



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL PARA  
APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DE LA RED DE  
ACUEDUCTO NUEVA SEDE UNIVERSIDAD MONTEÁVILA.  
CAICAGUANA.**

TRABAJO DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de:

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR

Cuenca Contreras, Edymar D.

Ruiz Valiente, Belkys C.

TUTOR

Ing. José Divasson

FECHA

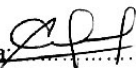
Junio, 2019

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

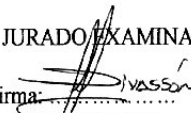
**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL PARA APROVECHAMIENTO  
HIDROELÉCTRICO DE LA RED DE ACUEDUCTO  
NUEVA SEDE UNIVERSIDAD MONTEÁVILA. CAICAGUANA.**

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: Diez y nueve (19)

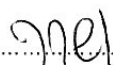
JURADO EXAMINADOR

Firma: 

Nombre: Carlos Griffin

Firma: 

Nombre: José Divasson

Firma: 

Nombre: Juan C. Khatneal

Realizado por:

Cuenca Contreras, Edymar

Ruiz Valiente, Belkys

Profesor guía:

Ing. Divasson, José.



Caracas, junio de 2019

## DEDICATORIA

*Le dedico este logro a mi Dios por permitirme llegar a este punto, darme la sabiduría y la fortaleza para alcanzar esta meta entre lágrimas y risas, a mis padres Hugo Ruiz y Elda Valiente porque fueron y serán siempre mis pilares fundamentales quienes me enseñaron que todo éxito o logro requiere de un esfuerzo, me enseñaron que todo es posible de la mano de Dios, a mi loquita, amada y persona favorita en el mundo Elitoo que siempre será mi orgullo y ejemplo a seguir, quien siempre me demostró que las cosas se hacían con excelencia o simplemente no se hacían, que a pesar de la distancia en toda la carrera su apoyo se sentía cerca y acogedor, a mi vida, Adelso que tantas risas me saco en medio de mis noches de desvelo mis ataques de pánico y estrés quien se desvelaba solo por acompañarme y no dejar que me sintiera sola nunca por ser el angelito que siempre me escuchaba, a mi amada melito (Yuliana) con quien compartí lindos momentos y nunca olvido, a mis compañeros que este camino me regalo (Carlos, Val, Edy, Yusle, Negro) porque con ustedes todo fue mucho más sencillo de llevar. A mi tía Jacqueline Ramos por siempre creer en mí y darme una palabra de ánimo siempre que me veía.*

**Belkys C. Ruiz V.**

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios porque es la fuente de mi sabiduría e inteligencia, porque con El todo lo puedo y guía mis pasos siempre.*

*A mis Papis que siempre me apoyaron y con mucho esfuerzo me permitieron estudiar y crecer como persona, por siempre brindarme ese amor y cariño que aun en la distancia se sentían bien cerquita.*

*A mi hermana y mejor amiga Elito que me dio siempre ánimos de continuar y nunca renunciar, aunque toda la inteligencia de la familia se la quedó ella.*

*Al compañero de aventuras que Dios me regalo Adeldo Guerrero, porque fuiste mi ángel siempre, me acompañaste durante todo este camino y nunca dejaste de animarme, siempre fuiste del “Team Belkys” como me decías para sacarme una sonrisa.*

*A mi loquita compañera de tesis, que con ella viví los momentos más estresantes de toda la carrera y me soportó durante todo el proceso.*

*A nuestro tutor el Ingeniero Jose Divassón que con tanta paciencia nos enseñó y guió durante todo este camino por darnos las herramientas necesarias para la realización del trabajo y por siempre recibirnos con una sonrisa y cariño aun cuando estuviese muy agotado por una jornada larga de trabajo.*

**Belkys C. Ruiz V.**

*A mi familia, gracias por todo su apoyo, en especial a mis padres Gladys Contreras y Roberto Cuenca, que son mi sostén, tanto en mi crecimiento personal, como profesional. También a mis hermanas por estar incondicionalmente y a mis tías que me han ayudado en todas las etapas de mi vida y en especial deseo expresar mi gratitud a mi querida abuela materna, que es la persona más amorosa y que más ha influido en mi vida.*

*Mi gratitud y sincero agradecimiento a aquellos que me apoyaron y me guiaron directa o indirectamente para poder culminar mi carrera profesional.*

*Agradezco a mi compañera de trabajo de grado su amistad y compañerismo, que en todo el transcurso de la realización de este trabajo hayamos estado unidas. Un millón de gracias a los mejores amigos que la vida me ha podido regalar, los cuales nos apoyaron a ambas en todo momento a no rendirnos, siendo nuestro grupo de estudio, de trabajo y de diversión.*

*A nuestro tutor, el Ing. José Divasson, Gracias por su enorme tolerancia y orientación, sin su guía y ayuda constante, esta disertación no se habría materializado.*

**Edymar D. Cuenca C.**

## SINOPSIS

El servicio eléctrico es fundamental para el mantenimiento del actual estilo de vida de la humanidad y, especialmente, en los grandes conglomerados urbanos. La generación de la electricidad que se requiere para satisfacer la creciente demanda de las ciudades es un motivo de preocupación mundial debido a la gran cantidad de gases efecto invernadero que son emitidos como consecuencia de una generación que aún hoy en día depende, en más de un 60%, del petróleo, carbón y sus derivados.

A partir de los años sesenta las grandes centrales hidráulicas representan la principal fuente de energía renovable del país; sin embargo, los desarrollos tecnológicos han permitido que cada día sea factible aprovechar potenciales fuentes de energía de menor envergadura con equipos viables económicamente.

En la actualidad, las fuentes hidroeléctricas son cada vez de menor escala y éstas se presentan como alternativa complementaria a centrales hidráulicas y ofrece numerosas ventajas y aplicaciones en una ciudad que intenta diversificar sus fuentes de energía. Es por ello que el presente Trabajo de Grado se centrará en determinar el potencial hidroeléctrico de un sistema de abastecimiento de agua, hasta ahora no implementado en el país, que trata de generar energía aprovechando las altas presiones que se pueden generar en las redes de acueducto urbano que comúnmente deben ser disipadas para mantener las condiciones operativas de las redes de distribución en un rango apto para

mantener la integridad de la propia red y de las tuberías que conforman los sistemas de abastecimiento de las edificaciones ubicadas en un determinado sector.

Para abordar lo antes expuesto se investigarán las tecnologías diseñadas en otros países y, una vez seleccionada aquella con mayor eficiencia, se estudiará la viabilidad de implantación en la Universidad Monteávila con el fin de emitir recomendaciones relativas a su desarrollo futuro.

## INDICE

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| SINOPSIS .....                                                           | 4  |
| INDICE DE TABLAS .....                                                   | 9  |
| INDICE DE FIGURAS.....                                                   | 11 |
| CAPITULO I .....                                                         | 13 |
| I.1.INTRODUCCIÓN .....                                                   | 13 |
| I.1.1 CONTEXTO MUNDIAL DE LA HIDROELECTRICIDAD .....                     | 13 |
| I.1.2 CONTEXTO SITUACIONAL DE LA HIDROELECTRICIDAD EN EL PAÍS .....      | 16 |
| I.2.OBJETIVOS .....                                                      | 18 |
| I.2.1 OBJETIVO GENERAL .....                                             | 18 |
| I.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                        | 18 |
| I.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....                                     | 18 |
| CAPITULO II MARCO TEÓRICO .....                                          | 21 |
| II.1. HIDROELECTRICIDAD. ....                                            | 21 |
| II.2. TURBINAS HIDRÁULICAS. ....                                         | 25 |
| II.3. BOMBAS TRABAJANDO COMO TURBINAS-PAT.....                           | 28 |
| II.4. MICRO HIDRÁULICA .....                                             | 35 |
| II.4.1CONFORMACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGIA MICROHIDRÁULICO (SEMH) ..... | 37 |
| II.4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SEMH. ....                                   | 38 |
| II.4.3 APLICACIÓN DE LOS SEMH. ....                                      | 39 |
| II.4.4 MODALIDADES DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SEMH:.....                   | 39 |
| II.4.5 VENTAJAS DE LA MICRO HIDRÁULICA:.....                             | 40 |
| II.4.6 DESVENTAJAS DE LA MICRO HIDRÁULICA: .....                         | 41 |
| II.4.7 PROYECTOS ACTUALES A NIVEL MUNDIAL Y EN VENEZUELA.....            | 42 |
| II.5. VÁLVULAS.....                                                      | 44 |
| CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO .....                                   | 48 |
| III.1. INTRODUCCIÓN A LA ESTRATEGIA METODOLÓGICA. ....                   | 48 |

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| III.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....                                                                            | 48 |
| III.3. NIVELES DE EXPLORACIÓN.....                                                                           | 49 |
| III.3.1 ANÁLISIS DE LOS CONCEPTOS NECESARIOS PARA LA<br>DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL.....                     | 49 |
| III.3.2 DESARROLLO DE HOJAS DE CÁLCULO PARA CONOCER LA<br>POTENCIA PARA APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO. .... | 50 |
| III.3.3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN. ....                                                    | 50 |
| III.3.4 BÚSQUEDA Y ANÁLISIS DE NUEVAS TECNOLOGÍAS.....                                                       | 50 |
| III.3.5 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE LAS TURBINAS A LA TUBERÍA. ....                                          | 50 |
| III.3.6 CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....                                                                    | 51 |
| III.3.7 ELABORACIÓN DE TOMO. ....                                                                            | 51 |
| CAPITULO IV. DESARROLLO. ....                                                                                | 52 |
| IV.1. EVALUACIÓN DE APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO ....                                                      | 52 |
| IV.1.1 DESCRIPCIÓN DEL SITIO.....                                                                            | 52 |
| IV.2. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA UMA.....                                                                 | 56 |
| IV.2.1. DESCRIPCIÓN.....                                                                                     | 56 |
| IV.2.2 DATOS CAUDALES Y PRESIONES. ....                                                                      | 59 |
| IV.3. CÁLCULO DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO ....                                                             | 63 |
| IV.3.1. CÁLCULO DE POTENCIA NOMINAL PROBABLE ....                                                            | 63 |
| IV.3.2. DEFINICIÓN DE LA POTENCIA A INSTALAR.....                                                            | 64 |
| CAPITULO V. DISEÑO PARA EL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO ....                                               | 72 |
| V.1. PROPUESTA DE ACTUACIÓN EN LOS PUNTOS DE LA RED .....                                                    | 72 |
| V.1.1. TURBINAS EN EL MERCADO PARA AJUSTE AL SISTEMA.....                                                    | 72 |
| V.1.2. SELECCIÓN DE TURBINAS .....                                                                           | 76 |
| V.1.3. EMPLEZAMIENTO Y DISEÑO DE TANQUILLA .....                                                             | 78 |
| V. 2. FACTIBILIDAD ECONÓMICA.....                                                                            | 80 |
| V.2.1 GENERACIÓN DE ENERGÍA .....                                                                            | 82 |
| V. 2.2 DETERMINACIÓN DE COSTOS .....                                                                         | 90 |
| V.2.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD. ....                                                                         | 94 |
| V.3 PROPUESTA DE USO DE ENERGÍA.....                                                                         | 99 |

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| CAPITULO VI.....                                                       | 102 |
| VI. 1. CONCLUSIONES .....                                              | 102 |
| VI.2. RECOMENDACIÓN.....                                               | 105 |
| CAPITULO VII .....                                                     | 106 |
| BIBLIOGRAFIA .....                                                     | 106 |
| APÉNDICE A.....                                                        | 110 |
| MICROCENTRALES DE EDELCA.....                                          | 110 |
| TIPOS DE TURBINAS. ....                                                | 111 |
| APÉNDICE B .....                                                       | 115 |
| VÁLVULAS .....                                                         | 115 |
| APÉNDICE C .....                                                       | 117 |
| EMPRESAS PROVEEDORAS DE TURBINAS Y PAT .....                           | 117 |
| APÉNDICE D.....                                                        | 121 |
| CÁLCULO DE LAS POTENCIAS GENERADAS BARRIENDO ESPECTRO DE CAUDALES..... | 121 |
| APÉNDICE E .....                                                       | 127 |
| CÁLCULO DE ENERGÍA. ....                                               | 127 |

## INDICE DE TABLAS

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla N° 1</b> Ventajas y desventajas entre las turbinas y las PAT. ....                                    | 35 |
| <b>Tabla N° 2</b> Tipos de Centrales Mini Hidráulica. ....                                                     | 39 |
| <b>Tabla N° 3</b> Características de los nodos de interés. ....                                                | 61 |
| <b>Tabla N° 4</b> Cálculo de presión aguas arriba de la válvula para el gasto máximo en la red.<br>.....       | 61 |
| <b>Tabla N° 5</b> Características de las tuberías de interés .....                                             | 62 |
| <b>Tabla N° 6</b> Condiciones hidráulicas de las tuberías en estudio. ....                                     | 62 |
| <b>Tabla N° 7</b> Cálculo de Potencias.....                                                                    | 64 |
| <b>Tabla N° 8</b> Costos de inversión y energía total producida en un día .....                                | 67 |
| <b>Tabla N° 9</b> Características de las turbinas a instalar. ....                                             | 71 |
| <b>Tabla N° 10</b> Especificaciones de las turbinas consultadas para VRP-1 .....                               | 73 |
| <b>Tabla N° 11</b> Especificaciones de las turbinas consultadas para VRP-2. ....                               | 74 |
| <b>Tabla N° 12</b> Especificaciones de las turbinas consultadas para VRP-3. ....                               | 75 |
| <b>Tabla N° 13</b> Porcentaje de Energía generada vs Energía máx. que puede generar el<br>sistema (VRP-1)..... | 83 |
| <b>Tabla N° 14</b> Potencia Generada VRP1. ....                                                                | 86 |
| <b>Tabla N° 15</b> Potencia Generada VRP2. ....                                                                | 87 |
| <b>Tabla N° 16</b> Potencia Generada VRP3. ....                                                                | 88 |
| <b>Tabla N° 17</b> Estimación del consumo de agua en el tiempo expresado en litros por<br>segundo. ....        | 90 |
| <b>Tabla N° 18</b> Estimación de gastos adicionales. ....                                                      | 92 |

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla N° 19</b> Valor futuro de mantenimiento. ....                                       | 93  |
| <b>Tabla N° 20</b> Determinación del costo del kWh. ....                                     | 94  |
| <b>Tabla N° 21</b> Análisis de sensibilidad. Aumento del valor de mantenimiento a un 10%. 95 |     |
| <b>Tabla N° 22</b> Análisis de sensibilidad. Mantenimiento del 3% anual.....                 | 96  |
| <b>Tabla N° 23</b> Análisis de sensibilidad. Mantenimiento del 10% anual.....                | 97  |
| <b>Tabla N° 24</b> Cantidad de productos a abastecer .....                                   | 99  |
| <b>Tabla N° 25</b> Cantidad de productos a abastecer para el 2038.....                       | 101 |
| <b>Tabla N° 26</b> Cálculo de las potencias generadas acuerdo al 10, 20 y 30% del Qm.....    | 121 |
| <b>Tabla N° 27</b> Cálculo de las potencias generadas acuerdo al 40, 50 y 60% del Qm.....    | 122 |
| <b>Tabla N° 28</b> Cálculo de las potencias generadas acuerdo al 70, 80 y 90% del Qm.....    | 123 |
| <b>Tabla N° 29</b> Cálculo de las potencias generadas acuerdo al 100, 110 y 120% del Qm.     | 124 |
| <b>Tabla N° 30</b> Cálculo de las potencias generadas acuerdo al 125, 130 y 150% del Qm.     | 125 |
| <b>Tabla N° 31</b> Cálculo de las potencias generadas acuerdo al 175% y 200% del Qm. ....    | 126 |
| <b>Tabla N° 32</b> Energía calculada desde el año 2022-2026 .....                            | 127 |
| <b>Tabla N° 33.</b> Energía calculada desde el año 2027-2031 .....                           | 128 |
| <b>Tabla N° 34</b> Energía calculada desde el año 2032-2036 .....                            | 129 |
| <b>Tabla N° 35</b> Energía calculada desde el año 2037-2041 .....                            | 130 |
| <b>Tabla N° 36</b> Energía calculada desde el año 2042-2046 .....                            | 131 |
| <b>Tabla N° 37</b> Resumen de energías anuales 2022-2046.....                                | 132 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura N° 1.</b> Esquema de funcionamiento de una central hidroeléctrica.....                     | 22 |
| <b>Figura N° 2.</b> Modelos de turbinas hidráulica .....                                             | 27 |
| <b>Figura N° 3.</b> Turbine Operation vs. Pump Operation Characteristic curves .....                 | 30 |
| <b>Figura N° 4.</b> Curva de eficiencia vs Rango de Caudal. ....                                     | 31 |
| <b>Figura N° 5.</b> Rango general de aplicación de diferentes tipos de PAT. ....                     | 32 |
| <b>Figura N° 6.</b> Comparación de las condiciones de flujo en un impulsor de bomba y un rodete..... | 33 |
| <b>Figura N° 7.</b> Cuota global de energía renovable.....                                           | 37 |
| <b>Figura N° 8.</b> Turbina utilizada en la micro central situada en Hiekawa. ....                   | 43 |
| <b>Figura N° 9.</b> Corte de una válvula de presión con sus distintas partes .....                   | 45 |
| <b>Figura N° 10.</b> Sistema de válvulas en paralelo.. ....                                          | 46 |
| <b>Figura N° 11.</b> Válvulas- Válvulas Reguladoras de Presión .....                                 | 47 |
| <b>Figura N° 12.</b> Peñón de las Guacas.....                                                        | 52 |
| <b>Figura N° 13</b> Ubicación relativa de la nueva sede de la Universidad Monteávila. ....           | 54 |
| <b>Figura N° 14.</b> División del Urbanismo. ....                                                    | 56 |
| <b>Figura N° 15.</b> Sistema de distribución de agua potable.....                                    | 58 |
| <b>Figura N° 16.</b> Esquema energético de red de distribución de agua potable .....                 | 59 |
| <b>Figura N° 17.</b> Curva de consumo típica del INOS. ....                                          | 66 |
| <b>Figura N° 18.</b> Gráfica \$ Costo incremental kW vs. % Q instalado. ....                         | 68 |
| <b>Figura N° 19.</b> Gráfica Factor de Planta vs % Q instalado.. ....                                | 69 |
| <b>Figura N° 20.</b> Gráfico de la variación de Potencia (kW) vs Tiempo (h) .....                    | 70 |

|                                                                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura N° 21.</b> Turbina modelo Inbloc 065-050-D. ....                                                                                                                  | 77  |
| <b>Figura N° 22.</b> Turbina modelo Inbloc 065-040-C .....                                                                                                                  | 77  |
| <b>Figura N° 23.</b> Emplazamiento.. ....                                                                                                                                   | 78  |
| <b>Figura N° 24.</b> Diseño de Tanquilla.. ....                                                                                                                             | 79  |
| <b>Figura N° 25.</b> Curva Característica de funcionamiento. Eficiencia Vs Rango de caudal.<br>.....                                                                        | 81  |
| <b>Figura N° 26.</b> Energía generada para porcentajes de caudal turbinado. ....                                                                                            | 84  |
| <b>Figura N° 27.</b> Factores de planta del proyecto hidroeléctrico y promedio ponderado de la<br>potencia para pequeños proyectos hidroeléctricos por región del país..... | 85  |
| <b>Figura N° 28.</b> Tabla Comparativa de precios del kWh.....                                                                                                              | 98  |
| <b>Figura N° 29.</b> Representación del alumbrado y los puntos de implantación de las turbinas<br>.....                                                                     | 100 |
| <b>Figura N° 30.</b> Gráfico de Cavitación en válvulas.. ....                                                                                                               | 116 |

# CAPITULO I

## I.1.INTRODUCCIÓN

### I.1.1 CONTEXTO MUNDIAL DE LA HIDROELECTRICIDAD

La energía hidroeléctrica tiene las virtudes de ser limpia no emite gases, no produce emisiones toxicas y no causa ningún tipo de lluvia acida, al igual que el resto de energías renovables.

El aprovechamiento de energía generada por las corrientes de agua, surge con las primeras ruedas hidráulicas hace más de 3.500 años. En el Medioevo, gigantescas ruedas elevadoras impulsaban martillos de hierro. La energía hídrica se convirtió en un factor decisivo para la creciente industrialización desde mediados del siglo XIX, cuando en 1866, Werner von Siemens descubrió el principio dinamoeléctrico el cual sentó las bases para la obtención de energía eléctrica. En 1880, surgieron en Inglaterra las primeras plantas de energía hidroeléctrica.

“La hidroelectricidad posee buenos cocientes de entrada-salida de energía y niveles de eficiencia de más del 90 por ciento. Esto proporciona una enorme ventaja sobre otros tipos de centrales eléctricas” ( Empresa Provincial de Energia de Cordoba, 2018)

La energía hidroeléctrica, a pesar de ser muy favorable, tiene como principal desventaja el requerimiento de mucha cantidad de agua y una gran superficie para poder construir las centrales, con la consiguiente inversión de gran cantidad de dinero, desde el momento en que se conciben hasta que entran en operación, requieren de dilatados lapsos

de tiempo. Por este motivo no suele ser competitiva en lugares donde abundan el petróleo o el carbón. Actualmente tiene un campo de expansión limitado, ya que en los países más desarrollados la mayoría de los ríos importantes ya cuentan con uno o varios puntos de aprovechamiento y el impacto ambiental que genera su desarrollo a veces compite con las emisiones que desea combatir.

El 30 de septiembre de 1882, se construyó la primera presa hidroeléctrica del mundo, ubicada en el río Fox en Wisconsin, Estados Unidos.

Esta presa posteriormente formaría parte de la Compañía de Luz Appleton Edison, y fue ideada y creada por el Sr. H.F. Rogers quién tomó como inspiración el trabajo de Thomas Edison, pero a diferencia de los postulados del afamado científico que proponía el empleo del vapor, a Rogers se le ocurrió que el agua pasando a través de una turbina podría generar electricidad también. Aunque existen algunas controversias, ya que algunos datos señalan que la primera central hidroeléctrica se construyó en 1880 en Northumberland, Gran Bretaña, sin embargo, la historia reconoce a Rogers como el pionero y precursor de las presas y centrales hidroeléctricas (JAPAC, 2015).

A pesar de la existencia de este tipo de alternativas, la Agencia Internacional de la Energía en Brasil, concluye que mientras aumentan las previsiones de crecimiento del consumo de petróleo, bajan las reservas a nivel mundial, de esta forma, el uso indiscriminado del petróleo como fuente principal de energía crea una dependencia exterior de los países importadores de este recurso, haciendo así vulnerable su sistema energético frente a posibles crisis del sector petrolífero. Además, el incremento del precio

del crudo y el gas crea tensiones en el mercado eléctrico. Por todo esto, las energías renovables se convierten en una fuente segura de energía.

“Según la Agencia Internacional de Energía, Brasil genera cerca del 2% de la electricidad del planeta, en una lista en la que los Estados Unidos representan más del 20%. Pese a su marginalidad, su matriz de energías renovables coloca al país entre los líderes en la producción de energía no fósil. Considerando solamente la hidroelectricidad, Brasil ocupa el segundo lugar en el mundo (12%), superado solamente por China (15%). Apenas seis países (China, Brasil, Canadá, Estados Unidos, Rusia y Noruega) concentran casi el 60% de esta forma de producción de electricidad. Aun así, existen otras diferenciaciones. En Noruega, el 99% de la energía eléctrica es de origen hidráulico; en Brasil este porcentaje es del 86%, en Canadá del 60%, en Rusia del 20%, y en Estados Unidos solamente del 8%” (Especial: Energía Hidroeléctrica, 2013).

En menor escala, la generación de electricidad con mini centrales hidroeléctricas ofrece posibilidades de crecimiento, debido a la diversidad de caudales que aún son susceptibles de ser aprovechados con las nuevas tecnologías.

### I.1.2 CONTEXTO SITUACIONAL DE LA HIDROELECTRICIDAD EN EL PAÍS

La primera planta hidroeléctrica en Venezuela fue la Estación El Encantado, construida por la Electricidad de Caracas e ideada por su presidente el ingeniero Ricardo Zuloaga, que aprovechaba las aguas del río Guaire del salto que éste tiene en el sitio denominado *Cañón del río Guaire*, ubicado a 17 kilómetros del área urbana de la época. Entra en operaciones el 8 de agosto de 1897, siendo igualmente la primera en Latinoamérica y tan sólo la segunda en nuestro continente teniendo como objetivo el suministro de energía para la ciudad de Caracas. La innovación para esta época sobre la nueva fuente de energía, convierte a la ciudad de Caracas en la primera en América Latina en obtener luz a distancia (Arrai Lucca 2016). Luego se construyen otras plantas hidroeléctricas, pero en 1956 se inicia la producción hidroeléctrica a gran escala con la construcción del embalse de Macagua, ideal por ser una fuente renovable, no contaminante. A finales del mandato constitucional del presidente Rómulo Betancourt, el día 8 de agosto de 1963, se firma el contrato para la creación del embalse del Guri, siendo éste el más grande y el que produce la mayor parte de electricidad en el país actualmente. Su desarrollo se efectúa en dos (2) etapas, la primera de las cuales inicia operaciones el 8 de noviembre de 1968, y la segunda y última etapa es puesta en funcionamiento el 8 de noviembre de 1986.

El Inventario Nacional de Potencial Hidroeléctrico realizado por el extinto Ministerio del Ambiente en 1985 ubicaba alrededor de 400 posibles sitios de aprovechamiento hidráulico con capacidad de generar hasta 155.000 MWh anualmente y

cerca de 50 cuencas en diversas áreas del país con potencial eléctrico superior a 145.000 MWh adicionales, con lo cual Venezuela tendría el potencial eléctrico equivalente a 1.700.000 barriles equivalente de petróleo (BEP). Vale destacar que en el inventario sólo incluye grandes y medianos aprovechamientos hidráulicos (Gomez, 2015).

Para el momento de esta investigación se encontró como registro de aplicación de hidroelectricidad a menor escala en Venezuela, las mini centrales de EDELCA que se encuentran en detalle en el apéndice A, asumiendo que no se ha popularizado en el país este tipo de aprovechamiento a menor escala, se quiere innovar implementándola en pequeños desniveles piezómetros y redes de acueductos, para producir energía aprovechando las condiciones topográficas o las altas presiones que se puedan generar en las redes, siempre y cuando esta energía pueda ser incorporada a las redes de distribución.

## I.2.OBJETIVOS

### I.2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el potencial hidroeléctrico en la red de acueducto en la nueva sede de la Universidad Monteávila para establecer su posible aprovechamiento.

### I.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir el potencial hidroeléctrico de la red de distribución de la nueva sede de la Universidad Monteávila.
- Evaluar las tecnologías disponibles para el aprovechamiento energético de redes de distribución en el mercado y su factible implantación en Venezuela.
- Diseñar, a nivel de ingeniería básica, los elementos requeridos para el aprovechamiento hidroeléctrico de la red de distribución.

## I.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La utilización de sistemas capaces de generar energía de forma limpia y sostenible está teniendo en los últimos años un gran crecimiento debido, en buena medida, al empuje recibido por la confirmación de los problemas de cambio climático y agotamiento de los recursos a los que se enfrenta nuestro planeta. Adicionalmente, los costos derivados de la generación utilizando combustibles fósiles y la lejanía a las cuales se encuentran algunos de los aprovechamientos eléctricos hacen que el uso de fuentes de energía naturales, más cercanas a los centros de consumo deban ser estudiadas con detalle porque la evaluación técnica de nuestra sociedad las hace cada día más factible.

Desde finales de siglo XVIII, la utilización de los recursos hídricos ha sido la forma más común de producción de energía eléctrica limpia. Sin embargo, no ha sido hasta hace pocos años cuando se le ha atribuido el valor añadido, respecto a otros tipos de producción de energía, por beneficios medioambientales que supone su reducido impacto por la no emisión de sustancias contaminantes a la atmósfera, en oposición a los combustibles fósiles.

Existen posibilidades de empleo del recurso hidroeléctrico a pequeña escala, que pueden presentar interés para realidades locales y con un uso de la energía diferente de la industrial. Es el caso de la utilización de los desniveles piezométricos de los acueductos (si se gasta energía para bombear el agua a un cierto nivel, por qué no recuperar una parte en la fase de caída), o de pequeñas turbinas (de pocos kW a pocas decenas de kW) colocadas en regueros o torrentes de montaña, para el suministro de localidades de montaña, o también en canales de riego.

El propósito fundamental para este proyecto es llevar a cabo un estudio de viabilidad respecto a la generación de energía eléctrica renovable, mediante la instalación de microturbinas, aprovechando la energía disipada en las válvulas reductoras presentes en la red de acueducto.

A su vez, la premisa fundamental que se debe satisfacer en todo momento es que la generación se lleve a cabo sin alterar las condiciones del suministro de agua a los consumidores, que son, en esencia: calidad, caudal, presión y fiabilidad.

Para tener un correcto abastecimiento con la finalidad de suministrar caudales y presiones adecuadas en el sistema usualmente se utilizan válvulas reductoras que adaptan las presiones al valor apropiado para el consumo mediante el estrangulamiento del paso de flujo que circula a través de ella, por lo que se propone aprovechar energéticamente el desnivel piezómetro y obtener con ellos la energía eléctrica deseada.

Un beneficio adicional a la realización de la propuesta en el sistema, supone reducir el desgaste en las válvulas reductoras de presión cuya función se pretende sustituir y como consecuencia principal, reducir el mantenimiento de sus elementos constituyentes como, por ejemplo, el del asiento de la válvula, en el cual se producen localmente elevadas velocidades y, por tanto, cavitación.

los desniveles piezométricos existentes en la parcela en estudio obligan a la instalación de seis (6) válvulas reguladoras de presión que justifican un análisis relativo a la energía potencial que conduce la red de distribución y su potencial uso como fuente alterna de suministro de energía eléctrica en espacios icónicos dentro de la UMA.

## CAPITULO II MARCO TEÓRICO

### II.1. HIDROELECTRICIDAD.

Según el Diccionario de la Real Academia Española, la energía es la “capacidad para realizar un trabajo” mientras que define a la Hidroelectricidad como la “Energía eléctrica obtenida por fuerza hidráulica”.

Ambos conceptos los podemos relacionar y constituyen el fundamento de esta investigación, puesto que en ella se analiza la posibilidad de obtener energía eléctrica aprovechando la energía potencial<sup>1</sup> y cinética<sup>2</sup> del agua contenida en las redes de distribución de un urbanismo.

La generación de la energía hidroeléctrica, es autosuficiente y sustentable, por lo que está en constante desarrollo tecnológico y, desde el punto de vista ambiental, es mucho más favorable que la generación de energía termoeléctrica convencional como consecuencia de las emisiones contaminantes que estas generan.

Según el portal web de National Geographic en un artículo publicado el 5 de septiembre del año 2010 “Energía hidroeléctrica”; afirman que la misma proporciona alrededor de un quinto de la electricidad mundial, a su vez es la generación de energía eléctrica más económica (National Geographic, 2010).

Esta última afirmación es discutible puesto que los grandes complejos hidroeléctricos generan costos unitario de energía muy bajos pero, a medida que los

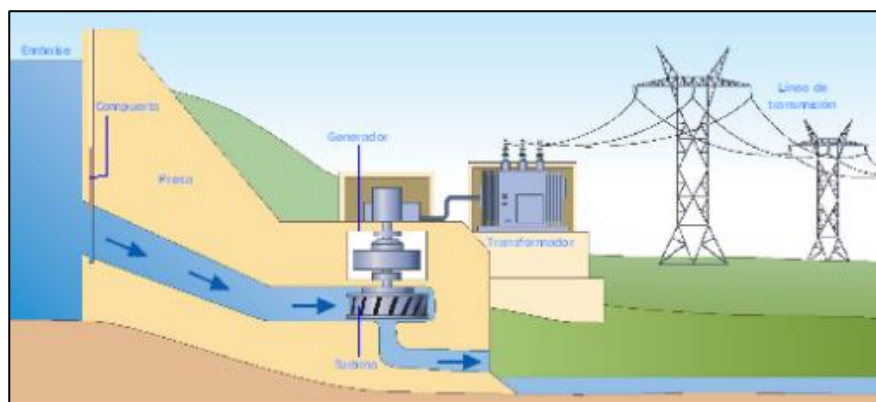
---

<sup>1</sup> Energía resultante de la posición o configuración del sistema.

<sup>2</sup> Energía por consecuencia del movimiento.

aprovechamientos son de menor escala, los precios asociados a la consecución de la energía se hacen cada vez mayores, al extremo que centrales hidroeléctricas de menor escala son sustentables en aquellas economías donde las tarifas del suministro eléctrico son relativamente altas o donde existe una gran diferenciación entre las tarifas asociadas a las horas pico y las de bajo consumo.

Una instalación hidroeléctrica está formada básicamente por componentes hidráulicos, en este caso un sistema de canalización por tuberías y por componentes electromecánicos, como lo son las turbinas y los generadores. El agua procedente de los sistemas de toma de agua es canalizada, a través de conductos, hasta la cámara de carga. Determinándose así el salto útil para la central, donde el agua al pasarla por las paletas móviles o rotores hacen girar el eje del rotor que está conectado a un alternador que es un generador de electricidad, el agua que sale de la turbina es devuelta, a través de los sistemas de restitución a su curso original.



**Figura N° 1.** Esquema de funcionamiento de una central hidroeléctrica. Producción, transporte y almacenamiento de energía eléctrica (Turmero, Pablo)

Dependiendo de aspectos tales como cantidad de agua a captar y desnivel energético aprovechable se seleccionan las turbinas que, en función de estos parámetros,

podrán convertir la potencia hidráulica en mecánica con mayor o menor eficiencia. Las turbinas estarán íntimamente enlazadas con el Generador quien será el encargado de convertir la energía mecánica procedente de la turbina en energía eléctrica que, posteriormente, será entregada a la red de distribución una vez ha sido adaptada (mediante el concurso de los transformadores) en energía capaz de ser conducida y hasta los usuarios finales.

La Potencia hidroeléctrica podemos definirla entonces como el trabajo que realiza un caudal cuando se produce un cambio en su energía potencial por una caída, salto o por una variación de su presión hidrostática.

Definiéndose el trabajo realizado como:

$$T = \gamma V H \quad (\text{Ec-1})$$

Donde  $\gamma$  es el peso específico del fluido, multiplicado por el volumen  $V$  del mismo y a su vez por la altura  $H$  siendo esta el desnivel de energía potencial.

Pudiéndose calcular la potencia según lo explica su definición de la siguiente manera:

$$P = \frac{T}{t} = \frac{\gamma V H}{t} = \gamma Q H \quad (\text{Ec-2})$$

Sabiendo que el caudal ( $Q$ ) es el volumen de agua ( $V$ ) en un tiempo ( $t$ ) determinado.

Cuando se transporta el fluido de un nivel a otro inferior se ocasionan perdidas de energía debido a la fricción ***hf*** y resistencia de forma, es decir, perdidas localizadas ***hl***, no pudiéndose aprovechar del todo el salto bruto ***H***, si no una fracción de esta, denominada altura neta ***Hn***.

$$Hn = H - ht \quad (Ec-3)$$

Siendo ***ht*** la pérdida de energía total:

$$ht = hf + hl \quad (Ec-4)$$

Por consiguiente:

$$P = \gamma Q Hn \quad (Ec-5)$$

La potencia se suele expresar en caballos de vapor (CV) o en kilovatios (kW), por lo que se aplican ciertos factores de conversión, entendiéndose también que el fluido a utilizar es agua se puede sustituir el peso específico del agua, quedando expresada la ecuación de potencia en CV:

$$P = \frac{\gamma Q Hn}{75} = \frac{1000 Q Hn}{75} = 13,33 Q Hn \quad (Ec-6)$$

Si se desea expresar la potencia en kW el factor de conversión de estas unidades es 0,736, con lo cual la ecuación 6 se transforma en

$$P = 13,33 Q Hn * 0,736 = 9.81 Q Hn \quad (Ec-7)$$

Es importante destacar que en el proceso de conversión de potencia hidráulica en mecánica y ésta en energía eléctrica, se generan un conjunto de pérdidas adicionales a las hidráulicas ya mencionadas. Estas pérdidas ocurren como consecuencia de roces mecánicos que impiden que la totalidad de la carga hidráulica sea convertida en energía mecánica y se denomina eficiencia de las turbinas  $\eta_t$ , que depende directamente de la magnitud de caudal Q, de la altura neta Hn y del tipo de turbina.

