



# **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”, ZACATENCO

## **“PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE UNA MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA PRESA ITURBIDE MUNICIPIO DE ISIDRO FABELA, ESTADO DE MÉXICO”**

### **TESIS**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A N

***EDUARDO GUERRERO VAZQUEZ  
LUIS EDUARDO SIMON GUADALUPE***

ASESORES:

***M. EN C. JOSÉ ANTONIO CASTILLO JIMÉNEZ  
DR. JUVENAL GERARDO MATURANO RODRÍGUEZ  
ING. JUAN DANIEL RIVAS MARTÍNEZ***



**CIUDAD DE MÉXICO MAYO 2022**



Instituto Politécnico Nacional

Presente

Bajo protesta de decir verdad los que suscriben **EDUARDO GUERRERO VAZQUEZ y LUIS EDUARDO SIMON GUADALUPE**, manifestamos ser autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada **"PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE UNA MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA PRESA ITURBIDE MUNICIPIO DE ISIDRO FABELA, ESTADO DE MÉXICO"**, en adelante **"La Tesis"** y de la cual se adjunta copia, **en un impreso y un CD**, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgamos al **Instituto Politécnico Nacional, EI IPN**, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales o en cualquier otro medio: **para apoyar futuros trabajos relacionados con el tema de "La Tesis"** por un periodo de **99 años** contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a **EI IPN** de su terminación.

En virtud de lo anterior, **EI IPN** deberá reconocer en todo momento nuestra calidad de autores **"La Tesis"**.

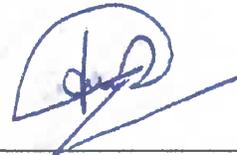
Adicionalmente, en nuestra calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de **"La Tesis"**, manifestamos que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por los suscritos respecto de **"La Tesis"**, por lo que deslindamos de toda responsabilidad a **EI IPN** en caso de que el contenido de **"La Tesis"** o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumimos las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México., a 29 de noviembre de 2022.

Atentamente



EDUARDO GUERRERO VAZQUEZ



LUIS EDUARDO SIMON GUADALUPE

## **INDICE**

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>I</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>III</b>
<b>ABREVIATURAS</b> .....	<b>V</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b> .....	<b>VI</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>VII</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>IX</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>IX</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>X</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>X</b>
<b>ALCANCE</b> .....	<b>X</b>
<b>CAPITULO 1. MICROCENTRALES HIDROELÉCTRICAS</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Antecedentes históricos</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2. Energía Hidráulica</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3. Centrales hidroeléctricas</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4. Tipos de centrales hidroeléctricas</b> .....	<b>4</b>
1.4.1. Clasificación .....	<b>4</b>
<b>1.5 Partes de una central hidroeléctrica</b> .....	<b>8</b>
1.5.1 Obra civil .....	<b>9</b>
1.5.2 Equipamiento electromecánico.....	<b>19</b>
<b>1.6 Turbina hidroeléctrica</b> .....	<b>25</b>

1.6.1 Tipos de Turbinas:.....	25
<b>1.7. Método del caudal por el método racial americano .....</b>	<b>30</b>
1.6.3 Selección de las turbinas. ....	31
<b>1.7 Ecuaciones para el dimensionamiento de los parámetros de una micro central hidroeléctrica .....</b>	<b>33</b>
1.6.5 Ecuación para determinación para pérdidas por altura .....	34
1.6.6 Ecuación para la determinación del diámetro interno de la tubería de conducción .....	34
1.6.7 Ecuación para determinación de la velocidad de flujo en la tubería.....	35
1.6.8 Ecuación para determinación de presión nominal de la tubería.....	35
1.6.9 Ecuación para determinar la potencia eléctrica teórica .....	35
<b>1.10. Tipos de mini centrales hidroeléctricas.....</b>	<b>36</b>
<b>1.11 Micro generación en México.....</b>	<b>36</b>
<b>CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>38</b>
<b>2.1 Estado del Arte.....</b>	<b>39</b>
2.1.1 Diseño de una micro central hidroeléctrica para la hacienda las garzas.....	39
2.1.2 Diseño de una pico central hidroeléctrica en la localidad de usme, Bogotá. ....	39
2.1.3 Propuesta de instalación de una pequeña central hidroeléctrica en el municipio Xicoteppec de Juárez .....	40
2.1.4 Diseño y caracterización de un micro turbina hidráulica tipo Francis de 2 [kW] para el almacenamiento de la energía hidroeléctrica por bombeo. ....	41
2.1.5 Diseño y construcción de un prototipo modular de un micro central hidroeléctrico estacionario con turbina tipo Pelton .....	41
2.1.6 Estudio de alternativas de conexión para el ingreso de la micro central hidroeléctrica San José de Minas a la red de la empresa eléctrica Quito.....	42
2.1.7 Construcción de planta generadora de energía en parque ecológico Chapultepec Cuernavaca, en Cuernavaca Morelos .....	42
2.1.8 Diseño de una micro central en el lago Llanquihue.....	43

2.1.9 Viabilidad técnica para la implementación de una micro central hidroeléctrica en el embalse de Chiquiurcu .....	43
---	----

**2.2 Descripción del sitio .....44**

2.2.1 Isidro Fabela .....	44
---------------------------	----

2.2.2 Localización Geográfica.....	44
------------------------------------	----

2.2.3 Hidrografía del municipio del isidro Fabela.....	45
--	----

2.2.4 Precipitación .....	45
---------------------------	----

***CAPITULO 3.CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA MICRO CENTRAL***

***HIDROELÉCTRICA..... 47***

**3.1 Estimación Hidrológica.....49**

3.1.1 Área de la cuenca de la presa Iturbide .....	49
--	----

3.1.2 Estadísticas climatológicas del área de estudio (presa Iturbide).....	50
---	----

3.1.3 Determinación del coeficiente de escorrentía.....	50
---	----

3.1.4 Cálculo del caudal.....	51
-------------------------------	----

**3.2 Estimación de altura geodésica de diseño de la micro central hidroeléctrica. ....51**

3.2.1 Altura neta de la micro central .....	51
---	----

**3.3. Propuesta de ubicación de los elementos para el diseño de la micro central hidroeléctrica en presa Iturbide.....55**

**3.3 Dimensionamiento del conjunto hidroeléctrico.....56**

3.3.1 Tubería de presión.....	56
-------------------------------	----

3.3.2 Velocidad del flujo en la tubería de presión .....	57
--	----

3.3.3 Presión nominal de la tubería .....	57
---	----

3.3.4 Dimensionamiento de la tubería de presión.....	58
--	----

3.3.5 Potencia eléctrica de la micro central hidroeléctrica. ....	59
---	----

3.3.6 Dimensionamiento de turbina y generador.....	60
--	----

3.4	Diagrama unifilar de la microcentral hidroeléctrica.....	67
3.4	Descripción de la carga eléctrica del área de estudio.....	68
3.4.1	Dimensionamiento de la carga domestica actual y futura.....	68
<b>CAPITULO 4. FACTIBILIDAD TECNICA Y ECONOMICA .....</b>		<b>73</b>
4.1	Análisis de Resultados .....	74
4.2	Generación anual de energía eléctrica .....	75
4.3	Inversión .....	78
4.4	Mantenimiento. ....	80
4.4.1	Personal para operación de la micro central .....	80
4.5	Factibilidad económica.....	80
4.6	VAN y TIR.....	81
4.7	Impacto social .....	82
<b>CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>84</b>
5.1	Conclusión. ....	85
5.2	Recomendaciones .....	86
<b>ANEXOS.....</b>		<b>88</b>
	Anexo A Cotización Turbina-Generador y control .....	88
	Anexo B Cotización de la Tuberia de acero inoxidable .....	91
	Anexo C Cotizacion de los transformadores.....	92
<b>REFERENCIAS .....</b>		<b>93</b>

## LISTA DE FIGURAS

## PÁGINA

Figura 1.1. Central Hidroeléctrica Appleton.....	2
Figura 1.2 Clasificación de centrales hidroeléctricas según su potencia.....	5
Figura 1.3. Central de pasada o filo de agua. ....	6
Figura 1.4 Central de embalse o de regulación. ....	7
Figura 1.5 Azud Central. ....	10
Figura 1.6 Tipos de Presa. ....	11
Figura 1.7 Toma de agua en ríos de montaña.....	12
Figura 1.8 Esquema de agua en toma de agua de presa. ....	13
Figura 1.9 Desarenador de fondo. ....	14
Figura 1.10 Canal de derivación.....	14
Figura 1.11 Superación de vanguardas con acueductos o con sifones cielo abierto. .....	15
Figura 1.12 Diferentes tipos de secciones transversales de canales.....	16
Figura 1.13 Cámara de carga.....	17
Figura 1.14 Tubería forzada.....	18
Figura 1.15 Tubo de aspiración.....	18
Figura 1.16 Transformador de transmisión.....	22
Figura 1.17 Bobinado de transformador monofásico. ....	23
Figura 1.18 Bobinado de un transformador trifásico. ....	23
Figura 1.19 Red eléctrica.....	24
Figura 1.20 Turbina Pelton con inyector. ....	26
Figura 1.21 Turbina Turgo.....	26
Figura 1.22 Turbina de flujo cruzado. ....	27
Figura 1.23 Turbina Francis y sus componentes.....	28
Figura 1.24 Turbina Kaplan.....	29

Figura 1.25 Aplicación de diferentes tipos turbinas conforme a caudal y altura.....	29
Figura 1.26 Hipotesis fundamental de la formula racional. ....	30
Figura 1.27 Aplicación de diferentes tipos turbinas conforme a caudal y altura.....	32
Figura 2.1. Localización Geográfica de isidro Fabela.....	44
Figura 2.2 Precipitación de la zona.....	46
Figura 3.1. Diagrama de flujo del desarrollo del capítulo 3.....	48
Figura 3.2 Vista satelital de la cuenca donde se ubica la presa Iturbide a través Google Earth .....	49
Figura 3.3. Creación de un polígono en el área de estudio (presa Iturbide), para la micro central en Google Earth pro.....	52
Figura 3.4 Curvas de nivel en el área de estudio (presa Iturbide) con Global Mapper 20.....	53
Figura 3.5 Curvas de nivel con la señalización donde estará la casa de máquinas53	
Figura 3.6 Visualización de las curvas de nivel creadas en Global Mapper en Google Earth pro en el área de estudio para la micro central.....	54
Figura 3.7 Ubicación de los elementos para el diseño de la micro central hidro eléctrica en la presa Iturbide.....	56
Figura 3.8 Abaco para selección de tipo turbina hidráulica.....	60
Figura 3.9 Aspectos generales del transformador tipo poste de la marca continental electric.....	66
Figura 3.10 Diagrama unifilar de la micro central hidroelectrica hacia la carga de la comunidad .....	67
Figura 4.1 Grafica de caudal promedio por mes y caudal propuesto.....	77

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1.1 Clasificación de centrales según la altura del salto del agua. ....</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 1.2 Coeficiente de escorrentía .....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 1.3 Rangos de operación de turbina de reacción .....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 3.1 Estaciones climatológicas en la presa Iturbide 2011-2017.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 3.2 Dimensiones y peso tuberías acero con y sin costura. ....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 3.4 Datos para estimación de la potencia de la turbina .....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 3.5 Rangos de velocidad específica en cada tipo de turbina hidráulica.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 3.6. Velocidad de rotación en relación al número de polos y frecuencia. ..</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 3.7. Capacidades de transformadores trifásicos Continental electric con factor de potencia de 0.9. ....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 3.8. Propuesta de carga eléctrica de una Casa habitación en la comunidad de las Canoítas .....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 3.9. Propuesta de carga eléctrica de una fonda de comida en la comunidad de las Canoítas .....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 3.10. Propuesta de una carga eléctrica de un Restaurante en la comunidad de las canoítas .....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 3.11. Carga propuesta para un hotel en la presa Iturbide. ....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 3.12. Carga eléctrica estimada para la micro central hidroeléctrica. ....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 4.1 Resumen de valores obtenidos en el capítulo 3.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 4.2 Caudales promedio mensuales y caudal promedio general. ....</i>	<i>76</i>

<b>Tabla 4.3 Potencia generada en meses de sequía. ....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 4.4 Costos de equipos de la micro central hidroeléctrica. ....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 4.5 Costos de materiales y mano de obra de la micro central hidroeléctrica. .....</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 4.6. Personal para la operación de la micro central. ....</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 4.7 Datos para obtener el VAN y TIR .....</b>	<b>82</b>

## **ABREVIATURAS**

<b>CFE</b>	Comisión Federal de electricidad.
<b>CONAE</b>	Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.
<b>CRE</b>	Comisión Reguladora de Energía.
<b>CENACE</b>	Centro Nacional de Control de Energía.
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática.
<b>CONAGUA</b>	Comisión Nacional del Agua.
<b>VAN</b>	Valor Actual Neto.
<b>TIR</b>	Tasa Interna de Retorno.
<b>RPM</b>	Revoluciones Por Minuto.
<b>CEL</b>	Certificado de Energías Limpias.
<b>CONASAMI</b>	Comisión Nacional de los Salarios Mínimos.
<b>kW</b>	Potencia activa.
<b>kVA</b>	Potencia aparente.
<b>USD</b>	Dólares Estadounidense.
<b>Mxn</b>	Pesos mexicanos.

## *GLOSARIO DE TÉRMINOS*

**Caudal.** - Cantidad de fluido, medido en volumen, que se mueve en una unidad de tiempo.

**Energía renovable.** - Es un recurso natural que se puede restaurar por procesos naturales a una velocidad superior a la del consumo por los seres humanos.

**Marginación.** - Es una situación social de desventaja económica, profesional, política o de estatus social, producida por la dificultad que una persona o grupo tiene para integrarse a algunos de los sistemas de funcionamiento social (integración social).

**Global Mapper.** - Es un paquete de software de sistema de información geográfica (GIS) desarrollado actualmente por Blue Marble Geographics, maneja datos vectoriales, ráster y de elevación, y proporciona visualización, conversión y otras características generales.

**Google Earth pro.** - Es un programa informático que muestra un globo terráqueo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, basado en imágenes satelitales.

## *INTRODUCCIÓN*

En México cuenta con diversas fuentes renovables para producir energía eléctrica como son los recursos hídricos, geotérmicos, eólicos y solar. Enfocándonos a la energía hidroeléctrica, es de la que más aporta de las energías renovables en términos de generación al sistema eléctrico nacional. Actualmente México cuenta con recursos e infraestructura hidráulica como presas o ríos que tienen potencial para generación de energía eléctrica a pequeña o micro escala y en la actualidad no se aprovecha, es el caso de la presa Iturbide que cuenta con infraestructura civil, que hasta a la fecha no se ha considerado para generar energía eléctrica.

El objetivo de este trabajo es realizar la propuesta de instalación de una micro central hidroeléctrica en la presa Iturbide, ya que en sus alrededores de este sitio existe la comunidad de las Canoítas, la cual tiene un alto grado de marginación según las estadísticas de INEGI, por lo mismo no cuenta con un suministro de energía eléctrica, el cual es de vital importancia para el desarrollo del hombre en la sociedad en cada actividad del hombre moderno. Las energías renovables como la hidroeléctrica, son una alternativa para suministrar energía eléctrica a pequeñas comunidades que tiene alta marginación por el hecho que están aisladas al acceso a la energía eléctrica, pero comúnmente están rodeados de recursos naturales, como es el caso de la comunidad canoítas, en donde se tiene un recurso hídrico que puede solucionar la inexistencia de energía eléctrica en la comunidad e implícitamente la desigualdad social en la que se encuentra las familias de las canoítas.

Para lograr el objetivo de este trabajo se trabajaron 5 capítulos en el que a continuación de manera breve se explica su contenido:

En el capítulo 1 se tiene información sobre la energía hidráulica y la clasificación de centrales hidroeléctricas, también las partes que conforman este tipo de instalaciones y además los métodos para llegar al dimensionamiento de la micro central hidroeléctrica.

En el capítulo 2 se llevo a cabo la investigación de proyectos similares para tener una perspectiva sobre el impacto del desarrollo de este tipo de proyectos. Además, se obtuvo información geográfica y climatológica del área de la presa Iturbide, municipio de Isidro Fabela, Estado de México.

En el capítulo 3, se desarrolló la estimación hidrológica y geodésica por medio de diferentes métodos para lograr el dimensionamiento del conjunto hidroeléctrico (turbina- generador), y además se dimensionó la carga eléctrica que sustentará la microcentral considerando el crecimiento de la comunidad de las Canoítas.

En el capítulo 4 , se llevo a cabo un análisis de resultados obtenidos en el capítulo 3, con el cual se cotizó el costo de la inversión inicial de la micro central hidroeléctrica y además de la evaluación de generación de energía eléctrica que se tendría anualmente, para así obtener la factibilidad económica conforme a la inversión, obteniendo el valor actual neto y la tasa interna de retorno de la propuesta de instalación.

En el capítulo 5 finalmente se tienen conclusiones con respecto a los objetivos planteados al inicio de este trabajo. Además se hicieron recomendaciones que puedan mejorar o complementar en un futuro la funcionalidad o estructura de este trabajo, siempre y cuando sea mas eficiente y completo.

## ***PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA***

Actualmente debido a todos los problemas que sufre el planeta por el calentamiento global se requiere utilizar energías limpias que no contaminen tanto al planeta, y así mismo suministrar energía eléctrica a la mayor parte de la población mundial y en México hay algunas zonas rurales que están aisladas de un suministro eléctrico de energía, la mayoría de estas comunidades cuenta con recursos naturales que pueden usar energéticamente como cuerpos o ríos de agua para la generación de energía eléctrica, ya que este tipo de zonas sin energía tiene muchas limitaciones para el desarrollo de sus actividades básicas ya que hoy en día la energía eléctrica es muy necesaria en todos los aspectos. México está dentro de los países con gran potencial para generación con energías renovables, tal como la energía hidroeléctrica, actualmente hay infraestructuras hidráulicas que no tienen aprovechamiento de energía eléctrica, pero son susceptibles de llegar a esto, como son las presas de almacenamiento, derivadoras, canales de riego, acueductos, cuencas de riego, entre otros, y que pueden ser utilizadas para la generación de energía eléctrica, respetando las necesidades actuales en los usos del agua según (Instituto mexicano de tecnología del agua, 2017). La presa Iturbide situado en el municipio de Isidro Fabela en el Estado de México es un cuerpo de agua con infraestructura hidráulica construido en 1961 que tiene potencial para generar energía eléctrica que hasta la fecha no se ha contemplado para generación de energía eléctrica.

## ***OBJETIVO GENERAL***

Analizar y Proyectar la instalación de una micro central hidroeléctrica para suministrar energía eléctrica a la comunidad de “Las Canoítas (Presa Iturbide)”, municipio de Isidro Fabela, Estado de México.

## ***OBJETIVOS ESPECÍFICOS***

- Estudiar las características específicas de la presa.
- Analizar la carga a eléctrica actual.
- Proponer carga futura de la comunidad “Canoítas”.
- Seleccionar turbina hidroeléctrica y generador eléctrico.
- Realizar estudio técnico y económico de la micro central hidroeléctrica.

## ***JUSTIFICACIÓN***

El motivo de este proyecto se debe a la importancia de tener energía eléctrica en el hogar ya que la comunidad “Las Canoítas (presa Iturbide)” ya que no cuenta con suministro eléctrico y siendo una de las zonas marginales, la idea de tener un suministro eléctrico es permitir el desarrollo de la comunidad para resolver el problema de la inequidad social por ser una zona de alta marginación, por lo que la propuesta de la instalación de una micro central hidroeléctrica en la presa Iturbide, buscamos la ayuda del gobierno del estado de México ya que año con año se tienen una partida presupuestal la cual es destinada para poner en marcha proyectos que benefician a comunidades de bajos recursos.

Este proyecto sería amigable con el medio ambiente ya que no genera emisiones de agentes contaminantes como el CO<sub>2</sub> aparte de beneficiar a la zona con un suministro eléctrico que permita el desarrollo de nuevos complejos para el turismo en la zona de la presa Iturbide y por ende se generen empleos para las personas de esta comunidad ya que la zona tiene cualidades para ser una zona de turismo.

## ***ALCANCE***

El proyecto quedará como una propuesta de instalación de una micro central hidroeléctrica determinando tubería de acero, turbina y generador conforme a los parámetros hidrológicos de la zona como es el caudal, altura geodésica y estadísticas climatológicas que se necesitan para el dimensionamiento para el conjunto hidroeléctrico ya mencionado, además se evalúa suministrar energía

eléctrica con la micro central hidroeléctrica a los hogares de la comunidad “las Canoitas Presa Iturbide”. También estipulando una carga futura del doble de los hogares que actualmente tiene esta comunidad y también se contempla una carga eléctrica para una pequeña zona ecoturística, como un hotel de una estrella, locales de comercio y un restaurante, evaluando que esta zona tiene potencial para ser un buen complejo turístico ya que cuenta con paisajes boscosos, la misma presa puede ser una atracción para que la gente conozca el lugar y pueda visitarlo.

*CAPITULO 1. MICROCENTRALES  
HIDROELÉCTRICAS*

## **1.1 Antecedentes históricos**

La primera central hidroeléctrica de la que se tiene constancia data de 1880. Esta instalación aprovecha la fuerza del agua que caía desde cierta altura para accionar una turbina acoplada a un alternador produciendo electricidad esta central era la de Northumberland, situada en Gran Bretaña. No obstante, según otras fuentes la primera central hidroeléctrica del mundo se construyó en Appleton en el estado de Wisconsin de Estados Unidos en el año 1882. (Oyagar Fernandez, 2019).



**Figura 1.1. Central Hidroeléctrica Appleton.**

Fuente: (Oyagar Fernandez, 2019)

## **1.2. Energía Hidráulica**

La energía hidráulica se basa en aprovechar la caída del agua desde cierta altura. La energía potencial durante la caída se convierte en cinética. El agua pasa por las turbinas a gran velocidad, provocando un movimiento de rotación que finalmente se transforma en energía eléctrica por medio de los generadores. Es un recurso natural disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua y, una vez utilizada, es devuelta río abajo. Su desarrollo requiere construir pantanos, presas, canales de derivación y la instalación de grandes turbinas y equipamiento para generar electricidad. (Aguirre, Ponce, & Hiess, 2011).

Todo ello implica la inversión de grandes sumas de dinero, por lo que no resulta competitiva en regiones donde el carbón o el petróleo son baratos. Sin

embargo, el peso de las consideraciones medio ambientales y el bajo mantenimiento que precisan una vez estén en funcionamiento centran la atención en esta fuente de energía. (Aguirre, Ponce, & Hiess, 2011).

