



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD PROFESIONAL ADOLFO LÓPEZ MATEOS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**CÁLCULO Y SELECCIÓN DE UNA MICRO CENTRAL
HIDROELÉCTRICA EMPLEANDO COMO FLUIDO DE
TRABAJO UN SISTEMA DE RIEGO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTA

DAVID GONZÁLEZ GARCÍA

ASESOR: M. EN C. RENÉ TOLENTINO ESLAVA

ASESOR: M. EN C. GUILIBALDO TOLENTINO ESLAVA



MÉXICO, D.F.

Agosto 2014

AGRADECIMIENTO

A mi madre, por ser un símbolo de constancia y paciencia en todo momento, que me ha demostrado que para el camino hacia la meta se requiere dedicación y esfuerzo.

A mi padre, que me ha demostrado que para cumplir un objetivo se requiere de fortaleza y coraje para vencer cualquier miedo.

A mi hermano, el incondicional abrazo que me motiva y recuerda que detrás de cada detalle existe siempre una posibilidad de empezar algo nuevo.

A mis familiares, mi novia y viejos amigos quienes se sumaron a mi vida para hacerme compañía con sus sonrisas de ánimo y su apoyo incondicional.

Al Instituto Politécnico Nacional y a sus profesores por heredarme el conocimiento, la destreza y la sabiduría para saber cómo afrontar los problemas.

Un agradecimiento especial a los M. en C. Guilibaldo Tolentino Eslava y René Tolentino Eslava, que como asesores de la tesis, me han orientado, apoyado y corregido en mi labor académica.

DEDICATORIA

Con todo mi cariño y amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y brindarme su apoyo incondicional cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y agradecimiento.

A mi madre Antonia García Pacheco

A mi padre Dagoberto González Aguilar

A mi Hermano Manuel Alejandro González García

INDICE

	Pag.
RELACIÓN DE FIGURAS	iii
RELACIÓN DE TABLAS	v
RESUMEN	vi
INTRODUCCION	vii
1. GENERALIDADES DE LA MICRO GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA	
1.1 Generación de Energía Eléctrica	3
1.2 Central Hidroeléctrica	5
1.3 Micro Generación Hidroeléctrica a Nivel Mundial	8
1.4 Micro Generación Hidroeléctrica en México	11
2. SISTEMAS DE MICRO GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA	
2.1 Tipos de Sistemas de Micro Generación	18
2.1.1 Sistema de Derivación	18
2.1.2 Sistema de Embalse	20
2.1.3 Sistema de Canal de Riego	22
2.2 Obras Civiles e Hidráulicas.	23
2.2.1 Azud	23
2.2.2 Toma de Agua	24
2.2.3 Canales, Túneles y Tuberías	27
2.2.4 Cámara de Carga	28
2.2.5 Tubería Forzada	28
2.2.6 Casa de Máquinas	28

2.3	Equipo Electro-Mecánico de la Micro Central	29
2.3.1	Turbinas Hidráulicas	29
2.3.2	Alternadores	39
2.3.3	Transformador	41
2.3.4	Elementos de Regulación y Control	42
3.	CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LA MICRO CENTRAL	
3.1	Canal de Riego	45
3.2	Salto Neto	49
3.3	Determinación del Caudal	50
3.4	Potencia a Instalar	53
3.5	Selección de Turbina y Equipo	57
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	
4.1	Utilización de la Energía	62
4.2	Costo del Equipo	63
4.3	Aspectos Económicos	66
	CONCLUSIONES	68
	BIBLIOGRAFÍA	69

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1.1 Turbina Eólica [1].....	3
Figura 1.2 Alternador [1].....	4
Figura 1.3 Central Hidroeléctrica con Regulación de Caudal [1].....	6
Figura 1.4 Central Hidroeléctrica de Bombeo [1].....	6
Figura 1.4 Central Hidroeléctrica de Agua Fluyente [1].....	7
Figura 2.1. Micro Central Hidráulica de Derivación [2].....	19
Figura 2.2. Central Hidráulica de Embalse [2].....	20
Figura 2.3. Canales de Riego [11].....	22
Figura 2.4. Azud de Roca Suelta [3].....	24
Figura 2.5. Azud de Gaviones [3].....	24
Figura 2.6. Aprovechamiento en Montaña [3].....	25
Figura 2.7. Toma de Agua en Torre [3].....	26
Figura 2.8. Desagüe de Fondo [3].....	27
Figura 2.9 Turbina Pelton [9].....	30
Figura 2.10 Turbina de Flujo Cruzado [9].....	31
Figura 2.11. Turbina Turgo [9].....	32
Figura 2.12 Turbina Francis en Canal Abierto [9].....	34
Figura 2.13 Turbina Francis en Espiral [9].....	35
Figura 2.14 Turbina Hélice [9].....	35
Figura 2.15 Turbina Tipo Tubular [2].....	37
Figura 2.16 Turbina Tipo Tubular de Baja Potencia [2].....	37
Figura 2.17 Turbina Tipo Bulbo [2].....	38

Figura 2.18 Turbina Tipo Bulbo con Sifón [2].....	38
Figura 3.1 Zonas de Riego en el Valle del Mezquital [12].....	47
Figura 3.2 Sistema Principal de Drenaje del Valle de México [6].....	48
Figura 4.1 Turbinas de Eje Horizontal [15].....	64
Figura 4.2 Turbina Tubular Vertical [15].....	65

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1.1. Diversas Clasificaciones de Potencias por países [4].....	12
Tabla 3.1. Valle del Mezquital [12].....	46
Tabla 3.2 Valores de Salto y Potencia [14].....	49
Tabla 3.3 Resultados de Energía Calculada.....	57
Tabla 3.4 Características de las Turbinas [16].....	58
Tabla 3.5 Eficiencia de las Turbinas [2].....	59
Tabla 4.1 Precios de la Turbina Banki-Michell [16].....	63
Tabla 4.2 Precios de Micros Centrales del Fabricante FH Solar & Led Energías Renovables [15].....	63
Tabla 4.3 Distribución Porcentual de una Micro Central [8].....	66

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la propuesta del cálculo y selección de una Micro Central Hidroeléctrica, trabajando con el flujo de un sistema de riego proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales en la región del Valle del Mezquital. Para aprovechar la energía presente en el entorno con la finalidad de generar energía eléctrica.

Se tomaron valores recomendados de altura de salto y una potencia aproximada generada a esa altura, datos con los que se determinó el caudal necesario en el sistema para cada una de las situaciones que iban desde una vivienda hasta una comunidad y/o industria. La energía producida en un lapso de 24 horas y una eficiencia del sistema de 0.66 iba desde los 6.192 kWh para una vivienda hasta los 1864.56 kWh para una comunidad o industria.

Con base al cálculo de energía se hizo una aproximación de las viviendas beneficiadas con el servicio, que para el caso de la comunidad iba desde abastecer 11 casas hasta 388 en el último caso. Las turbinas seleccionadas mediante el cálculo fueron Banki-Michell y Kaplan, pero teniendo en cuenta un catálogo de la empresa FH Solar & Led se eligieron micro centrales trabajando con turbinas de tipo tubular.

La implementación de micro centrales hidroeléctricas en pequeños aprovechamientos de agua, representan una fuente alterna de energía que ofrece excelentes posibilidades de desarrollo local así como la reducción de la utilización de combustibles fósiles.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la energía hidráulica es la mejor energía renovable al momento de contribuir a la producción de la energía eléctrica. Además cuenta con la característica de ser de las principales fuentes de energía primaria después de los combustibles fósiles y la energía nuclear.

En México el potencial hidroeléctrico solo produce poco menos de la cuarta parte de la energía eléctrica requerida. Sabiendo que el país cuenta con los recursos necesarios para incrementar este porcentaje no se ha explotado como debiera, pero aún así actualmente son las centrales más importantes en conjunto con las térmicas y las nucleares.

En relación a datos estadísticos presentados por la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) en México, el potencial hidroeléctrico es de 53 000 MW. Actualmente según información de la SENER (Secretaría de Energía), muestra que actualmente nuestro país cuenta con capacidad instalada de 50 727.680 MW, de la cual el 22.25% son producidos en centrales hidroeléctricas.

La generación de energía con una Micro Planta de Generación Hidroeléctrica, con potencias menores a 1 MW, constituye una buena alternativa para la solución del problema presente en el suministro de energía eléctrica en regiones aisladas de acuerdo a su demanda, siendo así una de las bases principales para la electrificación rural. Sin embargo también existen poblados no tan alejados de las grandes urbes que sufren de igual forma cierta irregularidad en el suministro de energía eléctrica.

En México la población rural sufre efectos negativos a nivel de la producción y la calidad de vida, ya que este sector en su mayoría es el que se dedica a la agricultura y ganadería. En ese sector de la población se debe poner a disposición información acerca de alternativas confiables y de costo bajo de generación eléctrica.

Para el cálculo y selección de la Micro Central Hidroeléctrica, se contemplaron a los poblados cercanos a los sistemas de riego provenientes de las salidas a los ríos que tendrá la Planta de Tratamientos Residuales Atotonilco. El Canal Salto Tlamaco para riego agrícola y el Río Salto, del cual se derivan algunos canales de riego, en particular el Canal Viejo Requena, ubicados en el estado de Hidalgo cerca del Valle del Mezquital.

El objetivo de este trabajo es calcular y seleccionar una Micro Central Hidroeléctrica empleando como fluido de trabajo un sistema de riego proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales. Para alcanzar el objetivo de ésta tesis, se presentan 4 capítulos como a continuación se menciona:

En el capítulo 1 describe que es una hidroeléctrica, las clases de centrales así como su división por potencia generada, en específico la micro generación. Los intervalos de generación de energía eléctrica y antecedentes de la micro generación en el mundo y México.

En el capítulo 2 se explican los sistemas de micro hidrogeneración así como todos los componentes o elementos principales del sistema. Obras civiles, equipo electromecánico y sistemas auxiliares.

En el capítulo 3 se encuentra la información del sitio, los cálculos y criterios utilizados para la selección del equipo de la Micro Central Hidroeléctrica, como son: salto neto, caudal y potencia a instalar.

En el capítulo 4 se explica mediante comparaciones la aplicación de una Micro Central Hidráulica en la región del Valle del Mezquital, cotizaciones de Micro Centrales así como algunos beneficios que presenta este tipo de energía renovable.

Finalmente se muestran las conclusiones obtenidas en el desarrollo de ésta tesis.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LA MICRO GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

La micro generación hidroeléctrica juega un papel importante en el desarrollo de zonas rurales y de zonas no interconectadas al Sistema Eléctrico Nacional. Por lo tanto, para cumplir con la necesidad de energía eléctrica se encuentra en posibilidades de utilizar recursos hidroenergéticos en pequeña escala, los cuales tienen un impacto ambiental positivo, son compatibles con acueductos de agua potable y riego, entre otros.

Normalmente las potencias de los equipos para la micro generación no se ajustan a las condiciones del caudal y altura del lugar. Es por esto que se han realizado estudios que en este tipo de generación a escala se utilice la aplicación de bombas centrífugas en modo turbina, ya que son máquinas hidráulicas reversibles. De igual forma trabajar con tuberías y juegos de válvulas para adecuar las condiciones del caudal, o si se cuenta con una red de abastecimiento de agua potable la solución sería instalar micro turbinas en ese sistema. Con ello se puede observar que existen sistemas o ejemplos que sirven de ayuda para el diseño de micro plantas hidroeléctricas.

Estas micro centrales sus potencias comprenden desde 1kW hasta 100 kW, lo cual puede proporcionar la electricidad suficiente para cumplir con la demanda de aproximadamente 100 hogares. Estas centrales no solo servirían para abastecer una localidad, de igual forma alguna pequeña empresa [3].

1.1.1 Generación de Energía Eléctrica

La generación de electricidad es realizada dentro de Centrales Eléctricas. En ellas se realiza la transformación de la energía del sol, del viento, del agua ó de los gases producidos por la quema de combustibles en energía eléctrica.

Las Centrales Eléctricas utilizan grupos de turbina-alternador para producir electricidad:

- Las turbinas están constituidas por un eje giratorio y unas aspas o álabes que son impulsadas por la fuerza de corrientes de agua, vapor o gas. El sistema de álabes en un aerogenerador eólico también es una turbina (Figura 1.1).

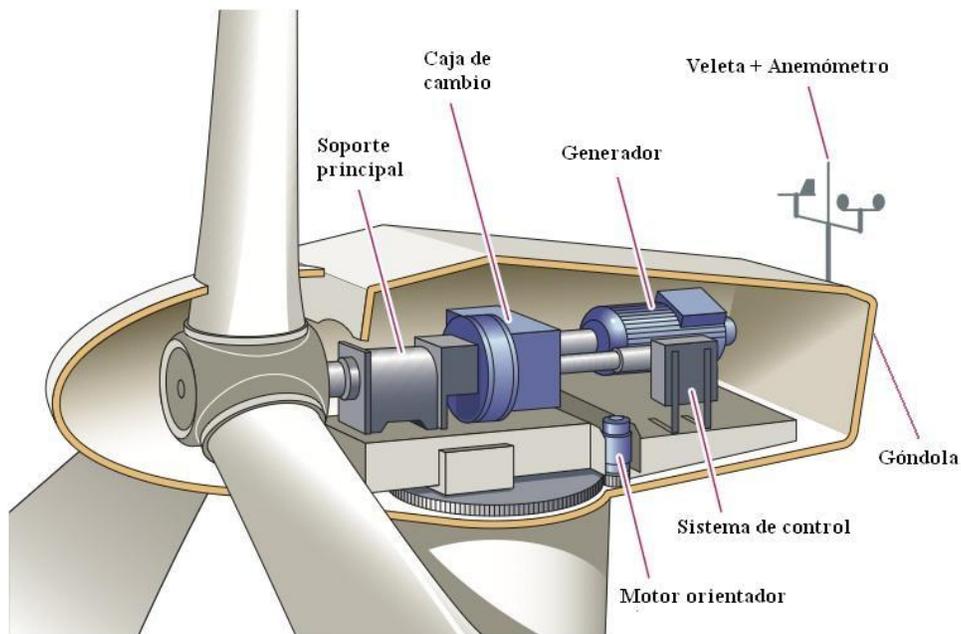


Figura 1.1 Turbina Eólica [1].