De manera similar, los generadores, no entregan la totalidad de potencia mecánica recibida transformada en energía eléctrica. Esta variación entre energías en este equipo electromecánico se denomina en este caso eficiencia del generador  $\eta_g$ .

Como consecuencia de la actuación de las turbinas y generadores en el proceso de transformación de energía hidráulica en energía eléctrica es necesario complementar la ecuación N° 7 e incluir las eficiencias de éstos que afectan la energía final obtenida.

$$P = 9.81QHn\eta_t\eta_g \quad [\text{kW}] \quad (\text{Ec-8})$$

## II.2. TURBINAS HIDRÁULICAS.

Se distinguen dos (2) clases de máquinas hidráulicas que convierten la potencia eléctrica en mecánica y finalmente en potencia hidráulica comúnmente llamadas Bombas y aquellas encargadas justamente de lo contrario; es decir, de convertir la potencia hidráulica en mecánica para, finalmente obtener potencia eléctrica que llamamos Turbinas y que constituyen el elemento fundamental requerido para el aprovechamiento hidroeléctrico que sea desea realizar.

En las ruedas hidráulicas obra el agua principalmente por su propio peso, llenando los espacios entre las paletas, cuando éstas se mueven en el sentido del giro de la rueda. Dependiendo de la altura de salto se requiere un diámetro mayor de la rueda, siendo este directamente proporcional, de igual manera ocurre con el caudal, es decir, un mayor caudal demanda un cangilón de mayor tamaño. De tal forma que aun para potencias relativamente pequeñas resultan ya ruedas de muy grandes dimensiones. Particularmente en saltos de poca altura solo se pueden conseguir potencias pequeñas. El rendimiento de estas no alcanza más allá del 75%.

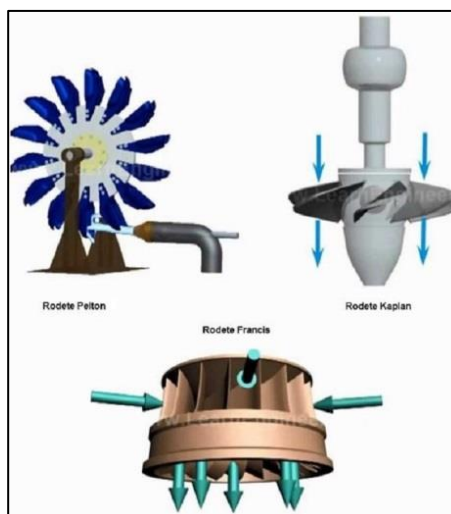
En las turbinas, por el contrario, permiten la transferencia de energía del agua a un rotor provisto de álabes, mientras el flujo pasa a través de éstos. Cuando se poseen altas velocidades el diámetro del rotor debe ser menor, es decir, si aumenta el salto conservando grandes caudales, se pueden conseguir turbinas de dimensiones reducidas.

Teniendo en cuenta que los buenos motores hidráulicos deben permitir el aprovechamiento de cualquier salto (cualquiera que sea la altura y el caudal disponible), el rendimiento debe ser elevado aun cuando sean variables las condiciones del salto (nivel y caudal) para la rentabilidad de las instalaciones, en cualquier caso, la velocidad angular debe ser lo más alto posible para conseguir transmisiones mucho más ligeras. Las turbinas cumplen con las condiciones anteriormente mencionadas; por el contrario, las ruedas hidráulicas resultan ya inadecuadas por su lentitud, su escaso rendimiento, que no excede del 75% y su pequeña velocidad angular, es por esta razón que no las tomaremos en cuenta.

Existen, en general dos (2) tipos de turbinas, de acción (o de impulso) y de reacción. Las primeras son aquellas donde existe un choque de un chorro de agua con un elemento giratorio que aprovecha la energía cinética del flujo, se denominan Turbinas Tipo Pelton en honor al ingeniero Lester Allen Pelton que las desarrolló.

Las Turbinas de reacción por su parte giran al hacer que el flujo pase a través de álabes o hélices que hacen rotar el equipo aprovechando tanto la energía cinética como la energía de presión del flujo. Estas turbinas a su vez pueden dividirse en función de la forma en que el agua pasa a través del elemento móvil, pudiendo ser éste radial, axial o mixto. Cuando el paso del agua por el rotor es parcialmente radial y parcialmente axial, el tipo más representativo es la turbina Francis, mientras que en las turbinas Tipo Kaplan el flujo se mueve axialmente (Linsley & Franzini, 1975).

Las turbinas antes mencionadas son las principales turbinas hidráulicas empleadas en la actualidad.



**Figura N° 2.** Modelos de turbinas hidráulicas. Menna (2018). Recuperado de <http://como-funciona.co/una-turbina-hidraulica/>.

El aprovechamiento hidráulico requiere, además de equipo estrella, la Turbina, una serie de otros componentes encargados de conducir las aguas hasta la turbina, entregar el agua nuevamente hacia la corriente, conducir la energía generada hacia la red de transmisión y adecuar la energía eléctrica producida para ser distribuida o consumida por los usuarios.

En el Apéndice A de este Trabajo Especial de Grado se hace una descripción detallada de las turbinas Tipo Pelton, Francis y Kaplan en caso que el lector desee hacer un estudio más detallado de sus diferencias y rangos de aplicación.

### II.3. BOMBAS TRABAJANDO COMO TURBINAS-PAT

En muchas ocasiones, las condiciones de operación de un sistema de generación eléctrica tienen alta variabilidad y, en estas ocasiones, las turbinas convencionales no suelen ser muy eficientes. Por otra parte, a nivel mundial, las bombas han sido desarrolladas en procesos industriales de fabricación muy eficientes y rápidos mientras que el desarrollo de las turbinas sigue siendo una fabricación individual y, usualmente, muy costosa.

Tomando en consideración los aspectos mencionados se idea un nuevo equipo, usualmente denominado, PAT por sus siglas en inglés: “Pump as Turbine”, es decir, bombas como turbinas donde se hace girar la bomba en sentido contrario a su condición normal de tal manera que, en vez de consumir energía eléctrica la genere.

El concepto de funcionamiento de una bomba centrífuga en modo de rotación inversa ha sido reconocido por los fabricantes de bombas durante muchos años y, dentro

de la industria del suministro de agua, este concepto ha sido explotado hasta cierto punto como un medio para generar energía en lugares donde se considera demasiado costoso comprar una turbina hidráulica. En lugares donde se requiere una reducción de costos de energía, las PAT son al igual que las turbinas de gran interés.

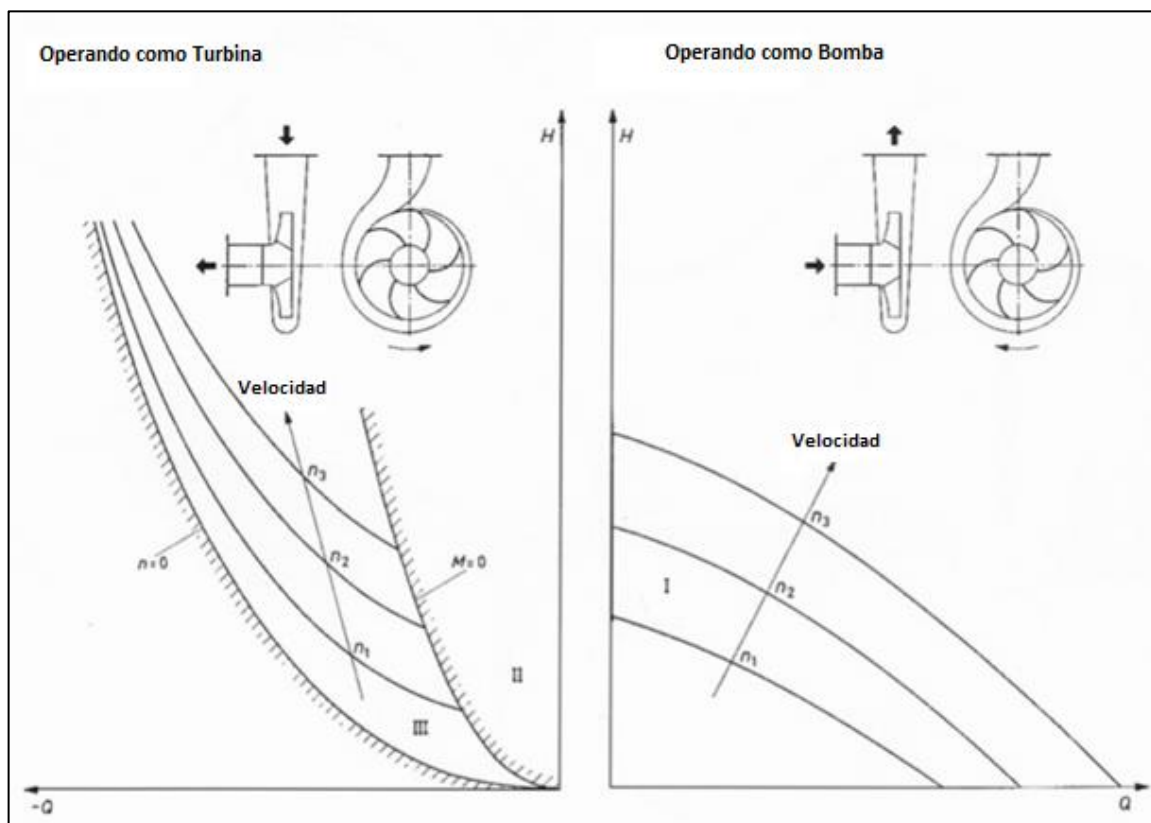
Otra ventaja competitiva de las PAT versus las turbinas es que las bombas son de fácil mantenimiento, mucho más frecuente en todas nuestras ciudades y, por ello, fácil de adquirir piezas y partes desgastadas. También tienen una eficiencia máxima competitiva en comparación con las turbinas convencionales (Derakhshan & Nourbakhsh, ff).

Baumgarten & Guder (2005) plantean que el mayor beneficio es que la producción masiva de bombas significa que son comparativamente mucho más rentables que las turbinas convencionales.

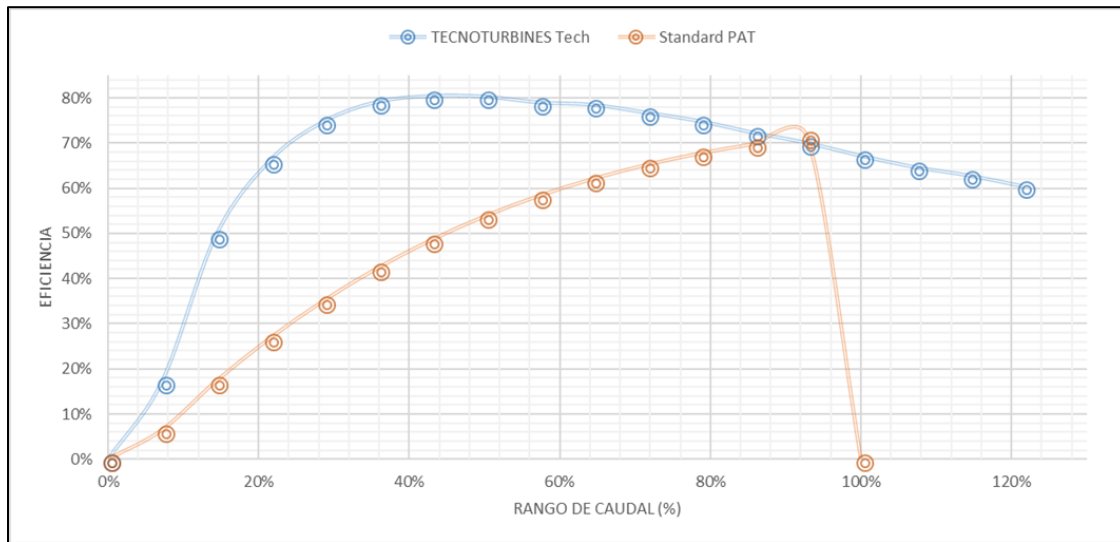
El comportamiento de la bomba funcionando como turbina es muy bueno, ya que la salida de energía podría ser mayor que la energía utilizada para funcionar como bomba. Hidráulicamente, la bomba en modo de turbina puede manejar un mayor volumen de agua que en el modo de bombeo convencional. Existe un flujo más alto dentro de la bomba y esto significa que la cantidad de energía que sale es mayor. Una ventaja adicional es que cuando está en funcionamiento inverso y funcionando como turbina, la bomba funciona de manera más eficiente que en el modo convencional, alega Sander Klos, gerente principal de proyectos de KSB, Small Hydropower. Por estudios hechos en el departamento de hidráulica de la empresa (Orchard, 2009).

En la Figura N° 3 se muestran las curvas de operación características de una bomba y para ésta operando como turbina para diversas revoluciones ( $n_i$ ). En el gráfico

de la bomba operando como turbina se destaca la línea “ $M = 0$ ”, es decir, donde el par que se transmite al eje tiene un valor nulo y la condición de giro igual a cero “0” o cuando la bomba está sujeta a un flujo forzado sin que el eje gire. En la Figura N° 4 se observa la curva de eficiencia vs el rango de caudal donde se logra captar que la eficiencia varía de acuerdo al caudal que pasa por la turbina, dicha curva es de un modelo de PAT en específico proporcionada por Tecnoturbines.

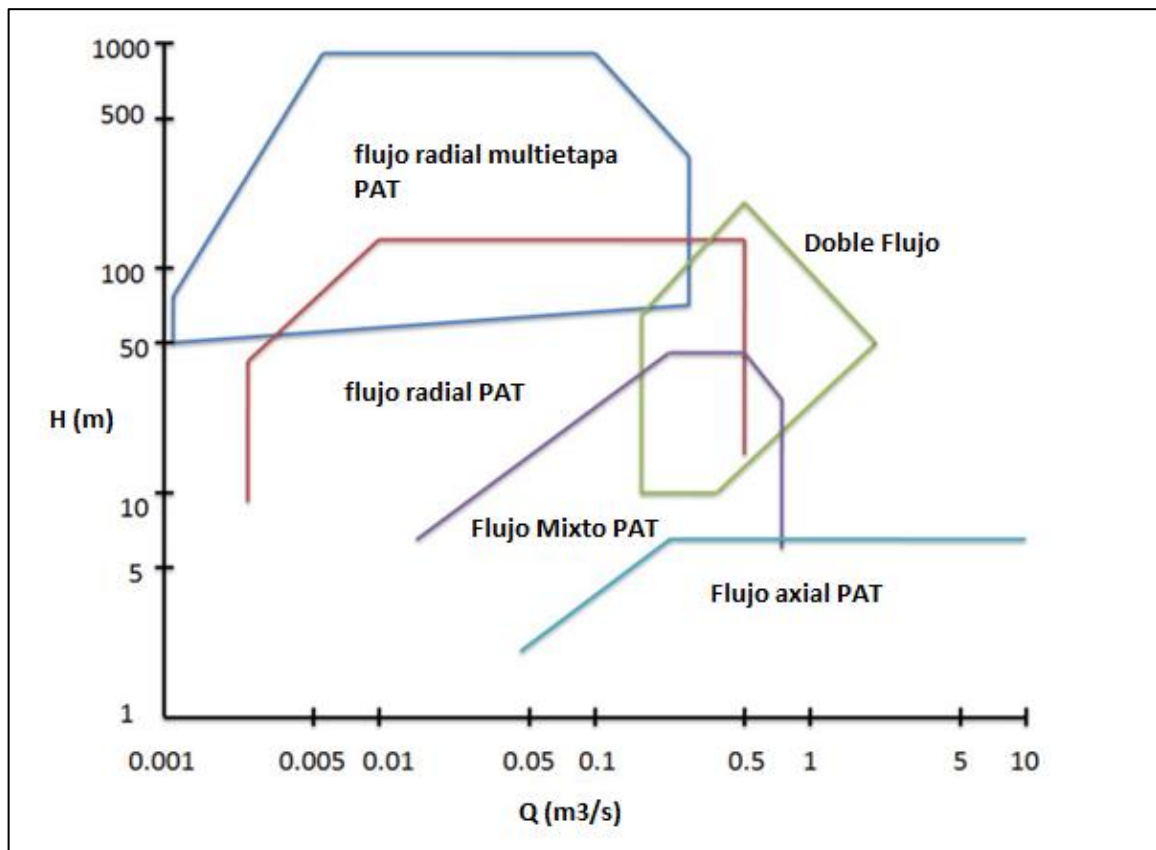


**Figura N° 3.** Turbine Operation vs. Pump Operation Characteristic curves. Baumgarten & Guder. (2005).

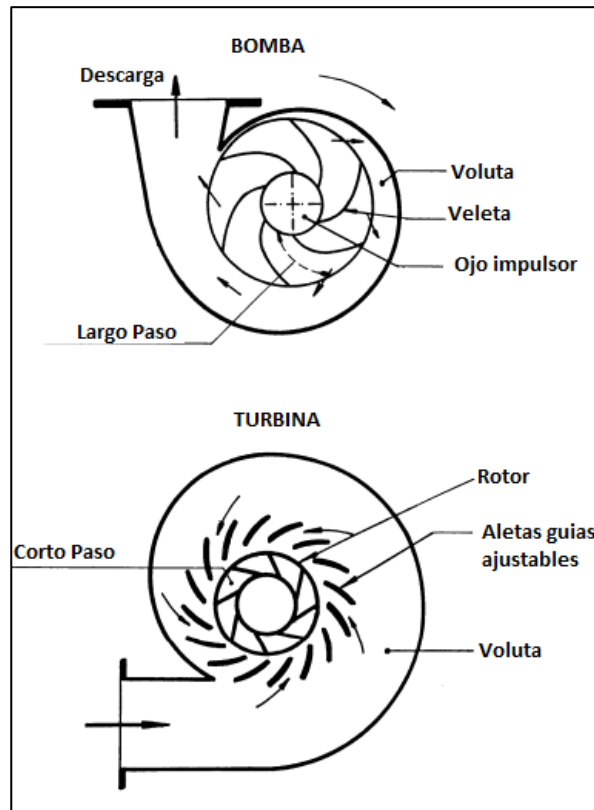


**Figura N° 4.** Curva de eficiencia vs Rango de Caudal. Tecnoturbines (2019).

Como hay muchos tipos diferentes de bombas que pueden usarse como turbinas, Chapallaz, Eichenberger & Fischer (ff) dan la guía aproximada para ayudar a la elección. Las bombas multietapa se usan típicamente en casos en que la altura neta es muy elevada. Cuando el caudal es alto se suelen utilizar bombas de flujo múltiple o un sistema de bombas de flujo único en paralelo. La Figura N° 5 nos da una idea para la elección de los diferentes tipos de bombas funcionando como turbinas y en la Figura N° 6 se observan las condiciones de flujo en un impulsor de bomba y un rodete de turbina.



**Figura N° 5.** Rango general de aplicación de diferentes tipos de PAT. Manual de bombas utilizadas como turbinas. Chapallaz, J. M (1992).



**Figura N° 6.** Comparación de las condiciones de flujo en un impulsor de bomba y un rodete de turbina. Chapallaz, J. M (1992).

Según Williams (1996), la principal desventaja de los sistemas PAT es que las curvas de características en el modo de turbina no suelen suministrarse con la bomba; esto hace que sea difícil elegir la bomba correcta para cada aplicación y se han desarrollado varios métodos para predecir las características del modo de turbina.

Las turbinas convencionales diseñadas para un rango de alturas y caudales cuentan con elementos (aspas guías) que adaptan las condiciones de rotación y conducción del flujo a las condiciones de caudal y carga de agua existentes en cada momento. Por su diseño original, ninguna PAT cuenta con estos equipos tal como lo menciona Orchard (2009) “A diferencia de las turbinas convencionales, las PAT no

tienen aspas guía, ajustables para adaptarse a las fluctuaciones en el suministro de agua y esto se percibe como un inconveniente para su uso”.

Sin embargo, diseños recientes de PAT buscan mejorar su eficiencia y adaptarla a los cambios de caudal modificando la velocidad de giro de la turbina y, con ello, logrando valores de eficiencia altos en un rango de caudales incluso mayor que el de estos mismos equipos trabajando como bombas (Tecnoturbinas, 2018).

Existen varias estimaciones para el rango de funcionamiento y curvas características de las PAT por lo que hay muchas correlaciones disponibles, pero la precisión de todas ellas puede cuestionarse bajo ciertas condiciones y, como tales, estos métodos son en su mayoría solo útiles como una guía aproximada para ayudar en las decisiones de diseño. Puede ser posible obtener suficiente precisión utilizando el software Computational Fluid Dynamics (CFD), como se encuentra en Rawal & Kshirsagar (2007) y Derakhshan & Nourbakhsh (2008), pero esto puede no ser una opción viable en todos los casos, ya que es un proceso intensivo y costoso y también difiere para cada bomba.

Afortunadamente, hay ciertos fabricantes de bombas que prueban sus bombas en modo de turbina y, por lo tanto, pueden proporcionar datos experimentales muy precisos. Esto hace que el proceso de diseño sea mucho más simple, pero como lo indican Chapallaz (1992) aumenta el costo de la turbina ya que el fabricante tiene que realizar todas las pruebas. En muchos casos, esto puede dar como resultado que la misma bomba tenga dos (2) precios diferentes, uno para el modo de turbina y otro para el modo de funcionamiento normal.

Por consiguiente, dada la explicación de las PAT, se anexa la Tabla N°1 con las ventajas y desventajas que existen entre las turbinas y las PAT.

**Tabla N° 1** Ventajas y desventajas entre las turbinas y las PAT.

| Equipo   | Ventajas                                                                                                  | Desventajas                                                                                                                                                               |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| turbinas | <p>Bien documentada</p> <p>Mejor eficiencia</p> <p>Paletas de guía variable para caudal variable</p>      | <p>Costoso</p> <p>Muy pocos proveedores</p> <p>El diseño complejo puede requerir un mantenimiento experto</p>                                                             |
| PAT      | <p>Rentable</p> <p>Ampliamente disponible en el mercado</p> <p>Diseño simple y fácil de mantenimiento</p> | <p>Difícil encontrar curvas correctas de operación de la turbina</p> <p>No hay aletas guía variables para flujo variable</p> <p>No tan bien documentado como turbinas</p> |

## II.4. MICRO HIDRÁULICA

La energía hidráulica, tal como ya ha sido mencionado, se logra obtener de la energía potencial de los diferentes cuerpos de agua, y por su origen es considerada una energía verde, mientras para su aprovechamiento no se requiera la construcción de presas o el trasvase de las aguas.

El concepto de Micro Hidráulica, concebido como aquel que puede aprovechar el potencial hidráulico de cualquier magnitud de caudal, abre un sinnúmero de oportunidades de

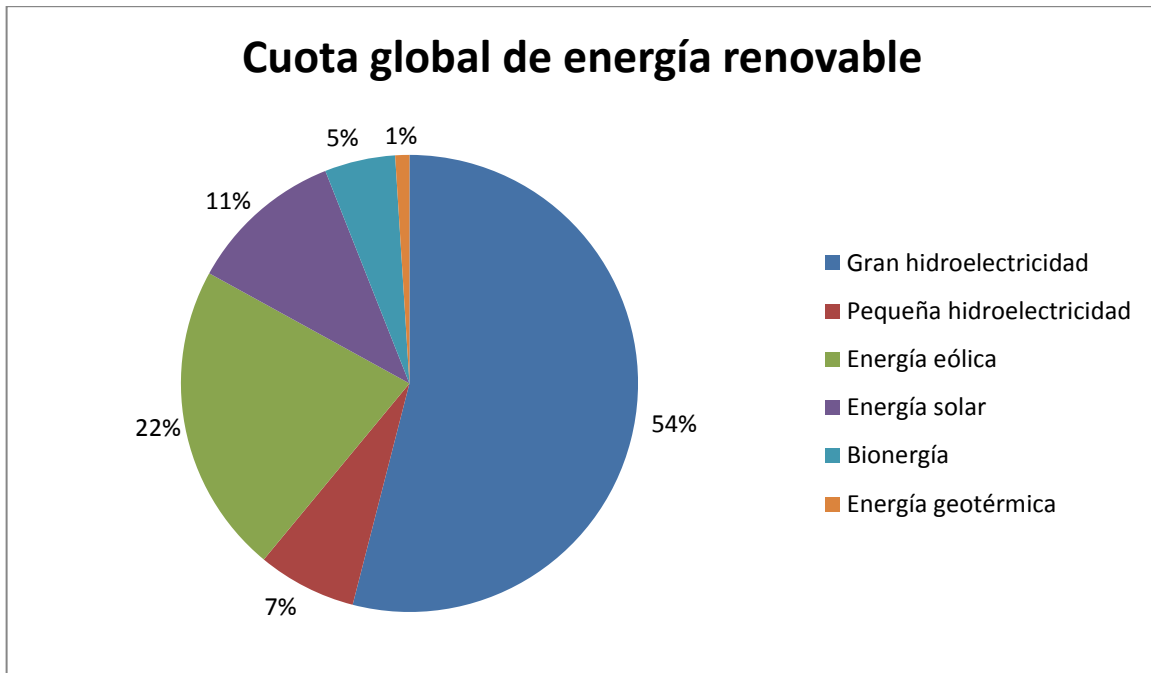
aprovechamiento puesto que, al menos teóricamente, todo flujo de agua que tenga un desnivel piezométrico, es capaz de producir energía eléctrica.

Las redes de distribución y, en especial aquellas ubicadas en ciudades montañosas como la nuestra, permiten obtener energía a medida que los sistemas hidráulicos se desarrollan en la ciudad y deben modificar su energía potencial para abastecer a la ciudadanía. Este novedoso sistema puede cubrir, aunque sea parcialmente, necesidades de energía eléctrica de una comunidad.

La evolución tecnológica en los últimos años ha permitido el desarrollo de equipamientos que permiten aprovechar una gama cada vez más amplia de caudales y alturas, lo que ha convertido a la micro hidráulica en una de las fuentes de energía más competitiva y con mayor calidad de suministro entre las renovables. A la fecha se puede afirmar que hay la posibilidad de lograr configuraciones aptas para aprovechar con eficiencias relativamente altas (>70%) prácticamente todo el espectro de caudales y presiones que usualmente ocurren en sistemas de abastecimiento.

Según un reporte ofrecido por “The World Small Hydropower Development Report 2016” donde afirman que la micro hidráulica representa un 7% del total de la generación de energía renovable a nivel mundial, como se observa en la Figura N° 7.

Ubicándola como unas de las fuentes de energía renovable más importantes del mundo, la micro hidráulica ocupa el cuarto lugar en los actuales momentos tan solo por debajo de la Gran hidroelectricidad (54%), la energía eólica (22%) y la energía solar (11%).



**Figura N° 7.** Cuota global de energía renovable. Extraída de informe sobre el desarrollo mundial de la pequeña hidroelectricidad (2016)

## II.4.1 CONFORMACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA

### MICROHIDRÁULICO (SEMH)

Los elementos que componen un sistema de energía micro hidráulico que se detallan a continuación pueden ser divididos en dos (2) grandes grupos claramente diferenciados. Por una parte, se encuentra el Hidrogenerador, es decir, el equipo encargado de generar electricidad a partir de una potencia hidráulica disponible, y por otra, todos aquellos elementos encargados de la transformación, regulación, protección y almacenaje de la energía, denominados Equipos de Transformación y Control y, de ser necesario, El Auxiliar.

- **HIDROGENERADOR:** es el elemento principal del SEMH. Es donde se transforma la diferencia de energía potencial del agua en energía eléctrica. El Hidrogenerador consta de la turbina y el generador.
- **EQUIPOS DE TRANSFORMACIÓN Y CONTROL:** Son los componentes encargados de la transformación y control de la electricidad generada mediante una serie de dispositivos que estabilizan el funcionamiento de la instalación y suministran la electricidad en las condiciones aptas para su consumo.
- **EQUIPO AUXILIAR:** El equipo auxiliar son aquellos equipos que se encargan de almacenar o disipar la energía que no está siendo consumida en el momento de su generación.

#### II.4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SEMH.

Mini-hidráulica es el término con el que la UNIDO (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial), denomina a las centrales hidroeléctricas de potencia inferior a 10 MW. Dentro de la mini-hidráulica, puede realizarse la siguiente clasificación:

**Tabla N° 2** Tipos de Centrales Mini Hidráulica.

| Tipos de Centrales Mini<br>Hidráulicas | Potencia Generada<br>(P) |
|----------------------------------------|--------------------------|
| Pico centrales                         | $P < 5 \text{ kW}$       |
| Micro centrales                        | $P < 100 \text{ kW}$     |
| Mini centrales                         | $P < 1.000 \text{ kW}$   |
| Pequeñas centrales                     | $P < 10.000 \text{ kW}$  |

Recuperado de Energía minihidráulica Proyecto RES & RUE Dissemination.

#### II.4.3 APLICACIÓN DE LOS SEMH.

Entre las posibles aplicaciones de la micro hidráulica se cuentan:

- Electrificación de viviendas rurales aisladas
- Derivaciones sobre conductos de agua potable (rompe-carga)
- Iluminación de parques.

En muchos casos los caudales de utilización son ínfimos y generalmente no existe necesidad de realizar grandes obras que, de cualquier manera, pueden integrarse en el entorno, por lo que el impacto de estos sistemas en el ambiente es mínimo.

#### II.4.4 MODALIDADES DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SEMH:

Según sus modalidades de funcionamiento las centras micro hidráulicas se clasificarán en:

- Aprovechamiento a filo de agua: son aquellas centrales donde la generación ocurre con la cantidad de agua disponible en el río puesto que no se acumula

agua. La generación está asociada a la disponibilidad del recurso y se anula cuando el caudal del río cae por debajo de un valor mínimo establecido.

- Aprovechamiento a Pie de Presa: Son aquellos donde existe la posibilidad de construir un embalse en el cauce del río que regule las aguas y permita la generación a lo largo del año acorde a las necesidades del consumo. Esta capacidad de controlar el volumen de producción se emplea en general para proporcionar energía durante las horas punta de consumo.

- Aprovechamiento con central remota: son aquellos donde la generación eléctrica se hace en un sitio alejado del sitio de captación de tal manera de lograr un desnivel estático tal que permita el máximo aprovechamiento de la potencia hidráulica.

- Aprovechamiento en sistemas de abastecimiento: son el tipo de aprovechamiento que tiene mayor interés en el presente estudio y se refiere a las situaciones donde sea posible aprovechar la energía potencial de la red de distribución que usualmente debe ser desperdiciada instalando válvulas reguladoras de presión o tanquillas rompecarga. Estos aprovechamientos tienen como ventaja la pre existencia de casi la totalidad de las instalaciones y, por ello, el coste de la inversión es mínimo y, el impacto ambiental es prácticamente nulo.

#### II.4.5 VENTAJAS DE LA MICRO HIDRÁULICA:

- Rentabilidad: es considerada la energía más rentable, ya que es capaz de recuperar la energía de una gran variedad de pequeños desniveles de

energía y sus costes de instalación y mantenimiento son muy reducidos, en comparación con otras energías renovables.

- Versatilidad: La energía que genera mediante las turbinas hidráulicas puede ser utilizada para carga de baterías o para inyectarse a la red eléctrica.
- Sostenibilidad: la mini hidráulica permite aprovechar directamente la energía que pasa a través de los generadores e inmediatamente transformarla en energía, sin necesidad de grandes obras y generando un impacto mínimo en el entorno.

#### II.4.6 DESVENTAJAS DE LA MICRO HIDRÁULICA:

- Condiciones Específicas: para la explotación del recurso hidráulico, deben darse una serie de condiciones hidráulicas no muy variables que permitan instalar una micro turbina y generar energía.
- Limitaciones de Expansión: A pesar de su elevada capacidad de adaptación a entornos muy diversos, tiene ciertas limitaciones de expansión condicionadas por la potencia debido a que existen máquinas hidráulicas que trabajan en rangos de potencia y se deben buscar equipos que se adapten a dicha potencia, están condicionadas también por el tamaño ya que en algunos casos no se tiene el espacio para poder instalar las máquinas, Condicionadas además por las distancias de conexión con la red eléctrica, si estas distancias son bastantes largas generarían un aumento en el costo de inversión.

- Fluctuación del caudal: El caudal puede fluctuar en función de la época del año pudiendo así ser muy reducido, como por ejemplo en la época de verano.

#### II.4.7 PROYECTOS ACTUALES A NIVEL MUNDIAL Y EN VENEZUELA

En la actualidad varios países han implementado la utilización de la micro hidráulica para la generación de electricidad, siendo China quizás el país que más avances ha tenido en esta área.

A continuación, se nombran algunos proyectos donde se ha aprovechado la micro hidráulica en los últimos años y ha demostrado su potencial uso.

- The Rural China Grouped Small Hydro Project: El Proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas agrupadas en la China rural consiste en un grupo de 95 centrales hidroeléctricas a pequeña escala que generan electricidad limpia y renovable en las zonas rurales del suroeste de China. El proyecto contribuye a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero al generar energía hidroeléctrica en lugar de quemar carbón y marca una diferencia sustancial en la vida de las comunidades locales. La capacidad total de generación de estas 95 microcentrales es de 215,71 MW con capacidades variables entre 100 kW hasta 14 MW.

- Central micro hidráulica situada en Hiekawa (Japón): Canaliza 234 litros por segundo con una caída de 54 metros generando una potencia de 100 kW. El agua es captada en un río y conducida por una tubería hasta la turbina mostrada en la Figura N° 8. La energía generada es conectada a la red de distribución de la

zona. Este aprovechamiento reduce la dependencia de la energía atómica, facilitando el balance de las redes de distribución. Este es el primer de varios proyectos de Tecnoturbines (empresa española que fabrica y distribuye microturbinas) en Japón.



**Figura N° 8.** Turbina utilizada en la micro central situada en Hiekawa.

- El depósito de agua tratada de la Planta Niza (Manizales, Colombia) cuenta con una conducción de llenado con una presión de 30 metros y 210 lps. Dicha presión era disipada mediante fricción en una válvula parcialmente cerrada sin ningún tipo de aprovechamiento; por lo que se instaló una turbina Hydroregen de 50 kW a la entrada del depósito se consigue transformar el exceso de presión existente en energía eléctrica, la cual es inyectada en la red eléctrica interna de la planta de tratamiento para su autoconsumo, haciendo que la

instalación sea autosuficiente y generando importantes ahorros en la compra de energía. La reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> se estima en unas 134 Toneladas.

## II.5. VÁLVULAS.

Las válvulas son los elementos de control más importantes en las redes de distribución. Sus variadas funciones abarcan el control de flujo, la protección de equipos, el control de presiones y la distribución de gastos en las redes.