La energía hidráulica se refiere al aprovechamiento de la energía potencial que tiene el agua (por diferencia de altura), buscando una caída que se obtiene a un salto de agua natural desde cierta altura a un nivel inferior la que luego se transforma en energía mecánica (rotación de un eje), con el uso de una rueda hidráulica o turbina. Es posible conectar la turbina a un generador eléctrico y de esta manera transformar la energía mecánica en energía eléctrica, con la ventaja de trasladar con mayor facilidad la energía a los puntos de consumo y aplicarla a una gran variedad de equipos y usos productivos. (Cuacuas, 2019).

### **1.3. Centrales hidroeléctricas**

La energía hidroeléctrica es una de las más rentables. El costo inicial de construcción es elevado, pero sus gastos de explotación y mantenimiento son relativamente bajos. Aun así, tienen unos condicionantes: Las condiciones pluviométricas medias del año deben ser favorables. El lugar de emplazamiento está supeditado a las características y configuración del terreno por el que discurre la corriente de agua. El funcionamiento básico consiste en aprovechar la energía cinética del agua almacenada, de modo que accione las turbinas hidráulicas. En el aprovechamiento de la energía hidráulica influyen dos factores: el caudal y la altura del salto para aprovechar mejor el agua llevada por los ríos, se construyen presas para regular el caudal en función de la época del año. La presa sirve también para aumentar el salto. Otra manera de incrementar la altura del salto es derivando el agua por un canal de pendiente pequeña (menor que la del cauce del río), consiguiendo un desnivel mayor entre el canal y el cauce del río. (Aguirre, Ponce, & Hiess, 2011).

El agua del canal o de la presa penetra en la tubería donde se efectúa el salto. Su energía potencial se convierte en energía cinética llegando a las salas de máquinas, que albergan a las turbinas hidráulicas y a los generadores

eléctricos. El agua al llegar a la turbina la hace girar sobre su eje, que arrastra en su movimiento al generador eléctrico. La tecnología de las principales instalaciones se ha mantenido igual durante el siglo XX. Las turbinas pueden ser de varios tipos, según los tipos de centrales: Pelton (saltos grandes y caudales pequeños), Francis (salto más reducido y mayor caudal), Kaplan (salto muy pequeño y caudal muy grande) y de hélice. Las centrales dependen de un gran embalse de agua contenido por una presa. El caudal de agua se controla y se puede mantener casi constante. El agua se transporta por unos conductos o tuberías forzadas, controlados con válvulas para adecuar el flujo de agua por las turbinas con respecto a la demanda de electricidad. El agua sale por los canales de descarga. El agua es devuelta al río en las condiciones en que se tomó, de modo que se puede volver a utilizar por otra central situada aguas abajo o para consumo. (Aguirre, Ponce, & Hiess, 2011).

## **1.4. Tipos de centrales hidroeléctricas**

### **1.4.1. Clasificación**

La tipología de las centrales hidroeléctricas es muy variada. Estas dependen de:

1. La capacidad de generación.
2. El tipo de tecnología.
3. La localización y tipo de presa, embalse, etc. (Aguirre, Ponce, & Hiess, 2011)

Según el tipo de central las instalaciones hidráulicas pueden clasificarse fundamentalmente en:

1. Centrales de agua fluyente.
2. Centrales con embalse.
3. Central hidroeléctrica por bombeo.

De acuerdo al potencial de las centrales hidroeléctricas, Estados Unidos de América y Europa, las clasifican de la siguiente manera:

Central hidroeléctrica	Potencia (kilovatios)
Pico central	0 a 10
Micro central	10 a 100
Mini central	100 a 1,000
Pequeña central	1,000 a 10,000
Mediana central	10,000 a 100,000

**Figura 1.2 Clasificación de centrales hidroeléctricas según su potencia.**

Fuente: (Aguirre, Ponce, & Hiess, 2011).

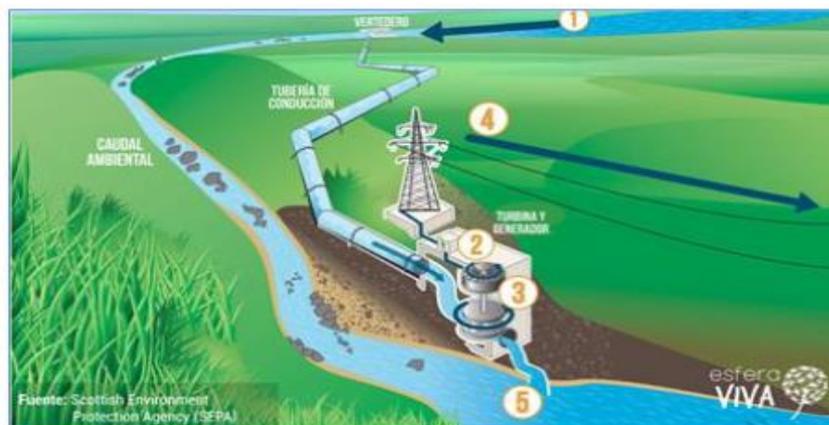
Se pueden clasificar según varios argumentos, como características técnicas, peculiaridades del asentamiento y condiciones de funcionamiento. En primer lugar, hay que distinguir las que utilizan el agua según discurre normalmente por el cauce de un río, y aquellas otras a las que ésta llega, convenientemente regulada, desde un lago o pantano. Se denominan: Centrales de agua fluente, centrales de agua embalsada, centrales de regulación, centrales de bombeo. Según la altura del salto de agua o desnivel existente: Centrales de alta presión, centrales de media presión, centrales de baja presión y centrales de agua fluente. Llamadas también de agua corriente, o de agua fluyente. Se construyen en los lugares en que la energía hidráulica debe ser utilizada en el instante en que se dispone de ella, para accionar las turbinas hidráulicas. No cuentan prácticamente con reserva de agua, oscilando el caudal suministrado según las estaciones del año. En la temporada de precipitaciones abundantes (de aguas altas), desarrollan su potencia máxima, y dejan pasar el agua excedente. Durante la época seca (aguas bajas), la potencia disminuye en función del caudal, llegando a ser casi nulo en algunos ríos en la época del estío. Su construcción se realiza mediante presas sobre el cauce de los ríos, para mantener un desnivel constante en la corriente de agua. (Aguirre, Ponce, & Hiess, 2011).

#### 1.4.1.1 Centrales de pasada o de filo de agua

Para poder clasificar las centrales hidroeléctricas por el tipo de utilización de agua se debe distinguir entre las que utilizan el agua según discurre normalmente para el cauce del río o aquellas a las que el agua llega convenientemente regulada a través de una presa. Para ello se clasifica de la siguiente manera: (Aguirre, Ponce, & Hiess, 2011).

#### 1.4.1.2 Centrales de pasada o de filo de agua

Una central de filo de agua también denominadas central de agua fluyen es aquella donde se desvía parte del caudal principal mediante una toma, y a través de canales y tuberías se lleva hasta la central dónde será turbinada. Posteriormente de haber sido generada la energía eléctrica el agua es devuelta al cauce del río original en la figura siguiente se observan las partes principales de una central de filo de agua. (Cuacuas, 2019).



**Figura 1.3. Central de pasada o filo de agua.**

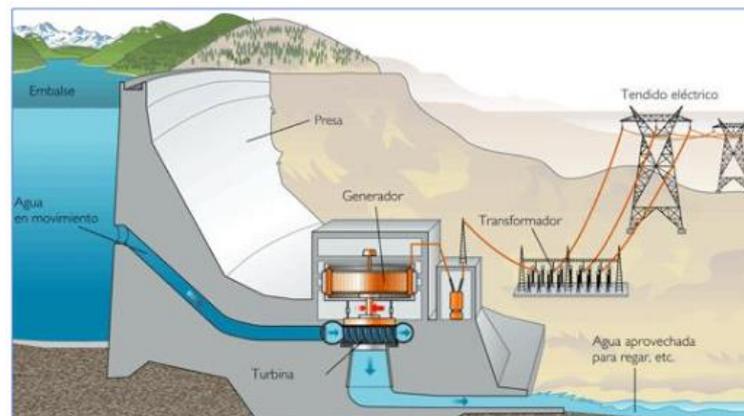
Fuente: (Cuacuas, 2019).

- 1) Vertedero parte del caudal de río es desviada hacia un nuevo canal artificial.
- 2) Tubería de conducción: tubería por la cual el agua desviada es conducida hasta la central dónde será turbinada.
- 3) Conjunto Tubería-Generador: El agua que fluye por la turbina hace girar el generador para producción de energía eléctrica.
- 4) Líneas de transmisión: La energía generada es enviada a la red.
- 5) Salida de agua: El que es la salida turbina hasta donde se regresa al caudal del río.

### 1.4.1.3 Centrales de embalse o regulación

En este aprovechamiento existe la posibilidad de construir un embalse en el cauce del río para almacenar las aportaciones de este. La característica principal de este tipo de central es que cuenta con la capacidad de regular los caudales de salida del agua, la cual se utilizará en los momentos que se requiera la energía eléctrica.

Para este tipo de centrales es necesario considerar la sedimentación que ira acumulando al pasar el tiempo así tomar las medidas pertinentes para el degrado del mismo. La ventaja de tener este tipo de centrales es que se puede producir energía durante todo el año dependiendo de la cantidad de agua que se almacene en la siguiente figura se observan las partes principales de una central de embalse. (Cuacuas, 2019).



**Figura 1.4 Central de embalse o de regulación.**

Fuente: (Cuacuas, 2019).

### 1.4.1.4 Según la altura del salto del agua

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de las centrales según la altura del salto del agua, en la cual también se puede observar el caudal aproximado que es utilizado para hacer girar la turbina, así como el tipo de turbina que se utiliza normalmente bajo esas condiciones. (Cuacuas, 2019).

Tabla. 1.1 Clasificación de centrales según la altura del salto del agua.

CENTRALES	ALTURA [m]	CAUDAL DESALOJADO [ $\frac{m^3}{s}$ ]	TIPO DE TURBINA
ALTA PRESIÓN MEDIA PRESIÓN BAJA PRESIÓN	>200	20	Pelton Francis lentas
	20-200	200	Francis Kaplan
	<20	$\geq 300$	Kaplan Hélice Francis extra rápidas

#### 1.4.1.5 Centrales de alta presión

Si incluyen aquellas centrales en las que el salto hidráulico es superior a los 200 [m] de altura. Los caudales desalojados son relativamente pequeños, 20 [ $\frac{m^3}{s}$ ] por máquina. Situadas en zonas de alta montaña, aprovechan el agua de torrentes, por medio de conductores de gran longitud. Como máquinas motrices se utilizan, generalmente, turbinas Pelton o, para los saltos de menor altura, las turbinas Francis lentas. (Cuacuas, 2019).

#### 1.4.1.6 Centrales de media presión

Alturas de salto hidráulica comprendidas entre 20 y 200 [m]. Utilizan caudales de 200 [ $\frac{m^3}{s}$ ] por turbina. Las turbinas son Francis, Kaplan y en ocasiones Pelton para saltos grandes. (Cuacuas, 2019).

#### 1.4.1.7 Centrales de baja presión

Sus saltos hidráulicos son inferiores a 20 [m]. Cada máquina se alimenta de un caudal que puede superar los 300 [ $\frac{m^3}{s}$ ]. En la zona de utilización de las turbinas Francis rápidas, de las turbinas de hélice y sobre todo las turbinas Kaplan. (Cuacuas, 2019).

### 1.5 Partes de una central hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica está formada por diversos elementos las cuales están conformadas por elementos de obra civil y componentes hidráulicos (sistema de captación de agua tomas de agua sistema de canalización y de

restitución) y por componentes electromecánicos (turbina, alternador, cuadros eléctricos y sistemas de mando). (Oyagar Fernandez, 2019).

De forma más específica, una instalación hidroeléctrica está constituida por los siguientes componentes:

1. Sistema de toma de agua, cuya configuración depende de la tipología del curso de agua interceptado y de la orografía de la zona.
2. Sistema de filtración, para la eliminación de los cuerpos en suspensión en el agua; su tipología incluida su mayor o menor automatización depende del caudal derivado y de la entidad de los sólidos transportados por el flujo hídrico.
3. Sistema de conducción de las aguas, formadas por canales o conductos forzado según la orografía y por consiguiente la tipología de la instalación con un mayor o menor salto.
4. Edificio central, que contiene los sistemas electromecánicos: grupo de turbina-alternador, transformador, cuadros eléctricos y sistema de control.
5. Sistema de restitución de las aguas al curso del agua principal.

Una central está constituida por diversos componentes y equipos que pueden clasificarse en 4 grandes grupos que son los siguientes: (Oyagar Fernandez, 2019).

1. Obra civil.
2. Equipamiento electromecánico.
3. Equipos auxiliares.
4. Turbinas.

### *1.5.1 Obra civil*

La obra civil engloba aquellas obras e instalaciones necesarias para derivar, construir in restituir el agua turbinada, así como para albergar y proteger los equipos electromecánicos. (Oyagar Fernandez, 2019).

Son obras civiles siguientes elementos:

1. Azules y presas.
2. Obra de toma.
3. Canal de derivación.
4. Cámara de carga.
5. Tubería forzada.
6. Edificio.
7. Tubo de aspiración.
8. Canal de desagüe.

#### 1.5.1.1 Azules y presas

Se le llama presa en general a una construcción que se levanta en el lecho del río para atajar el agua produciendo una elevación de su nivel que permite la derivación de ella o bien para almacenar el agua regulando el caudal del río.

Estas mismas se dividen en dos grandes grupos los cuales son:

1. Presas de derivación: llamadas así también AA su decir presas de vertedero están dispuestas preferentemente para elevar el nivel del cauce contribuyendo a crear el salto y siendo efecto secundario el almacenamiento del agua. (Oyagar Fernandez, 2019).



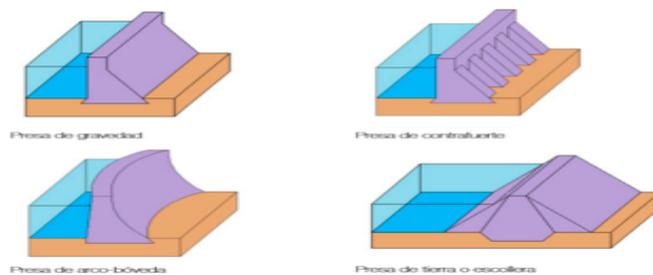
**Figura 1.5 Azud Central.**

Fuente: (Oyagar Fernandez, 2019).

2. Presas de embalse: el objeto preferente de las presas de embalse es el almacenamiento de agua para regular el caudal del río. Siendo de efectos secundarios la elevación del nivel del agua para producir el salto.

Hay 4 tipos diferentes de presas atendiendo a sus características orográficas las cuales son las siguientes:

1. De gravedad que retiene el agua gracias al tipo de materiales empleados, como mampostería u hormigones.
2. De contra fuente, formadas por una pared impermeable situada aguas arriba y contra fuentes resistentes para su estabilidad, situados aguas abajo.
3. De arco-bóveda, que aprovechan el efecto transmisor del arco para transferir los empujes de agua al terreno.
4. De tierra o escollera, con un núcleo de material arcilloso, que a veces es tratado químicamente o con inyecciones de cemento. (Oyagar Fernandez, 2019).



**Figura 1.6 Tipos de Presa.**

Fuente: (Oyagar Fernandez, 2019).

#### **1.5.1.2 Obra de toma**

La obra de toma estructura situada en la presa o el azud destinada a desviar el caudal hacia el canal de derivación o hacia la tubería. El agua debe pasar por la obra de toma con la mínima pérdida de carga posible y debe permitir el paso de todo el caudal que requiera la central independientemente de si el río es de régimen tranquilo o turbulento. (Sanz, 2008).

El diseño de la obra de toma debe realizarse de acuerdo con los siguientes parámetros:

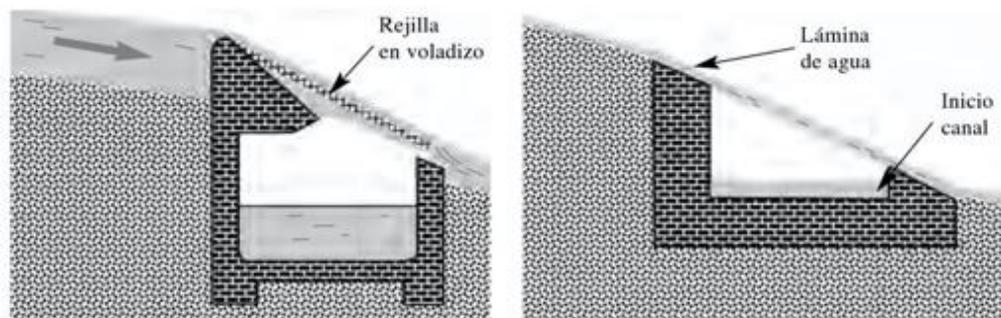
1. Hidráulicos: Asegurar el caudal con la mínima pérdida de carga posible.

2. Operativos: Deben impedir la entrada de objetos, debe poder limpiarse con la facilidad no verse afectado por la formación de sólidos.
3. Medioambientales: Integración en el paisaje, impedir el acceso de peces.

#### 1.5.1.2.1 Tipos de obras de toma

La clasificación se realiza en función del lugar en que se colocan:

1. En el azud alimentando a un canal: Se coloca en un lateral del azud y desvía el agua hacia el canal. Debe colocarse cercana al azud para asegurar que el agua está en el movimiento, evitando zonas de aguas muertas en las que se almacena la broza.
2. En el azud alimentando una tubería: en estas condiciones la obra de toma coincide con la cámara de carga. Además de las características nombradas anteriormente en estos casos suele estar cubierta para evitar que caigan ramas u otros objetos entre la toma y la tubería. (Sanz, 2008).
3. En ríos de montaña: en los ríos de caudales rápidos y cauces irregulares en los que no se construye un azud para remesar el agua, la toma puede colocarse en el mismo cauce del río. En estos casos consiste en un canal perpendicular al cauce y excavado en el fondo del mismo. (Sanz, 2008).

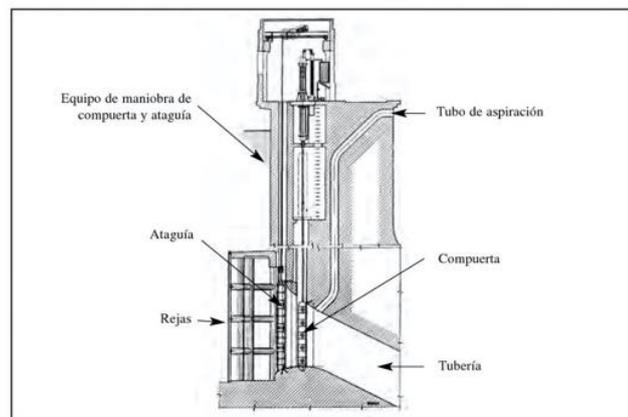


**Figura 1.7 Toma de agua en ríos de montaña.**

Fuente: (Sanz, 2008).

4. En presas: son estructuras sumergidas en el embalse con forma de torre que disponen de tomas diferentes profundidades que desvían

el agua hacia la tubería en ocasiones aprovechan los desagües de fondo. (Sanz, 2008).



**Figura 1.8 Esquema de agua en toma de agua de presa.**

Fuente: (Sanz, 2008).

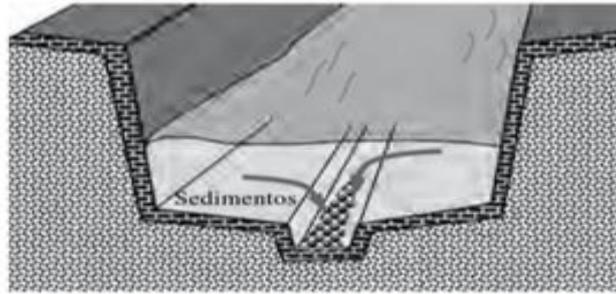
5. En canales de riego: En estos casos podemos encontrar distintas soluciones en función del espacio y de la obra ya existente ya por ejemplo en el mismo canal realiza las funciones de obra de toma y cámara de carga haciendo el lateral del canal las veces de aliviadero, desviando el agua sobrante hacia una rápida.
6. En otros casos: La obra de toma también coincide con la cámara de carga que presenta una disposición similar a la toma de azud. (Sanz, 2008).

#### **1.5.1.3 La cámara de sedimentación:**

En los ríos en los que el agua arrastra piedras u otras partículas sólidas de pequeños tamaños, aun cuando la disposición de la obra de tomas sea óptima, la reja no es suficiente para impedir la entrada al canal haciendo necesario instalar un desarenador o cámara de sedimentación.

Este elemento consiste en un tramo de canal de gran sección en la que el agua circula a muy baja velocidad quedándose depositadas las partículas.

El desarenador debe disponer de un sistema que permita su limpieza. Un método consiste en darle a la base de la forma de doble pendiente que acaba en un pequeño canal rectangular perpendicular a la sección del desarenador así, los sedimentos caen en este pequeño canal que es fácil su limpieza. (Sanz, 2008).



**Figura 1.9 Desarenador de fondo.**

Fuente: (Sanz, 2008).

#### **1.5.1.4 Canal de derivación**

En el caudal extraído del cauce (por la obra de toma) puede ser dirigido hacia la central mediante un canal o una tubería a presión. De esta forma, la central puede ubicarse en un punto alejado de la toma para aumentar el salto útil.

El canal de derivación es una estructura de conducción de agua que termina en la cámara de carga. El canal puede ser a cielo abierto o enterrado, siendo su característica esencial que el agua, en la parte superior se encuentra en contacto directo con el aire y, por lo tanto, a presión atmosférica. (Sanz, 2008).



**Figura 1.10 Canal de derivación.**

Fuente: (Sanz, 2008).

#### **1.5.1.4.1 Características de los canales de derivación**

Las características básicas de un canal se agrupan en:

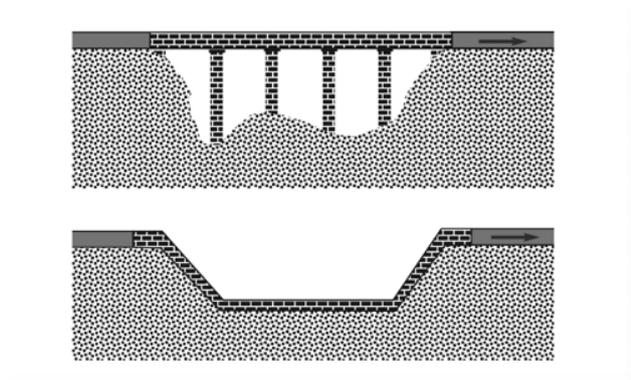
- 1.-Geométricas.
- 2.-Constructivas.

### 3.- Hidráulicas.

#### 1. Hacen referencia a la pendiente y a la sección transversal del canal:

Pendiente: es la relación entre la altura bajada y la longitud horizontal del canal. El traslado del canal se realiza siguiendo en lo posible las líneas del nivel del terreno, tratando de que la obra sea lo más sencilla posible, con una pendiente típica de entre 0.5 y 1%. En el caso del acueducto se requiere mayor obra y la cimentación es más exigente por lo cual resulta más caro, pero a cambio presenta mejores características hidráulicas al tener menos pérdidas de conducción. (Sanz, 2008).

