

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

### **PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA DE CÁLCULO DEL COSTO VARIABLE DE PRODUCCIÓN DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS**

#### **INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y DOCUMENTAL RESPECTO DE METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE COSTOS VARIABLES DE PRODUCCIÓN EN CENTRALES DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA.**

#### **DETALLE DE COSTOS VARIABLES RELACIONADOS CON LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.**

#### **CARACTERIZACIÓN DE LOS DISTINTOS COMPONENTES DE COSTOS PARA DIFERENTES TIPOS Y TAMAÑOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.**

#### **TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**RONALD PAUL CHAVEZ BENAVIDEZ**

**ronald.chavez@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: Dr. Ing. GABRIEL SALAZAR YEPEZ**

**gabriel.salazar@epn.edu.ec**

**DMQ, Septiembre 2023**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, RONALD PAUL CHAVEZ BENAVIDEZ declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**RONALD PAUL CHAVEZ BENAVIDEZ**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por RONALD PAUL CHAVEZ BENAVIDEZ, bajo mi supervisión.

---

**Dr. Ing. GABRIEL BENJAMÍN SALAZAR YÉPEZ**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

RONALD PAUL CHAVEZ BENAVIDEZ

Dr. Ing. GABRIEL SALAZAR YÉPEZ

## DEDICATORIA

A mi padre Ramiro Chávez, a mi madre Maura Benavidez y a mis hermanos con inmensa gratitud y cariño, quiero dedicar este logro a ustedes, mis pilares incansables, mi inspiración constante y mis guías inquebrantables a lo largo de esta travesía académica. Su dedicación y apoyo han sido la fuerza que me impulsó a superar los desafíos, a persistir cuando parecía difícil y a crecer como persona en cada paso del camino. Así como su amor incondicional y sus palabras alentadoras siempre me recordaron que puedo alcanzar mis sueños si me esfuerzo y creo en mí mismo. Hoy, en este momento de culminación, quiero expresar mi más profundo agradecimiento por haber sido mis pilares inamovibles, mi fuente inagotable de motivación y mi luz en los momentos de incertidumbre. Sin ustedes, esta etapa de mi vida no habría sido posible.

Querida, Ing. Daniela Chango (Pastelita). Hoy, al culminar esta etapa académica, no puedo dejar pasar la oportunidad de expresar mi más profundo agradecimiento y dedicarte este logro con todo mi corazón. Tú has sido mi fuente inagotable de inspiración y mi mayor apoyo a lo largo de esta travesía. Tus palabras alentadoras y tu presencia constante han sido mi impulso para superar los desafíos que se presentaron en el camino. Esta tesis no solo representa mi esfuerzo y dedicación, sino también el reflejo de la hermosa complicidad que compartimos. Gracias por ser mi compañera incansable, por celebrar mis triunfos y por secar mis lágrimas en los momentos difíciles.

## **AGRADECIMIENTO**

Estimado, Dr. Gabriel Salazar. En este día de culminación, quiero tomarme un momento para expresar mi más profundo agradecimiento por haber sido mi guía, mi mentor y mi apoyo incondicional a lo largo de todo este proceso de investigación y redacción de mi tesis. Agradezco especialmente la disposición que siempre mostro para atender mis dudas y aclarar mis inquietudes, haciendo de este proceso una experiencia de aprendizaje enriquecedora y gratificante.

Extiendo el agradecimiento a todos los profesores e ingenieros que tuve a lo largo de mi carrera especialmente a Ing. Juan Plazarte, Dr. Carlos Gallardo, Msc. Mauricio Soria y Dr. Hugo Arcos por haber confiado en mí y brindarme sus conocimientos, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a cada uno de ustedes por su invaluable contribución y apoyo durante mi estancia en la universidad.

A mis queridos compañeros especialmente a Jordin Castillo, Luis Salazar, Jean Paul Carpio, Karen Chango, Pablo Armas, Enrique Arteaga, Miguel Chávez y Luis Suarez quiero tomar un momento para expresar mi más profundo agradecimiento por haber compartido este camino académico con cada uno de ustedes. Su amistad y compañía han hecho que esta etapa de mi vida sea aún más especial y significativa. Gracias por ser más que compañeros, por convertirse en amigos con quienes puedo reír, aprender y crecer. Su presencia ha hecho que cada día en las aulas y en los proyectos sea una experiencia gratificante y enriquecedora.

Querida, Cynthia Carvajal también quiero agradecerle por tu apoyo brindado, durante el periodo corto que nos conocemos has demostrado ser una persona extraordinaria con quien compartir. Tu presencia y apoyo han iluminado mi camino de formas que son difíciles de expresar con palabras. Gracias por ser quién eres y por todo lo que haces.

## INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO .....	1
1.1 Objetivo general .....	2
1.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Alcance .....	2
1.4 Marco teórico .....	3
1.4.1 Centrales de producción de energía eléctrica. ....	3
1.4.2 Central eólica.....	4
1.4.3 Central solar fotovoltaica:.....	6
1.4.4 Central nuclear termoeléctrica .....	7
1.4.5 Central Geotérmica .....	8
1.4.6 Central Mareomotriz .....	8
1.4.7 Central hidroeléctrica .....	9
1.4.8 Clasificación Técnica de las centrales hidroeléctricas.....	10
1.4.9 Clasificación de los tipos de presa: .....	13
1.4.10 Clasificación de los tipos de turbina .....	16
1.4.11 Turbinas más utilizadas: .....	17
1.4.12 Criterios de selección para turbinas: .....	20
1.4.13 Centrales hidroeléctricas en Ecuador:.....	22
1.4.14 Conceptos asociados a la generación hidroeléctrica:.....	23
1.4.15 Clasificación administrativa o según su potencia: .....	25
1.4.16 Costos de generación en centrales hidroeléctricas .....	25
1.4.17 CVP para centrales hidroeléctricas de Ecuador: .....	27

2	METODOLOGÍA.....	29
2.1	Análisis del problema.....	29
2.2	Análisis causa efecto .....	29
2.3	Análisis y desarrollo de la metodología .....	30
2.4	Metodología propuesta .....	32
2.5	Formulación para los factores del CVP:.....	33
2.6	Caracterización de los componentes para distintos tamaños de centrales hidroeléctricas: .....	40
2.7	Propuesta de mejoramiento de recaudación tarifario. ....	42
2.8	Efecto de la incorporación de la metodología de cálculo del CVP.....	42
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	46
3.1	Resultados.....	46
3.2	Conclusiones .....	49
3.3	Recomendaciones .....	49
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50
5	ANEXOS .....	55

## RESUMEN

En el Trabajo de Integración Curricular (TIC) se presenta la investigación y se esboza una metodología para el cálculo de costos variables de producción (CVP) dirigido a las centrales hidroeléctricas del Ecuador, con la finalidad de establecer una mejora en la contabilidad de las empresas que manejan las centrales hidroeléctricas y tener una toma de decisiones más óptima.

Se detallará en la investigación sobre los diferentes elementos, componentes, funcionamiento y sobre todo los costos variables de producción de diferentes países para centrales de energía eléctrica, principalmente la de tecnología hidráulica con la finalidad de obtener un método de cálculo que se adecue a las centrales hidroeléctricas del Ecuador de distinto tamaño según la clasificación administrativa.

Se presenta los valores actuales de los costos variables de producción para realizar una comparación sobre si el valor actual establecido y el método propuesto por la ARCERNNR son viables para las distintas centrales hidroeléctricas respecto a la propuesta de la metodología del presente trabajo.

**PALABRAS CLAVE:** Costo por operación y mantenimiento, potencia instalada, precio spot, costos variables de producción (CVP), costo por servicios auxiliares.

## **ABSTRACT**

In the Curricular Integration Work (TIC) develops an investigation and a methodology for the calculation of variable production costs (CVP) for the hydroelectric power plants of Ecuador, with the purpose of establishing an improvement in the accounting of the companies that manage the hydroelectric power plants and have a more optimal decision making.

It will be detailed in the investigation on the different elements, components, operation and the variable costs of production of different countries for electric power plants, focused on hydropower technology with the purpose of obtaining a calculation method that is adapted to the hydroelectric power plants of Ecuador with different sizes according to the administrative classification.

The current values of the variable production costs are presented to make a comparison on whether the current value established and the method proposed by the ARCERNNR are viable for the different hydroelectric plants with respect to the proposed methodology of this work.

**KEYWORDS:** Cost for operation and maintenance, installed power, spot price, variable production costs (CVP), cost for auxiliary services.

# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En la actualidad el cálculo de costos variables de producción en centrales de generación hidroeléctrica es importante debido a que permiten establecer un óptimo beneficio en cuanto los precios finales que se deben establecer en las centrales hidroeléctricas. [1]

La propuesta de la metodología de cálculo de costos variables debe tener presente varios aspectos como la consideración de que la energía eléctrica no es almacenable, con una demanda variable y sustentar los gastos que tiene la central hidroeléctrica permitiendo una ampliación de el mismo. [2]

Para la metodología a implementar es imprescindible que se tomen en cuenta todos los costos variables como el de mantenimiento, costos para energía auxiliar, entre otros. Además, para el agua empleada para mover las turbinas se adopta un valor establecido por la ley de aguas del Ecuador con lo cual permite una convergencia al modelo. [3]

La caracterización de los diferentes componentes que tiene una central hidroeléctrica permite establecer si su tamaño según su potencia es grande, mediana o pequeña con lo cual se quiere establecer una propuesta que no tenga hiper beneficios y perjuicios para las empresas por lo que se identifica como los costos variables son relacionados con los componentes de la central hidroeléctrica. [4]

La generación de energía en una hidroeléctrica está directamente relacionada con los costos variables de producción. Además, para optimizar el suministro de energía es necesario declarar los costos variables asociados que revelen todos los aspectos que conlleven una variación a los costos. [5]

Los costos variables tienen una relación directa con las actividades de la empresa y su magnitud cambia con los niveles del volumen de producción por lo que es imprescindible proponer una metodología de cálculo que cubra las variaciones que pueda tener la empresa en relación con sus costos variables. [6]

Las centrales hidroeléctricas dependiendo de su ubicación geográfica y su construcción varía los tipos y tamaños de las mismas por lo que los costos variables de generación dependerán de los componentes que intervienen. Esto permitirá tomar en cuenta la decisión de despacho que es la principal variable en los costos del presente y futuro. [7]

La caracterización de los distintos elementos de una central hidroeléctrica permite establecer cuanto peso tienen en la intervención de los costos variables por lo que al

identificar si los diferentes tamaños y tipos de las centrales se podrán realizar aproximaciones con lo que el cálculo será más eficiente y sencillo. [8]

## **1.1 Objetivo general**

Proponer una metodología de cálculo de costos variables de producción para las centrales hidroeléctricas

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Mejorar el sistema de recaudación tarifario de las centrales hidroeléctricas, mediante la propuesta de implementación de una metodología de cálculo de costos variables
2. Realizar una investigación bibliográfica que permita evaluar los métodos para cálculo de costos variables más eficientes implementados en centrales hidroeléctricas de otros países.
3. Caracterizar los componentes de costos en diferentes tipos y tamaños de centrales hidroeléctricas.
4. Identificar el efecto que se produciría al incorporar la metodología de cálculos de costos variables de producción de una central hidroeléctrica.

## **1.3 Alcance**

Se indagará en sitios web, artículos, tesis y documentos similares información con la cual se realizará una comparación de las diferentes metodologías implementadas en centrales de diferentes países, por lo que se utilizará la eficiencia como variable de decisión para escoger el método que mejor se adapte al cálculo de costos variables de centrales hidroeléctricas en Ecuador.

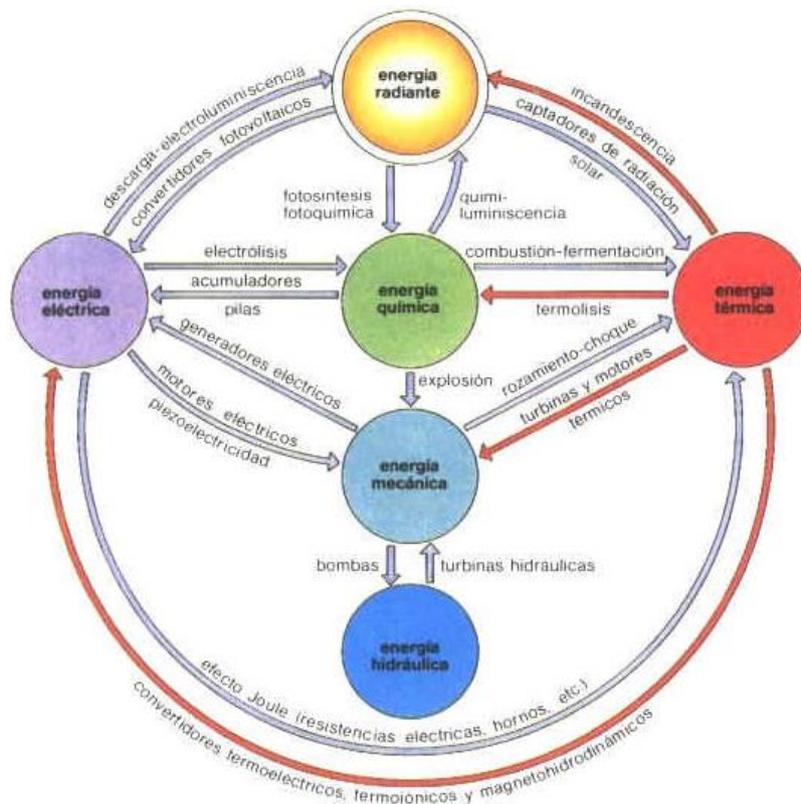
Se Identificará la variación de componentes que se utilizan para la generación hidroeléctrica en función del tamaño de la central, se lo realizará con la información técnica de cada central con lo que se puede equiparar la distinta documentación y plantear modelos de costos variables que dependan del tamaño de la central hidroeléctrica.

Se realizará un análisis con la información obtenida para determinar si existe algún hiper beneficio o perjuicio a las diferentes centrales hidroeléctricas de distinto tamaño al incorporar la metodología de costos variables de producción y las diferentes normativas vigentes en el país para producción de energía eléctrica.

## 1.4 Marco teórico

### 1.4.1 Centrales de producción de energía eléctrica.

Las centrales de producción de energía eléctrica son edificaciones con varios equipos, elementos y procesos con el fin de obtener electricidad. Las cuales transforman energía primaria en eléctrica por medio de diferentes métodos, siendo unos más directos que otros como se puede evidenciar en la Figura 1.1 que menciona los procesos de transformaciones de los diferentes tipos de energías. [9]



**Figura 1.1:** Procesos para transformación de distintos tipos de energías [9]

En el presente análisis se realizará mayor énfasis en la generación eléctrica por lo que se detalla los componentes y tipos de centrales que permiten obtener energía eléctrica.

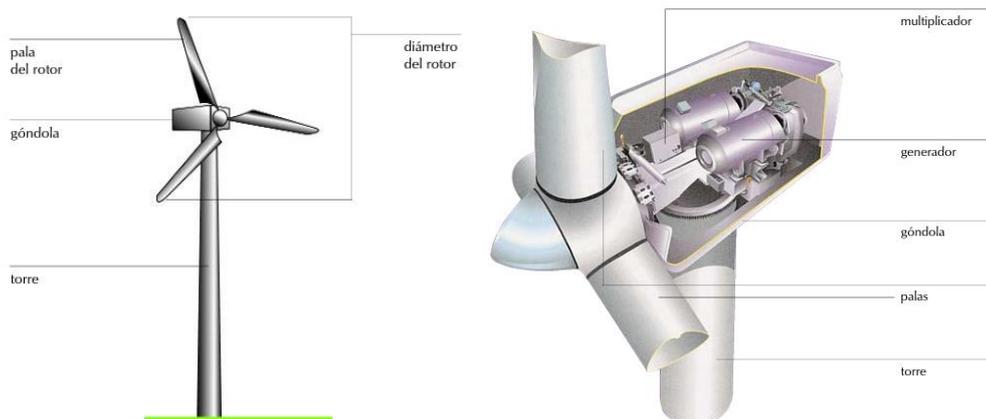
El concepto relacionado a energía eléctrica está basado en la existencia de disimilitud de potencial eléctrico entre dos puntos diferentes, producida por diversos métodos de generación como la eólica, solar, hidroeléctrica, termoeléctrica entre otras. Esta energía se transmite por medio de un conductor, la cual pasa por un proceso desde la generación, transmisión, distribución hasta llegar al consumidor final para su utilización.