- El alternador es una máquina que su principio de funcionamiento se basa en el efecto electromagnético (Figura 1.2), si un conductor eléctrico se mueve en las proximidades de un campo magnético o si el conductor es expuesto a un campo magnético variable, se genera una diferencia de potencial.

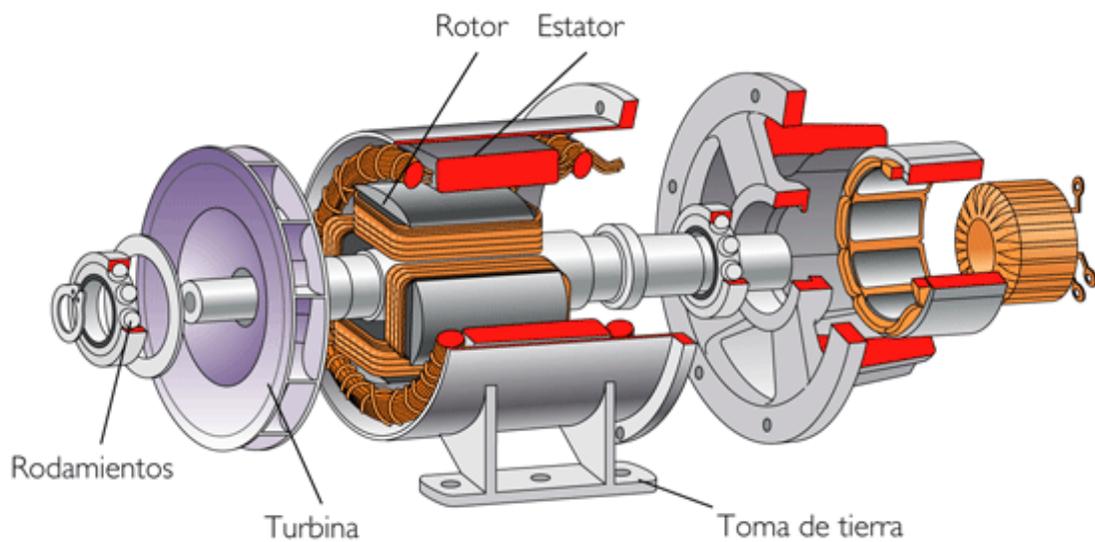


Figura 1.2 Alternador [1].

1.1.2 Central Hidroeléctrica

La energía de estas centrales proviene de la conversión de la energía potencial que se encuentra acumulada en el agua al existir una diferencia de altura entre el nivel superficial y la base de la presa donde se encuentra ubicada la central. El agua almacenada se hace pasar por unos conductos transformando así la energía potencial en energía cinética con la que el agua consigue alcanzar velocidades muy grandes para ser capaz de mover las turbinas que se encuentran situadas en la presa [1].

Las turbinas de la central tendrán un tamaño que dependerán del caudal al que vayan a ser expuestas y del agua que la presa sea capaz de hacer pasar por los conductos para hacerlas girar. De acuerdo al tamaño de las turbinas, al estar conectadas a un generador serán capaces de producir cierta cantidad de energía. Los diferentes tipos de clase de estas centrales se describen a continuación.

- Centrales de regulación de caudal (Figura 1.3). Disponen de un embalse que se encarga de almacenar cierta cantidad de agua y el caudal se elige a voluntad. Pueden generar electricidad todo el año, incluso en temporada seca, salvo que se agote el agua embalsada. Su estructura las convierte en centrales costosas aunque el kWh producido suele resultar con un costo menor.

Las centrales a pie de presa cuentan con desniveles de tamaño mediano y las centrales con derivación con grandes desniveles por uso de una tubería forzada [1].

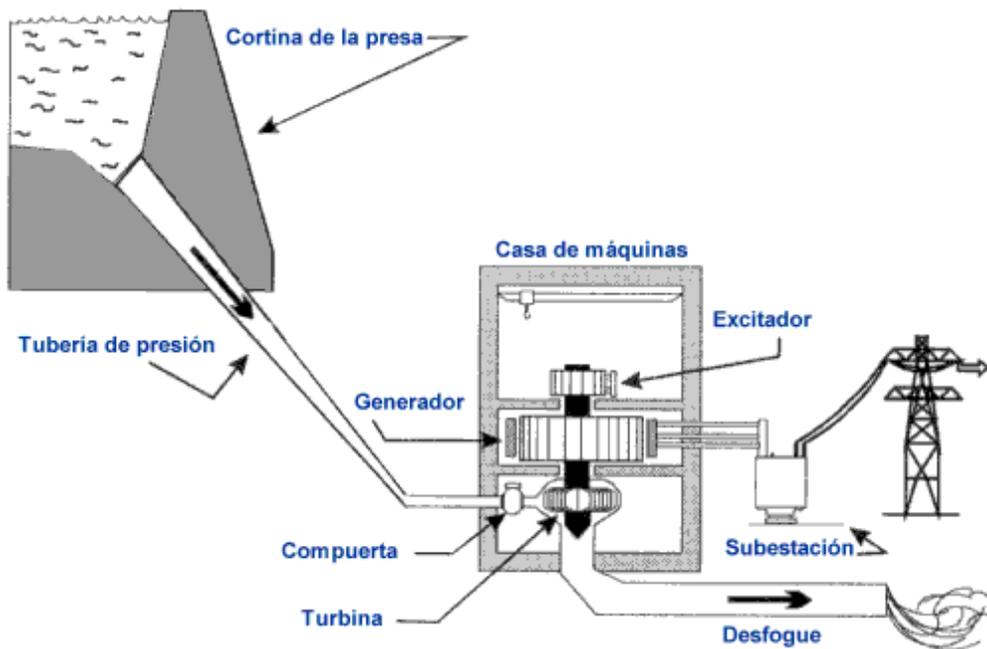


Figura 1.3 Central Hidroeléctrica con Regulación de Caudal [1].

- Centrales de Bombeo (Figura 1.4). Disponen de un par de embalses a distinto nivel, lo que permite turbinar del alto al bajo y bombear del bajo al alto. Es un sistema de almacenamiento y suelen recibir el nombre de sistemas reversibles [1].

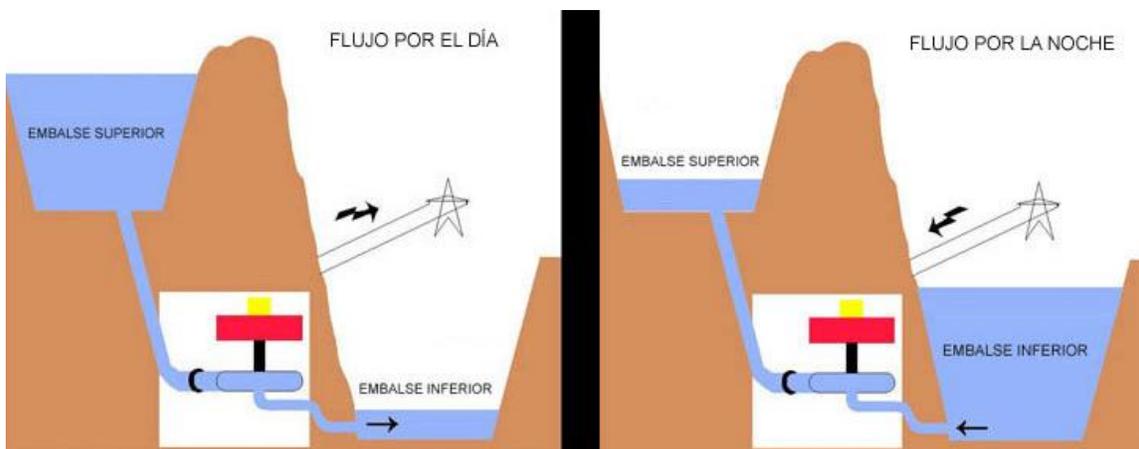


Figura 1.4 Central Hidroeléctrica de Bombeo [1].

- Central de agua fluyente (Figura 1.5). Se acepta el caudal tal cual viene, puede tener un embalsamiento pequeño o se desvíe parte del agua mediante una toma, a través de canales o conducciones hasta llegar a la central donde será turbinada. Una vez obtenida la energía eléctrica el agua desviada es devuelta nuevamente al cauce del río. Éstas centrales dependen de la hidrología del sitio porque no regulan el caudal turbinado que es variable, y en ocasiones se necesita de una pequeña presa.



Figura 1.5 Central Hidroeléctrica de Agua Fluyente [1].

1.1.3 Micro generación Hidroeléctrica a Nivel Mundial

En las centrales hidroeléctricas pequeñas, aún no existe una clasificación mundialmente aceptada respecto a sus nombres e intervalos de potencia. En algunos lugares una “central pequeña” puede ser aquella cuya potencia instalada no sobrepase los 10 MW, en unos casos esta denominación se utiliza para centrales que van de un orden de los 2 MW a los 5 MW. Otras denominaciones empleadas son “mini” y “micro” centrales, designando las que tienen 1 MW o menos de potencia [2].

Reportes específicos de micro generación en el mundo no existen como para la mini generación [2], pero hay proyectos en distintos países de todo el mundo que plantean la utilización de micro centrales hidroeléctricas para solucionar problemas de sitios alejados o con problemas para transportar la energía. Otros lo ven también con el propósito de aprovechar los caudales que están alrededor y del cual su energía se ve desaprovechada.

En muchos países hay una necesidad creciente de suministro de energía para las áreas rurales, tanto para lograr un buen abastecimiento de electricidad como para el apoyo a la industria y las autoridades gubernamentales que se enfrentan a elevados costos en la extensión de redes de electricidad. Con frecuencia la generación hidroeléctrica a escala constituye una alternativa económica a la red, pues en este caso si se instalará una micro central hidroeléctrica independiente se ahorra el costo de las líneas de transmisión y con un equipo no tan elevado en precios como si se tratará de los que existen ya instalados en la red eléctrica [2].

Las energías renovables representan un sector importante de la industria y la economía española, por ser uno de los más dinámicos e innovadores, además de ser el sector que mayor número de nuevas empresas crea al año en países como España. Conforme a la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico se realizó y aprobó el Plan de Energías Renovables 2005-2010, que fija como objetivo que el 12% de la energía primaria 30.3% de generación eléctrica con renovables y 5.83% de biocarburantes en transporte— sea de origen renovable en el año 2010.

En el área de la energía hidroeléctrica se establece un incremento de potencia de 450 MW para centrales menores de 10 MW y de 360 MW para centrales entre 10 y 50 MW de potencia instalada. En el año 2004 la energía obtenida en España a través de centrales de potencia inferior a 10 MW sufrió un incremento con la puesta en marcha de 45.1 MW. A pesar de que esta energía crece cada año, lo hace a un ritmo inferior al necesario para poder alcanzar los objetivos del Plan de Energías Renovables 2005-2010.

Los avances tecnológicos permiten obtener energía eléctrica en cursos de agua de características muy diversas, además de resultar igualmente interesante la rehabilitación y/o ampliación de pequeñas centrales ya existentes. Se estima que en España el potencial virgen para la obtención de energía eléctrica a través de las mini centrales hidroeléctricas asciende aproximadamente a 1000 MW.

El nuevo marco en el que se desarrolla la política energética nacional y comunitaria se caracteriza por la liberalización de mercados, la protección del medio ambiente y la eficiencia energética y el ahorro. Alcanzar los objetivos marcados en los planes energéticos nacionales y en los compromisos internacionales es una tarea que compete igualmente a los responsables políticos, al sector empresarial y a la ciudadanía [8].

Esto ocurre en España, aunque a pesar de que las micro centrales hidroeléctricas fueron utilizadas en Europa y los Estados Unidos de América desde finales del siglo XIX, la mayoría fueron abandonadas pero su potencial es reconocido ahora. Alemania tiene muchas plantas establecidas a lo largo de ríos pequeños, por lo general en sitios en los que se utilizaban anteriormente para molinos de agua.

Los propietarios de sitios antiguos de molinos de agua en el Reino Unido están empezando a ver las posibilidades de los sistemas de micro generación, y un número creciente están siendo instalados para la producción de electricidad local. La ventaja que presentan es que ya tienen obras civiles que pueden ser modificadas para su uso con turbinas. La mayoría de las micro centrales en los países desarrollados están conectadas a la red.

En los países en desarrollo los principales programas de micro centrales se encuentran en los países montañosos como Nepal y otros países en la cordillera del Himalaya. En América del Sur, se encuentran micro centrales a lo largo de los Andes, como Perú y Bolivia.

Otros programas se han establecido en las zonas montañosas de Sri Lanka, Filipinas, China y otras partes del mundo. La mayoría de los sistemas suministran electricidad a una pequeña ciudad o pueblo.

1.1.4 Micro generación Hidroeléctrica en México

Existe la necesidad de conocer con certeza el potencial denominado “pequeño”, “mini o micro hidráulico” con que cuenta el País con el objeto de proceder a su desarrollo o explotación. Al parecer en México solo se ha desarrollado un poco más del 2 % de dicho potencial. Se sabe que en otros países en los últimos diez años, se ha logrado un acelerado desarrollo de esta fuente energética con resultados satisfactorios.

El uso de la energía hidráulica en escala pequeña es posible tanto para el auto abasto industrial como para actividades productivas en el medio rural. En los últimos 25 años se han hecho algunas estimaciones y estudios de dicho potencial por diversos organismos como son el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) ó la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) [4].

