente: Elaboración propia

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación en la que se centró este proyecto es de Gestión y Conservación ambiental, la sub-línea es Producción y uso eficiente de la energía eólica, hídrica y otras alternativas; el tipo de investigación es no experimental ya que no se controló las variables, se consideró otros proyectos para desarrollar nuestro estudio respondiendo a propias problemáticas de conocer el comportamiento hídrico, el alcance del proyecto es explicativo.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Se empleó dos métodos de investigación que se explican a continuación:

El método de observación que nos permitió describir y explicar el comportamiento que se observa en el área donde se desarrollará la investigación, en la cual se va a obtener datos adecuados y fiables derivados de situaciones que se han identificado.

El método analítico nos permitió conocer el objeto de estudio, evaluar los resultados observados desarrollando el pensamiento crítico y realizar bases estadísticas de los datos obtenidos en la investigación.

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se investigó el consumo de electricidad de la Universidad Estatal Amazónica y se estimó cuanto podría consumir a futuro, además se obtuvo el comportamiento hídrico del río Puyo en el año 2019, se dimensionó las principales partes de una pequeña central de agua fluyente, siendo estas el canal de desvió, reservorio, tubería forzada y se escogió que tipo de turbina es la adecuada para este proyecto que buscó beneficiar a la UEA cumpliendo su demanda eléctrica, tomando en cuenta que se priorizó el cuidado del ambiente para no perjudicar negativamente a gran escala el ecosistema acuático y terrestre. Todos los cálculos que se realizó en este proyecto de investigación se los llevó a cabo con la ayuda de la herramienta Excel. Las dimensiones de las principales partes de la PCH que se calculó y representó a través de figuras tridimensionales.

3.4.1. INDAGACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO MENSUAL Y ANUAL DE LA UEA

Para la recolección de información sobre la energía utilizada por la universidad, se procedió a descargar las planillas de consumo de energía eléctrica de la UEA, a través de la plataforma virtual de la Empresa Eléctrica Ambato S.A. (EEASA) desde el año 2017 hasta el 2019, se obtuvo 36 planillas de consumo de energía eléctrica en kWh en el lapso de estos 3 años. (Ver Anexos 1, 2, 3). El resultado se reflejó a través de dos gráficas de barras: en la primera se visualiza el consumo eléctrico mensual de los 3 años y en la segunda el consumo anual.

3.4.2. CÁLCULO ESTIMADO DEL CONSUMO ELÉCTRICO POR BLOQUES ACTUAL Y A FUTURO

Se estimó que las fuentes de consumo eléctrico actual son: 11 bloques, alumbrado público, bombas de las cisternas y de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), áreas de recreación y bares de la UEA, a través de la contabilidad de equipos eléctricos e iluminación instalada en cada bloque, según Toledano *et al*. (2009) se utilizó la ecuación (1):

$$\boldsymbol{E = P * t * Fs * \frac{d}{mes}} \quad (1)$$

Donde:

E: Energía eléctrica, en (kWh)

P: Potencia, en (W)

t: Tiempo de uso en horas

Fs: Factor de simultaneidad

d/mes: días del mes

Colocando los datos para iluminaria según la Tabla (2) y la Tabla (3) para los equipos eléctricos:

Tabla 2. Formato para calcular el consumo de energía eléctrica para iluminaria

Elementos	Potencia (W)	Nº Elementos	Potencia Total (W)	Coeficiente de Phi (φ)	Horas/ Día	Días/ Mes	Energía (kWh)
Elemento 1							
Elemento 2							
Elemento 3							
Elemento...							
Energía Total							

Fuente: Modificado de Toledano *et al*., 2009

Tabla 3. Formato para calcular el consumo para equipos eléctricos

Elementos	Potencia (W)	Nº Elementos	Potencia Total (W)	Factor de simultaneidad	Horas/ Día	Días/ Mes	Energía (kWh)
Elemento 1							
Elemento 2							
Elemento 3							
Elemento...							
Energía Total							

Fuente: Modificado de Toledano *et al.,* 2009

En donde el valor del factor de potencia para los diferentes equipos eléctricos varía de 0 a 1 dependiendo del equipo, y el coeficiente de phi (φ) para la iluminación será de 0,8. Se comprobó que los datos obtenidos de las estimaciones de consumo de energía eléctrica en kWh realizadas en la UEA son próximos a los valores de consumo de energía eléctrica en kWh de las planillas reales emitidas por la EEASA.

La Tabla (2, 3) se empleó por cada fuente de consumo eléctrico definido anteriormente, mas no se visualizó en los resultados por la extensión de contenido (Ver Anexo 4, 6), sin embargo, el primer resultado de la estimación actual se representa a través de un gráfico de barras el cual resumió que existe 14 fuentes de consumo eléctrico en la UEA.

De igual manera con la ecuación (1) se pudo prever el consumo eléctrico estimado a futuro, sumando al consumo eléctrico estimado actual, las construcciones predichas para el año 2021 (Ver anexo 5) que serán: el bloque L en donde la potencia se tomará de acuerdo a los toma corrientes e iluminaria diseñados por la UEA (Ver anexo 6, 7) y el bloque M que será una copia del bloque J. Al año 2025 se plantea según el departamento de planificación y evaluación interna de la UEA construir 3 bloques académicos, los cuales serán una copia del bloque J, por lo que estos datos se le sumarían al valor de consumo del 2021 (Ver anexo 8). Este resultado se visualiza a través de un gráfico de barras en donde se encuentran datos de los años 2017–2019, además la estimación del año 2021 y 2025 multiplicado por 12 meses.

3.4.3. CÁLCULO DE LA POTENCIA

Se calculó la potencia efectiva en kW del valor del mes y el año de mayor consumo según los datos de las planillas, también se calculó la potencia del valor de consumo de energía eléctrica de la estimación actual y a futuro del año 2021 y 2025, con la información del consumo de electricidad en kWh de la UEA, según Toledano *et al*. (2009) se utilizó la ecuación (2):

$$\boldsymbol{P} = \frac{\boldsymbol{E}}{\boldsymbol{t} * \boldsymbol{Fs} * (\boldsymbol{d/mes})} \qquad (2)$$

Donde:

E: Energía eléctrica, en (kWh)

P: Potencia, en (kW)

t: tiempo de uso en horas

Fs: factor de simultaneidad

d/mes: días del mes

En donde el factor de simultaneidad es de 0,9 debido a que se considera un consumo eléctrico del 90% en la UEA y al tiempo de uso se consideró el valor de 12 horas, tomando en cuenta que la jornada administrativa trabajan de 8:00 – 17:00 y la académica 7:30 – 19:30; 22:30. Los días para los valores mensuales será de 30,5 y para la planilla anual será de 365. Los resultados obtenidos se visualizan en el formato de la Tabla (4).

Tabla 4. Formato para el cálculo de potencia eléctrica

CAMPOS	Planillas Mensual	Planilla Anual	Estimación Actual	Estimación al 2021	Estimación al 2025
Energía (kWh)					
Tiempo h					
Factor de simultaneidad					
Días					
Potencia (kWh)					

Fuente: Elaboración propia

3.4.4. COMPORTAMIENTO HÍDRICO DEL RÍO PUYO

El comportamiento hídrico del río Puyo se pudo analizar a través de dos fuentes de información: la una de manera bibliográfica tomada del proyecto de investigación "Caracterización hidrológica y geomorfológica de la subcuenca del río puyo en el tramo Fátima-sector puente km 2 ½ vía Puyo-Tena" de Alvarado & Apolo, (2019) quienes realizaron la medición del caudal en los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio del año 2019. La otra fuente para ampliar la información y contar con datos más exactos en la actualidad, fue a través de la medición in situ el 22 de octubre del 2019 en donde se aplicó la técnica de batimetría utilizando una vara de 3 metros para medir la profundidad en dos puntos del río, la separación del punto 1 al punto 2 fue de 10 metros río abajo, la medición de la profundidad se lo realizó cada metro a lo ancho de cada punto, posteriormente con una piola y un nivel se determinó la pendiente que existe desde el punto 1 al punto 2, según Pastora (2010) se emplearon las siguientes ecuaciones.

La pendiente se calculó con la ecuación (3):

$$\boldsymbol{S = \frac{H}{D}} \tag{3}$$

Donde:

S: Pendiente media de la cuenca, en (m)

H: Diferencia de altura, en (m)

D: Distancia horizontal tomada del cauce, en (m)

El perímetro del mojado se determinó con la ecuación (4):

$$\boldsymbol{C = \sqrt{(a)^2 + (b)^2}} \quad (4)$$

Donde:

C: Perímetro de mojado, en (m)

a: Diferencia de profundidad en cada metro, en (m)

b: Diferencia entre el ancho en el que fueron tomados las profundidades, en (m)

El área del mojado se determinó con la ecuación (5):

$$\boldsymbol{AM = Profundidad\ promedio * Ancho\ del\ río} \quad (5)$$

El radio hidráulico se determinó con la ecuación (6):

$$\boldsymbol{RH = \frac{Área\ de\ mojado\ promedio}{Perímetro\ de\ mojado\ promedio}} \quad (6)$$

La velocidad se determinó con la ecuación (7):

$$\boldsymbol{V = (\frac{1}{n}(RH)^{\frac{2}{3}} * (S)^{\frac{1}{2}})} \quad (7)$$

Donde (n) es una constante y cuyo valor es (0,03)

El caudal se determinó con la ecuación (8):

$$\boldsymbol{Q = Velocidad * Área\ de\ Perimetro\ mojado} \quad (8)$$

Se ejecutó las mediciones a través de la profundidad, tomando la primera vez como punto cero al espejo de agua del río Puyo, en el punto a la altura del puente km 2 ½ y con pintura roja se marcó cada 20 centímetros hasta la medida de 1,80 metros sobre el espejo de agua, las crecidas a partir del espejo de agua son los valores a considerar para el cálculo del caudal tomados cada 3 días, desde el 25 de octubre hasta el 13 de diciembre.

Mediante una gráfica de líneas se representará semanalmente la variación del caudal según las mediciones obtenidas de las dos fuentes de información en m^3/s durante el tiempo establecido; con la cota más baja de la gráfica se podrá conocer cuál es el caudal mínimo y se utilizará este valor para obtener el caudal ecológico según el Acuerdo Ministerial Nro. 155 (2007) empleando la ecuación (9):

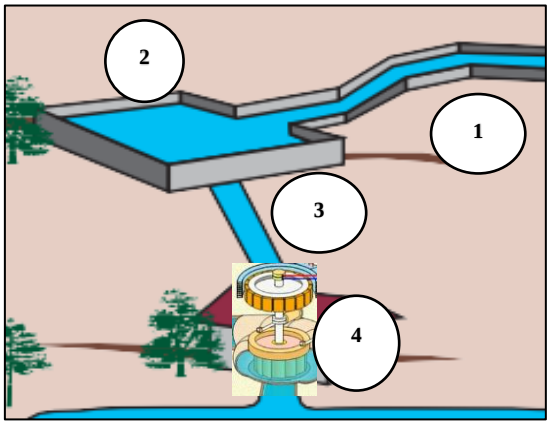
$$\boldsymbol{Q_{ECOL} = Caudal * 10\%} \quad (9)$$

Entendiendo a la diferencia del caudal ecológico como caudal útil de agua que existiría para la PCH de agua fluyente empleando la siguiente ecuación (10):

$$\boldsymbol{Q_{UTIL} = Q_{MINIMO} - Q_{ECOL}} \quad (10)$$

3.4.5. DIMENSIONAMIENTO DE LAS PRINCIPALES PARTES DE LA PCH

Con los valores ya obtenidos de potencia efectiva en W, caudal útil en m^3/s, velocidad del río m/s y el cálculo del salto neto en m, se dimensionó las partes principales de la PCH, considerando las siguientes: Canal de desvió, reservorio, tubería forzada y selección de la turbina.



1. Canal de derivación

2. Reservorio

3. Tubería forzada

4. Turbinas

Figura 4. Central de agua fluyente y sus partes

Fuente: IDAE, 2006

3.4.6. DIMENSIÓN DEL CANAL DE DESVIO PARA LA PCH

El canal de desvío se calculó tomando en cuenta la figura geométrica de un medio círculo, ya que será un canal a cielo abierto, la velocidad es la calculada con la ecuación (7). Según Aguilar *et al.* (2010) se aplicaron las siguientes ecuaciones.

La ecuación (11) para conocer el área:

$$\boldsymbol{A = \frac{Q}{V}} \quad (11)$$

Donde:

A: Área del canal del azud, en (m^2).

Q: Caudal útil, en (m^3/s)

V **:** Velocidad del caudal, en (m/s).

El radio se calculó con la ecuación (12):

$$\boldsymbol{r = \sqrt{\frac{2A}{\pi}}} \quad (12)$$

Donde:

A: Área del canal del azud, en (m^2)

***π*:** Relación matemática derivada de los círculos, su valor constante es de 3,1416

r: Radio, en (m)

El diámetro se calculó con la Ecuación (13):

$$\boldsymbol{d = 2r} \quad (13)$$

Donde:

d: Diámetro, en (m)

***r*:** Radio, en (m)

El perímetro del canal se calculó con la ecuación (14):

$$\boldsymbol{P = \pi * r} \quad (14)$$

Donde:

P: Perímetro, en (m)

r: Radio, en (m)

***π*:** Relación matemática derivada de los círculos, su valor constante es de 3,1416

3.4.7. CÁLCULO DE LA ALTURA (SALTO NETO)

Con el valor del caudal útil en m^3/s y la potencia en kW (dividiendo por 1000 para transformar en W) ya calculado, se pudo obtener la altura mínima de caída para las diferentes variables, según Carta *et al*. (2009) se empleó la ecuación (15):

$$\boldsymbol{H = \frac{P}{(Q * g * \rho * \eta_{total})}} \quad (15)$$

Donde:

P: Potencia, en (W)

Q: Caudal, en (m^3/s)

H: Diferencia altitudinal, en (m)

g: Constante de gravitación universal = 9,81 m/s^2

ρ: Densidad del agua = 1.000 kg/m3

$\boldsymbol{\eta_{total}}$: Eficiencia

Para mostrar los resultados se ocupó el formato de la Tabla (5), en donde se colocan como primer valor la potencia mensual de mayor consumo en la planilla, el segundo valor es la potencia anual de mayor consumo en la planilla, los tres valores restantes son las estimaciones mensuales ya calculadas por cada año. El caudal que se ocupó, es el valor calculado anteriormente con la ecuación (10) que es el caudal útil. La gravedad es una constante cuyo valor es 9,81 m/s^2 y la densidad cuyo valor constante es 1000 kg/m^3, se estima que exista una eficiencia del 90% por lo que el valor a usar es de 0,9.