La generación de energía eléctrica es el punto de partida para el desarrollo de la humanidad ya que va de la mano en todos los ámbitos de la sociedad actual, debido a que involucra su uso en la mayoría de las actividades cotidianas. Entre los tipos de generación eléctrica se encuentran las no renovables y renovables, los cuáles se presenta a continuación: [9]

### 1.4.2 Central eólica

Es una edificación que tiene la finalidad de aprovechar la energía proveniente del viento ocasionado por las variaciones de temperatura y presión existentes en la atmósfera, convirtiéndose en un recurso energético que se encuentra sujeto a la variabilidad de este fenómeno. [10]

La energía cinética del viento es utilizada en los aerogeneradores principalmente para mover las palas que están acopladas al rotor. En la Figura 1.2 se observa las partes del auto generador eólico. [10]



**Figura 1.2:** Partes del auto generador eólico. [10]

Las principales partes del aerogenerador son:

➤ El rotor:

Es la parte electromagnética móvil que se encuentra dentro de la máquina motriz la cual gira debido a las palas que están conectadas a él, ante la fuerza ejercida por el viento. Su movimiento será mayor a medida que las palas sean más grandes con lo cual captan más energía por parte del viento. [10]

➤ Multiplicador:

Son los acoplamientos existentes que permiten transformar las velocidades bajas del rotor a una velocidad de magnitud mayor para el giro del generador. [10]

➤ El generador:

Es la máquina que utiliza las velocidades transformadas de los acoplamientos para producir energía eléctrica. [10]

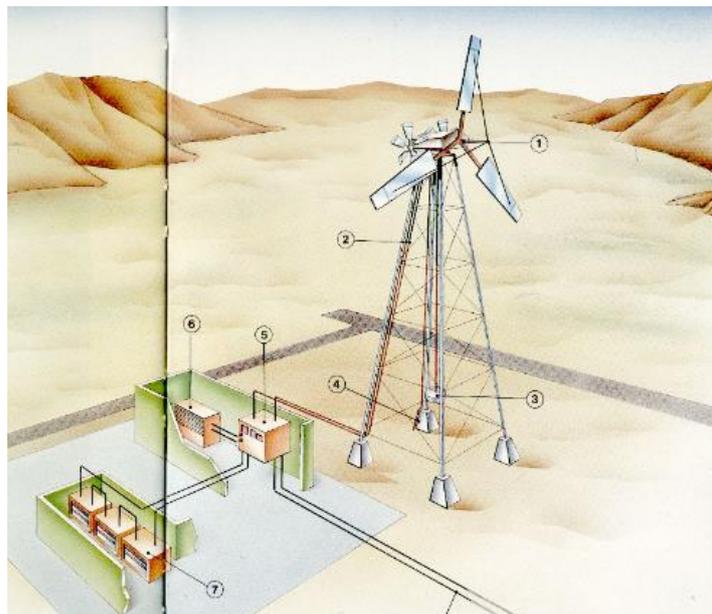
➤ La góndola:

Está constituida por el armazón del aerogenerador y el bastidor, es el elemento que une las partes principales del aerogenerador. [10]

➤ Las palas:

Es el elemento principal que permite la recepción del viento, los cuáles giran produciendo el movimiento que será transferido al rotor. La característica principal de esta pala es que la concentración de energía que se produce en los extremos genera un estrés en los materiales con la que es construida. [10]

A continuación, se presenta en la Figura 1.3 la ubicación y componentes de la central eólica:



**Figura 1.3:** Central de generación eólica. [11]

En la Tabla 1.1 se detalla los nombres de los componentes de la central eólica mostrados en la Figura 1.3

**Tabla 1.1:** Componentes de la generación eólica. [11]

<b>Componentes principales de la central eólica</b>			
1	Turbina	5	Caja de control de batería
2	Cables conductores	6	Fuente Auxiliar
3	Carga de frenado	7	Acumuladores
4	Toma de tierra	8	Líneas de transmisión eléctrica

### 1.4.3 Central solar fotovoltaica:

La principal característica de estas centrales es la utilización de celdas solares para recibir la energía por parte de los fotones provenientes del sol. Por medio de los semiconductores se genera una diferencia de potencial la cual es almacenada en baterías mediante la conversión a corriente continua y a partir de su transformación a corriente alterna se logra suministrar energía a la red eléctrica, proceso realizado por medio de inversores y convertidores. A continuación, en la Figura 1.4 se presenta una estructura básica de los elementos de la central solar fotovoltaica. [12]



**Figura 1.4:** Central de generación solar fotovoltaica. [13]

En la Tabla 1.2 se detalla los nombres de los componentes de la central solar fotovoltaica mostrados en la Figura 1.4.

**Tabla 1.2:** Componentes de la generación solar fotovoltaica. [13]

<b>Componentes principales de la central solar fotovoltaica</b>			
1	Paneles de Silicio	7	Armarios C.C.
2	Torre meteorológica	8	Inversores
3	Unidad de motorización	9	Centro de transformación
4	Sala de control	10	Celdas de gas modular
5	Sala de potencia	11	Transformador
6	Armarios C.C.	12	Línea eléctrica de salida

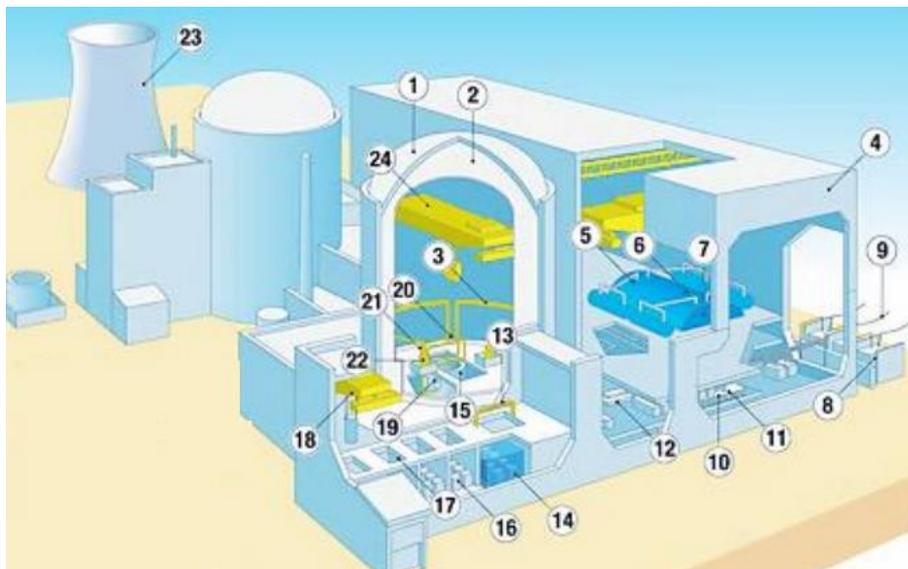
#### 1.4.4 Central nuclear termoeléctrica

Es una instalación que utiliza el calor proveniente de la fusión o fisión de los átomos generalmente del plutonio o uranio, este calor generado es usado para calentar agua lo que ocasiona vapor produciendo el movimiento de la turbina, generando así energía eléctrica. [14]

El proceso más frecuente en la generación nuclear termoeléctrica se detalla a continuación:

1. Se lleva a cabo la fisión del uranio dentro del reactor nuclear, lo cual genera una gran energía para elevar la temperatura del agua hasta la evaporación. [15]
2. El vapor que resulta es enviado por conductos hacia la turbina-generador obteniendo así un circuito de vapor. [15]
3. Las aspas son las que generan el movimiento dentro del generador por acción del vapor convirtiendo la energía mecánica en eléctrica. [15]
4. El vapor una vez que pasa por el generador se transporta a un condensador que disminuye la temperatura del vapor y lo hace líquido. [15]
5. El líquido una vez enfriado es devuelto a la cámara para la reutilización del mismo, cerrando el ciclo agua-vapor. [15]

En la Figura 1.5 se mencionan las partes de una central nuclear termoeléctrica con las que se realiza los diferentes procesos desde la fisión hasta obtener energía eléctrica:



**Figura 1.5:** Central de generación nuclear termoeléctrica. [11]

En la Tabla 1.3 se detalla los nombres de los componentes de la central nuclear termoeléctrica de la Figura 1.5.

**Tabla 1.3:** Componentes de la central nuclear termoeléctrica. [11]

Componentes principales de la central nuclear			
1	Edificio de contención	13	Grúa del manejo del combustible gastado
2	Recubrimiento de acero	14	Almacenamiento de combustible gastado
3	Tuberías de vapor principal	15	Reactor
4	Edificio de turbinas	16	almacén de combustible nuevo
5	Turbina de alta presión	17	Foso de carga de contenedores de combustible gastado
6	Turbina de baja presión	18	Grúa del edificio de combustible
7	Generador eléctrico	19	Bombona de refrigerante del reactor
8	Transformadores	20	Grúa manipuladora de combustible
9	Líneas de transmisión de energía eléctrica	21	Presionador
10	Condensador	22	Generador de vapor
11	Agua de refrigeración	23	Torre de refrigeración
12	Sala de control	24	Grúa polar del edificio

#### **1.4.5 Central Geotérmica**

Este tipo de edificaciones aprovecha la energía del calor interno de la Tierra en lugares donde existe transferencia de calor por conducción y convección a través de las piedras, así como también de las rocas al interior de la tierra, adicionalmente las fuentes más comunes de las que se obtiene energía geotérmica son: los yacimientos de agua caliente, yacimientos secos, geiseros y vapor seco. [16]

#### **1.4.6 Central Mareomotriz**

Son edificaciones construidas para la utilización de la fuerza que tienen las corrientes marítimas y las mareas, las cuales son altamente influenciadas por acción del Sol, la Luna y la Tierra. Aprovechando esta energía para transformarla en electricidad debido al movimiento de agua que pasa por las turbinas, esto se logra al tener una presa en donde se capta el agua haciendo que fluya de mayor a menor altura, moviendo la turbina durante este transcurso. Su beneficio principalmente es la generación de energía limpia, sustentable y renovable, sin embargo, la implementación de este tipo de centrales es muy compleja debido a su alto costo de inversión inicial, estudios avanzados sobre la localización eficaz de la edificación, gran cantidad de redes de turbinas y la inestabilidad del oleaje en el mar. [17]

### 1.4.7 Central hidroeléctrica

Son edificaciones que tienen el propósito de utilizar la corriente de agua principalmente de ríos y embalses con la finalidad de transformar la energía cinética y potencial en energía eléctrica. Debido al alto costo de inversión que requieren se realizan estudios para la implementación de estas centrales buscando optimizar los recursos, además de minimizar las pérdidas naturales que perjudican la fuerza del flujo de agua ocasionadas por la presencia de remolinos, rocas, erosión de las riberas y cauces por lo que se emplea métodos de construcción que reduzcan las mismas. [18]

Los métodos más utilizados para la reducción de pérdidas naturales son:

- Las desviaciones de corriente: Consisten en dirigir parte de la corriente del río por diferentes tramos realizados de forma artificial o por toma de tuberías para aumentar la energía potencial y cinética del agua. [19].
- Alteración del agua mediante la construcción de una presa o dique: Es el método más usado dado que permite almacenar el agua, manejarla a conveniencia y realizar un despacho económico más óptimo generando energía firme para abastecimiento de la demanda, pero involucrando conceptos de incertidumbre como cantidad de lluvias anuales, fenómenos y cambios climáticos entre otros, los cuales son contrarrestados mediante estudios probabilísticos y estadísticos para las diferentes épocas del año. Este método hace que el nivel del río aumente reduciendo la velocidad media de la corriente dado que su construcción se realiza en partes angostas o en zonas geográficas que faciliten la edificación. [19].

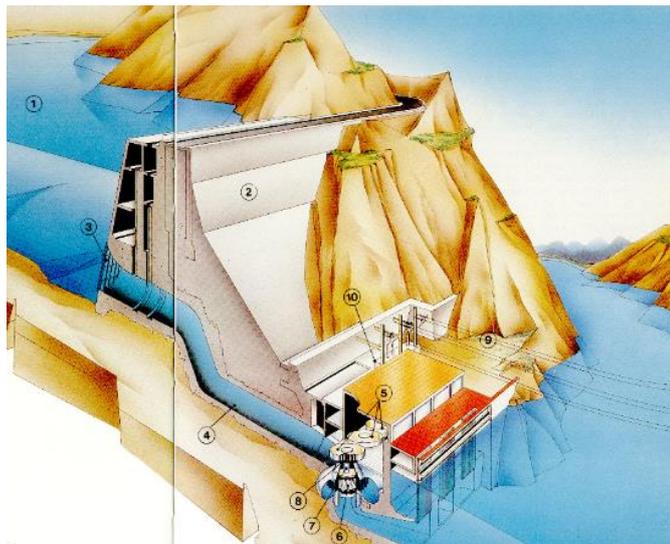
Las partes más constitutivas de una central hidroeléctrica son:

- Contención y almacenaje de agua: Las presas, azudes y embalses son los encargados de este trabajo existiendo una variedad en cuanto a la forma de construcción o materiales utilizados generalmente de hormigón. [20]
- Aliviaderos: Son los encargados de controlar el exceso del agua en el embalse mediante la apertura o cierre de compuertas las cuales hacen que el agua no pase por la sala de máquinas. [20]
- Conducciones de agua: Permiten llevar el agua del embalse hacia el cuarto de máquinas mediante canales o tuberías siendo regulada la presión mediante compuertas internas. [20]
- Casa de máquinas: Es el área en donde se ubica la maquinaria eléctrica y sus componentes que permiten transformar la energía potencial cinética del agua como

lo son los alternadores, turbinas, generadores, ejes, conexiones eléctricas entre otros. [20]

- Equipamiento Auxiliar: Son los elementos secundarios de la instalación que tienen por finalidad, el mantenimiento, apoyo, y sustento adicional en las partes fundamentales para la puesta en marcha de la central. [20]

El esquema general para una central eléctrica de embalse o pasada se presenta a continuación en la Figura 1.6:



**Figura 1.6:** Central de generación hidroeléctrica.[11]

En la Tabla 1.4 se detalla los nombres de los componentes de la central hidroeléctrica de la Figura 1.6.