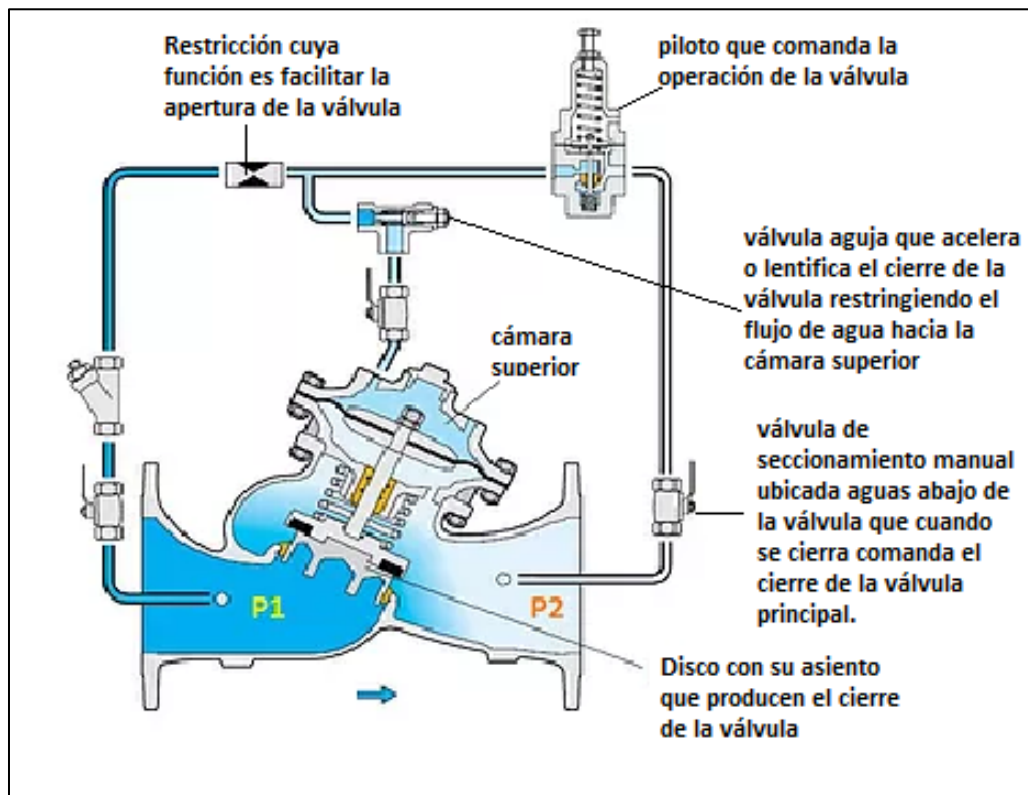
En el caso que ocupa al presente análisis las válvulas que cuentan con mayor relevancia son las Reguladoras de Presión. Los niveles topográficos en aquellas redes de distribución ubicadas en áreas montañosas confieren unas condiciones muy especiales a las presiones que ocurren en, las redes de distribución hasta el punto que se hace necesaria la división de los sistemas de abastecimiento en “Niveles de Servicio”.

Modificaciones menores de los niveles topográficos pueden ser manejados por las redes de distribución sin que se comprometa la integridad de las tuberías y otras piezas singulares, pero a medida que estos cambios crecen en magnitud se hace necesario “disipar” parte de la energía potencial que las aguas incorporan al descender altimétricamente. Según las regulaciones vigentes las redes de distribución en el ámbito urbano pueden ser conducidas con alturas piezométricas que varíen entre 20 y 70 mca (Gaceta 4103, Artículo 96).

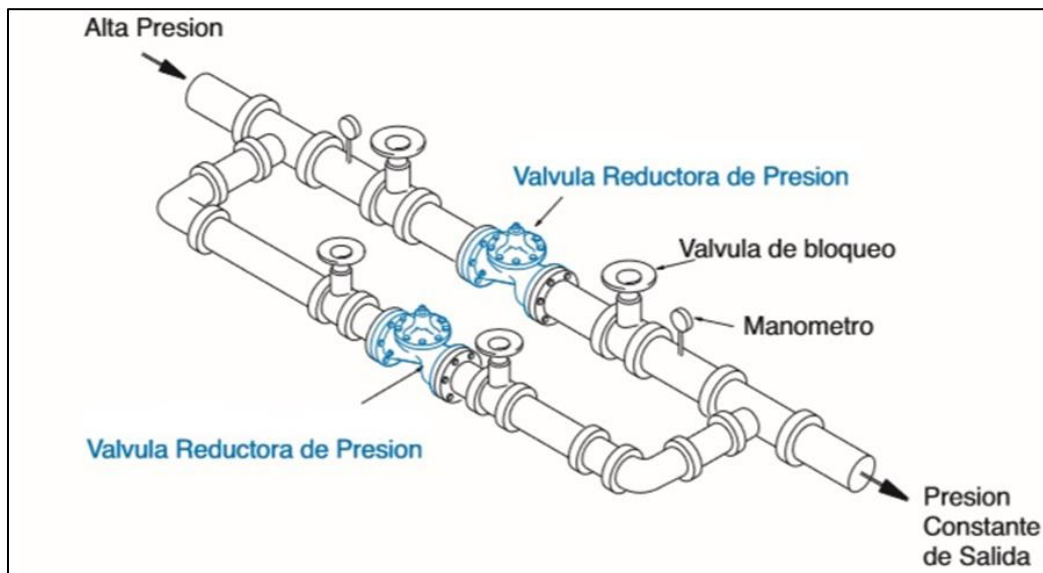
Las válvulas reguladoras de presión (VRP) son los equipos mecánicos encargados de mantener las presiones operativas de las redes de distribución en el rango

de valores adecuado sin que ello perturbe la calidad del servicio ni la vida útil de sus componentes.

Las VRP están diseñadas de tal manera que las presiones antes y después de la válvula sean diferentes con la consecuente pérdida de energía potencial. Esta pérdida de energía se desarrolla mecánicamente dentro de los dispositivos internos de unas estructuras bastante complejas en su concepción y delicadas en su operación. Las Figuras N° 9 y 10 muestran una válvula reductora de presión, su corte esquemático y un arreglo usual de instalación.



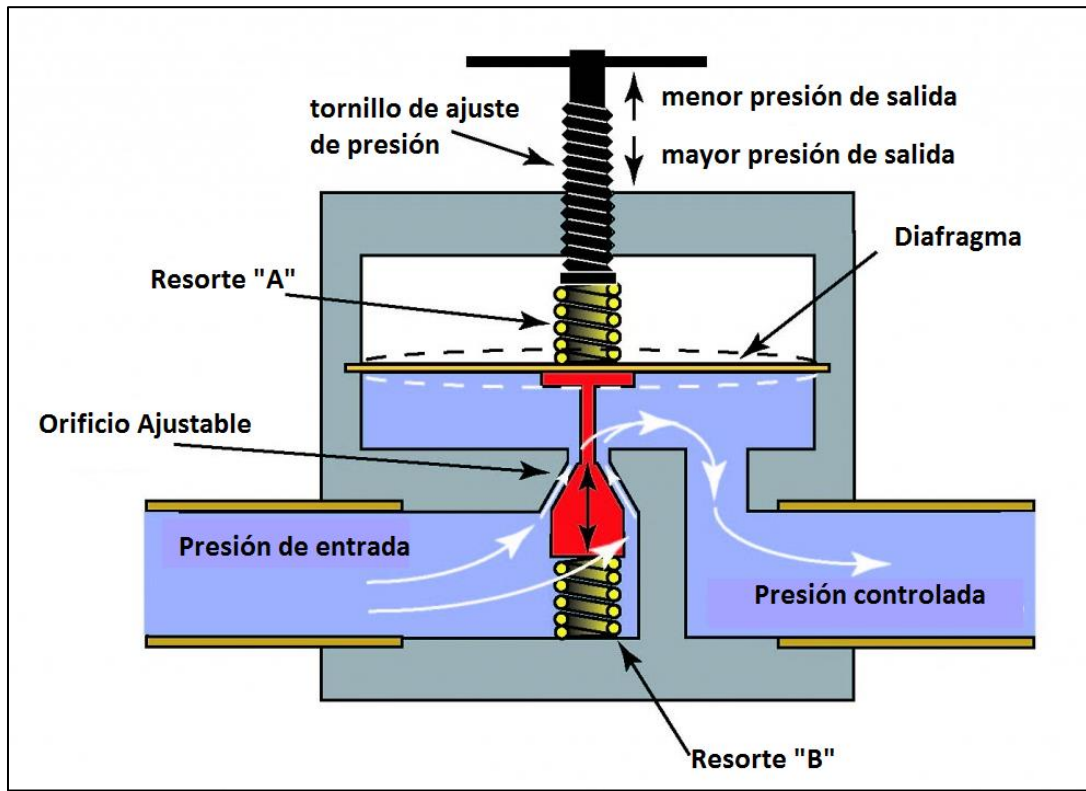
**Figura N° 9.** Corte de una válvula de presión con sus distintas partes. Ingeniería de Fluidos (2016).



**Figura N° 10.** Sistema de válvulas en paralelo. Monge Redondo (2017).

La mayoría de las veces las VRP son instaladas por duplicado para facilitar la operación durante labores de mantenimiento de cualquiera de los equipos o para prevenir problemas en la red por falla de uno de estos dispositivos.

Una forma sencilla de describir una válvula reductora de presión es la de un elemento que reacciona abriendo o cerrando un orificio y un diafragma en función de las presiones aguas arriba (actuales) y la presión aguas abajo (deseada). En la Figura N° 11 se muestran las partes y el detalle de una válvula reguladora de presión.



**Figura N° 11.** Válvulas- Válvulas Reguladoras de Presión. Fuchs (2012).

## CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO

### III.1. INTRODUCCIÓN A LA ESTRATEGIA METODOLÓGICA.

En este capítulo se exponen todos los aspectos que se toman en cuenta para recopilar, presentar, analizar los datos y se despliega cada uno de los aspectos concernientes con la metodología seleccionada para la investigación en base a los objetivos planteados, tal como lo explica Balestrini, M (2006). El Marco Metodológico, está referido al momento que alude al conjunto de procedimientos lógicos, tecno-operacionales implícitos en todo proceso de investigación, con el objeto de ponerlos de manifiesto y sistematizarlos; a propósito de permitir descubrir y analizar los supuestos del estudio y de reconstruir los datos, a partir de los conceptos teóricos convencionalmente operacionalizados. No hay que olvidar, que las cuestiones metodológicas presentaran diferencias atendiendo a los niveles de significación del respectivo discurso teórico. (p. 125).

### III.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

La investigación es documental o también llamada bibliográfica, ya que se hizo uso de distintos documentos existentes, libros y artículos para indagar, interpretar y conocer un sistema de generación de energía de forma limpia. Según indica el libro Como se elabora el Proyecto de Investigación (Balestrini, M. 2006), que dice que en los diseños bibliográficos los datos se obtienen a partir de la aplicación de las técnicas documentales, en los informes de otras investigaciones donde se recolectaron esos datos, y/o a través de las diversas fuentes documentales.

Así mismo, es un tipo de investigación cuantitativa, puesto que requiere de recopilación, análisis de datos en relación con determinadas variables previamente establecidas y del uso de herramientas matemáticas para obtener resultados, según se indica en el libro Metodología de la Investigación Cuantitativa (Palella Stracuzzi, 2012). La investigación cuantitativa requiere del uso de instrumentos de medición y comparación que proporcionan datos cuyo estudio necesita la aplicación de modelos matemáticos y estadísticos. Por ello, se afirma que se fundamenta en el cientificismo y el racionalismo. El conocimiento está basado en los hechos. La objetividad es la manera de alcanzar un conocimiento utilizando la medición exhaustiva y la teoría.

### III.3. NIVELES DE EXPLORACIÓN.

Se desea dar a conocer a partir de este trabajo especial de grado el procedimiento para evaluar la posibilidad de aprovechamiento hidroeléctrico mediante microturbinas determinando el potencial en la red de acueducto.

#### III.3.1 ANÁLISIS DE LOS CONCEPTOS NECESARIOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL.

Esta etapa, fundamental para la investigación, consiste en la definición y estudio de criterios para el análisis del potencial hidroeléctrico, destacando el libro de Proyecto de Ingeniería Hidráulica (Bolinaga, 1999); aunado a una serie de libros y artículos para así lograr ampliar el conocimiento, de tal forma, que se pueda determinar el potencial en la red de acueductos.

### III.3.2 DESARROLLO DE HOJAS DE CÁLCULO PARA CONOCER LA POTENCIA PARA APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO.

Luego de estudiar una serie de conceptos inherentes a este tipo de minicentrales hidroeléctricas, se lleva a cabo la metodología de cálculo utilizada para este proceso de determinación, creando hojas de cálculo en un formato “Excel” que permitan realizar de manera más ágil los cálculos requeridos.

### III.3.3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.

Una vez determinado el potencial, se procede al análisis de factibilidad, el cual consiste en el estudio análisis y disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas propuestas en el proyecto. Evaluando así, si será aprovechable o no.

### III.3.4 BÚSQUEDA Y ANÁLISIS DE NUEVAS TECNOLOGÍAS.

Posterior al estudio de factibilidad, se procede a la indagación y escogencia de la tecnología que se adapte de mejor manera en la red de acueducto, tomando en cuenta parámetros como caudal, presión y diámetro de la tubería. Esto con el fin de conocer de manera cuantitativa la potencia a generar por dichas tecnologías.

### III.3.5 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE LAS TURBINAS A LA TUBERÍA.

Conocida la tecnología (turbina) a ser empleada, seguidamente se realiza un diseño detallado de la instalación de estas a la tubería, dividiéndose este diseño en dos (2):

- Diseño hidráulico, incluyendo tuberías, el caudal que por ellas pasa y el detallado de la turbina que se implementará.
- Diseño estructural, comprenderá todo lo referido a la estructura donde serán colocadas las tuberías y la turbina, es decir, la tanquilla, incluyendo el material.

### III.3.6 CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.

Posterior a la selección y análisis del tipo de turbina a partir de los resultados obtenidos, se emiten las conclusiones y recomendaciones que se deben tener en cuenta durante el proceso de determinación, evaluación del potencial, así como también de la escogencia de tecnologías y su instalación en la red.

### III.3.7 ELABORACIÓN DE TOMO.

La elaboración del tomo se lleva a cabo en paralelo con todos los procesos expuestos anteriormente, de tal manera, que al finalizar el correspondiente análisis de los datos el tomo estuviese culminado.

## CAPITULO IV. DESARROLLO.

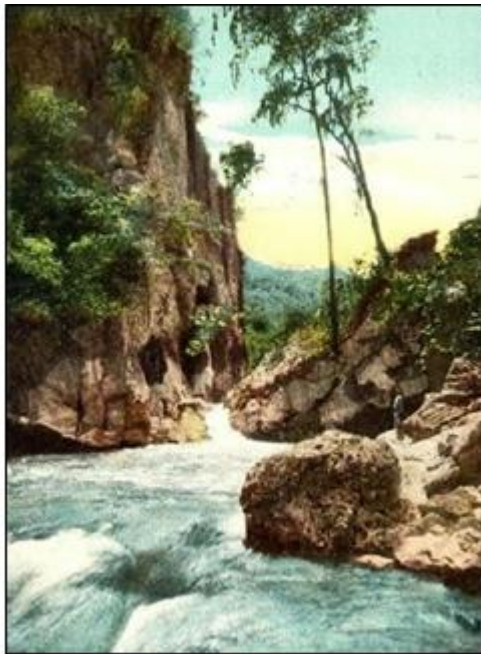
### IV.1. EVALUACIÓN DE APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO

#### IV.1.1 DESCRIPCIÓN DEL SITIO

La Universidad Monteávila (UMA) prepara el desarrollo de una nueva sede, la cual estará ubicada en el Municipio El Hatillo, con la finalidad de expandir su oferta educativa; buscar el confort tanto de sus alumnos como el de sus profesores e incluir varias actividades orientadas a la formación integral del estudiante.

##### IV. 1.1.1 CONDICIONES TOPOGRÁFICAS Y GEOTÉCNICAS

La parcela donde se desarrollará la nueva sede tiene una extensión de 133,09



hectáreas en un terreno ondulado-montañoso que cuenta con grandes extensiones de áreas protegidas para mantener condiciones ambientales adecuadas e impedir el deterioro de la fauna y flora autóctona de la región. Menos del 20% del terreno de la parcela será afectado por la construcción de la Universidad, incorporan aquellos espacios ubicados en los topes de los cerros o donde la pendiente de los terrenos cuente con pendientes medias a bajas.

**Figura N° 12.** Peñón de las Guacas.

Vale la pena destacar que los terrenos se encuentran ubicados en la margen derecha del río Guaire muy cerca del sitio denominado “Cañón del Río Guaire” y, dentro de la propia parcela se encuentra el Peñón de Las Guacas o Peñón de Los Carraos que alberga en su seno La Cueva Los Carraos, también conocida como Cueva Zuloaga como homenaje a quien iniciara el desarrollo hidroeléctrico de la nación y cuya preservación es pilar fundamental de las actividades futuras de la Universidad.

El desnivel existente entre el río Guaire y el área a desarrollar más baja de la parcela es de unos 150 metros por lo cual la interferencia de la UMA en el río y su entorno es prácticamente nula.

Geológicamente, el terreno constituye un afloramiento rocoso que forma parte de la fase Zenda de la Formación Las Brisas del Jurásico y topográficamente los terrenos tienen pendientes variables, casi en su totalidad superiores al 20% y en la mayor parte cercanos al 100% en las laderas que tienen frente hacia el oeste (Wikipedia, 2015).

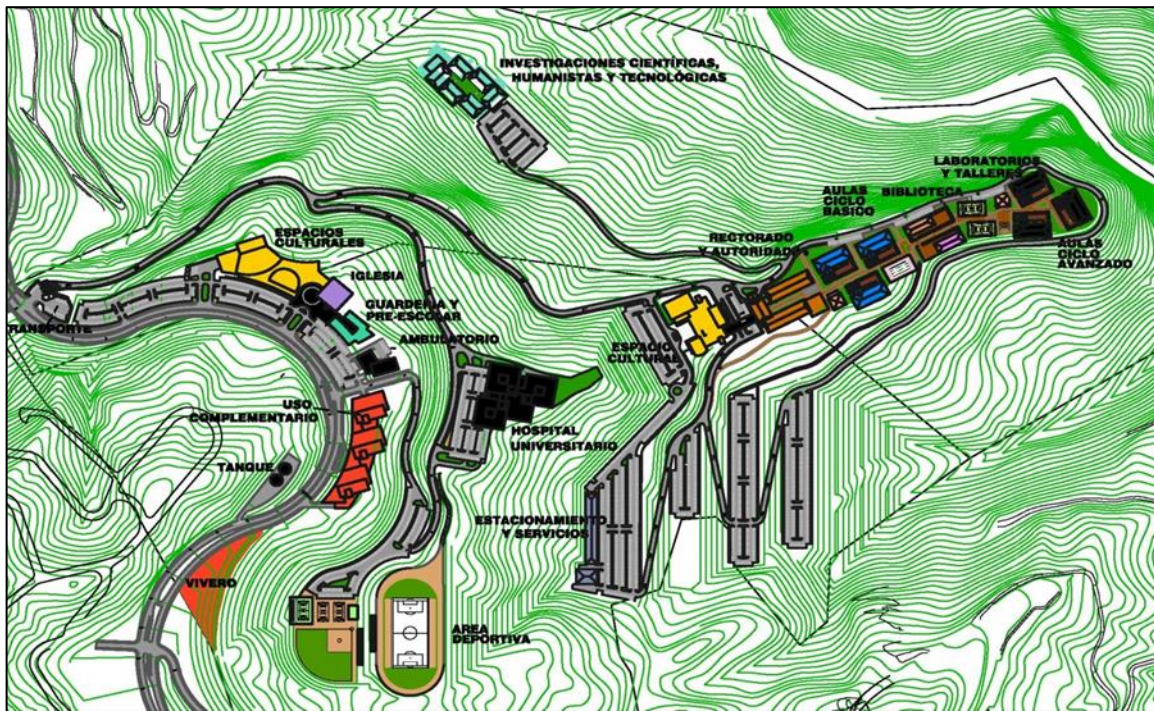
El desnivel total de la parcela es superior a los 600 metros, aunque dentro del espacio aprovechable y de futuros desarrollos académicos es de “tan sólo” unos 200 metros que, constituyen un reto desde el punto de vista de las redes de distribución de agua y un contrasentido cuando se piensa que las aguas utilizadas en el abastecimiento han tenido que subir más de 800 metros para tener que disipar prácticamente el 15% o 20% de la energía que debió utilizarse para su ascenso.



que se implanta en un espacio independiente y ubicado a una cota ligeramente inferior a la primera. La tercera, a un nivel sensiblemente cercano al del Hospital, es el espacio asignado a actividades deportivas de uso mixto universitario y público. El área académica se desarrolla en una terraza inclinada orientada en sentido suroeste – noreste con desniveles progresivos y que constituyen las áreas donde se podrían generar mayores presiones de la red de distribución. El último espacio está reservado para la investigación y desarrollo de nueva tecnología constituye la zona más septentrional dentro del lote de terreno.

La construcción de la Universidad Monteávila es un proceso que se estima desarrollar en no menos de 10 años por la gran variedad de edificaciones a erigir y la necesidad de contar para su ejecución del concurso de innumerables aportes y donativos del sector privado.

Esta condición repercute igualmente en la posibilidad de generar electricidad en el tiempo y será más eficiente mientras mayor sea la cantidad de personas que hagan uso de sus instalaciones y mayor sea la cantidad de actividades que se ejecuten en las áreas abastecidas por el sistema de acueducto de la Universidad.



**Figura N° 14.** División del Urbanismo (D.Y.P Ingeniería y Ambiente C.A, 2018)

## IV.2. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA UMA

### IV.2.1. DESCRIPCIÓN

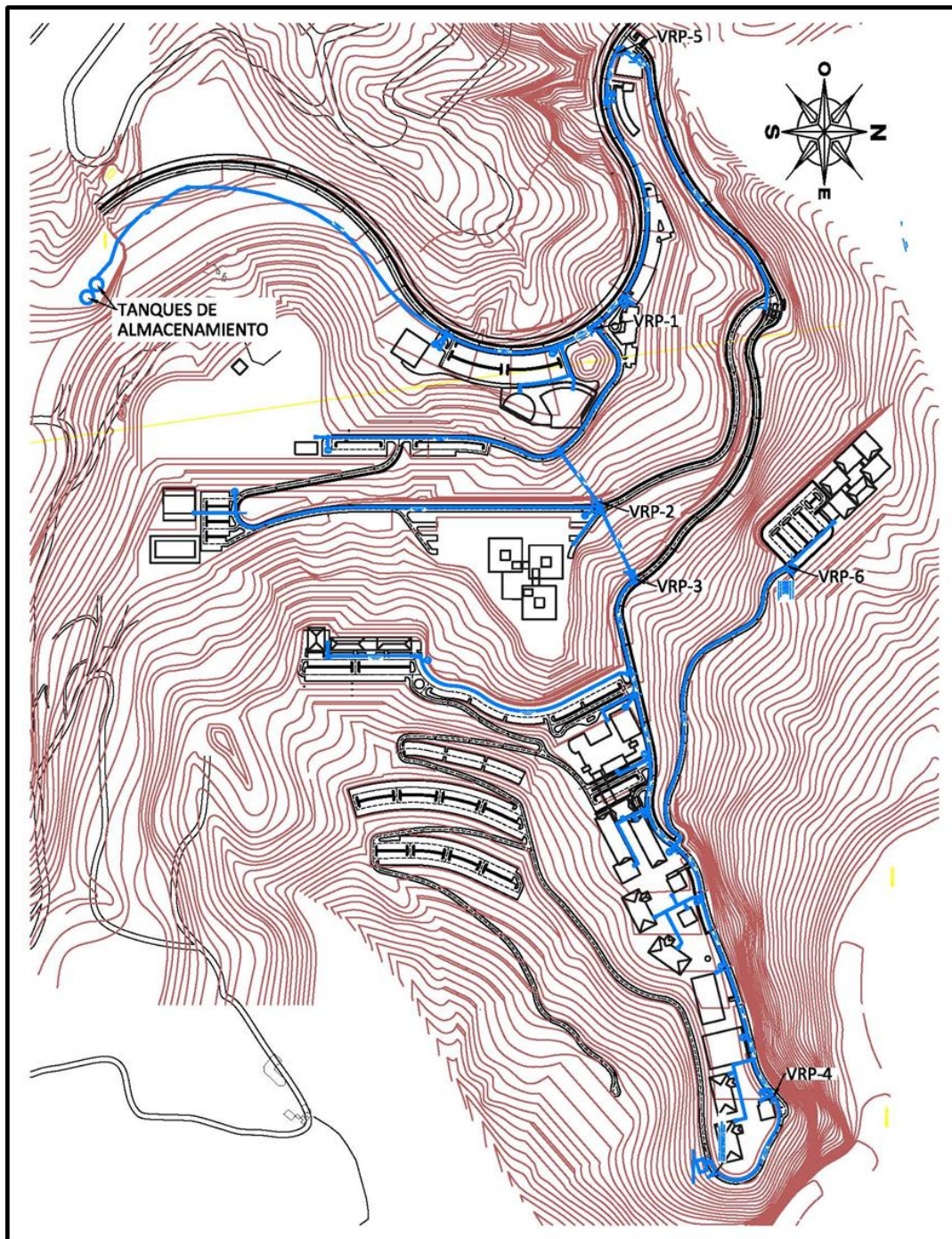
El sistema de distribución de agua potable utilizado en esta evaluación ha sido tomado del diseño realizado por la empresa D.Y.P Ingeniería y Ambiente contratada al efecto por la Directiva de la Universidad Monteávila (D.Y.P Ingeniería y Ambiente C.A, 2018).

El acueducto de la Universidad (Ver Figura N° 14) se inicia en dos (2) estanques con capacidad de almacenar  $1.250 \text{ m}^3$  de agua cada uno que serán abastecidos desde el

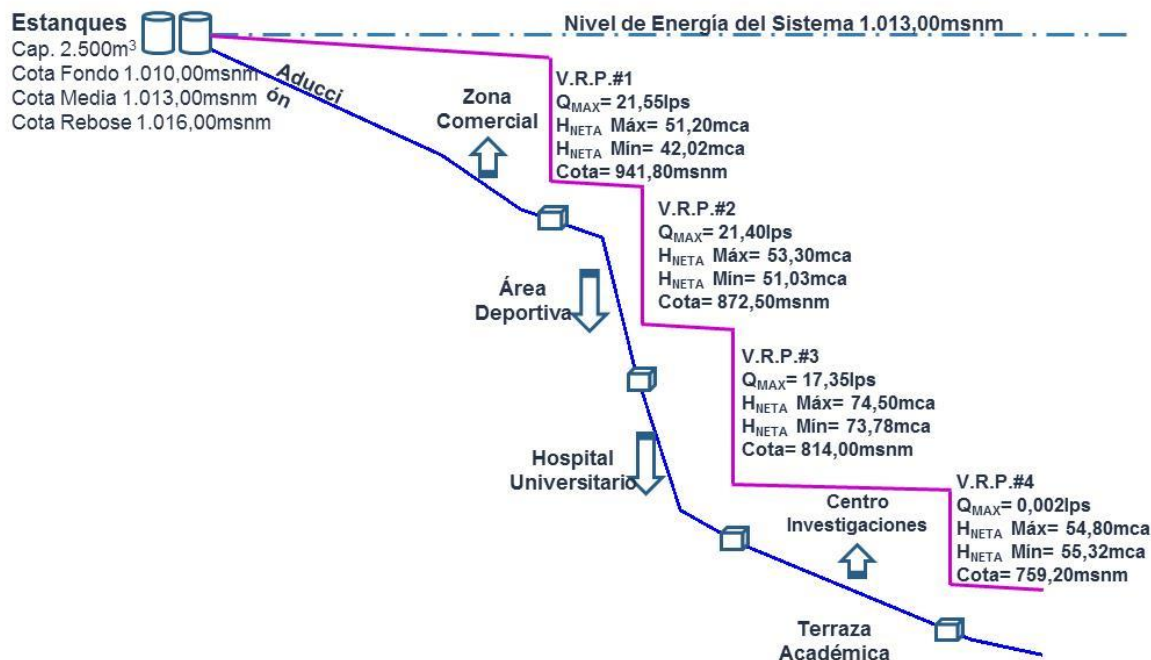
alimentador de Hidrocapital que se encuentra en fase de diseño y que vinculará el Sector El Encantado con las urbanizaciones ubicadas en el sureste de la ciudad.

La ubicación de los estanques, al sureste de la parcela, permite contar con un nivel en energía tal que la distribución desde allí y hacia todos los espacios que conformarán la UMA puede realizarse por gravedad. La cota media de los tanques de almacenamiento es de 1.013 msnm.

A partir de los tanques se inicia una red de distribución ramificada que tiene una longitud de 4.800 metros aproximadamente y que sigue, en la mayor parte de su recorrido, las vías internas de la universidad. En general se puede apreciar que la red tiene dentro de sus componentes un total de seis (6) válvulas reductoras de presión que permiten definir niveles de distribución asociadas a terrazas de diversa altimetría y por lo tanto un igual número de sitios donde se prevé la conversión una gran cantidad de energía hidráulica potencial en pérdidas mecánicas en las VRP. Tres (3) de estas válvulas se encuentran en la tubería principal de distribución y, por ello son componentes que combinan caudal significativo y pérdida de presión importante mientras que las válvulas restantes se encuentran en ramificaciones de la red con caudales relativamente pequeños.



**Figura N° 15.** Sistema de distribución de agua potable (D.Y.P Ingeniería y Ambiente C.A, 2018).



**Figura N° 16.** Esquema energético de red de distribución de agua potable (Elaboración Propia).

#### IV.2.2 DATOS CAUDALES Y PRESIONES.

Del diseño de las redes de distribución realizado se recibe un cuadro resumen con la simulación a tiempo extendido de los caudales y presiones que se espera ocurran durante un día de operación para la condición final del desarrollo urbano. La simulación se efectúa bajo las condiciones establecidas por el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS) quien define una curva típica de consumo urbano a lo largo de las 24 horas del día. Esta curva, que cuenta con un gasto máximo de 200% y un gasto mínimo del 40%, correspondiendo un 100% al gasto medio, se incrementa en un 25% para tomar en cuenta el día de máximo consumo con lo cual se establece un gasto máximo del 250% que define una de las condiciones de diseño de la red. Otras simulaciones realizadas para evaluar el comportamiento de la red ante la eventual operación de algunos de los 10

hidrantes que tiene la red, no fue tomada en cuenta por ser estos gastos puntuales y asociados a un evento de incendio no deseable y muy poco probable.

La Tablas N° 3 muestran los datos hidráulicos, topográficos y las características más relevantes de las seis (6) VRP y de las tuberías donde están instaladas así como de otros nodos de la red propuesta.

La presión mostrada en la Tabla N° 4 es la presión que ocurre para la máxima condición de caudal (250%  $Q_m$ ) y, por ello, constituye la menor presión disponible en el extremo aguas arriba de las válvulas instaladas en la red de distribución. Para cualquier otra condición de caudal se contará con la posibilidad de turbinar las aguas con una mayor presión hidrostática.

Es importante destacar que las tuberías a utilizar son de PEAD Polietileno de Alta Densidad en las Tablas N° 5 y N° 6 se muestran las especificaciones de las tuberías de interés y las condiciones hidráulicas de las mismas.

**Tabla N° 3** Características de los nodos de interés.

| Nodo    |                      | Presión Máx.<br>(mca) | Elevación<br>msnm | Altura Neta<br>$\Delta P$ (m) |
|---------|----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------|
| Nombre  | VRP                  |                       |                   |                               |
| N-02    |                      | 56,30                 | 947,50            |                               |
| N-03    | VRP-1 (Aguas Arriba) | 19,98                 | 941,80            | 42,02                         |
| N-04    |                      | 32,82                 | 927,00            |                               |
| N-05    | VRP-2 (Aguas Arriba) | 35,99                 | 872,50            | 51,33                         |
| N-06    | VRP-3 (Aguas Arriba) | 19,99                 | 814,00            | 74,50                         |
| N-11    | VRP-6 (Aguas Abajo)  | 44,75                 | 786,4             | 76,15                         |
| N-11-01 |                      | 61,3                  | 735               |                               |
| N-15    | VRP-4 (Aguas Abajo)  | 68,62                 | 759,20            | 55,32                         |
| N-16    |                      | 26,69                 | 752,50            |                               |
| N-03-02 |                      | 57,72                 | 904,00            |                               |
| N-03-03 | VRP-5 (Aguas Arriba) | 20,01                 | 894,80            | 46,91                         |

**Tabla N° 4** Cálculo de presión aguas arriba de la válvula para el gasto máximo en la red.

| Nodo    |                      | Presión aguas arriba | Presión aguas abajo |
|---------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Nombre  | VRP                  |                      |                     |
| N-03    | VRP-1 (Aguas Arriba) | 61,83                | 20,00               |
| N-05    | VRP-2 (Aguas Arriba) | 87,03                | 36,00               |
| N-06    | VRP-3 (Aguas Arriba) | 93,78                | 20,00               |
| N-11    | VRP-6 (Aguas Arriba) | 96,15                | 20,00               |
| N-15    | VRP-4 (Aguas Abajo)  | 75,32                | 20,00               |
| N-03-03 | VRP-5 (Aguas Arriba) | 66,92                | 20,00               |

**Tabla N° 5** Características de las tuberías de interés

| Tubería | Nodo inicio | Nodo Final | Longitud<br>(m) | Diámetro<br>interno<br>(mm) | Espesor<br>(mm) | Diámetro<br>Nominal<br>(mm) | Diámetro<br>Nominal<br>(pul.) |
|---------|-------------|------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|
| T-4     | N-02        | N-03       | 50,00           | 257,80                      | 28,60           | 315,00                      | 12,00                         |
| T-6     | N-04        | N-05       | 86,50           | 257,80                      | 28,60           | 315,00                      | 12,00                         |
| T-7     | N-05        | N-06       | 103,00          | 204,60                      | 22,70           | 250,00                      | 10,00                         |
| T-28    | N-11        | N-11-01    | 428,50          | 204,60                      | 22,70           | 250,00                      | 10,00                         |
| T-17    | N-15        | N-16       | 176,00          | 40,80                       | 4,60            | 50,00                       | 2,00                          |
| T-20    | N-03-02     | N-03-03    | 68,00           | 40,80                       | 4,60            | 50,00                       | 2,00                          |

**Tabla N° 6** Condiciones hidráulicas de las tuberías en estudio.

| Válvula Reguladora<br>de Presión (VRP) | Tubería | Caudal<br>máximo<br>(2,50Qm) (lps) | Caudal medio<br>Qm (lps) | Velocidad<br>para Máx.<br>(m/s) | Pérdida de<br>Carga (m/km) |
|----------------------------------------|---------|------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| VRP-1                                  | T-4     | 53,880                             | 21,552                   | 1,03                            | 3,39                       |
| VRP-2                                  | T-6     | 53,510                             | 21,404                   | 1,03                            | 3,30                       |
| VRP-3                                  | T-7     | 43,380                             | 17,352                   | 1,32                            | 6,86                       |
| VRP-6                                  | T-28    | 0,870                              | 0,348                    | 0,03                            | 0,01                       |
| VRP-4                                  | T-17    | 0,005                              | 0,002                    | 0,00                            | 0,00                       |
| VRP-5                                  | T-20    | 0,020                              | 0,008                    | 0,01                            | 0,01                       |

De las tablas antes presentadas se puede apreciar que las válvulas reguladoras de presión VRP-4, VRP-5 y VRP-6, aun teniendo grandes presiones que disipar tienen caudales muy bajos a turbinar por encontrarse en ramales extremos de la red de

distribución y, por lo tanto, la energía residual que ellos podrían generar se considera menor y su aprovechamiento no viable, por lo cual tan sólo se analizará el potencial hidroeléctrico de los sitios denominados VRP-1, VRP-2 y VRP-3.

### IV.3. CÁLCULO DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO

La definición del aprovechamiento hidroeléctrico de la UMA se inicia con la definición de la potencia nominal que se podría obtener en los diversos sitios donde ocurre un desnivel energético significativo para, posteriormente seleccionar aquellos que se consideren aptos e identificar los equipos a instalar, estableciendo las condiciones óptimas de rendimiento e inversión.

#### IV.3.1. CÁLCULO DE POTENCIA NOMINAL PROBABLE

El cálculo del potencial de aprovechamiento hidroeléctrico mostrado en la Tabla N° 7 se efectuará tomando en consideración los gastos medios y máximos que podrían ser turbinados en cada uno de los sitios seleccionados y, para ello, se utilizará la fórmula general de producción de Energía para una turbina indicada anteriormente en la ecuación (Ec-8) que tiene la siguiente formulación:

$$P = 9.81QH_n\eta_t\eta_g$$

Dónde:

$\eta_t * \eta_g = \eta$       Corresponde a los rendimientos de la turbina y del generador. Como se evalúa el aprovechamiento máximo se escogerá  $\eta=1$ .