Tabla 5. Formato para el cálculo de la altura (salto neto)

CAMPOS	Planillas Mensual	Planilla Anual	Estimación Actual	Estimación al 2021	Estimación al 2025
Potencia (W)					
Caudal (m^3/s)					
Gravedad (m/s^2)					
Densidad (kg/m^3)					
Eficiencia					
Altura					

Fuente: Elaboración propia

3.4.8. VOLUMEN DE RESERVA

Para el cálculo del volumen a retener se tomó en cuenta el volumen de reservas de otros proyectos hidroeléctricos en el Ecuador, dos megas hidroeléctricos que son la Coca codo Sinclair y la Agoyán, una pequeña central hidroeléctrica que es la Copal. Se investigó los datos del caudal y del volumen de reserva de estos proyectos, los cuales son: Coca codo Sinclair (Volumen 880000 m^3, Caudal 287 m^3/s), Agoyán (Volumen 1820000 m^3, Caudal 120 m^3/s), Copal (Volumen 5473 m^3, Caudal 36 m^3/s) (CBS INGENIERÍA, 2010).
con esta información se calculó el tiempo de reserva a través de la ecuación (16):

$$\boldsymbol{TR} = \frac{V}{Q} \tag{16}$$

Donde:

TR: Tiempo de retención, en (s)

V: Volumen, en (m^3)

Q: Caudal, en (m^3/s)

Posteriormente a los valores obtenidos del tiempo de retención de las tres hidroeléctricas se les multiplico con el caudal útil del río Puyo, conociendo los diferentes volúmenes que se usaron poder dimensionar los diferentes escenarios del reservorio.

3.4.9. DIMENSIÓN DEL RESERVORIO PARA LA PCH

El reservorio se calculó tomando en cuenta la figura geométrica de una pirámide invertida, ya que la presión está dirigida hacia la punta, mas no a los lados como en un cubo provocando pérdidas en la producción de energía eléctrica de la turbina, se realizó 6 escenarios: teniendo como datos para los tres primeros el valor de la altura mayor calculada anteriormente y el valor de los tres volúmenes calculados según los datos bibliográficos de proyectos ya ejecutados, teniendo como datos para los tres restantes los mismos volúmenes pero calculados con una altura de 10 metros considerando este valor para disminuir el impacto que se puede generar en el medio. Según Aguilar *et al.*, (2010) se aplicaron las siguientes ecuaciones.

Se obtuvo el área de la base de la pirámide con la ecuación (17):

$$\boldsymbol{A_B = \frac{3V_T}{H}} \tag{17}$$

Donde:

$\boldsymbol{A_B}$: Área de la base, en (m^2)

$\boldsymbol{V_T}$: Volumen de la pirámide, en (m^3)

$\boldsymbol{H}$: Altura, en (m)

Para conocer la medida de la arista de la base se utilizó la ecuación (18):

$$\boldsymbol{L = \sqrt{A_B}} \tag{18}$$

Donde:

$\boldsymbol{L}$: Arista de la base, en (m)

$\boldsymbol{A_B}$**:** Área de la base, en (m^2)

La apotema del reservorio se calculó con la ecuación (19):

$$\boldsymbol{ap = \sqrt{H^2 + ap_b^2}} \tag{19}$$

Donde:

$\boldsymbol{ap}$**:** Apotema, en (m)

$\boldsymbol{H}$**:** Altura, en (m)

$\boldsymbol{ap_b}$: Apotema de la base de la pirámide la cual es $\sqrt{A_B}/2$

El área lateral del reservorio se calculó con la ecuación (20):

$$\boldsymbol{A_L = \frac{Pa}{2}} \quad (20)$$

Donde:

$\boldsymbol{A_L}$**:** Área Lateral, en (m^2)

$\boldsymbol{Pa}$**:** Arista de la base por la apotema por los cuatro lados, en (m^2)

El área total del reservorio se calculó con la ecuación (21):

$$\boldsymbol{A_T = A_L + A_B} \quad (21)$$

3.4.10. DIMENSIÓN DE LA TUBERÍA FORZADA PARA LA PCH

La tubería forzada se calculó tomando en cuenta la figura geométrica circular debido a que es un tubo cerrado, teniendo los datos del caudal útil y de velocidad de igual manera que en el canal de desvío, Según Aguilar *et al.,* (2010) se aplicaron las siguientes ecuaciones:
Se puede calcular el área empleando la ecuación (22):

$$\boldsymbol{A = \frac{Q}{V}} \quad (22)$$

Donde:

$\boldsymbol{A:}$ Área del canal del azud, en (m^2).

$\boldsymbol{Q}$*:* Caudal útil, en (m^3/s)

$\boldsymbol{V}$ **:** Velocidad del caudal, en (m/s)

Luego se calculará el radio con la ecuación (23):

$$\boldsymbol{r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}} \quad (23)$$

Donde:

$\boldsymbol{A:}$ Área de entrada de la tubería, en (m^2).

$\boldsymbol{\pi}$**:** Relación matemática derivada de los círculos, su valor constante es de 3,1416

$\boldsymbol{r}$: Radio, en (m)

El diámetro de la tubería forzada se calculó con la ecuación (24):

$$\boldsymbol{d = 2r} \quad (24)$$

Donde:

$\boldsymbol{d}$: Diámetro, en (m).

$\boldsymbol{r}$**:** Radio, en (m)

El perímetro de la tubería forzada se calculó con la ecuación (25):

$$\boldsymbol{P = 2\pi * r} \qquad (25)$$

Donde:

$\boldsymbol{r}$: Radio, en (m)

$\boldsymbol{\pi}$**:** Relación matemática derivada de los círculos, su valor constante es de 3,1416

Para el largo de la tubería forzada se empleará la altura ya calculada anteriormente o la distancia prevista a la casa de máquinas.

3.4.11. SELECCIÓN DE LA TURBINA PARA LA PCH

Para seleccionar la turbina se tomó en cuenta el dato de caudal útil obtenido de la ecuación (10) y el valor de la altura (salto neto) obtenido de la ecuación (15). Las Figuras (5, 6) muestran diferentes turbinas según diferentes autores que pueden ser utilizadas según nuestros datos, en el eje X se representa el caudal en m^3/s y en el eje Y se representa la altura en m, la intersección de estos puntos mostrará que turbinas es la adecuada para este proyecto.

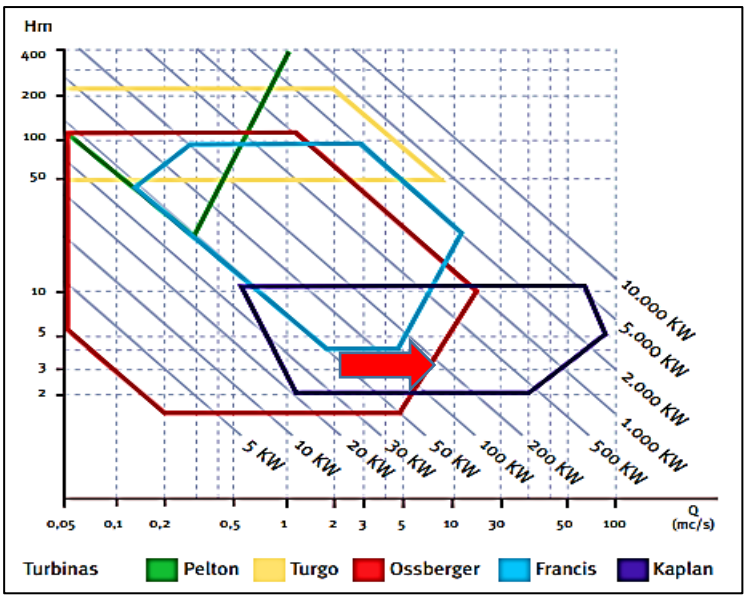


Figura 5. Campo de utilización de los diferentes tipos de turbinas

Fuente: IDAE, 2006

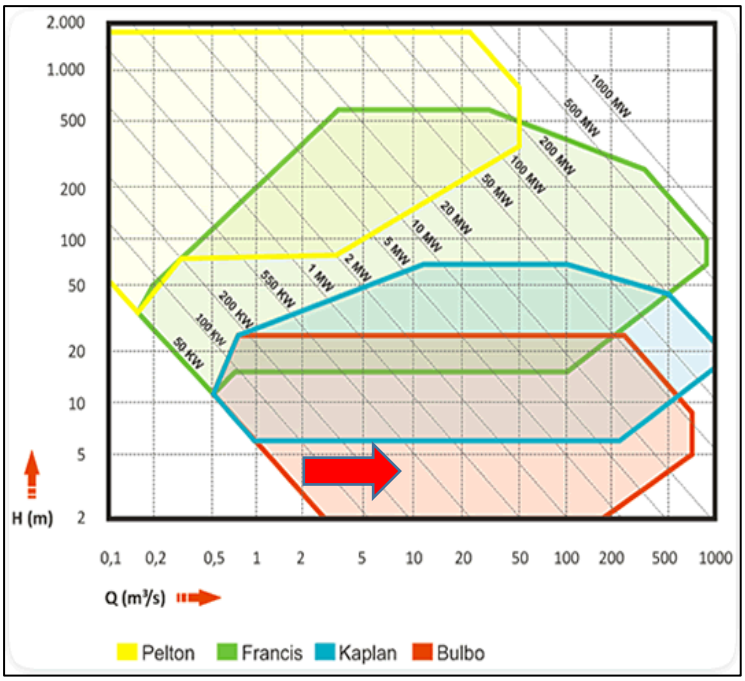


Figura 6. Gráfico con campo de aplicación típico de turbinas hidráulicas

Fuente: Hacker, 2011.

Los resultados se visualizan a través de flechas rojas en las Figuras (5, 6) y además de imagines animadas de las turbinas seleccionadas.

CAPÍULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. INDAGACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO MENSUAL DE LA UEA

Se recopilo 36 datos del consumo eléctrico desde el año 2017 al 2019 (ver Anexo 1,2,3). En la Figura (7) se visualiza que los meses de mayor consumo eléctrico son enero, mayo, octubre y noviembre independientemente del año. El mes de mayor consumo fue de octubre del año 2018 con 64890 kWh y el mes de menor consumo fue febrero del 2017 con 35490 kWh.

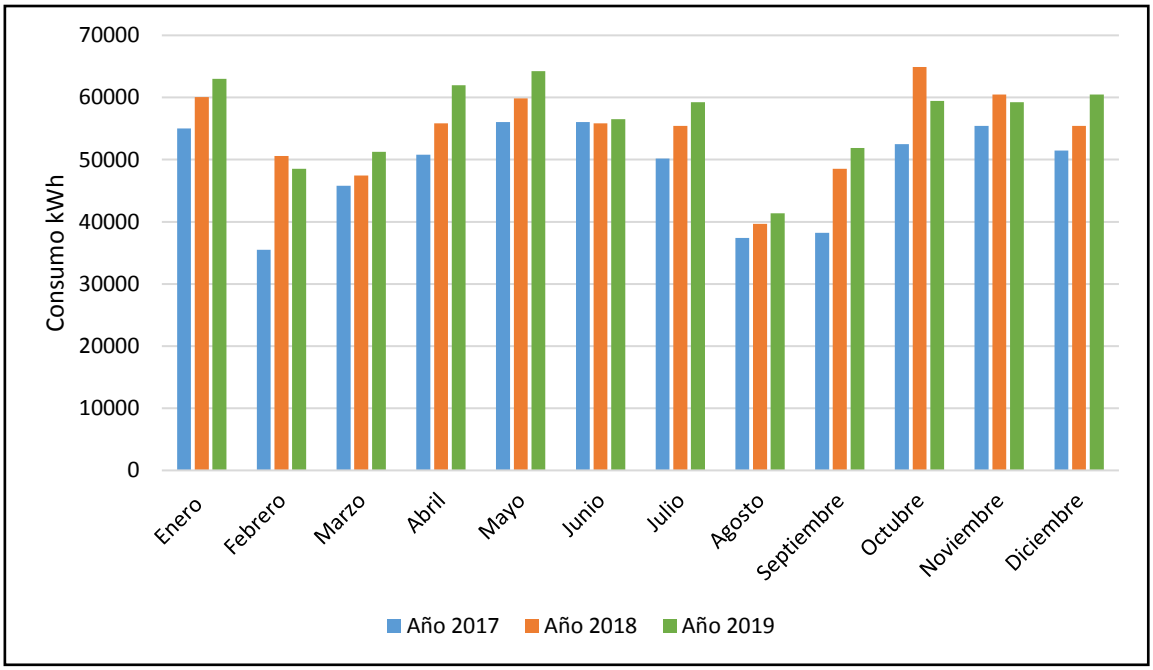


Figura 7. Consumo eléctrico del año 2017, 2018, 2019

Fuente: EEASA 2019.

Se visualiza en la Figura (7) que los meses de menor consumo son febrero, marzo agosto y septiembre debido a que en estos meses se suspende la jornada académica debido a finalización de semestre, al contrario de los meses que muestran un mayor consumo debido a las jornadas académicas normales.

4.2. INDAGACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL DE LA UEA

En la Figura (8) se puede visualizar que del año 2017 al 2018 ha existido un incremento de 69.720 kWh/año, del año 2018 al 2019 ha existido un incremento de 22.840 kWh/año y un bloque asignado para aulas de clases, pero aún no se encuentran en funcionamiento por lo cual el valor en la planilla eléctrica no ha incrementado representativamente como en el del año 2017 al 2018.