El sifón por lo contrario requiere menor obra civil, la cimentación es menos comprometida y resulta más barato, pero sus características hidráulicas son peores. (Sanz ,2008).



**Figura 1.11 Superación de vanguardas con acueductos o con sifones cielo abierto.**

Fuente: (Sanz, 2008).

Sección transversal: Existen diversas formas, las más habituales son trapezoidales, rectangulares y circulares. La sección afectada al perfil de velocidad transversal del agua en el canal. (Sanz, 2008)



**Figura 1.12 Diferentes tipos de secciones transversales de canales**

Fuente: (Sanz, 2008).

2. Características constructivas: hacen referencia al material con el que se construyen y la terminación queda a la pared en contacto con el agua. Esta característica es importante puesto que determina el coeficiente de rugosidad del canal, parámetro que interviene en el cálculo del caudal que se puede transportar, la que afecta al rozamiento que se produce entre el agua y las paredes del canal, el material más utilizado en el caso de las centrales hidroeléctricas es el hormigón armado.
3. Características hidráulicas: son las que hacen referencia al funcionamiento del caudal, tales como el caudal, la velocidad del agua, la pérdida de carga, etc. Estas características dependen de la geometría del canal. Existen diversas ecuaciones para describir el movimiento del agua en canales, tales como la de Ganguilet y Kutter, Bazin o Manning. Esta Asuele dar buenos resultados y es la más extendida. (Sanz, 2008).

#### **1.5.1.5 Cámara de carga**

Es un dispositivo en el que finaliza el canal y del que sale la tubería forzada hacia la turbina. Como ya se ha dicho antes, en ocasiones la tubería sale directamente de la obra de toma, cumpliendo está la doble función de toma y cámara de carga.

La misión de la cámara de carga es doble. por un lado, suministra el volumen de agua que necesita la central en el momento de la puesta en marcha, y por otro, absorben las oscilaciones que se producen cuando el

caudal de la tubería y del canal no coincide debido, por ejemplo, a una variación en la consigna del caudal turbinar. (Sanz, 2008).



**Figura 1.13 Cámara de carga.**

Fuente: (Sanz, 2008).

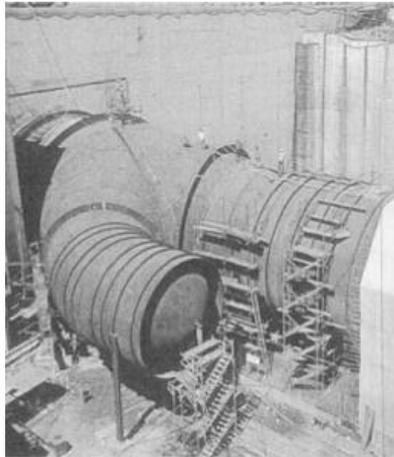
#### *1.5.1.6 Tubería forzada*

Conforman los canales de conducción del agua desde las cámaras de carga hasta la entrada de las turbinas, más allá de las válvulas de salvaguardia. Son un elemento de crucial importancia en las centrales hidráulicas, de cuya durabilidad depende la de la planta.

Se construyen con diferentes materiales de alta resistencia como: acero al carbono laminado con soldadura helicoidal u ortogonal, acero de alto límite elástico, fundición de acero, fibrocemento con o sin alma de acero e incluso materiales sintéticos reforzados con fibra de vidrio, instalándose de forma: aérea, enterrada, en trinchera o mixta a lo largo de su recorrido.

Trabajan con agua a alta presión, a lo que se suman grandes esfuerzos, siendo los más graves:

Sobrepresiones Interiores debidas a golpes de ariete o depresiones. Así mismo deben soportar efectos de fondo, cambios de dirección, oscilaciones térmicas, esfuerzos sísmicos, su propio peso y el del agua, agentes climatológicos, cargas locales debido a apoyos y anclajes o durante su montaje. (centrales hidroelectricas , 2010).



**Figura 1.14 Tubería forzada.**

Fuente: (centrales hidroelectricas , 2010).

#### **1.5.1.7 Tubo de aspiración**

Definición: Sirve de enlace entre la tubería y el desagüe y para aprovechar, además, el salto entre ambos elementos. Se construye de hormigón o de chapa de acero y ha de tener una sección variable para conseguir la máxima recuperación de la energía cinética del agua a la salida del rodete de la turbina. (Oyagar Fernandez, 2019).



**Figura 1.15 Tubo de aspiración.**

Fuente: (Oyagar Fernandez, 2019).

Las turbinas Pelton no tiene la gran importancia la recuperación de la energía existente a la descarga de la rueda y además entre el centro de la rueda y el nivel del agua del desagüe hay una distancia que representa una proporción muy pequeña de la altura del salto. Pero en los restantes tipos de turbinas (Francis, hélice y Kaplan) la velocidad de salida del rodete es elevada y el rendimiento de descarga libre sería muy bajo por lo que se precisa realizar la recuperación correspondiente de la velocidad de la carga. (Oyagar Fernandez, 2019).

#### *1.5.1.8 Canal de desagüe*

El canal de desagüe también llamado socaz, recoge el agua a la salida de la turbina para devolverla nuevamente al río en el punto conveniente.

A la salida de las turbinas, el agua tiene todavía una velocidad importante y por lo tanto bastante poder erosivo y para evitar socavaciones del piso o paredes hay que revestir cuidadosamente el desenvolvete del agua de las turbinas.

En saltos bajos en qué conviene perder poco desnivel, el canal de desagüe ha de ser corto. En saltos de gran altura y específicamente en aquellos que el agua arrastra poco o ningún material sólido el canal de desagüe puede ser de mayor longitud. (Oyagar Fernandez, 2019).

#### *1.5.1.9 Caudal*

La medición de los caudales de un río se realiza en las estaciones de aforo, donde se registran los caudales instantáneos que circulan por el tramo del río donde está ubicada la estación y a partir de eso se denominan los caudales máximos, medios y mínimos diarios correspondientes a un gran número de años, con los que se elaboran series temporales agrupadas por los años hidrológicos. (Cuacuas, 2019).

#### *1.5.2 Equipamiento electromecánico*

Se consideran tipos fundamentales los siguientes:

1. Órgano de cierre de la turbina.
2. Turbina.
3. Generador.

4. Elementos de regulación.
5. Equipo eléctrico. (Sanz, 2008).

#### *1.5.2.1 Órgano de cierre de la turbina*

Los órganos de obstaculización denominados, en general válvulas se utilizan para abrir y cerrar el paso del agua por los conductos forzados.

Según el empleo a que estén destinados, los órganos de obstaculización pueden ser:

1. Órganos de seccionamiento: cuya misión es cerrar el paso del agua hacia las turbinas cuando sea necesario.
2. Órganos de seguridad: que deben obturar el conducto, no solamente en el caso en el que el caudal sobrepase el absorbido normalmente por la turbina sino también en el caso de envaramiento de esta última.

En las instalaciones hidroeléctricas se encuentran muchos tipos de órganos de obturación, que cumplen además funciones muy diferentes los más referentes son:

1. Las válvulas de compuerta, como su nombre indica se accionan de la misma forma que una compuerta es decir por desplazamiento vertical de un tablero deslizante por unas guías.
2. Válvulas de mariposa: se emplean específicamente como órganos de emergencia y de seguridad en el arranque de tuberías forzadas de centrales hidroeléctricas.
3. Válvulas esféricas: el principal inconveniente de las válvulas esféricas es que su cierre no es rápido lo que puede ser fundamental en casos de emergencia si utilizan como órganos de seccionamiento y de seguridad y su acción y su accionamiento como en los casos anteriores puede ser manual o por servomotor. (Sanz, 2008).

#### *1.5.2.2 Generador*

Estas máquinas rotativas que transforma la energía mecánica de rotación que suministrar las turbinas en energía eléctrica, en sus bornes o terminales.

Pueden ser de 2 tipos como síncronos y asíncronos.

#### *1.5.2.2.1 Generadores síncronos*

El generador síncrono funciona en base a un campo magnético generado en el rotor por la acción de una fuente de corriente continua externa, y al girar el rotor se produce un campo rotatorio en las bobinas del estator, produciéndose a su vez la energía eléctrica en los bornes de estas bobinas.

Los generadores síncronos se dividen en:

1. Por su tipo de excitación:
  - Auto excitados.
  - Excitación externa.
2. Por tipo de rotor:
  - Polos salientes.
  - Polos lisos.

Los generadores síncronos suelen emplearse en centrales con potencia superior a 2000 [kVA], conectados a la red, o en centrales de pequeña potencia que funciona en isla sin estar conectados a la red.

#### *1.5.2.2.2 Generadores asíncronos*

Los generadores asíncronos, por el contrario, deben estar siempre conectados a la red eléctrica, de la que se toma la energía necesaria para producir su magnetización es usual emplear en los centrales de menos de 500 [kVA], siempre acoplados a la red.

Para centrales con potencia aparente entre 500 y 2000 [kVA] la acción de un generador síncrono o asíncrono depende de la valorización económica, del sistema de funcionamiento y de las condiciones técnicas exigidas por la compañía eléctrica. (Sanz, 2008).

Elementos de regulación:

Son aquellos que regulan los componentes móviles de las turbinas y pueden ser de 2 tipos.

Hidráulicos y electrónicos: Su misión es conseguir adecuar la turbina a las circunstancias existentes en cada momento (caudal turbinarle, demanda eléctrica, etc.) para que pueda trabajar con el mejor rendimiento energético posible en cada circunstancia. (centrales hidroelectricas, 2010).

#### *1.5.2.3 Equipo eléctrico*

#### 1.5.2.3.1 Transformadores

El transformador es uno de los elementos más importantes para el equipamiento eléctrico de la mini central hidroeléctrica dependiendo del trabajo del generador éste podrá ser baja/media o media/alta tensión. (Criollo, 2011).



**Figura 1.16 Transformador de transmisión.**

Fuente: (Criollo, 2011)

El objetivo del transformador es aumentar la tensión a nivel de la red comercial con el fin de transmitir dicha energía con las mínimas pérdidas posibles.

Según la característica de uso, constructivas, por la función que realizan, por la clase de servicios a que se destinan etc.; se podrían clasificar los transformadores como se detalla a continuación:

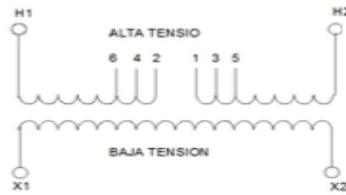
1. Por su operación.

- *Transformadores de distribución:* Son los que manejan potencias que van desde 5 hasta 500 [kVA] ya sean éstos monofásicos o trifásicos.

- *Transformadores de potencia:* Son aquellos que manejan potencias superiores a los 500 [kVA].

2. Por el número de fases.

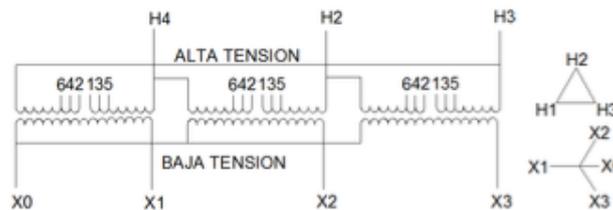
- *Monofásicos:* Suelen ser transformadores de potencia o de distribución los cuales cuentan con sólo un devanado tanto de baja como de alta los mismos se encuentran conectados a una fase y un neutro o tierra. (Criollo, 2011).



**Figura 1.17 Bobinado de transformador monofásico.**

Fuente: (Criollo, 2011)

- *Trifásicos*: Pueden ser tanto de distribución como de potencia constante 3 bobinados tanto en alta como en baja y los mismos pueden o no ser conectados a tierra o neutro. (Criollo, 2011).



**Figura 1.18 Bobinado de un transformador trifásico.**

Fuente: (Criollo, 2011)

3. *Por Su utilización*: De acuerdo a su uso dentro del sistema eléctrico:

- *Transformadores para generador*: Son los transformadores de potencia que se encuentran colocados a la salida del generador.

- *Transformadores de subestación*: Son aquellos que se encuentran al final de la línea de transmisión para reducir la tensión a nivel de sub transmisión.

- *Transformadores de distribución*: Este tipo de transformadores reduce la tensión de las redes de transmisión intenciones de distribución o consumo general de 110 o 220 [v].

- *Transformadores especiales*: Se pueden considerar dentro de esta categoría:

- Transformadores reguladores de energía.
- Transformadores para arco eléctrico.
- Transformadores para fuentes de corriente continua.

▪ *Transformadores de instrumentos*: Dentro de esta categoría se pueden encontrar todos aquellos que se utilizan para los distintos tipos de mediciones

ya sean de potencia de corriente, así como aquellos utilizados para los distintos tipos de control y de seguridad. (Criollo, 2011).

- En función del lugar de instalación:
  - Para instalación en poste.
  - Tipo subestación.
  - Tipo pedestal.
  - Tipo bóveda o sumergible.
- En función del tipo de refrigeración:
  - Tipo sumergido en aceite.
  - Tipo refrigeración en seco.

#### 1.5.2.3.2 Celdas y cuadros eléctricos:

Suelen instalarse generalmente en el interior de la mini central hidroeléctrica y estaban constituidos por diversos componentes eléctricos de regulación, control, protección medida.

#### 1.5.2.3.3 Línea eléctrica de interconexión:

Se denomina red eléctrica al conjunto de medios formados por generadores eléctricos, transformadores, líneas de transmisión y líneas de distribución utilizados para llevar la energía eléctrica a los elementos de carga.

Con este fin se usan diferentes tensiones para limitar la caída de tensión en las líneas usualmente las más altas tensiones se utilizan en distancias más largas y mayores potencias. (Criollo, 2011).

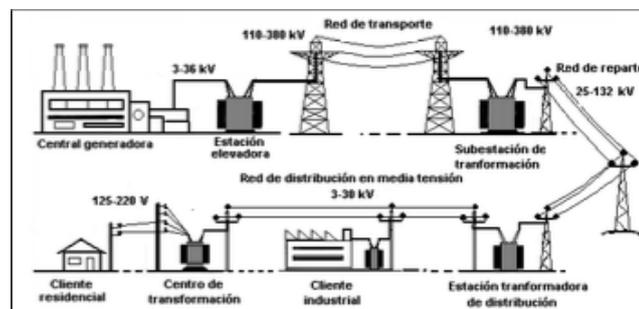


Figura 1.19 Red eléctrica.

Fuente: (Criollo, 2011)

## *1.6 Turbina hidroeléctrica*

Definición de Turbina Hidráulica. La palabra “turbina” viene del latín turbo-inem, que significa rotación o giro, y con esto se define una turbina hidráulica como: Una máquina que transforma la energía cinética contenida en un fluido por velocidad o altura, en energía mecánica de movimiento de rotación, y acoplada mediante un eje a un generador eléctrico produce/genera electricidad. (Carmona, 2015).

### *1.6.1 Tipos de Turbinas:*

1. De Acción o de Impulso.
2. De Reacción.

#### *1.6.1.1 Las Turbinas de Acción o de Impulso*

Son aquellas que giran cuando un chorro de agua proveniente de una tobera (boquilla) golpea sus cangilones (montados en un eje) a velocidades muy altas y los hace girar, o sea que aprovechan básicamente la velocidad del flujo de agua, y dentro de esta clasificación se han desarrollado 3 tipos y las más conocidas son, la turbina Pelton, la turbina Turgo y la Michell-Banki. (Carmona, 2015).

##### *1.6.1.1.1 Turbina Pelton*

Es un modelo de turbinas de acción, donde el agua sale por los inyectores impacta tangencialmente en los álabes que tienen forma de doble cuchara. Tienen una disposición muy compacta y se utilizan preferentemente en las instalaciones con saltos elevados y caudales reducidos, en las que se consigue con un solo chorro una gran velocidad 40 de giro, el rendimiento alcanzado con estas turbinas suele ser mayor al 90% para cargas mayores. En la Figura (1.20), se muestra una turbina Pelton. (Vivas, 2020).



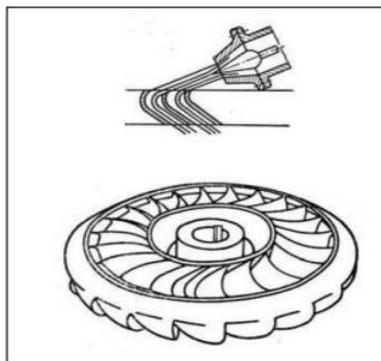
**Figura 1.20 Turbina Pelton con inyector.**

Fuente: (Vivas, 2020).

#### **1.6.1.1.2 Turbina Turgo**

Pertenece a las turbinas de acción, de flujo axial y de admisión parcial, cuyos elementos más esenciales que forman la turbina son el inyector y el rodete. Otros elementos son: la carcasa, el eje y la tubería de presión. El inyector es igual al tipo Pelton que impulsa un chorro de agua inclinado respecto al plano del rodete, en un ángulo  $21^\circ$ .

El rodete es un medio rodete de la turbina Pelton, como si a este se le dividiera mediante un plano que pase por las aristas de las cucharas y sea perpendicular al eje. En la Figura (1.21) se muestra el inyector y el rodete con los álabes de la turbina Turgo. (Vivas, 2020).



**Figura 1.21 Turbina Turgo.**

Fuente: (Vivas, 2020).

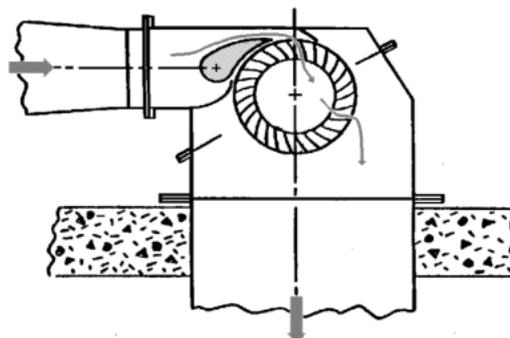
#### **1.6.1.1.3 Turbina Banki-Michell**

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 (1.22).

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. El campo de aplicación para estas turbinas es amplio, ya que se pueden instalar en aprovechamientos con saltos de entre 1 y 200 [m] con un intervalo amplio de variación de caudal. La potencia que se puede instalar está limitada aproximadamente a 1 [MW].

Su rendimiento máximo es inferior al de las turbinas Pelton, siendo aproximadamente del 85%. (González, 2014).



**Figura 1.22** Turbina de flujo cruzado.

Fuente: (González, 2014).

#### **1.6.1.2 Las Turbinas de Reacción**

Son aquellas que aprovechan la velocidad del flujo de agua y las pérdidas de presión que se producen en su interior. En general son de dos clases. En una de ellas el flujo del agua ingresa con respecto al eje de la turbina paralelamente y perpendicularmente, son las denominadas turbinas de flujo mixto; de esta categoría son las turbinas Francis.

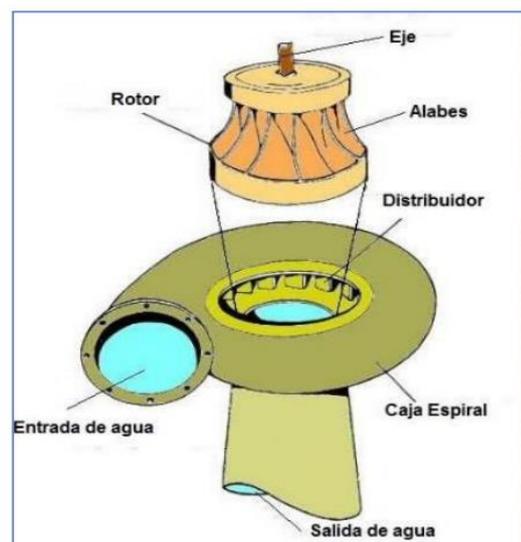
En la otra clase, el agua fluye paralelamente al eje de la turbina y se designan como Turbinas de flujo axial, de esta categoría son las turbinas Kaplan. (González, 2014).

#### 1.6.1.2.1 Turbina Francis

Se define como una turbina de reacción, de flujo radial – axial centrípeta, y de admisión total. Consta de un rodete conformado por una corona de paletas fijas, así como de un distribuidor que orienta el flujo de agua hacia el rodete, y que provoca el movimiento de giro de la turbina. Es particularmente versátil ya que opera de forma eficiente en condiciones de saltos con márgenes de empleo entre 15 y 150 [m], se acopla muy bien a todo tipo de caudales (entre 2 y 200 [ $\frac{m^3}{s}$ ] aproximadamente).

Estas turbinas tienen un intervalo de utilización muy grande. Su eficiencia está entre el 90 % y 94 %. Este tipo de turbinas son las que están más sujetas a los efectos perjudiciales que produce la arena. Son conocidas como turbinas de sobrepresión por ser variable la presión en las zonas del rodete, además de que el rodete se encuentra sometido a la influencia directa del agua en toda su periferia. Las turbinas Francis pueden ser instaladas con el eje en posición horizontal o vertical, siendo esta última disposición la más generalizada por estar ampliamente experimentada, especialmente en el caso de unidades de gran potencia.

La Figura (1.23) muestra el diagrama de una turbina Francis con sus principales componentes y la turbina Kaplan. (Cuacuas, López, 2019).



**Figura 1.23 Turbina Francis y sus componentes.**

Fuentes: (Cuacuas, López, 2019).

Es un perfeccionamiento de la turbina tipo hélice, se muestra en la Figura (1.24) y pertenece al grupo de turbinas axiales. En general, este tipo de turbinas se utilizan en centrales donde el salto disponible es bajo, y el caudal a turbinar elevado. Operan con frecuencia en centrales de agua fluyente, en las que el agua pasa por las turbinas continuas e independientemente de las demandas de la red que existan en el momento.

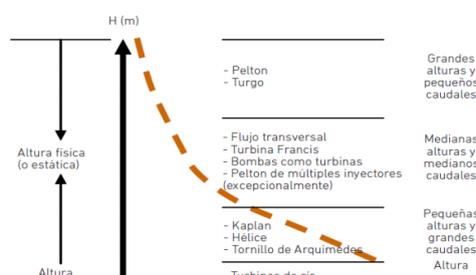
Por el contrario, las Pelton y Francis pueden funcionar en modo “óptimo” durante sólo unas pocas horas al día, cuando las condiciones de funcionamiento sean las más favorables. (Cuacuas, López, 2019).



**Figura 1.24 Turbina Kaplan.**

Fuente: (Cuacuas, López, 2019).

Al existir distintos tipos de turbina es importante hacer una buena selección, esto influirá en los costos, versatilidad, rendimiento de la micro central hidroeléctrica, y últimamente, en la viabilidad de la central que se planea instalar. Para ello se muestra la Figura (1.25) para apreciar la aplicación de las turbinas en relación con la altura y el caudal. (Vivas, 2020).