Q: Q<sub>m</sub> o Q<sub>máx</sub>. Caudal circulante, expresado en lps. A efectos del cálculo de la potencia se hacen 2 estimados: el primero en base al caudal medio a turbinar y el segundo en base al caudal máximo.

H<sub>n</sub>: Salto neto disponible, expresado en mca.

**Tabla N° 7** Cálculo de Potencias.

| Nodo    |                      | Caudal (lps)         |                                                | Salto<br>Neto<br>H <sub>n</sub> (m) | Potencia<br>(kW) | Potencia<br>máx. (kW) | Potencial<br>Nominal<br>total |
|---------|----------------------|----------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Nombre  | VRP                  | Q <sub>m</sub> (lps) | Q <sub>máx</sub><br>(2,50Q <sub>m</sub> )(lps) |                                     |                  |                       |                               |
| N-03    | VRP-1 (Aguas Arriba) | 21,552               | 53,880                                         | 42,02                               | 8,884            | 22,210                | 80,86 kW                      |
| N-05    | VRP-2 (Aguas Arriba) | 21,404               | 53,510                                         | 51,33                               | 10,778           | 26,945                |                               |
| N-06    | VRP-3 (Aguas Arriba) | 17,352               | 43,380                                         | 74,50                               | 12,682           | 31,704                |                               |
| N-11    | VRP-6 (Aguas Arriba) | 0,348                | 0,870                                          | 76,15                               | 0,260            | 0,650                 |                               |
| N-15    | VRP-4 (Aguas Abajo)  | 0,002                | 0,005                                          | 55,32                               | 0,001            | 0,002                 |                               |
| N-03-03 | VRP-5 (Aguas Arriba) | 0,008                | 0,020                                          | 46,91                               | 0,004            | 0,009                 |                               |

Los resultados mostrados en la tabla ratifican el bajo potencial hidroeléctrico de las válvulas VR-4, VR-5 y VR-6 por lo cual tan sólo se considerarán los sitios VRP-1, VRP-2 y VRP-3 cuya potencia nominal total alcanza 80,86 kW.

#### IV.3.2. DEFINICIÓN DE LA POTENCIA A INSTALAR

El caudal a turbinar en cada uno de los sitios de aprovechamiento se encuentra supeditado al consumo de agua que exista en el desarrollo urbano planificado por la Universidad.

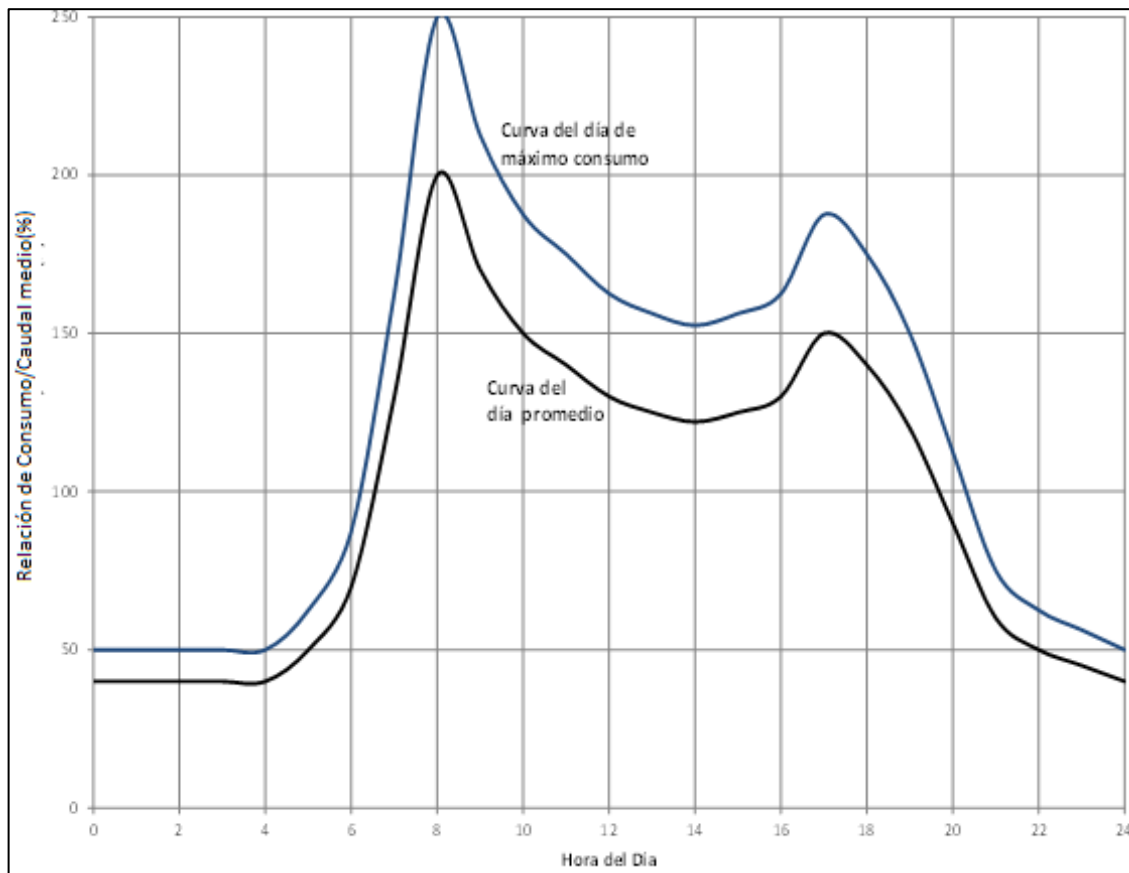
Una actividad que se quiso efectuar durante el desarrollo del presente trabajo especial de grado fue la definición de una curva de consumo típica para un campus universitario similar al que nos ocupa; sin embargo, inconvenientes ocurridos al momento de desarrollar la actividad aunado a las fallas en los servicios públicos de la ciudad en los meses en que se desarrolló el TEG impidieron la consecución de una curva que en mayor o medida representara los consumos diarios de la UMA.

Ante la ausencia de información más precisa se opta por suponer que la curva de consumo típica del INOS representa la manera en que se distribuirán los caudales de consumo a lo largo del día.

Tal como se aprecia en la Figura N°17 la distribución del consumo de agua a lo largo de un día normal oscila entre valores cercanos al 40% del caudal medio hasta valores del 200% a principios de la mañana mientras que en el día de máximo consumo el gasto máximo alcanza un 250% del gasto medio.

El aprovechamiento total de la energía disponible en los sitios seleccionados sólo se alcanzaría (sin tomar en cuenta las pérdidas electromecánicas) disponiendo de equipos que tengan una potencia nominal calculada para el gasto pico del día de máximo consumo. Esta condición se considera muy poco eficiente puesto que se tendría una capacidad ociosa de potencia instalada con poco o nulo aprovechamiento.

Por otra parte, potencias instaladas del 40% o menos tendrían, a decir de la curva de consumo, una eficiencia del 100% (factor de planta=1,00) puesto que en todo momento habría un caudal igual o superior al potencialmente turbinable.



**Figura N° 17.** Curva de consumo típica del INOS.

Así, para la correcta escogencia de la potencia a instalar se procedió a analizar la energía total generada durante un día promedio para diversas potencias instaladas en el sitio VRP-1 tomando en consideración la carga neta disponible fija, rendimiento turbina generador del 70% y una generación máxima igual a la potencia nominal de la turbina para todos aquellos caudales que superen el caudal de diseño.

La Tabla N° 8 muestra los resultados de dicho análisis y de ellos se desprende información interesante. La primera parte de la tabla se ocupa de calcular la energía que podrían generar diversas turbinas instalada en la VRP-1 con una misma carga de diseño,

pero diferentes caudales de diseño. Los caudales de diseño se asocian a porcentajes del gasto medio esperado en la VRP-1 y se ha barrido un espectro de caudales que se inicia con el 10 % de caudal medio (2,16 lps) hasta el 200% del caudal medio (43,10 lps), siendo el gasto medio (21,55 lps) indicado anteriormente. En el apéndice D se indican las tablas de cálculos para cada porcentaje del caudal medio.

**Tabla N° 8** Costos de inversión y energía total producida en un día

| % $\frac{Q_{turb}}{Q_{med}}$ | Qturb (lps) | Potencia nominal (kW) | Energía nominal (kWh) | Energía generada (kWh) | Factor de planta | Estimado costo de inversión USD | Costo unitario del kWh | Energía adicional generada kWh | Costo \$ incremento potencia | Costo unitario \$ incremento kW |
|------------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------|---------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 10,0%                        | 2,16        | 0,62                  | 14,93                 | 14,93                  | 1,00             | 6.220,39                        | 416,67                 |                                |                              |                                 |
| 20,0%                        | 4,31        | 1,24                  | 29,86                 | 29,86                  | 1,00             | 12.440,79                       | 416,67                 | 14,93                          | 6220,39                      | 416,67                          |
| 30,0%                        | 6,47        | 1,87                  | 44,79                 | 44,79                  | 1,00             | 18.661,18                       | 416,67                 | 14,93                          | 6220,39                      | 416,67                          |
| 40,0%                        | 8,62        | 2,49                  | 59,72                 | 59,72                  | 1,00             | 24.881,58                       | 416,67                 | 14,93                          | 6220,39                      | 416,67                          |
| 50,0%                        | 10,78       | 3,11                  | 74,64                 | 71,22                  | 0,95             | 31.101,97                       | 436,68                 | 11,51                          | 6220,39                      | 540,54                          |
| 60,0%                        | 12,93       | 3,73                  | 89,57                 | 81,18                  | 0,91             | 37.322,37                       | 459,77                 | 9,95                           | 6220,39                      | 625,00                          |
| 70,0%                        | 15,09       | 4,35                  | 104,50                | 90,51                  | 0,87             | 43.542,76                       | 481,10                 | 9,33                           | 6220,39                      | 666,67                          |
| 80,0%                        | 17,24       | 4,98                  | 119,43                | 99,22                  | 0,83             | 49.763,15                       | 501,57                 | 8,71                           | 6220,39                      | 714,29                          |
| 90,0%                        | 19,40       | 5,60                  | 134,36                | 107,92                 | 0,80             | 55.983,55                       | 518,73                 | 8,71                           | 6220,39                      | 714,29                          |
| 100,0%                       | 21,55       | 6,22                  | 149,29                | 116,01                 | 0,78             | 62.203,94                       | 536,19                 | 8,09                           | 6220,39                      | 769,23                          |
| 110,0%                       | 23,71       | 6,84                  | 164,22                | 124,10                 | 0,76             | 68.424,34                       | 551,38                 | 8,09                           | 6220,39                      | 769,23                          |
| 120,0%                       | 25,86       | 7,46                  | 179,15                | 132,18                 | 0,74             | 74.644,73                       | 564,71                 | 8,09                           | 6220,39                      | 769,23                          |
| 125,0%                       | 26,94       | 7,78                  | 186,61                | 135,73                 | 0,73             | 77.754,93                       | 572,87                 | 3,55                           | 3110,20                      | 877,19                          |
| 130,0%                       | 28,02       | 8,09                  | 194,08                | 138,53                 | 0,71             | 80.865,13                       | 583,74                 | 2,80                           | 3110,20                      | 1111,11                         |
| 150,0%                       | 32,33       | 9,33                  | 223,93                | 144,75                 | 0,65             | 93.305,91                       | 644,61                 | 6,22                           | 12440,79                     | 2000,00                         |
| 175,0%                       | 37,71       | 10,89                 | 261,26                | 147,55                 | 0,56             | 108.856,90                      | 737,77                 | 2,80                           | 15550,99                     | 5555,56                         |
| 200,0%                       | 43,10       | 12,44                 | 298,58                | 149,10                 | 0,50             | 124.407,89                      | 834,38                 | 1,56                           | 15550,99                     | 10000,00                        |

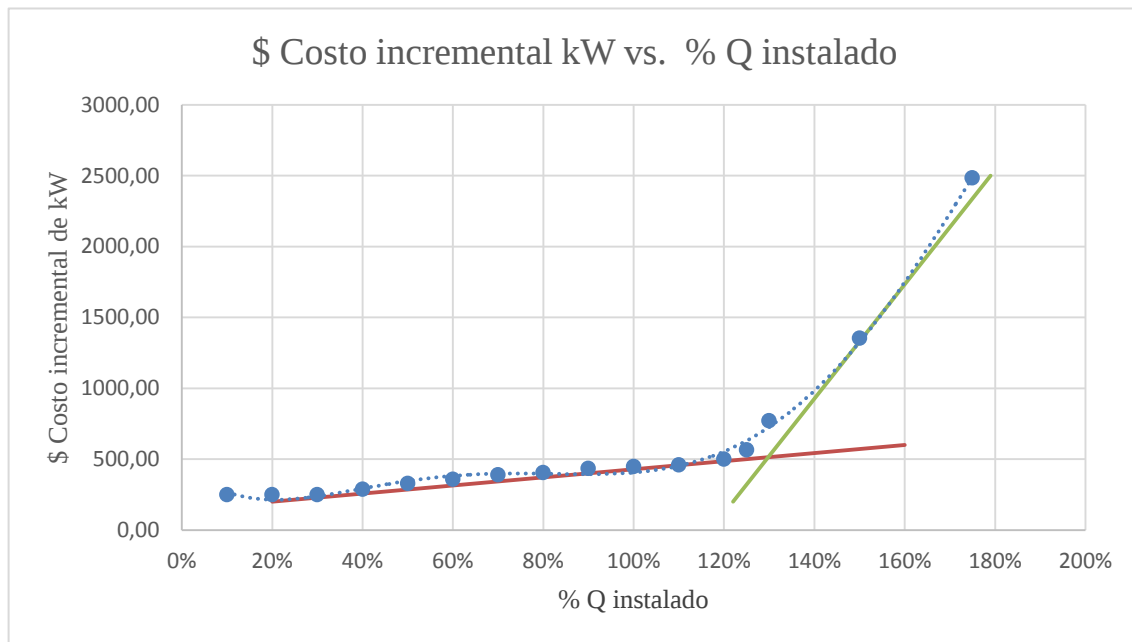
Carga neta: 42,02m. Eficiencia: 70%.

Posteriormente se hace un estimado del costo de inversión con la potencia nominal estimada y ordenes de magnitud de los requerimientos de inversión por kW

instalado obtenidos de las investigaciones realizadas. Se estima a este nivel preliminar que el costo de instalar una turbina en un sistema de distribución es de 7.000 USD/kW.

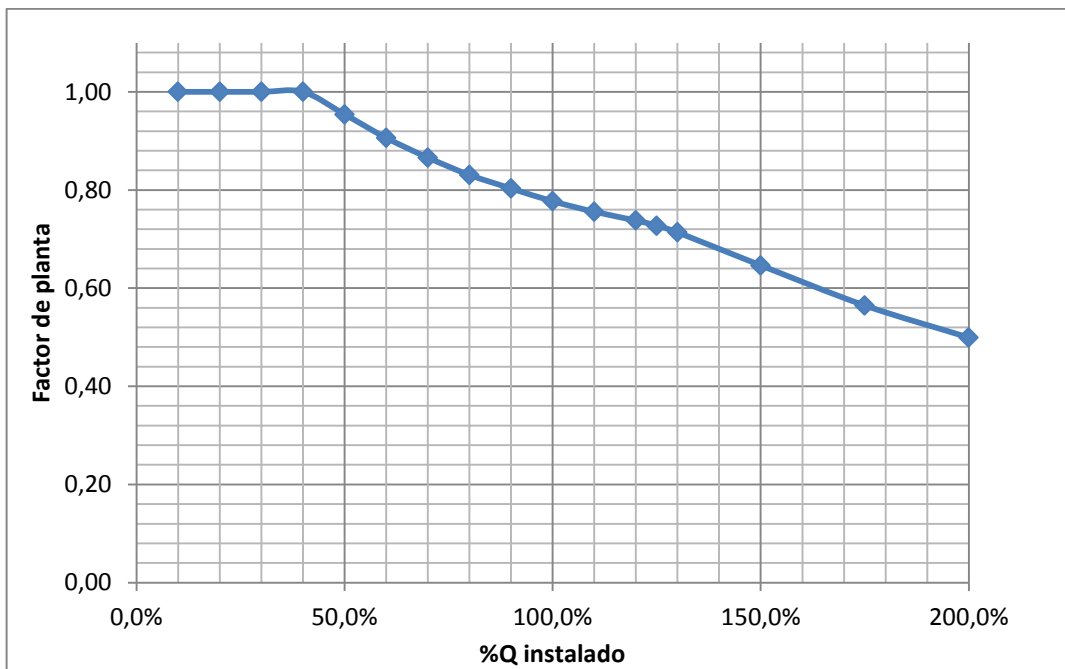
Con los costos de inversión y con la energía total producida en un día de operación se estima un valor referencial denominado Costo unitario de kW producido que empieza a dar una idea sobre los beneficios asociados a cada mini planta.

Finalmente se hace un cálculo que permite conocer, al comparar cada incremento de potencia instalado, el costo asociado a las energías adicionales producidas y, tal como se aprecia en la Figura N° 18 existe un punto de inflexión a partir del cual los costos asociados a kWh adicional generado son extraordinariamente altos y, por lo tanto, carentes de sentido.



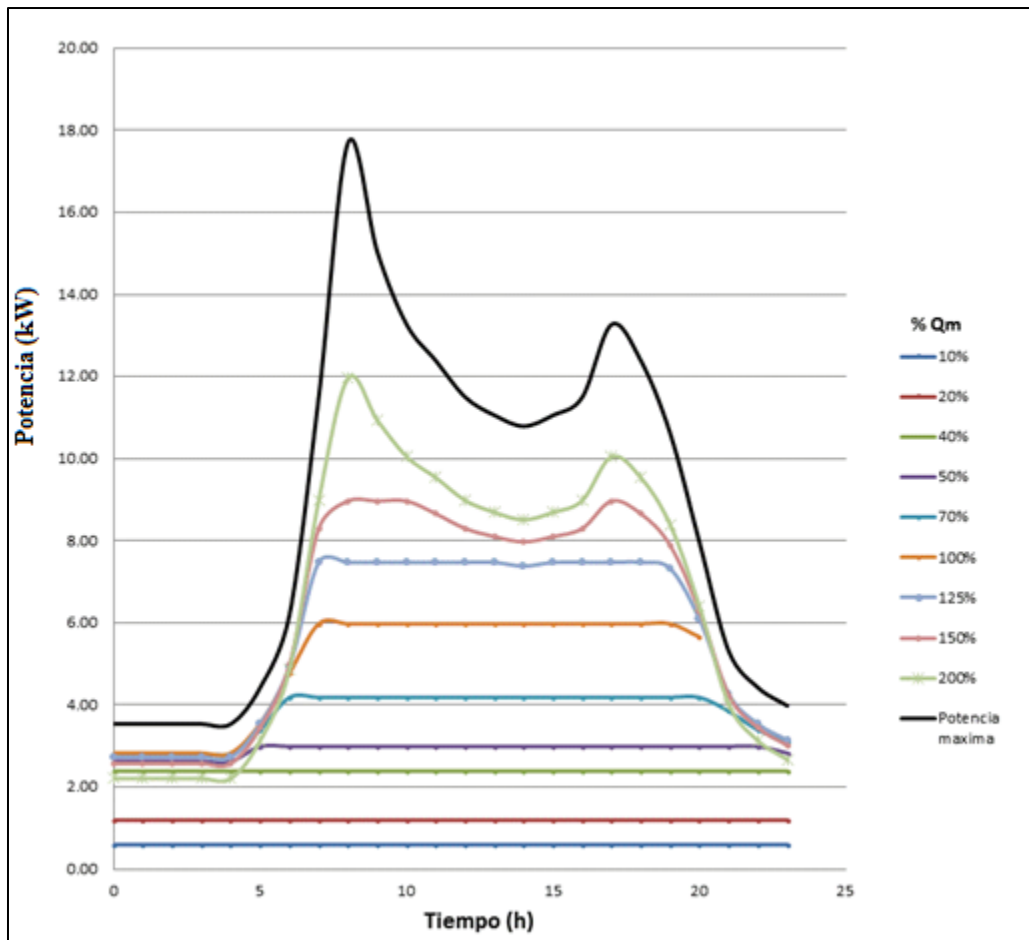
**Figura N° 18.** Gráfica \$ Costo incremental kW vs. % Q instalado. Elaboración propia (2019).

Al igual que en la Figura N°18, se traza la gráfica representada en la Figura N° 19 donde se vincula el factor de planta de la micro central en relación al caudal de diseño. Se efectúa esta gráfica con el fin de verificar si existe una relación entre estas dos (2) variables que permite definir con mayor precisión cuál es el caudal que mejor beneficio puede alcanzar. Tal como se aprecia, esta figura no aporta un comportamiento el cual facilite la decisión puesto que, una vez que se sobrepasa el valor del 40% el factor de planta es inversamente proporcional y de manera lineal al caudal de diseño sin ningún tipo de inflexión. Ratificando lo dicho anteriormente, tener una potencia instalada asociada al caudal pico del día de máximo consumo no sería una condición eficiente por que se tendría una capacidad ociosa de potencia.



**Figura N° 19.** Gráfica Factor de Planta vs % Q instalado. Elaboración propia (2019).

En la Figura N° 20 se observa una representación gráfica de la energía producida en comparación con la máxima potencia que se podría generar. La línea negra constituye la potencia nominal del sitio VRP-1, se observa también un resumen de la tabla N° 8 anteriormente mostrada de la variación de potencia generada con respecto al tiempo según caudales máximos turbinados, incluyendo también la potencia máxima generada partiendo de la premisa de que, en esta última, la turbina posee una eficiencia del 100%, siendo así la potencia máxima que se puede generar en el sistema.



**Figura N° 20.** Gráfico de la variación de Potencia (kW) vs Tiempo (h). Elaboración propia (2019).

En conclusión y a efectos del presente estudio, se estima que la turbina a instalar en cada uno de los sitios de aprovechamiento debe ser capaz de aprovechar la totalidad del salto o carga de diseño y tendrá como caudal de diseño el 125% del caudal medio de cada uno de los puntos de interés, como se muestra en la Tabla N° 9.

Es importante destacar que los cálculos anteriores se realizaron con los datos de la VRP-1, dado que la tendencia del gráfico que se quería evaluar (Figura N° 20) era prácticamente la misma para los dos puntos de estudio restantes.

**Tabla N° 9** Características de las turbinas a instalar.

| Nodo   |       | Caudal (lps) |        | Altura neta (m) | Potencia Qd (kW) |
|--------|-------|--------------|--------|-----------------|------------------|
| Nombre | VRP   | Qm           | Qd     |                 |                  |
| N-03   | VRP-1 | 21,552       | 26,938 | 42,02           | 11,11            |
| N-05   | VRP-2 | 21,404       | 26,750 | 51,33           | 13,47            |
| N-06   | VRP-3 | 17,352       | 21,688 | 74,50           | 15,85            |

Qd= Caudal de Diseño.

Es pertinente destacar que en todos los cálculos anteriores de potencia no se está considerando la eficiencia real de la turbina, sino que se hace una estimación general de la eficiencia, común a todas, para que, en cálculos sucesivos, se subsane esta aproximación y se definan los valores exactos en todo momento.

Para poder obtener la potencia real que pueda generar, se requiere considerar las diferentes tecnologías de fácil obtención en el mercado que se acoplen al sistema con los parámetros originalmente establecidos por la red de acueducto del proyecto inicial, teniendo en cuenta la eficiencia del equipo.

## CAPITULO V. DISEÑO PARA EL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO

### V.1. PROPUESTA DE ACTUACIÓN EN LOS PUNTOS DE LA RED

#### V.1.1. TURBINAS EN EL MERCADO PARA AJUSTE AL SISTEMA

Una vez realizado el cálculo de los puntos de interés y verificar cuales son los potencialmente aprovechables, se procede a consultar diferentes empresas que proporcionen tecnologías adaptables a las necesidades de la red.

Las empresas consultadas se encuentran reseñadas, con su respectiva descripción en el Apéndice C.

Todas las turbinas descritas por las empresas cumplen teóricamente las condiciones de caudal y carga que imperan en la red de abastecimiento; sin embargo, sólo algunas de ellas, suministraron información suficiente para identificar el modelo más adecuado para su instalación y, después de ello, proceder a definir la energía que realmente serían capaces de generar en el sistema. Uno de los aspectos más sensibles se refiere a la eficiencia del equipo trabajando en unas condiciones de caudal variable que diariamente oscila entre el 32% y el 160% del caudal nominal del equipo.

Lo descrito anteriormente se representa en las siguientes Tablas N°10, N°11 y N°12 que se muestran a continuación donde, para facilitar la comparación se ha marcado con una equis (X) aquellos equipos que trabajan en el rango de interés.

**Tabla N° 10** Especificaciones de las turbinas consultadas para VRP-1

| TURBINA                                            | Especificaciones |               |                         |            | VRP1              |          |                  |         |
|----------------------------------------------------|------------------|---------------|-------------------------|------------|-------------------|----------|------------------|---------|
|                                                    | Diámetro (mm)    | Presión (mca) | Rango de Caudales (lps) | Eficiencia | Altura neta (mca) | Qm (lps) | Qd =1.25Qm (lps) | Pw (kW) |
|                                                    |                  |               |                         |            | 42,02             | 21,55    | 26,94            |         |
| Turbogenerador de carrete para generar energía TRX | 50 - 600         | 15 - 250      | 2 - 600                 | 68,00%     | X                 | X        | X                | 7,55    |
| Turbina generadora de electricidad TRX             | 50.8 y 76.2      | 8 - 80.       | 5 - 12.                 | 50,97%     | X                 |          |                  | 5,66    |
| Mini turbinas hidráulicas con generador TRX        | 50,8             | 5 - 40.       | 5 - 10.                 | 57,00%     |                   |          |                  | 6,33    |
| Inbloc 065-040-C                                   | 40-65            | 55-80         | 2-50.                   | 70,00%     |                   | X        | X                | 7,77    |
| Inbloc 065-050-D                                   | 50-65            | 30-60         | 5-80.                   | 70,00%     | X                 | X        | X                | 7,77    |
| XJ25-3.0DCTF4-Z                                    | 150              | 18-20         | 18-30                   | 70,00%     |                   | X        | X                | 7,77    |
| XJ25-1.5DCTH4-Z                                    | 125-150          | 15            | 12- 18.                 | 70,00%     |                   |          |                  | 7,77    |
| XJ22-1.1DCTH4-Z                                    | 125-150          | 15            | 10-15.                  | 70,00%     |                   |          |                  | 7,77    |
| XJ28-6.0DCT4/6-Z                                   | 150-200          | 28-35         | 30-38                   | 70,00%     |                   |          |                  | 7,77    |
| XJ28-6.0DCTF4/6-Z                                  | 200              | 18-20         | 38-50                   | 70,00%     |                   |          |                  | 7,77    |
| XJ30-10DCT4-Z                                      | 200-250          | 30-38         | 40-50                   | 70,00%     |                   |          |                  | 7,77    |
| XJ30-10DCTF4/6-Z                                   | 200-250          | 25-30         | 50-60                   | 70,00%     |                   |          |                  | 7,77    |
| Turgo 1500w                                        | 101,6            | 15            | 12-18.                  | 65,00%     |                   |          |                  | 7,22    |
| R189                                               | 50.8 y 76.2      | 10-80.        | 5-350                   | 70,00%     | X                 | X        | X                | 7,77    |
| R125                                               | 50,8             | 10-25.        | 5-20.                   | 70,00%     |                   |          |                  | 7,77    |
| FHJ25-1.5SDCT4-Z                                   | 125              | 18-25.        | 8-10.                   | 70,00%     |                   |          |                  | 7,77    |
| FHJ25-1.5SDCTH4-Z                                  | 125-150          | 25-35         | 15-19                   | 70,00%     |                   |          |                  | 7,77    |
| AC banki/cross flow                                | 101,6            | 15-20.        | 40-80                   | 70,00%     |                   |          |                  | 7,77    |
| Inblocpico 065                                     | 154              | 15-20         | 0.5-1.5.                | 75,00%     |                   |          |                  | 8,33    |

**Tabla N° 11** Especificaciones de las turbinas consultadas para VRP-2.

| TURBINA                                            | Especificaciones |               |                         |            | VRP2              |          |                   |             |
|----------------------------------------------------|------------------|---------------|-------------------------|------------|-------------------|----------|-------------------|-------------|
|                                                    | Diámetro (mm)    | Presión (mca) | Rango de Caudales (lps) | Eficiencia | Altura neta (mca) | Qm (lps) | Qd = 1.25Qm (lps) | Pw (kW)     |
|                                                    |                  |               |                         |            | 51,33             | 21,4     | 26,75             |             |
| Turbogenerador de carrete para generar energía TRX | 50 - 600         | 15 - 250      | 2 - 600                 | 68,00%     | X                 | X        | X                 | <b>9,16</b> |
| Turbina generadora de electricidad TRX             | 50.8 y 76.2      | 8 - 80.       | 5 - 12.                 | 50,97%     | X                 |          |                   | 6,87        |
| Mini turbinas hidráulicas con generador TRX        | 50,8             | 5 - 40.       | 5 - 10.                 | 57,00%     |                   |          |                   | 7,68        |
| Inbloc 065-040-C                                   | 40-65            | 55-80         | 2-50.                   | 70,00%     |                   | X        | X                 | 9,43        |
| Inbloc 065-050-D                                   | 50-65            | 30-60         | 5-80.                   | 70,00%     | X                 | X        | X                 | <b>9,43</b> |
| XJ25-3.0DCTF4-Z                                    | 150              | 18-20         | 18-30                   | 70,00%     |                   | X        | X                 | 9,43        |
| XJ25-1.5DCTH4-Z                                    | 125-150          | 15            | 12- 18.                 | 70,00%     |                   |          |                   | 9,43        |
| XJ22-1.1DCTH4-Z                                    | 125-150          | 15            | 10-15.                  | 70,00%     |                   |          |                   | 9,43        |
| XJ28-6.0DCT4/6-Z                                   | 150-200          | 28-35         | 30-38                   | 70,00%     |                   |          |                   | 9,43        |
| XJ28-6.0DCTF4/6-Z                                  | 200              | 18-20         | 38-50                   | 70,00%     |                   |          |                   | 9,43        |
| XJ30-10DCT4-Z                                      | 200-250          | 30-38         | 40-50                   | 70,00%     |                   |          |                   | 9,43        |
| XJ30-10DCTF4/6-Z                                   | 200-250          | 25-30         | 50-60                   | 70,00%     |                   |          |                   | 9,43        |
| Turgo 1500w                                        | 101,6            | 15            | 12-18.                  | 65,00%     |                   |          |                   | 8,76        |
| R189                                               | 50.8 y 76.2      | 10-80.        | 5-350                   | 70,00%     | X                 | X        | X                 | <b>9,43</b> |
| R125                                               | 50,8             | 10-25.        | 5-20.                   | 70,00%     |                   |          |                   | 9,43        |
| FHJ25-1.5SDCT4-Z                                   | 125              | 18-25.        | 8-10.                   | 70,00%     |                   |          |                   | 9,43        |
| FHJ25-1.5SDCTH4-Z                                  | 125-150          | 25-35         | 15-19                   | 70,00%     |                   |          |                   | 9,43        |
| AC banki/cross flow                                | 101,6            | 15-20.        | 40-80                   | 70,00%     |                   |          |                   | 9,43        |
| Inblocpico 065                                     | 154              | 15-20         | 0.5-1.5.                | 75,00%     |                   |          |                   | 10,10       |

**Tabla N° 12** Especificaciones de las turbinas consultadas para VRP-3.

| TURBINA                                                  | Especificaciones |                  |                               |            | VRP3                    |             |                        |              |
|----------------------------------------------------------|------------------|------------------|-------------------------------|------------|-------------------------|-------------|------------------------|--------------|
|                                                          | Diámetro<br>(mm) | Presión<br>(mca) | Rango de<br>Caudales<br>(lps) | Eficiencia | Altura<br>neta<br>(mca) | Qm<br>(lps) | Qd<br>=1.25Qm<br>(lps) | Pw<br>(kW)   |
|                                                          |                  |                  |                               |            | 74,50                   | 17,35       | 21,69                  |              |
| Turbogenerador de<br>carrete para generar<br>energía TRX | 50 - 600         | 15 - 250         | 2 - 600                       | 68,00%     | X                       | X           | X                      | <b>10,78</b> |
| Turbina generadora de<br>electricidad TRX                | 50.8 y 76.2      | 8 - 80.          | 5 - 12.                       | 50,97%     | X                       |             |                        | 8,08         |
| Mini turbinas<br>hidráulicas con<br>generador TRX        | 50,8             | 5 - 40.          | 5 - 10.                       | 57,00%     |                         |             |                        | 9,03         |
| Inbloc 065-040-C                                         | 40-65            | 55-80            | 2-50.                         | 70,00%     | X                       | X           | X                      | <b>11,10</b> |
| Inbloc 065-050-D                                         | 50-65            | 30-60            | 5-80.                         | 70,00%     |                         | X           | X                      | 11,10        |
| XJ25-3.0DCTF4-Z                                          | 150              | 18-20            | 18-30                         | 70,00%     |                         |             |                        | 11,10        |
| XJ25-1.5DCTH4-Z                                          | 125-150          | 15               | 12- 18.                       | 70,00%     |                         | X           | X                      | 11,10        |
| XJ22-1.1DCTH4-Z                                          | 125-150          | 15               | 10-15.                        | 70,00%     |                         |             |                        | 11,10        |
| XJ28-6.0DCT4/6-Z                                         | 150-200          | 28-35            | 30-38                         | 70,00%     |                         |             |                        | 11,10        |
| XJ28-6.0DCTF4/6-Z                                        | 200              | 18-20            | 38-50                         | 70,00%     |                         |             |                        | 11,10        |
| XJ30-10DCT4-Z                                            | 200-250          | 30-38            | 40-50                         | 70,00%     |                         |             |                        | 11,10        |
| XJ30-10DCTF4/6-Z                                         | 200-250          | 25-30            | 50-60                         | 70,00%     |                         |             |                        | 11,10        |
| Turgo 1500w                                              | 101,6            | 15               | 12-18.                        | 65,00%     |                         | X           |                        | 10,30        |
| R189                                                     | 50.8 y 76.2      | 10-80.           | 5-350                         | 70,00%     | X                       | X           | X                      | <b>11,10</b> |
| R125                                                     | 50,8             | 10-25.           | 5-20.                         | 70,00%     |                         | X           |                        | 11,10        |
| FHJ25-1.5SDCT4-Z                                         | 125              | 18-25.           | 8-10.                         | 70,00%     |                         |             |                        | 11,10        |
| FHJ25-1.5SDCTH4-Z                                        | 125-150          | 25-35            | 15-19                         | 70,00%     |                         | X           |                        | 11,10        |
| AC banki/cross flow                                      | 101,6            | 15-20.           | 40-80                         | 70,00%     |                         |             |                        | 11,10        |
| Inblocpico 065                                           | 154              | 15-20            | 0.5-1.5.                      | 75,00%     |                         |             |                        | 11,89        |

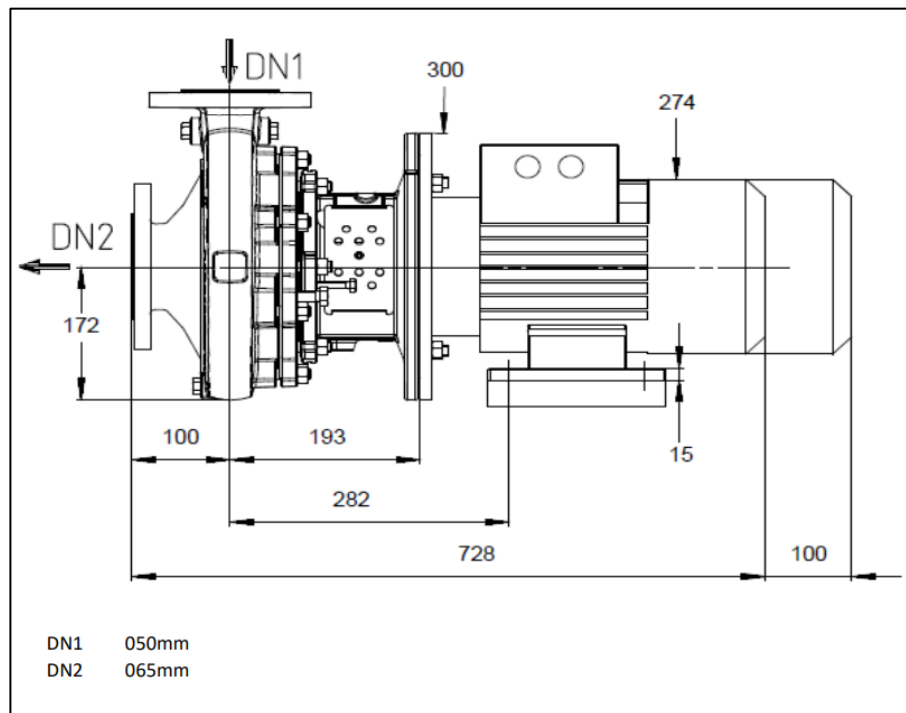
### V.1.2. SELECCIÓN DE TURBINAS

Observando las tablas anteriores; los datos de presión y caudal para VRP-1, VRP-2 se encuentran en el rango de tres (3) modelos de turbinas. La turbina modelo R189 es descartada por ser turbina a descarga y no continua, es decir, aquella que la turbina es terminal y tiene descarga libre (presión atmosférica) y, por ello, no se podría seguir suministrando aguas abajo de la red, quedando tan solo dos (2) opciones restantes.