Las centrales hidroeléctricas se clasifican de diferentes formas. La CONAE [4] utilizó en 1994 la siguiente clasificación para definir a este tipo de las centrales:

- Micro Hidroeléctricas $< 1 \text{ MW}$
- Mini Hidroeléctricas $1 < \text{MW} < 5$
- Pequeñas Hidroeléctricas $5 < \text{MW} < 30$

Si se revisan las diversas definiciones recientes que utilizan algunos países (Tabla 1.1), se encontrará que varían los límites y que como lo establece la CONAE, no existe una definición universal al respecto. Con base en proyectos desarrollados en nuestro País o en otras partes del mundo en las últimas décadas, se propone modificar los intervalos utilizados por CONAE para hacerlos más flexibles y más cercanos a las diferentes tecnologías y usos finales de la energía [4].

Tabla 1.1. Diversas clasificaciones de Potencias por países [4].

País	Micro (kW)	Mini (kW)	Pequeña (MW)
Estados Unidos de América.	< 100	100 – 1000	1 a 30
China	-	< 500	0.5 - 25
USSR	< 100	-	0.1 - 30
Francia	5 a 5000	-	
India	< 100	101 – 1000	1 a 15
Brasil	< 100	100 – 1000	1 a 30
Noruega.	< 100	100 – 1000	1 - 10

Los nuevos límites propuestos mundialmente son los siguientes:

- Las Micro Hidroeléctricas se desarrollan por lo regular para la conversión a energía mecánica en el medio rural.
- Micro Hidroeléctricas < 100 kW
- Las Mini Hidroeléctricas se desarrollan para la conversión a energía mecánica y/o eléctrica. Por lo general operan en red aislada.
- Mini Hidroeléctricas 100 < kW < 1,000
- Las pequeñas centrales se desarrollan para la conversión a energía eléctrica para auto abasto y están interconectadas a la red pública.
- Pequeñas Hidroeléctricas 1 < MW < 30

La CFE al dedicarse al desarrollo de las grandes centrales hidroeléctricas del país, suspendió los estudios de las pequeñas hidroeléctricas que se habían localizado en estados como Veracruz, Oaxaca, Guerrero y Chiapas. Con las modificaciones a la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica en 1992 se hace necesario retomar la estimación del pequeño, mini o micro potencial hidroenergético para su explotación por particulares, comunidades rurales o instituciones diferentes a la CFE [4].

Zona de Veracruz – Puebla 1995.

La CONAE ordenó a fines de 1994, la realización del denominado “*Estudio de la situación actual de la mini hidráulica nacional y potencial en una región de los Estados de Veracruz y Puebla*” [6]. El documento quedó terminado en 1995. El área estudiada cubre $26\,376\text{ km}^2$ y representa el 37% del total del Estado de Veracruz. Los seis ríos principales son: Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Bobos -Nautla, Actopan y La Antigua. Estos tienen en total 57 afluentes o ríos tributarios en donde se localizaron los sitios potenciales [4].

Se localizaron 100 sitios en total. La potencia media de ellos es de 400 MW, por lo que se tiene una potencia media promedio de 4 MW por sitio. La mayoría de los sitios aprovecha una caída o desnivel topográfico de 100 m y en ningún caso se almacena agua en la presa derivadora; por lo que todas las centrales son del tipo “al hilo del agua”. El “gasto a instalar” aquel que pueden admitir las turbinas se consideró, en primera instancia, como el “gasto medio en el río”. De ahí que la potencia reportada sea la “potencia media” y no la “potencia instalada” [4].

En el estudio mencionado, se realizó la evaluación económica de cada sitio, calculando los siguientes parámetros:

- Costo unitario de inversión en centavos de USD / kWh
- Relación beneficio / costo (B/C)
- Tiempo de recuperación de la inversión

El resultado indica que al menos 62 sitios son viables con una potencia media total de 364 MW [4].

Zona de Orizaba – Xalapa, Veracruz 2003.

En forma similar al estudio del año 1995, se estudió la cuenca de los ríos Blanco, Jamapa y Pescados para identificar o revisar sitios potenciales. Se logró determinar entre otras cosas, las dimensiones económicas de cada sitio estudiado en cuanto al gasto o caudal que conviene instalar, el presupuesto de la obra así como la potencia económica a instalar en el o los generadores en cuestión.

Cabe mencionar que además de los sitios nuevos posibles, se estudió la posibilidad de rehabilitar nueve pequeñas plantas hidroeléctricas en la zona de Orizaba que datan la mayoría de los años 50 con una potencia instalada de 25 MW e incluso aumentar en 8 MW la potencia instalada actual por medio del incremento del gasto aprovechable del río Blanco [4].

Zona de Zongolica, Veracruz 2004.

Se llevó a cabo otro estudio para identificar sitios con potencial mini y micro hidráulico en la zona de Zongolica, en el estado de Veracruz. A lo largo del proyecto se trabajó coordinadamente con la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la Comisión para el Desarrollo de Pueblos Indios (CDI) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Se realizaron trabajos de campo y gabinete. La zona es rica en precipitación pluvial. Se estudiaron los dos afluentes principales de la cuenca alta del río Tonto, los ríos Apatlahuaya y Moyotepec [4].

La zona está identificada como una región con buena cobertura del servicio de energía eléctrica aunque en algunos casos, existe la red eléctrica, debido a la dispersión de viviendas, se carece parcialmente del servicio eléctrico. Hay también el caso de comunidades que no cuentan con energía eléctrica porque la red pasa lejos de donde se encuentran. Tal es el caso de una pequeña comunidad indígena conocida como El Pericón, la cual no tiene servicio eléctrico pero cuenta con el recurso micro hidráulico para dotar de energía a sus 40 habitantes.

Si se considera el criterio de que en el medio rural se requieren 30 W por habitante, en El Pericón se requieren 1200 W. Asimismo, si se considera una tasa de natalidad de 5% anual, las necesidades a diez años crecerán a 1954 W, por lo que, en principio, con una micro central de 3 kW es suficiente para cubrir las necesidades de los habitantes de la comunidad [4].

Con esta información proporcionada es claro que en nuestro País existe una falta de evaluación del potencial nacional pequeño, mini y micro hidroenergético. Son muy pocos los lugares en los que se ha realizado el estudio, y eso solo tomando en cuenta cuencas de ríos [4].

CAPÍTULO II

SISTEMAS DE MICRO GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

Una Micro Central Hidroeléctrica no es una central convencional a escala reducida. Sus componentes difieren entre una y otra, la turbina tiene un diseño distinto principalmente en el tamaño, la obra civil cambia, en una micro central hidroeléctrica se necesita de tomas de agua, tuberías, tuberías forzadas, una presa pequeña o simplemente la desviación de cauce de un río. En una central convencional la obra civil y el impacto ambiental que tiene es en cierta forma negativo.

La Micro Generación aplica en poblados rurales donde la mayoría de la gente no utiliza máquinas complejas, o para alimentar pequeñas industrias [2]. El mantenimiento de este tipo de Centrales es mínimo, es flexible en su operación, da beneficios adicionales a la comunidad, no contamina y no modifica en medida grande el medio ambiente [10].

Se tiene un caudal adecuado y un desnivel o caída apropiada, el fluido puede ser guiado mediante una tubería directamente hacia una turbina, logrando así un movimiento el cual es aprovechado para la generación de energía mecánica y posteriormente transfiriendo esa energía a un generador para lograr la generación de energía eléctrica.

2.1. Tipos de Sistemas de Micro Generación

Los sistemas de Micro Generación cumplen con diferentes cualidades y especificaciones, ya que dependerá de las condiciones que ofrecen el terreno o el medio. Por lo tanto en primera instancia se debe tomar en cuenta cual es la forma en la cual se almacena el recurso, ya que en ello dependerá la obra civil a realizar principalmente.

2.1.1. Sistema de Derivación

Un sistema de derivación es aquel que no detiene al caudal del río sino que desvía parte del caudal a un canal y a una tubería y luego hacia una turbina. La gran mayoría de los sistemas de micro generación hidráulica son del tipo de derivación.

La desventaja de este sistema es que no se puede almacenar de una estación de lluvias a una estación seca del año. La ventaja es que el sistema se puede construir localmente a un costo bajo y su simplicidad proporciona una mejor confiabilidad a largo plazo [2].

Dependiendo donde se sitúe la central será necesaria la construcción de todos o solamente algunos de los elementos que se mencionan a continuación:

- Azud.
- Toma.
- Canal de Derivación.
- Cámara de Carga.
- Tubería Forzada.
- Casa de Fuerza.
- Canal de Descarga.
- Subestación y Líneas de Distribución.

En este tipo de sistemas de derivación se colocan baterías, las cuales se cargan cuando el recurso está disponible en exceso, y entregan energía de acuerdo a su capacidad en los momentos en que el recurso no está disponible en la cantidad demandada. Todos estos componentes van dentro de un local llamado en ocasiones como casa de fuerza o casa de máquinas como se muestra en la Figura 2.1.

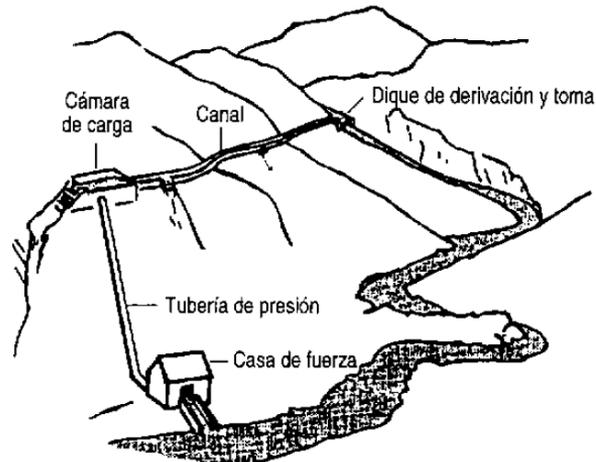


Figura 2.1. Micro Central Hidráulica de Derivación [2].

Una característica del sistema es que dependen directamente de la hidrología, ya que no tienen capacidad de regulación del caudal turbinado y este puede ser muy variable. En algunos casos se construye una presa en la toma de agua para elevar el plano de ésta y así facilitar su entrada al canal o a la tubería de derivación. El agua desviada se conduce a la cámara de carga y de ahí sale a la tubería de presión que es la que conduce el agua al punto más bajo de la central para que sea turbinada [2].

Para evitar pérdidas los conductos por los que circula el agua desviada se construyen con una pequeña pendiente, logrando que la velocidad de circulación del agua sea baja, puesto que la pérdida de carga es proporcional al cuadrado de la velocidad. Esto provoca que en ciertos casos, dependiendo de la orografía, la solución sea construir un túnel, acortando el recorrido horizontal [8].

Otros casos que se incluyen en estos sistemas, siempre y cuando no exista regulación del caudal turbinado, son aquellas centrales que se sitúan en el curso de algún río en el que se ha ganado altura mediante la construcción de una azud, sin necesidad del canal de derivación, cámara de carga ni tubería forzada.

2.1.2. Sistema de Embalse

Un sistema de embalse hace uso de un dique para detener el caudal del río, formándose una represa desde donde fluye el agua hacia las turbinas cuando se necesita energía (Figura 2.2.). La ventaja de éste método es que el agua puede acumularse durante la estación de lluvias y luego generar potencia durante los periodos secos del año [2].

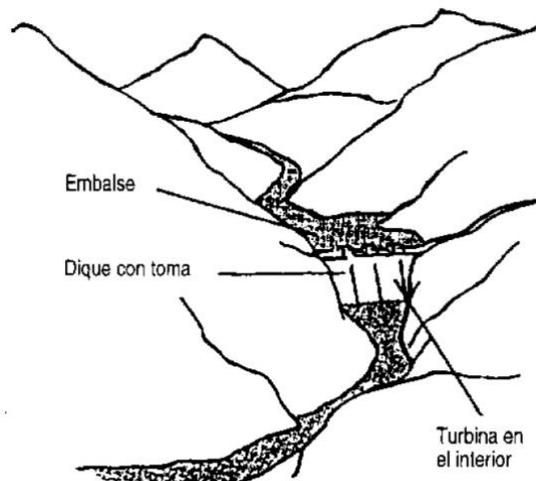


Figura 2.2. Central Hidráulica de Embalse [2].

La característica principal de este tipo de sistemas es que pueden regular los caudales de salida de agua, que será turbinada en los momentos que se necesite. Esta capacidad de controlar el volumen de producción se emplea en general para proporcionar energía durante las horas punta de consumo [8].

La toma de agua de la central está ubicada en la zona útil, que contiene el total de agua que puede ser turbinada. Debajo de la toma se encuentra la llamada zona muerta, que simplemente se encarga de almacenar agua no útil para turbinar.

Según la capacidad de agua que tenga la zona útil la regulación puede darse de forma horaria, diaria o incluso semanal. En las Micro Centrales el volumen almacenado suele ser pequeño, permitiendo producir energía durante algunas horas en el día, y llenando el embalse de noche [8].

Dentro de este sistema también se incluyen aquellas centrales situadas en embalses destinados a distintos usos, como riegos o abastecimiento de agua a algunos poblados de la zona. Dependiendo de los fines con que fue creada la presa, se turbinan los caudales excedentes, los desembalsados para riegos o abastecimientos, e incluso aquellos caudales ecológicos.

Las obras e instalaciones necesarias para construir este tipo de sistema al pie de una presa ya existente son:

- Adaptación o construcción de las conducciones de la presa a la central.
- Toma de agua con compuerta y reja.
- Tubería forzada hasta el lugar de la central.
- Casa de máquinas.
- Subestación y líneas de distribución.

Los sistemas de embalse con diques tienen la desventaja de ser más costosos. En ellos se pueden encontrar problemas serios, un ejemplo es, los reservorios se pueden llenar de sedimento después del transcurrir del tiempo. Cuando se necesita realizar la limpieza del dragado del reservorio, resulta tener un costo muy elevado, y el sistema genera menos energía que la esperada [2].

