

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

**DISEÑO DE UNA MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA LA
HACIENDA LAS GARZAS**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a
la obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

Autor:

Brayan Eduardo Vivas Rodríguez

Director:

PhD. Gerardo Isafas Collaguazo Galeano

Ibarra-Ecuador

Febrero 2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	040181134-4		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Vivas Rodríguez Brayan Eduardo		
DIRECCIÓN:	Av. 17 de Julio y Dr. Luis Madera		
EMAIL:	bevivasr@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062-251-142	TELÉFONO MÓVIL:	0968680075

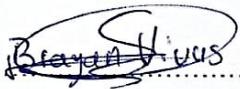
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO DE UNA MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA LA HACIENDA LAS GARZAS
AUTOR (ES):	Vivas Rodríguez Brayan Eduardo
FECHA: DD/MM/AAAA	10/02/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSTGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico
ASESOR/DIRECTOR	PhD. Gerardo Collaguazo

2. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 10 días del mes de febrero de 2020.

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Brayan Vivas



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS



**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Vivas Rodríguez Brayan Eduardo, con cédula de identidad No. 040181134-4, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagraos en la ley de propiedad intelectual del Ecuador, artículo 4, 5 y 6 en calidad de autor del trabajo de grado denominado: **“DISEÑO DE UNA MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA LA HACIENDA LAS GARZAS”**. Que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes mencionada, aclarando que el trabajo aquí descrito es de mi autoría y que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.


.....

Firma

Nombre: Brayan Eduardo Vivas Rodríguez

C.I. 040181134-4

Ibarra, febrero de 2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS



ACEPTACIÓN

PhD. Gerardo Collaguazo

CERTIFICA

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante: Vivas Rodríguez Brayan Eduardo certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: "**DISEÑO DE UNA MICRO CENTRAL PARA LA HACIENDA LAS GARZAS**" para la obtención de título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico; aprobando la defensa, impresión y empastado.

PhD. Gerardo Collaguazo

DIRECTOR DE TESIS

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a Dios por las bendiciones que me ha dado hasta el día de hoy y en tus manos confié mi mañana.

A mis padres, Maribel y Eduardo, quienes lucharon con esfuerzo por mi bienestar, mi educación y salud, me inculcaron valores de honestidad, respeto, trabajo para ser una persona de bien.

A mi novia Carolina, quien me brindo su tiempo, compañía y ánimo para culminar este trabajo de grado.

A mis familiares y amigos quienes me han dado consejos y palabras de superación en el transcurso de mis estudios.

Brayan Vivas

Agradecimientos

A la UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE por darme la oportunidad de formarme como profesional.

A todos los docentes que forman parte de la Carrera de Ingeniería en Electricidad, por compartir sus conocimientos, experiencia profesional y consejos para formarnos como profesionales de calidad.

A mi tutor PhD. Gerardo Collaguazo por guiarme en la realización de este trabajo de grado, brindando sus conocimientos, tiempo y paciencia.

Al Sr. Samuel quien me brindo su hospitalidad y facilito los estudios pertinentes con la toma de datos hidrológicos y topográficos en su hacienda “Las Garzas”.

Brayan Vivas

Tabla de Contenido

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
CONSTANCIA	iii
CESIÓN DE DERECHOS.....	iv
ACEPTACIÓN.....	v
Dedicatoria	vi
Agradecimientos	vii
Tabla de Contenido.....	viii
Índice de Figuras	xii
Índice de Tablas.....	xiv
Resumen.....	xv
Abstract	xvi
Introducción.....	xvii
A1. Contextualización.....	xvii
A2. Planteamiento del problema	xviii
A3. Formulación del problema	xix
A4. Justificación del trabajo.....	xix
A5. Alcance del trabajo	xx
A6. Viabilidad del trabajo.....	xx
A7. Objetivo general	xxi
A8. Objetivos específicos	xxi
CAPÍTULO 1	22
Marco teórico	22
1.1 Centrales hidroeléctricas.....	22
1.2 Clasificación de las centrales hidroeléctricas.	23
1.2.1 Centrales hidroeléctricas en función de su capacidad.	23
1.2.2 Centrales hidroeléctricas en función de su emplazamiento.	24
1.2.3 Centrales hidroeléctricas según la altura del salto.	27
1.3 Partes de las centrales hidroeléctricas.	29