**Tabla 1.4:** Componentes de la generación hidroeléctrica.[11]

Componentes principales de la central hidroeléctrica			
1	Agua almacenada	6	Turbina
2	Presa/Azud	7	Ejes
3	Rejas Filtradoras	8	Generador
4	Tubería forzada	9	Cableado para transmisión eléctrica
5	Combinación de Generadores y turbinas	10	Transformadores

### 1.4.8 Clasificación Técnica de las centrales hidroeléctricas

Los tipos de centrales hidroeléctricas por clasificación técnica son:

- Centrales con embalse:  
Se caracterizan por tener un gran depósito de agua, lo que permite un despacho óptimo del líquido dado que se tiene una regulación del caudal superiores a un día. [11]

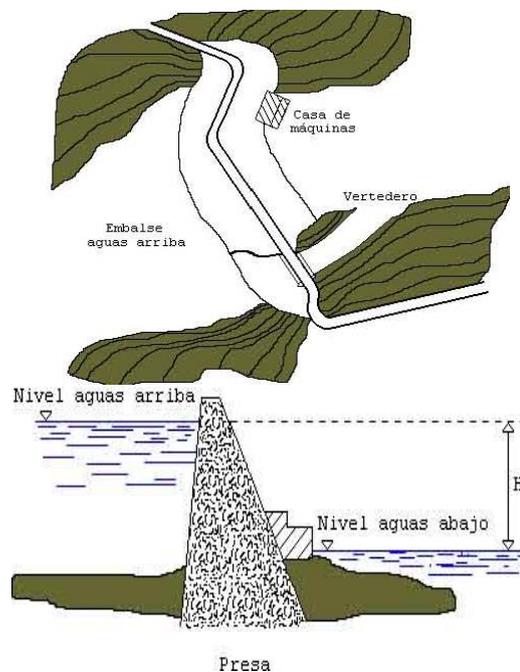
Por otro lado, el tamaño del embalsé es un factor importante para determinar la cantidad de agua turbinable que permita generar energía, aunque el río se seque, por lo que con una buena distribución anual se lleva a mejores beneficios al estimar épocas de lluvia y sequía. [11]

Dentro de las centrales con embalse existen dos variaciones constructivas más generales que son:

- Ubicación de la casa de máquinas en el pie de la presa:

La característica principal de esta forma es que se obtiene un desnivel medio.

A continuación, en la Figura 1.7 se observa la posición estructura y componentes: [11]

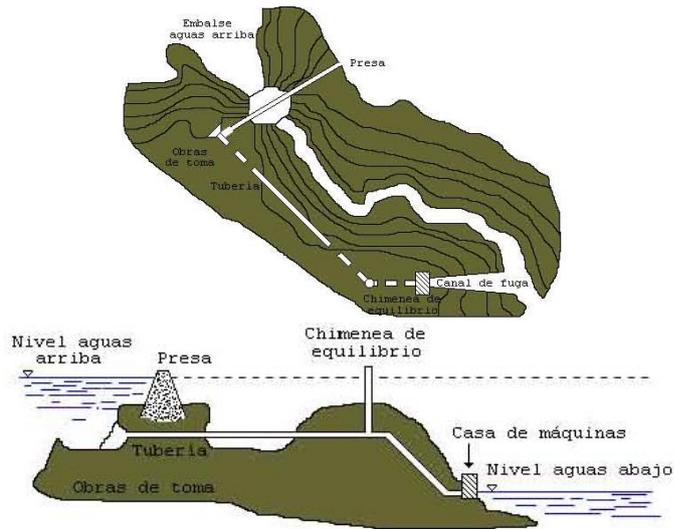


**Figura 1.7:** Central de generación hidroeléctrica con embalse con la casa de máquinas en el pie de la presa. [11]

- Con utilización de derivación del agua:

Esta variación constructiva se da cuando existe un desnivel entre las zonas del agua y cuando se presentan irregularidades en la geografía. [11]

A continuación, en la Figura 1.8 se observa la posición, estructura y componentes:



**Figura 1.8:** Central de generación hidroeléctrica con derivación. [11]

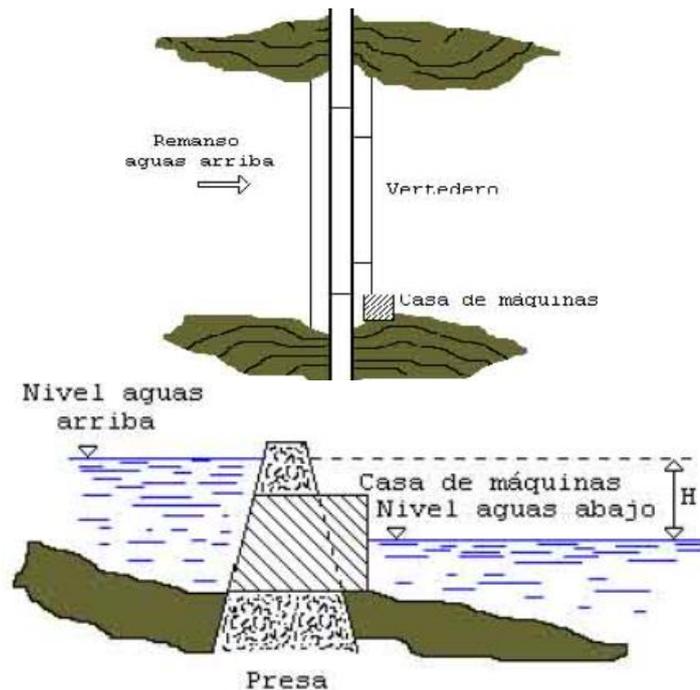
- Centrales de pasada:

Se caracterizan por no tener un embalse, por lo que puede tener un azud pequeño que permita regulaciones del caudal inferiores a un día, utilizando generalmente los ríos para producción de energía eléctrica. [11]

El caudal depende de la fuerza del río y se puede controlar en una porción debido al azud, por lo que este tipo de centrales está muy afectado por las variaciones de las estaciones climáticas. [11]

La posición de la casa de máquinas está más cerca del azud lo que ocasiona el aprovechamiento más eficiente del paso del agua, generalmente pasando a formar parte de la presa, asegurando una potencia nominal durante el año. Con este fin se realiza estudios para obtener información sobre un caudal regularmente constante. [11]

A continuación, en la Figura 1.9 se observa la posición y componentes, así como la estructura:



**Figura 1.9:** Central de generación hidroeléctrica de pasada. [11]

- Centrales de bombeo:

Estas edificaciones emplean un sistema con motores que permiten el bombeo a diferentes niveles de la presa dado que toman el agua turbinada del nivel inferior y la canalizan a la superior para tener una reserva constante o poseer un almacenamiento para una demanda futura. La energía utilizada para estos motores es proporcionada por la misma central cuando no existe una demanda eléctrica mayor por parte del sistema. [19]

Existe una variación en la que se emplean de forma alternada los motores para bombeo con las turbinas reversibles permitiendo un uso de generador o motor cuando sea necesario. [19]

#### 1.4.9 Clasificación de los tipos de presa:

La geografía es un factor importante en la construcción de centrales hidroeléctricas por lo que se realiza una clasificación según el tipo de presas:

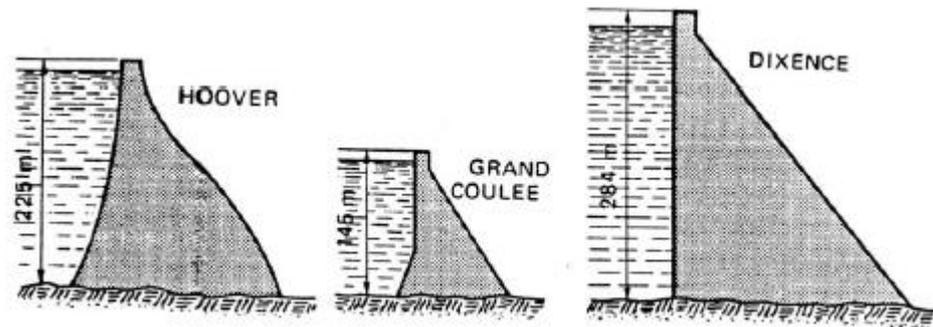
- Tipos de presa:

- De gravedad:

Su característica principal es que su estructura está construida para soportar la fuerza del agua de tal forma que se contrarreste la fuerza del agua con su

peso y robustes apoyándose firmemente del suelo permitiendo que la confianza de la estabilidad dependerá del esfuerzo del terreno en el que se está apoyando. [21]

En la Figura 1.10 se presentan algunos tipos de presas de gravedad.



**Figura 1.10:** Tipo de presa de gravedad. [21]

➤ Con contrafuertes:

La función que realizan es muy parecida a las de gravedad con la diferencia que se emplea una construcción por tramos de una pantalla de concreto con contrafuertes lo que permite reducir el volumen del concreto en sí. [21]

En la Figura 1.11 se presenta la estructura de una presa con contrafuertes.

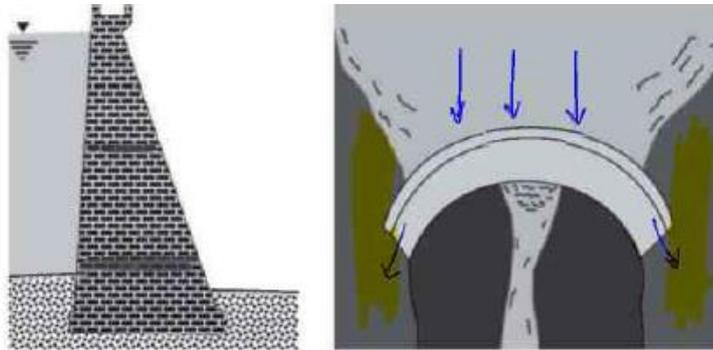


**Figura 1.11:** Tipo de presa con contrafuertes. [21]

➤ De arco:

La principal característica de esta presa es redirigir la fuerza ejercida del agua hacia sus costados por lo que toma una forma arqueada, las rocas de los laterales deben ser robustas para soportar dicho empuje. [22]

En la Figura 1.12 se presenta la vista lateral y superior de una presa tipo arco.

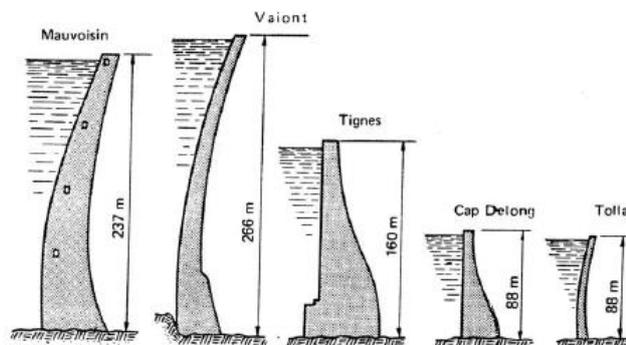


**Figura 1.12:** Tipo de presa de arco. [22]

➤ De bóveda:

La principal característica de esta presa es que toma una forma curva cóncava y arqueada, generalmente son utilizadas en valles estrechos y profundos [21]

En la Figura 1.13 se presentan algunos tipos de presas tipo bóveda.



**Figura 1.13:** Tipo de presa de bóveda. [21]

Otro elemento importante en la generación eléctrica son las turbinas por lo que se tiene varios tipos para las centrales hidroeléctricas. Una turbina es una pieza hidráulica que consta de diferentes formas para transformar la energía cinética y potencial del agua que transcurre de forma continua en energía mecánica al hacer girar el eje y luego convertirla en energía eléctrica.

Existen diferentes métodos para la construcción, colocación y eficiencia de las turbinas como es el método analítico que determina las características relacionadas con el fluido y su paso por los alabes, empleando así los principios básicos de la mecánica de fluidos; en

el método experimental se realizan pruebas a escala de donde se va a colocar la turbina, además de una formulación empírica; el análisis dimensional propone la disposición de los elementos y las variables que intervienen en estos procesos sobre todo las que influyen en los elementos al pasar el agua. [23]

#### **1.4.10 Clasificación de los tipos de turbina**

- Las partes de la turbina son:

Una tubería para toma de agua en la entrada, un distribuidor que redirija el fluido hacia la tubería de salida; seguido de las toberas que aumentan la presión del agua para ejercer fuerza en los alabes del rodete lo que provoca el movimiento del mismo y este hace girar el rotor de la turbina, el cual está conectado al generador para aprovechar este movimiento y obtener la energía eléctrica; al final del proceso se tiene el desagüe o difusor que permite devolver el agua hacia la fuente de la que se tomó. [23]

Para la clasificación de las turbinas hidráulicas se tiene varias formas las cuales se presentan a continuación:

- Clasificación según el posicionamiento del eje:
  - Tres tipos de posicionamiento: Vertical, horizontal e inclinado. [24]

- Clasificación según la dirección del movimiento del líquido a través del rodete:

- Turbinas axiales:

El empuje del agua en la entrada y la salida lo hace de forma paralela al rotor de la turbina, esta característica se presenta generalmente en las turbinas Kaplan. [24]

- Turbinas radiales axiales:

El empuje del agua que se ejerce en el rodete es de forma radial y luego se realiza un cambio de dirección al pasar el líquido haciendo que la salida sea de forma paralela al sentido de giro del rodete siendo de forma axial o en otras palabras en sentido del eje, esta característica es presentada en las turbinas Francis lentas. [24]

➤ Turbinas tangenciales:

El empuje del agua se da sobre la periferia del rodete, también se conocen como diagonales dado la forma inclina del paso del agua, esta característica esta presentada generalmente en la turbina Francis para las formas más inclinadas y las Pelton para las más tangenciales. [24]

▪ Clasificación según la transformación de energía:

➤ Turbinas de reacción:

Son de reacción debido a que al convertir la energía eléctrica se tiene involucrada energía de presión y cinética, el giro del rodete no coincide con la entrada, ni la salida del fluido por lo que la presión a la salida es menor que en la entrada, la parte de energía cinética es transformada en el distribuidor, el cual rodea al rodete y gira mientras el fluido recubre la periferia de este. Las turbinas más representativas que entran en esta clasificación son: la Kaplan y Francis. [25]

➤ Turbinas de acción:

Este tipo de turbinas solo convierten la energía cinética del agua en energía mecánica para posteriormente convertirla en energía eléctrica, además que la repercusión del agua y el giro del rodete coinciden en la parte del choque del fluido sobre los alabes causando que no varíe la presión durante el paso del fluido por el rodete dado que trabaja a presión atmosférica. La turbina más representativa es la Pelton. [25]

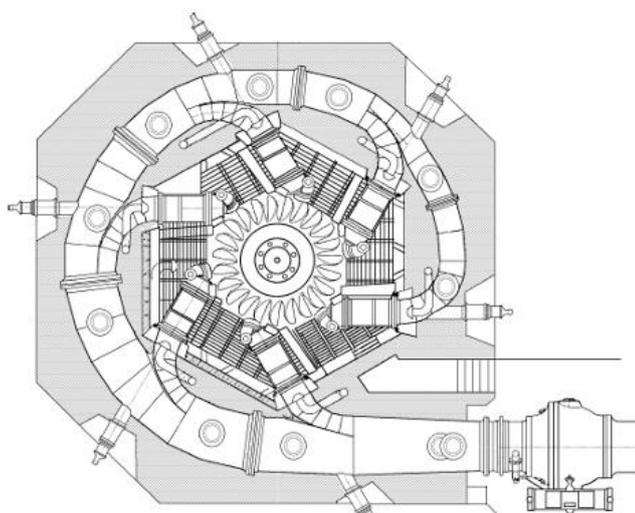
#### **1.4.11 Turbinas más utilizadas:**

➤ Turbina Pelton:

Los elementos constitutivos característicos de esta turbina son los inyectores que están en una disposición circunferencial alrededor del rodete con las toberas y las válvulas de aguja, además del servomotor que hace el trabajo de desplazar las válvulas. El agua sobre el rodete no lo cubre completamente y el chorro que sale de los inyectores provocan la fuerza que mueven los alabes en forma de cuchara. [23]

Esta turbina también es conocida como de chorro o de acción, son tangenciales y de eje horizontal esta última se utiliza para saltos grandes mayores a los 200 metros y para pequeños caudales no superiores a los 10 metros cúbicos por segundo, el rango de instalación es muy amplio respecto a la altura sin peligro de cavitación. [23]

En la Figura 1.14 se muestra la estructura de una turbina Pelton de 6 inyectores.