**Figura 1.25 Aplicación de diferentes tipos turbinas conforme a caudal y altura.**

Fuente: (Vivas, 2020).

### 1.7. Método del caudal por el método racional americano

El método racional americano, el cual debido a la disponibilidad y factibilidad de las herramientas que utiliza es el más usado por todos los ingenieros civiles para determinar de forma rápida y fácil las protecciones de las obras civiles. (Cuacuas, 2019).

Este método fue desarrollado en 1889 pero por su sencillez aún se sigue utilizando su hipótesis fundamental: una lluvia constante y uniforme que cae sobre la Cuenca del estudio producirá un gasto de descarga el cual alcanza su valor máximo cuando todos los puntos de la Cuenca están construyendo al mismo tiempo en el diseño como se muestra en la figura la hipótesis básica de la fórmula racional. (Cuacuas, 2019) .

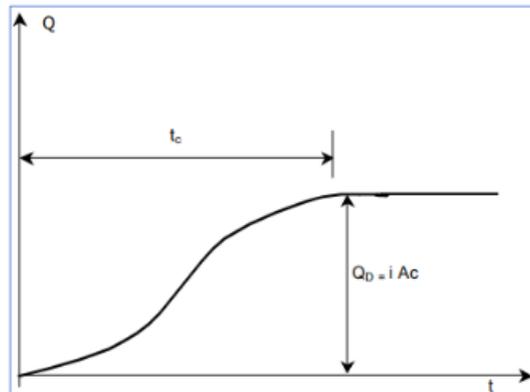


Figura 1.26 Hipotesis fundamental de la formula racional.

Fuente: (Cuacuas, 2019).

La hipótesis se satisface para un lapso, denominado tiempo de concentración  $t_c$ , definido como el tiempo que tarda el agua influir desde el punto más lejano de la Cuenca hasta el de aforo o de estudio el gasto pico máximo se definen con la ecuación 1. (Cuacuas, 2019).

$$Q_p = 0.278 * C * i * A \quad (1)$$

De donde:

$Q_p$  = Gasto maximo,  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$ .

0.273 = una constante.

C = Coeficiente de escurrimiento.

i = intensidad media de la lluvia para una duracion igual al tiempo de concentracion de la cuenca, [mm].

A: area de la cuenca drenada, [km<sup>2</sup>].

La obtención del coeficiente de escurrimiento es posible obtenerlo mediante tablas previamente calculadas para los distintos tipos de suelo que existen, así como sus diferentes coberturas y con un rango amplio de pendientes. Un ejemplo de una tabla muy utilizada es la tabla 1.2.

*Tabla 1.2 Coeficiente de escurrimiento*

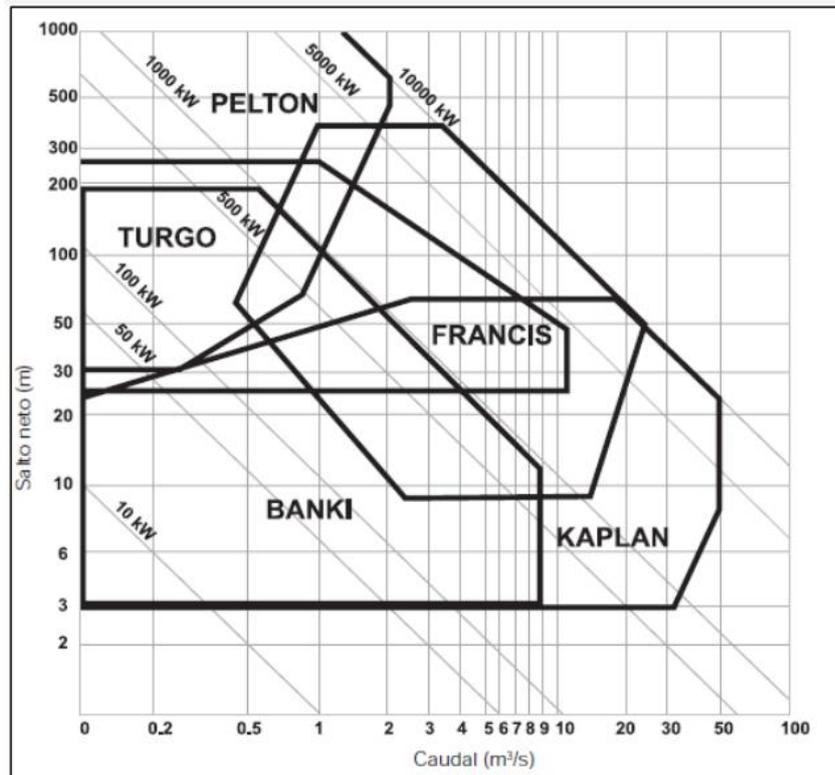
Cobertura del suelo	Tipo de suelo	Pendiente %				
		>50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pasto, Vegetación Ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.20	0.25	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosque, Vegetación Densa	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.12	0.10	0.05

Fuente : (Cuacuas, 2019)

### 1.6.3 Selección de las turbinas.

#### 1.6.3.1 Selección mediante gráficos de altura y caudal.

El diagrama de la Figura (1.26) se utiliza para la selección de turbinas, especialmente cuando se trata de mini, micro y pico centrales hidroeléctricas. Como se puede observar, se ha graficado la correspondencia de caudal y altura para los diferentes tipos de turbinas utilizando relaciones logarítmicas de altura y caudal. (Vivas, 2020).



**Figura 1.27** Aplicación de diferentes tipos turbinas conforme a caudal y altura.

Fuente: (Vivas, 2020).

En el eje de las abscisas se encuentra el caudal en metros cúbicos por segundo y en el de las ordenadas la altura en metros. Conocidos estos dos parámetros para una situación cualquiera, se puede seleccionar el tipo de turbina que corresponda.

En el diagrama se observa que existen zonas que se superponen entre diferentes tipos de turbina. En las zonas de superposición, se estima que ambos tipos funcionan adecuadamente, aunque no estén en la mejor de sus zonas de trabajo. (Vivas, 2020).

### 1.6.3.2 Rango de operación de Turbinas de Reacción

En la tabla 3 se muestra los parámetros de operación de las turbinas de reacción, en donde se tiene parámetros básicos que caracteriza una turbina de esta naturaleza como revoluciones, flujo, altura de caída, potencia y eficiencia de la turbina.

Tabla 1.3 Rangos de operación de turbina de reacción

RANGOS DE OPERACION DE LAS TURBINAS DE REACCIÓN				
FRANCIS NORMAL Y RÁPIDA				
RPM	Q [ $\frac{m^3}{s}$ ]	H [m]	P [kW]	E [%]
150-250	0.5-100	2-750	1-7.5*10 <sup>5</sup>	80-93
250-400	0.5-100	2-750	1-7.5*10 <sup>5</sup>	80-93
KEPLAN				
300-800	0.8-1000	5-80	2-2*10 <sup>5</sup>	88-93
BULBO				
300-800	1-750	2-30	25-1*10 <sup>5</sup>	90-93

Fuente: (Oportunidades de Negocio con Energías Renovables,2010).

## 1.7 Ecuaciones para el dimensionamiento de los parámetros de una micro central hidroeléctrica

### 1.7.4 Ecuación para determinación de altura neta

Altura neta es el salto de agua aprovechable por la turbina y es igual a la altura bruta menos las pérdidas, debido a la longitud de las tuberías, fricción al rozamiento del agua, incorporación de válvulas, acoples, etc.

La altura neta es mucho más útil que la altura bruta y junto con el caudal de diseño, se utiliza para determinar los componentes de la micro central y la energía a generar, además esta altura siempre será inferior a la altura bruta.

La ecuación correspondiente para calcular la altura neta es la siguiente. (Vivas, 2020).

$$h_n = (h_b - h_{pér}) \quad (2)$$

De donde:

$h_n$  = Altura neta, [m].

$h_b$  = Altura bruta, [m].

$h_{pér}$  = Altura por pérdidas, [m].

### 1.6.5 Ecuación para determinación para pérdidas por altura

La pérdida de carga se refiere a la pérdida de energía del agua debido a la fricción dentro de la tubería. Un diámetro de tubo dado puede ser suficiente para llevar todo el caudal, los lados y los codos de la tubería tienden a frenar el paso normal de agua.

Los efectos de pérdida de carga no se pueden medir a menos que el agua este fluyendo, a medida que fluye el agua la tubería reduce la velocidad del agua, con grandes caudales aumenta la fricción de la tubería.

La siguiente ecuación 2 se utiliza para la determinación de pérdidas por altura. (Vivas, 2020).

$$h_{pér} = \frac{15}{100} * h_b \quad (3)$$

De donde:

$h_{pér}$  = Altura por pérdidas, [m].

$h_b$  = Altura bruta, [m].

### 1.6.6 Ecuación para la determinación del diámetro interno de la tubería de conducción

Para obtener el diámetro interno de la tubería se utilizará la ecuación 4 que se muestra a continuación. (Vivas, 2020).

$$D = 0.3 * \sqrt[5]{\frac{Q^2 * L}{h_b}} \quad (4)$$

De donde:

$D$  = Diámetro interno de la tubería, [m].

$Q$  = Caudal en  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$ .

$h_b$  = Altura bruta, [m].

$L$  = Longitud de la tubería, [m].

### 1.6.7 Ecuación para determinación de la velocidad de flujo en la tubería

Para calcular la velocidad del flujo del agua, en la tubería se utilizará la ecuación 5. (Vivas, 2020).

$$v = \frac{4Q}{\pi * D_t^2} \quad (5)$$

De donde:

$v$  = Velocidad del flujo,  $\left[\frac{m}{s}\right]$ .

$Q$  = Caudal,  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$ .

$D_t$  = Diámetro de la tubería en [m].

### 1.6.8 Ecuación para determinación de presión nominal de la tubería

Para encontrar la presión nominal de la tubería se utiliza la Ecuación 6. (Vivas, 2020).

$$P = d * g * h_n \quad (6)$$

De donde:

$P$  = Presión nominal del sistema, [Pa].

$d$  = densidad del fluido "Agua",  $1000 \left[\frac{kg}{m^3}\right]$ .

$g$  = aceleración de la gravedad,  $9.81 \left[\frac{m}{s^2}\right]$ .

$h_n$  = Altura neta, [m].

### 1.6.9 Ecuación para determinar la potencia eléctrica teórica

Para calcular la potencia teórica que se producirá en el micro central hidroeléctrica se utilizará la Ecuación 6. (Vivas, 2020).

$$Pt = \frac{Q * h_n}{102} \quad (7)$$

De donde:

$Pt$  = Potencia teórica, [kW].

$h_n$  = Altura neta, [m].

$Q$  = Caudal,  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$ .

### *1.10. Tipos de mini centrales hidroeléctricas*

Las centrales hidroeléctricas, y dentro de ellas las mini centrales hidroeléctricas, están muy condicionadas por las peculiaridades y características que presente el lugar donde vayan a ser ubicadas. Cuando se vaya a poner en marcha una instalación de este tipo hay que tener en cuenta que la topografía del terreno va a influir tanto en la obra civil como en la selección de la maquinaria. Según el emplazamiento de la central hidroeléctrica se realiza la siguiente clasificación general:

1. Centrales de agua fluyente. Captan una parte del caudal del río, lo trasladan hacia la central y una vez utilizado, se devuelve al río.
2. Centrales de pie de presa. Se sitúan debajo de los embalses destinados a usos hidroeléctricos o a otros usos, aprovechando el desnivel creado por la propia presa.
3. Centrales en canal de riego o de abastecimiento. (Castro, 2006)

### *1.11 Micro generación 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) o la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE). (Valdez ingenieros, 2006)

Las centrales hidroeléctricas se clasifican de diferentes formas. La CONAE utilizó en 1994 la siguiente clasificación para definir a este tipo de las centrales: (Valdez ingenieros, 2005)

1. Micro Hidroeléctricas  $< 1$  [MW].
2. Mini Hidroeléctricas  $1 < [MW] < 5$ .
3. Pequeñas Hidroeléctricas  $5 < [MW] < 30$ .

## *CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES*

## *2.1 Estado del Arte*

### *2.1.1 Diseño de una micro central hidroeléctrica para la hacienda las garzas*

Brayan Eduardo Vivas Rodríguez realizó un trabajo de grado en la Universidad Técnica del Norte en el año del 2020 con el objetivo de “Diseñar una micro central hidroeléctrica mediante la determinación de parámetros técnicos para que suministre energía eléctrica a la hacienda Las Garzas”, en el cual tenía como alcance de trabajo determinar el cálculo de los parámetros correspondientes para poder seleccionar una turbina, generador, sistema de transmisión de potencia y también el desarrollo de un análisis económico y la factibilidad técnica que representa la propuesta de su diseño de implementar una micro central hidroeléctrica. Logró concluir su trabajo obteniendo como resultado una potencia eléctrica teórica de 888 [W], ya incluyendo las pérdidas que existen en un sistema de generación de esta naturaleza, su proyecto tenía un costo teórico de 2406.56 USD sus índices del VAN, TIR e índice de rentabilidad, determinaron factible su proyecto diseñado, teniendo como recuperación teórica de la inversión del proyecto en 5 años. El autor recomienda que es importante el estudio de este tipo de generación de la energía eléctrica, ya que tiene gran impacto por ser una energía renovable que permite a zonas rurales con recursos hídricos generar energía de esta naturaleza aun estando marginados de un servicio de suministro eléctrico. (Vivas, 2020).

### *2.1.2 Diseño de una pico central hidroeléctrica en la localidad de usme, Bogotá.*

Angie Milena Trujillo Guayara en el año del 2017 en la Universidad Católica de Colombia su trabajo de investigación tenía como objetivo Diseñar una Pico Central Hidroeléctrica para la generación de energía eléctrica en un sector aledaño a la Quebrada Fucha de la localidad de Usme, Bogotá. En el cual tenía como justificación que este tipo de zonas como en el que se enfocó su trabajo son áreas aisladas a un servicio de suministro eléctrico que recurren alternativamente a otra manera de tener energía eléctrica a través de combustión de combustibles fósiles que generan contaminación al ambiente. El autor después de calcular todo parámetro para un diseño y selección de

una pico central hidroeléctrica logro determinar como resultado una potencia eléctrica teórica de generación de 7.7 [kW] con el cual el establece que es ideal para abastecer factiblemente a 7 viviendas, pero también concluye que es un gasto muy grande implementar esta tecnología para generar energía eléctrica ya que estipula el retorno de inversión de su proyecto es de 20 años, en el cual es periodo muy largo que tal vez la comunidad a la que esté dirigida no esté dispuesta a invertir, pero el uso de esta tecnología en la zona de USME sería el único en su clase y sería un gran impacto social y energético ya que no generaría contaminación a comparación de un generador convencional. El autor recomienda tener certeramente los datos de la curva de caudales de la Quebrada Fucha para tener una aproximación de la variación de generación de energía eléctrica de su proyecto en el transcurso de las etapas del año. (Guayara, 2017).

### *2.1.3 Propuesta de instalación de una pequeña central hidroeléctrica en el municipio Xicotepec de Juárez*

En el año 2019 José Luis Cuacuas Mancilla y Eduardo López San Juan, realizaron una tesis de grado universitaria llamada propuesta de instalación de una pequeña central hidroeléctrica en el municipio Xicotepec de Juárez Puebla, con el objetivo de realizar una propuesta de instalación de una planta hidroeléctrica a pequeña escala en donde ellos calcularon y determinaron el caudal de una caída de agua mediante el método racional americano, en donde ellos delimitaron la cuenca con ayuda de los datos pluviométricos de la intensidad de la media de lluvia se calculó el gasto promedio de la caída de agua, y después de eso obtuvieron un caudal con un valor de diseño de 3.24  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$  posterior a eso obtuvieron la altura útil y con ayuda de la ecuación de William Hacen calcularon las pérdidas de carga obteniendo un salto neto de 163.15 [m]. Ya con todos estos parámetros calcularon la potencia de instalación para la generación de energía eléctrica teniendo como resultado 3.41[MW]. También se seleccionó una turbina usando los parámetros del caudal y del salto neto, donde se seleccionó una turbina tipo Francis de eje horizontal con la velocidad específica lenta. También se llevó acabo la selección del transformador y del generador, y por último realizaron un estudio

donde analizaron el impacto social que pudiese tener esa central hidroeléctrica en la zona donde se llevaría a cabo. (Cuacuas, 2019).

#### ***2.1.4 Diseño y caracterización de un micro turbina hidráulica tipo Francis de 2 [kW] para el almacenamiento de la energía hidroeléctrica por bombeo.***

En el año 2019 Alejandro Arroyo robledo presento una tesis profesional del grado universitario con el tema del diseño y caracterización de una micro turbina tipo Francis de 2 [kW]. En esta especificaron los 3 parámetros y condiciones requeridos que debe tener ya con esos parámetros se seleccionó una turbina la cual fue una turbina tipo Francis. Ya con esos datos calcularon la geometría y las dimensiones de esta ya teniendo todos esos datos se procedió al diseño en el software de CAD, donde después de imprimirlas en 3D se llevaron a cabo numerosas pruebas en ellas en las que se midieron parámetros como la presión del agua, los [RPM] y el gasto volumétrico total, la corriente y la potencia producida por el pequeño generador puesto en esta pero algunos parámetros como los [RPM] y la presión no fueron iguales a los calculados debido a las fugas de agua que se dieron en los sellos y juntas, por ultimo diseñaron la propuesta de la planta de almacenamiento hidráulico en la cual se utilizarían 5 turbinas como la que se diseñó en donde analizaron el costo de esta en donde determinaron que el costo de inversión sería muy alto y la inversión se recuperaría en un lapso muy largo de tiempo. (Arrollo, 2019).

#### ***2.1.5 Diseño y construcción de un prototipo modular de un micro central hidroeléctrico estacionario con turbina tipo Pelton***

En el 2006 Cristian Arias y Edwin Bustamante llevaron a cabo un trabajo de investigación sobre diseñar y construir una micro central hidroeléctrica con turbina tipo Pelton, en el cual realizaron las mediciones de campo del recurso hídrico la quebrada Yumacay, Ecuador para realizar su proyecto de diseño y construcción de una micro central hidroeléctrica, su trabajo llego a concluirse satisfactoriamente, ya que lograron hacer pruebas con la turbina Pelton y los resultados obtenidos con lo micro central fue de una potencia de 1100 [W] conectada con carga contra una carga efectiva de 2001 [W], con las

características del caudal de  $1 \left[\frac{l}{s}\right]$ ; con una altura de 25 [m], teniendo así una velocidad de la micro central de 900 RPM y finalmente determinaron desde un punto de vista económico que el proyecto de trabajo de investigación es factible obteniendo como resultados un VAN mayor que cero y un TIR de 25%. Los autores de este trabajo recomiendan que es factible el implemento de este tipo de tecnología en lugares de difícil acceso de energía eléctrica. (Arias, Bustamante, 2006).

### ***2.1.6 Estudio de alternativas de conexión para el ingreso de la micro central hidroeléctrica San José de Minas a la red de la empresa eléctrica Quito***

En el año del 2018 David Jaramillo desarrolló un proyecto de investigación sobre interconectar la micro central hidroeléctrica a la red más cercana de la empresa eléctrica Quito, logro estipular los parámetros de las rutas más viable donde se colocaran los postes de los alimentadores para interconectarse a la red eléctrica, además de calcular y seleccionar conductores y protecciones para proteger al generador de la micro central que tiene una potencia de 5.7 [MW] de generación, el autor recomienda realizar un despacho de generación en la micro central para determinar valores cercanos a los reales ya que el generador no siempre está funcionando al 100% de su capacidad.(Jaramillo, 2018).

### ***2.1.7 Construcción de planta generadora de energía en parque ecológico Chapultepec Cuernavaca, en Cuernavaca Morelos***

En mayo del 2015 Guillermo Carmona González presento su proyecto de titulación en el cual tuvo como objetivo construir un micro central hidroeléctrico en Chapultepec Cuernavaca Morelos, de cual se llevó a cabo en campo mediante los estudios de caudales del sitio y diseño de la cimentación y estructura del micro central el autor estuvo en el proceso de la construcción, la potencia de generación de la micro central en la entrega del proyecto fue a un nivel de operación de  $120 \left[\frac{l}{s}\right]$ ; para 7 [kW] de potencia, pero la turbina y el generador instalados puede variar su generación conforme se le entregue más flujo de agua y puede generar entre 7.6 a 25.6 [kW], el autor

concluye que el proyecto fue más viable de lo esperado, ya que se puede generar más energía eléctrica de la que se estipuló y eso hace que el retorno de inversión no sea tan largo. (Carmona, 2015).

### ***2.1.8 Diseño de una micro central en el lago Llanquihue***

En el año del 2008 Brice Floran Sauvage presentó su proyecto de investigación para obtener el título de ingeniero civil en el que desarrolla el diseño de una micro central hidroeléctricas en el lago de Llanquihue en el trabajo se estipula todos los parámetros necesarios para el diseño de la micro central en el cual de forma general se logra el diseño final de una presa de tierra compactada de 350 [m] de largo y de 3 [m] de altura con una excavación adicional de 2 [m]. El agua en presión que en el diseño se estipula que debe llegar hasta la turbina Pelton en una tubería de presión de HDPE PN10 de diámetro exterior 200 [mm] y esta acoplada a un generador que en este proyecto genera en promedio de 7.5 [kVA] de potencia. (Floran, 2008).

### ***2.1.9 Viabilidad técnica para la implementación de una micro central hidroeléctrica en el embalse de Chiquiurcu***

En el año 2020 Daniel Esteban Salinas Mantilla presentó su investigación para obtener su título en maestría en eco eficiencia industrial con mención en eficiencia energética el objetivo de su investigación fue determinar la viabilidad técnica en la construcción de una micro central hidroeléctrica en una represa de chiquiurcu en Ecuador. En esta investigación tuvieron que sacar el cálculo del potencial hídrico para el suministro de energía eléctrica en donde primero buscaron datos como las características de los caudales, la salida de las tuberías en los años pasados como del 2015-2020 para poder así diseñar el caudal, por otro lado también calcularon el salto de caída o de altura neta, la velocidad de flujo con ayuda de la potencia eléctrica pudieron determinar qué tipo de turbina iba a utilizar donde el valor de esta era de 141.226 [kW], con un factor de potencia de 0,9 en donde se seleccionó una turbina tipo Pelton. Por último, sacaron un estudio económico el cual arrojó que su cifra de inversión sería de 182.095 dólares, donde se recuperaría el dinero en 4.08 años. (Salinas, 2020).