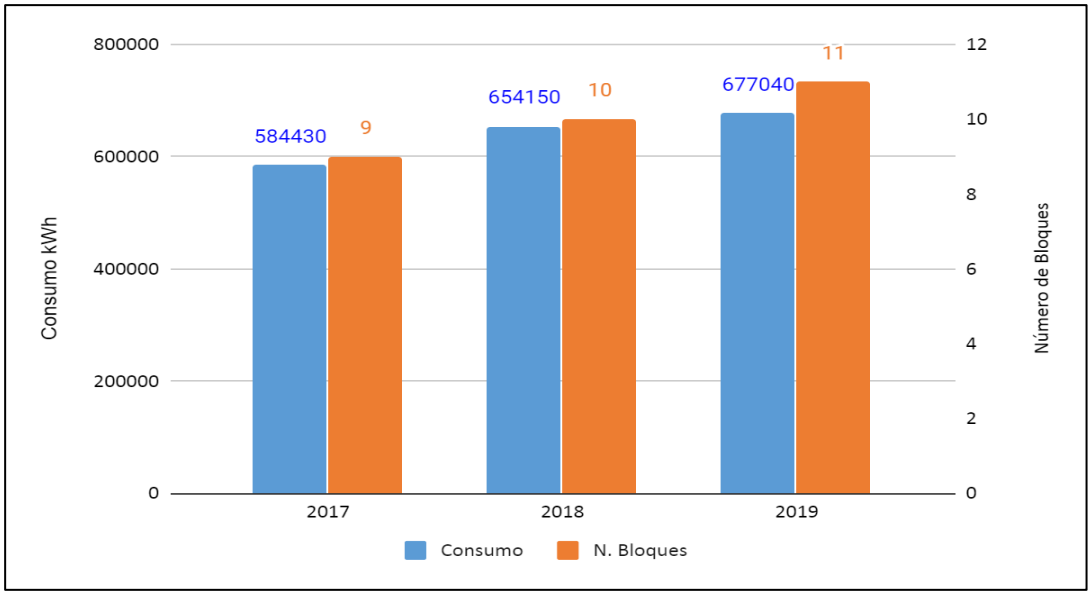


Figura 8. Consumo eléctrico anual

Fuente: EEASA 2019.

En la Figura (8) se observa un incremento de consumo eléctrico en el transcurso de los 3 años, debido a que del año 2017 al año 2018 se construyó un bloque denominado J, por lo que se visualiza un gran incremento en el consumo eléctrico, del año 2018 al 2019 de igual manera se construyó un bloque denominado K, que por el momento su consumo eléctrico es mínimo debido a que aún no se encuentra equipado para el funcionamiento académico.

4.3. CÁLCULO ESTIMADO DEL CONSUMO ELÉCTRICO MENSUAL POR BLOQUES

En la Figura (9) se observa que el bloque de mayor consumo, es el bloque D con 14.257,64 kWh/mes, debido a que es el bloque más grande y cuenta con 3 salas de profesores, 4 oficinas administrativas, 3 laboratorios de informática, 2 laboratorios de agroindustria y el auditorio principal. Siendo el Bloque K el de menor consumo con

234,24 kWh/mes, debido a que aún no se encuentra equipado para el funcionamiento académico (ver Anexo 4).

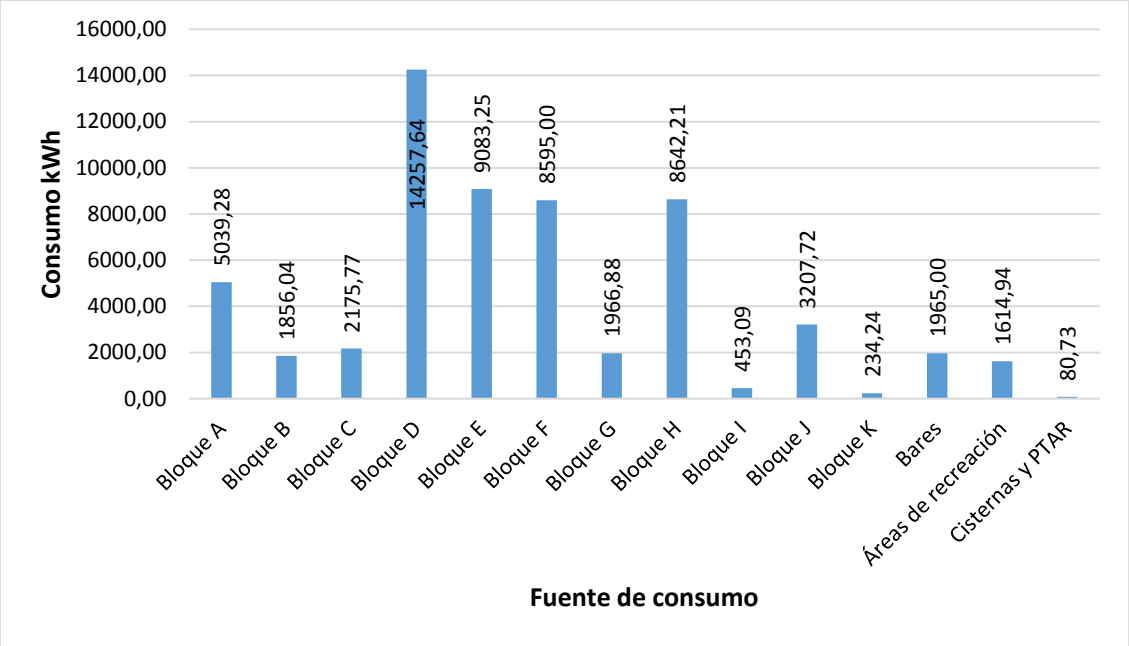


Figura 9. Estimación del consumo eléctrico mensual por bloque de la UEA hasta 2019
Fuente: Elaboración propia

La estimación del consumo eléctrico de la universidad presenta un valor total de 59.171,80 kWh/mes, mientras que el promedio del consumo eléctrico del año 2019 según las planillas electrónicas de la EEASA es de 56.420 kWh/mes, siendo la estimación 4,88% mayor al promedio del año 2019.

4.4. CÁLCULO ESTIMADO DEL CONSUMO ELÉCTRICO POR BLOQUES A FUTURO

Según la Figura (10) existe un notable incremento del consumo eléctrico durante el transcurso de los años. En el año 2021 el promedio de consumo eléctrico mensual se estima que sea de 83.109,85 kWh/mes y el consumo anual será de 997.318,25 kWh/año, para el año 2025 el promedio de consumo eléctrico mensual se estima que sea de 92.748,85 kWh/mes y el consumo anual será de 1.112.986,14 kWh/año (ver Anexo 8).

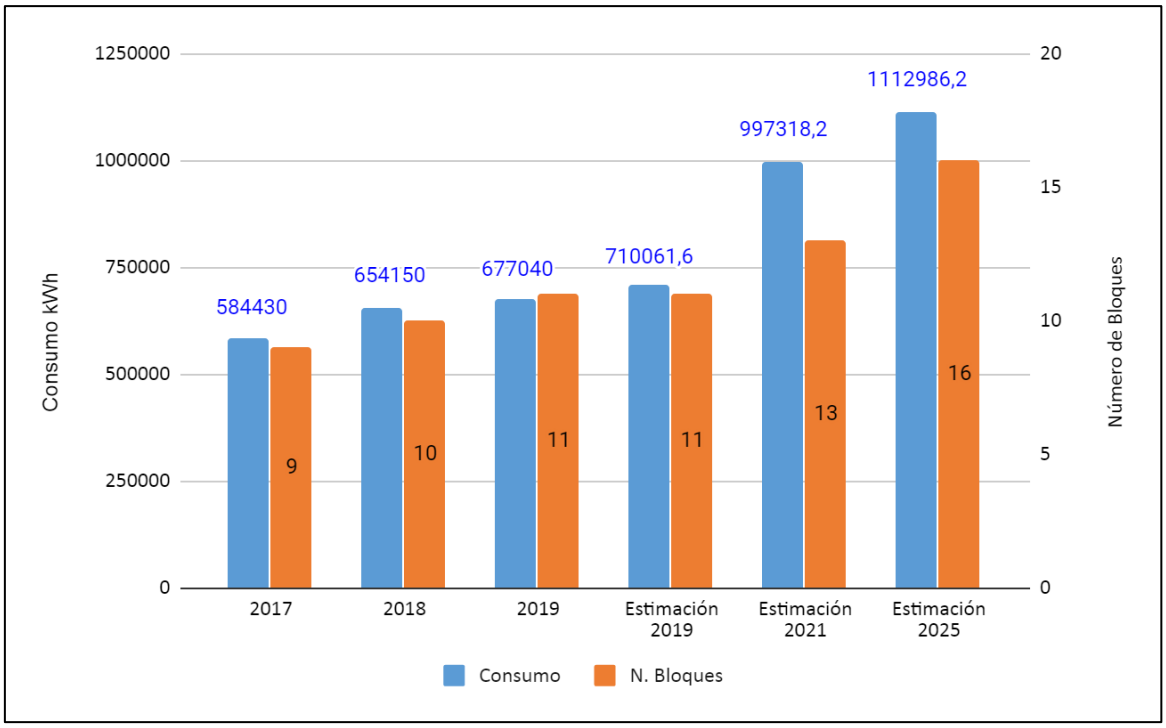


Figura 10. Consumo eléctrico actual y su estimación al futuro

Fuente: Elaboración propia cambiado de (EEASA 2019)

En la Figura (10) se observa un incremento en el año 2021 debido a la construcción del Bloque L (Comunicación social) en donde se estima que consuma 17.704,62 kWh/mes y el bloque M al ser una copia del bloque J se estima que consuma 3.207,72 kWh/mes. Al año 2025 se prevé la construcción de tres bloques más, posiblemente similares al bloque J, estimando un consumo total de 9.623,16 kWh/mes

4.5. CÁLCULO DE LA POTENCIA USADA EN LA UEA SEGÚN DIFERENTES VARIABLES

En la Tabla (6) el cálculo realizado con el valor más alto de consumo eléctrico de las planillas mensuales fue del mes de octubre del 2017 con un valor de 64.890 kWh obteniendo una potencia efectiva de 196,99 kW, el mayor consumo de electricidad anual de las planillas fue el año 2019 con un valor de consumo de 677.040 kWh obteniendo una potencia efectiva de 171,75 kW, la electricidad aproximada actual por bloque es de 59.171,80 kWh obteniendo una potencia efectiva de 179,64 kW, con el valor de la electricidad aproximada al 2021 es de 83.109,85 kWh obteniendo una potencia efectiva de 252,31 kW y con el valor de la electricidad aproximada al 2025 de 92.748,05 kWh se obtuvo una potencia efectiva de 281,57 kW.

Tabla 6. Energía y potencia eléctrica usada en el campus Puyo de la UEA.

CAMPOS	Planillas Mensual	Planilla Anual	Estimación Actual	Estimación al 2021	Estimación al 2025
Energía (kWh)	64890	677040	59171,80	83109,85	92748,85
Tiempo h	12	12	12	12	12
Factor de simultaneidad	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Días	30,5	365	30,5	30,5	30,5
Potencia (kW)	196,99	171,75	179,64	252,31	281,57

Fuente: Elaboración propia cambiado de (EEASA 2019)

La potencia calculada con la estimación del consumo eléctrico al año 2025 es la de mayor valor, por la que se considerará para realizar las dimensiones de la Pequeña Central Hidroeléctrica, aunque este valor podría variar dependiendo de las construcciones de infraestructura que se realicen en la UEA.

4.6. COMPORTAMIENTO HÍDRICO DEL RÍO PUYO

En las Tablas (7, 8) se visualizan los valores de las mediciones realizadas in situ del río Puyo, teniendo como resultados con ayuda de las ecuaciones los valores mostrados en la Tabla (9). Las mediciones de la crecida del río se realizaron cada 3 días, igualando a 4 semanas por mes (Ver Anexo 9).

Tabla 7. Mediciones del caudal en el primer punto

Medida a 10 m. arriba del puente km 2 1/2							
Longitud (m)	1	2	3	4	5	6	6,57
Profundidad (m)	0,73	1,66	2,6	2,67	2,6	0,54	0
DH (diferencia de altura)	0,73	0,93	0,94	0,07	-0,07	-2,06	-0,54
ABSOLUTOS	0,73	0,93	0,94	0,07	0,07	2,06	0,54
C (perímetro del mojado)	1,24	1,37	1,37	1,00	1,00	2,29	1,14
Profundidad promedio	1,54						
Perímetro	9,41						
Área de mojado (m^2)	10,14						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Mediciones del caudal en el segundo punto

Medida a nivel del puente km 2 ½										
Longitud (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9,2
Profundidad (m)	1,03	1,35	1,91	1,92	1,75	1,59	1,44	0,22	0,2	0
DH (diferencia de altura)	1,03	0,32	0,56	0,01	-0,17	-0,16	-0,15	-1,22	-0,02	-0,2
ABSOLUTOS	1,03	0,32	0,56	0,01	0,17	0,16	0,15	1,22	0,02	0,2
C (perímetro del mojado)	1,44	1,05	1,15	1,00	1,01	1,01	1,01	1,58	1,00	1,02
Profundidad promedio	1,14									
Perímetro	11,27									
Área de mojado (m^2)	10,50									

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Resultados del caudal

Resultados del caudal	
Perímetro promedio (m)	10,34
Área promedio (m^2)	10,32
RH (radio hidráulico, en m)	1,00
Pendiente (m)	0,0025
n (constante)	0,03
Velocidad (m/s)	1,66
Caudal (m^3/s)	17,17

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados obtenidos de las mediciones de caudal y conjuntamente con la información de una fuente bibliográfica, se aglomeró información del caudal de los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, octubre, noviembre y diciembre del año 2019. Determinando en la Figura (11) el caudal mínimo del año 2019 en la semana 4 del mes de marzo con 9,13 m^3/s, considerando este valor para determinar el caudal ecológico que es 0,9 m^3/s y teniendo como caudal útil 8,21 m^3/s. El promedio anual del caudal es 25,85 m^3/s.