**Figura 1.14:** Tipo de turbina Pelton. [23]

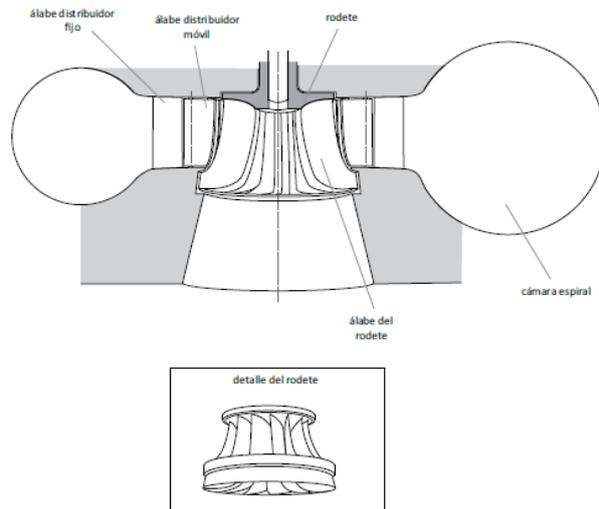
➤ Turbina Francis:

Las principales características de este tipo de turbinas son: de acción axial-radial, de eje vertical y en menor medida pueden ser horizontales, adicionalmente se consideran este tipo de turbinas de reacción, dado que son usadas cuando el salto es de altura mediana lo cual implica un rango de altura entre 30 y 700 metros, y considerando un caudal que varía entre 2 y 200 metros cúbicos por segundo. [25]

Existe una subclasificación dependiendo de la velocidad sincrónica las cuales pueden ser: lentas con una velocidad sincrónica ( $n_s$ ) de valores de 60 – 125 rpm, normales con  $n_s$  de 125-300 rpm y las rápidas con  $n_s$  de 300-420 rpm. La diferencia que presentan radica en la forma del rodete, además que las Francis lentas tienen una configuración radial, por otro lado, las normales y rápidas en su mayoría son diagonales. El posicionamiento del rodete se da a partir del aumento de la velocidad sincrónica haciendo que el flujo del

rodete sea más axial e inversamente proporcional al número y longitud de los alabes, de esta forma el diámetro del rodete tendrá una reducción. [25]

En la Figura 1.15 se muestra la estructura de una turbina Francis y el detalle de la forma de sus palas.



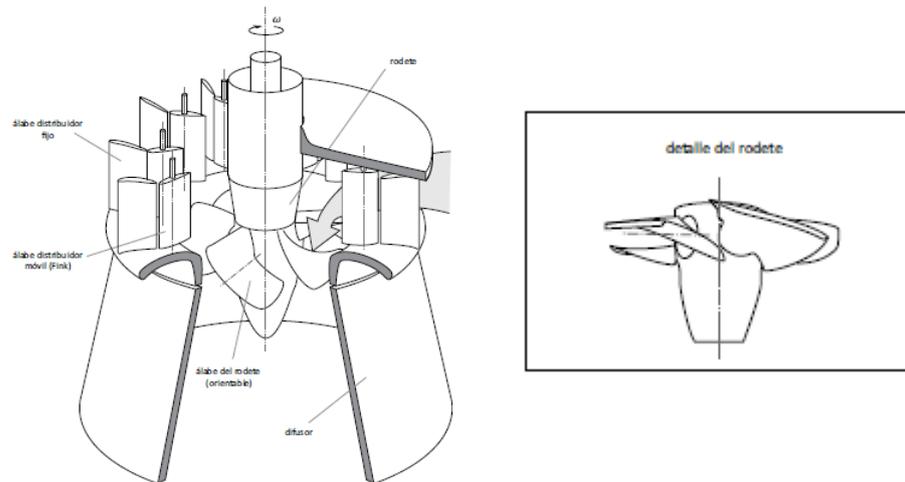
**Figura 1.15:** Tipo de turbina Francis. [25]

➤ Turbinas Kaplan:

Estas turbinas tienen gran similitud con las turbinas Francis su principal diferencia se encuentra en la forma del rodete al tener un cubo con alabes más grandes que ejercen un trabajo sobre el voladizo además de no tener llanta, sus alabes no son fijos permitiendo orientarse de la forma más óptima sin embargo la regulación es más amplia y compleja por esta razón su precio aumenta, asimismo el rendimiento se ve afectado con el número de alabes por lo que a partir de 8 se vuelve muy ineficiente. [25]

Este tipo de turbinas son normalmente de eje vertical, de reacción netamente pura, axial-radial usadas principalmente en saltos bajos hasta los 70 metros, pero con caudales grandes superiores a los 15 metros cúbicos. Los alabes del rodete tienen una forma de hélice de barco por lo que se convierten en turbinas irreversibles. [25]

En la Figura 1.16 se muestra la estructura de una turbina Kaplan.



**Figura 1.16:** Tipo de turbina Kaplan. [25]

#### 1.4.12 Criterios de selección para turbinas:

Para la selección de las turbinas se toma en cuenta características como el salto, potencia, velocidad sincrónica, caudal, rendimiento y eficiencia en relación con el factor k entre las más importantes. El factor k es una variable que determina que tan factible la turbina reorganiza la fracción de sección de flujo del trabajo realizado por los alabes.

A continuación, en la Tabla 1.5 se muestra el valor del factor k para las turbinas más utilizadas en generación eléctrica. [26]

**Tabla 1.5:** Valores del factor k para las turbinas más utilizadas en generación eléctrica. [26]

Modelo de Turbina	Factor k
Francis	0,40
Kaplan	0,25
Pelton	0,10

Como se mencionó anteriormente la velocidad sincrónica específica es otro criterio en la selección de turbinas y se emplea la siguiente expresión para su cálculo: [25]

$$n_s = \frac{n\sqrt{P_a}}{(H)^{\frac{5}{4}}} \quad (1.4.12.1)$$

Donde:

$P_a$ : Es La potencia de salida en [CV].

$H$  : Es la altura en [m]

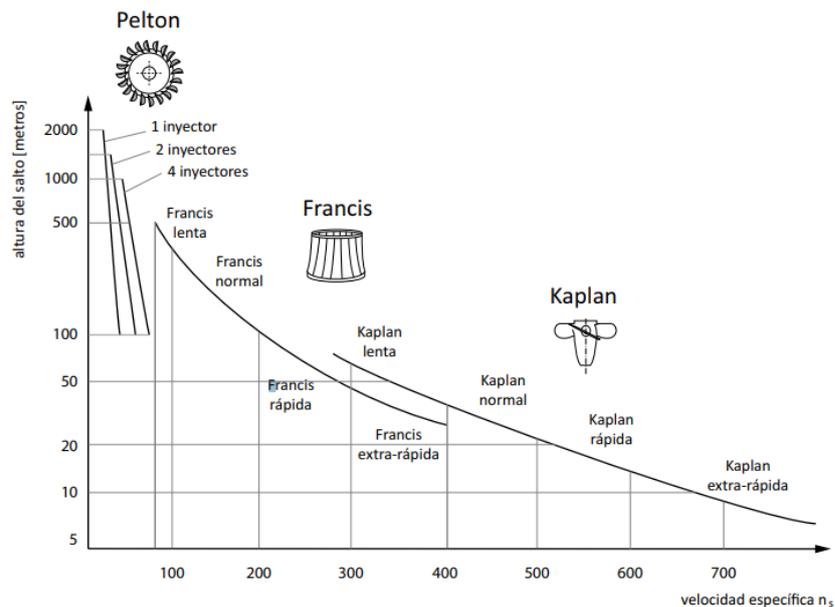
$n$ : Es la velocidad sincrónica en [rpm]

Los rangos de cada turbina se presentan a continuación en la Tabla 1.6:

**Tabla 1.6:** Componentes de la generación hidroeléctrica. [25]

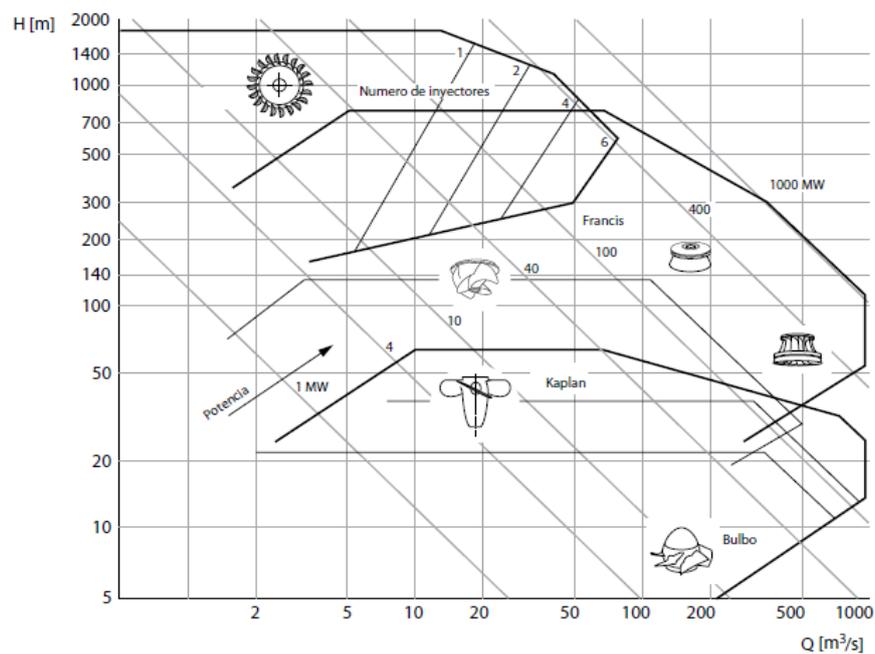
Modelo de Turbina	$n_s$
Kaplan	$> 450$
Francis	$32 < n_s < 450$
Pelton	$< 32$

La Figura 1.17 detalla el rango adecuado para cada turbina con respecto a la altura y la velocidad sincrónica específica.



**Figura 1.17:** Relación de los diferentes tipos de turbina con la altura de salto y la velocidad específica. [25]

El criterio de selección para las distintas turbinas se dan con las siguientes características: para la turbina Francis con saltos de 30 a 700 metros y potencias de 1 a 250 MW, para saltos grandes turbinas Francis lentas y saltos bajos las Francis rápidas; la turbina Kaplan se emplean mayormente en grandes caudales y saltos que van de 5 a 70 metros y potencias de 20 a 100 MW; La turbina Pelton son aprovechadas de mejor manera en saltos por arriba de 200 metros, en la actualidad a este tipo de turbina se le ha hecho una variante para pequeñas centrales haciendo que el rango parta de 45 a 700 metros y tenga una potencia de 0,1 a 15 MW con caudales más bajos en comparación a las otras turbinas. A continuación, se presenta gráficamente la relación altura del salto, potencia de la maquina y caudal mostrado en la Figura 1.18: [23]



**Figura 1.18:** Relación de los diferentes tipos de turbina con la altura, la potencia y el caudal. [25]

### 1.4.13 Centrales hidroeléctricas en Ecuador:

En la Tabla 1.7 se muestra el tipo de central hidroeléctrica, su nombre y la potencia que se tiene en el Ecuador:

**Tabla 1.7:** Centrales hidroeléctricas en Ecuador. [27]

Centrales hidroeléctricas en Ecuador		
Tipo	Nombre	Potencia [MW]
Embalse	Baba	42
	Marcelo Laniado	213
	Mazar	170
	Allaruquin	204
	Calope	16
	Paute	575
	Molino	750
	Sarapullo	48
Pasada	Pucara	70
	Coca Codo Sinclair	1500
	Abanico	38
	Agoyan	156

	Nanegal	10
	Deltanisagua	180
	Sopladora	487
	Topo	23
	San francisco	212
	Minas San Francisco	270
	Manduriacu	60
	Due	65
	Pusuno	40

#### 1.4.14 Conceptos asociados a la generación hidroeléctrica:

- Caudal:

Es la proporción de volumen de agua en un determinado tiempo que circula por una superficie, su unidad en el sistema internacional es  $m^3/s$ , el caudal es muy variante por diversos factores ya sean cambios estacionales, periodos de sequía o lluvia y fenómenos naturales por esta razón se utiliza métodos probabilísticos teniendo como base un registro histórico de alrededor de 20 años con mediciones diarias que permitirán construir curvas probabilísticas diarias, mensuales o anuales. [28]

Estos estudios principalmente son aprovechados para el despacho económico y optimo, además que se estima que días se puede tener un caudal que supere el promedio para tomar medidas de contingencia. De estas curvas también se determina lo siguiente: [29]

- Caudal máximo ( $Q_M$ ): Es la cantidad máxima de caudal que se tendrá dentro de un año. [29]
- Caudal mínimo ( $Q_m$ ): Es la cantidad mínima de caudal dentro de un año también se lo conoce como estiaje. [29]
- Caudal ecológico o de servidumbre ( $Q_{sr}$ ): Es la cantidad propicia que se debe dejar circular para reducir el impacto ecológico ya sea a la flora o fauna entre otros usos preexistentes con la finalidad que se sigan desarrollando de la manera más normal posible. [29]
- Caudal de equipamiento ( $Q_e$ ): Es la cantidad límite de caudal turbinable, se determina mediante la siguiente expresión: [29]

$$Q_e = Q_{medio} - Q_{sr} \quad (1.4.14.1)$$

- Caudal mínimo técnico ( $Q_{mt}$ ): Es la cantidad mínima de caudal a ser turbinado sin perder las condiciones óptimas de funcionamiento de las turbinas, se calcula a partir de: [29]

$$Q_{mt} = k * Q_e \quad (1.4.14.2)$$

- Salto:

Es el término utilizado para describir el trayecto existente entre dos alturas y permite determinar la potencia instalada, por lo que existen tres tipos de salto que son:

- Salto Bruto ( $H_b$ ): Es la totalidad de la distancia entre el nivel mas alto de las aguas arriba y el nivel inferior que está establecido por el modelo de turbina. [23]
- Salto útil ( $H_u$ ): Es la diferencia del trayecto de la entrada de carga y las aguas turbinables inferiores. [23]
- Perdidas de carga ( $h_p$ ): Es la pérdida de eficiencia en la repercusión que tiene el salto útil al disminuir la energía cinética debido a la fricción que se genera en los elementos de conducción y manejo de caudal. [29]
- Salto neto ( $H_n$ ): Es el salto resultante del resto del salto útil con las pérdidas de carga. [29]

- Potencia instalada:

Es la cantidad de energía ideal total por unidad de tiempo que es entregada por la central para la formulación de la potencia mecánica instalada, se utiliza la siguiente expresión: [29]

$$P_{inst} = \gamma * Q_e * H_n * n_t * n_g * n_T \quad (1.4.14.3)$$

Donde:

$\gamma$ : Es el peso específico del agua (9,81 [kN/m<sup>2</sup>])

$Q_e$ : Caudal de equipamiento [m].

$H_n$ : Salto neto [m]

$n_t$ : Rendimiento de la turbina

$n_g$ : Rendimiento del generador

$n_T$ : Rendimiento del transformador

- Capacidad Instalada (PI):

Es el sumatorio de los valores nominales de las potencias de los equipos instalados [30]

- Demanda (D(t)):

Es el valor de potencia suministrada en un intervalo de tiempo siendo utilizada como un medio para determinar el consumo o los requerimientos para abastecer al consumidor. [30]

- Servicios auxiliares:

Son una parte importante de las centrales debido a que brindan funciones como el suministro de energía eléctrica hacia protecciones, sistemas de emergencia, equipos auxiliares, ventilación, equipos de corriente continua entre otros. La energía que estos servicios consumen de la central es alrededor del 2%, todo esto para mantener un funcionamiento óptimo. [30]

#### 1.4.15 Clasificación administrativa o según su potencia:

La división en esta categoría es relativa a la posibilidad de generación de cada país, por lo que los límites varían según el país y la región. En el Ecuador se establece el siguiente rango mostrado en la Tabla 1.8: [21]

**Tabla 1.8:** Clasificación administrativa de las centrales hidroeléctricas. [21]

Clasificación según la potencia	Rango [MW]
Grande	>100
Mediana	50-100
Pequeña	10-50
Micro	<10

#### 1.4.16 Costos de generación en centrales hidroeléctricas

Son los valores que se tienen que asumir para mantener viable el proyecto en donde se debe tener presentes todos los elementos que sean necesarios gastar con la finalidad de mantener condiciones óptimas del producto y se obtenga un beneficio bruto. [31]

En las centrales hidroeléctricas se tiene principalmente los costos variables y los costos fijos, ambas deben ser obtenidas para hacer un análisis financiero el cual permita obtener las incidencias de los precios para mantener operando las centrales hidroeléctricas.