2.1.3. Sistema de Canal de Riego

Para este sistema de generación se tienen principalmente 2 tipos de centrales:

- Aquellas que utilizan las características propias del canal sin modificar en cantidad grande las condiciones presentes. Utilizan el desnivel existente y mediante la instalación de una tubería forzada, junto a la vía rápida del canal se conduce el agua hasta la central, regresándola después a su curso normal dentro del canal. Un ejemplo de un sistema de riego se muestra en la figura 2.3.
- Existen también aquellas que aprovechan el desnivel que existe entre el canal y la dirección de algún río cercano. En este caso la central es instalada cerca del río y las aguas excedentes son turbinadas hacia el canal. En este sistema es necesario realizar obras civiles como es una toma en el canal, con un aliviadero y acoplar una tubería forzada [1].



Figura 2.3. Canales de Riego [11].

Las obras que hay que realizar en este tipo de sistemas son las siguientes:

- Toma en el canal con un aliviadero que normalmente es en forma de pico de pato para aumentar la longitud del aliviadero.
- Tubería forzada.
- Casa de máquinas.
- Subestación y líneas de distribución.

2.2. Obras Hidráulicas.

Para cualquiera de los sistemas de micro generación hidráulica es necesario realizar obras hidráulicas las cuales, modifiquen el curso y velocidad del agua. Estas se requieren dependiendo el sistema a implementar.

2.2.1. Azud

La mayoría de los pequeños aprovechamientos son los llamados de agua fluente, en los que la electricidad se genera mientras fluye el agua por el cauce, y dejan de hacerlo cuando el caudal es inferior al mínimo técnico de las turbinas que lo equipan. En estos aprovechamientos, se levanta en el cauce una estructura que permita desviar un cierto caudal para conducirlo a la central. En su versión más elemental esa estructura es un obstáculo simple, capaz de reposar el agua, para poder derivar el caudal deseado y sobre el que continúa pasando agua.

Los azudes deben construirse preferentemente sobre suelo rocoso; en su versión más simple consisten en un pequeño muro de poco más de un metro de altura, construido con rocas sueltas (Figura 2.4). Cuando el terreno rocoso está situado a cierta profundidad, se pueden utilizar, apoyados sobre la tierra, unos gaviones recubiertos con roca suelta (Figura 2.5). Los gaviones son cajones, contruidos con malla de acero inoxidable y rellenos de cantos rodados [3].

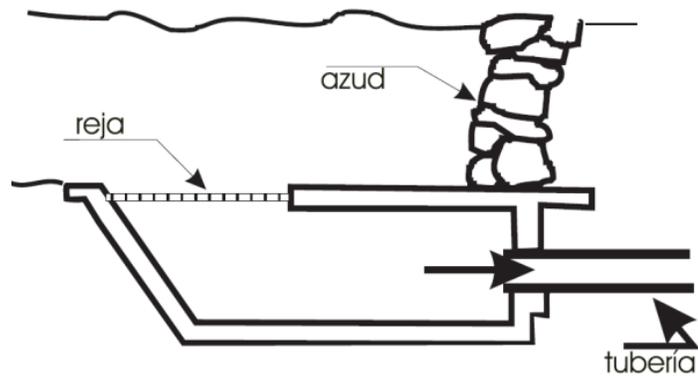


Figura 2.4. Azud de Roca Suelta [3].

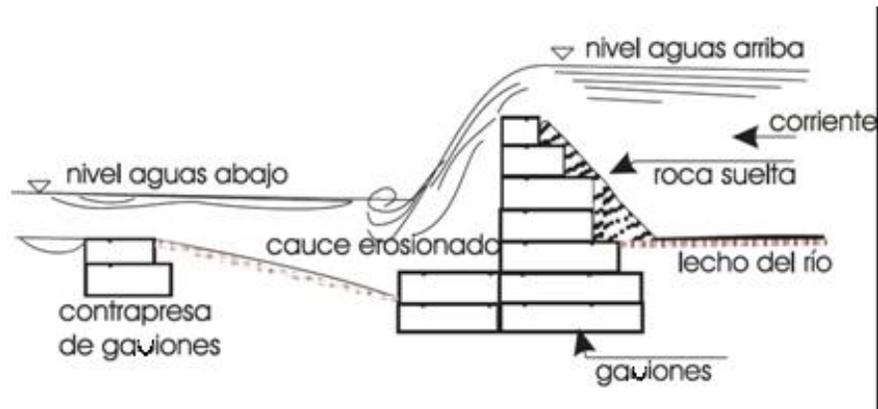


Figura 2.5. Azud de Gaviones [3].

2.2.2. Toma de Agua

Es la estructura encargada de desviar el agua a una tubería, que la conduce bajo cierta presión al cuarto de máquinas. La toma de agua solo tiene que desviar el caudal requerido, respetando el medio ambiente, con la mínima pérdida de carga posible, sea cual sea la altura de la lámina de agua. Esta actuará como zona de transición entre el flujo de agua, que puede ser tranquilo o turbulento, y el canal de derivación por donde circula el caudal de agua, que debe ser controlado, tanto en cantidad como calidad [3].

El diseño de una toma de agua obedece a tres criterios:

- Hidráulicos y estructurales, que son comunes a todas las tomas de agua.
- Operativos - control del caudal, eliminación de basuras.
- Relacionados con el medio ambiente - barreras para impedir el paso de peces, que son característicos de cada proyecto.

Se debe de identificar el tipo de toma de agua que necesita el aprovechamiento. Pese a la gran variedad de tomas existentes, estas pueden clasificarse con arreglo a los siguientes criterios:

- La toma de agua alimenta directamente la tubería forzada (Figura 2.4). Es lo que se conoce como cámara de carga, aunque este término suele reservarse para cuando está situada al final del canal de derivación.
- La toma de agua alimenta una conducción de agua a presión atmosférica: canal, túnel, canaletas, etc., que termina en una cámara de carga (Figura 2.6).

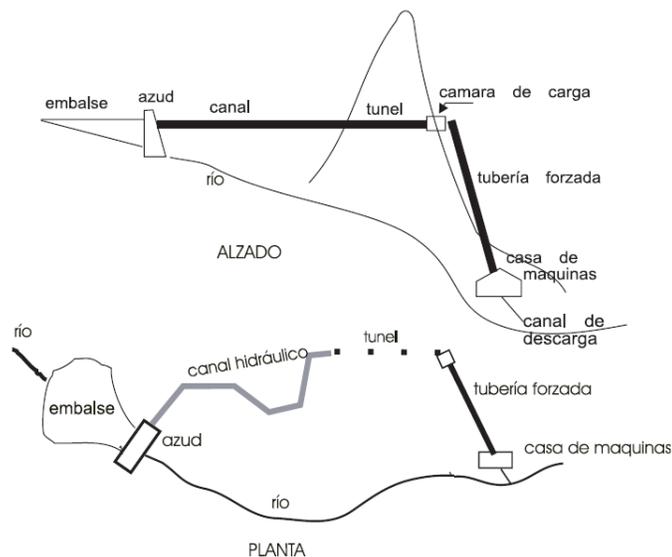


Figura 2.6. Aprovechamiento en Montaña [3].

- El aprovechamiento no utiliza para desviar el agua una estructura de derivación tipo azud, sino que emplea otro tipo de estructuras como las tomas de sifón o las de montaña.
- En los embalses multiuso - embalses construidos para riego, suministro de agua potable, regulación de avenidas, etc. - la toma de agua puede construirse en forma de torre, con tomas a distinto nivel (figura 2.7) para poder extraer el agua a distintas alturas y consecuentemente a distintas temperaturas, o utilizando un desagüe de fondo (figura 2.8) [3].

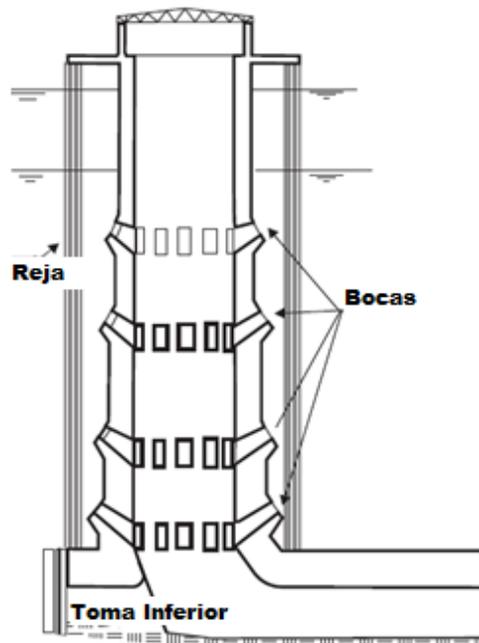


Figura 2.7. Toma de Agua en Torre [3].

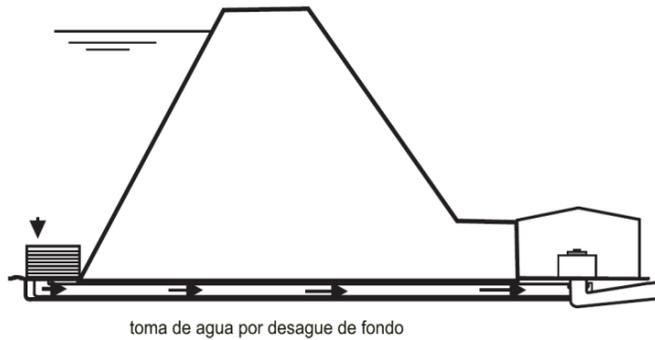


Figura 2.8. Desagüe de Fondo [3].

2.2.3. Canales, Túneles y Tuberías

Según el tipo de central que se construya, se necesita una red mayor o menor de conducciones. Las instalaciones a pie de presa no tienen cámara de carga como las de tipo derivación, en donde el agua realiza un recorrido más largo. Los canales que transportan el agua a la cámara de carga pueden realizarse a cielo abierto, enterrados o en conducción a presión.

Las conducciones superficiales pueden realizarse excavando en el terreno, sobre la propia ladera o mediante estructura de hormigón. Normalmente se construyen sobre la propia ladera con muy poca pendiente, ya que el agua debe circular a velocidad baja para evitar al máximo las pérdidas de carga.

Los túneles son conducciones bajo tierra que se excavan en el terreno y aunque son de un mayor costo, se adaptan mejor al sistema [8]. Las tuberías también se emplean en conducciones bajo tierra, pero si son del tipo superficial, el fluido estará sometido a presión. Cuando la presión interna es muy alta, se incluye armazón metálico como refuerzo.

2.2.4. Cámara de Carga

La cámara de carga es un depósito desde el cual arranca la tubería forzada. Tiene la capacidad para suministrar el volumen necesario para el arranque de la turbina sin intermitencias. Ésta a su vez debe contar con un aliviadero, ya que en caso de que la Central tenga que dejar de operar el agua no turbinada sea desviada al canal [12].

2.2.5. Tubería Forzada

Es la tubería que lleva el agua desde la cámara de carga hasta la turbina. Se puede colocar enterrada o de forma aérea. De forma aérea es necesario sujetar la tubería mediante apoyos, además de realizar los anclajes necesarios en cada cambio de dirección de ésta y la instalación de unas juntas de dilatación para compensar los esfuerzos originados por algún cambio de temperatura.

Cuando la tubería va de forma enterrada se suele colocar una cama de arena en el fondo de la zanja sobre la que está puesta la tubería, y se instalan anclajes de hormigón en los cambios de dirección de la tubería. En este caso será sometida a menos variaciones de temperatura, aunque pueden presentar problemas de corrosión [8].

2.2.6. Casa de Máquinas

La misión principal de la casa de máquinas es proteger a los equipos eléctricos y mecánicos de la intemperie. Ahí dentro se encuentran la(s) turbina(s), alternador(es), tableros de control y algún otro elemento o equipo eléctrico que vaya fuera del proceso de generación.

La ubicación principal de la casa de máquinas es junto al azud o presa. Algunas ocasiones se le encuentran aguas abajo si existe la posibilidad de aumentar la altura del salto [12].

2.3. Equipo Electro-mecánico

En un aprovechamiento hidroeléctrico, la casa de máquinas tiene como misión proteger de las adversidades climatológicas, el equipo de la Micro Central que convierte la energía potencial del agua en electricidad. El número, tipo y potencia de las turbinas, su disposición con respecto al canal de descarga, entre otras características son las que, condicionan la topología del edificio.

La tecnología desarrollada hasta ahora en el área de la energía hidroeléctrica es muy avanzada, ya que se han aplicado los avances logrados en los últimos 150 años. Las turbinas y el resto de equipos de una central presentan actualmente una eficiencia alta [8].

2.3.1. Turbinas Hidráulicas

Las turbinas son el elemento clave de la Micro Central. Aprovechan la energía cinética y potencial del agua, transformándola en un movimiento de rotación, que transferido mediante un eje al generador produce energía eléctrica. Éstas se clasifican en 2 grupos: turbinas de acción y turbinas de reacción.

Turbinas de Acción

Son aquellas que aprovechan la velocidad del flujo de agua para hacerlas girar. El tipo más utilizado es la turbina Pelton, aunque existen otros como la Turgo con inyección lateral y la turbina de flujo cruzado, conocida turbina Banki-Michell [8].

Pelton

Ésta turbina se emplea en saltos elevados que tienen poco caudal. Se forma por un rodete móvil con álabes de doble cuenco. El chorro de agua entra a la turbina siendo dirigido y regulado por uno o más inyectores, incidiendo en los álabes y así hacer girar la turbina (Figura 2.9) [2].

La potencia se regula a través de los inyectores, que pueden aumentar o reducir el caudal de agua. En los paros de emergencia se utiliza un deflector que dirige el chorro de agua directo al desagüe, evitando el embalamiento de la máquina. Esto permite un cierre lento para evitar golpes de presión en la tubería forzada [8].