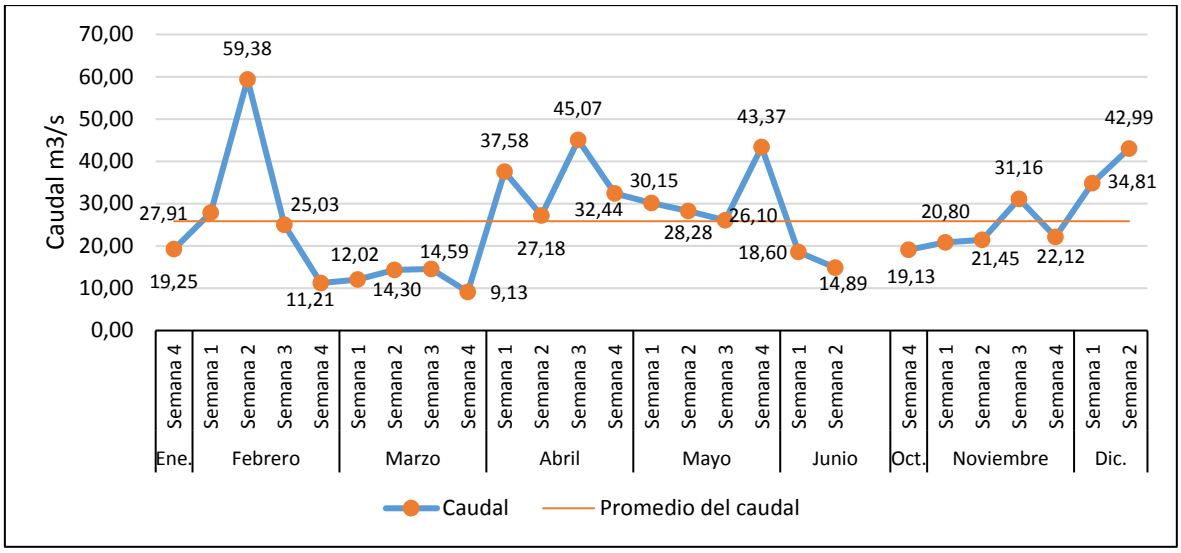


Figura 11. Comportamiento hídrico del río Puyo

Fuente: Elaboración propia cambiado de (Alvarado & Apolo, 2019)

Se puede observar en la Figura (11) que el caudal máximo obtenido de la información bibliográfica fue en la semana 2 del mes de febrero con 59,38 m^3/s, mientras que el caudal máximo obtenido durante las mediciones in situ realizadas en este proyecto fue en la semana 2 del mes de diciembre con 42,99 m^3/s. Además, se utilizó el 90% del caudal mínimo registrado en el año 2019 como caudal útil, el cual representa el 32% del caudal promedio.

4.7. DIMENSIÓN DEL CANAL DE DESVIO PARA LA PCH

Conociendo el caudal útil del río Puyo de 8,21 m^3/s, y la velocidad de 1,66 m/s que se visualiza en la Tabla (9), se dimensionó un canal de desvío por donde se dirigirá el agua al tanque de reserva, considerando a este canal como una figura geométrica de medio circulo, obteniendo como radio 1,77 metros, el diámetro de 3,55 metros, el perímetro de 5,57 metros y el área de 4,94 metros (ver Anexo 10).

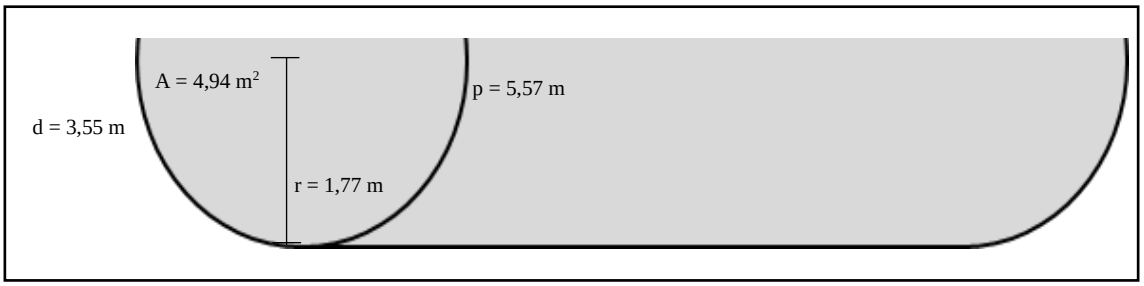


Figura 12. Dimensión del canal de desvío

Fuente: Elaboración Propia

La distancia no se calcula, ya que es dependiente del desvío del río hasta el reservorio.

4.8. CÁLCULO DE LA ALTURA (SALTO NETO) SEGÚN LAS DIFERENTES POTENCIAS

En la Tabla (10) la potencia calculada del valor más alto de consumo eléctrico de las planillas mensuales es de 196.994,54 W obteniendo una altura de 2,72 m, el mayor consumo de electricidad anual de las planillas fue el año 2019 con una potencia calculada de 171.750,38 W obteniendo una altura de 2,37 m, la potencia calculada estimada en la actualidad es de 179.635,09 W obteniendo una altura de 2,48 m, con la potencia calculada estimada al 2021 de 252.306,78 W se obtuvo una altura de 3,48 m y con la potencia calculada estimada al 2025 de 281.569,05 W se obtuvo una altura de 3,88 m.

Tabla 10. Cálculo de la altura (salto neto)

CAMPOS	Planillas Mensual	Planilla Anual	Estimación Actual	Estimación al 2021	Estimación al 2025
Potencia (W)	196994,54	171750,38	179635,09	252306,78	281569,05
Caudal (m^3/s)	8,21	8,21	8,21	8,21	8,21
Gravedad (m/s^2)	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
Densidad (kg/m^3)	1000	1000	1000	1000	1000
Eficiencia	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Altura (m)	2,72	2,37	2,48	3,48	3,88

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla (10) se calcularon diferentes alturas según los valores calculados del consumo de energía eléctrica, considerando que la potencia aumentará debido al incremento de infraestructura en la UEA. La altura mayor de 3,88 m se consideró como la más adecuada para el dimensionamiento de la PCH.

4.9. VOLUMEN DE RESERVA EN COMPARACIÓN CON PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS DEL ECUADOR

En la Tabla (11) se puede observar el tiempo de retención calculado de las diferentes centrales hidroeléctricas y que se multiplicó al caudal útil para la PCH de 8,21 m^3/s, obteniendo los posibles volúmenes a reservarse.

Tabla 11. Volumen para el reservorio

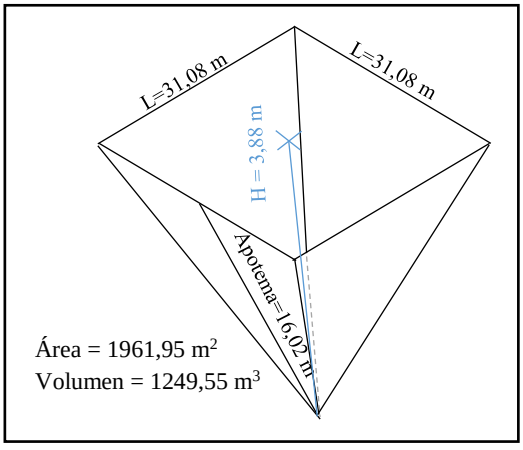
Proyectos Hidroeléctricos	Coca Codo Sinclair	Agoyán	Copal
Caudal (m3/s)	287	120	36
Volumen (m3)	880000	1820000	5473
Tiempo de retención (s)	3066	15167	152
Volumen para propuesta UEA (m3)	25188	124590	1249

Fuente: Elaboración propia

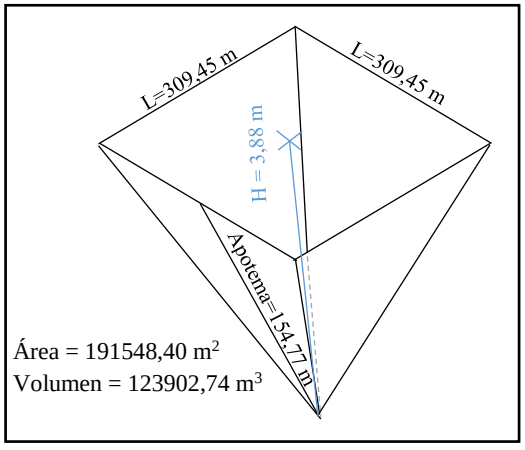
Dependiendo de la potencia a generar y el caudal que tienen las centrales hidroeléctricas se necesitan diferentes volúmenes de reserva, como se puede observar en la Tabla (11), en donde se escogió estas centrales para poder utilizar su tiempo de retención de agua y multiplicarlos al caudal útil de este proyecto, obteniendo 3 diferentes volúmenes de reserva y realizando diferentes escenarios para el dimensionamiento del reservorio. La coca codo Sinclair se escogió por ser la central hidroeléctrica que más genera electricidad en el Ecuador, la Agoyán por ser la hidroeléctrica más cercana al área de estudio y la Copal por ser un proyecto hidroeléctrico que tiene características similares al de esta propuesta.

4.10. DIMENSIÓN DEL RESERVORIO PARA LA PCH

Para la dimensión del reservorio se realizó seis diferentes escenarios utilizando los volúmenes ya calculados (ver Tabla 11), tomando para los tres primeros escenarios la altura (salto neto) calculado anteriormente de 3,88 m (ver Tabla 10) y los tres siguientes escenarios son los mismos valores de volúmenes ya calculados, pero utilizando una altura mayor de 10 metros (ver Figura 13) (ver Anexo 10).



A.



B.

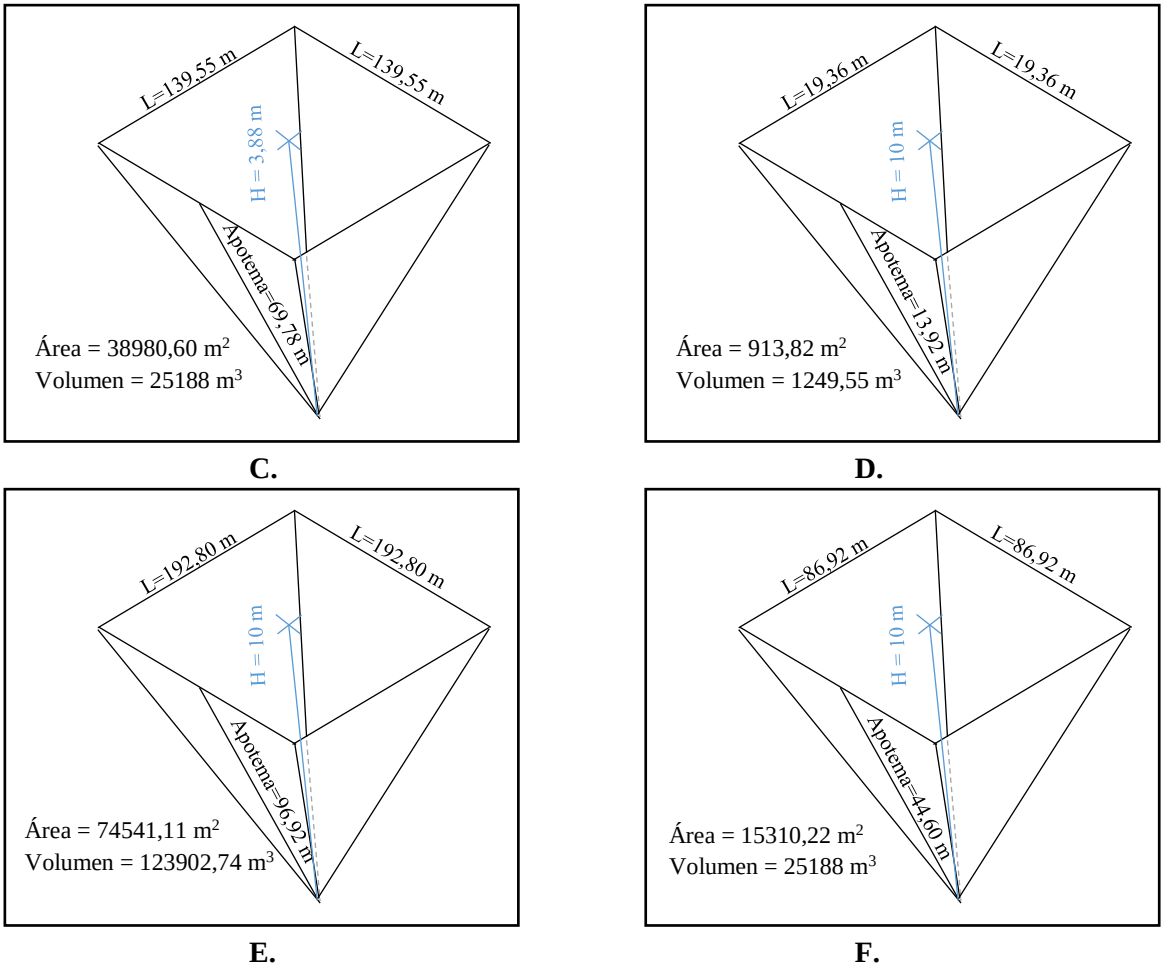


Figura 13. Escenarios del dimensionamiento para el reservorio de la PCH

A. Reserva en comparación a hidroeléctrica Copal con la altura calculada. **B.** Reserva en comparación a hidroeléctrica Agoyán con la altura calculada. **C**. Reserva en comparación a hidroeléctrica Coca codo Sinclair con la altura calculada. **D.** Reserva en comparación a hidroeléctrica Copal con la altura a 10 metros **E.** Reserva en comparación a hidroeléctrica Agoyán con la altura a 10 metros **F.** Reserva en comparación a hidroeléctrica Coca codo Sinclair con la altura a 10 metros.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura (13) se observa que los escenarios A y D son los que presentan valores más pequeños, en donde el área de construcción será menor generando menos impactos negativos en el ambiente, a diferencia de los escenarios B, C, E, F, que necesitan una mayor área de construcción y por ende se generara mayor impacto negativo en el área de influencia. A consideración se escoge el escenario D como el óptimo para esta PCH, porque al tener mayor altura (salto neto) se generará más potencia y el área de la base será menor, necesitando menor área de deforestación e inundación. La nueva altura de 10 metros generará una mayor potencia efectiva de 725,28 kW.