La finalidad de establecer estos costos son varios entre ellos: ubicar el punto óptimo del precio de venta, políticas para el producto y su comercialización, además de establecer indicadores de eficiencia en las distintas divisiones de la planta.

- Costos fijos

Estos costos principalmente son los que no tienen variación directa con el costo del producto terminado en un intervalo de tiempo establecido, es decir, estos costos son los que incurren en la empresa para su operación. Entre ellos están la depreciación de los diferentes elementos de la central y la estructura en sí, los salarios, interés entre otros. Estos valores dependen del equipamiento de la central, su potencia y el tipo. [32]

- División de los costos variables de producción.

- Capital inicial: Son los costos que se prevé invertir inicialmente para su construcción, así como de operación de las centrales hidroeléctricas en sus primeros años y en el planeamiento. [33]
- Costos administrativos: Estos gastos involucran los niveles de planificación, gestión entre otros. Los cuales son costeados para la operación de la central y sus empleados. [33]
- Costos por aranceles: Son los valores que pagar por impuestos que cada país pone en su territorio existiendo diferentes tipos como: impuestos prediales, a la circulación de capital y contribuciones especiales, [33]
- Costos de operación y mantenimiento: Son valores destinados para reparaciones, reacondicionamiento de la maquinaria e insumos y materiales que son independientes de la producción del producto, los más representativos son los mantenimientos correctivos y preventivos. [33]

- Costos variables de producción (CVP):

Son valores que dependen del volumen de producción, es decir no se mantienen constantes y principalmente son los que se prescriben según la cantidad de energía producida. Estos generalmente están expresados en  $\frac{US \$}{MWh}$ , además dependerán del tipo de central y las regulaciones establecidas en cada país. Las principales

características de estos costos son controlables a un plazo corto y medio, están relacionados a la actividad a realizar y son regulados por la administración.

Los costos variables generalmente son: Materia prima, mano de obra, paking, combustibles, transporte, mantenimientos (preventivos y correctivos), suministros (productos químicos, lubricantes e insumos necesarios para una operación correcta) y servicios relacionados a la producción como los servicios auxiliares. [34]

#### 1.4.17 CVP para centrales hidroeléctricas de Ecuador:

Para los costos variables de producción se establece en la ley orgánica de servicio público de energía eléctrica el valor de 2 US\$/MWh hasta implementar una metodología de cálculo adecuado por parte de la Agencia de regulación y control de energía de recursos naturales no renovables (ARCERNNR). [35]

Por consiguiente, se establece por la ARCERNNR con criterios de CELEC EP para el cálculo de los CVP los siguientes criterios: [35]

- Costos del agua turbinada en centrales hidroeléctricas:

$$C_A = \frac{X * Vol}{G_B} \quad (1.4.17.1)$$

Donde:

$C_A$ : Costo del agua turbinada [US\$/MWh].

$Vol$ : Es el porcentaje del volumen del agua que se puede turbinar [ $m^3$ ].

$X$ : Tarifa para el aprovechamiento y el uso del agua para hidroeléctricas.

$G_B$ : Valor para el ciclo operativo de la generación bruta [MWh].

- Costos para lubricantes, químicos e insumos.

$$C_{LQI} = \frac{\sum_i PU_i * CM_i}{G_B} \quad (1.4.17.2)$$

Donde:

$C_{LQI}$ : Es el costo para lubricantes, químicos e insumos por unidad [US\$/MWh].

$PU_i$ : Es el precio del insumo "i" para la declaración por mes [US\$].

$CM_i$ : Consumo realizado en el ciclo operativo del insumo "i".

$G_B$ : Valor para el ciclo operativo de la generación bruta [MWh].

- Costos para servicios auxiliares (consumo energía eléctrica):

$$C_{EE} = \frac{(C_A + C_{LQI})}{\left(1 - \frac{CE_{AX}}{G_B}\right)} * \frac{CE_{AX}}{G_B} \quad (1.4.17.3)$$

Donde:

$C_{EE}$ : Costo de servicios auxiliares para uso de energía eléctrica [US\$/MWh].

$CE_{AX}$ : Cantidad de energía utilizada en los servicios auxiliares [MWh].

## **2 METODOLOGÍA**

### **2.1 Análisis del problema**

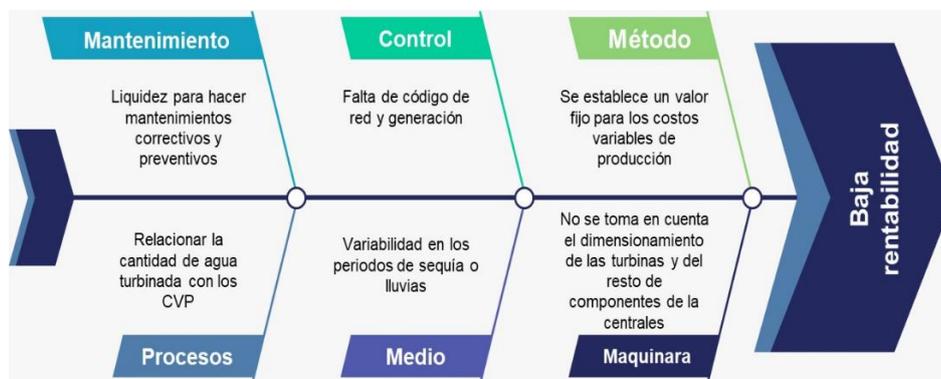
Como se analizó en la sección anterior la importancia de los costos variables de producción, se tiene principalmente que el sector eléctrico de la República del Ecuador está optando por darle un valor no tan factible a estos costos lo que principalmente influye en la administración de las centrales hidroeléctricas dado que estos costos no se ven reflejados en la tarifa que se debe tener, lo que puede incurrir a una no rentabilidad y deterioro de las centrales dado que, no se destinara la suficiente liquidez para mantenimiento y operación además, las diferentes centrales energéticas comparten una similitud en cuanto algunos de sus componentes para generar energía y se establecen algunos parámetros similares para determinar los costos, es así que para las centrales hidroeléctricas se tiene un grado de complejidad más elevado adicionalmente esto puede aumentar según las variables que se deseen tomar en cuenta, es por ello que principalmente se hace un símil entre el combustible y el uso del agua dándole un valor a este último para que los problemas de optimización converjan y tengan solución. La ARCERNNR ha establecido una forma para el cálculo de los CVP permitiendo instaurar una percepción de la tarifa en donde se encuentra otro inconveniente en lo social el cual haría que el precio de la energía eléctrica se vea incrementado, en el presente trabajo curricular se establece una alternativa a la metodología establecida que tenga en cuenta otros factores, para ser más practica y factible según la clasificación administrativa de cada central hidroeléctrica.

### **2.2 Análisis causa efecto**

El diagrama de Ishikawa debido a su autor, también denominado diagrama de espina de pescado por su forma tiene como propósito presentar de manera gráfica las causas que originan el problema.

A partir de un análisis bibliográfico se pudo evidenciar que en el Ecuador se debería optar por una metodología que permita clasificar de mejor manera los CVP, debido a que se cuenta con gran cantidad de recursos hídricos, las cuales se pueden aprovechar con distintas tecnologías. De esta forma se puede incrementar la rentabilidad dentro de las centrales hidroeléctricas del Ecuador.

En la Figura 2.1, se puede observar de manera gráfica las diferentes causas que inciden en el problema de baja rentabilidad, basados en criterios como: control, medio, maquinaria, métodos, procesos y mantenimiento.



**Figura 2.1:** Relación de los diferentes tipos de turbina con la altura, la potencia y el caudal.

### 2.3 Análisis y desarrollo de la metodología

En la investigación de diferentes fuentes bibliográficas se evidencia que muchos países optan que los CVP más importantes y que se toman en cuenta sean los siguientes: costos de operación y mantenimiento, costos de insumos, lubricantes y químicos para operación, costo asignado al agua para producción eléctrica, costos para distintos servicios principalmente servicios auxiliares y costos ambientales.

Los CVP en varios países principalmente son establecidos con un valor por reformas o leyes dependiendo de su potencia.

- La Comisión de Energía de California (CEC): Es un organismo con objetivos y responsabilidades dirigidas a desarrollar políticas energéticas, incentivar la eficiencia energética e innovar energéticamente. [36]

En uno de sus informes mediante evaluaciones estadísticas propone el valor de 3,1 US\$/MWh para los CVP. [37]

- La Administración de información energética (EIA): Es el área de análisis y estadística de los Estados Unidos de América con el objetivo principal de recopilar, analizar y divulgar información imparcial para servir de guía a otras instituciones que apunten a mercados eficientes. Esta organización propone un valor de 3,51 US\$/MWh. [38]

- La agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA): Mantiene su principal objetivo en proporcionar una guía a países que opten por energías renovables dando un valor de 2 US\$/MWh para centrales hidroeléctricas el cual pasa hacer una referencia para Ecuador. [39]

En Ecuador para los costos totales de producción se emplea un LCOE (Costo nivelado de energía) que es un valor tomado como medida para comparar y evaluar métodos alternativos de generación de electricidad en donde se considera ya los costos fijos y variables. Este costo generalmente examina los gastos totales promedios por construir y operar un activo por unidad de energía eléctrica total durante su vida útil estimada o un periodo establecido, además también se lo puede describir como la tarifa nivelada de energía eléctrica al tomar en cuenta un precio mínimo que se debería vender la energía por parte de la generación eléctrica siendo el activo de compensación para los gastos totales de producción durante el periodo de tiempo. [40]

- En otros países como Colombia se presentan otras propuestas como el modelo econométrico de regresión lineal uniecuacional múltiple con el cual se pretende establecer una tarifa relacionada con el mercado de energía mayorista (MEM) y el precio spot presentando una relación directa entre los caudales y el precio spot eléctrico en oposición, se establece la disponibilidad del recurso por lo que genera una variabilidad amplia. [41]

En este ámbito de investigación también se propone el modelo Black Litterman el cual utiliza el concepto de incertidumbre y el estudio de flujos de caja con lo cual también se trabaja con modelos autorregresivos de promedios estacionales móviles (SARIMA) y modelos autorregresivos condicionales de heterocedasticidad (ARCH) los cuales tienen como finalidad obtener las variabilidades de los egresos e ingresos de los proyectos de generación hidroeléctrica. [41]

- En Chile se tiene una clasificación de sus centrales hidroeléctricas según su potencia y tipo de tecnología, teniendo así: centrales de pasada (>20 MW), Minihidráulicas (20MW) y para hidráulicas de embalse en donde se da un valor de 1,3 US\$/MWh. [42]
- El Operador Independiente del Sistema de California (CAISO): Es el encargado de dirigir y controlar el flujo de energía eléctrica en el 80% de líneas de transmisión de California, además, de ser una organización sin fines de lucro que en su

recopilación de información propone un valor referencial para la generación hidroeléctrica de 0,65 US\$/MWh por hora ejecutada. [43]

- Uno de los países donde ya se emplea un método es Perú que establece una forma de cálculo para los CVP de la siguiente manera: [44]

$$C_{VH} = C_{ve} + C_{vss} \quad (2.3.1)$$

Donde:

$C_{VH}$ : CVP de las centrales hidroeléctricas.

$C_{ve}$ : Es un valor actualizado mensualmente por compensación del estado por utilización de recursos naturales siguiendo los artículos 213 y 214 de la ley de concesiones eléctricas.

$C_{vss}$ : Es el valor que se da por presencia de sólidos suspendidos en el agua turbinada.

## 2.4 Metodología propuesta

Para la metodología del presente trabajo se ha tomado los siguientes elementos:

- Costos por uso del agua: El agua al ser uno de los principales componentes para la generación de energía y al tener una alta variabilidad establece un cálculo por unidad generadora de la central.
- Costos por servicios auxiliares: Estos valores son establecidos para la operación de la central, entre ellos se define la energía eléctrica utilizada en las distintas áreas.
- Costos por operación y mantenimiento: A pesar de que los mantenimientos son preventivos y se realiza una planificación, existen situaciones que provocan que sean variables, donde se establecen los costos de lubricantes, químicos e insumos.

Entonces los costos totales variables están definidos por:

$$C_{VPt} = \sum_{i=1}^n C_{UAt} + C_{SA} + C_{OM} \quad (2.3.2)$$

Donde:

$C_{VPt}$ : Pertenece al cálculo por ciclo operativo (generalmente mensual) del total de costo variable de producción [US\$/MWh].

$C_{UAt}$ : Valor por unidad generadora para el uso de agua en la generación eléctrica.

$i$ : Número de unidad generadora.

$n$ : Número total de unidades generadoras.

$C_{SA}$ : Costos por ciclo operativo de los servicios auxiliares [US\$/MWh].

$C_{OM}$ : Costo por ciclo operativo de operación y mantenimiento.

## 2.5 Formulación para los factores del CVP:

➤ Cálculo del  $C_{UAt}$ :

Dado que es parte del cálculo de los costos variables de producción este componente debe estar relacionado con el producto final que es la energía producida, por lo que se utiliza la relación de la potencia instalada con los términos para el rendimiento de la turbina. Dado que los rendimientos del transformador y del generador son datos muy específicos no serán incluidos, teniendo la siguiente ecuación:

$$P_{inst} = \gamma * Q_e * H_n * n_t \quad (2.4.1)$$

Donde:

$\gamma$ : Es el peso específico del agua (9.81[kN/m<sup>2</sup>])

$Q_e$ : Caudal de equipamiento [m].

$H_n$ : Salto neto [m]

$n_t$ : Rendimiento de la turbina

De esta manera se procede a calcular la energía producida ( $Eg$ ) en un intervalo de tiempo ( $t$ ) con la siguiente ecuación.

$$Eg = P_{inst} * t [MWh] \quad (2.4.2)$$

Para el costo del uso del agua se establece una tarifa del aprovechamiento de este fluido, el cual está establecido en 0,0049 [US\$/m<sup>3</sup>] y un volumen turbinable del caudal de 6%, obteniendo la siguiente expresión:

$$C_{UAt} = \frac{x * Vol * 1000}{P_{inst}} \quad (2.4.3)$$

Donde:

$x$ : Es el valor de la tarifa por aprovechamiento de agua para generación hidráulica.

$Vol$ : Es el valor en porcentaje del caudal autorizado para generación hidráulica.

$C_{UAt}$ : Valor por unidad generadora para el uso de agua en la generación eléctrica.

➤ Costos por servicios auxiliares ( $C_{SA}$ )

Para obtener estos costos se hace la consideración en la mayor incidencia que tienen los servicios que utilizan energía eléctrica por lo que se tendrá el valor del costo promedio de generación con el resto entre la energía neta genera y la energía bruta todo en un ciclo de operación, obteniendo la siguiente ecuación:

$$C_{SA} = C_{MG} * \frac{(G_B - G_n)}{G_n} \quad (2.4.4)$$

Donde:

$C_{SA}$ : Costos por ciclo operativo de los servicios auxiliares [US\$/MWh].

$C_{MG}$ : Valor para los gastos promedios de generación establecidos por la ARCERNNR en 33,6 [US\$/MWh].