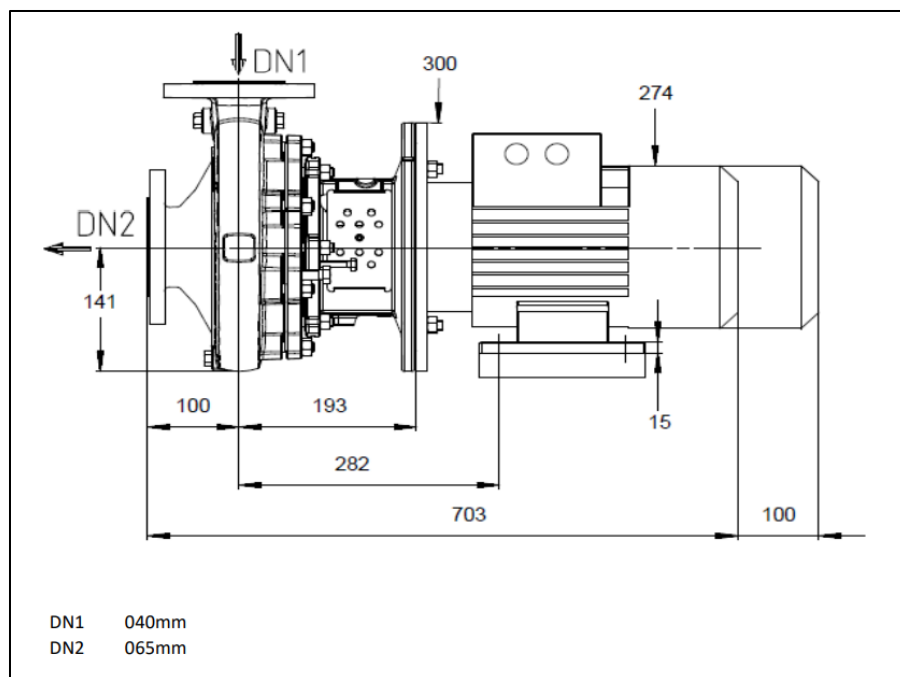
La turbina seleccionada es el modelo Inbloc 065-050-D puesto que, en comparación a la Turbogenerador de carrete TRX, la eficiencia de la turbina en casi todo el rango operativo oscila en 70% en algunos casos siendo mayor mientras que la TRX en ningún caso supera el 68%.

La VRP-3 también entra en el rango de tres (3) modelos de turbinas, pero la modelo R189 y la Turbogenerador de carrete para generar energía TRX son descartadas por lo descrito anteriormente, quedando como mejor opción el modelo de turbina Inbloc 065-040-C por ser la que mejor se adecua al diseño y, en este caso particular, al tener un mismo suplidor en todas las locaciones se facilitarán las labores de mantenimiento y operación puesto que sus características son muy semejantes.

Las Figuras N° 21 y 22 siguientes muestran las medidas típicas de este equipo y se desea resaltar la similitud de las turbinas con equipos de impulsión centrífugos debido a que en realidad son PAT; es decir, equipos de bombeo trabajando como turbinas.



**Figura N° 21.** Turbina modelo Inbloc 065-050-D. Suministrada por el proveedor. (2019)

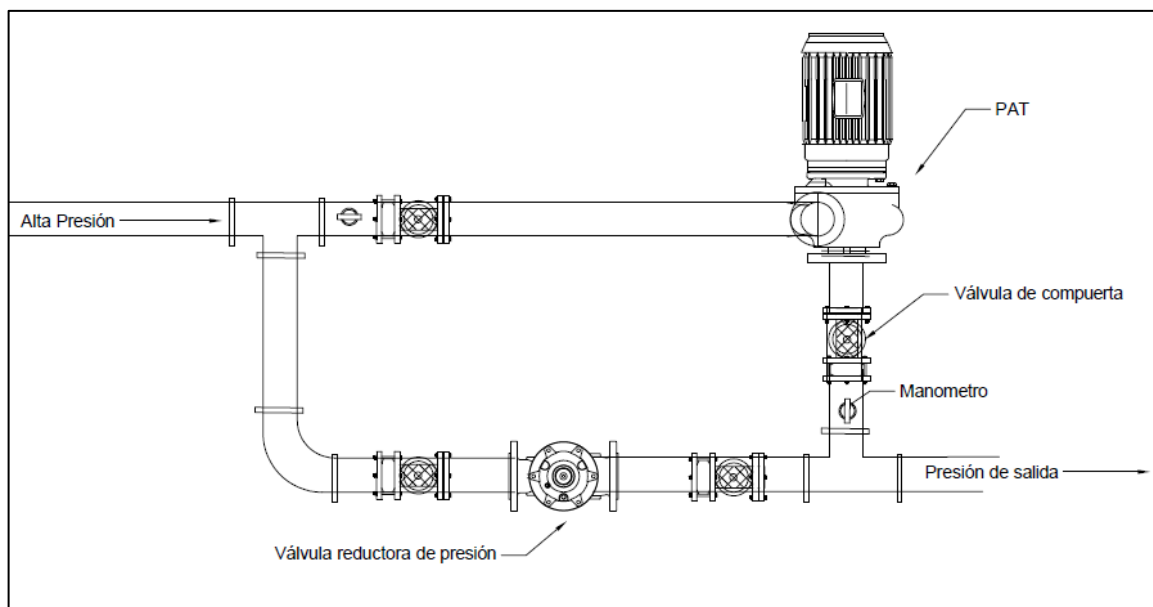


**Figura N° 22.** Turbina modelo Inbloc 065-040-C. Suministrada por el proveedor. (2019).

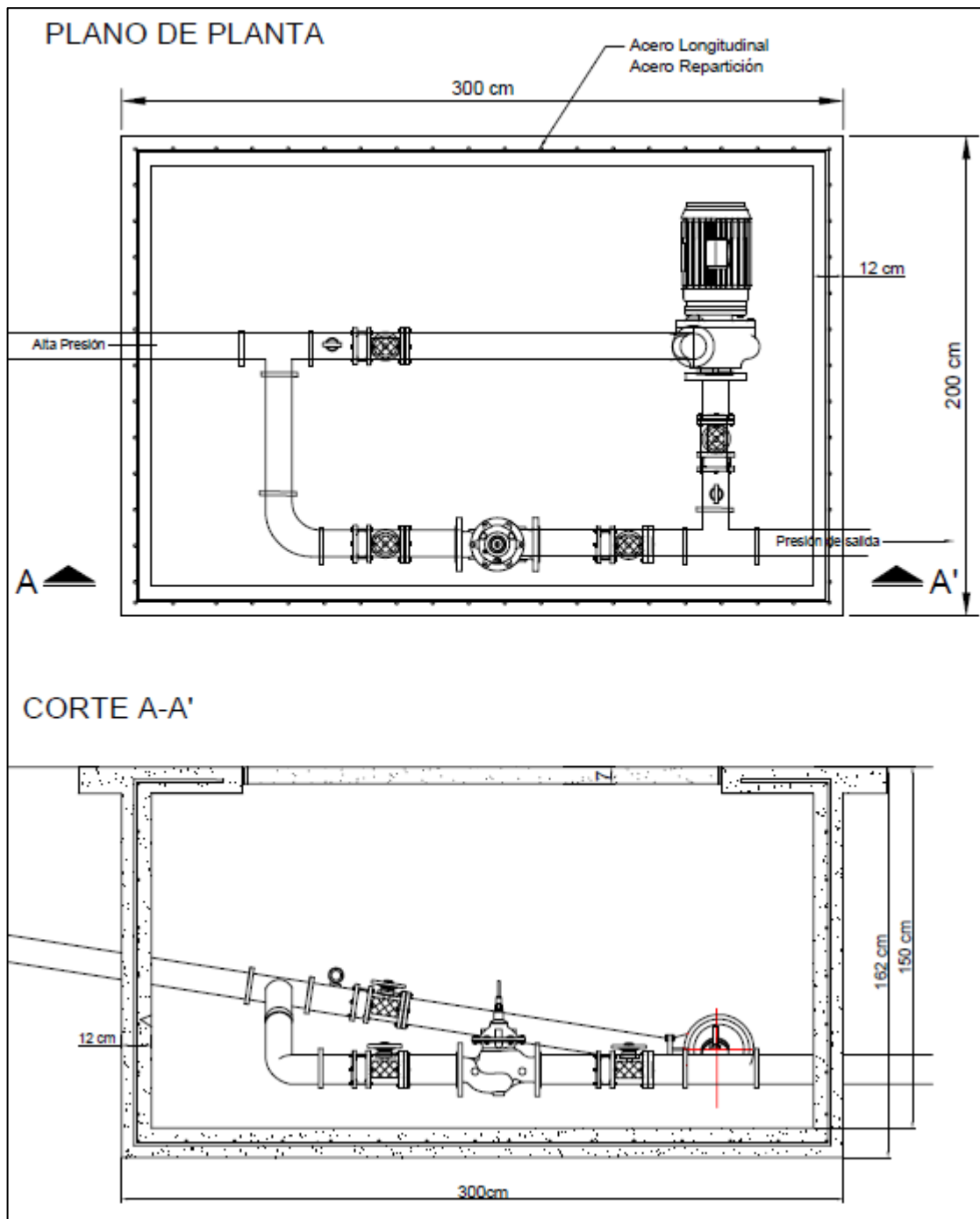
### V.1.3. EMPLEZAMIENTO Y DISEÑO DE TANQUILLA

Las micro turbinas son equipos que deben ser instalados en paralelo a una válvula de regulación, ya que no se trata de elementos que puedan sustituir a las válvulas, sino, elementos que al ser instalados en paralelo aprovechan una parte del potencial energético en la red de distribución y que, en caso de salir de operación por mantenimiento preventivo o correctivo, deben seguir supliendo agua en la red de distribución.

A continuación en la Figura N° 23 y 24 se muestra un esquema de la implantación de la microturbina en la red de acueducto, se observa dentro del sistema las válvulas de bloqueo o válvula de paso como protección y la válvula reductora de presión.



**Figura N° 23.** Emplazamiento. Elaboración propia (2019).



**Figura N° 24.** Diseño de Tanquilla. Elaboración propia. 2019.

Se debe realizar una obra de protección (tanquilla), con el fin de facilitar el acceso al sistema para su manipulación en caso de ser necesario, por mantenimiento, reparación o sustitución.

La tanquilla es un diseño simple, rectangular, de concreto armado con tapa móvil, que sirve para impedir la manipulación de equipos y otros dispositivos por personas ajenas a la operación del sistema.

## V. 2. FACTIBILIDAD ECONÓMICA

En este capítulo se estudió la evaluación económica-financiera de la propuesta suministrada por el proveedor para el aprovechamiento hidroeléctrico, para determinar la factibilidad de la misma, asumiendo como base para la decisión, el costo de la inversión y los beneficios que puede ofrecer la generación de energía.

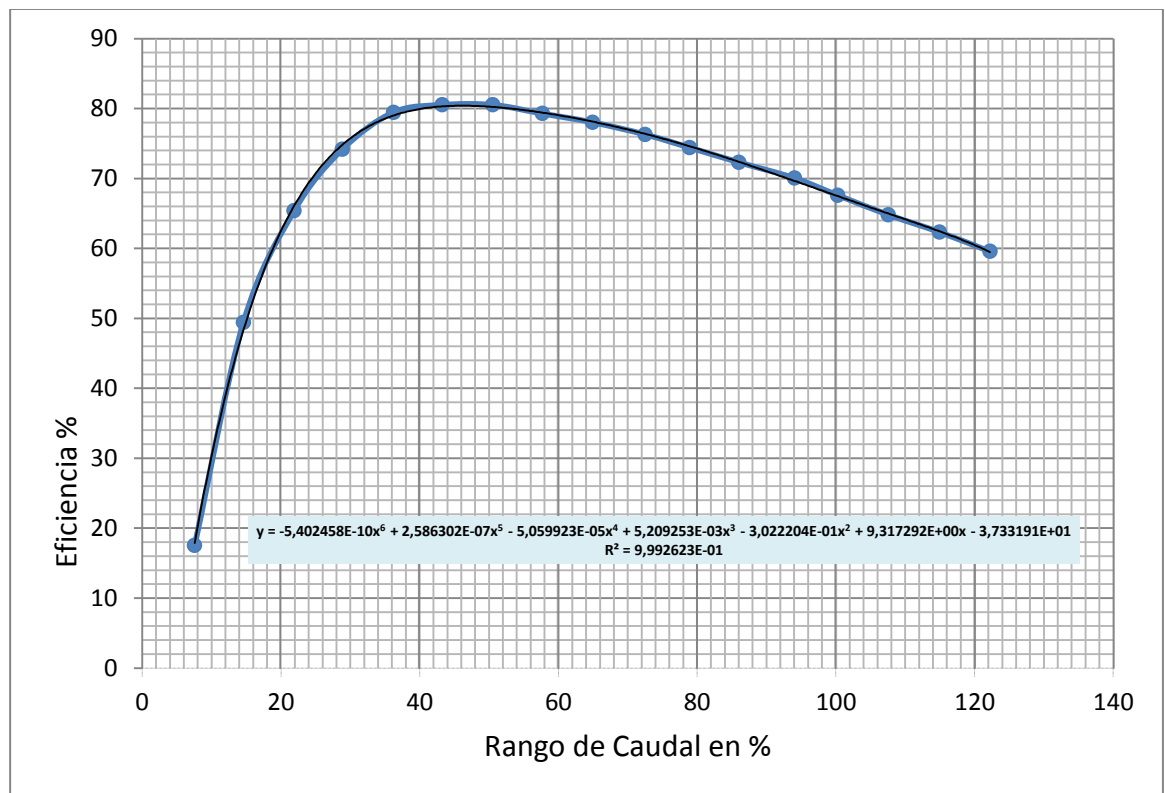
Con la configuración del sistema, se localizó el proveedor y se solicitó una cotización para la aplicación de las turbinas antes mencionadas en VRP-1, VRP-2 y VRP-3.

La propuesta a ejecutar dada por la empresa es la siguiente:

- Turbina hidráulica para generación de energía eléctrica modelo Inbloc 065-050-D fabricada en fundición, conexión mediante brida de entrada de diámetro 50mm PN16 y brida de salida de diámetro 65mm PN16. Para VRP-1 el funcionamiento estimado a partir de un caudal de 20 litros/segundo, un diferencial de presión de 42 metros; para VRP-2 el caudal es de 21,5 litros/segundos, 51 metros de presión.

- Para VRP-3, La turbina hidráulica Inbloc 065-040-C también fabricada en fundición, conexión mediante brida de entrada de diámetro 40mm PN16 y brida de salida de diámetro 65mm PN16. Funcionamiento estimado, con un caudal de 14 litros/segundo y un diferencial de presión de 74 metros.

De acuerdo a la información suministrada por los proveedores en los modelos presupuestados, las turbinas Inbloc trabajan con la curva de eficiencia característica que se muestra en la Figura N° 25.



**Figura N° 25.** Curva Característica de funcionamiento. Eficiencia Vs Rango de caudal.  
Elaboración propia adaptada de la Figura N° 4 suministrada por el proveedor.

El equipo de turbinado cuenta con un sistema de control de velocidad, incluyendo protecciones eléctricas e inversor de conexión a red de baja tensión.

La propuesta incluye tres (3) válvulas de reductoras de presión, PN-16 con unión mediante bridas de diámetro 100 mm fabricada en fundición.

La vida útil de los equipos es similar a la de una bomba centrífuga convencional ya que las turbinas seleccionadas son PAT, por lo que se sitúa en un aproximado de 25 años con el mantenimiento adecuado.

#### V.2.1 GENERACIÓN DE ENERGÍA

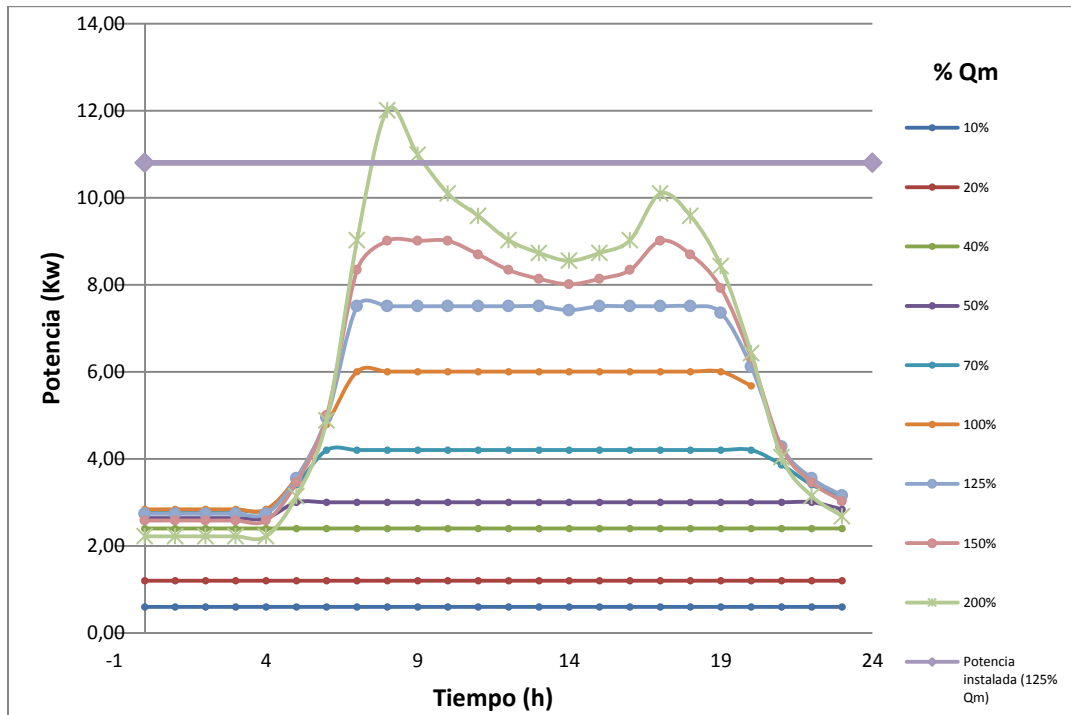
Una vez conocida la turbina a instalar y dada la Figura N° 25 que nos permite realizar el cálculo de la eficiencia a través de la relación entre caudal turbinado real y caudal de diseño o nominal del equipo, se hace el cálculo de la energía generada tomando en cuenta dos (2) aspectos fundamentales, la variación de caudales durante el día, así como la variación del caudal de la red de abastecimiento en función del progresivo desarrollo de la Universidad y sus edificaciones complementarias., dichos cálculos se muestran en la Tabla N° 13.

Para demostrar lo antes mencionado se realiza el estudio para el cálculo de la energía generada barriendo un espectro de caudales que se inicia con el 10 % de caudal medio hasta el 200% del caudal medio Tabla N° 26, 27, 28, 29, 30 y 31 ubicadas en el Apéndice D, esta vez haciendo uso de la eficiencia real según los datos del proveedor.

**Tabla N° 13** Porcentaje de Energía generada vs Energía máx. que puede generar el sistema (VRP-1).

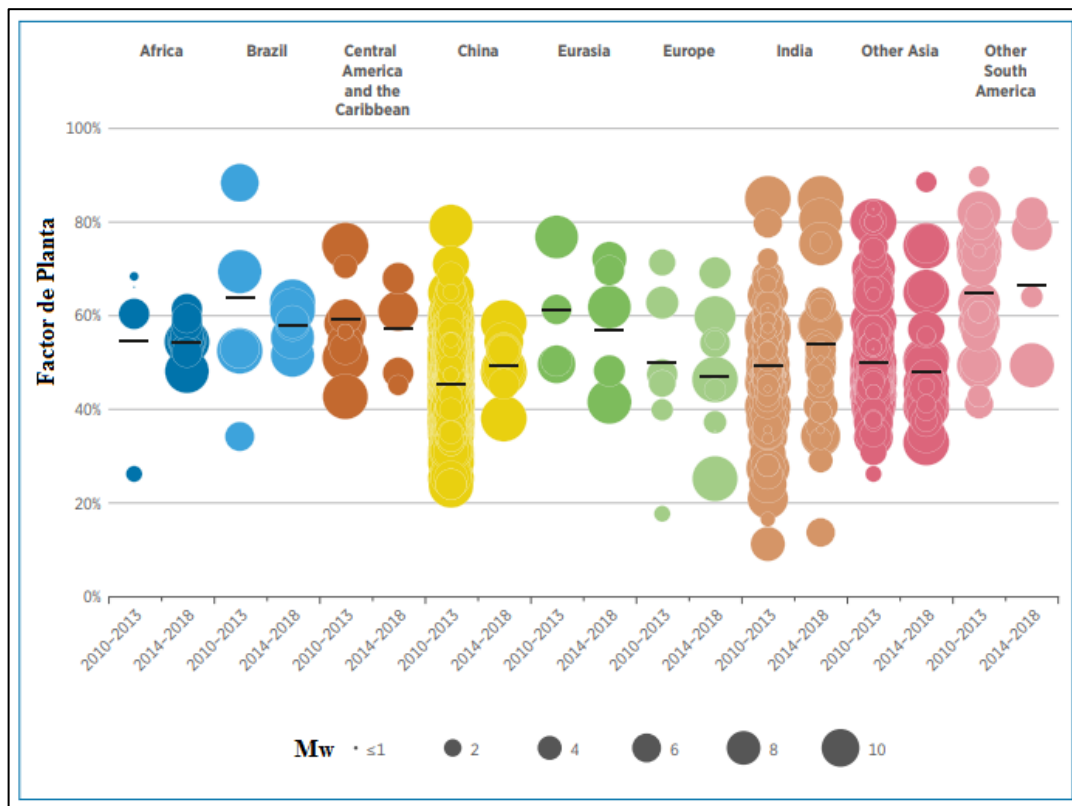
| %Qm    | % Qturb | Energía generada kWh | Factor de planta | Energía total sistema (200%) | % Energía generada con respecto al total |
|--------|---------|----------------------|------------------|------------------------------|------------------------------------------|
| 10,0%  | 2,16    | 14,41                | 1,00             | 159,29                       | 9,0%                                     |
| 20,0%  | 4,31    | 28,83                | 1,00             | 159,29                       | 18,1%                                    |
| 30,0%  | 6,47    | 43,24                | 1,00             | 159,29                       | 27,1%                                    |
| 40,0%  | 8,62    | 57,65                | 1,00             | 159,29                       | 36,2%                                    |
| 50,0%  | 10,78   | 70,09                | 0,97             | 159,29                       | 44,0%                                    |
| 60,0%  | 12,93   | 81,01                | 0,94             | 159,29                       | 50,9%                                    |
| 70,0%  | 15,09   | 90,99                | 0,90             | 159,29                       | 57,1%                                    |
| 80,0%  | 17,24   | 100,20               | 0,87             | 159,29                       | 62,9%                                    |
| 90,0%  | 19,40   | 109,05               | 0,84             | 159,29                       | 68,5%                                    |
| 100,0% | 21,55   | 117,31               | 0,81             | 159,29                       | 73,6%                                    |
| 110,0% | 23,71   | 125,30               | 0,79             | 159,29                       | 78,7%                                    |
| 120,0% | 25,86   | 133,08               | 0,77             | 159,29                       | 83,5%                                    |
| 125,0% | 26,94   | 136,66               | 0,76             | 159,29                       | 85,8%                                    |
| 130,0% | 28,02   | 139,83               | 0,75             | 159,29                       | 87,8%                                    |
| 150,0% | 32,33   | 149,09               | 0,69             | 159,29                       | 93,6%                                    |
| 175,0% | 37,71   | 155,70               | 0,62             | 159,29                       | 97,7%                                    |
| 200,0% | 43,10   | 159,29               | 0,55             | 159,29                       | 100,0%                                   |

En la Figura N° 26 se muestra un gráfico de la energía generada para los diferentes porcentajes de caudal obtenidos de la Tabla N° 13 y sobre dicho gráfico se observa la potencia instalada con un 125% del Qm.



**Figura N° 26.** Energía generada para porcentajes de caudal turbinado. Elaboración propia (2019).

Analizando la Tabla N° 13 y la Figura N° 26. se puede afirmar que es una opción favorable turbinar un gasto hasta el 125%  $Q_m$ , debido a que además de escatimar en costos, el factor de planta se encuentra dentro de un estándar aceptable, según la revista (International Renewable Energy Agency, 2019), que indican que el promedio más bajo del factor de planta para pequeños proyectos hidroeléctricos se reporta, para proyectos en China en 2010-2013 (promedio de factor de planta 46%) y el más alto en Suramérica excluyendo Brasil en 2014-2018 (promedio de factor de planta 67%). Como se muestra en la siguiente Figura N° 27 extraída de IRENA.



**Figura N° 27.** Factores de planta del proyecto hidroeléctrico y promedio ponderado de la potencia para pequeños proyectos hidroeléctricos por región del país. International Renewable Energy Agency (2019).

Teniendo en cuenta la recomendación anterior de instalar una potencia del 125% del caudal medio se procede a calcular la potencia generada para cada VRP con dicho porcentaje, esta vez considerando el 1,25 del día de máximo consumo, como se muestran en las Tablas N° 14, N° 15, N° 16.

**Tabla N° 14** Potencia Generada VRP1.

| Qmed VRP1 | Qmax  | máx % Qm  | ΔP       |              |            |               |               |
|-----------|-------|-----------|----------|--------------|------------|---------------|---------------|
| 21,55     | 53,88 | 200%      | 42,02    |              |            |               |               |
|           |       |           |          |              |            |               |               |
| Hora      | % Qm  | % Qm*1.25 | % Qm VRP | % Qturb/Qnom | Eficiencia | Potencia (kW) | Energía (kWh) |
| 12        | 40    | 50,00     | 10,78    | 40,00        | 80%        | 3,55          | 3,55          |
| 1         | 40    | 50,00     | 10,78    | 40,00        | 80%        | 3,55          | 3,55          |
| 2         | 40    | 50,00     | 10,78    | 40,00        | 80%        | 3,55          | 3,55          |
| 3         | 40    | 50,00     | 10,78    | 40,00        | 80%        | 3,55          | 3,55          |
| 4         | 40    | 50,00     | 10,78    | 40,00        | 80%        | 3,55          | 3,55          |
| 5         | 50    | 62,50     | 13,47    | 50,00        | 80%        | 4,46          | 4,46          |
| 6         | 70    | 87,50     | 18,86    | 70,00        | 77%        | 5,99          | 5,99          |
| 7         | 130   | 162,50    | 35,02    | 130,00       | 68%        | 7,51          | 7,51          |
| 8         | 200   | 250,00    | 53,88    | 200,00       | 68%        | 7,51          | 7,51          |
| 9         | 170   | 212,50    | 45,79    | 170,00       | 68%        | 7,51          | 7,51          |
| 10        | 150   | 187,50    | 40,41    | 150,00       | 68%        | 7,51          | 7,51          |
| 11        | 140   | 175,00    | 37,71    | 140,00       | 68%        | 7,51          | 7,51          |
| 12        | 130   | 162,50    | 35,02    | 130,00       | 68%        | 7,51          | 7,51          |
| 13        | 125   | 156,25    | 33,67    | 125,00       | 68%        | 7,51          | 7,51          |
| 14        | 122   | 152,50    | 32,86    | 122,00       | 68%        | 7,51          | 7,51          |
| 15        | 125   | 156,25    | 33,67    | 125,00       | 68%        | 7,51          | 7,51          |
| 16        | 130   | 162,50    | 35,02    | 130,00       | 68%        | 7,51          | 7,51          |
| 17        | 150   | 187,50    | 40,41    | 150,00       | 68%        | 7,51          | 7,51          |
| 18        | 140   | 175,00    | 37,71    | 140,00       | 68%        | 7,51          | 7,51          |
| 19        | 120   | 150,00    | 32,33    | 120,00       | 68%        | 7,51          | 7,51          |
| 20        | 90    | 112,50    | 24,24    | 90,00        | 71%        | 7,10          | 7,10          |
| 21        | 60    | 75,00     | 16,16    | 60,00        | 79%        | 5,27          | 5,27          |
| 22        | 50    | 62,50     | 13,47    | 50,00        | 80%        | 4,46          | 4,46          |
| 23        | 45    | 56,25     | 12,12    | 45,00        | 80%        | 4,02          | 4,02          |
| 24        | 40    | 50,00     | 10,78    |              |            |               |               |
|           |       |           |          |              | Σ          | 146,638       | 146,638       |

**Tabla N° 15 Potencia Generada VRP2.**

| Qmed VRP2 | Qmax  | máx % Qm  | ΔP       |              |            |               |              |
|-----------|-------|-----------|----------|--------------|------------|---------------|--------------|
| 21,40     | 53,50 | 200%      | 51,33    |              |            |               |              |
|           |       |           |          |              |            |               |              |
| Hora      | % Qm  | % Qm*1.25 | % Qm VRP | % Qturb/Qnom | Eficiencia | Potencia (kW) | Energía(kWh) |
| 12        | 40    | 50,00     | 10,70    | 40,00        | 80%        | 4,31          | 4,31         |
| 1         | 40    | 50,00     | 10,70    | 40,00        | 80%        | 4,31          | 4,31         |
| 2         | 40    | 50,00     | 10,70    | 40,00        | 80%        | 4,31          | 4,31         |
| 3         | 40    | 50,00     | 10,70    | 40,00        | 80%        | 4,31          | 4,31         |
| 4         | 40    | 50,00     | 10,70    | 40,00        | 80%        | 4,31          | 4,31         |
| 5         | 50    | 62,50     | 13,38    | 50,00        | 80%        | 5,41          | 5,41         |
| 6         | 70    | 87,50     | 18,73    | 70,00        | 77%        | 7,26          | 7,26         |
| 7         | 130   | 162,50    | 34,78    | 130,00       | 68%        | 9,11          | 9,11         |
| 8         | 200   | 250,00    | 53,50    | 200,00       | 68%        | 9,11          | 9,11         |
| 9         | 170   | 212,50    | 45,48    | 170,00       | 68%        | 9,11          | 9,11         |
| 10        | 150   | 187,50    | 40,13    | 150,00       | 68%        | 9,11          | 9,11         |
| 11        | 140   | 175,00    | 37,45    | 140,00       | 68%        | 9,11          | 9,11         |
| 12        | 130   | 162,50    | 34,78    | 130,00       | 68%        | 9,11          | 9,11         |
| 13        | 125   | 156,25    | 33,44    | 125,00       | 68%        | 9,11          | 9,11         |
| 14        | 122   | 152,50    | 32,64    | 122,00       | 68%        | 9,11          | 9,11         |
| 15        | 125   | 156,25    | 33,44    | 125,00       | 68%        | 9,11          | 9,11         |
| 16        | 130   | 162,50    | 34,78    | 130,00       | 68%        | 9,11          | 9,11         |
| 17        | 150   | 187,50    | 40,13    | 150,00       | 68%        | 9,11          | 9,11         |
| 18        | 140   | 175,00    | 37,45    | 140,00       | 68%        | 9,11          | 9,11         |
| 19        | 120   | 150,00    | 32,10    | 120,00       | 68%        | 9,11          | 9,11         |
| 20        | 90    | 112,50    | 24,08    | 90,00        | 71%        | 8,62          | 8,62         |
| 21        | 60    | 75,00     | 16,05    | 60,00        | 79%        | 6,39          | 6,39         |
| 22        | 50    | 62,50     | 13,38    | 50,00        | 80%        | 5,41          | 5,41         |
| 23        | 45    | 56,25     | 12,04    | 45,00        | 80%        | 4,87          | 4,87         |
| 24        | 40    | 50,00     | 10,70    |              |            |               |              |
|           |       |           |          |              | Σ          | 177,881       | 177,881      |

**Tabla N° 16** Potencia Generada VRP3.

| Qmed VRP3 | Qmax  | máx % Qm  | ΔP       |              |            |               |               |
|-----------|-------|-----------|----------|--------------|------------|---------------|---------------|
| 17,35     | 43,38 | 200%      | 74,50    |              |            |               |               |
|           |       |           |          |              |            |               |               |
| Hora      | % Qm  | % Qm*1.25 | % Qm VRP | % Qturb/Qnom | Eficiencia | Potencia (kW) | Energía (kWh) |
| 12        | 40    | 50,00     | 8,68     | 40,00        | 80%        | 5,07          | 5,07          |
| 1         | 40    | 50,00     | 8,68     | 40,00        | 80%        | 5,07          | 5,07          |
| 2         | 40    | 50,00     | 8,68     | 40,00        | 80%        | 5,07          | 5,07          |
| 3         | 40    | 50,00     | 8,68     | 40,00        | 80%        | 5,07          | 5,07          |
| 4         | 40    | 50,00     | 8,68     | 40,00        | 80%        | 5,07          | 5,07          |
| 5         | 50    | 62,50     | 10,84    | 50,00        | 80%        | 6,36          | 6,36          |
| 6         | 70    | 87,50     | 15,18    | 70,00        | 77%        | 8,55          | 8,55          |
| 7         | 130   | 162,50    | 28,19    | 130,00       | 68%        | 10,72         | 10,72         |
| 8         | 200   | 250,00    | 43,38    | 200,00       | 68%        | 10,72         | 10,72         |
| 9         | 170   | 212,50    | 36,87    | 170,00       | 68%        | 10,72         | 10,72         |
| 10        | 150   | 187,50    | 32,53    | 150,00       | 68%        | 10,72         | 10,72         |
| 11        | 140   | 175,00    | 30,36    | 140,00       | 68%        | 10,72         | 10,72         |
| 12        | 130   | 162,50    | 28,19    | 130,00       | 68%        | 10,72         | 10,72         |
| 13        | 125   | 156,25    | 27,11    | 125,00       | 68%        | 10,72         | 10,72         |
| 14        | 122   | 152,50    | 26,46    | 122,00       | 68%        | 10,72         | 10,72         |
| 15        | 125   | 156,25    | 27,11    | 125,00       | 68%        | 10,72         | 10,72         |
| 16        | 130   | 162,50    | 28,19    | 130,00       | 68%        | 10,72         | 10,72         |
| 17        | 150   | 187,50    | 32,53    | 150,00       | 68%        | 10,72         | 10,72         |
| 18        | 140   | 175,00    | 30,36    | 140,00       | 68%        | 10,72         | 10,72         |
| 19        | 120   | 150,00    | 26,03    | 120,00       | 68%        | 10,72         | 10,72         |
| 20        | 90    | 112,50    | 19,52    | 90,00        | 71%        | 10,14         | 10,14         |
| 21        | 60    | 75,00     | 13,01    | 60,00        | 79%        | 7,52          | 7,52          |
| 22        | 50    | 62,50     | 10,84    | 50,00        | 80%        | 6,36          | 6,36          |
| 23        | 45    | 56,25     | 9,76     | 45,00        | 80%        | 5,74          | 5,74          |
| 24        | 40    | 50,00     | 8,68     |              |            |               |               |
|           |       |           |          |              | Σ          | 209,315       | 209,315       |

Para el cálculo de la energía total generada en un año, se realizaron los siguientes pasos:

- En función de la estimación progresiva del consumo de agua siguiendo la planificación del desarrollo urbano se calculan los caudales máximos que pueden conducir las redes de abastecimiento para cada año (Tabla N° 17).
- Se calculan los caudales medios que transitarán por las VRP-1, VRP-2 y VRP-3 para cada año en el transcurso de su vida útil. En este sentido se debe destacar el hecho de que los caudales de diseño de la red de abastecimiento se esperan a partir del décimo séptimo año después de instalado los equipos.
- Se define la variación de caudal horaria para cada día típico de los años en que se encuentra operando la turbina. Este cálculo se hace tomando en consideración la curva de demanda INOS ya mencionada y mostrada en la Figura N° 17.
- Con los caudales calculados en el paso previo se calcula la potencia generada en cada hora a lo largo del día en cada una de las tres (3) turbinas y, posteriormente, se obtiene la energía total generada durante cada uno de los años. (Ver Apéndice E)

Para calcular la energía total del sistema se realizó una sumatoria de la energía de cada año durante 25 años, siendo esta la vida útil de los equipos, obteniéndose un total de energía producida al tiempo de 25 años de 3.831,27 MWh. (Tabla N° 37 ubicada en el apéndice E).