4.11. DIMENSIÓN DE LA TUBERIA FORZADA

Conociendo el caudal útil del río Puyo para la PCH que es de 8,21 m^3/s y la velocidad de 1,66 m/s que se visualiza en la Tabla (9), se debe construir una tubería forzada después del tanque de reserva y posteriormente transformar la energía cinética en energía eléctrica, se le tomara en cuenta a esta tubería forzada como una figura geométrica de circulo, teniendo como radio 1,25 metros, el diámetro de 2,51 metros, el perímetro de 7,87 metros y el área de 4,94 metros. La altura se tomará en cuenta la ya calculada y puesta en el reservorio (Ver Figura 14) (ver Anexo 10)

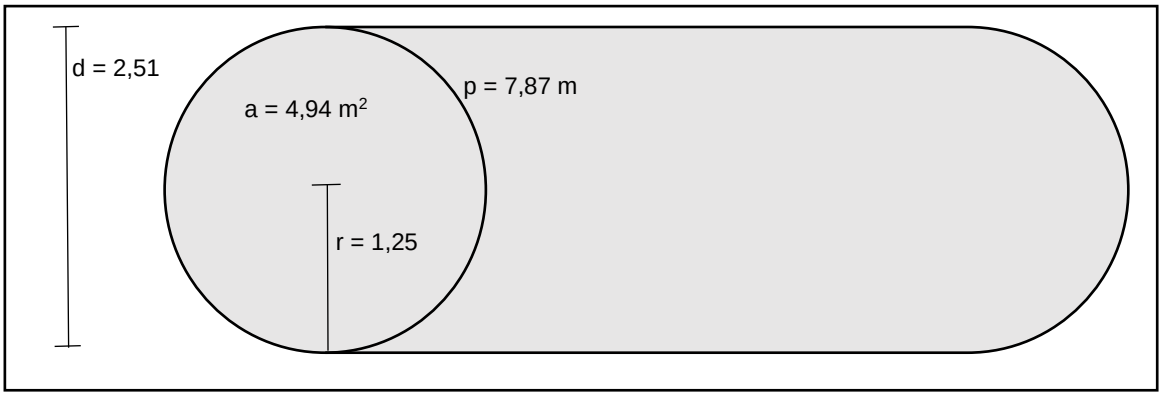


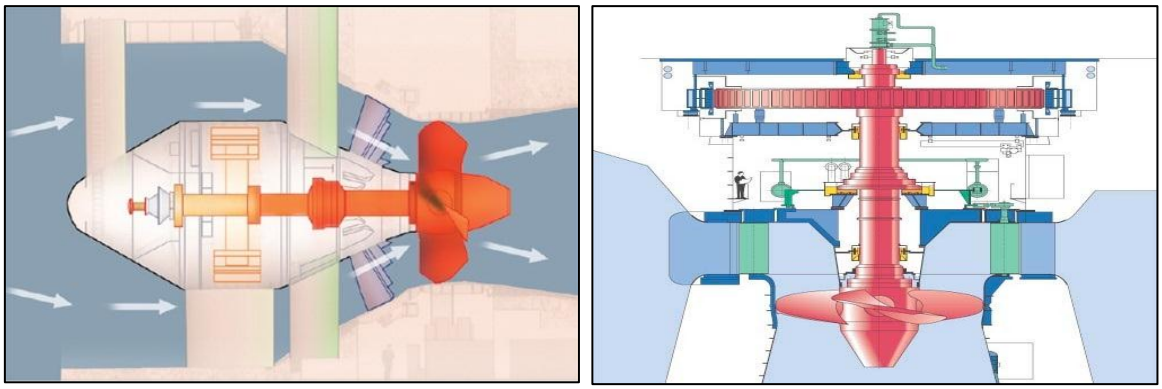
Figura 14. Dimensionamiento de la tubería forzada

Fuente: Elaboración propia.

La distancia no se calcula, ya que depende de la distancia de la tubería forzada a donde se encuentre la turbina (Ver Figura 14)

4.12. TIPO DE TURBINA HIDROELÉCTRICA

Según los resultados obtenidos en la Tabla (4 y 5), se observa que la altura de diseño es de 3,88 metros y con esta altura se puede producir la potencia de 281.569,05 W suficiente para abastecer la demanda eléctrica de la UEA hasta el 2025, según la flecha roja en la Figura (5) con la altura ya mencionada y el caudal útil del río de 8,21 m^3/s, se puede seleccionar la turbina Kaplan (ver Figura 16) y según la flecha roja de la Figura (6) se puede seleccionar la turbina Bulbo (ver Figura 15).



A. Turbina Bulbo **B.** Turbina Kaplan

Figura 15. Diseños de Turbinas

Fuente: Rodríguez, 2008

Las turbinas Kaplan son turbinas de reacción y de admisión total, cuyo funcionamiento es adecuado a pequeños saltos (hasta 50 m) y caudales medios y grandes (15 m3/s). La dirección de los ejes de la turbina es vertical, mientras que la turbina Bulbo se emplea para saltos pequeños y variaciones de caudal alto. Por factibilidad se propone optar por la turbina Kaplan.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La Universidad Estatal Amazónica campus central consumió 677.040 kWh en el año 2019 y para el año 2025 se estima que consuma 1.112.986,14 kWh. La potencia necesaria para abastecer a la UEA actualmente es de 196.994,54 W y para el 2025 se prevé que la potencia sea de 281.569,05 W.

- El río Puyo en el tramo del puente km 2 ½ en el año 2019 tiene un caudal promedio de 25,85 m^3/s, un caudal mínimo de 9,13 m^3/s, un caudal máximo de 59,38 m^3/s, con una velocidad de 1,66 y siendo el caudal útil para la PCH de 8,21 m^3/s.

- El área del canal de desvío es de 4,94 m, su radio de 1,77 m, el diámetro de 3,55 m, el perímetro de 5,57 m y la distancia será desde el punto de desvío hasta la ubicación del reservorio. El reservorio se escogió el escenario D, el cual tiene un área de 913,82 m^2, un volumen de 1.249,55 m^3, una altura de 10 metros y los lados de la base de 19,36 m. El área de la tubería forzada es de 4,94 m, su radio de 1,25 m, el diámetro de 2,51 m, el perímetro de 7,87 m y la distancia será el reservorio hasta la ubicación de la turbina. La turbina según el caudal útil del río de 8,21 m^3/s y el salto neto de 3,88 m, se consideró la turbina Kaplan.

- El potencial hídrico del río Puyo es apto para poder satisfacer la demanda eléctrica de la UEA actual y a futuro, con la ayuda de la implementación de una PCH de agua fluyente, la cual generará impactos negativos poco significativos al ambiente, además con las dimensiones realizadas se prevé que la potencia efectiva a generar sea de 725.278,30 W.

5.2. RECOMENDACIONES

- La medición de caudal se debería realizar en diferentes puntos del río y en un tiempo más prolongado, anexando estudios de evaporación, precipitación e infiltración, para tener mayor exactitud y poder estimar a futuro el comportamiento hídrico del río Puyo.

- Para proyectos futuros realizar un estudio ambiental sobre esta propuesta, el cual incluya una línea base, identificar los impactos que puede generar este proyecto, evaluar dichos impactos y realizar planes de manejo ambiental.

- Para proyectos futuros se puede tomar de ejemplo este proyecto para implementarlas en otros lugares como en comunidades que se encuentren apartadas del sistema interconectado de electricidad y que estén cercanos a un afluente.

- En caso de que la universidad consuma más energía eléctrica, se podría modificar la tubería forzada dándole una mayor caída neta hacia la turbina o aumentando turbinas secuenciales.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, A. (1992). El reto de las Energías en las próximas décadas. Ecuador Siglo XI, Proyecto CONADE/GTZ. Obtenido de: http://biblioteca.iaen.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=27224. Acceso el 9.12.2019.

Aguilar, A., Bravo, F., Gallegos, H. (2010). Geometría, trigonometría y geometría analítica. Madrid, España. Pearson.

Alvarado, O., y Apolo, A. (2019). *Caracterización hidrológica y geomorfológica de la subcuenca del río puyo en el tramo Fátima-sector puente km 2 ½ vía puyo-tena* (Proyecto de investigación de pregrado). Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador.

Amaya, F., Hernández, D., Villegas, D. (2009). Estudio de las micro y mini plantas eléctricas hidráulicas (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador. El Salvador.

ARCE. Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (Julio de 2019). Balance Nacional de Energía Eléctrica.
Obtenido de https://www.regulacionelectrica.gob.ec/balance-nacional/

Borrero, A. (2010). Estudio de impacto ambiental definitivo de retiro de la central termoeléctrica de Money. Cuenca: ELECAUSTRO S.A. Obtenido de http://www.elecaustro.com.ec/jdownloads/Manejo%20Ambiental%20-%20Monay/infmonay.pdf Acceso el 8.10.2019.

Carta, J. A., Calero, R., Colmenar, A. y Castro (2009): Centrales de energías renovables. Generación eléctrica con energías renovables. Madrid.

Castaño, S. R. (2009). *Redes de Distribución de Energía* (Vol. III). Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Castillo, L., Maicelo, J., Vigo, C., Castro, J., y Oliva, S. (2012). Análisis morfométrico y batimétrico del lago Pomacochas (Perú). Revista científica INDES 2(2): 90-97, ISSN: 2310-0664º. DOI: 10.25127/indes.201402.009. Obtenido de: http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDES/article/view/103/193.
Acceso el 2.11.2019.

CBS INGENIERíA. (2010). Obtenido de: http://www.centralhidroelectrica.com/diseno.html. Acceso el 9.10.2019.

CFE - Comisión Federal de Electricidad. (2015). Turbina Hidráulica Tipo Bulbo. México. Obtenido de: https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/o/W8300-28.pdf.

CONELEC (2008). Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica. Obtenido de: http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf. Acceso 13.12.2019.

CONELEC (2011). "Cobertura de servicio eléctrico a nivel nacional". Obtenido de: http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10275&l=1. Acceso el 9.12.2019.

Congreso Nacional del Ecuador (1996). Ley del Régimen del Sector Eléctrico. [Ley 00 de 1996]. RO: 43. Quito.

Constitución de la República del Ecuador [Const.] (2008). Artículo 314 [Titulo VI]. Quito.

Criollo, X. & Quezada, C. (2011). *Diseño de una mini central de energía hidroeléctrica en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de cuenca* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca. Ecuador.

EEASA (2019): Planillas de consumo eléctrico en el campus Puyo de la UEA de los años 2017-2019. (Facturas no publicadas de la institución).

Fernández, M. & Carrillo, M. (2010). América sumergida. Impactos de los nuevos proyectos hidroeléctricos en Latinoamérica y el Caribe. Barcelona, España: Icara editorial, S.A.

Fernández, E., Carrión, S., Jaén, E., Luque, L., Vizcaino, A. (2017). Energía Hidráulica. I.E.S. Victoria Kent de Torrejón de Ardoz (Madrid). Obtenido de: http://www.educa.madrid.org/web/ies.victoriakent.torrejondeardoz/Departamentos/DFyQ/energia/e-3/energias.htm. Acceso el 27.10.2019.

Fundación Solar (2013). *Centrales hidroeléctricas de pequeña escala, la experiencia de la Fundación Solar en Guatemala*. Guatemala: Tritón imágenes y comunicaciones. Obtenido de: de:https://www.undp.org/content/dam/guatemala/06%20Centrales%20Hidroel%C3%A9ctricas%20peque%C3%B1a%20escala.pdf. Acceso el 27.10.2019.

Godoy, J. (2013). Desde Paute hasta Coca Codo Sinclair 40 años de hidroenergía en el Ecuador. Discurso alrededor de cambio de matriz energética. (Tesis de posgrado). Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. Ecuador

HACKER industrial (2011). Turbinas Hidráulicas Pelton. Obtenido de: http://www.hacker.ind.br/pelton.htm. Acceso en 02.12.2019.

IDAE - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Manuales de Energías Renovables: Minicentrales Hidroeléctrica. Madrid, España, 2006. Obtenido de: http://www.idae.es/index.php/idpag.16/relmenu.301/mod.pags/mem.detalle. Acceso el 5.11.2019.

Loboguerrero, J. (2016). Pequeñas centrales Hidroeléctricas. Revista de Ingeniería. Obtenido de: http://dx.doi.org/10.16924%2Friua.v0i44.925. Colombia.

MEER. Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (2012). Obtenido de: http://www.ccs.gob.ec/comofunciona.html. Acceso el 9.12.2019.

Minaya, V. & Villaroel, T. (2008). *Implementación del mercado del carbono en el desarrollo de centrales hidroeléctricas de pequeña escala en ecuador.* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. Obtenido de: https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8657/3/CD-1517.pdf

Morales, S., Corredor, L., Paba, J., Pacheco, L. (2014). Etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas: Contexto y criterios básicos de implementación. *Redalyc. DYNA 81* (184), pp. 178-185. Medellín.

Muñoz, J. P. (2016). Perspectiva de la Evolución de la Energía en el Ecuador. Loja: Universidad Nacional de Loja. Obtenido de: https://es.slideshare.net/jorgemunozv/matriz-energetica-ecuatoriana-v2-24655349. Acceso el 15.10.2019.

OLADE- Organización Latinoamericana de Energía, 2001. Minicentrales Hidroeléctricas (Manual para toma de decisiones). Obtenido de: http://biblioteca.olade.org/opactmpl/Documentos/old0230.pdf

Ortíz, R. (2001). *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Bogotá, Colombia: Mcgraw-Hill Interamericana. Obtenido de: http://www.bibvirtual.ucb.edu.bo:8000/opac/Author/Home?author=ORTIZ+FLOREZ%2C+RAMIRO.

Pastora, D. (2010*). Evaluación de la fórmula de Manning en el río Ostua.* (Tesis de posgrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Perez, S. & Renedo, C. (sf). *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Universidad de Cantabria, España. Obtenido de: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1307/course/section/1605/T09_2.pdf

PETROECUADOR. (2013). El Petróleo en el Ecuador la nueva era petrolera. Quito: Manthra Comunicación integral y Producción editorial. Obtenido de: https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/03/El-Petr%C3%B3leo-en-el-Ecuador-La-Nueva-Era.pdf. Acceso el 8.11.2019.