$G_B$ : Generación bruta total por ciclo de operación. [MWh]

$G_n$ : Generación neta total por ciclo de operación. [MWh]

Se puede reemplazar la expresión anterior para utilizar una constante para el porcentaje de la generación bruta ( $\sigma$ ) teniendo así, la siguiente expresión:

$$\sigma * G_B = G_B - G_n \quad (2.4.5)$$

Reemplazando en la ecuación:

$$C_{SA} = C_{MG} * \left( \frac{\sigma}{1-\sigma} \right) \quad (2.4.6)$$

Donde;

$\sigma$ : Porcentaje prescrito por cada central hidroeléctrica para calculo de costos de servicios auxiliares.

$C_{SA}$ : Costos por ciclo operativo de los servicios auxiliares [US\$/MWh].

$C_{MG}$ : Valor para los gastos promedios de generación establecidos por la ARCERNNR en 33,6 [US\$/MWh].

Los valores utilizados por las generadoras para el valor de  $\sigma$  varían entre un valor del 0,05% al 0,03%.

➤ Costos de operación y mantenimiento ( $C_{OM}$ )

Este componente de los costos variables tiene varios elementos, por lo que cada central tendrá variaciones para optar un valor ya sea fijo o dependiente de alguna variable de esta manera las centrales tendrán dos costos en este ámbito: fijos y variables. La propuesta de este valor parte del análisis de valores publicados por empresas estadounidenses donde se reportan los costos de operación y mantenimiento, además, también se adjuntan los valores por insumos, lubricantes y químicos necesarios para la operación de la central.

En Ecuador la ARCERNNR [35] establece dentro de estos elementos lo siguiente:

- Elementos para la operación:
  - Ingeniería y control de operaciones
  - Rentas
  - Gastos para electricidad
  - Gastos de insumos para generación
  - Gastos Hidráulicos
- Elementos para mantenimiento
  - Ingeniería y control de mantenimiento
  - Insumos y materiales para las estructuras
  - Mantenimiento de canales de agua, presas y embalses.
  - Insumos y materiales para planta eléctrica
  - Insumos y materiales para planta hidráulica.

Para la metodología se empleará los niveles de potencia instalada y costos de mantenimiento y operación de tablas estadísticas de empresas de centrales hidroeléctricas de Estados Unidos con la finalidad de utilizar los datos y realizar un consenso para

hidroeléctricas ecuatorianas, de esta forma los datos son presentados en la siguiente Tabla 2.1: [45]

**Tabla 2.1:** Datos estadísticos de centrales hidroeléctricas en Estados Unidos. [45]

<b>Nombre Central Hidroeléctrica</b>	<b>Potencia Instalada [MW]</b>	<b>Costos OM total [US\$]</b>
Pacific Gas and Electric Company	1125,49	\$188.278.361,00
Avista Corporation	901,1	\$33.476.634,00
Alabama Power Company	697,14	\$41.750.096,00
Duke Energy Carolinas, LLC	678,33	\$34.956.932,00
Idaho Power Company	629,84	\$41.870.224,00
Union Electric Company	396	\$13.549.261,00
Georgia Power Company	315,9	\$31.922.608,00
Virginia Electric and Power Company	315	\$15.313.182,00
Portland General Electric Company	233,25	\$18.728.654,00
Dominion Energy South California	222,18	\$7.187.409,00
Puget Sound Energy	196	\$12.740.121,00
Catalyst Old River Hydroelectric Limited Partnership	192	\$17.878.925,00
Appalachian Power Company	115	\$17.391.495,00
Duke Energy Progress, LLC	108,6	\$5.583.870,00
Louisville Gas and Electric Company	100,64	\$1.669.337,00
Alíete Inc	90,6	\$188.278.361,00
Chugach Electric Association	66,38	\$33.476.634,00
Entergy Arkansas, LLC	65	\$41.750.096,00
Duke Energy Indiana, LLC	64,8	\$34.956.932,00
Northern States Power Company (Wisconsin)	62,67	\$41.870.224,00
Consumers Energy Company	50,52	\$13.549.261,00
Lockhart Power Company	43,6	\$31.922.608,00
Wisconsin Power and Light Company	41,1	\$15.313.182,00
Wisconsin River Plant	35	\$18.728.654,00
Kentucky Utilities Company	33,6	\$7.187.409,00
Wisconsin Electric Power Company	32,4	\$12.740.121,00
Wisconsin Public Service Corporation	17,1	\$17.878.925,00
The Empire Distric Electric	16	\$17.391.495,00
Central Hudson Gas & Electric Corporation	14,4	\$5.583.870,00
Alaska Electric Light and Power Company	14,3	\$1.669.337,00
Northern States Power Company (Minnesota)	13,89	\$188.278.361,00
Upper Peninsula Power Company	12	\$33.476.634,00

De estos elementos para los costes de mantenimiento y operación se realiza un desglose de los costos fijos y están establecidos por: [46]

- Empleados administrativos
- Pagos administrativos
- Seguros
- Pago por el alquiler de terrenos
- Pagos legales
- Empleados operativos
- Impuestos a los bienes
- Pago por seguridad
- Impuestos
- Gestiones de proyectos
- Costos por daños por cavitación

Para el cálculo de estos costos fijos se utiliza la siguiente ecuación derivada de un estudio estadístico por parte de NREL (Annual Technology Baseline): [46]

$$CF_{OM} = 227 * P^{0.547} \left[ \frac{US\$}{kW} \right] \quad (2.4.7)$$

Donde:

$CF_{OM}$ : Es el valor del costo fijo para operación y mantenimiento.

$P$ : Es la potencia instalada.

Empleando la formula en la Tabla 2.1 se obtiene el valor de los costos fijos mostrados en la siguiente Tabla 2.2:

**Tabla 2.2:** Costos fijos de OM calculados para las empresas de Estados Unidos. [45]

<b>Nombre Central Hidroeléctrica</b>	<b>Costos Fijos OM Calculados [US\$]</b>
Pacific Gas and Electric Company	\$10.595,21
Avista Corporation	\$9.381,81
Alabama Power Company	\$8.153,08
Duke Energy Carolinas, LLC	\$8.032,01
Idaho Power Company	\$7.712,67
Union Electric Company	\$5.983,64
Georgia Power Company	\$5.287,85
Virginia Electric and Power Company	\$5.279,61
Portland General Electric Company	\$4.479,45
Dominion Energy South California	\$4.361,88
Puget Sound Energy	\$4.072,77
Catalyst Old River Hydroelectric Limited Partnership	\$4.027,09
Appalachian Power Company	\$3.042,48
Duke Energy Progress, LLC	\$2.948,66
Louisville Gas and Electric Company	\$2.828,40
Alíete Inc	\$2.670,39
Chugach Electric Association	\$2.252,58
Entergy Arkansas, LLC	\$2.226,84
Duke Energy Indiana, LLC	\$2.223,09
Northern States Power Company (Wisconsin)	\$2.182,82
Consumers Energy Company	\$1.940,08
Lockhart Power Company	\$1.789,88
Wisconsin Power and Light Company	\$1.733,00
Wisconsin River Plant	\$1.587,20
Kentucky Utilities Company	\$1.552,15
Wisconsin Electric Power Company	\$1.521,58
Wisconsin Public Service Corporation	\$1.072,69
The Empire Distric Electric	\$1.034,38
Central Hudson Gas & Electric Corporation	\$976,45
Alaska Electric Light and Power Company	\$972,74
Northern States Power Company (Minnesota)	\$957,38
Upper Peninsula Power Company	\$883,77

Por lo consiguiente si se realiza la resta de los costos fijos de la Tabla 2.2 del valor total de los costos de mantenimiento y operación de la tabla se obtendrá los costos variables de operación y mantenimiento con lo que se obtiene la siguiente información de la Tabla 2.3:

**Tabla 2.3:** Costos variables de OM calculados para las empresas de Estados Unidos.

<b>Nombre Central Hidroeléctrica</b>	<b>Costos Variables OM Calculados [US\$]</b>	<b>Costos Variables OM Calculados [US\$/MWh]</b>
Pacific Gas and Electric Company	\$188.267.765,79	29,955
Avista Corporation	\$33.467.252,19	9,170
Alabama Power Company	\$41.741.942,92	7,548
Duke Energy Carolinas, LLC	\$34.948.899,99	11,588
Idaho Power Company	\$41.862.511,33	6,010
Union Electric Company	\$13.543.277,36	7,171
Georgia Power Company	\$31.917.320,15	11,527
Virginia Electric and Power Company	\$15.307.902,39	19,695
Portland General Electric Company	\$18.724.174,55	15,552
Dominion Energy South California	\$7.183.047,12	16,242
Puget Sound Energy	\$12.736.048,23	12,998
Catalyst Old River Hydroelectric Limited Partnership	\$17.874.897,91	14,849
Appalachian Power Company	\$17.388.452,52	20,917
Duke Energy Progress, LLC	\$5.580.921,34	6,346
Louisville Gas and Electric Company	\$1.666.508,60	6,900
Alíete Inc	\$188.267.765,79	29,955
Chugach Electric Association	\$33.467.252,19	9,170
Entergy Arkansas, LLC	\$41.741.942,92	7,548
Duke Energy Indiana, LLC	\$34.948.899,99	11,588
Northern States Power Company (Wisconsin)	\$41.862.511,33	6,010
Consumers Energy Company	\$13.543.277,36	7,171
Lockhart Power Company	\$31.917.320,15	11,527
Wisconsin Power and Light Company	\$15.307.902,39	19,695
Wisconsin River Plant	\$18.724.174,55	15,552
Kentucky Utilities Company	\$7.183.047,12	16,242
Wisconsin Electric Power Company	\$12.736.048,23	12,998
Wisconsin Public Service Corporation	\$17.874.897,91	14,849
The Empire Distric Electric	\$17.388.452,52	20,917
Central Hudson Gas & Electric Corporation	\$5.580.921,34	6,346
Alaska Electric Light and Power Company	\$1.666.508,60	6,900
Northern States Power Company (Minnesota)	\$188.267.765,79	29,955
Upper Peninsula Power Company	\$33.467.252,19	9,170

Las estadísticas logradas en cada una de las tablas permitirán realizar una guía en base a la clasificación administrativa del Ecuador, de esta forma relacionar los datos estadísticos mediante la formula y establecer los costos de operación tomando los valores de los costos de las centrales hidroeléctricas que estén dentro de la clasificación administrativa, considerando que los datos que tengan una variación demasiada alta no se tomaran en cuenta de igual manera se promediara y se establecerá un valor para cada rango de potencia con lo que se obtiene la siguiente Tabla 2.4 con un rango de valores promedios:

**Tabla 2.4:** Costos OM para la clasificación administrativa.

<b>Costos de Operación y Mantenimiento Promedio [US\$/MWh]</b>		<b>Potencia [MW]</b>
Valor 1	8,44588	>100
Valor 2	9,86229	50 - 100
Valor 3	12,84279	<10 - 50

De la Tabla 2.4 se concluye que las empresas de Estados Unidos al tener un sistema de mercado eléctrico en donde las centrales de mayor potencia obtienen un valor más bajo de costos variables de operación debido a que la relación de demanda y servicio prestado es mayor, además de tener acceso a ofertas al por mayor de los insumos necesarios, se presenta un valor más bajo para centrales más grandes. Adicionalmente, se debe tener en consideración que las disposiciones reformarías, leyes e impuestos influye en los valores obtenidos.

## **2.6 Caracterización de los componentes para distintos tamaños de centrales hidroeléctricas:**

Los CVP para grandes y pequeñas centrales hidroeléctricas tendrán los componentes ya descritos con la diferencia de que los valores para cada uno de estos serán menores en centrales pequeñas dado que los elementos, espacios, mano de obra serán inferiores y para centrales más grandes serán mayores con lo que se realiza una división con la metodología propuesta como se presenta en el diagrama de flujo de la Figura 2.3.

Componentes generales de diferenciación de tamaño:

- Tamaño y potencia del generador.
- Número de turbinas instaladas, tipo y capacidad.
- Potencia total instalada de la central hidroeléctrica.
- Cantidad de insumos utilizados en la generación.

- Cantidad de transformadores y su potencia.
- Costos de la casa de máquinas

En la Tabla 2.5 se realiza un cuadro comparativo con precios de los elementos más importantes para los CVP cuya información sea más accesible referentes a centrales hidroeléctricas. Para la micro central se toma información sobre un proyecto en zonas rurales de Colombia que en el dimensionamiento utilizan turbinas Kaplan para conseguir una potencia de instalación de 5 kW [47].

Los datos referentes para la central hidroeléctrica pequeña son tomados de la central hidroeléctrica Topo con una potencia instalada de 29,9 MW, que cuenta con dos turbinas tipo Francis para generar dicha potencia. [48]

Para la central hidroeléctrica mediana se tiene los datos de la central Sarapullo con una potencia instalada de aproximadamente 50 MW, posee tres turbinas tipo Francis que generan dicha potencia. [48]

En la central hidroeléctrica grande se toma la información de la central Alluriquín con una potencia instalada de 204 MW, la cual tiene tres turbinas tipo Francis para generar dicha potencia. [48]

**Tabla 2.5:** Costos de los principales CVP de diferentes tamaños de centrales hidroeléctricas. [48]

Descripción	Tamaño de Centrales hidroeléctricas			
	Micro	Pequeña	Mediana	Grande
Equipos Principales de Generación (Turbina, Generador, Transformador)	\$2.001,79	\$1.805.060,38	\$7.348.078,02	\$12.892.653,03
Costo casa de máquinas	\$331,30	\$2.486.356,27	\$10.800.114,69	\$20.262.551,33

Los precios establecidos en la Tabla 2.5 para los diferentes elementos y construcciones están sujetos a diferentes variaciones por diversos factores como: el tipo de turbina, ubicación geográfica, fabricante, capacidad, marca entre otros.

## **2.7 Propuesta de mejoramiento de recaudación tarifario.**

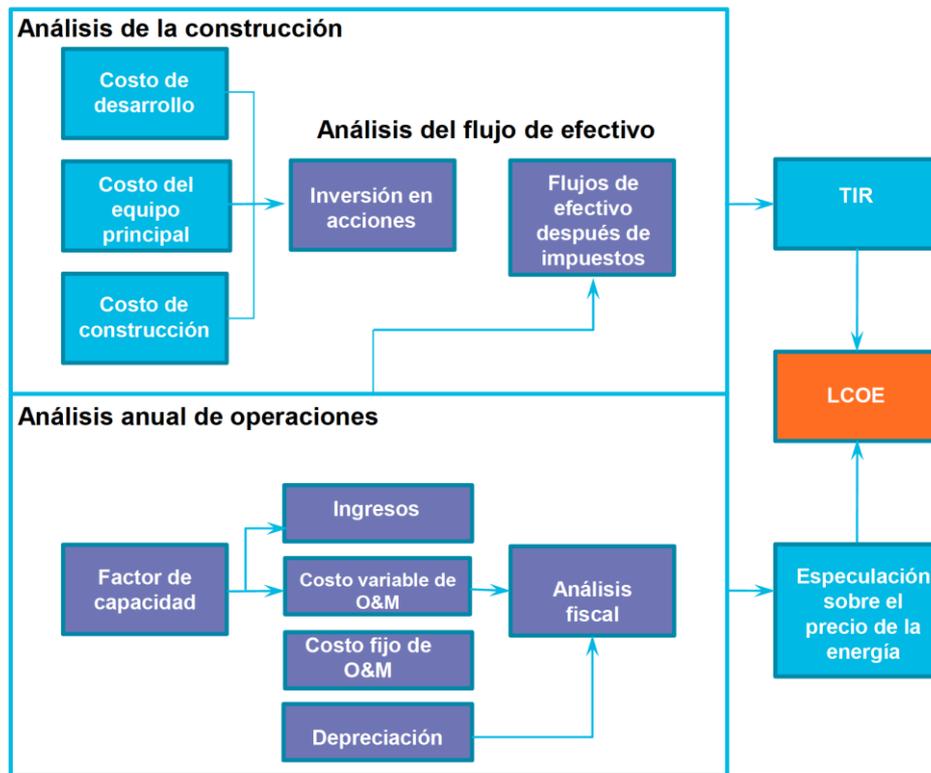
Con la incorporación de esta metodología se propone mejorar el sistema de recaudación, en primera instancia se deberá utilizar las formulaciones propuestas en las diferentes centrales hidroeléctricas esto permitirá incorporar los valores que tomen en cuenta una gama más amplia de factores de costos fijos y variables. Esta metodología influye en mayor medida en los CVP de esta forma, los costos totales de las centrales hidroeléctricas tendrán un valor distinto más real lo que permitirá establecer un valor en la tarifa de venta de energía eléctrica que genere rentabilidad en las centrales hidroeléctricas.