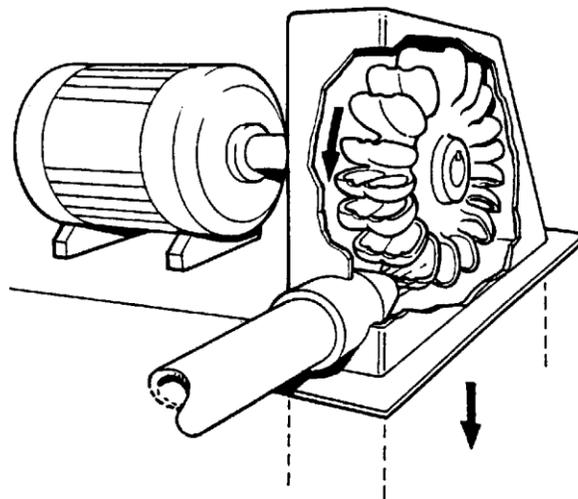


Figura 2.9 Turbina Pelton [9].

Estas turbinas tienen una disponibilidad alta y un costo de mantenimiento bajo, además que su rendimiento es superior al 90% en condiciones de diseño. Las posibilidades que ofrece esta máquina hacen que sea muy apropiada para operación con carga parcial, además de permitir una gran variación de caudales en cuanto a su funcionamiento se refiere [8].

Puede ser instalada con eje horizontal o vertical y con uno o más inyectores. Por lo regular se realizan las combinaciones siguientes:

- Eje horizontal en las máquinas con uno o dos inyectores.
- Eje vertical en las máquinas con más de dos inyectores, lo cual aumenta el precio del generador.

Banki-Michell

También conocida como Ossberger, de flujo cruzado o de doble impulsión. Está constituida por un inyector de sección rectangular provisto de un álabe longitudinal encargado de regular y orientar el caudal que entra a la turbina, y un rodete cilíndrico, con múltiples palas dispuestas como generatrices soldadas por los extremos como se muestra en la Figura 2.10 [2].

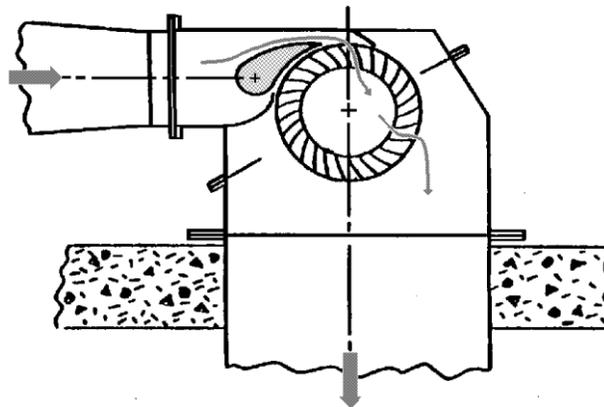


Figura 2.10 Turbina de Flujo Cruzado [9].

El primer impulso se produce cuando el caudal entra en la turbina orientado por el álabe inyector hacia las palas del rodete. Cuando el caudal atraviesa el interior del rodete proporciona el segundo impulso, al salir del mismo y caer por el tubo de aspiración [8].

El campo de aplicación para estas turbinas es amplio, ya que se pueden instalar en aprovechamientos con saltos de entre 1 m y 200 m con un intervalo amplio de variación de caudal. La potencia que se puede instalar está limitada aproximadamente a 1MW. Su rendimiento máximo es inferior al de las turbinas Pelton, siendo aproximadamente del 85%.

Turgo

La turbina de Turgo es similar a la Pelton, pero el chorro golpea el plano del corredor en un ángulo típicamente de 20° (Figura 2.11) para que el agua entre en el corredor en un lado y salga por el otro. Por lo tanto la velocidad de flujo no se limita por el fluido descargado al interferir con el chorro entrante (como es el caso con las turbinas Pelton). Como consecuencia de ello una turbina Turgo puede tener un corredor de diámetro más pequeño que una Pelton para una potencia equivalente [9].

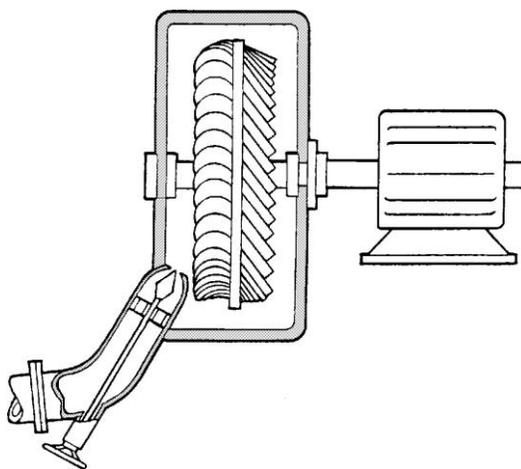


Figura 2.11. Turbina Turgo [9].

Turbinas de Reacción

Son aquellas que cuentan con un diseño de rotor que permite aprovechar la presión que aún le queda al caudal a su entrada para convertirla en energía cinética. Esto hace que al salir del rotor el agua tenga una presión por debajo de la atmosférica [8].

Las turbinas de reacción más utilizadas son las Francis y las Kaplan. La mayoría de estas turbinas se componen casi siempre de los siguientes elementos:

- Carcasa o caracol: Estructura fija en forma de espiral donde parte de la energía de la presión del agua que entra se convierte en energía cinética, dirigiendo el agua alrededor del distribuidor.
- Distribuidor: Lo conforman dos coronas concéntricas, el estator que es la corona de alabes fijos y el rotor que es la corona de alabes móviles.
- Rodete: Elemento móvil que transforma la energía cinética y de presión del agua en trabajo.
- Difusor: Tubo divergente que recupera parte de la energía cinética del agua.

Francis.

Esta turbina se acopla muy bien a todo tipo de saltos y caudales, y cuenta con un intervalo de utilización muy grande. Se caracteriza por recibir el caudal de forma radial, y a medida que este recorre la máquina hacia la salida se convierte en dirección axial (Figura 2.12 y Figura 2.13) [8].

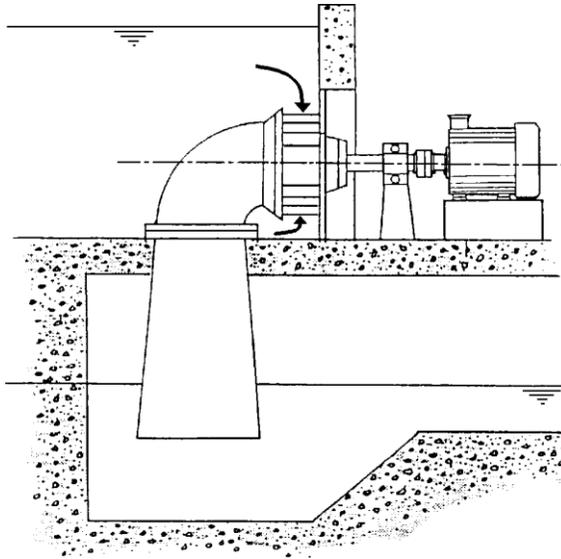


Figura 2.12 Turbina Francis en Canal Abierto [9].

El rendimiento de las turbinas Francis es superior al 90% en condiciones óptimas de funcionamiento. Los elementos que constituyen este tipo de turbina son:

- Distribuidor: Con una serie de alabes fijos y móviles que orientan el caudal hacia el rodete.
- Rodete: Formado por una corona de paletas fijas, con una forma tal que cambian la dirección del caudal de radial a axial.
- Cámara de entrada: Puede ser abierta o cerrada, y tiene forma de espiral para dar una componente radial al flujo del agua.
- Tubo de aspiración o de salida de agua: Puede ser recto o con un codo, y cumple la función de mantener la diferencia de presiones necesaria para el buen funcionamiento de la turbina.

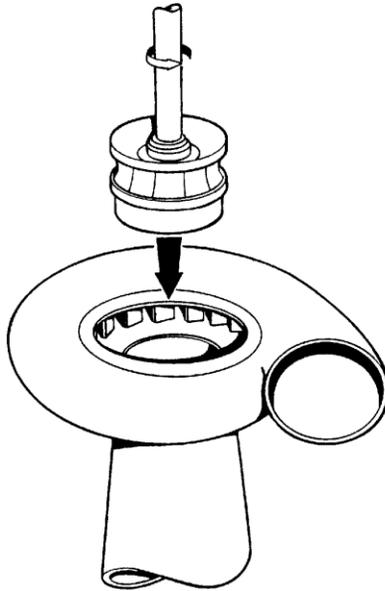


Figura 2.13 Turbina Francis en Espiral [9].

Hélice, Semi Kaplan y Kaplan

Las instalaciones con turbinas hélice se componen básicamente de una cámara de entrada abierta o cerrada, un distribuidor fijo, un rodete de 4 a 5 álabes fijos en forma de hélice de barco y un tubo de aspiración (Figura 2.14) [8].

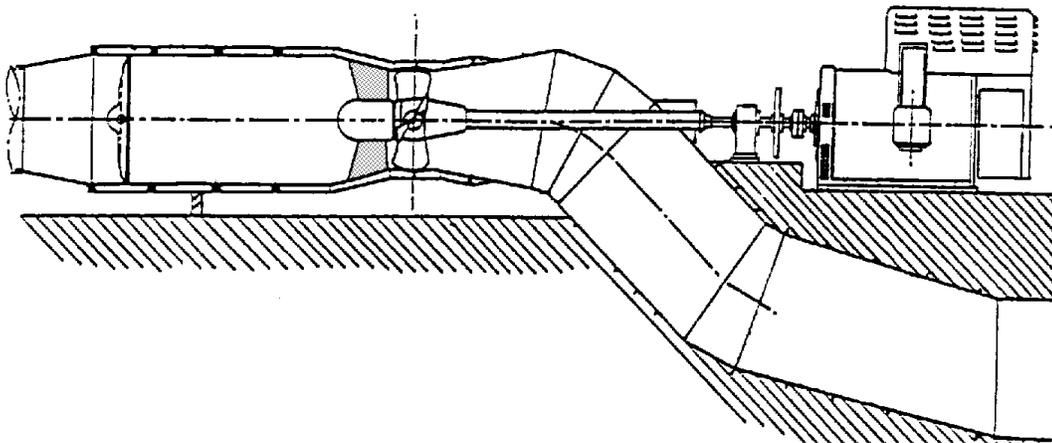


Figura 2.14 Turbina Hélice [9].

Las turbinas semi Kaplan y Kaplan son variantes de la hélice con diferentes grados de regulación. Ambas cuentan con un rodete con álabes que son ajustables y que les proporciona la posibilidad de funcionar en un intervalo mayor de caudales.

La turbina Kaplan incorpora un distribuidor que es posible regular y le da un mayor intervalo de funcionamiento con mejor rendimiento, a cambio de una mayor complejidad y un precio elevado. Su rendimiento es aproximadamente de 90%.

Éste tipo de turbinas se utilizan generalmente para saltos pequeños y caudales variables o grandes. Para una central de tipo fluyente, con un salto prácticamente constante y un caudal muy variable, se aconseja la utilización de una Kaplan o semi Kaplan. La turbina hélice se utiliza en centrales con regulación propia, funcionan con caudal casi constante entre niveles mínimos y máximos de embalse [8].

La instalación de este tipo de turbinas por lo regular suele ser con eje vertical, en cámara abierta o cerrada, aunque algunas ocasiones es mejor otro tipo de instalaciones con eje horizontal o ligeramente inclinado, como las turbinas tubulares o bulbo [2].

Tubular

Se denominan turbinas tubulares o en “S”. Su instalación puede ser de eje horizontal, inclinado o vertical, y tiene un rendimiento ligeramente superior a las Kaplan en cámara, de entre 1% o 2% [8]. Esta turbina fue desarrollada por Kuhne quien la patentó en 1930. Se caracteriza porque el accionamiento del generador se realiza mediante una extensión del eje hasta la sala de máquinas, lo que constituye una dificultad por el costo de la obra civil (Figura 2.15). Aunque este diseño se utiliza con éxito en turbinas de baja potencia, donde la extensión del eje es más corta (Figura 2.16) [2].

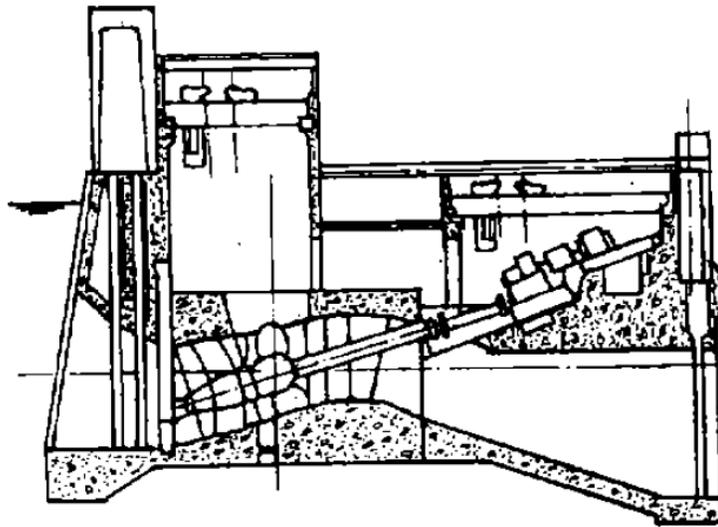


Figura 2.15 Turbina Tipo Tubular [2].

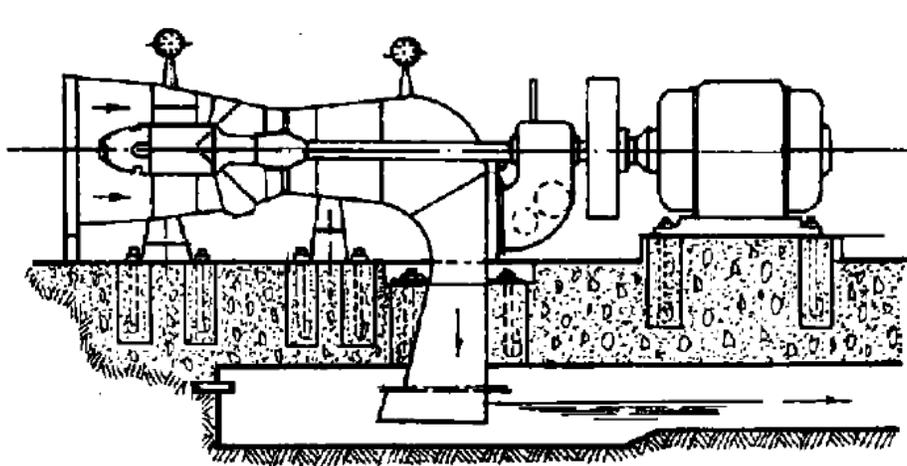


Figura 2.16 Turbina Tipo Tubular de Baja Potencia [2].