Rodríguez, A (2008). Física y Tecnología Energética. Departamento de Ingeniería Estructural y Mecánica. Obtenido de: https://ocw.unican.es/course/view.php?id=219&section=1. Acceso el 10.12.2019.

Schallenberg, J., Piernavieja, G., Hernández, C. (2008*). Energías renovables y eficiencia energética*. Primera Edición. Canarias, España: Instituto Tecnológico de Canarias.

Sucoshañay, D. (2016). *Propuesta para el ordenamiento ambiental de la cuenca del río Puyo, en la Amazonía Ecuatoriana* (Tesis de posgrado, Universidad de la Habana. Habana).

Toledano, J. C., de las Casas, J. M. y C. Bedoya. (2009): Rehabilitación de las instalaciones eléctricas en los edificios destinados principalmente a viviendas. En: Informes de la Construcción, vol. 61, 516, p. 67-82, octubre-diciembre 2009, ISSN 0020-0883, eISSN 1988-3234. DOI: 10.3989/ic.08.054. Obtenido de: http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/796/885. Acceso el 25.09.2019.

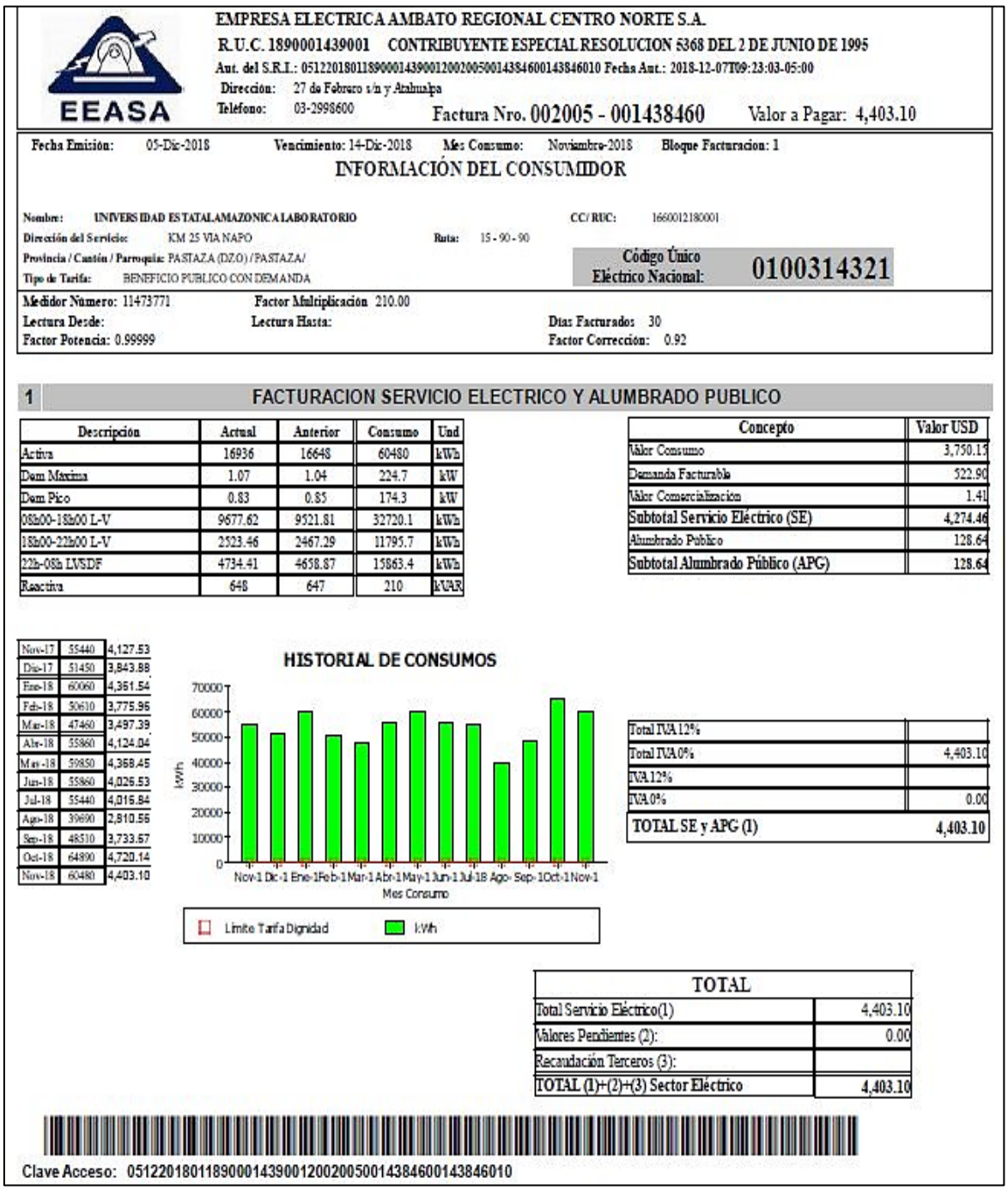
Tribunal Constitucional, 2007. Acuerdo Ministerial Nro 155. (Registro Oficial 41 del 14 de marzo del 2007). Obtenido de: http://www.efficacitas.com/efficacitas_es/assets/Registro%20Oficial%20Normas%20Tecnicas%20Ambientales.pdf. Acceso el 12.12.2019.

Vásquez, V. (2015). *Estudio y diseño de un sistema micro-hidroeléctrico para la generación y abastecimiento de energía eléctrica mediante energía renovable para una vivienda típica del sector de Sinincay perteneciente al Cantón Cuenca*. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca. Ecuador.

ANEXOS

ANEXO 1.

Planilla electrónica del consumo y pago de electricidad 2018



EMPRESA ELECTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.

R.U.C. 1890001439001 CONTRIBUYENTE ESPECIAL RESOLUCION 5368 DEL 2 DE JUNIO DE 1995

Aut. del S.R.I.: 0512201801189000143900120020050014384600143846010 Fecha Aut.: 2018-12-07T09:23:03-05:00

Dirección: 27 de Febrero s/n y Atahualpa

Teléfono: 03-2998600

Factura Nro. 002005 - 001438460 Valor a Pagar: 4,403.10

Fecha Emisión: 05-Dic-2018 Vencimiento: 14-Dic-2018 Mes Consumo: Noviembre-2018 Bloque Facturacion: 1

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR

Nombre: UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA LABORATORIO CC/ RUC: 1660012180001

Dirección del Servicio: KM 25 VIA NAPO Ruta: 15 - 90 - 90

Provincia / Cantón / Parroquia: PASTAZA (DZO) / PASTAZA/

Tipo de Tarifa: BENEFICIO PUBLICO CON DEMANDA

Código Único Eléctrico Nacional: 0100314321

Medidor Numero: 11473771 Factor Multiplicación 210.00

Lectura Desde: Lectura Hasta: Dias Facturados: 30

Factor Potencia: 0.99999 Factor Corrección: 0.92

1 FACTURACION SERVICIO ELECTRICO Y ALUMBRADO PUBLICO

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Und
Activa	16936	16648	60480	kWh
Dem Máxima	1.07	1.04	224.7	kW
Dem Pico	0.83	0.85	174.3	kW
08h00-18h00 L-V	9677.62	9521.81	32720.1	kWh
18h00-22h00 L-V	2523.46	2467.29	11795.7	kWh
22h-08h LVSDF	4734.41	4658.87	15863.4	kWh
Reactiva	648	647	210	kVAR

Concepto	Valor USD
Valor Consumo	3,750.15
Demanda Facturable	522.90
Valor Comercialización	1.41
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	4,274.46
Alumbrado Publico	128.64
Subtotal Alumbrado Público (APG)	128.64

Nov-17	55440	4,127.53
Dic-17	51450	3,843.88
Ene-18	60060	4,361.54
Feb-18	50610	3,775.96
Mar-18	47460	3,497.39
Abr-18	55860	4,124.04
May-18	59850	4,368.45
Jun-18	55860	4,026.53
Jul-18	55440	4,016.84
Ago-18	39690	2,810.56
Sep-18	48510	3,733.67
Oct-18	64890	4,720.14
Nov-18	60480	4,403.10

HISTORIAL DE CONSUMOS

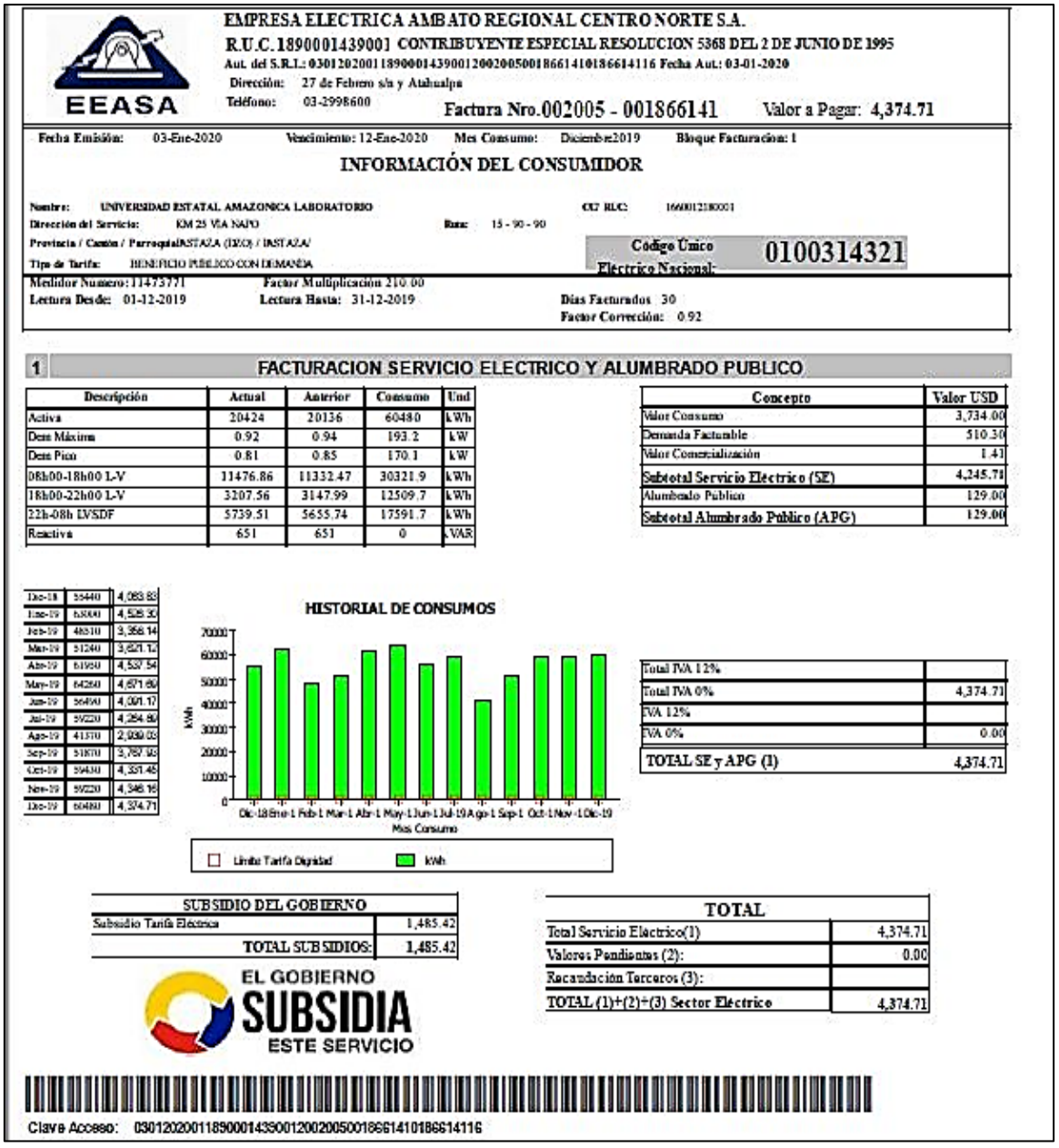
Total IVA 12%	
Total IVA 0%	4,403.10
IVA 12%	
IVA 0%	0.00
TOTAL SE y APG (1)	4,403.10

TOTAL	
Total Servicio Eléctrico(1)	4,403.10
Valores Pendientes (2):	0.00
Recaudación Terceros (3):	
TOTAL (1)+(2)+(3) Sector Eléctrico	4,403.10

Clave Acceso: 0512201801189000143900120020050014384600143846010

ANEXO 2.

Planilla electrónica del consumo y pago de electricidad 2019



EMPRESA ELECTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.

R.U.C. 1890001439001 CONTRIBUYENTE ESPECIAL RESOLUCION 5368 DEL 2 DE JUNIO DE 1995

Aut. del S.R.I.: 0301202001189000143900120020050018661410186614116 Fecha Aut.: 03-01-2020

EEASA

Dirección: 27 de Febrero s/n y Atahualpa

Teléfono: 03-2998600

Factura Nro.002005 - 001866141 Valor a Pagar: 4,374.71

Fecha Emisión: 03-Ene-2020 Vencimiento: 12-Ene-2020 Mes Consumo: Diciembre2019 Bloque Facturación: 1

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR

Nombre: UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA LABORATORIO CI/ RUC: 1660012180001

Dirección del Servicio: KM 25 VIA NAPO Ruta: 15 - 90 - 90

Provincia / Canton / Parroquia: NAPO (13C0) / ARCHIDONA / HUAPAMALA

Tipo de Tarifa: BENEFICIO PUBLICO CON DEMANDA

Código Único Eléctrico Nacional: 0100314321

Medidor Numero: 11473771 Factor Multiplicación 210.00

Lectura Desde: 01-12-2019 Lectura Hasta: 31-12-2019 Días Facturados 30

Factor Corrección: 0.92

1 FACTURACION SERVICIO ELECTRICO Y ALUMBRADO PUBLICO

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Und
Activa	20424	20136	60480	kWh
Dem Máxima	0.92	0.94	193.2	kW
Dem Pico	0.81	0.85	170.1	kW
08h00-18h00 L-V	11476.86	11332.47	30321.9	kWh
18h00-22h00 L-V	3207.56	3147.99	12509.7	kWh
22h-08h LVSDF	5739.51	5655.74	17591.7	kWh
Reactiva	651	651	0	kVAR

Concepto	Valor USD
Valor Consumo	3,734.00
Demanda Facturable	510.30
Valor Comercialización	1.41
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	4,245.71
Alumbrado Publico	129.00
Subtotal Alumbrado Público (APG)	129.00

Dic-18	55440
Ene-19	63000
Feb-19	48510
Mar-19	51240
Abr-19	61950
May-19	64260
Jun-19	56490
Jul-19	59220
Ago-19	41370
Sep-19	51870
Oct-19	59430
Nov-19	59220
Dic-19	60480

HISTORIAL DE CONSUMOS

Total IVA 12%	
Total IVA 0%	4,374.71
IVA 12%	
IVA 0%	0.00
TOTAL SE y APG (1)	4,374.71

SUBSIDIO DEL GOBIERNO	
Subsidio Tarifa Electrica	1,485.42
TOTAL SUBSIDIOS:	1,485.42

EL GOBIERNO SUBSIDIA ESTE SERVICIO

TOTAL	
Total Servicio Electrico(1)	4,374.71
Valores Pendientes (2):	0.00
Recaudación Terceros (3):	
TOTAL (1)+(2)+(3) Sector Eléctrico	4,374.71

Clave Acceso: 0301202001189000143900120020050018661410186614116

ANEXO 3.