El nuevo valor de la tarifa propuesto para las centrales hidroeléctricas se verá reflejado en las planillas de cobro de las empresas distribuidoras de energía eléctrica, valor que mediante regulaciones y reformas deberá ser incorporado de manera que no cause un gran impacto social al incrementar el valor de la tarifa por medio de una categorización por consumo de energía que permita realizar una focalización más precisa de los subsidios en donde los sectores de menor consumo serán mayormente beneficiados e incentivar a una conciencia energética.

## **2.8 Efecto de la incorporación de la metodología de cálculo del CVP.**

El efecto principal que causa la incorporación de la metodología se ve reflejado en el costo nivelado de energía (LCOE). La metodología propuesta incrementa el valor de los CVP de las centrales hidroeléctricas por lo que es necesario realizar un cálculo nuevo del LCOE con la finalidad de tener un precio constante por unidad de generación incorporando las diferentes tecnologías de generación eléctrica. Además, se deberán tomar en consideración valores del LCOE que mantengan la tasa interna de retorno (TIR) como indicador de eficiencia. Que permita vender toda la energía eléctrica producida por diferentes fuentes de manera rentable.

En la Figura 2.2 se muestra los diferentes costos por año de producción en un análisis de operaciones relacionados con un análisis de construcción para llegar a un LCOE. [49]



**Figura 2.2:** Análisis para llegar a un LCOE. [49]

La eficiencia propuesta para la utilización de la metodología parte de incorporar los nuevos valores obtenidos para los CVP para tomar acciones necesarias que mejoren el uso de los recursos en cada etapa de la generación de energía con la finalidad de justificar el incremento de los costos que generen rentabilidad en donde se establece para centrales hidroeléctricas un TIR del 10%, sin embargo los valores dependerán de cuanta rentabilidad quiera la empresa teniendo en cuenta que a mayor TIR se genera una rentabilidad más alta. [50]

Los nuevos valores calculados podrán ser utilizados en varios métodos que calculen la eficiencia en términos de producción teniendo las siguientes formas de cálculo: [50]

$$Eficiencia = \frac{Resultado\ real}{Gasto\ real * Tiempo\ de\ trabajo\ real} \quad (2.8.1)$$

$$Eficiencia = \frac{Resultado\ planeado}{Gasto\ planteado * Tiempo\ de\ trabajo\ planeado} \quad (2.8.2)$$

$$Eficiencia = \frac{Cociente\ real}{Cociente\ planeado} \quad (2.8.3)$$

Otro efecto de la incorporación de la metodología parte de la necesidad de realizar estos nuevos estudios lo que se generaría un costo adicional para llevarlos a cabo. Al incrementarse el LCOE se altera el costo por generación, además del costo total de energía que involucra también la distribución y transmisión. Actualmente este valor está dispuesto a nivel nacional en un promedio de los 9,2 cUS\$/kWh dispuesto en la resolución ARCERNNR-009/2022 dividiéndose en 5,17 cUS\$/kWh para distribución, 0,68 cUS\$/kWh para transmisión y de 3,34 cUS\$/kWh para generación. [51]

Por lo que se evidencia que la tarifa final al implementar la metodología de cálculo de CVP y la variación del LCOE tendrá un efecto en el consumidor final que deberá pagar un valor más elevado en su planilla, lo que generará conmoción social al no estar de acuerdo por dicho incremento. Para disminuir dichos impactos se debe realizar un cambio en los niveles tarifarios y en los diferentes subsidios existentes en el país como: El subsidio cruzado, la Tarifa de la dignidad, subsidio de discapacidad y el subsidio de la tercera edad.

La metodología adecuada para centrales hidroeléctricas de Ecuador se presenta a manera de diagrama de flujo donde se detallan los pasos para realizar el cálculo del CVP, esto se presenta en la Figura 2.3

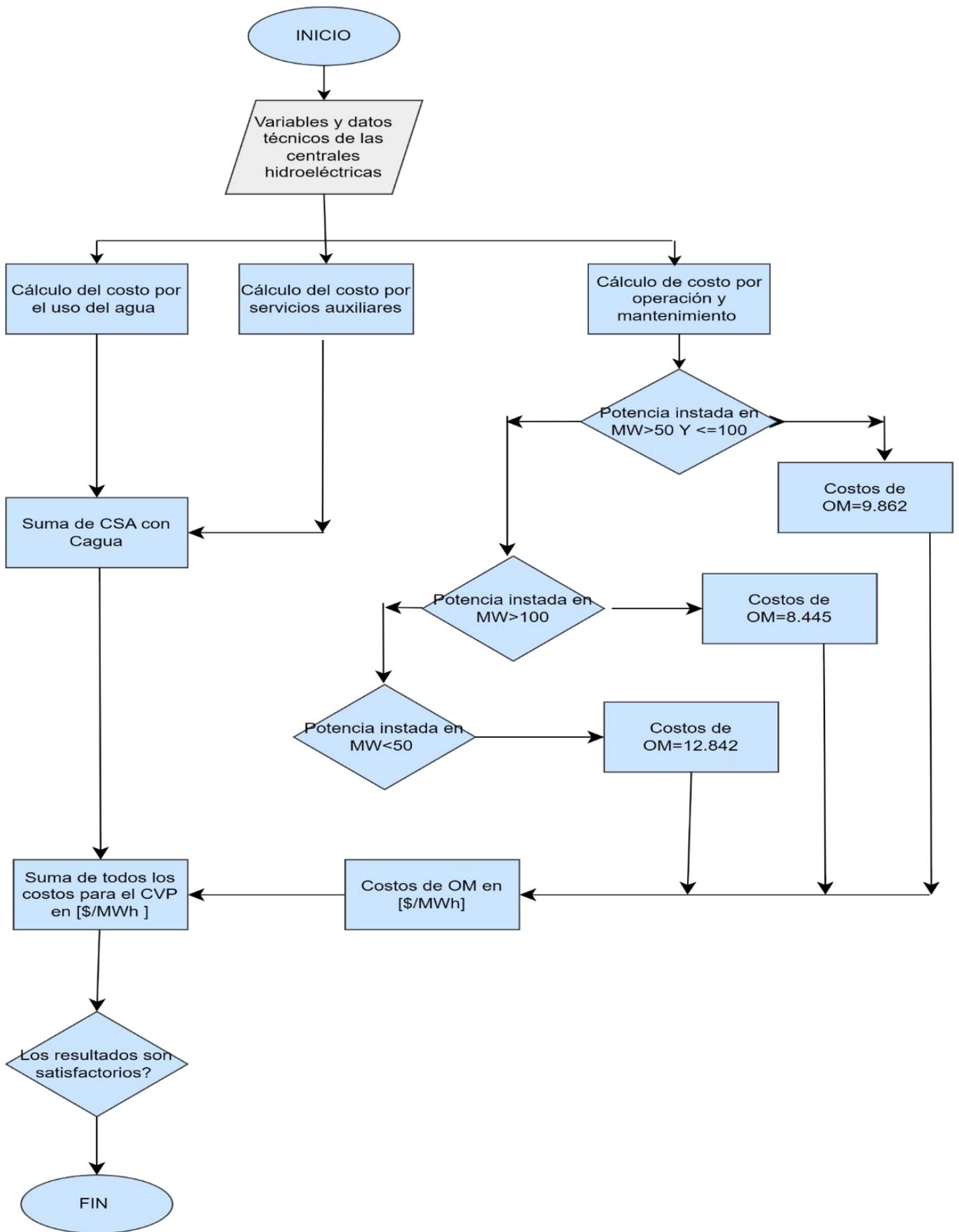


Figura 2.3: Diagrama de flujo de la metodología propuesta.

### 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 Resultados

El presente trabajo tiene como objetivo general proponer una metodología de costos variables de producción para las centrales hidroeléctricas del Ecuador. En la Figura 3.1 se puede observar los costos fijos que son constantes y no fluctúan con el tiempo, mientras que la línea azul representa los costos variables, los cuales tienden a fluctuar en proporción del volumen total de producción. Finalmente, la línea amarilla representa la suma de los costos fijos y los costos variables. Es importante separar estos dos costos, porque así las centrales hidroeléctricas tienen una visión más clara de sus gastos y como afectan a la rentabilidad.

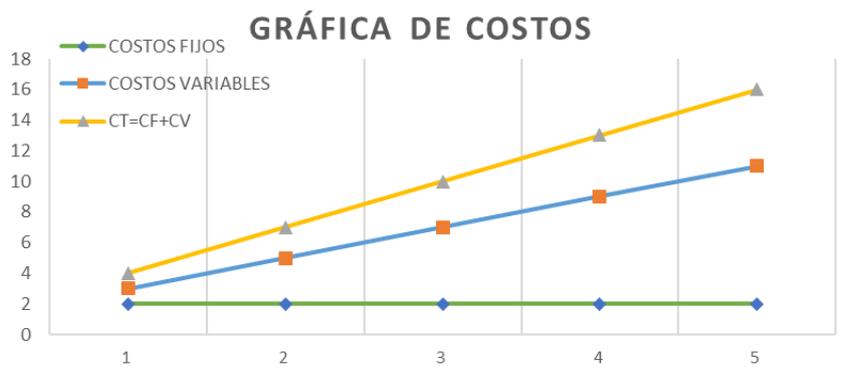


Figura 3.1: Crecimiento de los Costos totales, fijos y variables.



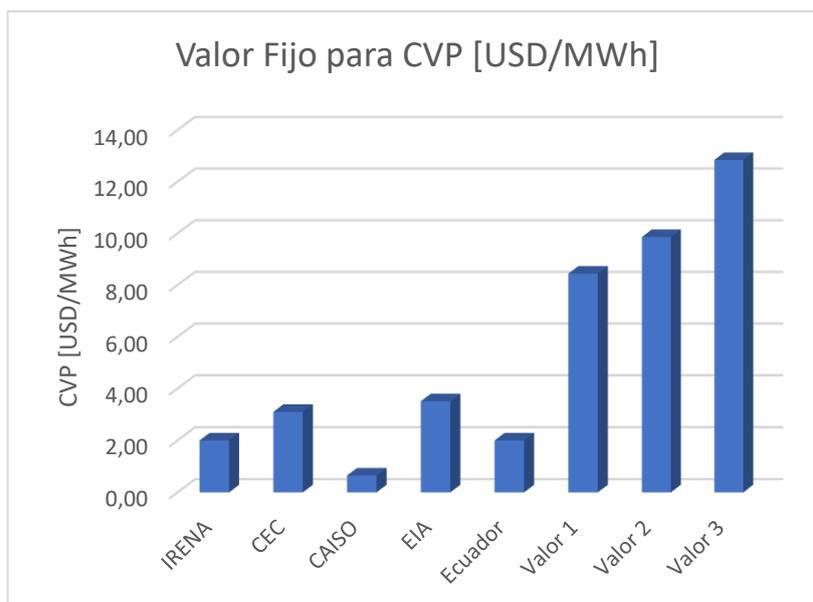
Figura 3.2: Clasificación de costos de empresas.

En la Figura 3.2 se muestra la separación de las distintas empresas estadounidenses en la clasificación administrativa en donde se puede observar en la línea gris que Estados Unidos tiene más cantidad de centrales superiores a los 100 MW y en menor medida centrales inferiores a 50 MW como se muestra en la línea azul, finalmente en la línea naranja se observa que la cantidad de centrales de generación hidráulica entre 50 a 100 MW es muy baja, con lo que resulta ser que Estados Unidos al ser un país grande necesita abastecer la demanda aprovechando grandes ríos y cuencas hidrológicas para el abastecimiento de estas y la presencia de centrales con potencias menor a 50 MW es más notoria en la actualidad debido a las nuevas tecnologías y conceptos como la Smart grid y la generación distribuida, cabe mencionar que la construcción de la potencia de las centrales hidroeléctricas está muy ligada a los conceptos ya mencionados en este trabajo por lo que justificaría la cantidad menor de centrales hidroeléctricas de potencia entre los 50 a 100 MW.

En la Tabla 3.1: se presenta los diferentes valores establecidos por varias organizaciones en donde se contrasta la variación de los costos respecto a Ecuador con su valor actual y también los valores obtenidos en la metodología, se recalca que se tendrá valores adecuados para tres rangos de potencia instalada.

**Tabla 3.1:** Costos OM para la clasificación administrativa.

<b>Instituciones</b>	<b>Valor Fijo para CVP [US\$/MWh]</b>	<b>Variación respecto a Ecuador p.u</b>
IRENA	2,00	0,00
CEC	3,10	0,55
CAISO	0,65	0,68
EIA	3,51	0,76
Ecuador	2,00	0,00
Valor 1	8,45	3,22
Valor 2	9,86	3,93
Valor 3	12,84	5,42



**Figura 3.3:** Representación de los diferentes valores presentados en la Tabla 3.1

De la Tabla 3.1 y de la Figura 3.3 se muestra que existe gran variación respecto a un valor de costos variables de operación que garanticen la rentabilidad de las centrales hidroeléctricas, con la metodología utilizada se evidencia que para las centrales de menor potencia se necesitara un CVP más alto, esto se da en consideración si en Ecuador se diera un mercado de energía en donde las centrales de menor potencia se verían aplacadas por las de mayor potencia.

Implementar estos valores de tarifas en la actualidad será más difícil en regiones en donde la energía eléctrica esta subsidiada, dado que no se toman en cuenta todos los componentes del cálculo de costos. Esto generará un malestar social debido al incremento de la tarifa por lo que se debería optar por cambiar los rangos de los subsidios enfocados y permita incorporar una tarifa que genere rentabilidad a las empresas no solo para su mantenimiento óptimo sino para generar liquidez que pueda ser utilizado para ampliaciones o inversiones futuras.

### **Análisis de hiper beneficio o perjuicio al implementar la metodología de los CVP**

Un hiper beneficio se presenta cuando el nivel esperado de mejora es mucho mayor y un perjuicio existe cuando se deja de percibir en los ingresos una ganancia que evite el deterioro de la empresa. En el trabajo presente se evidencia que al implementar la metodología de cálculo de los CVP las centrales hidroeléctricas de gran tamaño cobrarán valores por generación eléctrica de 8.45 US\$/MWh lo que generara una rentabilidad alta en comparación a los 2 US\$/MWh que en la actualidad genera un perjuicio al no retornar liquidez para gastos de mantenimiento, operación, inversión y un margen de ganancia.

Para las centrales pequeñas se evidencia que se tiene un hiper beneficio al tener un valor de 12.84 US\$/MWh, debido al análisis presente que utiliza datos de un país que tiene un mercado eléctrico mayorista en donde las pequeñas centrales son aplacadas por las de mayor potencia, pero al ser energías renovables se les permite establecer convenios que permitan su desarrollo.