Bulbo

El generador está inmerso en la conducción protegido por una carcasa. Su rendimiento es mayor al de la tubular en 1%. Tiene la ventaja de que la obra civil se reduce pero los equipos son más complejos y dificulta su mantenimiento [8]. Utiliza rodete Kaplan y entre su característica más notable es que el generador está ubicado dentro del cubo, con lo cual se ahorra una gran extensión del eje de la turbina tubular. El resultado es un grupo más compacto y económico para grandes potencias, así como un menor riesgo de vibración en el eje (Figura 2.17 y 2.18) [2].

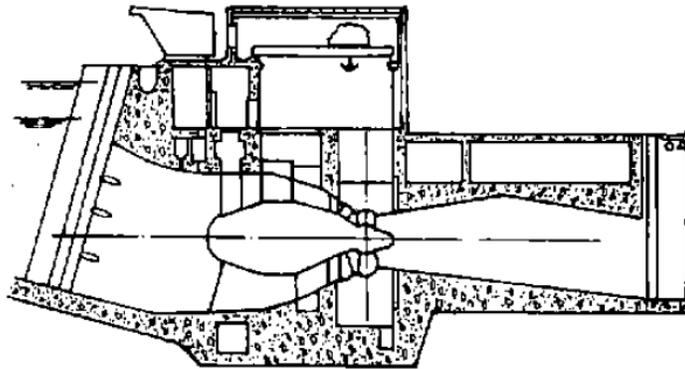


Figura 2.17. Turbina Tipo Bulbo [2].

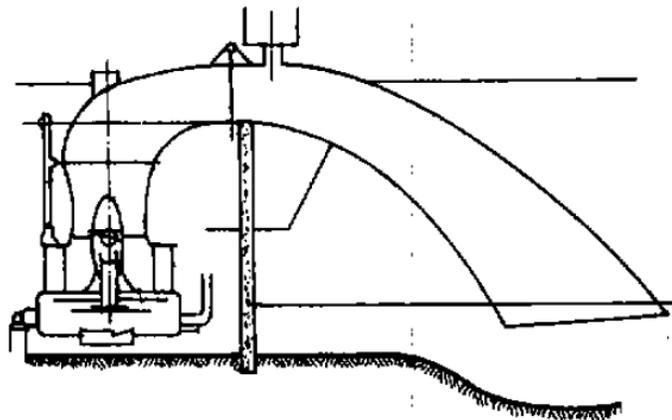


Figura 2.18. Turbina Tipo Bulbo con Sifón [2].

2.3.2. Alternadores

El generador tiene como misión transformar en energía eléctrica la energía mecánica suministrada por la turbina. El alternador basa su funcionamiento en la inducción electromagnética. Éste principio se basa en la ley de Faraday, mediante la cual se expone, cuando un conductor eléctrico se mueve dentro de un campo magnético produce una corriente eléctrica a través de él. El alternador o generador, está compuesto de dos partes fundamentales que son:

- Rotor o inductor móvil. Su función es generar un campo magnético variable al girar impulsado por la turbina.
- Estator o inducido fijo. Sobre el que se genera la corriente eléctrica aprovechable.

En centrales menores de 1000 kW la tensión con que se trabaja es de 400 V o 660 V. Para potencias más elevadas la generación se produce en media tensión (3 kV, 5 kV o 6kV) [8].

Alternadores Síncronos

En este tipo de alternador la conversión de la energía mecánica en eléctrica se produce a una velocidad constante llamada velocidad de sincronismo, que viene de la expresión siguiente:

$$N_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (2.1)$$

Donde:

N_s = Velocidad de sincronismo, rpm

f = Frecuencia, Hz

p = Número de pares de polos del alternador

Las bobinas crean el campo magnético en los polos del rotor. Para que esto sea posible, por estas bobinas debe estar circulando una corriente eléctrica continua. Para producir esta corriente pueden emplearse diferentes sistemas de excitación:

- Autoexcitación estática. La corriente proviene de la propia energía eléctrica generada, previamente transformada de alterna en continua.
- Excitación con diodos giratorios. Se crea una corriente alterna invertida, con polos en el estator y se rectifica con un sistema de diodos, situado en el eje común.
- Excitación auxiliar. La corriente necesaria se genera mediante una dínamo auxiliar que se regula por medio de un reóstato.

Alternadores Asíncronos.

Debido a su simplicidad, robustez y costo bajo de los motores eléctricos clásicos, estos han venido utilizándose como generadores eléctricos sobre todo en centrales de potencia pequeña. Para ello es necesario que el par mecánico que se le comunica al rotor produzca una velocidad de giro mayor a la de sincronismo. Es importante que la diferencia entre las velocidades de funcionamiento y la de sincronismo sea pequeña, para así reducir las pérdidas que se producen en el conductor del rotor.

2.3.3. Transformador

El transformador es un elemento fundamental. Dependiendo de la tensión con que trabaja el generador, la transformación puede ser baja/media o media/alta. El objetivo es elevar la tensión al nivel de la línea existente para permitir el transporte de la energía eléctrica con las pérdidas mínimas posibles [8].

El transformador debe contar con un sistema de refrigeración que puede lograrse por convección natural o por circuito cerrado de aceite o silicona. Atendiendo a las características constructivas existen distintos tipos, entre los cuales cabe mencionar los siguientes:

- Transformador encapsulado seco. Normalmente se instalan en el interior del cuarto de máquinas, reduciendo la obra civil asociada a la subestación. Presenta una menor capacidad de disipación del calor de pérdidas por lo que es de mucha importancia tener en cuenta un sistema de refrigeración, ya sea por circulación de aire natural o forzado [8].
- Transformador en aceite. Requieren de la construcción de un recipiente en caso de una fuga o derrame de aceite. Al estar sumergido en aceite y disponer de sistemas de radiadores para la disipación de calor pueden alcanzar mayores potencias nominales en comparación con los secos [8].

2.3.4. Elementos de Regulación y Control

La instalación de estos elementos es necesaria para regular y controlar el buen funcionamiento de la central, además de los dispositivos de protección que deben colocarse en la central y la línea de distribución, y que actuaran cuando se produzca una falla [8]. Los principales elementos de regulación y control en una Micro Central son:

- Para el control de la turbina:
Reguladores de velocidad en instalaciones con grupos síncronos.
Reguladores de nivel con grupos asíncronos conectados a la red.
Regulador de potencia generada para centrales en red aislada.
Regulador de caudal turbinado.
- Para el control del alternador:
Regulador de tensión para grupos síncronos.
Equipo de sincronización, cuando existen grupos síncronos funcionando conectados a la red.
Baterías de condensadores y relevadores, cuando existan grupos asíncronos funcionando conectados a la red.
- Sistemas Auxiliares: Ventilación, alumbrado normal y de emergencia, tableros de control, equipo de corriente continua empleado para alimentar las bobinas de desconexión del disyuntor y otras bobinas de relevadores y contactores, bombas para el drenaje de posibles fugas o achique en caso de inundación, batería de condensadores (en caso de que exista grupo asíncrono, para mejorar el factor potencia), puente grúa (aunque en algunos casos pueda ser suficiente una grúa portátil durante el montaje y operaciones de mantenimiento), reja, protección contra incendios, agua de refrigeración y medidor de flujo.

CAPÍTULO III

CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LA MICRO CENTRAL

Una instalación de una Micro Central Hidroeléctrica depende en gran parte del tamaño de ésta de acuerdo a la potencia que entrega. Para realizar una adecuada evaluación que indique si el proyecto es factible o viable, además de cálculos técnicos es necesario tomar aspectos tales como:

Realizar la selección del lugar y obtener los parámetros de éste como son: caudal, salto y potencia.

Tomar en cuenta la accesibilidad al flujo causando el mínimo impacto ambiental.

Respecto al área, ubicación a la fuente que provee el fluido y al tamaño de la central hidroeléctrica, es conveniente analizar el sistema de generación que se va a implementar. Un sistema de generación de canal de riego es muy similar al de derivación, ésto por las características que presenta, por el costo bajo y que su impacto ambiental es mucho menor en cuanto al sistema de embalse [2].

Cuando se realiza un proyecto hidroeléctrico cualquiera, para su ejecución es necesario en base a cálculos tener una aproximación de la energía que puede generarse en el sistema. En base a tablas, catálogos u otros medios, es cuando se elegirán los componentes principales del sistema, como las turbinas o la Micro Central.

3.1. Canal de Riego

Para el análisis de la aplicación se tomó en cuenta el Valle del Mezquital que se ubica dentro del límite sudoeste del estado de Hidalgo (longitud norte $20^{\circ} 02'$ y longitud oeste $99^{\circ} 15'$), siendo un complejo de canales de riego que presentan alturas y caudales diferentes a lo largo de su extensión. Se eligió el sitio porque se pretende aprovechar la energía presente en el agua de los distritos de riego, con la intención de abastecer y contribuir con la generación de electricidad en el lugar y en el Sistema Eléctrico Nacional.

Está situado en lo alto de la meseta mexicana, a 60 km de la ciudad de México, con una altitud entre 1 640 m y 2 400 m sobre el nivel del mar. Está conformado por 27 municipios de los 84 que conforman el estado de Hidalgo, mismos que se muestran en la Tabla 3.1.

Los habitantes del Valle se dedican principalmente a actividades agrícolas, complementándose con la producción ganadera en los denominados Distritos de Riego (DR) 03 (Tula) y 100 (Alfajayucán). En el área se cuenta con 170 almacenajes, de los cuales sobresalen las presas Endhó, Requena, Vicente Aguirre y la Rojo Gómez. El tipo de suelo que predomina en la zona es aluvión, caliza, roca volcánica y lavas [12].

Tabla 3.1. Valle del Mezquital [12].

Nombre ¹	Superficie ² (km ²)	Población ³ (habitantes)	Latitud Norte ⁴		Longitud Oeste ⁵		Altitud ⁶ (msnm)
			Grados	Minutos	Grados	Minutos	
Actopan	280,10	45.946	20	16	98	57	2.000
Ajacuba	192,70	14.459	20	05	99	07	2.140
Alfajayucan	467,70	16.977	20	24	99	21	1.880
Atitalaquia	64,20	21.805	20	04	99	13	2.080
Atotonilco de Tula	30,80	24.733	20	00	99	13	2.080
Cardonal	462,60	16.903	20	37	99	07	2.040
Chapantongo	298,10	11.172	20	17	99	25	2.120
Chilcuautla	231,30	15.058	20	20	99	14	1.860
El Arenal	125,90	14.119	20	13	98	55	2.040
Francisco. I. Madero (Tepatepec)	95,10	28.425	20	15	99	05	1.960
Huichapan	668,10	38.045	20	22	99	39	2.100
Ixmiquilpan	565,30	75.725	20	29	99	13	1.700
Mixquiahuala de Juárez	138,10	35.054	20	14	99	13	2.100
Nopala de Villagran	334,10	14.697	20	15	99	39	2.400
Progreso de Obregón	106,00	19.027	20	15	99	11	1.980
San Agustín Tlaxiaca	354,60	24.252	20	07	98	53	2.360
San Salvador	200,40	28.922	20	17	99	01	1.940
Santiago de Anaya	316,10	13.559	20	23	98	58	2.040
Tasquillo	167,00	16.610	20	33	99	19	1.640
Tecoautla	575,60	30.793	20	32	99	38	1.700
Tepeji del Río de Ocampo	393,20	67.573	19	54	99	20	2.150
Tepetitlán	179,90	8.494	20	11	99	23	2.020
Tetepango	56,50	8.927	20	07	99	09	2.100
Tezontepec de Aldama	120,80	38.682	20	11	99	17	2.100
Tlahuelilpan	31,30	13.910	20	08	99	14	2.060
Tlaxcoapan	79,30	22.424	20	05	99	13	2.060
Tula de Allende	305,80	86.782	20	03	99	21	2.020
Total	6.840,60	753.073					

Los Distritos de Riego (Figura 3.1), 03 Tula y 100 Alfajayucan abarcan varios municipios; en el primero se ubican Actopan, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, El Arsenal, Chilcuautla, Progreso, Santiago de Anaya, Francisco I. Madero, Tepetitlan, Tetepango, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan y Tula, mientras que en el segundo se encuentran los municipios de Chilcuautla, Alfajayucan, Tasquillo y el Cordonal; ambos Distritos de Riego ocupan parte de los municipios de Tezontepec de Aldama, Ixmiquilpan y San Salvador.



Figura 3.1 Zonas de Riego en el Valle del Mezquital [12].

El Distrito de Riego 03 Tula se ubica al sur oriente del Estado de Hidalgo a una altitud media de 1985 msnm su límite al norte es con el valle de Ixmiquilpan y los cerros de San Miguel, Teptha y Gaxido; al este limita con la sierra de Actopan; al sur con los cerros El Gorrión y Mexe, y al oeste con la Sierra Xinthe. El relieve del DR 03 Tula es de llanuras semiáridas con tierras muy erosionadas y cuenta con elevaciones como Los Frailes en El Arenal, el Cerro de la Muñeca al norte de Ixmiquilpan y el Cerro de Juárez donde inicia la serranía.

El Distrito de Riego 100 Alfajayucan se localiza al noroeste del Valle del Mezquital a altitudes que varían entre los 1 700 y 2 100 msnm.