## **2.2 Descripción del sitio**

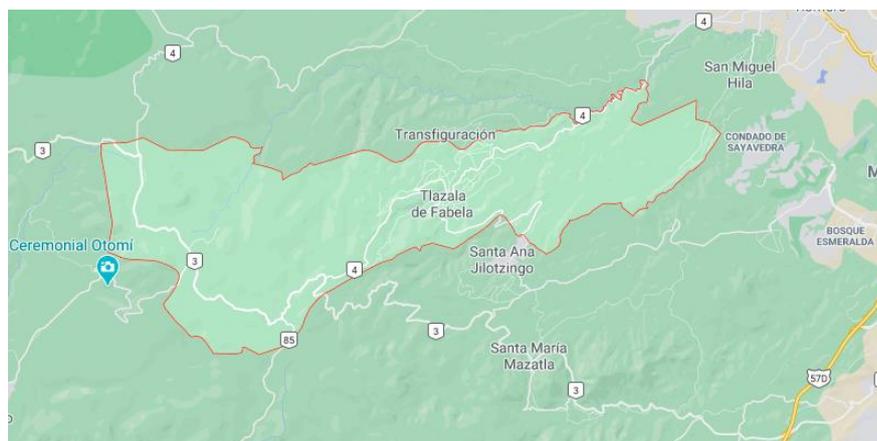
### **2.2.1 Isidro Fabela.**

El municipio de Isidro Fabela es uno de los 125 municipios que conforman al Estado de México. Su cabecera es la localidad de Tlazala de Fabela. El municipio es parte de la Zona metropolitana del valle de México. (Isidro Fabela, 2021).

### **2.2.2 Localización Geográfica.**

El municipio de Isidro Fabela se encuentra localizado en el centro-oeste del territorio del estado de México, al noroeste del Valle de México. Tiene una extensión territorial de 75.971 [km<sup>2</sup>], que equivalen al 0.34% de la extensión total del estado de México; sus coordenadas geográficas extrema son 19° 30' - 19° 36' de latitud norte y 99° 20' - 99° 32' de longitud oeste y su altitud se encuentra entre un máximo de 3 800 y un mínimo de 2 400 metros sobre el nivel del mar. (Isidro Fabela, 2021).

Limita al norte con el municipio de Nicolás Romero, al este con el municipio de Atizapán de Zaragoza, al sur con el municipio de Jilotzingo y el municipio de Oztolotepec y al oeste con el municipio de Temoaya. (Isidro Fabela, 2021).



**Figura 2.1. Localización Geográfica de isidro Fabela.**

Fuente: (Google maps, 2020).

### **2.2.3 Hidrografía del municipio del Isidro Fabela.**

Tomando en cuenta las características topográficas del sitio, existe una riqueza de escurrimientos superficiales durante la época de lluvias, por lo que todas las barrancas se convierten en lechos de ríos.

Este municipio pertenece a la Cuenca del río Moctezuma RH26Dn teniendo como principal cuerpo de agua perenne, la empresa de almacenamiento Cañada rúa Iturbide. (Perez, 2011).

La presa Iturbide fue construida aproximadamente hace 50 años y desde entonces se ha conformado como el principal atractivo de la región.

El cuerpo de agua representativo del área de estudio del preso Iturbide, pertenece a la región hidrológica de la Cuenca del río Moctezuma siendo está una Cuenca exorreica para el caso de la Cuenca Iturbide siendo este del tipo endorreica al no tener salida hacia el mar y el río o cauce principal desemboca la misma presa.

La presa Iturbide tiene las características según su estructura de la presa de gravedad que son las estructuras sólidas que mantienen la estabilidad contra las cargas de diseño por medio de la forma geométrica y el peso del material que se conforma su cortina. (Perez, 2011).

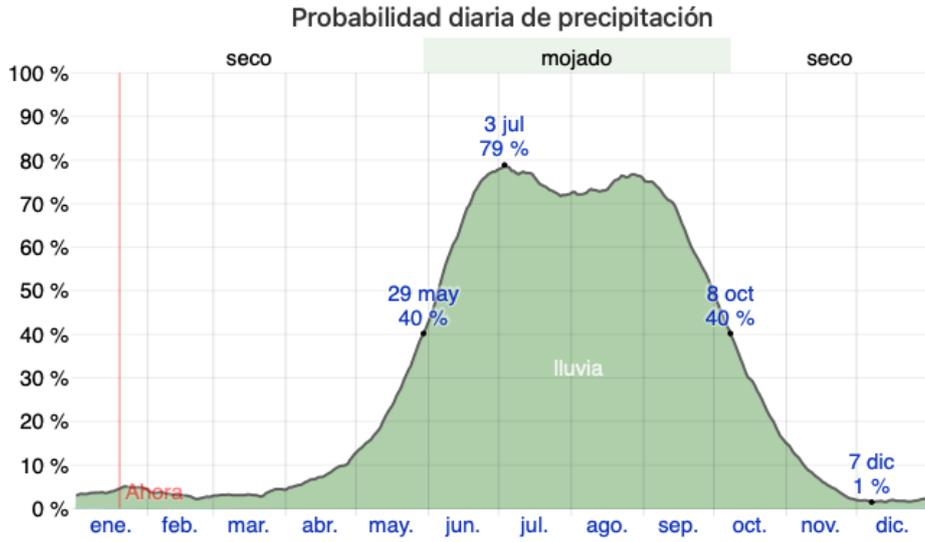
### **2.2.4 Precipitación**

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Colonia Isidro Fabela varía muy considerablemente durante el año.

La temporada más mojada dura 4.3 meses, de 29 de mayo a 8 de octubre, con una probabilidad de más del 40 % de que cierto día será un día mojado. La probabilidad máxima de un día mojado es del 79 % el 3 de julio.

La temporada más seca dura 7.7 meses, del 8 de octubre al 29 de mayo. La probabilidad mínima de un día mojado es del 1 % el 7 de diciembre.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 79 % el 3 de julio. («Clima», 2021).



Fuente: (Datos históricos de CONAGUA)  
**Figura 2.2 Precipitación de la zona**

*CAPITULO 3. CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO  
DE LA MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA*

En el siguiente diagrama de flujo de la figura 3.1, se plantea el procedimiento para llevar a cabo el desarrollo del capítulo 3, siguiendo sucesivamente los pasos planteados en el diagrama para la obtención de los parámetros necesarios del diseño de la micro central hidroeléctrica.

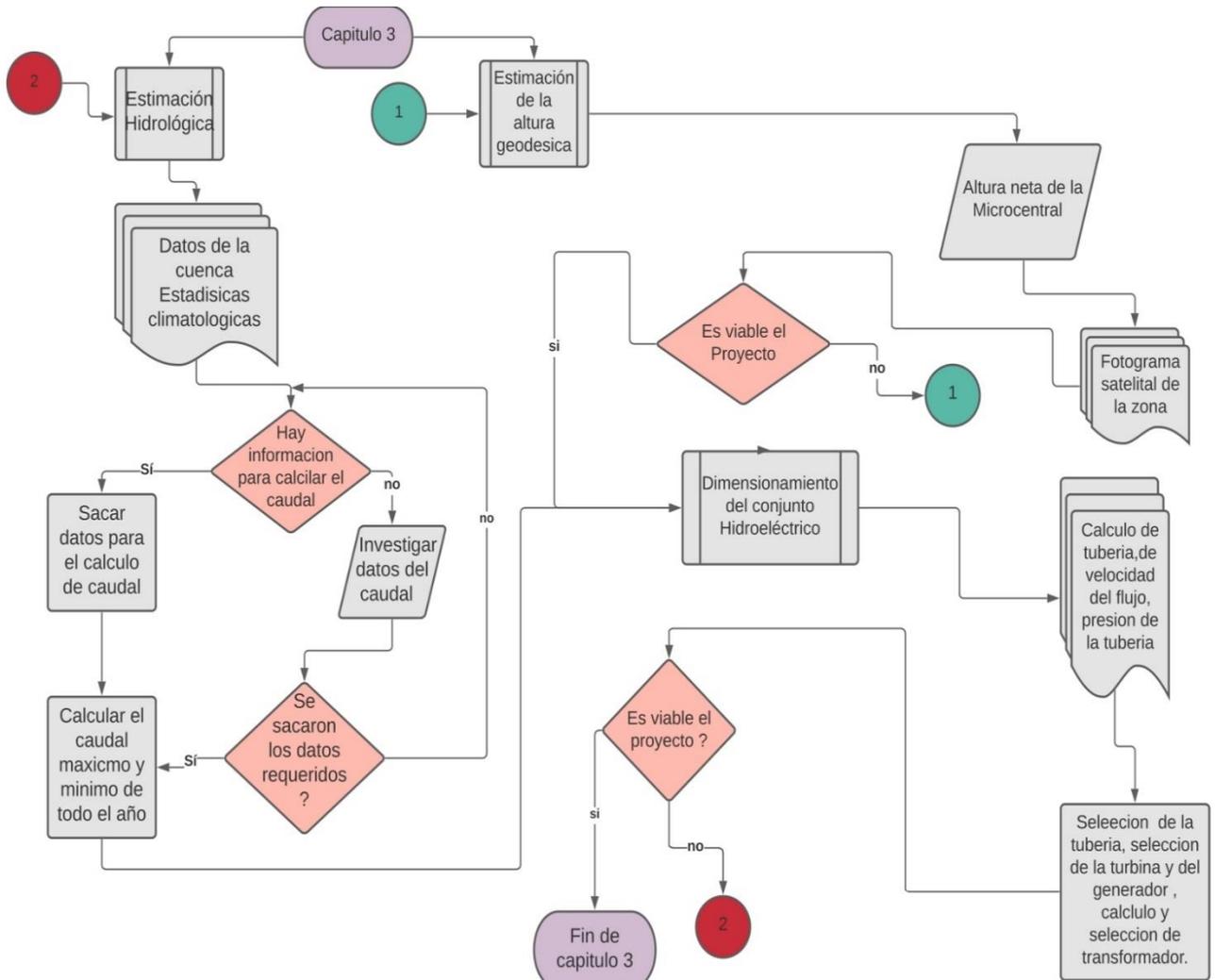


Figura 3.1. Diagrama de flujo del desarrollo del capítulo 3

## 3.1 Estimación Hidrológica

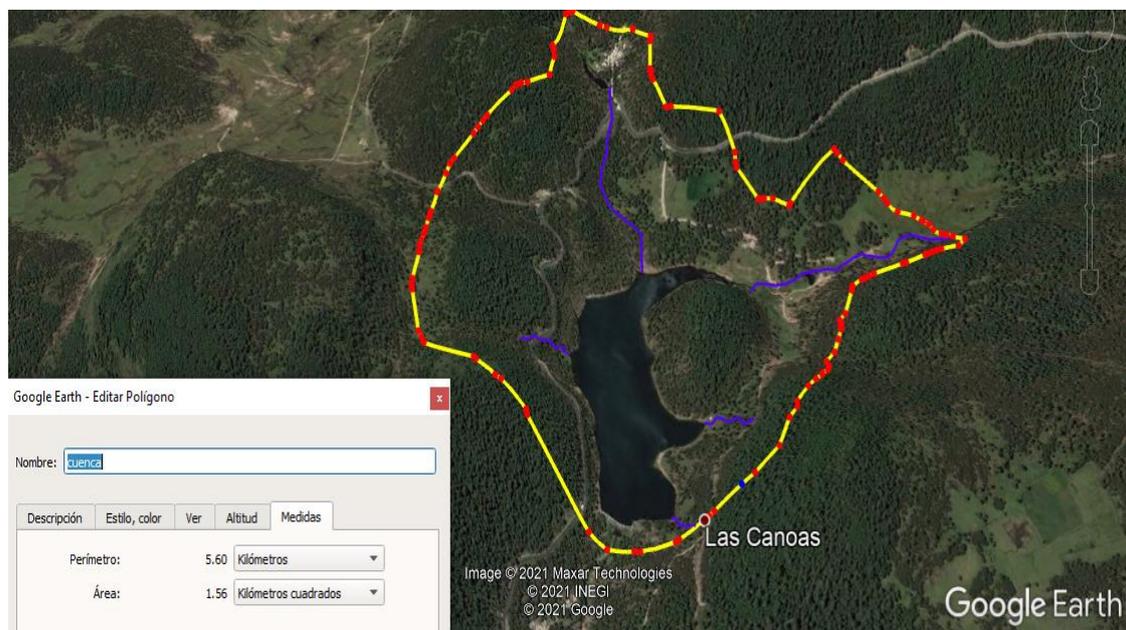
### 3.1.1 Área de la cuenca de la presa Iturbide

Una cuenca es un territorio cuyas aguas fluyen todas hacia un mismo río, lago o mar, y a esta clase de cuencas se les llama “cuencas hidrográficas”. (Conagua, 2019).

#### 3.1.1.2 Estimación de la cuenca de la presa Iturbide a través de Google Earth pro.

Para la determinación del área de la cuenca en donde está ubicada la presa Iturbide se recurrió al programa de Google Earth donde se crea un polígono conforme a puntos en el mapa vista satelital y este mismo arroja propiedades del polígono seleccionado como se muestra en la siguiente figura 3.2.

Como se puede apreciar en la figura 3.2 se tienen los datos de la cuenca de la presa Iturbide en el cual su valor es de **1.56 [km<sup>2</sup>]**.



**Figura 3.2 Vista satelital de la cuenca donde se ubica la presa Iturbide a través Google Earth**

Fuente: (Google Earth pro, 2021).

### 3.1.2 Estadísticas climatológicas del área de estudio (presa Iturbide).

En la tabla 3.1 se muestra el promedio de intensidad de lluvia anual en la zona de la presa Iturbide, en donde los datos climatológicos de lluvia son del periodo del año 2011 al 2017, con sus valores mínimos, promedio y máximo en [mm].

Tabla 3.1 Estaciones climatológicas en la presa Iturbide 2011-2017

<b>ESTACIONES CLIMATOLOGICAS LLUVIA [mm]</b>				
<u>AÑO</u>	<u>MINIMO</u>	<u>PROMEDIO</u>	<u>MAXIMO</u>	<u>DESV. EST.</u>
2011	0.0	3.5	56	7.9
2012	0.0	3.6	108	9.5
2013	0.0	5.0	59	9.3
2014	0.0	4.3	53	8.3
2015	0.0	5.3	35	7.7
2016	0.0	5.1	67.5	10.8
2017	0.0	4.7	66.5	10.5
<b>TOTAL, GENERAL</b>	<b>0.0</b>	<b>4.2</b>	<b>154</b>	<b>8.8</b>

Fuente: (Estadísticas Climatológicas CONAGUA, 2021)

Conforme a la tabla 3.1 se usará el valor de **4.2 [mm]** para el cálculo del caudal, que es el promedio general de lluvia entre los años del 2011 y 2017.

### 3.1.3 Determinación del coeficiente de escorrentía

Para la determinación del valor de la escorrentía se consultó la tabla 1.2 de coeficientes de escorrentía, en el cual para nuestro diseño se tiene la características bosque, vegetación densa, con un tipo de suelo impermeable y una pendiente >50%. Con esta característica se determinó que el coeficiente de escorrentía es **0.55**.

### **3.1.4 Cálculo del caudal**

Para calcular el caudal promedio ocuparemos la ecuación (1), que define el método racional americano.

En donde los datos utilizados para este cálculo fueron los siguientes:

1. Constante: **0.278**.
2. Coeficiente de escorrentía: **0.55**
3. Intensidad de lluvia promedio: **4.2 [mm]**
4. Área de la cuenca: **1.56 [km<sup>2</sup>]**

Haciendo uso de la ecuación 1 se obtuvo el siguiente resultado:

$$Qp = 0.278 * 0.55 * 4.2 * 1.56$$

$$Qp = 1.001 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

## **3.2 Estimación de altura geodésica de diseño de la micro central hidroeléctrica.**

### **3.2.1 Altura neta de la micro central**

Para la determinación de la altura neta para el diseño de la micro central hidroeléctrica se recurrió al uso de algunos programas como Google Earth pro y Global Mapper 20 para crear curvas de nivel a través de vía satélite. (Cuacuas, 2019).

A continuación, se muestra un listado de pasos que se realizó para obtener la altura neta de la micro central hidroeléctrica y sucesivamente fue lo siguiente:

- 1.- Creación de un polígono en Google Earth pro en el área de estudio, donde se pretende realizar el proyecto.



**Figura 3.3. Creación de un polígono en el área de estudio (presa Iturbide), para la micro central en Google Earth pro.**

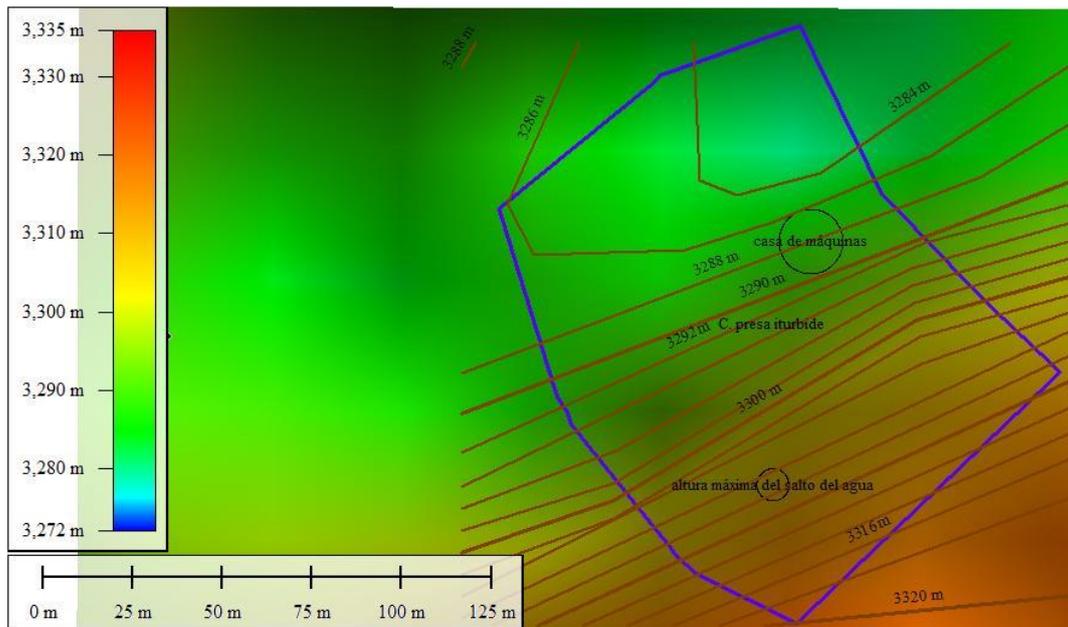
Fuente: (Google Earth pro, 2021)

2.- Consiste en guardar el polígono de Google Earth pro como archivo en formato “Kmz”, para que sea compatible con el programa de Global Mapper 20.

3.- Abrir el programa Global Mapper 20 y configurar en Configuración>Projection> seleccionar UTM>seleccionar Zona [14(102°W – 96°W – Northern Hemisphere)].

4.-Abrir el archivo Kmz creado en Google Earth pro, y después seleccionar la opción “Conect ti Online Data” y aceptar lo predeterminado.

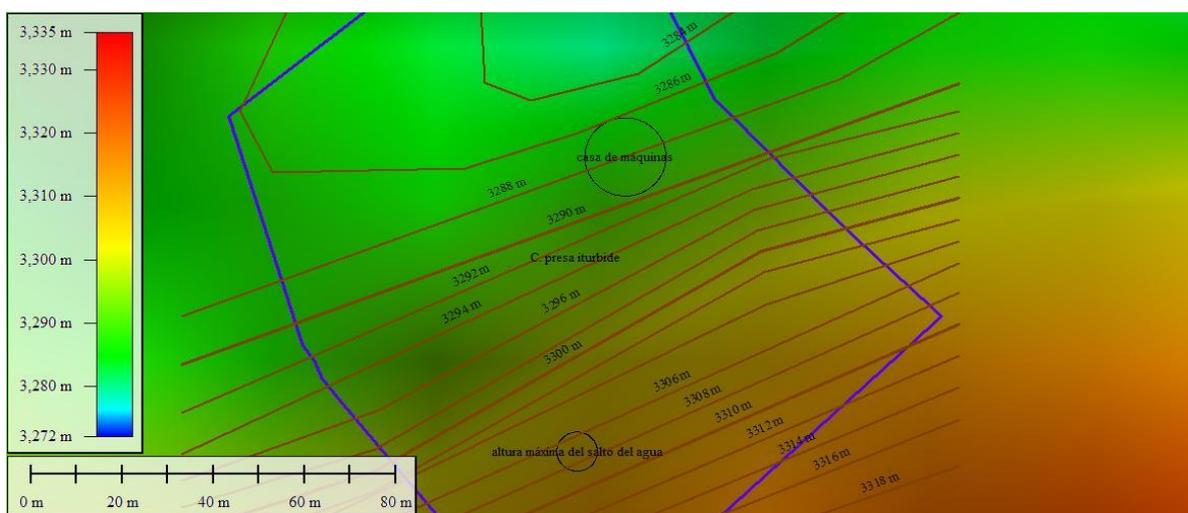
5.-Seleccionar la opción de “Create Contours” para generar curvas de nivel y en la sección Contour Interval y en nuestro caso se introdujo a 2 metros el intervalo de las curvas de nivel. Y el resultado obtenido se muestra en la figura 3.4.



**Figura 3.4** Curvas de nivel en el área de estudio (presa Iturbide) con Global Mapper 20.

Fuente: (Global Mapper 20, 2021).

Como se aprecia en la figura 3.4 se tiene las curvas de nivel en el polígono realizado en Google Earth pro y se percibe el contorno del polígono “presa Iturbide”, y las curvas que están dentro de ese polígono. Para visualizar en que altura se encuentra los círculos negros (casa de máquinas y altura máxima del salto), para la determinación de la altura bruta para el diseño de la micro central hidroeléctrica se recurre a la figura 3.5.



**Figura 3.5** Curvas de nivel con la señalización donde estará la casa de máquinas

Fuente: (Global Mapper 20, 2021)

En la figura 3.5 se observa un círculo negro con nombre de “casa de máquinas”, donde se pretende que a esa altura estará la casa de máquinas y en la curva de nivel en donde se encuentra gráficamente es a 3288 msnm y también se observa el círculo de nombre “altura máxima del salto”, donde corresponde el punto alto del azud de la presa Iturbide en el cual se localiza a en la curva de 3306 msnm.

Conforme las alturas obtenidas se logra determinar la altura bruta para el diseño de la micro central hidroeléctrica de la siguiente forma:

$$\textit{Altura de la presa Iturbide} = 3306\text{msnm}$$

$$\textit{Altura de la casa máquinas} = 3288\text{ msnm}$$

$$\textit{Altura bruta} = \textit{Altura de la presa iturbide} - \textit{Altura de la casa de máquinas}$$

$$\textit{Altura bruta} = 18 [m]$$

6.- Se exporta el archivo trabajado en la sección File>Export>Export Vector/Lidar Format>UTM y aceptar.