1.4 Estimación de la demanda.....	32
1.5 Evaluación de recursos hidro energéticos.....	33
1.6 Equipo electromecánico de una central hidroeléctrica.....	39
1.6.1 Turbinas.....	39
1.6.2 Generador eléctrico.....	45
1.6.3 Protecciones eléctricas.....	48
CAPÍTULO 2.....	50
Desarrollo.....	50
2.1 Introducción.....	50
2.2 Tipos de Investigación.....	50
2.3 Métodos de investigación.....	50
2.4 Descripción del sitio de estudio.....	50
2.5 Flujograma para el diseño de la micro central hidroeléctrica.....	53
2.6 Estimación de la demanda.....	55
2.7 Parámetros de diseño.....	55
2.7.1 Estimación del caudal.....	55
2.7.2 Estimación del salto geodésico.....	58
2.8 Tuberías.....	64
2.8.1 Cálculo del diámetro interno de la tubería de conducción.....	65
2.8.2 Cálculo del diámetro interno de la tubería de presión.....	65
2.8.3 Cálculo de la velocidad de flujo en la tubería.....	66
2.8.4 Cálculo de la presión nominal de la tubería.....	66
2.8.5 Selección del material para la tubería.....	67
2.9 Cálculo de la potencia eléctrica.....	67
2.10 Selección del tipo de micro central.....	68
2.11 Obras civiles.....	69
2.11.1 Bocatoma de agua.....	71
2.11.2 Tubería de conducción.....	75
2.11.3 Tanque de carga.....	76

2.11.4 Tubería de presión.....	78
2.11.5 Casa de máquinas.....	78
CAPÍTULO 3.....	80
Análisis de resultados.....	80
3.1 Equipo electromecánico.....	80
3.2 Turbina hidráulica.....	81
3.2.1 Potencia de la turbina.....	82
3.2.2 Velocidad de giro de la turbina.....	83
3.2.3 Velocidad específica de la turbina.....	83
3.2.4 Control de velocidad de la turbina.....	84
3.2.5 Especificaciones para la turbina hidráulica.....	85
3.3 Generador eléctrico.....	86
3.3.1 Velocidad síncrona.....	86
3.3.2 Potencia de salida del generador.....	87
3.3.3 Cálculo de la corriente nominal del generador.....	88
3.3.4 Regulador de tensión.....	88
3.3.5 Sistema de excitación del generador.....	88
3.3.6 Especificaciones del generador.....	90
3.4 Equipos de medición.....	90
3.5 Equipos de protección.....	90
3.6 Distribución de la energía eléctrica.....	93
3.6.1 Cálculo de la caída de tensión en el conductor.....	94
3.7 Análisis económico.....	94
3.7.1 Indicador VAN.....	96
3.7.2 Indicador TIR.....	97
3.7.3 Relación costo-beneficio.....	98
Conclusiones.....	100
Recomendaciones.....	101
Referencias.....	102

Anexos107

Índice de Figuras

Fig. 1. Central hidroeléctrica de embalse.....	25
Fig. 2. Central hidroeléctrica de agua fluyente.....	25
Fig. 3. Central en propio canal de riego, aprovechando un desnivel.	26
Fig. 4. Central paralela a canal de riego.	26
Fig. 5. Central de red de suministro de agua potable.....	27
Fig. 6. Central por altura de salto: Pequeña.	27
Fig. 7. Central por altura de salto: Mediana.	28
Fig. 8. Central por altura de salto: Gran altura.....	28
Fig. 9. Central hidroeléctrica (embalse- presa).....	29
Fig. 10. Componentes de una micro central.	30
Fig. 11. Obras de conducción.....	30
Fig. 12. Método del nivel con manguera.	34
Fig. 13. Método del nivel de carpintero.	35
Fig. 14. Medida del caudal utilizando el método del recipiente.	36
Fig. 15. Vector velocidad en cada una de las áreas.	37
Fig. 16. Cálculo del área de una sección transversal.	37
Fig. 17. Método de la solución de sal.....	38
Fig. 18. Vertedero de medida.	38
Fig. 19. Turbina Pelton de un inyector.	40
Fig. 20. Turbina Turgo.	40
Fig. 21. Turbina Michell-Banki.	41
Fig. 22. Instalación de una turbina Francis de gran potencia.	42
Fig. 23. Turbina Kaplan.	43
Fig. 24. Aplicación de los diferentes tipos de turbinas según altura y caudal.....	43
Fig. 25. Selección de turbinas.	44
Fig. 26. Generador de inducción conectado a la red.....	46
Fig. 27. Voltaje, corriente y frecuencia, del generador de inducción al conectarse una carga.	47
Fig. 28. Conexiones para carga monofásica.....	47
Fig. 29. Diagrama de protecciones eléctricas.	49
Fig. 30. Ubicación del sitio satelitalmente.	51
Fig. 31. Temperatura del aire en estación INGUINCHO.	52
Fig. 32. Precipitaciones de lluvia INGUINCHO.	52
Fig. 33. Flujograma para el diseño de una micro central hidroeléctrica.....	54
Fig. 34. Presa para la contención parcial del caudal.	56