Los Distritos de Riego actualmente reciben aguas negras sin un proceso de tratamiento, pero con la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el poblado de Atotonilco (Figura 3.2), se beneficiará a 700 mil personas del Valle del Mezquital, de las cuales 300 mil habitan en zonas de riego.

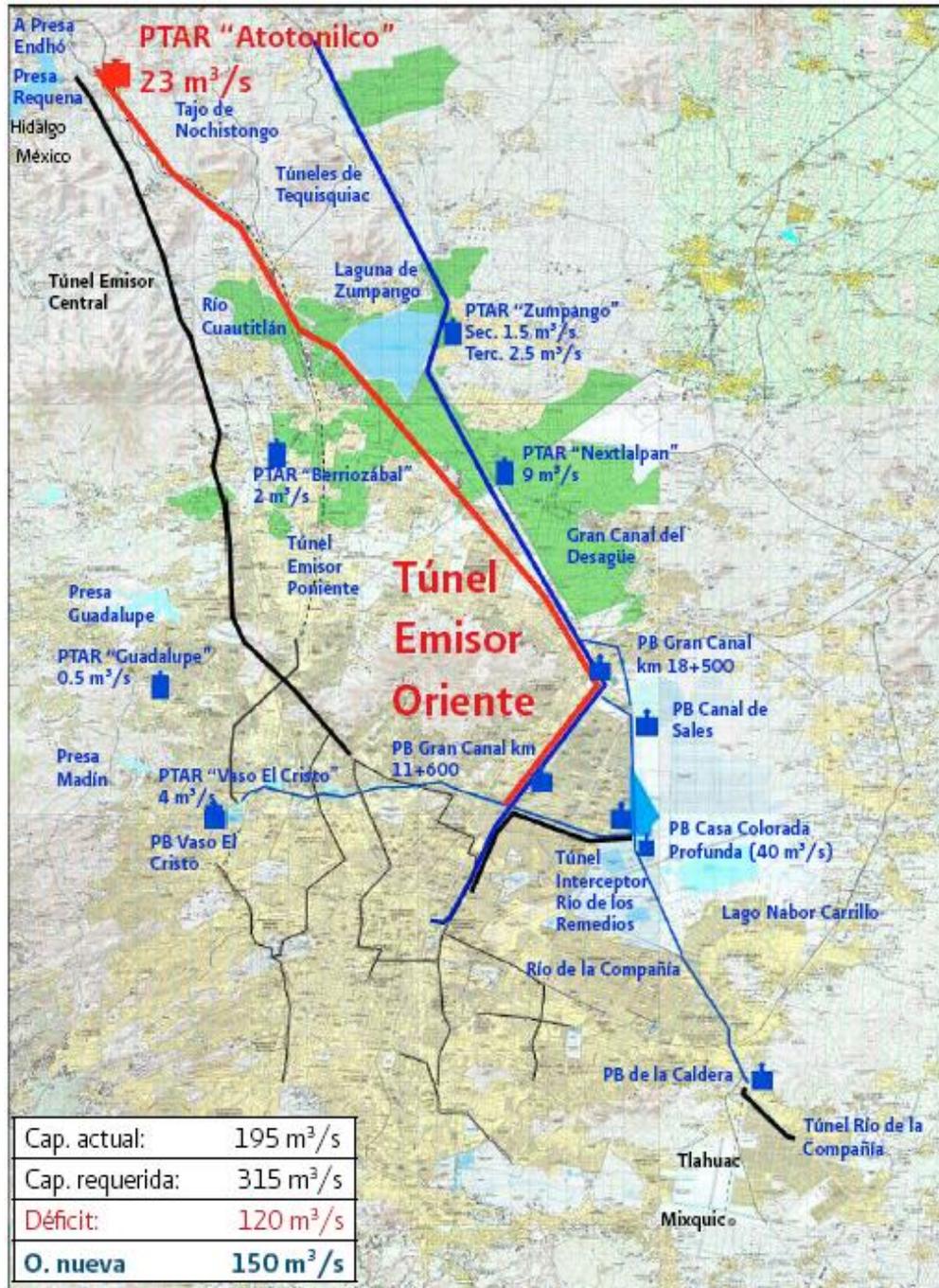


Figura 3.2 Sistema Principal de Drenaje del Valle de México [6].

3.2. Salto Neto

El salto es un parámetro fundamental para el diseño de una Micro Central. Deberá ser el permitido en la topografía del terreno, teniendo en cuenta los límites que marcan la afección al medio ambiente y la viabilidad para realizar una inversión económica [7].

La empresa mexicana (Valdez Ingenieros S.A de C.C), ha tenido colaboración en la actualización de sitios hidroeléctricos como Tecolutla y Sto. Domingo, la revisión de la situación Micro y Minihidraulica en las regiones de Puebla y Veracruz en conjunto con la CONAE. Recomienda mediante su experiencia, tomar un salto mínimo de 1.5 m para generar electricidad en un proyecto de una Microcentral hidroeléctrica, tomando el caso más simple que sería una vivienda regular en la cual su consumo es de aproximadamente 4.8 kW a 5 kW diarios.

El valor recomendado de salto para una comunidad rural o una industria tiene un intervalo de 1.5 m a 5 m, estos valores se presentan en la Tabla 3.2 acompañados del valor de la potencia mínima requerida para el caso de aplicación. Los valores de salto y potencia serán utilizados en cálculos posteriores.

Tabla 3.2 Valores de Salto y Potencia [14].

	SALTO [m]	POTENCIA [kW]
CASA PROMEDIO	1.5	0.200
CASA/GRANJA	1.5	0.500
COMUNIDAD/INDUSTRIA	1.5 - 5	1.7 - 60

3.3. Determinación del Caudal

La potencia de una central hidroeléctrica es proporcional a la altura del salto y al caudal turbinado, por lo que es importante determinar correctamente dichas variables para el diseño de las instalaciones y dimensionamientos de los equipos. Es por eso que se considera fundamental la elección de un caudal de diseño adecuado para definir el equipamiento, así la energía producida será la máxima posible en función de la hidrología [7].

Se requiere de un caudal y una diferencia de altura para producir potencia útil. Se toma energía en forma de caudal y salto y se entrega en forma de energía eléctrica o energía mecánica en el eje. Ningún sistema de conversión puede entregar la misma cantidad de energía que absorbe, pues una parte se pierde en el sistema mismo en forma de fricción, calor, ruido, entre otras. [1].

La potencia neta de un sistema se estima con la ecuación (3.1) :

$$P_{NETA} = 5 \cdot Q \cdot H \quad (3.1)$$

Donde:

P_{NETA} = Potencia Neta, kW

Q = Flujo del agua, m³/s

H = Salto, m

Para la aplicación de una Micro Central a una vivienda regular en el Valle del Mezquital con un consumo diario de 4.8 kWh a 5 kWh. Se toma en cuenta un salto de agua de 1.5 m como se menciona en la tabla (3.2).

El caudal necesario se obtiene mediante la ecuación de Potencia Neta:

$$P_{NETA} = 5 \cdot Q \cdot H$$

En la cual se tiene que, la P_{NETA} es 0.200 kW y un salto de 1.5 m, como se muestra en la tabla (3.2).

Contando con los valores de la Potencia y el Salto se procede a sustituir valores en la ecuación. Despejando el caudal Q :

$$Q = \frac{P_{NETA}}{5 \cdot H} = \frac{0.200}{5 \cdot 1.5} = 0.0266 \text{ m}^3/\text{s}$$

En los sistemas pequeños de hidrogenación el caudal se mide en l/s y no en m³. Entonces el caudal necesario para cumplir con la potencia neta del sistema es de 26 l/s.

Para la aplicación de un Micro Central a una comunidad en el Valle del Mezquital con un consumo promedio diario de entre 50 kWh y 1440 kWh. Se toma en cuenta el valor mínimo y máximo de salto recomendado que son 1.5 m y 5 m (Tabla 3.2).

El caudal necesario es:

$$P_{NETA} = 5 \cdot Q \cdot H$$

En la cual se tiene que la P_{NETA} es 1.7 kW y 60 kW siendo los valores mínimo y máximo, como se muestra en la tabla (3.2).

Contando con los valores de la Potencia y el Salto se procede a sustituir valores en la ecuación. Despejando el caudal Q :

$$Q = \frac{P_{NETA}}{5 \cdot H} = \frac{1.7}{5 \cdot 1.5} = 0.226 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = \frac{P_{NETA}}{5 \cdot H} = \frac{60}{5 \cdot 5} = 2.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Entonces el caudal necesario para cumplir con la potencia neta mínima del sistema es de 22 l/s y 2400 l/s de la potencia neta máxima.

3.4 Potencia a Instalar

Se tiene un valor de caudal y un valor para la altura del salto. El caudal se calculó teniendo en cuenta el valor de salto recomendado en una vivienda de consumo regular y el de una comunidad promedio. Para saber cuál será la potencia disponible en el sistema es necesario realizar los cálculos pertinentes tomando en cuenta factores como son la gravedad y la eficiencia de operación, que en este caso primero se tomará $\eta=1$.

Este proceso se puede realizar empleando la siguiente ecuación:

$$P = W Q H \eta (9.81) (10^{-3}) \text{ kW} \quad (3.2)$$

Donde:

W = Densidad del agua, kg/m^3

Q = Flujo del agua, m^3/s

H = Salto, m

η = Eficiencia global de operación del sistema

- Cálculo realizado para una vivienda de consumo promedio con una altura de 1.5 m y un caudal de $0.0266 \text{ m}^3/\text{s}$ y $\eta=1$

$$P = W Q H \eta 9.81 \times 10^{-3} \text{ kW}$$

$$P = (1000 \text{ kg/m}^3) (0.0266 \text{ m}^3/\text{s}) (1.5 \text{ m}) (1) (9.81 \text{ m/s}^2) (10^{-3})$$

$$P = 0.391 \text{ kW}$$

El resultado obtenido es con una eficiencia de 1 en el sistema, es el resultado de forma ideal. Se realizará el cálculo pero con una eficiencia de 0.66 tomando en cuenta que es la eficiencia máxima que puede tener una turbina para potencias menores a 50 kW y la eficiencia menor que puede tener en el caso para potencias que van de 51 kW a 500 kW [2].

- Cálculo realizado para una vivienda de consumo promedio con una altura de 1.5 m y un caudal de 0.0266 m³/s y $\eta=0.66$

$$P = W Q H \eta \cdot 9.81 \times 10^{-3} \text{ kW}$$

$$P = (1000 \text{ kg/m}^3) (0.0266 \text{ m}^3/\text{s}) (1.5 \text{ m}) (0.66) (9.81 \text{ m/s}^2) (10^{-3})$$

$$P = 0.258 \text{ kW}$$

El resultado obtenido es muy similar a la potencia requerida en el sistema, mostrada en la Tabla 3.2. Para saber la energía producida al día, es suficiente con multiplicar por las horas de funcionamiento de la planta.

En el caso de que funcione las 24 horas, se tiene:

$$(0.258 \text{ kW})(24 \text{ hr}) = 6.192 \text{ kWh}$$

- Cálculo realizado para una comunidad o industria a una altura de 1.5 metros y un caudal de $0.226 \text{ m}^3/\text{s}$ y $\eta=1$

$$P = W Q H \eta 9.81 \times 10^{-3} \text{ kW}$$

$$P = (1000 \text{ kg/m}^3) (0.226 \text{ m}^3/\text{s}) (1.5 \text{ m}) (1) (9.81 \text{ m/s}^2) (10^{-3})$$

$$P = 3.32 \text{ kW}$$

Ahora el cálculo se realizará el cálculo pero con una eficiencia de 0.66

- Cálculo realizado para una vivienda de consumo promedio con una altura de 1.5 m y un caudal de $0.226 \text{ m}^3/\text{s}$ y $\eta=0.66$

$$P = W Q H \eta 9.81 \times 10^{-3} \text{ kW}$$

$$P = (1000 \text{ kg/m}^3) (0.226 \text{ m}^3/\text{s}) (1.5 \text{ m}) (0.66) (9.81 \text{ m/s}^2) (10^{-3})$$

$$P = 2.19 \text{ kW}$$

Para saber la energía producida al día, es suficiente con multiplicar por las horas de funcionamiento de la planta.

En el caso de que funcione las 24 horas, se tiene:

$$(2.19 \text{ kW})(24 \text{ hr}) = 52.56 \text{ kWh}$$

- Cálculo realizado para una comunidad o industria a una altura de 5 m y un caudal de 2.4 m³/s y $\eta=1$

$$P = W Q H \eta 9.81 \times 10^{-3} \text{ kW}$$

$$P = (1000 \text{ kg/m}^3) (2.4 \text{ m}^3/\text{s}) (5 \text{ m}) (1) (9.81 \text{ m/s}^2) (10^{-3})$$

$$P = 117.72 \text{ kW}$$

El resultado obtenido es con una eficiencia de 1 en el sistema, es el resultado de forma ideal. Se realizará el cálculo pero con una eficiencia de 0.66

- Cálculo realizado para una vivienda de consumo promedio con una altura de 5 m y un caudal de 2.4 m³/s y $\eta=0.66$

$$P = W Q H \eta 9.81 \times 10^{-3} \text{ kW}$$

$$P = (1000 \text{ kg/m}^3) (2.4 \text{ m}^3/\text{s}) (5 \text{ m}) (0.66) (9.81 \text{ m/s}^2) (10^{-3})$$

$$P = 77.69 \text{ kW}$$

El resultado obtenido es muy similar a la potencia requerida en el sistema, mostrada en la Tabla 3.2. Para saber la energía producida al día, es suficiente con multiplicar por las hrs de funcionamiento de la planta.

En el caso de que funcione las 24 horas, se tiene:

$$(77.69 \text{ kW})(24 \text{ hr}) = 1864.56 \text{ kWh}$$

Los resultados obtenidos bajo las condiciones de eficiencia y altura previamente mencionadas, se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Resultados de Energía Calculada.