7.- Abrir el archivo modificado en Global Mapper en Google Earth pro y visualizar las curvas en vista satelital como se muestra a continuación.



**Figura 3.6 Visualización de las curvas de nivel creadas en Global Mapper en Google Earth pro en el área de estudio para la micro central.**

Fuente: (Google Earth pro, 2021)

Como se observa en la figura 3.6 no se logra reproducir todas las curvas en todo el polígono de color azul, entonces para la determinación de las alturas se utilizó la figura 3.5. Pero si se logra apreciar los círculos que corresponde a la altura máxima de la presa y la posición donde se plantea la ubicación de la casa de máquinas.

#### 8.- Determinación de la altura neta.

Para determinar la altura neta en donde se encontrará nuestra casa de máquinas con relación a la altura de presa Iturbide, se recurre a las ecuaciones (2) y (3) y se sustituye los datos ya obtenidos y el resultado es el siguiente:

$$h_{pér} = \left( \frac{15}{100} \right) * 18 \text{ m} = 2.7 \text{ [m]}$$

$$h_n = (18 \text{ m} - 2.7 \text{ m}) = 15.3 \approx 15 \text{ [m]}$$

### ***3.3.Propuesta de ubicación de los elementos para el diseño de la micro central hidroeléctrica en presa Iturbide.***

En la figura 3.7 se tiene una visualización de la propuesta de ubicación de la micro central hidroeléctrica en el área de estudio y se logra apreciar que las leyendas de que corresponde cada objeto dibujado, la distancia propuesta de conexión tubería de carga de la compuerta de la turbina hidroeléctrica a la presa es de una distancia de 30 [m] y de la salida de la turbina a donde el agua fluye después presa es de una distancia de 6 [m].



**Figura 3.7 Ubicación propuesta para la instalación de la micro central hidroeléctrica.**

Fuente: (Google Earth pro, 2021).

### **3.3 Dimensionamiento del conjunto hidroeléctrico**

#### **3.3.1 Tubería de presión**

Para la determinación del diámetro interior de la tubería de presión que se requiere para la conexión de la micro central hidroeléctrica con la presa se utiliza la ecuación 4, y se desarrolla el cálculo de la siguiente forma:

Datos obtenidos anteriormente.

$$Q = 1.001 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$$L = 30 [m]$$

$$h_b = 15 [m]$$

Sustituyendo datos en la *ecuación 4*:

$$D = 0.3 * \sqrt[5]{\frac{\left(1.001 \frac{m^3}{s}\right)^2 * 30m}{18m}} = 0.332 [m]$$

Para cuestiones de factibilidad del proyecto se ajustará a una tubería comercial en el cual se usará la medida de una tubería de presión de 12", a través de una tabulación usando la ecuacion 4 usando valores menos al cuadal calculado que es de  $1.001 \left[\frac{m^3}{s}\right]$  se logro determinar que para una tuberia de 12" se debe tener un caudal aproximado de:

$$Q = 0.77 \left[\frac{m^3}{s}\right]$$

### **3.3.2 Velocidad del flujo en la tubería de presión**

Empleando la *ecuación (5)*, para la estimación de la velocidad del flujo en la tubería, sustituyendo los datos se obtiene lo siguiente.

$$v = \frac{4 * 0.77 \frac{m^3}{s}}{\pi * 0.30^2} = 10.89 \left[\frac{m}{s}\right]$$

se obtuvo que la velocidad del flujo en la tubería sería de  $v = 10.32 \left[\frac{m}{s}\right]$  para una tubería de presión de 0.30 [m] de diámetro interno.

### **3.3.3 Presión nominal de la tubería**

Para el dimensionamiento de la presión nominal que se tendrá en la tubería se utiliza la ecuación 6, sustituyendo los datos correspondientes el resultado queda de la siguiente manera:

$$P = 1000 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 15m = 147.15kPa$$

### 3.3.4 Dimensionamiento de la tubería de presión

Conforme al dato de presión nominal que se tendría en la tubería de carga de un valor de **147 [kPa]**, se consultó con la marca COVALCO su diversidad de tubería hidráulica de acero inoxidable ya que este tipo de material es ideal para el uso en exterior y resiste a factores como la corrosión y cumple con los aspectos mecánicos como son la presión de carga nominal para este tipo de micro centrales hidroeléctricas.

Tabla 3.2 Dimensiones y peso tuberías acero con y sin costura.

Dimensiones y peso tuberías acero con y sin costura convencionales de acuerdo a fórmula peso específico $7850 \frac{Kg}{m^3}$							
Nominal	Diámetro exterior		Espesor de pared		Cédula	Peso	
[In]	[In]	[mm]	[in]	[mm]		$\frac{Lb}{ft}$	$\frac{Kg}{m}$
12	12.750	323.9	0.105	2.67		14.19	21.12
			0.134	3.40		18.07	26.90
			0.156	3.96	5S	21	31.26
			0.165	4.19	5	22.20	33.04
			0.174	4.37		23.13	34.42
			<b>0.180</b>	<b>4.57</b>	<b>10 10S</b>	<b>24.19</b>	<b>36.00</b>
			0.188	4.78		25.25	37.57
			0.203	5.16		27.23	40.52
			0.219	5.56		29.34	43.66
			0.237	6.02		31.70	47.18
			0.250	6.35	20	33.41	49.72
0.375	9.53	STD	49.61	73.83			

Fuente: (Tubería de acero al carbon dimensiones y peso lineal COVALCO, 2021).

Conforme a la tabla 3.2 de las especificaciones de medidas de la tubería hidráulica de 12" de acero inoxidable considerando que nuestra presión nominal es aproximadamente **147.15 [kPa] = 21.3423 [Psi]**, la tubería de la cedula 10 cubriría el aspecto de la presión nominal de nuestra presión de 147.15 [kPa] ya que trabaja normalmente con 1 [MPa].

En la tabla 3.3 se muestra más a detalle las medidas de la gama de tubería de hidráulica de acero inoxidable , ya teniendo en cuenta que con una tubería T-304 cedula 10 cubre el parámetro de la presión para la tubería de carga, en nuestro diseño se eligió una tubería de 0.300 [mm] de diámetro interior la medida La selección de la tubería en la marca Covalco sería el modelo Tubería hidráulica de acero inoxidable de 12" T-304 cedula 10.

### **3.3.5 Potencia eléctrica de la micro central hidroeléctrica.**

#### **3.3.5.1 Potencia eléctrica teórica.**

La potencia teórica de la microcentral hidroeléctrica se delimita con la ecuación 7, en el cual el caudal para el cálculo se utiliza en  $[\frac{l}{s}]$  como se muestra a continuación.

$$P_t = \frac{770 \frac{l}{s} * 15m}{102} = 113.23 [kW]$$

#### **3.3.5.2 Potencia eléctrica instalada**

Para precisar la potencia instalada de nuestra microcentral hidroeléctrica se maneja la ecuación 8 , según (Cuacas, 2019), para su obtención en este caso se considera la eficiencia de planta que normalmente es del 88% y el resultado se obtiene de la siguiente manera.

$$P_h = 9.81 * h_n * Q * \eta_T \quad (8)$$

De donde:

$h_n$ = Altura neta, [m].

$Q$  = Caudal,  $[\frac{m^3}{s}]$ .

$\eta_T$  = Eficiencia total del conjunto turbina – generador, [%].

$$P_h = 9.81 * 15m * 0.83 \frac{m^3}{s} * 0.88 = 107.478 [kW]$$

### 3.3.6 Dimensionamiento de turbina y generador.

#### 3.3.6.1 Selección de la turbina hidráulica.

Para la selección de la turbina nos basamos en dos formas para obtener la más adecuada en la cual el primero de ellos fue por medio de una gráfica de Abaco para seleccionar una turbina en el cual se selecciona mediante la medición del salto neto (altura neta) de agua y el caudal obtenido, como se muestra en la figura 3.8.

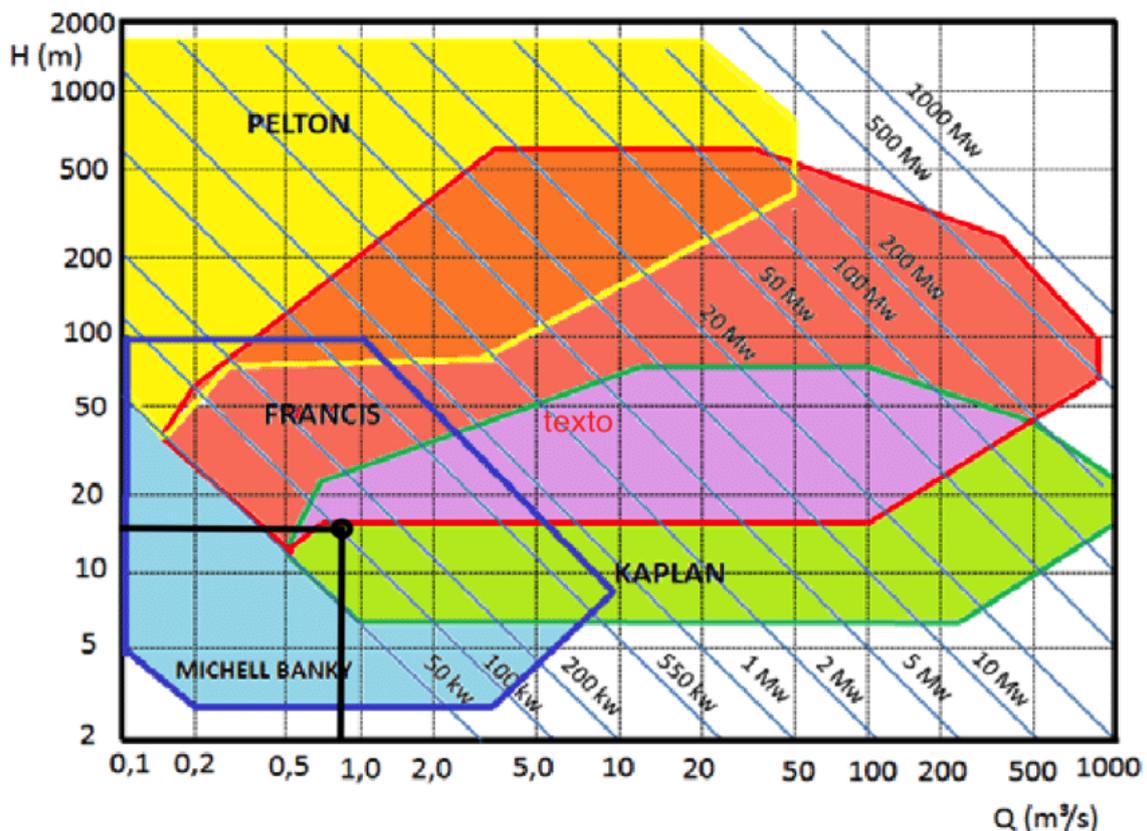


Figura 3.8 Abaco para selección de tipo turbina hidráulica.

Fuente: (Caisachana Vega, 2016).

Para la cual se puede seleccionar una turbina tipo Michell Banki, Francis o Kaplan, por la cual se podría decidir por un tipo Kaplan ya que son más comerciales y los precios son más accesibles, también consideramos otro método para terminar el tipo de turbina.

Para su selección de una turbina nos fuimos a las características necesarias como la potencia necesaria, el caudal, el diámetro de compuerta de la turbina y la caída de agua.

Otra forma para determinar la turbina del diseño de la micro central, es estimando la potencia para escoger que tipo de turbina se puede tener conforme a qué velocidad específica trabajaría mediante nuestros parámetros de diseño como se muestra a continuación:

Tabla 3.4 Datos para estimación de la potencia de la turbina

<b>CAUDAL “Q”</b>	<b>0.77 [<math>\frac{m^3}{s}</math>]</b>
<b>ALTURA NETA “<math>h_n</math>”</b>	<b>15 [m]</b>
<b>GRAVEDAD “g”</b>	<b>9.81 [<math>\frac{m}{s^2}</math>]</b>
<b>DENSIDAD DEL AGUA “Y”</b>	<b>997 [<math>\frac{kg}{m^3}</math>]</b>
<b>EFICIENCIA DE TURBINA “<math>n_t</math>”</b>	<b>80 - 90</b>

Para la estimación de la potencia de la turbina se utiliza la ecuación 9, según (Vivas, 2020).

$$PT = g * Y * Q * h_n * n_t \quad (9)$$

De donde:

**PT** = Potencia de la turbina, [W].

**g** = Gravedad,  $9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$ .

**Y** = Densidad del Agua,  $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$ .

**Q** = Caudal,  $\left[ \frac{m^3}{s} \right]$ .

**$h_n$**  = Altura neta, [m].

**$n_t$**  = Rendimiento de turbina, [%].

Sustituyendo datos:

$$PT = 9.81 * 997 * 0.77 * 15 * 0.8 = 90.3724 [kW]$$

En [HP] sería:

$$PT = 90.3724kW * \frac{1 HP}{0.746kW} = 121.62 [HP]$$

### 3.3.6.2 Velocidad de rotación de la turbina.

Los RPM de la velocidad de rotación de una turbina hidroeléctrica es muy necesario conocer los datos técnicos de los proveedores, y también muy esencialmente la velocidad con la que se necesita rotar el generador, por eso designamos teóricamente usar el valor de **1200 [RPM]** ,que es muy común en los generadores comerciales de esta magnitud, se utilizan esa velocidad para generar energía eléctrica, ya que el tipo de acoplamiento de generador- turbina es directo y es el más eficiente por el parámetro de la frecuencia de 60 [Hz], con relación a la velocidad síncrona dependiendo del número de polos del generador.

### 3.3.6.3 Velocidad específica de la turbina.

La determinación de la velocidad específica “  $N_s$  ” de una turbina nos facilita la selección de qué tipo de turbina es recomendable conforme a nuestros parámetros de diseño, en la tabla 3.5 se puede observar que rangos de operación de velocidad específica trabajan cada tipo de turbina hidráulica.

Tabla 3.5 Rangos de velocidad específica en cada tipo de turbina hidráulica

VELOCIDAD ESPECIFICA $N_s$	TIPO DE TURBINA
DE 5 A 30	Pelton con un inyector
DE 30 A 50	Pelton con varios inyectores
DE 50 A 100	Francis lenta
DE 100 A 200	Francis normal
DE 200 A 300	Francis rápida
DE 300 A 500	Francis doble gemela rápida o express
MÁS DE 500	Kaplan o hélice

Fuente:(Criterio de selección, 2015).

Para determinar la velocidad específica se utiliza la *ecuación (10)*, según (Cuacuas,2019).

$$N_s = \frac{n_{st} \cdot \sqrt{P}}{h_n^{\frac{5}{4}}} \quad (10)$$

De donde:

$N_s$  = Número específico de revoluciones .

$n_{st}$  = Velocidad sincrónica de la turbina, [RPM].

$h_n$  = Altura neta, [m].

$P$  = Potencia de la turbina, [HP].

Sustituyendo datos en la ecuación 10, se tiene la velocidad específica de la turbina:

$$N_s = \frac{1200 \cdot \sqrt{121.62}}{15^{\frac{5}{4}}} = 448.3$$

Con el valor de la velocidad específica de  $N_s = 448.3$ , conforme a la tabla 3.5, la turbina apta para nuestros parámetros de diseño calculados mediante este método de velocidad específica sería una turbina tipo Francis, sin embargo, en el otro método por curva “abaco” de la figura 3.8, se tiene que puede ser una turbina Kaplan, Francis o Michell Banki. Finalmente, conforme a las dos maneras de seleccionar el tipo de turbina para la micro central se establece que la turbina ideal para nuestro diseño sería una turbina Francis, ya que en los dos métodos se obtuvo en común como resultado este tipo de turbina, en el cual dependerá que tipo de turbina Francis sea, si es express o rápida a condición de la disponibilidad de los fabricantes tenga a la venta cada modelo.

#### **3.3.6.4 Dimensionamiento del generador**

A condición de lo descrito en la sección 3.3.6.3 los RPM establecidos para la selección del generador se tiene que las revoluciones por minuto en la turbina se estiman de **1200 [RPM]**, con este dato se recurre a la tabla 3.6 para conocer el número de polos que se estima para el generador.

Tabla 3.6. Velocidad de rotación en relación al número de polos y frecuencia.

NUMERO DE POLOS	VELOCIDAD DE ROTACIÓN EN RPM EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA.		
	50 Hz	60 Hz	100 Hz
2	3000	3600	6000
4	1500	1800	3000
6	1000	1200	2000
8	750	900	1500
10	600	720	1200
12	500	600	1000
16	375	450	750

Fuente:( <https://electromatic2012.blogspot.com>)

Se debe considerar que en la república mexicana el sistema eléctrico nacional el parámetro de la frecuencia en los sistemas de generación, transmisión, subtransmisión y distribución se maneja el valor de **60 [Hz]**, conforme a este dato en la tabla anterior el generador estaría definido por **8 polos**.

Debido a la magnitud de potencia de generación descrita en la **sección 3.3.5.2**, donde el valor de la potencia instalada es de 107.47 [kW] conforme a este valor se recurre a un valor comercial de generadores que sea de **100 [kW]**, en valores de [VA] sería **105.25 [kVA]** considerando un factor de potencia de 0.95. Para el valor de la tensión del generador se recurrió a una tensión de **220 [V]**, ya que la mayoría de los fabricantes de este tipo de sistemas de micro generación ofrece esta magnitud de tensión en los sistemas turbina-generador. De forma general el generador quedaría definido con los siguientes parámetros:

1. [RPM]: 1200.
2. Número de polos: 8.
3. Frecuencia: 60 [Hz].
4. Tensión nominal: 220 [V].
5. Potencia nominal de 105.26 [kVA].

### 3.3.7 Dimensionamiento del transformador.

Para la selección del transformador se necesita obtener el valor de la potencia aparente “S”, para la cual ocuparemos la siguiente formula:

$$S = \frac{P}{F.P}$$

En la cual:

**S** = Potencia aparente [VA].

**P** = Potencia activa [W].

**FP** = factor de potencia.

Nosotros obtuvimos que el valor del factor de potencia sea de 0.95 ya que es el valor normativo que se maneja en el Código de Red.

$$S = \frac{100}{0.95} = 105,26 \text{ [kVA]}$$

Ya obtenido el valor de la potencia aparente se recurrió al catálogo de la empresa continental electric, en el cual se seleccionó de su gama de transformadores los tipos pedestal, ya que es ideal para un uso a la intemperie y de fácil acceso para mantenimiento, a continuación, se muestra en la tabla 3.7 las capacidades que maneja esta empresa mexicana de los transformadores tipo pedestal.

*Tabla 3.7. Capacidades de transformadores trifásicos Continental electric con factor de potencia de 0.9.*

<b>KVA</b>	<b>WATTS(MAXIMO)</b>	<b>H.P (MAXIMO)</b>
<b>15</b>	13,500	18
<b>30</b>	27,000	36
<b>45</b>	40,500	54
<b>75</b>	67,500	91
<b>112.5</b>	102,250	136
<b>150</b>	135,000	181
<b>225</b>	202,500	272
<b>300</b>	270,000	362
<b>400</b>	360,000	483
<b>500</b>	450,000	603
<b>750</b>	675,000	905
<b>1,000</b>	900,000	1,207
<b>1,250</b>	1,125,000	1,509
<b>1,500</b>	1,350,000	1,810
<b>2,000</b>	1,800,000	2,414
<b>2,500</b>	2,250,000	3,017
<b>3,000</b>	2,700,000	4,023

Fuente: (Catálogo de catálogo de continental electric, 2021)

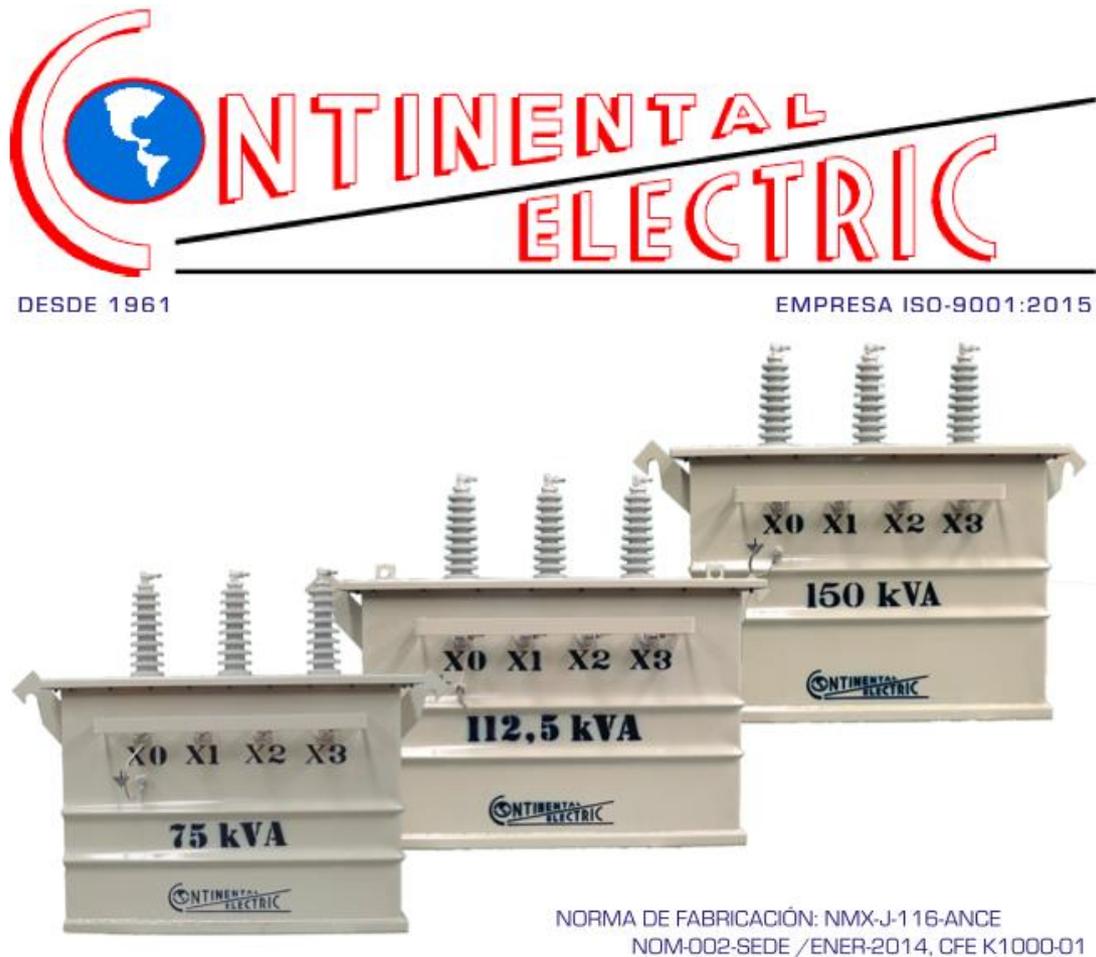


Figura 3.9 Aspectos generales del transformador tipo poste de la marca continental electric.