**Tabla N° 17** Estimación del consumo de agua en el tiempo expresado en litros por segundo.

| Descripción      | 2022-2025 | 2026-2031 | 2032-2037 | 2038-2046 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Construcción     | 2         | 2         | 2         |           |
| Educativo        | 5,11      | 12,3      | 12,3      | 14,3      |
| Asistencial      | 0,23      | 0,23      | 4,28      | 4,28      |
| Comercial        | 0,5       | 1         | 1         | 1,5       |
| Deportivo        |           |           | 0,01      | 0,83      |
| Cultural y otros |           | 1,09      | 1,11      | 1,46      |
| Consumo estimado | 7,84      | 16,62     | 20,7      | 22,37     |

*Suministrada por (D.Y.P Ingeniería y Ambiente C.A, 2018)*

## V. 2.2 DETERMINACIÓN DE COSTOS

La inversión representa la sumatoria de los costos necesarios que involucran la adquisición de los equipos, el flete de éstos hasta nuestro país, la contratación de personal especializado que supervise la instalación y proceda al adiestramiento del personal operativo y técnico tanto en las labores cotidianas como al momento de desarrollarse inconvenientes funcionales.

Adicionalmente se deben prever gastos de nacionalización, así como todos aquellos que se incurran como consecuencia de la construcción de tanquillas, tableros, transformadores, en fin, todos los gastos necesarios para su puesta en operación.

El mantenimiento y operación de los equipos a instalar y el tendido eléctrico se hace estimando un gasto anual de mantenimiento equivalente al 3% de la inversión inicial llevando estos costos a Valor Presente, por medio de la siguiente expresión:

$$Vp = \frac{Vf}{(1+i)^n} \quad (Ec-17)$$

Dónde:

Vp = Valor presente.

Vf = Valor futuro.

.i = tasa de interés (1,83%) (Global-Rates, s.f.)

n = periodo de años (n=25 para el 2046).

Para el mantenimiento se calculó el valor futuro en cada año, teniendo así el valor futuro acumulado a los 25 años, para posteriormente llevarlo a valor presente, cálculos mostrados en la Tabla N° 19.

Otros gastos en que se deberá incurrir para la puesta en marcha de las microturbinas fueron estimados en función de proyectos similares en otros países puesto que en nuestro país se considera a este proyecto novedoso. Estos otros gastos son aquellos relativos a la instalación propiamente dicha de los equipos, los costos asociados al seguro de transporte y la nacionalización de los equipos y a los equipos eléctricos y de conexión con el tendido eléctrico normal, todos ellos relacionados con la inversión inicial de adquisición de los equipos tal como se aprecia en la Tabla N° 18.

**Tabla N° 18** Estimación de gastos adicionales.

| Concepto                   | % de la inversión inicial |
|----------------------------|---------------------------|
| Instalación                | 35                        |
| Nacionalización de equipos | 49                        |
| Tendido eléctrico          | 20                        |

Los gastos administrativos son un 15% de la sumatoria de los gastos anteriores del mismo modo la utilidad y contingencia se asume un 30% de lo anterior incluyendo los gastos administrativos.

Teniendo así el costo total del proyecto contemplando los 25 años de operación, si este último se divide entre la energía total a los 25 años se obtiene como resultado el costo por unidad de energía, en este caso, US\$/kWh.

Con lo dicho anteriormente se hace una tabla resumen, Tabla N° 20 y se determina el costo del kWh.

**Tabla N° 19** Valor futuro de mantenimiento.

| Años | 3% del Costo inicial de la maquinaria  | Mantenimiento 3% anual del costo | Mantenimiento eléctrico 1,5% del costo | Mantenimiento eléctrico 1,5 % anual del costo |
|------|----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1    | 1.534,35                               | 1.562,43                         | 767,18                                 | 781,21                                        |
| 2    | 1.534,35                               | 1.591,02                         | 767,18                                 | 795,51                                        |
| 3    | 1.534,35                               | 1.620,14                         | 767,18                                 | 810,07                                        |
| 4    | 1.534,35                               | 1.649,79                         | 767,18                                 | 824,89                                        |
| 5    | 1.534,35                               | 1.679,98                         | 767,18                                 | 839,99                                        |
| 6    | 1.534,35                               | 1.710,72                         | 767,18                                 | 855,36                                        |
| 7    | 1.534,35                               | 1.742,03                         | 767,18                                 | 871,01                                        |
| 8    | 1.534,35                               | 1.773,91                         | 767,18                                 | 886,95                                        |
| 9    | 1.534,35                               | 1.806,37                         | 767,18                                 | 903,18                                        |
| 10   | 1.534,35                               | 1.839,43                         | 767,18                                 | 919,71                                        |
| 11   | 1.534,35                               | 1.873,09                         | 767,18                                 | 936,54                                        |
| 12   | 1.534,35                               | 1.907,36                         | 767,18                                 | 953,68                                        |
| 13   | 1.534,35                               | 1.942,27                         | 767,18                                 | 971,13                                        |
| 14   | 1.534,35                               | 1.977,81                         | 767,18                                 | 988,91                                        |
| 15   | 1.534,35                               | 2.014,01                         | 767,18                                 | 1.007,00                                      |
| 16   | 1.534,35                               | 2.050,86                         | 767,18                                 | 1.025,43                                      |
| 17   | 1.534,35                               | 2.088,39                         | 767,18                                 | 1.044,20                                      |
| 18   | 1.534,35                               | 2.126,61                         | 767,18                                 | 1.063,31                                      |
| 19   | 1.534,35                               | 2.165,53                         | 767,18                                 | 1.082,76                                      |
| 20   | 1.534,35                               | 2.205,16                         | 767,18                                 | 1.102,58                                      |
| 21   | 1.534,35                               | 2.245,51                         | 767,18                                 | 1.122,76                                      |
| 22   | 1.534,35                               | 2.286,60                         | 767,18                                 | 1.143,30                                      |
| 23   | 1.534,35                               | 2.328,45                         | 767,18                                 | 1.164,22                                      |
| 24   | 1.534,35                               | 2.371,06                         | 767,18                                 | 1.185,53                                      |
| 25   | 1.534,35                               | 2.414,45                         | 767,18                                 | 1.207,23                                      |
|      |                                        |                                  |                                        |                                               |
|      | <b>Valor futuro de Mantenimiento</b>   | 48.972,97                        |                                        | 24.486,49                                     |
|      | <b>Valor presente de Mantenimiento</b> | <b>31.121,67</b>                 |                                        | <b>15.560,83</b>                              |

**Tabla N° 20** Determinación del costo del kWh.

| <b>Egresos</b>                     | <b>Costo \$</b> |
|------------------------------------|-----------------|
| Inversión                          | 51.145,03       |
| Mantenimiento y Operación          | 31.121,67       |
| Nacionalización de equipos         | 25.061,07       |
| Instalación                        | 17.900,76       |
| Tendido eléctrico                  | 10.229,01       |
| Mantenimiento de tendido eléctrico | 15.560,83       |
| Gastos administrativos             | 22.652,76       |
| Utilidad y contingencia            | 52.101,34       |
| Total costo                        | 225.772,46      |
| ENERGIA                            | 3.831.268,05    |
| <b>US\$/kWh</b>                    | <b>0,059</b>    |
| <b>US\$/MWh</b>                    | <b>58,93</b>    |

Se considera un monto relativamente bajo comparado con otros países de Latinoamérica que tienen alrededor de 0.18 US\$/kWh.

### V.2.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

El análisis económico previo tiene mucha incertidumbre puesto que no existen experiencias locales que permitan definir con mayor o menor precisión si los costos asociados a la operación de estos sistemas tienen una u otra tendencia.

Tal como se aprecia hay muy pocos rubros en este análisis: la adquisición e instalación de los equipos y la operación de los mismos. Por supuesto hay imponderables, tales como daños a los sistemas de distribución eléctrica o manipulación no conforme de

las válvulas cuya estimación, por ser actos de naturaleza antrópica no pueden ser predichos ni cuantificados antes de su ejecución.

Así, se estima que sólo se pueden hacer análisis de sensibilidad a la vida útil de los equipos y al costo de operación del sistema eléctrico.

En primer lugar, se hace el cálculo tomando en consideración que el mantenimiento de los equipos es muy superior a los estándares normales llevándolo al 10% del costo anual de la inversión y, en este caso, los costos finales se muestran en la Tabla N° 21.

**Tabla N° 21** Análisis de sensibilidad. Aumento del valor de mantenimiento y operación a un 10% anual.

| Egresos                            | Costo \$      |
|------------------------------------|---------------|
| Inversión                          | 51.145,03     |
| Mantenimiento y Operación          | 103.738,89    |
| Nacionalización de equipos         | 25.061,07     |
| Instalación                        | 17.900,76     |
| Tendido eléctrico                  | 10.229,01     |
| Mantenimiento de tendido eléctrico | 15.560,83     |
| Gastos administrativos             | 33.545,34     |
| Utilidad y contingencia            | 77.154,28     |
| Total costo                        | 334.335,21    |
| ENERGIA                            | 3.831.268,05  |
| <b>US\$/kWh</b>                    | <b>0,087</b>  |
| <b>US\$/MWh</b>                    | <b>87,265</b> |

El valor es considerado aun debajo del promedio en Latinoamérica, por lo que se procede a analizar cuanto aumentaría el costo en caso de tener que reponer la inversión a mitad de periodo de vida útil, por algún daño en el sistema de turbinado.

Primero se muestra la Tabla N° 22 con el mantenimiento de 3% anual y luego se evalúa en la Tabla N° 23 para un mantenimiento de 10% anual, para comparar su incremento.

**Tabla N° 22** Análisis de sensibilidad, incremento en caso de reposición aproximada a mitad de periodo. Mantenimiento y operación del 3% anual.

| Egresos                                             | Costo \$            |
|-----------------------------------------------------|---------------------|
| Inversión                                           | 51.145,03           |
| Mantenimiento y Operación                           | 31.121,67           |
| Nacionalización de equipos                          | 25.061,07           |
| Instalación                                         | 17.900,76           |
| Tendido eléctrico                                   | 10.229,01           |
| Mantenimiento de tendido eléctrico                  | 15.560,83           |
| En caso de reposición aproximada a mitad de período |                     |
| Inversión a los 12 años                             | 63.578,81           |
| Nacionalización de equipos                          | 31.153,62           |
| Instalación                                         | 22.252,58           |
| Gastos administrativos                              | 40.200,51           |
| Utilidad y contingencia                             | 92.461,17           |
| <b>Total costo</b>                                  | <b>400.665,05</b>   |
| <b>ENERGIA</b>                                      | <b>3.831.268,05</b> |
| <b>US\$/kWh</b>                                     | <b>0,105</b>        |
| <b>US\$/MWh</b>                                     | <b>104,58</b>       |

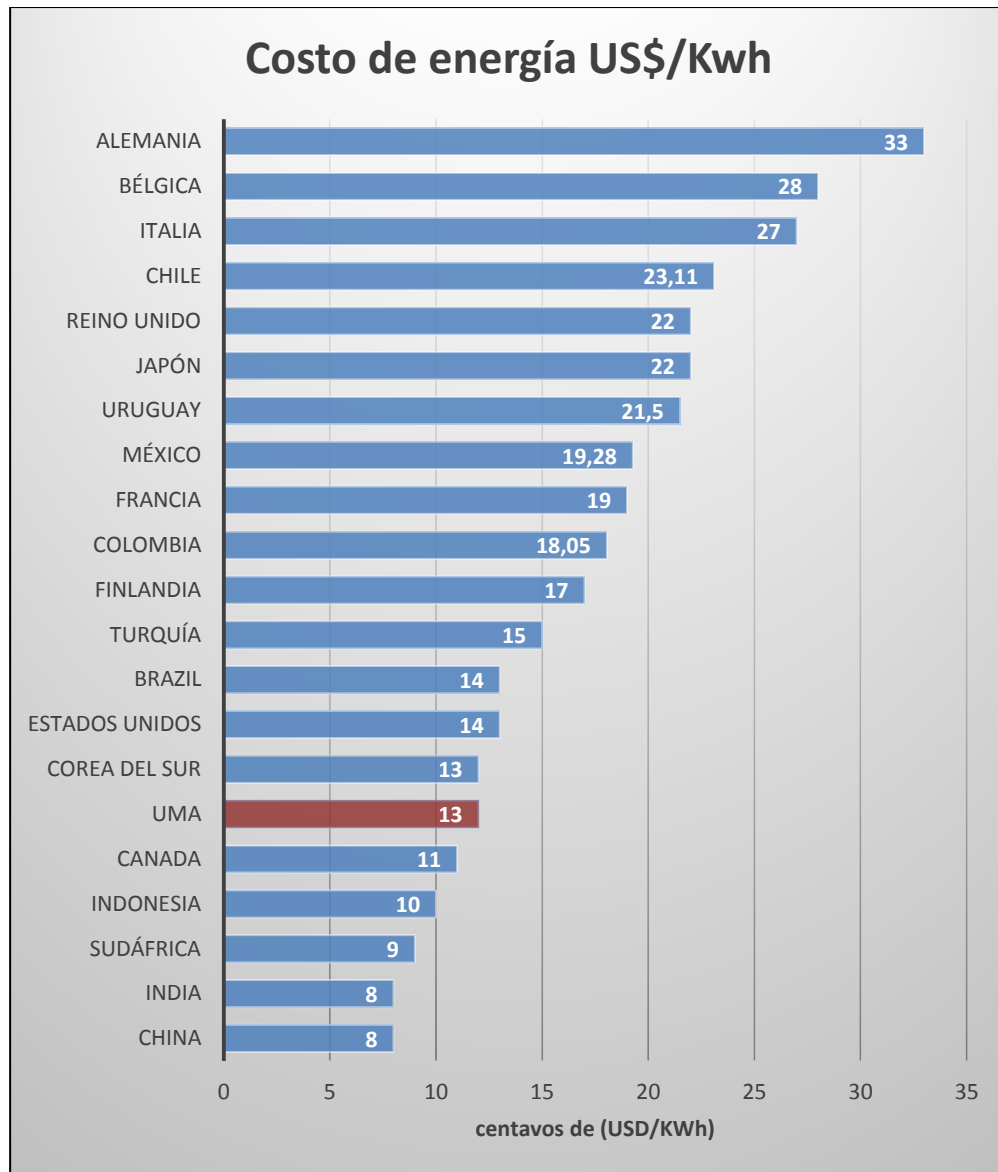
**Tabla N° 23** Análisis de sensibilidad, incremento en caso de reposición aproximada a mitad de periodo. Mantenimiento del 10% anual.

| Egresos                                             | Costo \$            |
|-----------------------------------------------------|---------------------|
| Inversión                                           | 51.145,03           |
| Mantenimiento y Operación                           | 103.738,89          |
| Nacionalización de equipos                          | 25.061,07           |
| Instalación                                         | 17.900,76           |
| Tendido eléctrico                                   | 10.229,01           |
| Mantenimiento de tendido eléctrico                  | 15.560,83           |
| En caso de reposición aproximada a mitad de periodo |                     |
| Inversión a los 12 años                             | 63.578,81           |
| Nacionalización de equipos                          | 31.153,62           |
| Instalación                                         | 22.252,58           |
| Gastos administrativos                              | 51.093,09           |
| Utilidad y contingencia                             | 117.514,11          |
| <b>Total costo</b>                                  | <b>509.227,80</b>   |
| <b>ENERGIA</b>                                      | <b>3.831.268,05</b> |
| <b>US\$/kWh</b>                                     | <b>0,133</b>        |
| <b>US\$/MWh</b>                                     | <b>132,91</b>       |

Suponiendo este último como el caso más desfavorable, el valor del 0,133 US\$/kWh se conserva por debajo del promedio.

Por supuesto las razones de estos costos son muchas pero la más importante es que las turbinas aprovechan una instalación construida y operativa, sustituyen un equipo instalado y se conectan a una red o tendido eléctrico existente. Si los costos de toda esta

infraestructura fuesen parte del costo de la energía el valor seguramente rebasaría todos los índices mostrados en la Figura N° 28 que se transcribe a continuación.



**Figura N° 28.** Tabla Comparativa de precios del kWh. Elaboración propia (2019). Referencias adaptadas de Benitez (2018). <https://blog.holaluz.com/el-precio-de-la-luz-en-espana-vs-en-el-resto-del-mundo/>.

### V.3 PROPUESTA DE USO DE ENERGÍA

A continuación, se indagó un poco como se puede aprovechar la energía generada por las turbinas, conociendo que la bibliografía describe usualmente a estos pequeños aprovechamientos como de soporte para el alumbrado de calles, avenidas y parques o, en el extremo inferior, su uso como centros de carga de baterías para teléfonos celulares.

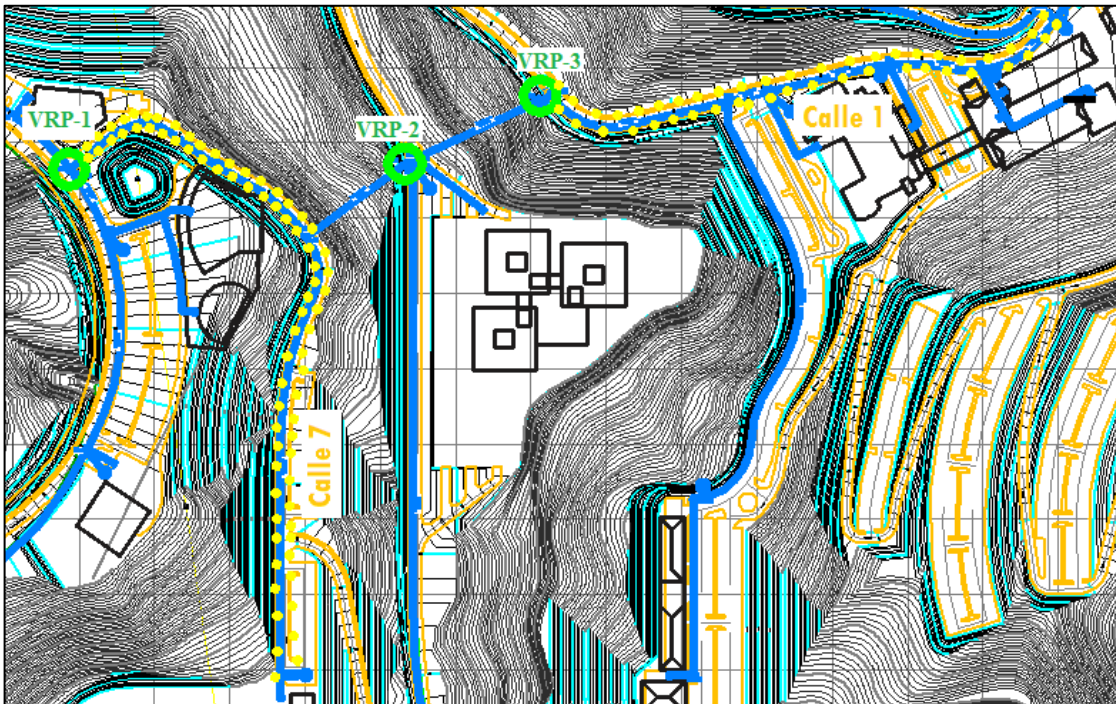
Si se considera que la energía promedio generada a lo largo de los 25 años (Ver Apéndice E) es de 420 kWh diario, se desarrolla la Tabla N° 24 donde se trata de cuantificar cuáles y cuántos ítems de cada una de las opciones de consumo pueden ser abastecidos un día cualquiera. Evidentemente este número es sólo referencial y basado en la energía promedio de los 25 años y la cantidad será variable en función de la disponibilidad de la energía y del consumo real de agua en la Universidad.

**Tabla N° 24** Cantidad de productos a abastecer

| ITEM                 | Consumo del producto (W) | Energía diaria disponible (kWh) | Energía consumida diario por c/ítem (kWh) | Cantidad de ítems Abastecidos al día |
|----------------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|
| Bombillos            | 15                       | 400                             | 0,4                                       | 1111                                 |
|                      | 60                       | 400                             | 1,4                                       | 277                                  |
|                      | 100                      | 400                             | 2,4                                       | 166                                  |
| Poste de luz         | 150                      | 400                             | 3,6                                       | 111                                  |
|                      | 250                      | 400                             | 6,0                                       | 66                                   |
| Poste de 12m luz led | 60                       | 400                             | 1,4                                       | 277                                  |
|                      | 100                      | 400                             | 2,4                                       | 166                                  |
| Cargador de teléfono | 5,2                      | 497                             | 0,1                                       | 3982                                 |

Lo anterior nos da una idea un poco más clara de lo que podríamos hacer con dicha energía y será decisión en definitiva de la Gerencia General de la Universidad el uso al cual se le suministre esta energía; sin embargo, se considera que:

- El uso de la energía generada por las microturbinas en alumbrado de calles puede ser visto más fácilmente si se establece una longitud de vía equivalente alumbrada por energía de la red de abastecimiento y este número es de 1,65 kilómetros de vía suponiendo bombillos de 250 W y postes colocados en tresbolillo cada 25 metros en ambos lados de la vía. La Figura N° 27 nos muestra un ejemplo de iluminación de tan sólo 860 metros distribuidos 360 metros en la Vía 1 y 500 metros adicionales en la Vía 7.



**Figura N° 29.** Representación del alumbrado y los puntos de implantación de las turbinas.  
Elaboración propia (2019).

A nivel referencial se calcula el potencial de generación eléctrica que se podría utilizar una vez se culmine el desarrollo urbano propuesto (año 2038 en adelante) y, en este caso la longitud de vía iluminada con esta energía es de 2,05 kilómetros. (Ver Tabla N° 25)

**Tabla N° 25** Cantidad de productos a abastecer para el 2038

| ITEM                 | Consumo del producto (W) | Energía diaria disponible (kWh) | Energía consumida diario por c/producto (kWh) | Cantidad de ítems Abastecidos al día |
|----------------------|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|
| Bombillos            | 15                       | 497                             | 0,4                                           | 1380                                 |
|                      | 60                       | 497                             | 1,4                                           | 345                                  |
|                      | 100                      | 497                             | 2,4                                           | 207                                  |
| Poste de luz         | 150                      | 497                             | 3,6                                           | 138                                  |
|                      | 250                      | 497                             | 6,0                                           | 82                                   |
| Poste de 12m luz led | 60                       | 497                             | 1,4                                           | 345                                  |
|                      | 100                      | 497                             | 2,4                                           | 207                                  |
| Cargador de teléfono | 5,2                      | 497                             | 0,1                                           | 3982                                 |

## CAPITULO VI

### VI. 1. CONCLUSIONES

- El aprovechamiento de la energía potencial que se disipa en las válvulas reguladoras de presión de redes de abastecimiento en la generación hidroeléctrica es factible y su cuantificación preliminar puede realizarse siguiendo la metodología adoptada en el presente Trabajo de Grado.
- La red de abastecimiento de la Universidad Monteávila en su nueva sede de Caicaguana tiene un potencial de aprovechamiento hidroeléctrico de 80,86 kW.
- De los seis (6) sitios visualizados como potencialmente explotables sólo tres (3) de ellos se consideran tienen una magnitud tal que hace viable su aprovechamiento. Son éstos los sitios definidos como Válvulas Reguladoras de Presión VRP-1; VRP-2 y VRP-3.
- La selección de los equipos de generación eléctrica se debe efectuar en tres (3) niveles de significación siendo el primero de ellos la eficiencia de la turbina, no sólo en su punto nominal de operación sino a lo largo de todo el rango de caudales que se espera sea solicitada, en segundo lugar, los costos de adquisición de los equipos y en tercer lugar la confiabilidad de la empresa en el suministro de materiales de partes y repuestos.
- La energía mini hidráulica es amigable con el medio ambiente, renovable y no emite gases de efecto invernadero en ningún momento de su vida útil; adicionalmente, y como consecuencia de su cercanía a los lugares de consumo las obras de transmisión son escasas cuando no inexistentes.

- Las turbinas que mejor se acoplaron al sistema son equipos de bombeo que permiten giro en sentido inverso al originalmente previsto y que, usualmente, reciben el nombre de “PAT” por sus siglas en inglés de bombas como turbinas (*Pump as Turbine*).
- Las PAT son equipos electromecánicos que resultan ventajosos por su disponibilidad en el mercado, por sus costos que lo hacen más rentables que turbinas específicamente diseñadas al efecto y por ser más sencilla las rutinas operativas y de mantenimiento.
- El costo unitario de la energía generada se encuentra en un rango de 0,056 a 0,129 USD/kWh que lo hace atractivo para cualquier economía normal de mercado, incluyendo países de la región, tales como Colombia o Brasil.
- Se estima que, considerando el incremento progresivo de las edificaciones de la UMA, la energía que se pudiera aprovechar de la red de abastecimiento es de 3.831 MWh lo cual permitiría iluminar más de 1,50 kilómetros de vías por espacio de 25 años.
- El aprovechamiento hidroeléctrico de las redes de distribución es muy sensible a cambios en la ubicación, condiciones de flujo o modificaciones de las presiones en las redes, razón por lo cual, cada uno de los espacios potencialmente utilizables deben ser cuidadosamente seleccionados y revisado su diseño cada vez que sean necesarios cambios operativos o constructivos en dichas redes.
- Siempre que se instale un sistema de aprovechamiento hidroeléctrico en redes de distribución, se debe instalar un sistema dual que incluya una válvula reguladora de

presión que entregue el agua a la población sin interrupciones y en condiciones adecuadas de caudal y presión.

- Siempre y cuando las variaciones de consumo de la Universidad Monteávila sigan la distribución indicada por la curva INOS, se recomienda instalar turbinas con capacidad caudal de diseño del 125% del gasto medio, para maximizar la generación de energía y optimizar los costos de inversión.

## VI.2. RECOMENDACIONES

- Es de suma importancia continuar con el estudio de variaciones de consumo en universidades nacionales para definir con mayor precisión la energía que puede ser generada y la potencia nominal de las turbinas a adquirir.
- El uso de microturbinas en las redes de abastecimiento como elemento de aprovechamiento de energía potencial hidráulica debe ser analizado con mayor profundidad y, en especial, en redes de abastecimiento de ciudades con relieve ondulado o ubicadas en laderas montañosas donde son frecuentes la instalación de válvulas reguladoras de presión o tanquillas rompecargas.
- Las turbinas son equipos que requieren de una mayor supervisión y control que las VRP convencionales por lo cual se recomienda mantener rutinas específicas y permanentes en estos dispositivos para evitar averías y conservar su operatividad en el tiempo y extender, de ser posible, su vida útil.
- Es necesario realizar estudios específicos que permitan determinar las curvas características y de eficiencia de los equipos de bombeo que pueden rotar en sentido inverso (PAT) para los rangos de caudal que se espera éstos operen y promover la emisión regular de ambas situaciones para un determinado equipo.

## CAPITULO VII

### BIBLIOGRAFIA

Arrai Lucca, R. (2006). *La electricidad de Caracas: el desarrollo de una empresa de servicios, administrada por cuatro generaciones de gerentes venezolanos (1895), y el paso a otra de capital y gerencia globalizada (2000)*. Caracas: Publicaciones de la Universidad Católica Andrés.

Baumgarten, S., & Guder, W. (2005). Pump as turbines. *techno digest No.11*. KSB Aktiengesellschaft.

Bolinaga, J. J. (1999). *Proyectos de Ingeniería hidráulica*. Caracas: Fundación Polar.

Borg, A., & Jakobsson, S. (2014). On the stability of pressure relief valves. *Swenden*, 3.

Chapallaz, J. M., Eichenberger, P., & Fischer, G. (s.f.). Manual on pumps used as turbines MHPG Series. *Harnessing Water Power on a small scale*, volumen 11.

D.Y.P Ingeniería y Ambiente C.A. (2018). Diseño del sistema de abastecimiento de la nueva sede de la universidad Monteavila.

Derakhshan, S., & Nourbakhsh, A. (s.f.). Experimental Study of Characteristic Curves of Centrifugal pumps working as turbines in different specific speeds. *Experimental thermal and fluid science*, 32,800-807.

Empresa Provincial de Energia de Cordoba. (16 de septiembre de 2018). *La tecnología Hidroeléctrica*. Obtenido de <https://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/hidroelectricidad.pdf>

ESHA. (2004). *Guide on how to develop a small hydropower plant*. Obtenido de [https://energiatalgud.ee/img\\_auth.php/a/ab/Guide\\_on\\_How\\_to\\_Develop\\_a\\_Small\\_Hydropower\\_Plant.pdf](https://energiatalgud.ee/img_auth.php/a/ab/Guide_on_How_to_Develop_a_Small_Hydropower_Plant.pdf)

Especial: Energía Hidroeléctrica. (2013). *Revista del Instituto Argentino de la Energía "General Mosconi"*, 97.

Fuchs, J. (04 de Abril de 2012). Válvulas-Válvulas Reguladoras de Presión.

Gaceta 4103. (Artículo 96). Normas sanitarias para el proyecto, construcción, ampliación reforma y mantenimiento de las instalaciones sanitarias para desarrollos urbanísticos.

García Lacuesta, E. (2016). *Implantación de minicentral hidráulica en presa*. Obtenido de [http://oa.upm.es/45228/1/PFC\\_ENRIQUE\\_MIGUEL\\_GARCIA\\_LACUESTA.pdf](http://oa.upm.es/45228/1/PFC_ENRIQUE_MIGUEL_GARCIA_LACUESTA.pdf)

Global-Rates. (s.f.). *Inflación Estados Unidos- índice de precios al consumo (IPC)*.

Gomez, J. (28 de Mayo de 2015). El potencial Hidroeléctrico nacional. *Foro:Seguridad Energética: Amenazas a la Generación Hidroeléctrica en Venezuela*. Caracas.

Ing Brusa, A., & Ing Guarnore, E. (s.f.). *Energía Mini Hidráulica*. A.P.E.R.

International Renewable Energy Agency. (2019). *Renewable Power Generation Costs in 2018*. Abu Dhabi: IRENA.

JAPAC. (2015). Appleton Edison: La primera Hidroeléctrica del mundo. *Junta municipal de agua potable y alcantarillado de Culiacán*.

Linsley, R., & Franzini, J. (1975). *Ingeniería de los recursos hidráulicos*. CECSA.

Macleod, G. (1985). Safety valve dynamic instability: An analysis of chatter. *Journal of Pressure vessel technology*, 107, 172-177.

Monge Redondo , M. (09 de Septiembre de 2017). Sistema de válvulas en Paralelo.

Morales Vera, C. (Abril de 2015). Estudio del Aprovechamiento energético de los puntos de regulación de presión en la red de abastecimiento a Cartagena. Cartagena.

National Geographic. (2010). Energía Hidroeléctrica. *Medio Ambiente*.

Olmedo, F. (16 de septiembre de 2013). *La energía hidráulica y micro-hidráulica como alternativa en la producción eléctrica limpia de mediana y baja escala*. Obtenido de <http://www.biodisol.com/cambio-climatico/la-energia-hidraulica-y-micro-hidraulica-como-alternativa-en-la-produccion-electrica-limpia-de-mediana-y-baja-escala/>

Orchard, B. (2009). Pumps as turbines in the water industry.

Palella Stracuzzi, S. (2012). *Metodología de la investigación Cuantitativa*.

Quantz, L. (s.f.). *Motores Hidráulicos*. Barcelona: Gustavo Gili, S.A.

Quintini Rosales, C. (2005). El suministro eléctrico en Venezuela: situación y perspectivas.

Singh, A. (1982). An analytical study of the dynamics and stability of a spring loaded safety valve. *Nuclear Engineering and Design*, 72, 179-204.

Taldea, E. (2001). Se llama MicroHidráulica pero es Maxienergía. *El periodismo de las energías limpias*.

Tecnoturbines. (29 de junio de 2018). *Bombas usadas como turbinas bajo condiciones hidráulicas variables*. Obtenido de <https://tecnoturbines.com/blog/bombas-usadas-como-turbinas-bajo-condiciones-hidraulicas-variables>

Valle, I. d. (julio de 2010). Estudio de Factibilidad para el Aprovechamiento Energético mediante Sistemas de microgeneración hidroeléctrica en el acueducto Metropolitano. Costa Rica.

Wikipedia. (22 de Noviembre de 2015). *Wikipedia*. Obtenido de [http://dev.worldpossible.org:81/wikipedia\\_es\\_all\\_2016-02/A/Cueva\\_Zuloaga.html](http://dev.worldpossible.org:81/wikipedia_es_all_2016-02/A/Cueva_Zuloaga.html)

Williams, A. A. (1996). Pumps as turbine for low cost micro hydro power. *World renewable Energy Congress*, 9, 1227-1234.

## APÉNDICE A

### MICROCENTRALES DE EDELCA.

La microcentral de Kavanayén: es la más antigua (1957). Ubicada en la Misión de Kavanayén cerca del río Apacairao, posee una turbina Francis de fabricación Suiza, que transforma la caída nominal de 44 mts., con un caudal de 0,35 mts<sup>3</sup>/seg., en 110 kW de potencia, para una población de 376 habitantes aproximadamente.

Microcentral hidroeléctrica de Kamarata: puesta en servicio en 1962, ubicada en la Misión de Kamarata (Edo. Bolívar), cerca de la quebrada Tapere, posee una turbina Francis de fabricación Española, con una caída de 7 mts., y un caudal de 1,5 mts<sup>3</sup>/seg., de agua, permitiendo generar 125 kW de potencia para servir a una población de 571 habitantes aproximadamente.

Microcentral de Wonken: instalada en 1983, ubicada en la misión que lleva su nombre en el Edo. Bolívar, entre los ríos Caruay y Macarupuey en la cuenca del alto caroní posee una turbomáquina del tipo Banki diseñada y construida por EDELCA, con una caída de 7 mts. De altura es capaz de generar 60 kW de potencia para una población de 350 pobladores aproximadamente.