Fig. 35. Tubo de PVC en la presa.	57
Fig. 36. Recipiente y cronómetro para medición de caudal.....	57
Fig. 37. Coordenadas geográficas del sitio de estudio.	59
Fig. 38. Aplicaciones móviles para medir altitud.	60
Fig. 39. Flexómetro.	60
Fig. 40. Curvas de nivel y relieve del sitio de estudio.	61
Fig. 41. Disposición de obras civiles mediante curvas de nivel.....	70
Fig. 42. Bocatoma de agua.	72
Fig. 43. Azud o muro de la bocatoma.	73
Fig. 44. Vertedero de agua.	73
Fig. 45. Características de la rejilla de la bocatoma.	74
Fig. 46. Dimensiones de la compuerta manual.....	74
Fig. 47. Perfil del recorrido de la tubería de conducción.	75
Fig. 48. Especificaciones del catálogo de tuberías.....	75
Fig. 49. Rollo de tubería.	76
Fig. 50. Tanque de carga (vista de planta).	76
Fig. 51. Tanque de carga (corte vertical).	77
Fig. 52. Dimensiones del tanque de carga.....	77
Fig. 53. Especificaciones de la tubería de presión.	78
Fig. 54. Casa de máquinas vista de planta.	79
Fig. 55. Corte vertical de la casa de máquinas.	79
Fig. 56. Caudal (l/s) vs Caída neta(m).	81
Fig. 57. Sistema de control de velocidad por control de carga.....	85
Fig. 58. Sistema de excitación del generador síncrono.....	89
Fig. 59. Elementos del sistema de excitación.....	89
Fig. 60. Diagrama de protecciones para la micro central hidroeléctrica.	91
Fig. 61. Diagrama unifilar de la red de distribución.....	93

Índice de Tablas

TABLA 1.1 Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su capacidad.....	24
TABLA 1.2 Lecturas en cámara de carga y casa de máquinas.....	35
TABLA 1.3 Partes fijas y móviles de las turbinas de acción y reacción.....	44
TABLA 2.1 Coordenadas geográficas del sitio de estudio.....	51
TABLA 2.2 Demanda actual de la hacienda "Las Garzas".....	55
TABLA 2.3 Instrumentos usados para la medición del caudal.....	56
TABLA 2.4 Medición hidrológica.....	58
TABLA 2.5 Instrumentos utilizados para la topografía del lugar.....	59
TABLA 2.6 Mediciones de altura del tanque de carga y casa de máquinas.....	62
TABLA 2.7 Resultados de la Ecuación 2.....	63
TABLA 2.8 Comparación de los distintos materiales para tuberías.....	67
TABLA 2.9 Factores para el dimensionamiento.....	71
TABLA 2.10 Dimensiones estimadas para la bocatoma de agua.....	72
TABLA 2.11 Datos para la cámara de carga.....	77
TABLA 3.1 Parámetros para estimar la potencia de la turbina.....	88
TABLA 3.2 Valores de velocidad específica para distintos tipos de turbina.....	84
TABLA 3.3 Especificaciones para la turbina.....	85
TABLA 3.4 Velocidades síncronas de acuerdo con el número de polos del generador.....	87
TABLA 3.5 Especificaciones del generador para la M.C.H.....	88
TABLA 3.6 Nomenclatura de protecciones eléctricas de la Figura 54.....	92
TABLA 3.7 Cálculos para la red de distribución.....	93
TABLA 3.8 Materiales necesarios para implementar la micro central hidroeléctrica.....	94
TABLA 3.9 Ingresos por la generación eléctrica.....	95
TABLA 3.10 VAN y TIR.....	97
TABLA 3.11 Índice de rentabilidad.....	98

Resumen

Con el presente trabajo se detallan los parámetros para diseñar una micro central hidroeléctrica la cual si se implementa tendrá la capacidad de generar energía eléctrica renovable para así cubrir una demanda energética de una hacienda que se encuentra en una zona rural que no posee suministro eléctrico por redes de distribución.