Fuente: (Catálogo de catálogo de continental electric, 2021)

De acuerdo con la tabla 3.7 el valor de nuestra potencia aparente es de **105.26 [kVA]**, entonces el valor comercial que se seleccionaría es de **112.5 [kVA]**. De manera general las características de tensión y aislamiento para el transformador del diseño de la micro central hidroeléctrica son:

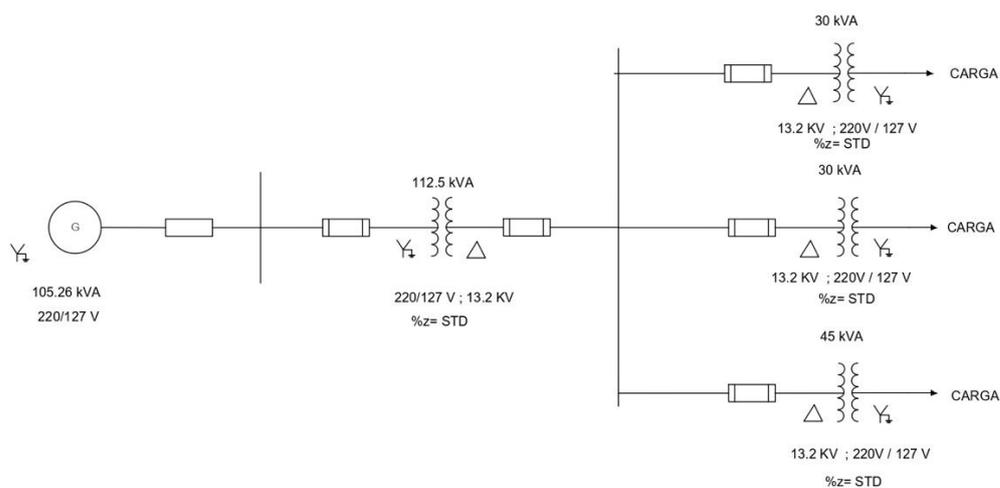
1. Tensión en el primario 220 [V].
2. Tensión en el secundario 13.2 [kV].
3. Clase de aislamiento 13.2 [kV].
4. Potencia Nominal 112.5 [kVA].

Se realizó la consulta al fabricante continental electric para obtener más información del transformador de 112.5 [kVA] tipo poste de las características ya mencionadas anteriormente, y nos proporcionó datos técnicos adicionales del transformador que son:

1. Fabricado bajo las normas NMX-J-116-ANCE-2017 y NOM 002-SEDE/ENER-2014.
2. Tipo de Enfriamiento ONAN.
3. 60 [Hz].
4. Derivaciones  $\pm 2$  de 2.5% c/u de la tensión nominal.
5. Impedancia %Z y Eficiencia % $\eta$  de acuerdo con la norma.

### 3.4 Diagrama unifilar de la microcentral hidroeléctrica.

A continuación, en la figura 3.10 se propone las capacidades de los transformadores para distribuir la energía eléctrica generada de la micro central hidroeléctrica hasta la carga eléctrica que es la comunidad de las Canoítas. En el cual se propone un transformador de 112.5 [kVA] para elevar la tensión de la energía generada y así el mismo transformador sus protecciones primarias aislarían la falla o sobre corriente y no permitiría que en primer plano dañe al generador de la microcentral, además se tienen tres transformadores de 30 y 45 [kVA] para la distribución en toda la zona de la comunidad de las canoitas.



**Figura 3.10 Diagrama unifilar de la micro central hidroelectrica hacia la carga de la comunidad.**

### 3.4 Descripción de la carga eléctrica del área de estudio.

#### 3.4.1 Dimensionamiento de la carga domestica actual y futura.

A continuación, se muestra la tabla 3.8 donde se considera los aparatos básicos de una casa para estimar la carga domestica promedio que alimentara la micro central hidroeléctrica en la comunidad de las Canoítas. Los valores de potencias promedio y horas de uso de los aparatos eléctricos fueron consultados en (CONERMEX Tablas de consumo CFE, 2017).

Tabla 3.8. Propuesta de carga eléctrica de una Casa habitación en la comunidad de las Canoítas

APARATOS ELECTRODOMÉSTICOS	Potencia promedio [kW]	Tiempo de uso al día [Hrs]	Tiempo de uso al mes [Hrs]	Consumo mensual [kWh]
REFRIGERADOR	0.500	9	240	120
LICUADORA	0.350	10min	5	2
LAVADORA	0.400	4h/2veces a la semana	32	13
TELEVISIÓN	0.360	6	180	65
CONTACTOS	6 de 0.180 c/u	3	90	97.2
FOCOS FLUORESCENTES	8 de 0.015c/u	5	150	18
PLANCHA	1	3h/2 veces a la semana	24	24
TOTAL	<b>3.810 [kW]</b>			<b>339.2 [kWh]</b>

En la comunidad de las canoítas a la fecha se tienen 7 hogares sin energía eléctrica podemos establecer una carga futura de hogares contemplando 7 hogares más a futuro debido al crecimiento de la población que se pueda tener en algunos años.

Si se tiene que por una casa estipulamos una carga de **3.81 [kW]** para un total de 14 hogares obtendríamos el siguiente resultado:

Datos:

Carga de una casa habitación: **3.81 [kW]**

Total, de casas a alimentar: **14**

*Carga Total de las casas = Carga de una casa habitacion x Total de casa a alimentar*

$$Carga\ total\ de\ casas = 3.81 \times 14$$

$$Carga\ total\ de\ casas = 53,81kW$$

Además, la comunidad de las canoítas es conocida por su ecoturismo por lo cual nosotros proponemos que se explote al máximo el lugar, para el crecimiento turístico y económico de la comunidad por lo que en nuestro proyecto se contempla una carga eléctrica de un pequeño complejo turístico en el cual se requiere lugares de hospedaje y restaurantes.

A continuación, se presenta la tabla 3.9, en el que se propone una carga promedio de los aparatos eléctricos en una fonda para comida, que comúnmente se tienen en sitios turísticos de esta naturaleza, los datos de potencia promedio de los aparatos eléctricos se consultaron en (CONERMEX Tablas de consumo CFE, 2017).

*Tabla 3.9. Propuesta de carga eléctrica de una fonda de comida en la comunidad de las Canoítas*

<b>APARATOS ELECTRODOMÉSTICOS</b>	Potencia promedio [kW]	Tiempo de uso al día [Hrs]	Tiempo de uso al mes [Hrs]	Consumo mensual [kWh]
<b>LICUADORA</b>	0.360	6	180	65
<b>CONTACTOS</b>	2 de 0.180	3	90	32.4
	c/u			
<b>FOCOS FLUORESCENTES</b>	4 de 0.015c/u	5	150	18
<b>REFRIGERADOR</b>	0.290	8	240	70
<b>TOTAL</b>	<b>1.07</b>			<b>185.4</b>

Proponiendo que se tenga alrededor de 3 locales de esta naturaleza, ya descrito la carga eléctrica en la tabla 3.9 en donde se estima tener una carga instalada de 1.07 [kW] por local, podemos deducir que una carga total instalada para estos locales sería:

$$\text{Carga total} = 3 \text{ locales} * 1.07 \text{ [kW]}$$

$$\text{Carga total} = 3.21 \text{ [kW]}$$

De la misma manera se presenta la tabla 3.10, en donde se propone la carga eléctrica de un restaurante considerando los aparatos básicos que utilizan estas edificaciones para su operación, los datos de potencia promedio de los aparatos fueron consultados en (CONERMEX Tablas de consumo CFE, 2017).

*Tabla 3.10. Propuesta de una carga eléctrica de un Restaurante en la comunidad de las canoítas*

<b>APARATOS ELECTRODOMÉSTICOS</b>	Potencia promedio [kW]	Tiempo de uso al día [Hrs]	Tiempo de uso al mes [Hrs]	Consumo mensual [kWh]
<b>REFRIGERADOR</b>	0.290	8	240	70
<b>FOCOS FLUORESCENTES</b>	8 de 0.015c/u	5	150	18
<b>CONTACTOS</b>	5 de 0.180 c/u	3	90	81
<b>CONGELADOR</b>	0.400	3	90	36
<b>CAFETERA</b>	0.750	2	60	45
<b>MICROONDAS</b>	1.200	0.5	15	18
<b>VENTILADOR DE TECHO</b>	0.65	8	240	15.6
<b>TELEVISIÓN.</b>	0.120	6	180	21.6
<b>LICUADORA</b>	0.350	2	60	21
<b>TOTAL</b>	<b>4.78</b>			<b>327.2</b>

En este proyecto también se contempla una carga de un hotel de una estrella, que estos suelen estar dirigidos por los propietarios y están cerca de lugares turísticos o de servicios de transporte que brindan traslado a estos y cuentan con los servicios básicos en hospedaje como es baño-regadera y televisión. (Clasificación de hoteles, 2019).

Se podría considerar que la clasificación de este hotel será como “Eco hotel” por que sería alimentado por una energía renovable que en este caso es una micro central hidroeléctrica que no contribuye a la generación de sustancias contaminantes como las energías convencionales.

Si consideramos que el hotel dispondrá de 10 habitaciones (7 dobles y 3 individuales), además la recepción y un cuarto de servicio, podríamos determinar que cada cuarto o habitación se tiene la siguiente carga eléctrica considerando los valores promedios de aparatos eléctricos según (CONERMEX Tablas de consumo CFE, 2017), como se observa en la tabla 3.11, donde se tiene la propuesta de carga eléctrica de un hotel de 1 estrella para la comunidad de las canoítas.

*Tabla 3.11. Carga propuesta para un hotel en la presa Iturbide.*

<b>TIPO DE HABITACIÓN O ÁREA</b>	<b>Carga eléctrica (consumo promedio) por cada área</b>	<b>Carga total instalada</b>
<b>3 HABITACIONES INDIVIDUALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 receptáculos dobles de 180 [W]</li> <li>• 3 lámparas fluorescentes de 15 [W]</li> <li>• Televisión (32-43 pulgadas) 360 [W]</li> </ul>	<b>2835 [W]</b>
<b>7 HABITACIONES DOBLE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 receptáculos dobles de 180 [W]</li> <li>• 4 lámparas fluorescentes de 15 [W]</li> <li>• Televisión (32-43 pulgadas) 360 [W]</li> </ul>	<b>6720 [W]</b>
<b>CUARTO DE SERVICIO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lavadora automática de 400 [W]</li> <li>• 2 lámparas fluorescentes de 15 [W]</li> <li>• Bomba de agua 400 [W]</li> <li>• 2 receptáculos dobles de 180 [W]</li> </ul>	<b>1175 [W]</b>

<b>RECEPCIÓN</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 receptáculos dobles de 180 [W]</li> <li>• 3 lámparas fluorescentes de 15 [W]</li> <li>• Televisión (19-21 pulgadas) 70 [W]</li> </ul>	<b>655 [W]</b>
<b>PASILLOS ESCALERAS</b>	Y	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 7 lámparas fluorescentes de 15 [W]</li> </ul>	<b>105[W]</b>
<b>ALBERCA JARDÍN</b>	Y	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bomba de agua 400 [W]</li> <li>• 5 lámparas fluorescentes de 15 [W]</li> </ul>	<b>475 [W]</b>
<b>CARGA TOTAL PROPUESTA</b>			<b>11 965 [W]</b>

En la tabla 3.12 se muestra de manera general la carga eléctrica propuesta para el diseño de la micro central hidroeléctrica en la comunidad de las Canoítas.

*Tabla 3.12. Carga eléctrica estimada para la micro central hidroeléctrica.*

<b>ÁREA</b>	<b>CARGA ELÉCTRICA EN [kW]</b>
<b>HOGARES DE LA COMUNIDAD CANOÍTAS</b>	53.81
<b>LOCALES</b>	3.21
<b>RESTAURANTE</b>	4.78
<b>HOTEL DE UNA ESTRELLA</b>	11.965
<b>TOTAL</b>	73.76

Ya dimensionada la potencia de generación de la micro central hidroeléctrica en la **sección 3.3.6.4**, en donde el generador es de 100 [kW] en comparación a la carga que alimentará que en este caso será de 73.76 [kW], por lo tanto, se tiene un margen de 26.24% restante, en el cual este valor pueda sustentar cargas eléctricas adicionales en un futuro.

*CAPITULO 4. FACTIBILIDAD TECNICA Y  
ECONOMICA*

#### 4.1 Análisis de Resultados

Conforme al capítulo 3 se dimensionaron los siguientes equipos y parámetros para la propuesta de instalación de la micro central hidroeléctrica en la presa Iturbide, de forma general en la tabla 4.1 se tienen los siguientes resultados ya mencionados. Para tener un panorama técnico que comprueba que hay condiciones para el uso de la micro central hidroeléctrica en la zona de estudio.

Tabla 4.1 Resumen de valores obtenidos en el capítulo 3

RESUMEN DE VALORES DADOS EN EL CAPITULO 3	
Cuenca de la presa iturbide	1.56 [km <sup>2</sup> ]
Promedio de intensidad de lluvia anual	4.2 [mm]
Coeficiente de escorrentia	0.55
Caudal promedio	1.001 [ $\frac{m^3}{s}$ ]
Caudal de diseño	0.77 [ $\frac{m^3}{s}$ ]
Altura de la presa iturbide	3306 [msnm]
Altura de la casa de maquinas	3288 [msnm]
Altura bruta	18 [m]
Altura neta	15 [m]
Tuberia de presion	0.300 [m]
Velocidad del flujo en la tuberia	10.89 [ $\frac{m}{s}$ ]
Presion nominal de la tuberia	147.15 [kPa]
Potencia de la turbina	90.37 [kW]
Velocidad especifica de la turbina	448.3
Potencia electrica teorica	122.05 [kW]
Potencia electrica instalada	107.47 [kW]
Revoluciones por minuto	1200
Potencia del transformador	112.5 [kVA]

Después de obtener dichos resultados podemos hacer un análisis para saber la factibilidad del proyecto los aspectos que debemos checar serán el social, ambiental, económico y legal. Para así poder llegar a las condiciones deseadas del proyecto y así mejorar las condiciones de vida de toda la comunidad beneficiada.

#### **4.2 Generación anual de energía eléctrica**

Actualmente la generación de energía por medio de una micro central hidroeléctrica tiene un factor muy importante que repercute en la generación de energía durante todo el año, ya que el factor del clima es un tema que se debe considerar ya que no se puede contemplar un sistema ideal en donde en todas las etapas del año se obtiene el mismo caudal por lo que nosotros en el **sección 3.1** se propone un caudal de diseño de  $0.77 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$  para determinar la capacidad de la turbina, pero se debe tener en consideración que no se tendrá ese valor de caudal durante el transcurso del año, se tiene temporadas de aguas bajas en donde el nivel de caudal que nos pueda proporcionar la zona no sea niveles bajos.

De acuerdo con el sistema meteorológico nacional se tienen datos estadísticos sobre la precipitación sobre el área de estudio como se muestra en la tabla 4.2.

Conforme a los datos de la tabla 4.2 se pueden visualizar los diferentes promedios de lluvia [mm] dados por mes entre el periodo (01/09/1977-31/09/2017.). Por lo que es posible sacar el caudal promedio mensual aproximado para el proyecto, así obtener un valor cercano al que se podría tener actualmente, mediante la aplicación de la *ecuación 1* como se hizo en la sección 3.1 de este trabajo, por medio del método racional americano se tienen los siguientes valores en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Caudales promedio mensuales y caudal promedio general.

MES	PRECIPITACIÓN PROMEDIO [mm]	CAUDAL PROMEDIO [ $\frac{m^3}{s}$ ]
ENERO	1.1	0.262
FEBRERO	1.2	0.286
MARZO	1.5	0.357
ABRIL	3.3	0.787
MAYO	3.4	0.81
JUNIO	8.3	2.05
JULIO	8.9	2.194
AGOSTO	7.7	1.836
SEPTIEMBRE	7.1	1.69
OCTUBRE	3.7	0.88
NOVIEMBRE	3.4	0.81
DICIEMBRE	1.0	0.238
<b>GENERAL</b>	<b>4.2 [mm]</b>	<b>1.001 [<math>\frac{m^3}{s}</math>].</b>

Nota: los valores de precipitación promedio fueron consultados en CONAGUA.

De acuerdo con la tabla anterior los meses con los que se cuenta con menor caudal que el propuesto para la selección de las partes de la micro central hidroeléctrica son los meses de enero, febrero, marzo y diciembre. Eso se puede visualizar en los datos de la grafica de la figura 4.1. En donde en la línea recta se muestra el caudal propuesto que es  $0.77 \frac{m^3}{s}$  y además se muestra que meses cumplen con esta característica y que meses es menor al promedio como se describió al principio de esta sección.



Figura 4.1 Grafica de caudal promedio por mes y caudal propuesto

Para visualizar que potencia se estará generando en los meses de aguas bajas se tiene la tabla 4.3 donde se muestra la potencia que se tiene en cada mes de la temporada de sequía, utilizando la ecuación 8, para determinar la energía generada en cada mes.

Tabla 4.3 Potencia generada en meses de sequia.

MES	POTENCIA GENERADA [kW]
ENERO	33.926
FEBRERO	37.034
MARZO	46.228
DICIEMBRE	30.819

Conociendo los meses de temporada baja de caudal, de acuerdo a la tabla 4.3 el mes de diciembre es el mes que se tiene un valor de caudal mas bajo que le corresponde a una potencia aproximada de 30.819 [kW] de generación, por lo cual el cálculo de cuanto energía se generaría por año se tomaría el valor más bajo para calcular durante los 12 meses del año.

Ya que, tomando este valor para todos los meses del año, se puede considerar un escenario donde la temporada de sequia sea mayor a la prevista a la de los datos estadísticos y así obtener un panorama de que estimando con esta magnitud de generación no exista problema a comparación de considerar uno que sea mayor al nivel mas bajo como es en la temporada de sequía.

De manera general la energía anual generada sería:

$$\text{Energía Anual generada} = 30.819 [kW] \times 24 \frac{\text{hrs.}}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{día}}{\text{año}}$$

$$\text{Energía anual generada} = 269,974.44 \left[ \frac{kWh}{\text{año}} \right]$$

Por lo tanto, teniendo en cuenta la energía generada anualmente por nuestra micro central hidroeléctrica es capaz de abastecer a toda la carga propuesta la cual se muestra en la **sección 3.4.1**, aun en meses de sequía la micro central es capaz de abastecer dicha carga.

### 4.3 Inversión

Es importante conocer las marcas de los equipos, costos, mano de obra que se invertirán para la construcción de una micro central hidroeléctrica por lo cual nosotros nos tratamos de basar precios reales cotizando en varias empresas de esta rama en la cual se muestran los precios dados en la tabla 4.4

Tabla 4.4 Costos de equipos de la micro central hidroeléctrica.

EQUIPO	CANTIDAD	PRECIO \$	SUBTOTAL
Turbina y generador 100kw (micro hydro suneco green energy limited)	1	USD 46,179.50	USD 46,179.50
Transformadores tipo poste continental 112.5 , 30, 30 y 45 kVA.	4	VARIOS	USD 18,090.45
	<b>SUBTOTAL</b>		USD 64,269.95
	<b>IVA 16%</b>		USD 10,283.192
	<b>TOTAL EN USD</b>		<b>USD 74,553.142</b>
	<b>TOTAL EN PESOS MXN</b>		<b>\$1,483,607.53</b>

Tabla 4.5 Costos de materiales y mano de obra de la micro central hidroeléctrica.

MATERIAL Y MANO DE OBRA	CANTIDAD	PRECIO \$	SUBTOTAL
Cableado de línea de distribución 1c-3f-4h-13 kv-1/0-awg-acsr-pm (rural)	1	USD 19,524	USD 19,524
Mano de obra y materiales de construcción para la instalación hidráulica y civil	1	USD 6796.53	USD 6796.53
TUBO DE ACERO INOX. T-304 CON COSTURA CED-10 DE 12" DE DIAMETRO, TRAMOS DE 6.10 MTS. DE LONG.	6	USD 1166.48	USD 6,998.88
	SUBTOTAL		USD 33,319.41
	IVA 16%		USD 5,331.1056
	TOTAL en Usd		<b>USD 38,650.5156</b>
	TOTAL en pesos mxn		<b>\$769,145.26</b>

Nota.

1. El precio del cableado de línea de distribución por kilometro se tomo de los costos de las redes aéreas de CFE en su pagina oficial.
2. La mano de obra y materiales se tomo mediante el 12% del costo del equipo y material primario de la micro central hidroeléctrica como lo dicta el diario oficial de la federación.
3. Los de mas puntos cotizados se sacaron mediante una previa cotización con los probadores
4. Debido a la inflación constante que existe en el país se opto por tener todos los precios en dólares y así mismo tomar el valor del dólar que es de \$19.90 en el día 28 de abril del 2021.

Conforme a la tabla 4.5 y 4.6 la inversión total para la propuesta de instalación de la micro central hidroeléctrica da un total de **\$ 2,252,752.79 mxn.** Y en dólares **USD 113,203.65**

#### **4.4 Mantenimiento.**

Esta micro central hidroeléctrica puede operar las 24 horas del día sin interrupción alguna, pero como toda máquina mecánica y eléctrica debe tener un mantenimiento para que su vida útil sea igual al que estipula el fabricante de los componentes de la micro centra, por lo que nosotros proponemos un mantenimiento preventivo cada cierto periodo de tiempo el cual seria cada 6 meses o 12 meses. Esto se realizaría a través de una empresa privada que se dedique al mantenimiento preventivo de este tipo de micro centrales hidroeléctricas.

##### **4.4.1 Personal para operación de la micro central**

Se propone tener un operador que este capacitado para el control y accionamiento de la micro central hidroeléctrica, puede ser una persona de la misma comunidad que se capacite por una institución educativa para que tenga el conocimiento de operación de la micro central, además que se encargue de la vigilancia de la misma.

Teniendo en cuenta estos aspectos para operación de la micro central se determina que como todo trabajador se debe considerar un sueldo fijo en este caso se consultó en la CONASAMI en el apartado de salarios mínimos 2021, para un trabajador como técnico se tiene un salario fijo para el resto del país de \$182.52 mxn. Entonces la nómina para la micro central se define de la siguiente forma:

*Tabla 4.6. Personal para la operación de la micro central.*

<b>CANTIDAD</b>	<b>PUESTO</b>	<b>SALARIO MENSUAL</b>	<b>SALARIO ANUAL</b>
1	Operador/vigilante	5110.56 mxn	61,326 mxn
<b>TRABAJADORES TOTALES 1</b>		Total, de nomina	61,326 mxn

#### **4.5 Factibilidad económica**

Es importante aclarar que solo para comparación se toma el precio de los [MWh] como si la energía se vendiera a CFE, pero solo se usará como comparación, la energía generada en la micro central se usará para uso de la comunidad, solo se hace esta comparación para ver la factibilidad económica.