## **3.2 Conclusiones**

- Los valores obtenidos por parte de la metodología dan como resultado precios referentes que permitan llevar a una propuesta de análisis de CVP de las centrales hidroeléctricas del Ecuador.
- Los métodos de cálculo de los diferentes CVP establecidos por distintos países varían según la cantidad de energía turbinada y potencia instalada de las centrales hidroeléctricas lo cual genera una tarifa más acorde para cada país.
- Los elementos que componen los CVP tienen diversos factores que cambian el precio para las diferentes centrales hidroeléctricas de distinto tamaño ya sea por ubicación geográfica, tipo de turbina, proveedor, entre otras.
- La metodología propuesta demuestra que al tener en cuenta los costos por uso de agua, servicios auxiliares, operación y mantenimiento se obtiene una forma de establecer el valor para cada tamaño de central hidroeléctrica evitando tener un solo valor globalizado.

## **3.3 Recomendaciones**

- Se recomienda ampliar la investigación con datos de la región para realizar una comparación de la variación de los costos.
- Se recomienda considerar una equiparación con otros métodos estadísticos con la finalidad de verificar alternativas al cálculo de los costos variables de producción.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ortega, «El Costo del kWh de generacion,» 1998. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/12012/1/T1374.pdf..>
- [2] Scielo, «DETERMINANTES DEL PRECIO SPOT ELECTRICO,» 2017. [En línea]. Available: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-88702017000200003](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-88702017000200003).
- [3] Fao, «COSTOS DE PRODUCCION,» 2004. [En línea]. Available: [https://www.fao.org/3/v8490s/v8490s06.htm#4.2%20costos%20variables%20o%20directos. .](https://www.fao.org/3/v8490s/v8490s06.htm#4.2%20costos%20variables%20o%20directos.)
- [4] E. W. Ortega, «EL COSTO DEL kWh DE GENERACION,» 1998. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/12012/1/T1374.pdf>.
- [5] S. P, «Cálculo de los costos variables y fijos en centrales hidroeléctricas a partir de su mantenimiento,» 2018. [En línea]. Available: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2356091>.
- [6] CRE, «Propuesta de metodología para el análisis comparativo de eficiencia y productividad, y determinación de costos eficientes de operación y mantenimiento,» 2001. [En línea]. Available: [http://transparenciacre.westcentralus.cloudapp.azure.com/PNT/XLI/EST/SC0108/Informes\\_N\\_51\\_y\\_52\\_\(A\).pdf](http://transparenciacre.westcentralus.cloudapp.azure.com/PNT/XLI/EST/SC0108/Informes_N_51_y_52_(A).pdf).
- [7] V. A., «ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS PUNTOS DE REGULACIÓN DE PRESIÓN EN LA RED DE ABASTECIMIENTO A CARTAGENA,» [En línea]. Available: [https://www.upct.es/hidrom/publicaciones/Tesis\\_pfc/abastecimiento\\_a\\_Cartagena.pdf](https://www.upct.es/hidrom/publicaciones/Tesis_pfc/abastecimiento_a_Cartagena.pdf).
- [8] E. A., «COSTOS DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA REPÚBLICA ARGENTINA,» [En línea]. Available: [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/15278/07.costosdelageneracindeenerga.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/15278/07.costosdelageneracindeenerga.pdf).
- [9] B. V., «La energia y sus transformaciones,» 2015. [En línea]. Available: <https://slideplayer.es/slide/5631574/>.
- [10] U. Fenosa, «El recorrido de la energia,» 2000. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2019/05/recorrido-de-la-energia-energia-eolica.pdf>.
- [11] G. materialestic, «Esquema de funcionamiento de centrales,» 2012. [En línea]. Available: <http://materialestic.es/tecnologia/webs/centrales.electricas/capitulo8.html#5>.
- [12] A. Maria, «Técnicas de conversión de energía termosolar en eléctrica,» 2018. [En línea]. Available:

- [https://www.researchgate.net/publication/324759758\\_Tecnicas\\_de\\_conversion\\_de\\_energia\\_termosolar\\_en\\_electrica](https://www.researchgate.net/publication/324759758_Tecnicas_de_conversion_de_energia_termosolar_en_electrica).
- [13] D. Redondo, «Central fotovoltaica,» 2012. [En línea]. Available: <http://tecnologianivel2.blogspot.com/2012/05/como-funciona-una-central-solar.html>.
- [14] L. Agulló, «Situación actual de la energía nuclear. Un estudio relativo al proceso constructivo de centrales nucleares.,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fupcommons.upc.edu%2Fbitstream%2Fhandle%2F2099.1%2F15569%2FTesina.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&psig=AOvVaw2IZrKOHoW5IJZuzj3ALvKp&ust=1684332720895000&source=images&cd=vfe&ved=0CBEQjRxqFwoTCKjv272C-v4C>.
- [15] Endesa, «Centrales Nucleares,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-electricas-convencionales/que-es-la-radioactividad#:~:text=El%20funcionamiento%20de%20una%20central,el%20uranio%20o%20el%20plutonio..>
- [16] Enel, «Central geotermica,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-geotermica/central-geotermica>.
- [17] Q. R., «SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA,» 2016. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6096218.pdf>.
- [18] R. Ortiz, «Hidraulica Generacion de energia,» 2011. [En línea]. Available: [https://www.google.com.ec/books/edition/Hidr%C3%A1ulica\\_Generaci%C3%B3n\\_de\\_energ%C3%ADa/FTOjDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=centrales+hidroel%C3%A9ctricas+pdf&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Hidr%C3%A1ulica_Generaci%C3%B3n_de_energ%C3%ADa/FTOjDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=centrales+hidroel%C3%A9ctricas+pdf&printsec=frontcover).
- [19] E. Soria, «Energias renovables para todos,» 2015. [En línea]. Available: [https://www.energias-renovables.com/ficheroenergias/productos/pdf/cuaderno\\_HIDRAULICA.pdf](https://www.energias-renovables.com/ficheroenergias/productos/pdf/cuaderno_HIDRAULICA.pdf).
- [20] A. Valdivieso, «Central hidroelectrica,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-y-como-funciona-central-hidroelectrica>.
- [21] Kimerius, «Centrales hidroelectrica presas y elementos constitutivos,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.kimerius.com/app/download/5780662665/Centrales+hidroel%C3%A9ctricas.pdf>.
- [22] A. Amador, «Presas y su clasificacion,» 2016. [En línea]. Available: <https://masqueingenieria.com/blog/tipos-de-presas-y-su-clasificacion/>.
- [23] P. Fernandez, «Turbinas Hidraulicas,» 2014. [En línea]. Available: [chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/http://www.ing.una.py/pdf\\_material\\_apoyo/turbinas-hidraulicas.pdf](chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/turbinas-hidraulicas.pdf).

- [24] G. Aerotecnología, «Turbinas Hidraulicas,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>.
- [25] C. Paz, «Turbomaquinas hidraulicas,» 2019. [En línea]. Available: <https://secretaria.uvigo.gal/uv/web/publicaciones/public/catalogo/libro/documento/downloadbyhash/b83c349fe1e2c8487a798a7a526e6e741ec934d28acafc9dc38c5080e9268c59>.
- [26] U. d. Tucuman, «Centrales hidroelectricas,» 2021. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://catedras.facet.unt.edu.ar/centrales-hidroelectricas/wp-content/uploads/sites/19/2021/10/TP-7-Centrales-Hidraulicas-2021.pdf>.
- [27] CENACE, «Diagrama SNI Ecuador,» 2017. [En línea]. Available: <https://dokumen.tips/download/link/unifilar-sni-a-dic2017-ecuador>.
- [28] A. Valdivieso, «Caudal,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudal>.
- [29] ONUDI, «Energía Minihidraulica,» 2013. [En línea]. Available: [chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://oa.upm.es/29925/1/INVE\\_MEM\\_2013\\_136048.pdf](chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://oa.upm.es/29925/1/INVE_MEM_2013_136048.pdf).
- [30] J. Dolores, «Centrales Hidroelectricas,» 1999. [En línea]. Available: [chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclclefindmkaj/http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/1821/Centrales\\_hidroelectricas\\_BAJO\\_Azcapotzalco.pdf?sequence=1&isAllowed=y](chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclclefindmkaj/http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/1821/Centrales_hidroelectricas_BAJO_Azcapotzalco.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [31] D. P, «Establecimiento de los costos de generación hidroeléctrica,» 2003. [En línea]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/44605>.
- [32] C. R, «Utilidad en la Compañía de Economía Mixta Agroazuay GPA,» 2018. [En línea]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30451>.
- [33] Y. Reyes, «Clasificación de costos,» 2018. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://www.pucv.cl/uuaa/site/docs/20181123/20181123195708/apuntesdocenteclasificaciondecostosyr.pdf>.
- [34] O. F. a. Agriculture, «Costos de producción,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/3/v8490s/v8490s06.htm>.
- [35] ARCERNNR, «REGUTACIÓN Nro, ARCERNNR -004/20,» 2020. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/12/Res-ARCERNNR-024-2020.pdf>.
- [36] V. Vicardi, «CEC,» 2017. [En línea]. Available: [chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2019-05/2018-04-11\\_cec\\_adopts\\_energy\\_saving\\_spa\\_standards\\_nr\\_Spanish.pdf](chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://www.energy.ca.gov/sites/default/files/2019-05/2018-04-11_cec_adopts_energy_saving_spa_standards_nr_Spanish.pdf).

- [37] CEC, «Draft Staff Report,» 2007. [En línea]. Available: <https://www.healutah.org/wp-content/uploads/CEC-200-2007-011-SD.pdf>.
- [38] EIA, «Energy Information system,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.bnamericas.com/es/perfil-empresa/us-energy-information-administration>.
- [39] IRENA, RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2021, Abu Dhabi, 2022.
- [40] CFI, «Costo nivelado de energia,» 2020. [En línea]. Available: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/valuation/levelized-cost-of-energy-lcoe/>.
- [41] R. Yamile, «Costos para la generacion de energia electrica.,» 2017. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.revistaespacios.com/a17v38n26/a17v38n26p18.pdf>.
- [42] CNE, «Comision Nacional de nergia,» 2020. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/03/ICTG-Marzo-2020.pdf>.
- [43] M. R, «CAISO reformas,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.caiso.com/Documents/Presentation-Variable-Operations-Maintenance-Cost>.
- [44] COES, «Comision de operacion economica del sistema,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.coes.org.pe/Portal/MarcoNormativo/Procedimientos/Tecnicos>.
- [45] FERC, «Federal Energy Regulatory Commission,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.ferc.gov/electric>.
- [46] NREL, «Hydropower,» 2022. [En línea]. Available: [https://atb.nrel.gov/electricity/2022/hydropower#operation\\_and\\_maintenance\\_\(o&m\)](https://atb.nrel.gov/electricity/2022/hydropower#operation_and_maintenance_(o&m)).
- [47] J. Araujo, «Diseño y simulación de un sistema hydro para la generación de energía eléctrica en zonas rurales,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/5537/553768131016/html/>.
- [48] P. Cruz, «“METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL NÚMERO DE TURBINAS EN CENTRALES HIDROELÉCTRICAS,» 2016. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12499/METODOLOG%3%8DA%20PARA%20LA%20OPTIMIZACI%3%93N%20DEL%20N%3%9AMERO%20DE%20TURBINAS%20EN%20CENTRALES%20HIDROEL%3%89CTRICAS.pdf?sequence=1>.
- [49] T. Tringas, «Costo de nivel de energia,» 2011. [En línea]. Available: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.nrdc.org/sites/default/files/ene\\_11052401b.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.nrdc.org/sites/default/files/ene_11052401b.pdf).

- [50] F. Cardenas, «Eficiencia y eficacia,» 2018. [En línea]. Available: <https://blog.hubspot.es/sales/eficiencia-y-eficacia>.
- [51] ARCERNNR, «Las tarifas de energia electrica,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.rekursyenergia.gob.ec/las-tarifas-de-energia-electrica-no-se-incrementaran-en-el-2022/#:~:text=El%20Directorio%20de%20la%20Agencia,\(%C2%A2USD%2FkWh\)..](https://www.rekursyenergia.gob.ec/las-tarifas-de-energia-electrica-no-se-incrementaran-en-el-2022/#:~:text=El%20Directorio%20de%20la%20Agencia,(%C2%A2USD%2FkWh)..)

## 5 ANEXOS

### ANEXO I

**Tabla 5.1.** Datos técnicos y operativos para el cálculo de costos variables de producción en hidroeléctricas del Ecuador.

Nombre	Potencia [MW]	Tipo Turbina	X [\$/m <sup>3</sup> ]	Vol [m <sup>3</sup> ]	Y [kN/m <sup>3</sup> ]	Hn [m]	Qe [m <sup>3</sup> /s]	nt	t [h]	GB [MWh]	Gn [MWh]	CMG [\$/MWh]
Sopladora U1	162,3	Francis	0,0049	6439 004	9,81	361,9	50	0,9	720	242375	242253,813	33,6
Sopladora U2	162,3	Francis	0,0049	6439 004	9,81	361,9	50	0,9	720	242375	242253,813	33,6
Sopladora U3	162,3	Francis	0,0049	6439 004	9,81	361,9	50	0,9	720	242375	242253,813	33,6
CocaCodo U1	187,5	Pelton	0,0049	5510 204	9,81	609	37,6	0,8	720	60175	60156,9475	33,6
CocaCodo U2	187,5	Pelton	0,0049	5510 204	9,81	609	37,6	0,8	720	60175	60156,9475	33,6
CocaCodo U3	187,5	Pelton	0,0049	5510 204	9,81	609	37,6	0,8	720	60175	60156,9475	33,6
CocaCodo U4	187,5	Pelton	0,0049	5510 204	9,81	609	37,6	0,8	720	60175	60156,9475	33,6
CocaCodo U5	187,5	Pelton	0,0049	5510 204	9,81	609	37,6	0,8	720	60175	60156,9475	33,6
CocaCodo U6	187,5	Pelton	0,0049	5510 204	9,81	609	37,6	0,8	720	60175	60156,9475	33,6
CocaCodo U7	187,5	Pelton	0,0049	5510 204	9,81	609	37,6	0,8	720	60175	60156,9475	33,6
CocaCodo U8	187,5	Pelton	0,0049	5510 204	9,81	609	37,6	0,8	720	60175	60156,9475	33,6
SanFrancisco U1	106	Francis	0,0049	7008 980	9,81	213,4	58	0,9	720	76320	76266,576	33,6
SanFrancisco U2	106	Francis	0,0049	7008 980	9,81	213,4	58	0,9	720	76320	76266,576	33,6
Paute_U1	105	Pelton	0,0049	1697 143	9,81	110	112,5	0,87	720	75600	75547,08	33,6
Paute_U2	105	Pelton	0,0049	1697 143	9,81	110	112,5	0,87	720	75600	75547,08	33,6
Paute_U3	105	Pelton	0,0049	1697 143	9,81	110	112,5	0,87	720	75600	75547,08	33,6
Paute_U4	105	Pelton	0,0049	1697 143	9,81	110	112,5	0,87	720	75600	75547,08	33,6
Paute_U5	105	Pelton	0,0049	1697 143	9,81	110	112,5	0,87	720	75600	75547,08	33,6
Paute_U6	115	Pelton	0,0049	1858 776	9,81	110	112,5	0,9	720	82800	82766,88	33,6
Paute_U7	115	Pelton	0,0049	1858 776	9,81	110	112,5	0,9	720	82800	82766,88	33,6
Paute_U8	115	Pelton	0,0049	1858 776	9,81	110	112,5	0,9	720	82800	82766,88	33,6
Paute_U9	115	Pelton	0,0049	1858 776	9,81	110	112,5	0,9	720	82800	82766,88	33,6
Paute_U10	115	Pelton	0,0049	1858 776	9,81	110	112,5	0,9	720	82800	82766,88	33,6