APLICACIÓN	CAUDAL [l/s]	SALTO [m]	POTENCIA $\eta=1$ [kW]	POTENCIA $\eta=0.66$ [kW]	ENERGÍA $\eta=0.66$ [kWh]
VIVIENDA	26	1.5	0.391	0.258	6.192
COMUNIDAD/ INDUSTRIA	226	1.5	3.32	2.19	52.56
COMUNIDAD/ INDUSTRIA	2400	5	117.72	77.69	1864.56

3.5 Selección de Turbina y Equipo.

Se realiza una selección de la turbina para una Micro Central Hidroeléctrica, utilizando la Tabla (3.4) en la que aparecen las diferentes turbinas utilizadas en la actualidad ubicadas por zonas de aplicación referidas al salto neto, caudal y para una selección mediante los valores de potencia o eficiencia promedio como se utiliza la Tabla (3.5).

Tabla 3.4 Características de las Turbinas [16].

TURBINA	PELTON	TURGO	BANKI-MICHELL	FRANCIS	KAPLAN
CAUDAL [l/s]	0.5-250	90-450	2-1000	110-1100	100-3000
CAÍDA [m]	30-500	30-100	1-200	10-100	3-15

- La selección de una turbina para el caso de una casa de acuerdo al resultado mostrado en la Tabla (3.3), la turbina Banki-Michell es la mejor opción. El intervalo que muestra en sus valores de caída están dentro de los recomendados en la microgeneración (Tabla 3.2) y el intervalo en los valores de caudal igualmente entran dentro de la selección por los resultados obtenidos.
- Para el segundo caso (Comunidad/Industria) con los valores mínimos recomendados (Tabla 3.2), la turbina Banki-Michell igualmente es la opción recomendable. Con la Tabla (3.3) se observa que los resultados obtenidos entran en el criterio de selección de ésta turbina.
- El último caso presentado (Comunidad/Industria) con valores máximos recomendados (Tabla 3.2), la turbina Kaplan se encuentra como la ideal para implementar en el sistema. Siendo una turbina de reacción y estar dentro del campo de selección de una turbina con las características que requiere la central.

Tabla 3.5 Eficiencia de las Turbinas [2].

Potencia (kW)	TIPO DE TURBINA			
	PELTON	MICHELL-BANKI	FRANCIS	AXIAL
<50	58-65%	54-62%	59-65%	58-66%
51-500	65-69	62-65	66-70	66-70
501-5000	69-73	65*	70-74	70-74

Tomando en cuenta la potencia para realizar la selección del grupo de turbinas en los casos presentados anteriormente, se puede utilizar la Tabla 3.5. Para el presente caso, lo ideal es trabajar con turbinas de tipo tubular, están ubicadas en el grupo de las axiales en la Tabla 3.5. Las turbinas tubulares son utilizadas en saltos pequeños y caudales variables, que son las características mostradas anteriormente.

Su instalación puede ser realizada en eje horizontal, inclinado o vertical permitiendo una fácil manipulación. Cuentan con un rendimiento ligeramente superior a las Kaplan.

Para realizar la selección del equipo igual se puede consultar directamente un catálogo o tabla de algún fabricante, en este caso guiarse de acuerdo a la potencia generada sería lo más conveniente, ya que es una base para saber el número de viviendas que se pueden alimentar con dicha potencia. Puede existir el inconveniente de modificar el valor del flujo y/o la altura al momento de realizar la instalación y entonces proceder a modificar la obra civil.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Para saber que tan factible es realizar el proyecto de una Micro Central Hidroeléctrica es importante realizar, adicionalmente a la evaluación técnica que comprueba que existen las condiciones físicas para construir dicha central, un análisis de distintos aspectos sociales, ambientales, económicos, financieros y legales que permitan tomar la decisión apropiada en cuanto su ejecución. La generación de energía es un proceso importante que coadyuva al desarrollo y al mejoramiento de las condiciones de vida de la población, por lo tanto se debe realizar un análisis del impacto social que tendrá el proyecto en la sociedad.

Desde el punto de vista económico, este análisis debe considerar los costos y beneficios que se derivarán del proyecto y valorarlos para determinar si su ejecución es o no conveniente. El análisis financiero por su parte, permitirá evaluar aspectos tales como sustento para un crédito para la ejecución del proyecto, esto implica el análisis del flujo de fondos y determinar si el flujo de dinero será suficiente para pagar la deuda adquirida.

4.1. Utilización de la Energía.

Tomando en cuenta los valores obtenidos de la energía producida al día en la Tabla 3.3, se puede realizar una estimación del número de viviendas que podrán hacer uso de la energía eléctrica generada por la Micro Central. Teniendo como base que el consumo promedio de una vivienda es de alrededor de 4.8 kW a 5 kW como en el primer ejercicio y teniendo la cantidad de energía que genera la central, se tiene la ecuación 4.1:

$$\text{Número de Viviendas} = \frac{\text{Potencia diaria generada}}{\text{kW promedio de consumo}} \quad (4.1)$$

Para el caso de la potencia mínima necesaria para abastecer una comunidad o industria se tiene:

$$\text{Número de Viviendas} = \frac{52.56 \text{ kWh}}{4.8 \text{ kWh}} = 10.95$$

Se lograrían abastecer alrededor de 11 viviendas, teniendo un salto de 1.5 m y un caudal de 226 l/s.

Para el caso de la potencia máxima necesaria para abastecer una comunidad o industria se tiene:

$$\text{Número de Viviendas} = \frac{1864.56 \text{ kWh}}{4.8 \text{ kWh}} = 388.45$$

Se lograría abastecer una comunidad compuesta por alrededor de 388 viviendas, teniendo un salto de 5 m con un caudal de 2400 l/s.

4.2. Costo del Equipo.

El costo de la turbina depende directamente de factores, como la altura neta y el caudal para la que se diseña, la potencia disponible, la eficiencia y los materiales. En la Tabla 4.1 se muestra el precio de la turbina Banki-Michell en relación a la potencia disponible en el eje.

Tabla 4.1 Precios de la Turbina Banki-Michell [16].

POTENCIA DISPONIBLE [kW]	PRECIO EN DÓLAR [USD]
2	\$1000-2000
5	\$2000-6000
10	\$2000-10000
20	\$3000-14000
50	\$5000-30000
100	\$30000-50000
150	\$50000-80000

Con la selección realizada en relación a la potencia y eficiencia, se tiene un catalogo de Micro Centrales Hidroeléctricas de la empresa FH Solar & Led Energías Renovables cada una de las Micro Centrales Hidroeléctricas en base a su capacidad instalada es como variaran los costos (Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Precios de Micros Centrales del fabricante FH Solar & Led Energías Renovables [15].

CAPACIDAD DE LA PLANTA [kW]	NÚMERO DE SERIE	PRECIO [USD]	PRECIO [M.N]
3	FGD-LZ-20-3KW	\$8, 862.6	\$115,187.212
5	FGD-LZ-20-5KW	\$9, 812	\$127,526.564
6	FGD-LZ-20-6KW	\$11, 907.5	\$154,761.777
8	FGD-LZ-20-8KW	\$13, 481.6	\$175,220.355

Tipo de cambio al 20 de Noviembre de 2013 \$ 12.83

La cotización realizada con el fabricante fue de turbinas tubulares de eje horizontal y vertical. (Figura 4.1 y Figura 4.2).



- 1) turbina de eje horizontal de extensión tubular
- 2) turbina de eje horizontal de extensión tubular
- 3) turbina de eje horizontal de extensión tubular

Caída	Caudal	Alternador magnético permanente	Velocidad	Diámetro del tubo de montaje	Peso	Tamaño paquetería
M	M3/S	W	(r/min)	mm	(kg)	(cm)
4	0,136	3.000	1000	250	330	130×65×88
					100	60×45×38
6	0,151	5.000	1500	300	*	*
7	0,156	6.000	1500	300	*	*
9	0,161	8.000	1500	300	*	*

TRANSPORTE NO INCLUIDO CONSULTAR PRECIO

Figura 4.1 Turbinas de Eje Horizontal [15].

Especificaciones principales		Turbina tubulares verticales
Turbina		Observaciones
Tipo	FHGD-LZ-20-5KW	
Caída	8m	
Velocidad de circulación	151 l / s	
Poder	5KW	
Eficiencia	80%	
Generador		Observaciones
Tipo	SF5-4	<p>Cumple con el estándar internacional IEC electricista comité y normas CE</p>
Energía clasificada	5KW	
Tensión nominal	230	
Corriente nominal	21,74 A	
Frecuencia	50Hz	
Calificación de rotación	1500r/min	
Fase	1	
PF	0,9	
Elevación	≤ 3000m	
Grado de aislamiento	B / B	
Grado de protección	IP44	
Temperatura ambiente	-25 °C ~ +50 °C	
Humedad Relativa	≤ 90%	
Panel de control		Observaciones
Protección de la Seguridad	Protección contra cortocircuitos	
	Islanding Protección	
	De protección contra sobrecarga	
	Protección contra fallos a tierra	

Figura 4.2 Turbina Tubular Vertical [15].

4.4 Aspectos Económicos.

El costo de inversión e implantación de una Central Hidroeléctrica depende de diversos factores como la orografía del terreno, los accesos, el tipo de instalación, el tamaño, la potencia y el punto de conexión. Además, hay que tener en cuenta las distintas partes del proceso y los costos que implica cada una: primero está la fase de proyecto, después viene la fase de ejecución y por último, la fase de funcionamiento.

En primer lugar se elabora el proyecto de construcción e instalación de la Micro Hidroeléctrica, donde se define el volumen de obra, el equipamiento y la potencia a instalar. En segundo lugar se realiza la fase de ejecución del proyecto, en la que se distinguen tres aspectos que influyen decisivamente en el coste: obra civil, grupo turbogenerador, sistema eléctrico y de control. Los porcentajes correspondientes a cada partida varían según el tipo de actuación y según el tipo de central.

A continuación se muestra en la Tabla 4.2 la distribución porcentual de la inversión en una Micro Central:

Tabla 4.3 Distribución Porcentual de una Micro Central [8].

INVERSIÓN	PORCENTAJE
GRUPO TURBOGENERADOR	30%
EQUIPOS ELÉCTRICOS, REGULACIÓN Y CONTROL	22%
INGENIERIA Y DIRECCIÓN DE OBRA	8%
OBRA CIVIL	40%

La última fase es la puesta en funcionamiento de la Micro Central, que implica costos de explotación, mantenimiento y reparación. Hay que tener en cuenta que esto incluye costos de personal, materiales de repuestos, seguros, impuestos, además de los costos de la organización y administración. El cálculo de estos costos se realiza anualmente y depende de múltiples factores como el tipo de equipo instalado, el grado de automatización y el índice de averías. Se puede estimar que estos gastos son del orden del 2% al 5% de la inversión a realizar.

CONCLUSIONES

La Selección de una Micro Central Hidroeléctrica que puede ser instalada en un sistema de riego representan una fuente alterna de energía que ofrece excelentes posibilidades de desarrollo sustentable, así como la reducción de la utilización de combustibles fósiles.

La participación de iniciativa privada en éste ámbito, ya sea como un pequeño productor o en el autoabastecimiento se contempla dentro de un marco regulatorio en México.

Éste tipo de propuestas pueden verse realizadas con un amplio estudio, tanto de condiciones del medio y de la demanda del servicio, ya que estas brindan beneficios adicionales a la comunidad y su operación es muy sencilla y flexible, además que el requerimiento de su mantenimiento es relativamente bajo.

Las turbinas de tipo Axial presentan una mayor eficiencia en relación a la potencia para que son requeridas si se comparan con las turbinas Pelton, Michell-Banki y las Francis.

La energía calculada en los casos para alimentar una comunidad o industria van de 52.56 kWh a 1864.56 kWh. Lo que servirá para alimentar desde 11 hasta 388 viviendas aproximadamente.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] energíadoblecer.com (13/11/20).
- [2] Coz, F. Sánchez, T. (1995) "Manual de Mini y Micro centrales Hidráulicas: Una guía para el desarrollo de proyectos", Perú: ITDG.
- [3] Penche, C. (1998) "Manual de pequeña hidráulica: *Como llevar a buen fin un proyecto de minicentral hidroeléctrica*", España: European Small Hydropower Association.
- [4] http://www.energia.gob.mx/webSener/res/168/A8_Minihi.pdf (12/05/05).
- [5] Hinrichs, R. A. & Kleinbach, M. (2002) "ENERGY: *Its Use and the Evironment*" (3ra ed.) United States of America. Books/Cole-Thomson Learning.
- [6] http://www.atl.org.mx/aguadf/images/docs/Folleto_El_Tunel_Emisor_Oriente.pdf (12/04/17).
- [7] SE –CONAE. "Estudio de la Situación Actual de la Mini hidráulica Nacional y Potencial en una Región de los Estados de Veracruz y Puebla." Dirección de Cogeneración y Fuentes no Convencionales de Energía, Coordinación Técnica. 1995. 204 pp.
- [8] Castro, Adriana (2006) " Manuales de Energías Renovables 6: Minicentrales Hidroeléctricas", España, IDAE (Istituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía).
- [9] British Hydropower Association. (2005) "A guige to UK mini-hydro developments", Inglaterra.
- [10] www.cie.unam.mx/~rbb/PRESENTACION_DE_SAUL.ppt (12/06/23).
- [11] <http://www.cmic.org/mnsectores/agua/ptar/CMIC%20mayo%2008.pdf> (12/04/10).
- [12] <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/proyecto/complemen/casos/mezquital.pdf> (12/11/09).
- [13] <http://www.conagua.gob.mx/sustentabilidadhidricadelvalledemexico/ptaratotonilco.aspx> (12/09/1).
- [14] Panorama Actual de la Mini y Micro Hidráulica en México, Valdez Ingenieros S.A de C.V.
- [15] FH Solar & Led Energías Renovables.
- [16] Marin Ureña, Juan Miguel (2007) "Estudio de costos de instalación de sistemas pico y micro hidroeléctrico (100 W a 100 kW)", Universidad de Costa Rica.