El ingreso anual se obtiene mediante el precio del [MWh] del nodo más cercano que en este caso está en 68.3 USD este precio fue consultado en los precios locales marginales de la CENACE el día 28 de abril del 2021 a las 17:00 [hrs], en el cual nosotros ya contamos con la energía generada anual que es de **269,974.44**  $\left[\frac{kWh}{año}\right]$ .

En donde ocupando la siguiente ecuación se obtuvo un valor de ganancia anual como si se fuera a vender la energía eléctrica pero como no es el caso solo se ocuparon estos datos para saber si la inversión de este proyecto era viable para la comunidad.

$$\text{Ingreso anual} = \text{Energía generada anual} \left(\frac{MWh}{año}\right) \times \left(\frac{USD}{MWh}\right)$$

$$\text{Ingreso anual} = 269.9444 \frac{MWh}{año} \times 68.03 \frac{USD}{MWh} \times 19.90 \frac{\$}{año} =$$

$$\text{Ingreso anual} = \$ 365,449.92$$

#### **4.6 VAN y TIR**

El valor actual neto (VAN) se obtiene teniendo los flujos de ingresos y egresos del proyecto para así tener un valor de cuanto se podrá ganar o perder con la inversión y nuestro valor dados para este proyecto es de un VAN de 6,869,993.66 como se muestra en la tabla 4.5 y ya que el valor es positivo y el proyecto es viable por lo que se obtiene una ganancia al invertir el dinero en esta micro central hidroeléctrica.

La tasa interna de retorno (TIR) debe ser menor a la tasa de interés en la cual nosotros tenemos una del 5% por lo cual nuestra tasa interna de retorno es viable ya que tenemos una del 13% como se muestra en la tabla 4.5

**Tabla 4.7 Datos para obtener el VAN y TIR**

Año	flujo de ingresos	flujo de Engresos	Flujo Neto	inversión=	- <b>\$2,253,753.94</b>
1	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
2	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
3	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
4	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
5	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
6	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
7	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
8	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
9	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
10	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
11	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
12	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
13	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
14	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
15	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
16	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
17	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
18	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
19	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
20	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
21	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
22	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
23	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
24	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
25	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
26	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
27	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
28	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
29	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
30	\$365,449.92	\$61,325	\$304,124.92		\$304,124.92
TOTAL=	\$10,963,497.60	\$1,839,750	\$9,123,747.60	VAN=	\$6,869,993.66
Tasa de inter	5%			TIR=	13%

#### **4.7 Impacto social**

La energía eléctrica es un recurso primordial para las actividades del ser humano para el día a día, es de gran relevancia conocer el impacto social que tiene la implementación de este tipo de proyectos para la solución a la falta de energía en zonas donde las líneas de suministro eléctrico aun no existen, como es el caso de la comunidad de las Canoítas del municipio de Isidro Fabela, Estado de México, de tal manera se describirá en esta sección, tales beneficios directos e indirectos que logren tener en la comunidad si se realizará el proyecto. Hay proyectos en donde se construyeron micro centrales hidroeléctricas o granjas solares en poblaciones donde era difícil el acceso a un tendido eléctrico por cuestiones geográficas de la ubicación de la población, lograron resolver el

problema de suministro eléctrico mediante la generación de energía eléctrica por medio de energías renovables, habitantes de comunidades de este tipo, aclaran que teniendo un servicio de energía eléctrica les permite en el aspecto de los alimentos, ya no se le echa perder por el hecho que ya pueden usar un refrigerador para conservar por más tiempo sus alimentos (Banco mundial, 2018).

La comunidad de la canoítas es una población de alta marginación, en donde aún se tiene deficiencia de servicios como un suministro energía eléctrica, en donde la implementación de un proyecto como una micro central hidroeléctrica, no solo ayudaría al medio ambiente al no generar CO<sub>2</sub> , porque el proceso de conversión de la energía a electricidad no se necesita de una combustión de un hidrocarburo, la electrificación de la comunidad Canoítas es importante para mejorar la condición de vida de la misma comunidad y así disminuir la inequidad social en la que actualmente se encuentra, sin duda la electrificación a poblaciones rurales generan sinergias positivas entorno que se desencadena actividades industriales de base agrícola o también comerciales, por el cual en este proyecto se contempla la carga eléctrica de una pequeña carga ecoturística, ya que la zona tiene potencial para turismo, se tiene en cuenta que haya locales comerciales y un hotel para quienes visiten la presa tenga un lugar para hospedarse, actualmente si existe negocios de criadero de trucha, pero proponiendo él una zona ecoturística puede generar empleos directos para la comunidad y que esto permita el crecimiento económico y social de la misma comunidad en el transcurso de los años.

*CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES*

## 5.1 Conclusión.

La factibilidad de construir una micro central eléctrica en la comunidad de las Canoítas del municipio de Isidro Fabela, es propuesta considerando las características energéticas que puede proporcionar el embalse, desde dos puntos de vista la altura neta y el caudal que se puede captar el cual se establece suficiente para poder satisfacer la demanda energética de esta comunidad y con la proyección de carga futura de un desarrollo ecoturístico en esta zona.

En este contexto, inicialmente se discutió la proyección de una línea de conexión que alimente a la comunidad desde la subestación más cercana de CFE, obteniendo como resultado la poca factibilidad de esto, debido a la poca carga que se tienen en este momento.

Esta propuesta de proyecto se consideró un estudio virtual, de las condiciones geológicas e hidrológicas de la zona para establecer el comportamiento de los parámetros de volumen del embalse, caudal, altura y las construcciones que se tiene en la zona para calcular y proponer el equipo primario y secundario de la micro central.

El equipo primario que se propone es una planta Smart compacta que incluye turbina, generador y transformador de acoplamiento el cual cumple con los niveles de potencia y tensión

En esta propuesta finalmente la dimensión del equipo primario de la micro central hidroeléctrica se determinaron conforme a los siguientes parámetros tales como un caudal de valor de  $0.77 \left[\frac{m^3}{s}\right]$  y una altura neta de 15 [m] para la instalación de la turbina conforme a la presa, finalmente el conjunto turbina-generador es de 100 [kW] y además un transformador de 112.5 [kVA] para la distribución de la energía generada en la micro central.

En este proyecto se busca principalmente la ayuda del gobierno correspondiente para que sustente la inversión inicial en ayuda a la comunidad de las Canoítas ya que esta es una zona de un grado muy alto de marginación. Existen programas para el desarrollo de infraestructuras de esta naturaleza como son los programas federales de infraestructura social básica en el cual se

tiene un fondo de predestinado para el desarrollo de proyectos en comunidades de alta marginación.

La energía total genera es de 269,974.44 [kWh] al año, este valor se obtuvo teniendo en cuenta que se tomo el caudal mínimo de todo el año (Época de aguas bajas) que tiene un valor de  $0.23 \left[\frac{m^3}{s}\right]$ , por lo que se espera que la generación de energía sea mayor en temporada de lluvia, aumentaría los valores de caudal que se dispone en la presa e implícitamente la potencia de generación a valores nominales de que se tiene en el diseño que es de 100 [kW] de potencia neta.

De acuerdo con todos los resultados obtenidos para para la propuesta de instalación de una micro central en la presa Iturbide, concluimos que se desarrollaron los objetivos planteados al inicio de este trabajo ya que se pudo determinar el dimensionamiento y selección de las partes de la micro central hidroeléctrica y además se dedujo que es un proyecto viable económicamente hablando ya que la inversión se recuperaría en 6.17 años, lo cual es factible ya que la micro central hidroeléctrica tiene una duración de vida útil de aproximadamente 30 años.

Por último, este proyecto no solo pretende mejorar la condición de vida de la comunidad, sino que también favorecerá que la comunidad crezca mediante el turismo que intentamos generar con ayuda de esta micro central hidroeléctrica teniendo un complejo turístico para esta zona.

## *5.2 Recomendaciones*

Para trabajos futuros se pueden contemplar los siguientes puntos para complementar el proyecto buscando siempre la mejora del mismo.

1. Analizar el esquema de un sistema de rebombeo.
2. Desarrollar un proyecto de interconexión con la red eléctrica de CFE con el fin de vender el excedente de potencia eléctrica.

3. Desarrollar un proyecto de un sistema inteligente de iluminación a través de energía renovable con paneles solares considerando la época de sequia.

## ANEXOS

### Anexo A Cotización

#### Anexo A.1 Visualización de Turbina-Generador y Control

SUNECO GREEN ENERGY LIMITED  
138 Dongsan Road, Dongying, Shandong 257000 China  
[www.micro-hydro-power.com](http://www.micro-hydro-power.com) Email: [sales3@sunecochina.com](mailto:sales3@sunecochina.com)

#### 100KW Micro Hydro Generator



**From: Ms. Linda Qu**

**To: Luis Eduardo Simón Guadalupe**

**To: Luis Eduardo Simón Guadalupe**

*Anexo A.2 Datos Tecnicos de turbina-Generador y control.*

SUNECO GREEN ENERGY LIMITED  
 138 Dongsan Road, Dongying, Shandong 257000 China  
[www.micro-hydro-power.com](http://www.micro-hydro-power.com) Email: [sales3@sunecochna.com](mailto:sales3@sunecochna.com)

## The Parameters For 100KW Hydro Unit

Main Specifications		
<b>Turbine</b>		Remarks
Model	HL15-100STB6-Z	
Reted Head	15m	
Rated Flow	770L/S	
Diameter of penstock	300mm	
Power	100KW	
Efficiency	78%	
<b>Generator</b>		
Model	SFW100-6/493	Conforms to the IEC international electrician committee standard
Rated Power	100KW	
Rated Voltage	220V	
Rated Current	179A	
FQCY	60 Hz	
Rated speed	1200 r/min	
Phase	3	
P.F.	1.0	
Altitude	≤3000m	
Insulation Grade	B/B	
Protection Grade	IP44	
Ambient Temperature	-25℃ ~ +50℃	
Relative Humidity	≤90%	
<b>Control Panel</b>		Remarks
Safety Protection	Short circuit protection	
	Over load protection	
	Overvoltage protection	
Packing Material	Fiberboard box	
Packing Size	机组: 3.8T	
Weight	开关柜: 100KG	

Anexo A.3 Cotización de Turbina-Generador y Control.



Suneco Green Energy Limited  
 138 Dongsan Road  
 Dongying, Shandong, China  
 Tel: +86-(0)546-7867971  
[www.micro-hydro-power.com](http://www.micro-hydro-power.com)  
 Ms.Linda QU

## Proforma Invoice

Date Ari 16, 2021

Invoice # 2021041603

Customer ID MX2021041301

CUSTOMER	SHIP TO	SHIPPING DETAILS
Luis Eduardo SANTIAGO TEPATLAXCO, NAUCALPAN DE JUAREZ, ESTADO DE MÉXICO, Mobile phone:525538380023	estado de Michoacán	Freight Type Est Ship Date Apr. 16, 2021 Est Gross Weight Est Cubic Weight Total Packages

PART NUMBER	UNIT OF MEASURE	DESCRIPTION	QTY	UNIT PRICE	TOTAL AMOUNT
0000001	PCS	100kw hydro turbine kit	1	45,969.50	45,969.50
			1		45,969.50

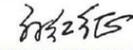
TERMS OF SALE AND OTHER COMMENTS	
1. FOB China Port.	Taxable \$ -
2. Payment: by 50% (US 22984.75) Bank Telex Transfer before production. 50% before deliv	Tax rate
3. Production time: 150 working days after your payment received	Tax \$ -
4. No bank charges and middle bank charges deduct. Pay in full amount payment.	Freight \$ 160.00
	Insurance \$ 50.00
	Port to Door
	Inspection/Cert. \$ -
	Other (specify) \$ -
	<b>TOTAL \$ 46,179.50</b>
	Currency USD

SAY: US DOLLAR FIFTY NINE THOUSAND SIX HUNDRED AND FIVE ONLY.

### ADDITIONAL DETAILS

BENEFICIARY NAME: SUNECO GREEN ENERGY LIMITED  
 ADDRESS: NO. 138 DONGSAN ROAD, DONGYING, SHANDONG 257091 CHINA.  
 TEL: 865467867971  
 BENEFICIARY ACCOUNT NUMBER: 82753293042252  
 BANK NAME: BANK OF COMMUNICATIONS OBU  
 BANK ADDRESS: 1ST FLOOR, NO.188, YINCHENG ZHONG ROAD,  
 PUDONG, SHANGHAI 200120  
 SWIFT BIC CODE: COMMCN3XOBU  
 INTERMEDIARY BANK: PNBUS3N NYC  
 ACCOUNT WITH INSTITUTION: COMMCN3XOBU  
 Or pay to Paypal account: suneco@hydro@gmail.com

For and on behalf of  
**SUNECO GREEN ENERGY LIMITED**

  
 Authorized Signature(s)

## Anexo A.4 Cotización de la Tubería de acero inoxidable.



**COVALCO, S.A. DE C.V.**  
 Berlín No. 19, Col. Jardines de Bellavista  
 Col. Jardines de Bellavista C.P. 54054 Tlalnepantla, Edo. De México  
 Tel: 01 (55) 8114-3363, 8114-3366, 3536-3570, 3536-3585, 2628-1717  
 RFC: COV-031016-KG3

www.covalco.mx

FECHA 28 DE ABRIL DE 2021

COTIZACION NUMERO  
 COVAC-1480

REQUISICION NUMERO

ATENCION DE:	ING. LUIS EDUARDO SIMON	COTIZACION EN	USD
CLIENTE:		NOTA: Para pagos de facturas en dólares con Moneda Nacional, favor de utilizar el tipo de cambio del día del pago, publicado en el Diario Oficial de la Federación.	
DOMICILIO:			
TELEFONO:	55 38 38 0023		
CORREO ELECTRONICO:	luiseduardosimonguadalupe@gmail.com		

PART.	CANTIDAD	UNID.	CONCEPTO	PRECIO UNITARIO	IMPORTE D.L.S.
1	30.5	MTS	TUBO DE ACERO INOX. T-304 CON COSTURA CED-10 DE 12" DE DIAMETRO, TRAMOS DE 6.10 MTS. DE LONG.	\$ 229.45	\$ 6,998.23
2				\$	-
3				\$	-
4				\$	-
5				\$	-
6				\$	-
7				\$	-
PRECIOS SUJETOS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO POR AUMENTOS EN LOS MATERIALES METRAJE APROXIMADO, SE FACTURA SOBRE EL METRAJE REAL, NO SE HACEN FACTURAS MENORES A \$3,000.00 EN MATERIAL DE FABRICACION ESPECIAL, NO HAY CANCELACIONES NI DEVOLUCIONES.				SUBTOTAL	\$ 6,998.23
				I.V.A	\$ 1,119.72
				<b>TOTAL USD</b>	<b>\$ 8,117.94</b>

CONDICIONES DE PAGO	CONTADO DEPOSITO BANCARIO	Atentamente,  <b>Catalina Sarabia García</b> catalina.sarabia@covalco.mx  <b>Lic. Roberto Rodas Carpizo</b> roberto.rodas@covalco.mx
TIEMPO DE ENTREGA	2 A 3 DIAS HABILES SALVO VENTA DESPUES DE CONFIRMAR DEPOSITO Y ORDEN DE COMPRA	
L.A.B.	NUESTRO ALMACEN UBICADO EN TULTITLAN EDO. DE MEX	
AGENCIA DE LA COTIZACION		

CUENTA MONEDA NACIONAL:	BBVA BANCOMER CUENTA M.N.: 0190506001	CLABE INTERBANCARIA: 01 21 80 00 19 05 06 00 10
CUENTA DÓLARES AMERICANOS:	BBVA BANCOMER CUENTA U.S.D.: 0190617350	CLABE INTERBANCARIA: 01 21 80 00 19 06 17 35 08

## Anexo A.5 Cotizacion de los transformadores.

25/5/2021

Gmail - COTIZACION TRANSFORMADORES



Luis Eduardo Simón Guadalupe <luiseduardosimonguadalupe@gmail.com>

### COTIZACION TRANSFORMADORES

1 mensaje

Laura Rico <laura@continentalelectric.com.mx>  
Para: luiseduardosimonguadalupe@gmail.com

29 de abril de 2021, 11:17

LR-M211/21

SIGU

ING. LUIS EDUARDO

P R E S E N T E

Buen Día atendiendo su amable solicitud, a continuación encontrara el precio y tiempo de entrega del transformador solicitado:

- 1.-Transformador tipo poste de 30 kVA 13200-220Y/127 V \$29,800.00 más iva
- 2.-Transformador tipo poste de 45 kVA 13200-220Y/127 V \$36,945.00 más iva
- 3.-Transformador tipo poste de 75 kVA 13200-220Y/127 V \$43,021.00 más iva
- 4.-Transformador tipo poste de 112.5 kVA 13200-220Y/127 V \$54,660.00 más iva

Conexión Delta-Estrella

Material de los devanados: Aluminio-Aluminio

Tiempo de Entrega: Inmediata

Condiciones Comerciales:

Fabricado bajo las normas NMX-J-116-ANCE-2017 y NOM 002-SEDE/ENER-2014, Tipo de Enfriamiento ONAN y diseñado para operar a 65°C de Elevación de Temperatura, sobre una temperatura promedio de 30°C y una temperatura máxima de 40°C a 2 300 m s.n.m. 60 Hz, con liquido aislante aceite mineral NO Inhibido Tipo I Libre de Bifenilos Policlorados, derivaciones  $\pm 2$  de 2.5% c/u de la tensión nominal, con tanque de Acero al Carbón, Accesorios, Impedancia %Z y Eficiencia % $\eta$  de acuerdo a la norma.

Sin más por el momento envío un cordial saludo

A T E N T A M E N T E

<https://mail.google.com/mail/u/2?ik=27a2e91a75&view=pt&search=all&permthid=thread-f%3A1698392262220032970&simpl=msg-f%3A16983922622...> 1/2

## REFERENCIAS

### Libros.

- Ogayar Fernández, B., 2019. *Energía Hidráulica Y Energía Mareomotriz*. 1st ed. España: Elearning.
- Sanz, J. (2008). *Energías Renovables* (1st ed.). Presas universidad de Zaragoza.

### Tesis.

- Cuacuas Mancilla, J., & López San Juan, E. (2019). *Propuesta de instalación de una pequeña central hidroeléctrica en el municipio Xicotepéc De Juárez, Puebla* (Licenciatura). Escuela Superior De Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Profesional Adolfo López Mateos Zacatenco.
- Criollo Cabrera, X., & Quezada Damián, Cristian. (2020). *Diseño de una mini central de energía hidroeléctrica en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de cuenca* (Ingeniero). Universidad politécnica salesiana Sede cuenca.
- Carmona González, G. (2015). *Construcción de planta generadora de energía en parque ecológico Chapultepec, en Cuernavaca Morelos* (Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma De México, Facultad De Ingeniería.
- Vivas Rodríguez, B. (2020). *Diseño de una micro central hidroeléctrica para la Hacienda Las Garzas* (Licenciatura). Universidad Técnica del Norte...
- González García, D. (2014). *Cálculo y selección de una micro central hidroeléctrica empleando como fluido de trabajo un sistema de riego* (Licenciatura). Escuela Superior De Ingeniería Mecánica Y Eléctrica Unidad Profesional Adolfo López Mateos Zacatenco.
- Arrollo Robledo, A. (2019). *Diseño y caracterización de una micro turbina hidráulica tipo Francis de 2 kW* (Ingeniería). Universidad Nacional Autónoma De México.

- Guayara, A. M. T. (2017). *Diseño de un pico central hidroeléctrica en la localidad de usme, Bogotá*. Universidad Católica De Colombia, Colombia, Bogotá.
- Medina, d. p. j. (2018). Estudio de alternativas de conexión para el ingreso de la micro central hidroeléctrica San José De Minas a la red de la empresa eléctrica quito. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
- Arias, C., & Bustamante, E. (2006). Diseño y construcción de un prototipo modular de un micro central hidroeléctrico estacionario con turbina tipo Pelton. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- Sauvage, B. F. (2008). *Diseño de una micro central en el lago Llanquihue*. Universidad De Chile, Santiago de Chile.

### **Paginas Web.**

- Castro, A. (2021). centrales hidroeléctricas. *Instituto Para La Diversificación Y Ahorro De La Energía*. Retrieved Sitio web [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_2.1.7\\_Minicentrales\\_hidroelectricas\\_125f6cd9.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_2.1.7_Minicentrales_hidroelectricas_125f6cd9.pdf)
- Valdez ingenieros S.A de C.V. (2006). Recuperado: 2 junio 2006, sitio web: <https://www.ier.unam.mx/~rbb/Lic/luissectormicrohidraulica.pdf>
- *Centrales Hidroeléctricas Aspectos Constructivos*. Ingenierosenapuros.files.wordpress.com. (2009). Retrieved 15 January 2010, de: <https://ingenierosenapuros.files.wordpress.com/2013/06/centrales-hidroelc3a9ctricas-041.pdf>.
- Estado de México - Isidro Fabela. (2021). Recuperado 6 February 2020, SitioWeb:<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15038a.html>
- Clima. (2021). Recuperado 15 de enero de 2021, de Clima Promedio website: <https://es.weatherspark.com/y/5964/Clima-promedio-en-Colonia-Isidro-Fabela-México-durante-todo-el-año>

- Servicio Meteorológico Nacional. (2021). Recuperado 25 Mayo 2021, sitio web: <https://smn.conagua.gob.mx/es/>
- DOF - Diario Oficial de la Federación. (2021). Recuperado febrero 2021, sitio web: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5611006&fecha=05%2F02%2F2021](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5611006&fecha=05%2F02%2F2021)
- Oportunidades de Negocio con Energías Renovables. (2021). Recuperado 25 febrero 2014, sitio web: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532014000200024](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532014000200024)
- Blog Omnibees. 2019. Clasificación de hoteles: cómo se define - Blog Omnibees. [en línea] disponible en: <https://omnibees.com/blog/es/2019/02/clasificacion-de-hoteles-como-se-define/> [fecha de acceso 11 Marzo del 2021].
- Precios Marginales Locales. (2021). Recuperado 1 abril 2021, página web: <https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/Reportes/PreciosEnergiaSisMEM.aspx>
- Salarios mínimos 2021. (2021). Obtenido: 14 May 2021, Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/602096/Tabla\\_de\\_salarios\\_m\\_nimos\\_vigente\\_a\\_partir\\_de\\_2021.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/602096/Tabla_de_salarios_m_nimos_vigente_a_partir_de_2021.pdf)
- Comunidades rurales alejadas de la red eléctrica logran acceso a electricidad en México. (2021). Retrieved 5 November 2017, from <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/11/01/switching-on-remote-communities-through-electricity-access-in-mexico>