Consumo y pago de electricidad desde el año 2017 al 2019

Año 2017				
Mes	Consumo	Unidad	valor kWh	Pago Total
Ene.	55020	KWh	3356,22	4003,9
Feb.	35490	KWh	2179,18	2630,89
Mar.	45780	KWh	2837,80	3377,71
Abr.	50820	KWh	3159,69	3750,00
May.	56070	KWh	3499,83	4121,32
Jun.	56070	KWh	3509,44	4169,05
Jul.	50190	KWh	3116,94	3663,15
Agos.	37380	KWh	2280,18	2704,09
Sep.	38220	KWh	2364,56	2721,77
Oct.	52500	KWh	3265,03	3849,04
Nov.	55440	KWh	3461,62	4127,53
Dic.	51450	KWh	3184,27	3843,88
Total	584430	KWh	36214,76	42962,3

Año 2018				
Mes	Consumo	Unidad	valor kWh	Pago Total
Ene.	60060	KWh	3739,73	4361,54
Feb.	50610	KWh	3141,55	3775,96
Mar.	47460	KWh	2938,58	3497,39
Abr.	55860	KWh	3464,43	4124,04
May.	59850	KWh	3721,44	4368,45
Jun.	55860	KWh	3461,42	4026,53
Jul.	55440	KWh	3445,43	4016,84
Agos.	39690	KWh	2421,85	2810,56
Sep.	48510	KWh	3004,13	3733,67
Oct.	64890	KWh	4031,12	4720,14
Nov.	60480	KWh	3750,15	4403,10
Dic.	55440	KWh	3431,51	4063,83
Total	654150	KWh	40551,3	47902

Año 2019				
Mes	Consumo	Unidad	valor kWh	Pago Total
Ene.	63000	KWh	3898,69	4526,30
Feb.	48510	KWh	2984,90	3558,14
Mar.	51240	KWh	3125,64	3621,12
Abr.	61950	KWh	3778,95	4537,54
May.	64260	KWh	3919,86	4671,69
Jun.	56490	KWh	3445,89	4091,17
Jul.	59220	KWh	3612,42	4264,89
Agos.	41370	KWh	2523,57	2939,03
Sep.	51870	KWh	3164,07	3767,93
Oct.	59430	KWh	3625,23	4331,41
Nov.	59220	KWh	3667,50	4346,16
Dic.	60480	KWh	3734,00	4374,71
Total	677040	KWh	41425,64	49030,09

ANEXO 4.

Estimación del consumo eléctrico

Bloque A

Iluminarias							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (w)**	**Cosϕ**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Lámparas	18	32	576	0,8	5	20	46,08
Lámparas	15	421	6315	0,8	5	20	505,20
Lámparas	100	7	700	0,8	12	30,5	204,96
						Energía Total	756,24

Toma corrientes							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (w)**	**Factor de Simultaneidad**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Computadoras	700	35	24500	0,85	6	20	2499,00
Impresoras	850	12	10200	0,85	2	20	346,80
Aire	3542	9	31878	0,65	3	20	1243,24
Tele	400	1	400	0,85	1	20	6,80
Varios	200	39	7800	0,1	12	20	187,20
						Energía Total	4283,04

Energía Total del Bloque (kWh/mes)	5039,28

Bloque B

Iluminarias							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (w)**	**Cosϕ**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Lámparas	18	100	1800	0,8	6	20	172,80
Lámparas	5	31	155	0,8	6	20	14,88
Lámparas	100	2	200	0,8	12	30,5	58,56
						Energía Total	246,24

Toma corrientes							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (w)**	**Factor de Simultaneidad**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Computadoras	700	18	12600	0,85	6	20	1285,20
Impresoras	850	6	5100	0,85	2	20	173,40
Impresora de planos		1	1200	0,85	2	20	40,80
Varios	200	23	4600	0,1	12	20	110,40
						Energía Total	1609,80

Energía Total del Bloque (kWh/mes)	1856,04

Bloque C

Iluminarias							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (w)**	**Cosϕ**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Lámparas	15	28	420	0,8	4	20	26,88
Lámparas	18	36	648	0,8	4	20	41,47
						Energía Total	68,35

Toma corrientes							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (w)**	**Factor de Simultaneidad**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Computadoras	700	2	1400	0,85	6	20	142,80
Impresoras	850	2	1700	0,85	1	20	28,90
Aire	3582,5	4	14330	0,65	8	20	1490,3
Equipo de laboratorio	900	9	8100	0,6	6	15	437,40
Varios	200	10	2000	0,1	2	20	8,00
						Energía Total	2107,42

Energía Total del Bloque (kWh/mes)	2175,77

Bloque D

Iluminarias							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Cosϕ**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Lámparas	18	738	13284	0,8	6	20	1275,26
Lámparas	5	112	560	0,8	6	20	53,76
Lámparas	15	54	810	0,8	6	20	77,76
Lámparas EM	15	41	615	0,8	0,5	1	0,25
Lámparas	7	14	98	0,8	4	20	6,27
Lámparas	100	25	2500	0,8	12	30,5	732,00
						Energía Total	2145,30

Toma corrientes							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Factor de Simultaneidad**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**EnergÍa (kWh)**
Computadoras	700	155	108500	0,85	4	20	7378,00
Impresoras	850	21	17850	0,85	2	20	606,90
Aire	3080,27	11	33882,97	0,65	1	10	220,24
Proyectores	500	18	9000	0,85	8	20	1224,00
Equipo de laboratorio	6000	15	90000	0,6	4	10	2160,00
Varios	200	109	21800	0,1	12	20	523,20
						Energía Total	12112,34

Energía Total del Bloque (kWh/mes)	14257,64

Bloque E

Iluminarias							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Cosϕ**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Lámparas	5	67	335	0,8	4	15	16,08
Lámparas	15	986	14790	0,8	4	20	946,56
Lámparas	18	374	6732	0,8	4	20	430,85
Lámparas EM	10	97	970	0,8	4	20	62,08
Lámparas	100	4	400	0,8	12	30,5	117,12
						Energía Total	1572,69

Toma corrientes							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Factor de Simultaneidad**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**EnergÍa (kWh)**
Computadoras	700	88	61600	0,85	4	20	4188,80
Impresoras	850	11	9350	0,85	2	20	317,90
Aire	2760,4	25	69010	0,65	2	20	1794,26
Proyectores	500	16	8000	0,85	6	20	816,00
Varios	200	82	16400	0,1	12	20	393,60
						Energía Total	7510,56

Energía Total del Bloque (kWh/mes)	9083,25

Bloque F

Iluminarias							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Cosϕ**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Lámparas	5	67	335	0,8	4	20	21,44
Lámparas	15	894	13410	0,8	4	20	858,24
Lámparas	18	314	5652	0,8	4	20	361,73
Lámparas EM	10	97	970	0,8	4	20	62,08
Lámparas	100	4	400	0,8	12	30,5	117,12
						Energía Total	1420,61

Toma corrientes							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Factor de Simultaneidad**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**EnergÍa (kWh)**
Computadoras	700	63	44100	0,85	4	20	2998,80
Impresoras	850	10	8500	0,85	2	20	289,00
Aire	2760,4	25	69010	0,65	3	20	2691,39
Proyectores	500	16	8000	0,85	6	20	816,00
Varios	200	79	15800	0,1	12	20	379,20
						Energía Total	7174,39

Energía Total del Bloque (kWh/mes)	8595,00

Bloque G

Iluminarias							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Cosϕ**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Lámparas	18	142	2556	0,8	4	20	163,58
Lámparas	100	4	400	0,8	12	20	76,80
						Energía Total	240,38

Toma corrientes							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Factor de Simultaneidad**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**EnergÍa (kWh)**
Computadoras	700	28	19600	0,85	4	20	1332,80
Impresoras	850	2	1700	0,85	1	20	28,90
Aire	1200	4	4800	0,85	4	20	326,40
Varios	200	8	1600	0,1	12	20	38,40
						Energía Total	1726,50

Energía Total del Bloque (kWh/mes)	1966,88

Bloque H

Iluminarias							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Cosϕ**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Lámparas	18	84	1512	0,8	4	20	96,77
Lámparas	15	96	1440	0,8	4	20	92,16
Lámparas	100	2	200	0,8	12	30,5	58,56
						Energía Total	247,49

Toma corrientes							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Factor de Simultaneidad**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**EnergÍa (kWh)**
Computadoras	700	5	3500	0,85	6	20	357,00
Impresoras	850	5	4250	0,85	1	20	72,25
Aire	3875,1	7	27125,7	0,65	8	20	2821,07
Equipo de laboratorio	6000	19	114000	0,6	5	15	5130,00
Varios	200	18	3600	0,1	2	20	14,40
						Energía Total	8394,72

Energía Total del Bloque (kWh/mes)	8642,21

Bloque I

Iluminarias							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Cosϕ**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Lámparas	18	15	270	0,8	3	20	12,96
Lámparas	15	13	195	0,8	3	20	9,36
Lámparas	20	2	40	0,8	3	20	1,92
						Energía Total	24,24

Toma corrientes							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Factor de Simultaneidad**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**EnergÍa (kWh)**
Computadoras	700	8	5600	0,85	4	20	380,80
Impresoras	850	1	850	0,85	1	20	14,45
Varios	200	7	1400	0,1	12	20	33,60
						Energía Total	428,85

Energía Total del Bloque (kWh/mes)	453,09

Bloque J

Iluminarias							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Cosϕ**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Lámparas	6	3	18	0,8	6	20	1,73
Lámparas	18	384	6912	0,8	6	20	663,55
Lámparas	100	8	800	0,8	12	30,5	234,24
						Energía Total	899,52

Toma corrientes							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Factor de Simultaneidad**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**EnergÍa (kWh)**
Computadoras	700	21	14700	0,85	6	20	1499,40
Aires Acondicionados	1950	1	1950	0,85	4	20	132,60
Proyectores	500	11	5500	0,85	6	20	561,00
Varios	200	72	14400	0,1	4	20	115,20
						Energía Total	2308,20

Energía Total del Bloque (kWh/mes)	3207,72

Bloque K

Iluminarias							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Cosϕ**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Lámparas	100	8	800	0,8	12	30,5	234,24
						Energía Total	234,24

Energía Total del Bloque (kWh/mes)	234,24

Parques recreativos y alumbrado público

Iluminarias							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Cosϕ**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Lámparas	50	42	2100	0,8	4	20	134,40
Lámparas	6	16	96	0,8	4	20	6,14
Lámparas	100	15	1500	0,8	12	30,5	439,20
Lámparas	5	44	220	0,8	4	20	14,08
Lámparas	18	175	3150	0,8	4	20	201,60
Lámparas	400	16	6400	0,8	4	20	409,60
Lámparas	15	12	180	0,8	4	20	11,52
Lámparas Públicas	150	32	4800	0,8	4	20	307,20
						Energía Total	1523,74

Toma corrientes							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Factor de Simultaneidad**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**EnergÍa (kWh)**
Varios	200	19	3800	0,1	12	20	91,20
						Energía Total	91,20