En Microcentral la Ciudadela: instalada en 1988, este es un caso típico a los planteados anteriormente, ya que no sirve a un pueblo o comunidad indígena, sino a una instalación militar del Ejército (Batallón de Selva G/D. Mariano Montilla), se encuentra ubicada en el extremo oriental del Edo. Bolívar, hidrológicamente se encuentra a 3 km. Del río Tarotá y a 18 km., del río Apongua.

Microcentral de San Ignacio y San Francisco de Yuruaní: inauguradas en 1988, en las poblaciones del mismo nombre en el Municipio Urdaneta del Edo. Bolívar, hidrológicamente ubicados cercanos al río Yuruaní, permitirá servir a una población mayor de 500 habitantes aproximadamente.

En construcción:

La microcentral de Santa Elena de Uairén: ubicada en la población del mismo nombre en el Edo. Bolívar, hidrológicamente ubicada en la cuenca del río Uairén, tributario del río Kukenan.

Microcentral de Ikabarú: ubicada en la población de Ikabarú en el Municipio de Pedro Cova del Edo. Bolívar, hidrológicamente se ubica en la cuenca del río Ikabarú, afluente directo del río Caroní.

Microcentral de Kamoirán: ubicada en la comunidad indígena Pemón de Kamoirán, al noreste de la Gran Sabana en el Edo. Bolívar, hidrológicamente se encuentra en la cuenca del río Kamoirán.

## TIPOS DE TURBINAS.

La turbina es el órgano fundamental en el aprovechamiento hidroeléctrico, debido a que es la turbo máquina que transforma la energía del agua en energía mecánica, teniendo como elemento básico el rotor de la turbina con sus alabes ya que en él se consigue la transferencia energética. Otros elementos auxiliares completan la máquina,

estos contribuyen a que pueda realizarse con un buen aprovechamiento la cesión de energía del agua.

En las turbinas de reacción como lo son la Francis y la Kaplan se dispone un ducto alimentador en forma de caracol rodeando la turbina, este recibe el agua de la tubería de llegada sirviéndola al rotor móvil a través del distribuidor, el distribuidor a su vez regula el gasto de acuerdo a la potencia exigida a la turbina y también asigna al agua el giro necesario para su acción sobre los álabes. Se instala otro ducto abocinado en la descarga del agua, llamado tubo de desfogue este permite una ganancia en la gradiente de presión y mejora el rendimiento de la máquina.

En la turbina de impulso como es la Pelton, la alimentación es efectuada a través de las toberas, que transforman la energía estática del agua en dinámica para que así pueda ser aprovechada por la rueda móvil provista de alabes. Después de su acción sobre los álabes, el agua cae directamente al socaz a la presión atmosférica. Por ser el ataque del chorro de agua a la rueda en dirección tangencial, se conoce también a la turbina Pelton como turbina tangencial, como ya se ha dicho.

Adentrándonos un poco más en las turbinas Francis, la cual ha encontrado buena aplicación en aprovechamientos hidráulicos de características muy variadas de carga y caudal. Se encuentran turbinas Francis en saltos de agua de 30 metros como también en salto de 550 metros y con caudales que a veces alcanzan 200 metros cúbicos por segundo y otra solo de 10 metros cúbicos por segundo. Esta versatilidad ha hecho que la turbina Francis sea la turbina hidráulica más generalizada en el mundo. De acuerdo con la

ponderación de la carga sobre el caudal o viceversa, se originan unas particulares características en la máquina, que dan lugar a dos (2) tipos, no siempre completamente definidos: la Francis pura y la Francis mixta.

En la Francis puramente radial, prácticamente toda la transferencia energética de fluido a rotor se efectúa mientras el agua pasa a través de los alabes, todo el tiempo, en dirección radial y de afuera hacia adentro, con un aprovechamiento máximo de la acción centrípeta, para lo cual se procura siempre dar al agua un recorrido radial relativamente largo, sin embargo, se hace difícil el desfogue central, por lo que el gasto se halla en cierta manera limitado. Se justifica este tipo de Francis pura en los saltos de agua con cargas relativamente grandes y caudales relativamente reducidos.

En la Francis mixta, el agua recorre los álabes en dirección radial y de afuera hacia dentro sólo en una parte de estos (la superior), terminando el agua su recorrido por entre los álabes en dirección axial (vertical hacia abajo en las máquinas de eje vertical), en cuya fase final trabaja como turbina axial. Evidentemente la acción axial se acentúa cuando aumenta el caudal con relación a la carga, para una determinada potencia. La Francis mixta tiene así aplicación en saltos de agua de cargas medianas y bajas, con caudales medianos y relativamente grandes.

Por otro lado, también tenemos las turbinas Kaplan, antes mencionadas conocidas como las turbinas hidráulicas típicas de reacción de flujo axial. Es una turbina de hélice con alabes ajustables, de forma que la incidencia del agua en el borde de ataque se produce bajo ángulos inapropiados, al variar la potencia dando lugar a separación o

choques, que reducen fuertemente el rendimiento de la unidad. Sin embargo, se pueden emplear turbinas de hélice de álabe fijo en aquellas instalaciones en las que no sea muy sensible la variación de potencia. En la actualidad, la turbina Kaplan encuentra aplicación en una gama de cargas que varía aproximadamente de un (1) metro a 90 metros.

La turbina Kaplan, además de mantener buen rendimiento en la regulación del gasto o con las oscilaciones de la carga por variación de la cota de nivel del embalse, permite también aumentar el caudal por unidad, para una determinada carga y por tanto la potencia, con lo cual se puede reducir el número de unidades en ciertos aprovechamientos hidráulicos y en consecuencia disminuir los costos de primera instalación.

Otra turbina nombrada anteriormente es la turbina Pelton, son turbinas hidráulicas de impulso o de acción que tienen la peculiaridad de aprovechar solamente la energía cinética del fluido; no existe, pues, gradiente de presión entre la entrada y la salida de la máquina. El grado de reacción es cero.

Se suele utilizar este tipo de turbinas en aquellos aprovechamientos hidráulicos donde la ponderación de la carga es importante respecto al caudal. La velocidad específica es baja, entre 10 y 60 en el sistema métrico y entre dos (2) y 12 en el sistema inglés aproximadamente, siendo preferibles valores centrales entre los límites por razones del rendimiento, el cual es del orden de 90% y se conserva bastante bien a carga parcial.

## APÉNDICE B

### VÁLVULAS

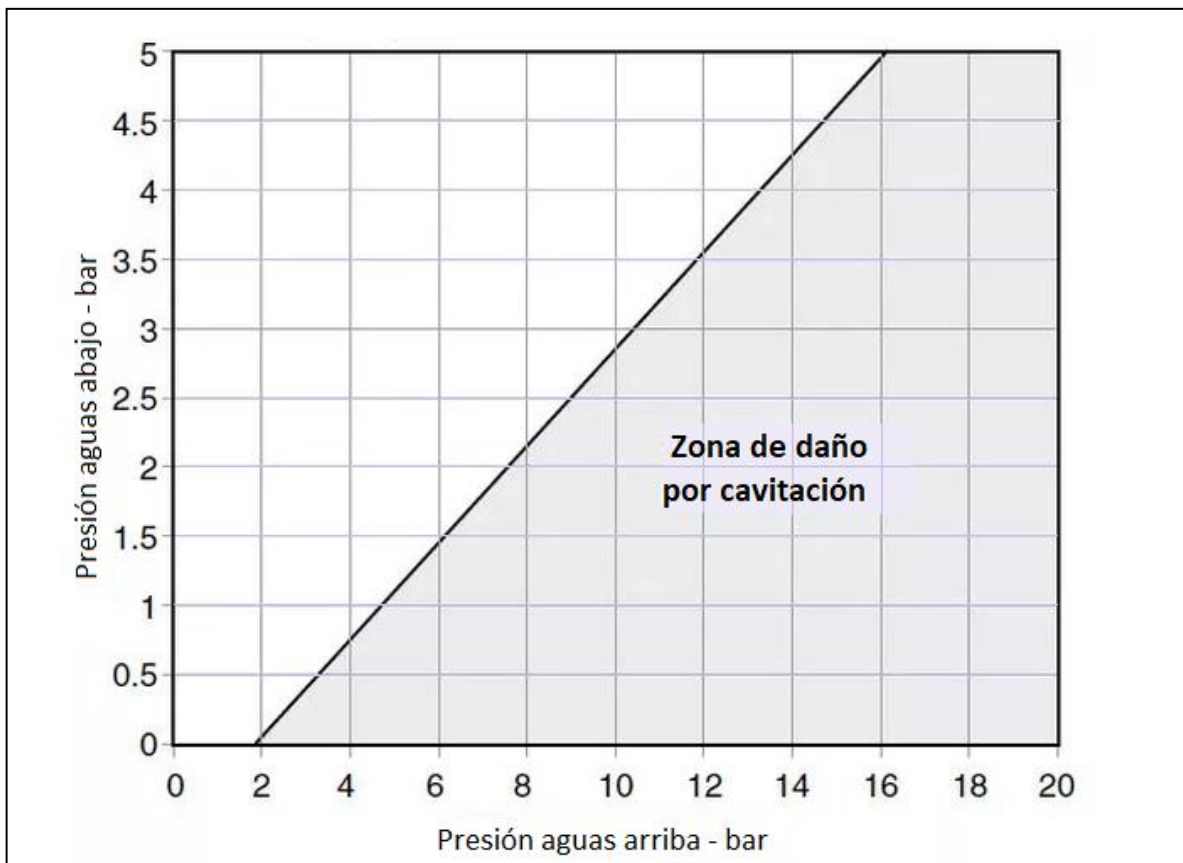
La caída de presión que producen estas válvulas supone una disipación de la energía de presión que contiene el agua que se traduce en desgaste de los elementos de la propia válvula, ruido, vibraciones y energía calorífica. Dicha energía de presión podría aprovecharse para la generación de energía eléctrica renovable.

La cavitación en válvulas de control y específicamente en válvulas reductoras de presión tiene un efecto importante en la vida útil de los sistemas y en su operación. La cavitación daña la válvula y la tubería mediante la vibración y erosión de sus paredes internas. Durante la ocurrencia del fenómeno, también causa ruidos elevados.

Cuando las válvulas reductoras de presión trabajan en posiciones cercanas al cierre, es decir cuando el área de pasaje del líquido se encuentra muy reducida, el flujo se acelera para compensar esta disminución de área, la mayor velocidad hace caer la presión. Cuando la presión cae y alcanza la presión de vapor del líquido, se forman cavidades de vapor o burbujas que son arrastradas por el flujo. Cuando se alejan del obturador de la válvula, el área de pasaje se vuelve a incrementar, la velocidad disminuye, la presión aumenta y las burbujas de vapor colapsan por implosión generando altísimas presiones (colapso de la cavidad de vapor) y micro jets que erosionan la pared de la válvula si se encuentran cerca de ella.

En el gráfico de abajo se muestra en zona gris la región de cavitación que debe evitarse. El eje X corresponde a la presión aguas abajo de la válvula reductora, y en el eje

Y las presiones aguas arriba. Si queremos por ejemplo reducir presión de manera de obtener 1 bar (10,19 mca) aguas abajo (eje X), vemos que si aguas arriba hay 4 bar (40,78 mca) todavía estamos fuera de la zona gris donde hay riesgo de daño por cavitación; sin embargo, si la presión aguas arriba es de 5 bar (50.98 mca) o mayor, entramos en la zona gris de cavitación.



**Figura N° 30.** Gráfico de Cavitación en válvulas. Ingeniería de Fluidos (2016).

## APÉNDICE C

### EMPRESAS PROVEEDORAS DE TURBINAS Y PAT

#### TECNOTURBINES

Tecnoturbines es una empresa proveniente de España, fundada oficialmente en el 2012 con la realización de su primer prototipo de turbina de carga de baterías. Su objetivo es el desarrollo energías renovables, diseño y validación de maquinaria como lo son las turbinas hidráulicas. Según indica la página web su misión es impulsar el progreso mediante la reducción de costes energéticos y suministro de energía eléctrica en ubicaciones remotas en los sectores de la industria relacionados con el agua. Se percataron del desaprovechamiento de energía procedente de las válvulas reguladoras de presión. A pesar de la complejidad técnica que suponía diseñar un sistema de recuperación energética en estas ubicaciones, decidieron investigar para dar con una solución. Después de varios ensayos, desarrollaron una turbina capaz de adaptarse a la variabilidad de las condiciones hidráulicas para generar energía y convertirla en electricidad.

#### TRAXCO

Traxco S.A. es una compañía española, que desde el año 1991 está dedicada al suministro de componentes, dan apoyo técnico y ofrecen soluciones de servicio, fabricación, mantenimiento y reparación, para diferentes máquinas de Riego Pivot.

También dispones de productos innovadores, tanto de aplicación en otros sistemas de riego, como de equipamiento industrial, entre estos mecanismos de nuevas tecnologías se encuentran las microturbinas y picoturbinas para carga de batería.

### SUNECO

Es una empresa originaria de China, que desde el 2004 funciona como proveedor de productos de energía verde. A partir del año 2015, Suneco Green Energy invirtió en una nueva fábrica para producir y ensamblar exclusivamente productos de energía renovable. Suneco tiene como objetivo proporcionar energía ecológica, según indican en su portal web el precio de sus artículos oscila entre \$ 7,99 y \$ 33,999, según su consumo de energía, cuentan también con un equipo de soporte técnico profesional por lo que han desarrollado relación con muchos proveedores en diferentes países.

### AC-TEC

La empresa AC-TEC ubicada en Caldaro, un pueblo en el Tirol del Sur (Italia), presenta registro de instalación de turbinas a partir del año 2001, especializada en la producción de pequeñas centrales hidroeléctricas, fabrican turbinas de agua personalizadas y la parte eléctrica correspondiente. Tienen como propósito ofrecer soluciones electromecánicas. Cada planta de energía se personaliza de acuerdo con los datos de agua del cliente y las condiciones en el sitio para encontrar la solución más adecuada y buscar el mayor nivel de eficiencia.

### FH SOLAR & LED IBERICA

Es una empresa transnacional que suministra material ecológicamente sostenible desde iluminación led, energía solar, mini eólicas y turbinas hidráulicas donde se pueda cambiar o mejorar el impacto medio ambiental. Tienen personal técnico profesional para atender y propiciar soluciones globales en energías renovables.

### IREM

La compañía italiana, IREM en el año 1947, se especializa en el diseño y en la fabricación de equipos para el control y la generación de energía eléctrica, como también en la producción de equipos electrónicos y electromecánicos para el control de la red, producción de energía con turbinas hidroeléctricas, protección de los equipos eléctricos frente a las perturbaciones de la red y alimentación de lámparas de descarga para aplicaciones profesionales. Como indican en su presentación mediante página web:

“La calidad es nuestra primera responsabilidad, y la satisfacción del Cliente es nuestro orgullo. El respeto del medio ambiente es nuestro objetivo social, la seguridad y la salud de las personas son nuestra obligación”

### 3HC S.A.C.

Es una empresa peruana, proveedora de diseño y fabricación de turbinas hidráulicas, fundada por Eusebio Castromonte de profesión Ingeniero Mecánico; indicando en descripción de la empresa, que cuenta con 20 años de experiencia industrial.

### PROVIENTO S.A.

Es una compañía creada en el año 2001 por la empresa alemana, Windwärts Energie GmbH para realizar Proyectos de Energía Eólica en el Ecuador. Con el pasar de los años cambió la estructura accionaria y el enfoque de la empresa, ofreciendo productos y soluciones en el campo de energías renovables y mediciones ambientales en la Región Andina.

### MAXLUZ

Es una empresa mexicana que idea, diseña, desarrolla y manufactura tecnología sustentable, mediante el ahorro y optimización de recursos. Comenzó operaciones en 2001 bajo la premisa de brindar soluciones tecnológicas óptimas y asequibles como respuesta a la creciente evolución de las tecnologías.

## APÉNDICE D

### CÁLCULO DE LAS POTENCIAS GENERADAS BARRIENDO ESPECTRO DE CAUDALES.

**Tabla N° 26** Cálculo de las potencias generadas acuerdo al 10, 20 y 30% del Qm.

| Qmed VRP1                | Qmax  | ΔP       |                                  |            |                     |                                  |            |                     |                                  |            |                     |
|--------------------------|-------|----------|----------------------------------|------------|---------------------|----------------------------------|------------|---------------------|----------------------------------|------------|---------------------|
| 21,55                    | 53,88 | 42,02    |                                  |            |                     |                                  |            |                     |                                  |            |                     |
| Hora                     | % Qm  | % Qm VRP |                                  |            |                     |                                  |            |                     |                                  |            |                     |
|                          |       |          | Máximo Caudal turbinado 10% 2,16 |            |                     | Máximo Caudal turbinado 20% 4,31 |            |                     | Máximo Caudal turbinado 30% 6,47 |            |                     |
|                          |       |          | Rango de caudal %                | Eficiencia | Potencias generadas | Rango de caudal %                | Eficiencia | Potencias generadas | Rango de caudal %                | Eficiencia | Potencias generadas |
| 1                        | 40%   | 8,62     | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
|                          | 40%   | 8,62     | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 2                        | 40%   | 8,62     | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 3                        | 40%   | 8,62     | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 4                        | 40%   | 8,62     | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 5                        | 50%   | 10,78    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 6                        | 70%   | 15,09    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 7                        | 130%  | 28,02    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 8                        | 200%  | 43,10    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 9                        | 170%  | 36,64    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 10                       | 150%  | 32,33    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 11                       | 140%  | 30,17    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 12                       | 130%  | 28,02    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 13                       | 125%  | 26,94    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 14                       | 122%  | 26,29    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 15                       | 125%  | 26,94    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 16                       | 130%  | 28,02    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 17                       | 150%  | 32,33    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 18                       | 140%  | 30,17    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 19                       | 120%  | 25,86    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 20                       | 90%   | 19,40    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 21                       | 60%   | 12,93    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 22                       | 50%   | 10,78    | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 23                       | 45%   | 9,70     | 100,00                           | 68%        | 0,60                | 100,00                           | 68%        | 1,20                | 100,00                           | 68%        | 1,80                |
| 24                       | 40%   | 8,62     |                                  |            |                     |                                  |            |                     |                                  |            |                     |
| Energía generada (Kwh) Σ |       |          | 14,413                           |            |                     | 28,825                           |            |                     | 43,238                           |            |                     |

**Tabla N° 27** Cálculo de las potencias generadas acuerdo al 40, 50 y 60% del Qm.

| Qmed VRP1                | Qmax  | ΔP       |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
|--------------------------|-------|----------|-------------------------|------------|---------------------|-------------------------|------------|---------------------|-------------------------|------------|---------------------|
| 21,55                    | 53,88 | 42,02    |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
|                          |       |          |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
| Hora                     | % Qm  | % Qm VRP |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
|                          |       |          | Máximo Caudal turbinado | 40%        | 8,62                | Máximo Caudal turbinado | 50%        | 10,78               | Máximo Caudal turbinado | 60%        | 12,93               |
|                          |       |          | Rango de caudal %       | Eficiencia | Potencias generadas | Rango de caudal %       | Eficiencia | Potencias generadas | Rango de caudal %       | Eficiencia | Potencias generadas |
| 1                        | 40%   | 8,62     | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 80,00                   | 74%        | 2,64                | 66,67                   | 78%        | 2,76                |
|                          | 40%   | 8,62     | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 80,00                   | 74%        | 2,64                | 66,67                   | 78%        | 2,76                |
| 2                        | 40%   | 8,62     | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 80,00                   | 74%        | 2,64                | 66,67                   | 78%        | 2,76                |
| 3                        | 40%   | 8,62     | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 80,00                   | 74%        | 2,64                | 66,67                   | 78%        | 2,76                |
| 4                        | 40%   | 8,62     | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 80,00                   | 74%        | 2,64                | 66,67                   | 78%        | 2,76                |
| 5                        | 50%   | 10,78    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 83,33                   | 73%        | 3,25                |
| 6                        | 70%   | 15,09    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 100,00                  | 68%        | 3,60                |
| 7                        | 130%  | 28,02    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 100,00                  | 68%        | 3,60                |
| 8                        | 200%  | 43,10    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 100,00                  | 68%        | 3,60                |
| 9                        | 170%  | 36,64    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 100,00                  | 68%        | 3,60                |
| 10                       | 150%  | 32,33    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 100,00                  | 68%        | 3,60                |
| 11                       | 140%  | 30,17    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 100,00                  | 68%        | 3,60                |
| 12                       | 130%  | 28,02    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 100,00                  | 68%        | 3,60                |
| 13                       | 125%  | 26,94    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 100,00                  | 68%        | 3,60                |
| 14                       | 122%  | 26,29    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 100,00                  | 68%        | 3,60                |
| 15                       | 125%  | 26,94    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 100,00                  | 68%        | 3,60                |
| 16                       | 130%  | 28,02    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 100,00                  | 68%        | 3,60                |
| 17                       | 150%  | 32,33    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 100,00                  | 68%        | 3,60                |
| 18                       | 140%  | 30,17    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 100,00                  | 68%        | 3,60                |
| 19                       | 120%  | 25,86    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 100,00                  | 68%        | 3,60                |
| 20                       | 90%   | 19,40    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 100,00                  | 68%        | 3,60                |
| 21                       | 60%   | 12,93    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 100,00                  | 68%        | 3,60                |
| 22                       | 50%   | 10,78    | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 100,00                  | 68%        | 3,00                | 83,33                   | 73%        | 3,25                |
| 23                       | 45%   | 9,70     | 100,00                  | 68%        | 2,40                | 90,00                   | 71%        | 2,84                | 75,00                   | 76%        | 3,03                |
| 24                       | 40%   | 8,62     |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
| Energía generada (Kwh) Σ |       |          | 57,651                  |            |                     | 70,092                  |            |                     | 81,010                  |            |                     |

**Tabla N° 28** Cálculo de las potencias generadas acuerdo al 70, 80 y 90% del Qm

| Qmed VRP1                | Qmax  | ΔP       |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
|--------------------------|-------|----------|-------------------------|------------|---------------------|-------------------------|------------|---------------------|-------------------------|------------|---------------------|
| 21,55                    | 53,88 | 42,02    |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
|                          |       |          |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
| Hora                     | % Qm  | % Qm VRP |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
|                          |       |          | Máximo Caudal turbinado | 70%        | 15,09               | Máximo Caudal turbinado | 80%        | 17,24               | Máximo Caudal turbinado | 90%        | 19,40               |
|                          |       |          | Rango de caudal %       | Eficiencia | Potencias generadas | Rango de caudal %       | Eficiencia | Potencias generadas | Rango de caudal %       | Eficiencia | Potencias generadas |
| 1                        | 40%   | 8,62     | 57,14                   | 79%        | 2,83                | 50,00                   | 80%        | 2,85                | 44,44                   | 80%        | 2,86                |
|                          | 40%   | 8,62     | 57,14                   | 79%        | 2,83                | 50,00                   | 80%        | 2,85                | 44,44                   | 80%        | 2,86                |
|                          | 40%   | 8,62     | 57,14                   | 79%        | 2,83                | 50,00                   | 80%        | 2,85                | 44,44                   | 80%        | 2,86                |
| 2                        | 40%   | 8,62     | 57,14                   | 79%        | 2,83                | 50,00                   | 80%        | 2,85                | 44,44                   | 80%        | 2,86                |
| 3                        | 40%   | 8,62     | 57,14                   | 79%        | 2,83                | 50,00                   | 80%        | 2,85                | 44,44                   | 80%        | 2,86                |
| 4                        | 40%   | 8,62     | 57,14                   | 79%        | 2,83                | 50,00                   | 80%        | 2,85                | 44,44                   | 80%        | 2,86                |
| 5                        | 50%   | 10,78    | 71,43                   | 77%        | 3,41                | 62,50                   | 79%        | 3,49                | 55,56                   | 80%        | 3,54                |
| 6                        | 70%   | 15,09    | 100,00                  | 68%        | 4,20                | 87,50                   | 72%        | 4,47                | 77,78                   | 75%        | 4,66                |
| 7                        | 130%  | 28,02    | 100,00                  | 68%        | 4,20                | 100,00                  | 68%        | 4,80                | 100,00                  | 68%        | 5,40                |
| 8                        | 200%  | 43,10    | 100,00                  | 68%        | 4,20                | 100,00                  | 68%        | 4,80                | 100,00                  | 68%        | 5,40                |
| 9                        | 170%  | 36,64    | 100,00                  | 68%        | 4,20                | 100,00                  | 68%        | 4,80                | 100,00                  | 68%        | 5,40                |
| 10                       | 150%  | 32,33    | 100,00                  | 68%        | 4,20                | 100,00                  | 68%        | 4,80                | 100,00                  | 68%        | 5,40                |
| 11                       | 140%  | 30,17    | 100,00                  | 68%        | 4,20                | 100,00                  | 68%        | 4,80                | 100,00                  | 68%        | 5,40                |
| 12                       | 130%  | 28,02    | 100,00                  | 68%        | 4,20                | 100,00                  | 68%        | 4,80                | 100,00                  | 68%        | 5,40                |
| 13                       | 125%  | 26,94    | 100,00                  | 68%        | 4,20                | 100,00                  | 68%        | 4,80                | 100,00                  | 68%        | 5,40                |
| 14                       | 122%  | 26,29    | 100,00                  | 68%        | 4,20                | 100,00                  | 68%        | 4,80                | 100,00                  | 68%        | 5,40                |
| 15                       | 125%  | 26,94    | 100,00                  | 68%        | 4,20                | 100,00                  | 68%        | 4,80                | 100,00                  | 68%        | 5,40                |
| 16                       | 130%  | 28,02    | 100,00                  | 68%        | 4,20                | 100,00                  | 68%        | 4,80                | 100,00                  | 68%        | 5,40                |
| 17                       | 150%  | 32,33    | 100,00                  | 68%        | 4,20                | 100,00                  | 68%        | 4,80                | 100,00                  | 68%        | 5,40                |
| 18                       | 140%  | 30,17    | 100,00                  | 68%        | 4,20                | 100,00                  | 68%        | 4,80                | 100,00                  | 68%        | 5,40                |
| 19                       | 120%  | 25,86    | 100,00                  | 68%        | 4,20                | 100,00                  | 68%        | 4,80                | 100,00                  | 68%        | 5,40                |
| 20                       | 90%   | 19,40    | 100,00                  | 68%        | 4,20                | 100,00                  | 68%        | 4,80                | 100,00                  | 68%        | 5,40                |
| 21                       | 60%   | 12,93    | 85,71                   | 72%        | 3,86                | 75,00                   | 76%        | 4,04                | 66,67                   | 78%        | 4,15                |
| 22                       | 50%   | 10,78    | 71,43                   | 77%        | 3,41                | 62,50                   | 79%        | 3,49                | 55,56                   | 80%        | 3,54                |
| 23                       | 45%   | 9,70     | 64,29                   | 78%        | 3,13                | 56,25                   | 80%        | 3,18                | 50,00                   | 80%        | 3,21                |
| 24                       | 40%   | 8,62     |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
| Energía generada (Kwh) Σ |       |          | 90,991                  |            |                     | 100,205                 |            |                     | 109,054                 |            |                     |

**Tabla N° 29** Cálculo de las potencias generadas acuerdo al 100, 110 y 120% del Qm.

| Qmed VRP1                | Qmax  | ΔP       |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
|--------------------------|-------|----------|-------------------------|------------|---------------------|-------------------------|------------|---------------------|-------------------------|------------|---------------------|
| 21,55                    | 53,88 | 42,02    |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
|                          |       |          |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
| Hora                     | % Qm  | % Qm VRP |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
|                          |       |          | Máximo Caudal turbinado | 100%       | 21,55               | Máximo Caudal turbinado | 110%       | 23,71               | Máximo Caudal turbinado | 120%       | 25,86               |
|                          |       |          | Rango de caudal %       | Eficiencia | Potencias generadas | Rango de caudal %       | Eficiencia | Potencias generadas | Rango de caudal %       | Eficiencia | Potencias generadas |
| 1                        | 40%   | 8,62     | 40,00                   | 80%        | 2,84                | 36,36                   | 79%        | 2,81                | 33,33                   | 78%        | 2,77                |
|                          | 40%   | 8,62     | 40,00                   | 80%        | 2,84                | 36,36                   | 79%        | 2,81                | 33,33                   | 78%        | 2,77                |
| 2                        | 40%   | 8,62     | 40,00                   | 80%        | 2,84                | 36,36                   | 79%        | 2,81                | 33,33                   | 78%        | 2,77                |
|                          | 40%   | 8,62     | 40,00                   | 80%        | 2,84                | 36,36                   | 79%        | 2,81                | 33,33                   | 78%        | 2,77                |
| 3                        | 40%   | 8,62     | 40,00                   | 80%        | 2,84                | 36,36                   | 79%        | 2,81                | 33,33                   | 78%        | 2,77                |
|                          | 40%   | 8,62     | 40,00                   | 80%        | 2,84                | 36,36                   | 79%        | 2,81                | 33,33                   | 78%        | 2,77                |
| 4                        | 40%   | 8,62     | 40,00                   | 80%        | 2,84                | 36,36                   | 79%        | 2,81                | 33,33                   | 78%        | 2,77                |
|                          | 40%   | 8,62     | 40,00                   | 80%        | 2,84                | 36,36                   | 79%        | 2,81                | 33,33                   | 78%        | 2,77                |
| 5                        | 50%   | 10,78    | 50,00                   | 80%        | 3,57                | 45,45                   | 80%        | 3,57                | 41,67                   | 80%        | 3,56                |
| 6                        | 70%   | 15,09    | 70,00                   | 77%        | 4,79                | 63,64                   | 78%        | 4,88                | 58,33                   | 79%        | 4,93                |
| 7                        | 130%  | 28,02    | 100,00                  | 68%        | 6,01                | 100,00                  | 68%        | 6,61                | 100,00                  | 68%        | 7,21                |
| 8                        | 200%  | 43,10    | 100,00                  | 68%        | 6,01                | 100,00                  | 68%        | 6,61                | 100,00                  | 68%        | 7,21                |
| 9                        | 170%  | 36,64    | 100,00                  | 68%        | 6,01                | 100,00                  | 68%        | 6,61                | 100,00                  | 68%        | 7,21                |
| 10                       | 150%  | 32,33    | 100,00                  | 68%        | 6,01                | 100,00                  | 68%        | 6,61                | 100,00                  | 68%        | 7,21                |
| 11                       | 140%  | 30,17    | 100,00                  | 68%        | 6,01                | 100,00                  | 68%        | 6,61                | 100,00                  | 68%        | 7,21                |
| 12                       | 130%  | 28,02    | 100,00                  | 68%        | 6,01                | 100,00                  | 68%        | 6,61                | 100,00                  | 68%        | 7,21                |
| 13                       | 125%  | 26,94    | 100,00                  | 68%        | 6,01                | 100,00                  | 68%        | 6,61                | 100,00                  | 68%        | 7,21                |
| 14                       | 122%  | 26,29    | 100,00                  | 68%        | 6,01                | 100,00                  | 68%        | 6,61                | 100,00                  | 68%        | 7,21                |
| 15                       | 125%  | 26,94    | 100,00                  | 68%        | 6,01                | 100,00                  | 68%        | 6,61                | 100,00                  | 68%        | 7,21                |
| 16                       | 130%  | 28,02    | 100,00                  | 68%        | 6,01                | 100,00                  | 68%        | 6,61                | 100,00                  | 68%        | 7,21                |
| 17                       | 150%  | 32,33    | 100,00                  | 68%        | 6,01                | 100,00                  | 68%        | 6,61                | 100,00                  | 68%        | 7,21                |
| 18                       | 140%  | 30,17    | 100,00                  | 68%        | 6,01                | 100,00                  | 68%        | 6,61                | 100,00                  | 68%        | 7,21                |
| 19                       | 120%  | 25,86    | 100,00                  | 68%        | 6,01                | 100,00                  | 68%        | 6,61                | 100,00                  | 68%        | 7,21                |
| 20                       | 90%   | 19,40    | 90,00                   | 71%        | 5,68                | 81,82                   | 74%        | 5,90                | 75,00                   | 76%        | 6,06                |
| 21                       | 60%   | 12,93    | 60,00                   | 79%        | 4,21                | 54,55                   | 80%        | 4,26                | 50,00                   | 80%        | 4,28                |
| 22                       | 50%   | 10,78    | 50,00                   | 80%        | 3,57                | 45,45                   | 80%        | 3,57                | 41,67                   | 80%        | 3,56                |
| 23                       | 45%   | 9,70     | 45,00                   | 80%        | 3,21                | 40,91                   | 80%        | 3,20                | 37,50                   | 79%        | 3,17                |
| 24                       | 40%   | 8,62     |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
| Energía generada (Kwh) Σ |       |          | 117,311                 |            |                     | 125,302                 |            |                     | 133,081                 |            |                     |