Energía Total del Bloque (kWh/mes)	1614,94

Bombas de agua

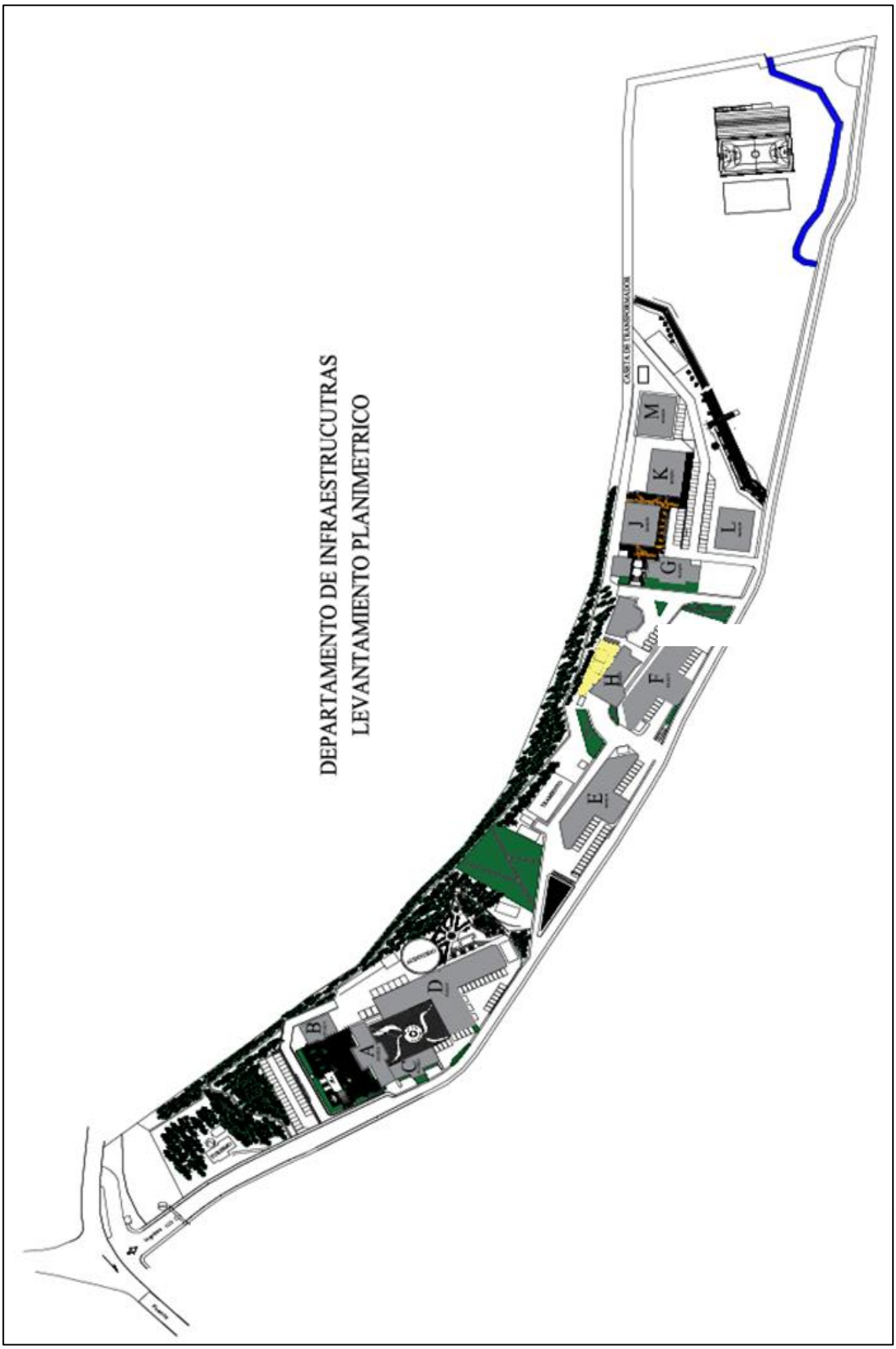
Planta de tratamiento							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Factor de Simultaneidad**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Bombas	1492	2	2984	0,2	2	30,5	36,40
						Energía Total	36,40

Cisternas							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Factor de Simultaneidad**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**EnergÍa (kWh)**
Bombas	259,5	14	3633	0,2	2	30,5	44,32
						Energía Total	44,32

Energía Total del Bloque (kWh/mes)	80,72

ANEXO 5.

Planos de infraestructura de la Universidad



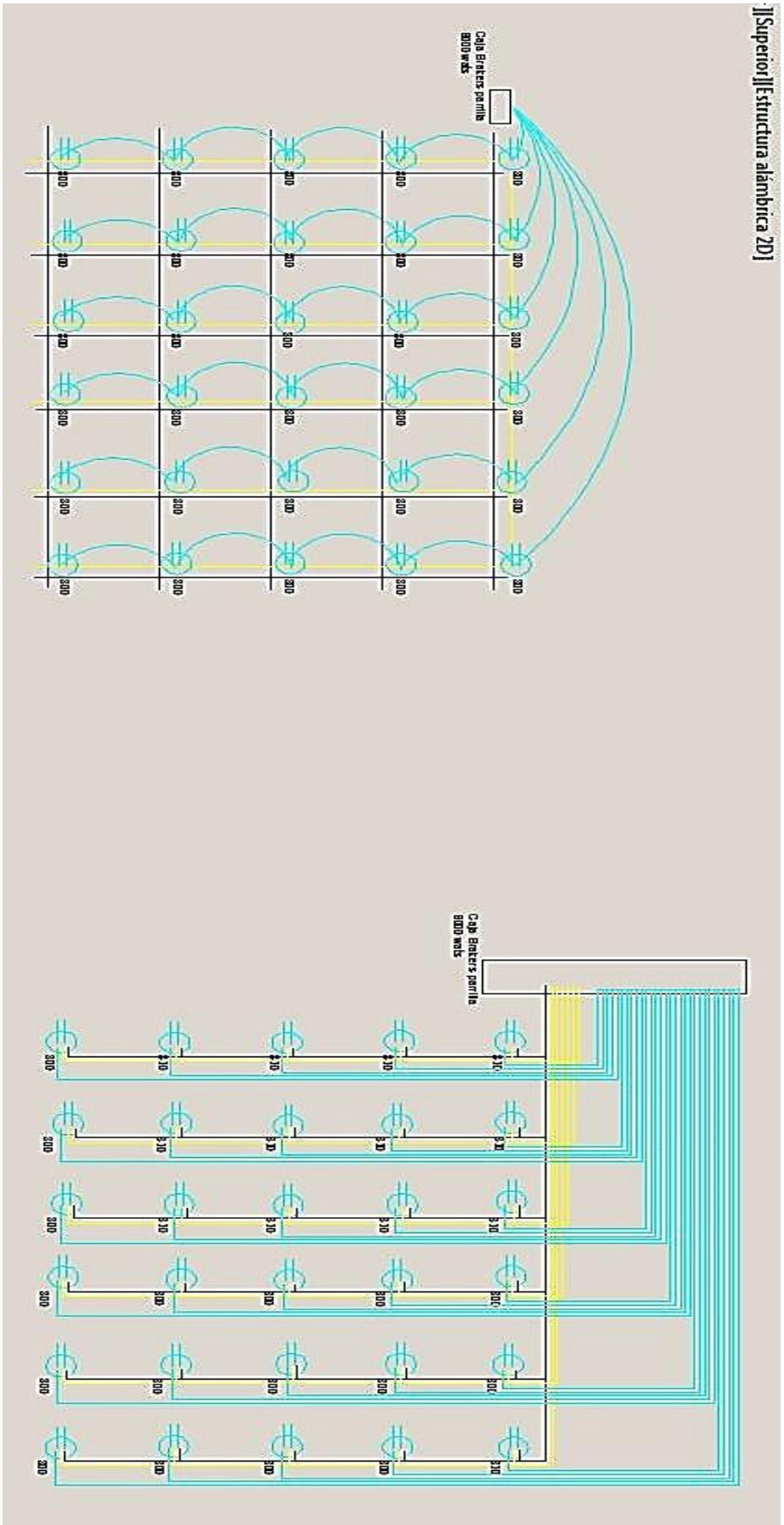
ANEXO 6.

Planos de la infraestructura y equipamientos del bloque L (Comunicación social)

Parte 1. Interruptores para equipos de comunicación social



Parte 2. Iluminaria bloque L



ANEXO 7.

Estimación del consumo eléctrico del bloque L (Comunicación social)

Iluminarias							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Cos ϕ**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Lámparas	50	30	1500	0,8	6	20	144,00
Lámparas	18	268	4824	0,8	6	20	463,10
Lámparas	100	8	800	0,8	12	30,5	234,24
						Energía Total	697,34

Toma corrientes							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Factor de Simultaneidad**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Computadoras	700	54	37800	0,85	6	20	3855,60
Aires Acondicionados	22080	7	154560	0,85	4	20	10510,08
Varios	200	18	3600	0,1	4	20	28,80
Equipos de Comunicación social							
Equipo 1	200	6	1200	0,8	4	20	76,80
Equipo 2	400	5	2000	0,8	4	20	128,00
Equipo 3	500	4	2000	0,8	4	20	128,00
Equipo 4	750	14	10500	0,8	4	20	672,00
Equipo 5	1500	3	4500	0,8	2	15	108,00
Equipo 6	2500	1	2500	0,8	2	15	60,00
Equipo 7	90000	1	90000	0,8	2	10	1440,00
						Energía Total	17007,28

Energía Total del Bloque (kWh/mes)	17705

Aumento de bombas de agua en el 2021

Planta de tratamiento							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Factor de Simultaneidad**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**Energía (kWh)**
Bombas	1492	4	5968	0,2	2	30,5	72,81
						Energía Total	72,81

Cisternas							
Elementos	**Potencia (W)**	**Nº Elementos**	**Potencia Total (W)**	**Factor de Simultaneidad**	**Horas/Día**	**Días/ Mes**	**EnergÍa (kWh)**
Bombas	259,5	19	4930,5	0,2	2	30,5	60,15
						Energía Total	60,15

Energía Total del Bloque (kWh/mes)	132,96

ANEXO 8.

Estimación actual y a futuro

Estimación 2019	
Consumo	kWh
Bloque A	5039,28
Bloque B	1856,04
Bloque C	2175,77
Bloque D	14257,64
Bloque E	9083,25
Bloque F	8595,00
Bloque G	1966,88
Bloque H	8642,21
Bloque I	453,09
Bloque J	3207,72
Bloque K	234,24
Bares	1965,00
Áreas de recreación	1614,94
Cisternas y Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)	80,73
Consumo total de la universidad	59171,80

Estimación 2021	
Consumo	kWh
Bloque A	5039,282
Bloque B	1856,04
Bloque C	2175,772
Bloque D	14257,6413
Bloque E	9083,248
Bloque F	8594,998
Bloque G	1966,884
Bloque H	8642,2108
Bloque I	453,09
Bloque J	3207,72
Bloque K	3207,72
Bares	1965
Áreas de recreación	1614,944
Cisternas y Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)	132,96
Bloque l	17704,624
Bloque M	3207,72
Consumo total de la universidad	83109,8541

Estimación 2025	
Consumo	kWh
Bloque A	5039,28
Bloque B	1856,04
Bloque C	2175,77
Bloque D	14257,64
Bloque E	9083,25
Bloque F	8595,00
Bloque G	1966,88
Bloque H	8642,21
Bloque I	453,09
Bloque J	3207,72
Bloque K	3207,72
Bares	1965,00
Áreas de recreación	1614,94
Cisternas y Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)	148,79
Bloque l	17704,62
Bloque M	3207,72
Bloque N	3207,72
Bloque O	3207,72
Bloque P	3207,72
Consumo total de la universidad	92748,85

ANEXO 9.

Área de mojado y caudal por semana. Elaboración propia

Octubre	**19,13 m^3/s**
Semana 3	0,08 m
Área crecida	0,53 m^2
Perímetro mojado crecida	0,16 m
Área total	10,84 m^2
Perímetro mojado total	10,50 m
Radio hidráulico	1,03 m
Área de salida más crecida	
11,23 m^2	
Velocidad	1,70 m/s
Caudal (m^3/s)	19,13

Noviembre		**21,13 m^3/s**	
Semana 1	0,16 m	Semana 2	0,19 m
Área crecida	1,04 m^2	Área crecida	1,24 m^2
Perímetro mojado crecida	0,32 m	Perímetro mojado crecida	0,38 m
Área total	11,36 m^2	Área total	11,56 m^2
Perímetro mojado total	10,66 m	Perímetro mojado total	10,72 m
Radio hidráulico	1,07 m	Radio hidráulico	1,08 m
Área de salida más crecida		Área de salida más crecida	
11,96 m^2		12,24 m^2	
Velocidad	1,74 m/s	Velocidad	1,75 m/s
Caudal (m^3/s)	20,80	**Caudal (m^3/s)**	21,45
Semana 3	0,62 m	Semana 3	0,22 m
Área crecida	4,06 m^2	Área crecida	1,45 m^2
Perímetro mojado crecida	1,24 m	Perímetro mojado crecida	0,44 m
Área total	14,37 m^2	Área total	11,76 m^2
Perímetro mojado total	11,57 m	Perímetro mojado total	10,78 m
Radio hidráulico	1,24 m	Radio hidráulico	1,09 m
Área de salida más crecida		Área de salida más crecida	
16,18 m^2		12,52 m^2	
Velocidad	1,93 m/s	Velocidad	1,77 m/s
Caudal (m^3/s)	31,16	**Caudal (m^3/s)**	22,12

Diciembre		**38,90 m^3/s**	
Semana 1	0,77 m	Semana 2	1,10 m
Área crecida	5,06 m^2	Área crecida	7,23 m^2
Perímetro mojado crecida	1,54 m	Perímetro mojado crecida	2,20 m
Área total	15,38 m^2	Área total	17,54 m^2
Perímetro mojado total	11,88 m	Perímetro mojado total	12,54 m
Radio hidráulico	1,29 m	Radio hidráulico	1,40 m
Área de salida más crecida		Área de salida más crecida	
17,58 m^2		20,62 m^2	
Velocidad	1,98 m/s	Velocidad	2,09 m/s
Caudal (m^3/s)	34,81	**Caudal (m^3/s)**	42,99

ANEXO 10.

Medición de las principales partes de la PCH

Medidas del canal					
Caudal (m3/s)	**Velocidad (m/s)**	**Área (m2)**	**Radio (m)**	**Diámetro (m)**	**Perímetro (m)**
8,21	1,66	4,94	1,77	3,55	5,57

Medidas del reservorio								
Hidro-eléctricas	**volumen (m3)**	**Altura (m)**	**Área de la base (m2)**	**Arista (m)**	**Apotema de la base (m)**	**Apotema de la pirámide (m)**	**Área Lateral (m2)**	**Área Total (m2)**
Comparación Agoyan	123902,74	3,88	95762,63	309,46	154,73	154,78	95792,76	191555,38
Comparación Copal	1249,55	3,88	966,15	31,08	15,54	16,02	995,80	1961,95
Comparación Coca codo Sinclair	25188,00	3,88	19475,26	139,55	69,78	69,88	19505,34	38980,60
Comparación Agoyan	123902,74	10,00	37170,82	192,80	96,40	96,92	37370,29	74541,11
Comparación Copal	1249,55	10	374,87	19,36	9,68	13,92	538,95	913,82
Comparación Coca codo Sinclair	25188,00	10,00	7556,40	86,93	43,46	44,60	7753,82	15310,22

Medidas de la tubería forzada					
Caudal (m3/s)	**Velocidad (m/s)**	**Área (m2)**	**Radio (m)**	**Diámetro (m)**	**Perímetro (m)**
8,21	1,66	4,94	1,25	2,51	7,87