**Tabla N° 30** Cálculo de las potencias generadas acuerdo al 125, 130 y 150% del Qm.

| Qmed VRP1                | Qmax  | ΔP       |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
|--------------------------|-------|----------|-------------------------|------------|---------------------|-------------------------|------------|---------------------|-------------------------|------------|---------------------|
| 21,55                    | 53,88 | 42,02    |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
|                          |       |          |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
| Hora                     | % Qm  | % Qm VRP |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
|                          |       |          | Máximo Caudal turbinado | 125%       | 26,94               | Máximo Caudal turbinado | 130%       | 28,02               | Máximo Caudal turbinado | 150%       | 32,33               |
|                          |       |          | Rango de caudal %       | Eficiencia | Potencias generadas | Rango de caudal %       | Eficiencia | Potencias generadas | Rango de caudal %       | Eficiencia | Potencias generadas |
| 1                        | 40%   | 8,62     | 32,00                   | 77%        | 2,74                | 30,77                   | 76%        | 2,71                | 26,67                   | 73%        | 2,58                |
|                          | 40%   | 8,62     | 32,00                   | 77%        | 2,74                | 30,77                   | 76%        | 2,71                | 26,67                   | 73%        | 2,58                |
| 2                        | 40%   | 8,62     | 32,00                   | 77%        | 2,74                | 30,77                   | 76%        | 2,71                | 26,67                   | 73%        | 2,58                |
|                          | 40%   | 8,62     | 32,00                   | 77%        | 2,74                | 30,77                   | 76%        | 2,71                | 26,67                   | 73%        | 2,58                |
| 3                        | 40%   | 8,62     | 32,00                   | 77%        | 2,74                | 30,77                   | 76%        | 2,71                | 26,67                   | 73%        | 2,58                |
|                          | 40%   | 8,62     | 32,00                   | 77%        | 2,74                | 30,77                   | 76%        | 2,71                | 26,67                   | 73%        | 2,58                |
| 4                        | 40%   | 8,62     | 32,00                   | 77%        | 2,74                | 30,77                   | 76%        | 2,71                | 26,67                   | 73%        | 2,58                |
|                          | 40%   | 8,62     | 32,00                   | 77%        | 2,74                | 30,77                   | 76%        | 2,71                | 26,67                   | 73%        | 2,58                |
| 5                        | 50%   | 10,78    | 40,00                   | 80%        | 3,55                | 38,46                   | 80%        | 3,54                | 33,33                   | 78%        | 3,46                |
|                          | 50%   | 10,78    | 40,00                   | 80%        | 3,55                | 38,46                   | 80%        | 3,54                | 33,33                   | 78%        | 3,46                |
| 6                        | 70%   | 15,09    | 56,00                   | 80%        | 4,96                | 53,85                   | 80%        | 4,97                | 46,67                   | 80%        | 5,00                |
|                          | 70%   | 15,09    | 56,00                   | 80%        | 4,96                | 53,85                   | 80%        | 4,97                | 46,67                   | 80%        | 5,00                |
| 7                        | 130%  | 28,02    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 86,67                   | 72%        | 8,34                |
|                          | 130%  | 28,02    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 86,67                   | 72%        | 8,34                |
| 8                        | 200%  | 43,10    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 100,00                  | 68%        | 9,01                |
|                          | 200%  | 43,10    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 100,00                  | 68%        | 9,01                |
| 9                        | 170%  | 36,64    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 100,00                  | 68%        | 9,01                |
|                          | 170%  | 36,64    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 100,00                  | 68%        | 9,01                |
| 10                       | 150%  | 32,33    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 100,00                  | 68%        | 9,01                |
|                          | 150%  | 32,33    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 100,00                  | 68%        | 9,01                |
| 11                       | 140%  | 30,17    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 93,33                   | 70%        | 8,70                |
|                          | 140%  | 30,17    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 93,33                   | 70%        | 8,70                |
| 12                       | 130%  | 28,02    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 86,67                   | 72%        | 8,34                |
|                          | 130%  | 28,02    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 86,67                   | 72%        | 8,34                |
| 13                       | 125%  | 26,94    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 96,15                   | 69%        | 7,65                | 83,33                   | 73%        | 8,14                |
|                          | 125%  | 26,94    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 96,15                   | 69%        | 7,65                | 83,33                   | 73%        | 8,14                |
| 14                       | 122%  | 26,29    | 97,60                   | 68%        | 7,42                | 93,85                   | 70%        | 7,56                | 81,33                   | 74%        | 8,01                |
|                          | 122%  | 26,29    | 97,60                   | 68%        | 7,42                | 93,85                   | 70%        | 7,56                | 81,33                   | 74%        | 8,01                |
| 15                       | 125%  | 26,94    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 96,15                   | 69%        | 7,65                | 83,33                   | 73%        | 8,14                |
|                          | 125%  | 26,94    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 96,15                   | 69%        | 7,65                | 83,33                   | 73%        | 8,14                |
| 16                       | 130%  | 28,02    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 86,67                   | 72%        | 8,34                |
|                          | 130%  | 28,02    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 86,67                   | 72%        | 8,34                |
| 17                       | 150%  | 32,33    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 100,00                  | 68%        | 9,01                |
|                          | 150%  | 32,33    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 100,00                  | 68%        | 9,01                |
| 18                       | 140%  | 30,17    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 93,33                   | 70%        | 8,70                |
|                          | 140%  | 30,17    | 100,00                  | 68%        | 7,51                | 100,00                  | 68%        | 7,81                | 93,33                   | 70%        | 8,70                |
| 19                       | 120%  | 25,86    | 96,00                   | 69%        | 7,35                | 92,31                   | 70%        | 7,49                | 80,00                   | 74%        | 7,92                |
|                          | 120%  | 25,86    | 96,00                   | 69%        | 7,35                | 92,31                   | 70%        | 7,49                | 80,00                   | 74%        | 7,92                |
| 20                       | 90%   | 19,40    | 72,00                   | 77%        | 6,12                | 69,23                   | 77%        | 6,17                | 60,00                   | 79%        | 6,32                |
|                          | 90%   | 19,40    | 72,00                   | 77%        | 6,12                | 69,23                   | 77%        | 6,17                | 60,00                   | 79%        | 6,32                |
| 21                       | 60%   | 12,93    | 48,00                   | 80%        | 4,29                | 46,15                   | 80%        | 4,29                | 40,00                   | 80%        | 4,26                |
|                          | 60%   | 12,93    | 48,00                   | 80%        | 4,29                | 46,15                   | 80%        | 4,29                | 40,00                   | 80%        | 4,26                |
| 22                       | 50%   | 10,78    | 40,00                   | 80%        | 3,55                | 38,46                   | 80%        | 3,54                | 33,33                   | 78%        | 3,46                |
|                          | 50%   | 10,78    | 40,00                   | 80%        | 3,55                | 38,46                   | 80%        | 3,54                | 33,33                   | 78%        | 3,46                |
| 23                       | 45%   | 9,70     | 36,00                   | 79%        | 3,16                | 34,62                   | 78%        | 3,14                | 30,00                   | 76%        | 3,03                |
|                          | 45%   | 9,70     | 36,00                   | 79%        | 3,16                | 34,62                   | 78%        | 3,14                | 30,00                   | 76%        | 3,03                |
| 24                       | 40%   | 8,62     |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
|                          | 40%   | 8,62     |                         |            |                     |                         |            |                     |                         |            |                     |
| Energía generada (Kwh) Σ |       |          | 136,664                 |            |                     | 139,825                 |            |                     | 149,092                 |            |                     |

**Tabla N° 31** Cálculo de las potencias generadas acuerdo al 175% y 200% del Qm.

| Qmed VRP1                | Qmax  | ΔP       |                         |            |                     |                         |            |                     |
|--------------------------|-------|----------|-------------------------|------------|---------------------|-------------------------|------------|---------------------|
| 21,55                    | 53,88 | 42,02    |                         |            |                     |                         |            |                     |
|                          |       |          |                         |            |                     |                         |            |                     |
| Hora                     | % Qm  | % Qm VRP |                         |            |                     |                         |            |                     |
|                          |       |          | Máximo Caudal turbinado | 175%       | 37,71               | Máximo Caudal turbinado | 200%       | 43,10               |
|                          |       |          | Rango de caudal %       | Eficiencia | Potencias generadas | Rango de caudal %       | Eficiencia | Potencias generadas |
| 1                        | 40%   | 8,62     | 22,86                   | 68%        | 2,41                | 20,00                   | 62%        | 2,22                |
|                          | 40%   | 8,62     | 22,86                   | 68%        | 2,41                | 20,00                   | 62%        | 2,22                |
| 2                        | 40%   | 8,62     | 22,86                   | 68%        | 2,41                | 20,00                   | 62%        | 2,22                |
|                          | 40%   | 8,62     | 22,86                   | 68%        | 2,41                | 20,00                   | 62%        | 2,22                |
| 3                        | 40%   | 8,62     | 22,86                   | 68%        | 2,41                | 20,00                   | 62%        | 2,22                |
|                          | 40%   | 8,62     | 22,86                   | 68%        | 2,41                | 20,00                   | 62%        | 2,22                |
| 4                        | 40%   | 8,62     | 22,86                   | 68%        | 2,41                | 20,00                   | 62%        | 2,22                |
|                          | 40%   | 8,62     | 22,86                   | 68%        | 2,41                | 20,00                   | 62%        | 2,22                |
| 5                        | 50%   | 10,78    | 28,57                   | 75%        | 3,31                | 25,00                   | 71%        | 3,14                |
|                          | 50%   | 10,78    | 28,57                   | 75%        | 3,31                | 25,00                   | 71%        | 3,14                |
| 6                        | 70%   | 15,09    | 40,00                   | 80%        | 4,97                | 35,00                   | 79%        | 4,89                |
|                          | 70%   | 15,09    | 40,00                   | 80%        | 4,97                | 35,00                   | 79%        | 4,89                |
| 7                        | 130%  | 28,02    | 74,29                   | 76%        | 8,77                | 65,00                   | 78%        | 9,02                |
|                          | 130%  | 28,02    | 74,29                   | 76%        | 8,77                | 65,00                   | 78%        | 9,02                |
| 8                        | 200%  | 43,10    | 100,00                  | 68%        | 10,51               | 100,00                  | 68%        | 12,01               |
|                          | 200%  | 43,10    | 100,00                  | 68%        | 10,51               | 100,00                  | 68%        | 12,01               |
| 9                        | 170%  | 36,64    | 97,14                   | 69%        | 10,36               | 85,00                   | 73%        | 10,99               |
|                          | 170%  | 36,64    | 97,14                   | 69%        | 10,36               | 85,00                   | 73%        | 10,99               |
| 10                       | 150%  | 32,33    | 85,71                   | 72%        | 9,66                | 75,00                   | 76%        | 10,09               |
|                          | 150%  | 32,33    | 85,71                   | 72%        | 9,66                | 75,00                   | 76%        | 10,09               |
| 11                       | 140%  | 30,17    | 80,00                   | 74%        | 9,24                | 70,00                   | 77%        | 9,58                |
|                          | 140%  | 30,17    | 80,00                   | 74%        | 9,24                | 70,00                   | 77%        | 9,58                |
| 12                       | 130%  | 28,02    | 74,29                   | 76%        | 8,77                | 65,00                   | 78%        | 9,02                |
|                          | 130%  | 28,02    | 74,29                   | 76%        | 8,77                | 65,00                   | 78%        | 9,02                |
| 13                       | 125%  | 26,94    | 71,43                   | 77%        | 8,51                | 62,50                   | 79%        | 8,73                |
|                          | 125%  | 26,94    | 71,43                   | 77%        | 8,51                | 62,50                   | 79%        | 8,73                |
| 14                       | 122%  | 26,29    | 69,71                   | 77%        | 8,36                | 61,00                   | 79%        | 8,55                |
|                          | 122%  | 26,29    | 69,71                   | 77%        | 8,36                | 61,00                   | 79%        | 8,55                |
| 15                       | 125%  | 26,94    | 71,43                   | 77%        | 8,51                | 62,50                   | 79%        | 8,73                |
|                          | 125%  | 26,94    | 71,43                   | 77%        | 8,51                | 62,50                   | 79%        | 8,73                |
| 16                       | 130%  | 28,02    | 74,29                   | 76%        | 8,77                | 65,00                   | 78%        | 9,02                |
|                          | 130%  | 28,02    | 74,29                   | 76%        | 8,77                | 65,00                   | 78%        | 9,02                |
| 17                       | 150%  | 32,33    | 85,71                   | 72%        | 9,66                | 75,00                   | 76%        | 10,09               |
|                          | 150%  | 32,33    | 85,71                   | 72%        | 9,66                | 75,00                   | 76%        | 10,09               |
| 18                       | 140%  | 30,17    | 80,00                   | 74%        | 9,24                | 70,00                   | 77%        | 9,58                |
|                          | 140%  | 30,17    | 80,00                   | 74%        | 9,24                | 70,00                   | 77%        | 9,58                |
| 19                       | 120%  | 25,86    | 68,57                   | 77%        | 8,25                | 60,00                   | 79%        | 8,43                |
|                          | 120%  | 25,86    | 68,57                   | 77%        | 8,25                | 60,00                   | 79%        | 8,43                |
| 20                       | 90%   | 19,40    | 51,43                   | 80%        | 6,41                | 45,00                   | 80%        | 6,43                |
|                          | 90%   | 19,40    | 51,43                   | 80%        | 6,41                | 45,00                   | 80%        | 6,43                |
| 21                       | 60%   | 12,93    | 34,29                   | 78%        | 4,17                | 30,00                   | 76%        | 4,04                |
|                          | 60%   | 12,93    | 34,29                   | 78%        | 4,17                | 30,00                   | 76%        | 4,04                |
| 22                       | 50%   | 10,78    | 28,57                   | 75%        | 3,31                | 25,00                   | 71%        | 3,14                |
|                          | 50%   | 10,78    | 28,57                   | 75%        | 3,31                | 25,00                   | 71%        | 3,14                |
| 23                       | 45%   | 9,70     | 25,71                   | 72%        | 2,86                | 22,50                   | 67%        | 2,68                |
|                          | 45%   | 9,70     | 25,71                   | 72%        | 2,86                | 22,50                   | 67%        | 2,68                |
| 24                       | 40%   | 8,62     |                         |            |                     |                         |            |                     |
|                          | 40%   | 8,62     |                         |            |                     |                         |            |                     |
| Energía generada (Kwh) Σ |       |          | 155,695                 |            |                     | 159,291                 |            |                     |

## APÉNDICE E

### CÁLCULO DE ENERGÍA.

**Tabla N° 32** Energía calculada desde el año 2022-2026

| DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA TOTAL GENERADA |                                  |       |              |            | Año                                          |           |           |           |            |
|--------------------------------------------|----------------------------------|-------|--------------|------------|----------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|
|                                            |                                  |       |              |            | 2022                                         | 2023      | 2024      | 2025      | 2026       |
|                                            |                                  |       |              |            | Dotaciones correspondientes a cada año (lps) |           |           |           |            |
|                                            | $\Delta P$                       | Qmed  | Qmed*1.25    | Pw         | 7,84                                         | 7,84      | 7,84      | 7,84      | 16,62      |
| VRP1                                       | 42,02                            | 21,55 | 26,94        | 7,51       | 7,55                                         | 7,55      | 7,55      | 7,55      | 16,01      |
| VRP2                                       | 51,33                            | 21,40 | 26,75        | 9,11       | 7,50                                         | 7,50      | 7,50      | 7,50      | 15,90      |
| VRP3                                       | 74,50                            | 17,35 | 21,69        | 10,72      | 6,08                                         | 6,08      | 6,08      | 6,08      | 12,89      |
|                                            |                                  |       |              |            |                                              |           |           |           |            |
|                                            | Hora                             | %Q    | % Qturb/Qmed | Eficiencia | Potencias generadas en una hora del año      |           |           |           |            |
|                                            | 12                               | 40    | 32           | 77%        | 3,50                                         | 3,50      | 3,50      | 3,50      | 7,41       |
|                                            | 1                                | 40    | 32           | 77%        | 3,50                                         | 3,50      | 3,50      | 3,50      | 7,41       |
|                                            | 2                                | 40    | 32           | 77%        | 3,50                                         | 3,50      | 3,50      | 3,50      | 7,41       |
|                                            | 3                                | 40    | 32           | 77%        | 3,50                                         | 3,50      | 3,50      | 3,50      | 7,41       |
|                                            | 4                                | 40    | 32           | 77%        | 3,50                                         | 3,50      | 3,50      | 3,50      | 7,41       |
|                                            | 5                                | 50    | 40           | 80%        | 4,53                                         | 4,53      | 4,53      | 4,53      | 9,61       |
|                                            | 6                                | 70    | 56           | 80%        | 6,32                                         | 6,32      | 6,32      | 6,32      | 13,40      |
|                                            | 7                                | 130   | 104          | 68%        | 9,96                                         | 9,96      | 9,96      | 9,96      | 21,12      |
|                                            | 8                                | 200   | 160          | 68%        | 15,32                                        | 15,32     | 15,32     | 15,32     | 27,33      |
|                                            | 9                                | 170   | 136          | 68%        | 13,03                                        | 13,03     | 13,03     | 13,03     | 27,33      |
|                                            | 10                               | 150   | 120          | 68%        | 11,49                                        | 11,49     | 11,49     | 11,49     | 24,36      |
|                                            | 11                               | 140   | 112          | 68%        | 10,73                                        | 10,73     | 10,73     | 10,73     | 22,74      |
|                                            | 12                               | 130   | 104          | 68%        | 9,96                                         | 9,96      | 9,96      | 9,96      | 21,12      |
|                                            | 13                               | 125   | 100          | 68%        | 9,58                                         | 9,58      | 9,58      | 9,58      | 20,30      |
|                                            | 14                               | 122   | 98           | 68%        | 9,46                                         | 9,46      | 9,46      | 9,46      | 20,06      |
|                                            | 15                               | 125   | 100          | 68%        | 9,58                                         | 9,58      | 9,58      | 9,58      | 20,30      |
|                                            | 16                               | 130   | 104          | 68%        | 9,96                                         | 9,96      | 9,96      | 9,96      | 21,12      |
|                                            | 17                               | 150   | 120          | 68%        | 11,49                                        | 11,49     | 11,49     | 11,49     | 24,36      |
|                                            | 18                               | 140   | 112          | 68%        | 10,73                                        | 10,73     | 10,73     | 10,73     | 22,74      |
|                                            | 19                               | 120   | 96           | 69%        | 9,38                                         | 9,38      | 9,38      | 9,38      | 19,89      |
|                                            | 20                               | 90    | 72           | 77%        | 7,81                                         | 7,81      | 7,81      | 7,81      | 16,55      |
|                                            | 21                               | 60    | 48           | 80%        | 5,47                                         | 5,47      | 5,47      | 5,47      | 11,59      |
|                                            | 22                               | 50    | 40           | 80%        | 4,53                                         | 4,53      | 4,53      | 4,53      | 9,61       |
|                                            | 23                               | 45    | 36           | 79%        | 4,03                                         | 4,03      | 4,03      | 4,03      | 8,54       |
|                                            | 24                               | 40    |              |            |                                              |           |           |           |            |
|                                            |                                  |       |              |            | 2022                                         | 2023      | 2024      | 2025      | 2026       |
|                                            | Energía generada en un día (Kwh) |       |              |            | 190,84                                       | 190,84    | 190,84    | 190,84    | 399,12     |
|                                            | Energía generada en un año (Kwh) |       |              |            | 69.656,32                                    | 69.656,32 | 69.847,16 | 69.656,32 | 145.677,75 |

**Tabla N° 33. Energía calculada desde el año 2027-2031**

| DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA TOTAL GENERADA |                                  |       |              |            | Año                                          |            |            |            |            |
|--------------------------------------------|----------------------------------|-------|--------------|------------|----------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
|                                            |                                  |       |              |            | 2027                                         | 2028       | 2029       | 2030       | 2031       |
|                                            |                                  |       |              |            | Dotaciones correspondientes a cada año (lps) |            |            |            |            |
|                                            | $\Delta P$                       | Qmed  | Qmed*1.25    | Pw         | 16,62                                        | 16,62      | 16,62      | 16,62      | 16,62      |
| VRP1                                       | 42,02                            | 21,55 | 26,94        | 7,51       | 16,01                                        | 16,01      | 16,01      | 16,01      | 16,01      |
| VRP2                                       | 51,33                            | 21,40 | 26,75        | 9,11       | 15,90                                        | 15,90      | 15,90      | 15,90      | 15,90      |
| VRP3                                       | 74,50                            | 17,35 | 21,69        | 10,72      | 12,89                                        | 12,89      | 12,89      | 12,89      | 12,89      |
|                                            |                                  |       |              |            |                                              |            |            |            |            |
|                                            | Hora                             | %Q    | % Qturb/Qmed | Eficiencia | Potencias generadas en una hora del año      |            |            |            |            |
|                                            | 12                               | 40    | 32           | 77%        | 7,41                                         | 7,41       | 7,41       | 7,41       | 7,41       |
|                                            | 1                                | 40    | 32           | 77%        | 7,41                                         | 7,41       | 7,41       | 7,41       | 7,41       |
|                                            | 2                                | 40    | 32           | 77%        | 7,41                                         | 7,41       | 7,41       | 7,41       | 7,41       |
|                                            | 3                                | 40    | 32           | 77%        | 7,41                                         | 7,41       | 7,41       | 7,41       | 7,41       |
|                                            | 4                                | 40    | 32           | 77%        | 7,41                                         | 7,41       | 7,41       | 7,41       | 7,41       |
|                                            | 5                                | 50    | 40           | 80%        | 9,61                                         | 9,61       | 9,61       | 9,61       | 9,61       |
|                                            | 6                                | 70    | 56           | 80%        | 13,40                                        | 13,40      | 13,40      | 13,40      | 13,40      |
|                                            | 7                                | 130   | 104          | 68%        | 21,12                                        | 21,12      | 21,12      | 21,12      | 21,12      |
|                                            | 8                                | 200   | 160          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 9                                | 170   | 136          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 10                               | 150   | 120          | 68%        | 24,36                                        | 24,36      | 24,36      | 24,36      | 24,36      |
|                                            | 11                               | 140   | 112          | 68%        | 22,74                                        | 22,74      | 22,74      | 22,74      | 22,74      |
|                                            | 12                               | 130   | 104          | 68%        | 21,12                                        | 21,12      | 21,12      | 21,12      | 21,12      |
|                                            | 13                               | 125   | 100          | 68%        | 20,30                                        | 20,30      | 20,30      | 20,30      | 20,30      |
|                                            | 14                               | 122   | 98           | 68%        | 20,06                                        | 20,06      | 20,06      | 20,06      | 20,06      |
|                                            | 15                               | 125   | 100          | 68%        | 20,30                                        | 20,30      | 20,30      | 20,30      | 20,30      |
|                                            | 16                               | 130   | 104          | 68%        | 21,12                                        | 21,12      | 21,12      | 21,12      | 21,12      |
|                                            | 17                               | 150   | 120          | 68%        | 24,36                                        | 24,36      | 24,36      | 24,36      | 24,36      |
|                                            | 18                               | 140   | 112          | 68%        | 22,74                                        | 22,74      | 22,74      | 22,74      | 22,74      |
|                                            | 19                               | 120   | 96           | 69%        | 19,89                                        | 19,89      | 19,89      | 19,89      | 19,89      |
|                                            | 20                               | 90    | 72           | 77%        | 16,55                                        | 16,55      | 16,55      | 16,55      | 16,55      |
|                                            | 21                               | 60    | 48           | 80%        | 11,59                                        | 11,59      | 11,59      | 11,59      | 11,59      |
|                                            | 22                               | 50    | 40           | 80%        | 9,61                                         | 9,61       | 9,61       | 9,61       | 9,61       |
|                                            | 23                               | 45    | 36           | 79%        | 8,54                                         | 8,54       | 8,54       | 8,54       | 8,54       |
|                                            | 24                               | 40    |              |            |                                              |            |            |            |            |
|                                            |                                  |       |              |            | 2027                                         | 2028       | 2029       | 2030       | 2031       |
|                                            | Energía generada en un día (Kwh) |       |              |            | 399,12                                       | 399,12     | 399,12     | 399,12     | 399,12     |
|                                            | Energía generada en un año (Kwh) |       |              |            | 145.677,75                                   | 146.076,87 | 145.677,75 | 145.677,75 | 145.677,75 |

**Tabla N° 34 Energía calculada desde el año 2032-2036**

| DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA TOTAL GENERADA |                                  |       |              |            | Año                                          |            |            |            |            |
|--------------------------------------------|----------------------------------|-------|--------------|------------|----------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
|                                            |                                  |       |              |            | 2032                                         | 2033       | 2034       | 2035       | 2036       |
|                                            |                                  |       |              |            | Dotaciones correspondientes a cada año (lps) |            |            |            |            |
|                                            | $\Delta P$                       | Qmed  | Qmed*1.25    | Pw         | 20,7                                         | 20,7       | 20,7       | 20,7       | 20,7       |
| VRP1                                       | 42,02                            | 21,55 | 26,94        | 7,51       | 19,94                                        | 19,94      | 19,94      | 19,94      | 19,94      |
| VRP2                                       | 51,33                            | 21,40 | 26,75        | 9,11       | 19,80                                        | 19,80      | 19,80      | 19,80      | 19,80      |
| VRP3                                       | 74,50                            | 17,35 | 21,69        | 10,72      | 16,05                                        | 16,05      | 16,05      | 16,05      | 16,05      |
|                                            |                                  |       |              |            |                                              |            |            |            |            |
|                                            | Hora                             | %Q    | % Qturb/Qmed | Eficiencia | Potencias generadas en una hora del año      |            |            |            |            |
|                                            | 12                               | 40    | 32           | 77%        | 9,23                                         | 9,23       | 9,23       | 9,23       | 9,23       |
|                                            | 1                                | 40    | 32           | 77%        | 9,23                                         | 9,23       | 9,23       | 9,23       | 9,23       |
|                                            | 2                                | 40    | 32           | 77%        | 9,23                                         | 9,23       | 9,23       | 9,23       | 9,23       |
|                                            | 3                                | 40    | 32           | 77%        | 9,23                                         | 9,23       | 9,23       | 9,23       | 9,23       |
|                                            | 4                                | 40    | 32           | 77%        | 9,23                                         | 9,23       | 9,23       | 9,23       | 9,23       |
|                                            | 5                                | 50    | 40           | 80%        | 11,96                                        | 11,96      | 11,96      | 11,96      | 11,96      |
|                                            | 6                                | 70    | 56           | 80%        | 16,69                                        | 16,69      | 16,69      | 16,69      | 16,69      |
|                                            | 7                                | 130   | 104          | 68%        | 26,30                                        | 26,30      | 26,30      | 26,30      | 26,30      |
|                                            | 8                                | 200   | 160          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 9                                | 170   | 136          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 10                               | 150   | 120          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 11                               | 140   | 112          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 12                               | 130   | 104          | 68%        | 26,30                                        | 26,30      | 26,30      | 26,30      | 26,30      |
|                                            | 13                               | 125   | 100          | 68%        | 25,29                                        | 25,29      | 25,29      | 25,29      | 25,29      |
|                                            | 14                               | 122   | 98           | 68%        | 24,98                                        | 24,98      | 24,98      | 24,98      | 24,98      |
|                                            | 15                               | 125   | 100          | 68%        | 25,29                                        | 25,29      | 25,29      | 25,29      | 25,29      |
|                                            | 16                               | 130   | 104          | 68%        | 26,30                                        | 26,30      | 26,30      | 26,30      | 26,30      |
|                                            | 17                               | 150   | 120          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 18                               | 140   | 112          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 19                               | 120   | 96           | 69%        | 24,78                                        | 24,78      | 24,78      | 24,78      | 24,78      |
|                                            | 20                               | 90    | 72           | 77%        | 20,61                                        | 20,61      | 20,61      | 20,61      | 20,61      |
|                                            | 21                               | 60    | 48           | 80%        | 14,44                                        | 14,44      | 14,44      | 14,44      | 14,44      |
|                                            | 22                               | 50    | 40           | 80%        | 11,96                                        | 11,96      | 11,96      | 11,96      | 11,96      |
|                                            | 23                               | 45    | 36           | 79%        | 10,63                                        | 10,63      | 10,63      | 10,63      | 10,63      |
|                                            | 24                               | 40    |              |            |                                              |            |            |            |            |
|                                            |                                  |       |              |            | 2032                                         | 2033       | 2034       | 2035       | 2036       |
|                                            | Energía generada en un día (Kwh) |       |              |            | 475,65                                       | 475,65     | 475,65     | 475,65     | 475,65     |
|                                            | Energía generada en un año (Kwh) |       |              |            | 174.089,55                                   | 173.613,89 | 173.613,89 | 173.613,89 | 174.089,55 |

**Tabla N° 35 Energía calculada desde el año 2037-2041**

| DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA TOTAL GENERADA |                                  |       |              |            | Año                                          |            |            |            |            |
|--------------------------------------------|----------------------------------|-------|--------------|------------|----------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
|                                            |                                  |       |              |            | 2037                                         | 2038       | 2039       | 2040       | 2041       |
|                                            |                                  |       |              |            | Dotaciones correspondientes a cada año (lps) |            |            |            |            |
|                                            | $\Delta P$                       | Qmed  | Qmed*1.25    | Pw         | 20,7                                         | 22,37      | 22,37      | 22,37      | 22,37      |
| VRP1                                       | 42,02                            | 21,55 | 26,94        | 7,51       | 19,94                                        | 21,55      | 21,55      | 21,55      | 21,55      |
| VRP2                                       | 51,33                            | 21,40 | 26,75        | 9,11       | 19,80                                        | 21,40      | 21,40      | 21,40      | 21,40      |
| VRP3                                       | 74,50                            | 17,35 | 21,69        | 10,72      | 16,05                                        | 17,35      | 17,35      | 17,35      | 17,35      |
|                                            |                                  |       |              |            |                                              |            |            |            |            |
|                                            | Hora                             | %Q    | % Qturb/Qmed | Eficiencia | Potencias generadas en una hora del año      |            |            |            |            |
|                                            | 12                               | 40    | 32           | 77%        | 9,23                                         | 9,97       | 9,97       | 9,97       | 9,97       |
|                                            | 1                                | 40    | 32           | 77%        | 9,23                                         | 9,97       | 9,97       | 9,97       | 9,97       |
|                                            | 2                                | 40    | 32           | 77%        | 9,23                                         | 9,97       | 9,97       | 9,97       | 9,97       |
|                                            | 3                                | 40    | 32           | 77%        | 9,23                                         | 9,97       | 9,97       | 9,97       | 9,97       |
|                                            | 4                                | 40    | 32           | 77%        | 9,23                                         | 9,97       | 9,97       | 9,97       | 9,97       |
|                                            | 5                                | 50    | 40           | 80%        | 11,96                                        | 12,93      | 12,93      | 12,93      | 12,93      |
|                                            | 6                                | 70    | 56           | 80%        | 16,69                                        | 18,04      | 18,04      | 18,04      | 18,04      |
|                                            | 7                                | 130   | 104          | 68%        | 26,30                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 8                                | 200   | 160          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 9                                | 170   | 136          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 10                               | 150   | 120          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 11                               | 140   | 112          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 12                               | 130   | 104          | 68%        | 26,30                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 13                               | 125   | 100          | 68%        | 25,29                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 14                               | 122   | 98           | 68%        | 24,98                                        | 27,00      | 27,00      | 27,00      | 27,00      |
|                                            | 15                               | 125   | 100          | 68%        | 25,29                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 16                               | 130   | 104          | 68%        | 26,30                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 17                               | 150   | 120          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 18                               | 140   | 112          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |
|                                            | 19                               | 120   | 96           | 69%        | 24,78                                        | 26,77      | 26,77      | 26,77      | 26,77      |
|                                            | 20                               | 90    | 72           | 77%        | 20,61                                        | 22,28      | 22,28      | 22,28      | 22,28      |
|                                            | 21                               | 60    | 48           | 80%        | 14,44                                        | 15,60      | 15,60      | 15,60      | 15,60      |
|                                            | 22                               | 50    | 40           | 80%        | 11,96                                        | 12,93      | 12,93      | 12,93      | 12,93      |
|                                            | 23                               | 45    | 36           | 79%        | 10,63                                        | 11,49      | 11,49      | 11,49      | 11,49      |
|                                            | 24                               | 40    |              |            |                                              |            |            |            |            |
|                                            |                                  |       |              |            | 2037                                         | 2038       | 2039       | 2040       | 2041       |
|                                            | Energía generada en un día (Kwh) |       |              |            | 475,65                                       | 497,52     | 497,52     | 497,52     | 497,52     |
|                                            | Energía generada en un año (Kwh) |       |              |            | 173.613,89                                   | 181.595,17 | 181.595,17 | 182.092,70 | 181.595,17 |

**Tabla N° 36 Energía calculada desde el año 2042-2046**

| DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA TOTAL GENERADA |                                  |       |              |            | Año                                          |            |            |            |            |                                                  |
|--------------------------------------------|----------------------------------|-------|--------------|------------|----------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------------------------------------|
|                                            |                                  |       |              |            | 2042                                         | 2043       | 2044       | 2045       | 2046       |                                                  |
|                                            |                                  |       |              |            | Dotaciones correspondientes a cada año (lps) |            |            |            |            |                                                  |
|                                            | ΔP                               | Qmed  | Qmed*1.25    | Pw         | 22,37                                        | 22,37      | 22,37      | 22,37      | 22,37      |                                                  |
| VRP1                                       | 42,02                            | 21,55 | 26,94        | 7,51       | 21,55                                        | 21,55      | 21,55      | 21,55      | 21,55      |                                                  |
| VRP2                                       | 51,33                            | 21,40 | 26,75        | 9,11       | 21,40                                        | 21,40      | 21,40      | 21,40      | 21,40      |                                                  |
| VRP3                                       | 74,50                            | 17,35 | 21,69        | 10,72      | 17,35                                        | 17,35      | 17,35      | 17,35      | 17,35      |                                                  |
|                                            |                                  |       |              |            |                                              |            |            |            |            |                                                  |
|                                            | Hora                             | %Q    | % Qturb/Qmed | Eficiencia | Potencias generadas en una hora del año      |            |            |            |            |                                                  |
|                                            | 12                               | 40    | 32           | 77%        | 9,97                                         | 9,97       | 9,97       | 9,97       | 9,97       |                                                  |
|                                            | 1                                | 40    | 32           | 77%        | 9,97                                         | 9,97       | 9,97       | 9,97       | 9,97       |                                                  |
|                                            | 2                                | 40    | 32           | 77%        | 9,97                                         | 9,97       | 9,97       | 9,97       | 9,97       |                                                  |
|                                            | 3                                | 40    | 32           | 77%        | 9,97                                         | 9,97       | 9,97       | 9,97       | 9,97       |                                                  |
|                                            | 4                                | 40    | 32           | 77%        | 9,97                                         | 9,97       | 9,97       | 9,97       | 9,97       |                                                  |
|                                            | 5                                | 50    | 40           | 80%        | 12,93                                        | 12,93      | 12,93      | 12,93      | 12,93      |                                                  |
|                                            | 6                                | 70    | 56           | 80%        | 18,04                                        | 18,04      | 18,04      | 18,04      | 18,04      |                                                  |
|                                            | 7                                | 130   | 104          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |                                                  |
|                                            | 8                                | 200   | 160          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |                                                  |
|                                            | 9                                | 170   | 136          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |                                                  |
|                                            | 10                               | 150   | 120          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |                                                  |
|                                            | 11                               | 140   | 112          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |                                                  |
|                                            | 12                               | 130   | 104          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |                                                  |
|                                            | 13                               | 125   | 100          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |                                                  |
|                                            | 14                               | 122   | 98           | 68%        | 27,00                                        | 27,00      | 27,00      | 27,00      | 27,00      |                                                  |
|                                            | 15                               | 125   | 100          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |                                                  |
|                                            | 16                               | 130   | 104          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |                                                  |
|                                            | 17                               | 150   | 120          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |                                                  |
|                                            | 18                               | 140   | 112          | 68%        | 27,33                                        | 27,33      | 27,33      | 27,33      | 27,33      |                                                  |
|                                            | 19                               | 120   | 96           | 69%        | 26,77                                        | 26,77      | 26,77      | 26,77      | 26,77      |                                                  |
|                                            | 20                               | 90    | 72           | 77%        | 22,28                                        | 22,28      | 22,28      | 22,28      | 22,28      |                                                  |
|                                            | 21                               | 60    | 48           | 80%        | 15,60                                        | 15,60      | 15,60      | 15,60      | 15,60      |                                                  |
|                                            | 22                               | 50    | 40           | 80%        | 12,93                                        | 12,93      | 12,93      | 12,93      | 12,93      |                                                  |
|                                            | 23                               | 45    | 36           | 79%        | 11,49                                        | 11,49      | 11,49      | 11,49      | 11,49      |                                                  |
|                                            | 24                               | 40    |              |            |                                              |            |            |            |            |                                                  |
|                                            |                                  |       |              |            | 2042                                         | 2043       | 2044       | 2045       | 2046       |                                                  |
|                                            | Energía generada en un día (Kwh) |       |              |            | 497,52                                       | 497,52     | 497,52     | 497,52     | 497,52     | Energía total<br>producida al cabo<br>de 25 años |
|                                            | Energía generada en un año (Kwh) |       |              |            | 181.595,17                                   | 181.595,17 | 182.092,70 | 181.595,17 | 181.595,17 | 3.831.268,05                                     |

**Tabla N° 37** Resumen de energías anuales 2022-2046

| Año                                        | Energía generada en un día (Kwh) | Energía generada en un año (Kwh) |
|--------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 2022                                       | 190,84                           | 69.656,32                        |
| 2023                                       | 190,84                           | 69.656,32                        |
| 2024                                       | 190,84                           | 69.847,16                        |
| 2025                                       | 190,84                           | 69.656,32                        |
| 2026                                       | 399,12                           | 145.677,75                       |
| 2027                                       | 399,12                           | 145.677,75                       |
| 2028                                       | 399,12                           | 146.076,87                       |
| 2029                                       | 399,12                           | 145.677,75                       |
| 2030                                       | 399,12                           | 145.677,75                       |
| 2031                                       | 399,12                           | 145.677,75                       |
| 2032                                       | 475,65                           | 174.089,55                       |
| 2033                                       | 475,65                           | 173.613,89                       |
| 2034                                       | 475,65                           | 173.613,89                       |
| 2035                                       | 475,65                           | 173.613,89                       |
| 2036                                       | 475,65                           | 174.089,55                       |
| 2037                                       | 475,65                           | 173.613,89                       |
| 2038                                       | 497,52                           | 181.595,17                       |
| 2039                                       | 497,52                           | 181.595,17                       |
| 2040                                       | 497,52                           | 182.092,70                       |
| 2041                                       | 497,52                           | 181.595,17                       |
| 2042                                       | 497,52                           | 181.595,17                       |
| 2043                                       | 497,52                           | 181.595,17                       |
| 2044                                       | 497,52                           | 182.092,70                       |
| 2045                                       | 497,52                           | 181.595,17                       |
| 2046                                       | 497,52                           | 181.595,17                       |
| Energía total producida al cabo de 25 años |                                  | <b>3.831.268,05</b>              |