El trabajo de grado está compuesto por tres capítulos, en el primero se desarrolló el marco teórico en el cual se recolecta información, definiciones, topologías, clasificaciones, métodos para medir caudal, salto geodésico y finalmente las estructuras civiles conforman las centrales hidroeléctricas con el equipo electromecánico encargado de transformar la energía.

En el segundo capítulo se da a conocer los parámetros necesarios para diseñar una micro central hidroeléctrica para la hacienda “Las Garzas” perteneciente al cantón Otavalo, la cual no cuenta con suministro de energía eléctrica, debido a estar ubicada en una zona rural. Pero presenta recursos naturales que pueden ser aprovechados como el caudal y diferencia de alturas. Las mediciones se realizaron de forma directa, se analizó la demanda energética y se formularon cálculos para obtener distintos datos correspondientes a la generación de electricidad y pérdidas sea por carga, eficiencia o transformación de la energía. Además, se realizaron esquemas de configuración de las obras civiles pertenecientes a la microcentral hidroeléctrica.

En el tercer capítulo se muestra la selección de los equipos de la microcentral hidroeléctrica como tuberías, turbina y generador, además de los diagramas correspondientes a la distribución de energía, cálculo de caídas de tensión, equipos de medida y protecciones eléctricas. Por otra parte, se realizó un análisis de los costos que conllevaría la implementación, donde además se analizó el apartado económico con indicadores como el VAN, TIR e índice de rentabilidad, los cuales fueron favorables para el proyecto generando ingresos y cubriendo su inversión.

Palabras clave: micro central, hidroeléctrica, demanda, energía, turbina, generador.

Abstract

This paper details the parameters for designing a micro hydroelectric power plant which, if implemented, will have the capacity to generate renewable electric energy to cover an energy demand of a farm located in a rural area that does not have electricity supply through networks of distribution.

The degree work is composed of three chapters, in the first one the theoretical framework was developed in which information is collected, definitions, topologies, classifications, methods to measure flow, geodesic jump and finally civil structures make up the hydroelectric plants with the electromechanical equipment in charge of transforming the energy.

In the second chapter, the parameters needed to design a micro-hydroelectric power station for the "Las Garzas" farm, ubicada in Otavalo canton, which has no electricity supply due, the location is in a rural are. But it presents natural resources that can be used as the flow and difference of heights. Measurements were carried out directly, energy demand was analyzed, and calculations were made to obtain different data for electricity generation and losses either by load, efficiency or energy transformation. In addition, schematics were made for the configuration of the civil works belonging to the hydroelectric microcentral.

The third chapter shows the selection of hydroelectric microcentral equipment such as piping, turbine and generator, in addition to the diagrams corresponding to energy distribution, calculation of voltage falls, measuring equipment and electrical protections. On the other hand, an analysis was made of the costs involved in the implementation, where the economic aspect was analyzed with indicators such as the VAN, TIR and IR, which were favorable for the project generating income and covering its investment.

Keywords: micro-plant, hydroelectric, demand, energy, turbine, generator.

Introducción

A1. Contextualización

El aumento de la demanda energética mundial como consecuencia del crecimiento económico global implica necesariamente un incremento en la capacidad generadora de los Estados. (Sanz Osorio, 2016). La energía eléctrica, a partir de su aplicación comercial, fue utilizada para los sistemas de alumbrado público, posteriormente, se convirtió en la fuerza motriz que necesitaba la industria, también se constituyó como una herramienta necesaria para el confort de los hogares. (Collazos Pino, Sánchez Barón, & Ortiz Flores, 2015).

Canadá, China, Brasil, Estados Unidos y Rusia fueron los responsables de casi el 50% de toda la producción mundial de energía hidroeléctrica, y China el país con la mayor producción por PCH con un 11% (13.25 GW) del total de su producción, seguido muy por debajo por Estados Unidos con un 4% (3,42 GW) (Bigordá, 2018). En Suramérica, se destaca Brasil con un 0,2% (0.483GW), en Centro América, Costa Rica con 4,2% (21.3MW) y en la Unión Europea, Italia. Dentro de las proyecciones encontradas Brasil tiene un crecimiento planeado en pequeñas centrales de 40 MW, Costa Rica 24MW y Perú 10 MW. (Sierra Vargas & Sierra Alarcón, 2014).

La generación eléctrica inicia una vez tenemos el agua con una cierta presión y un cierto caudal, para obtener electricidad hay que hacerla pasar por una turbina. La turbina no es más que un elemento que gira con la fuerza del agua. Este giro de la turbina se aprovecha en un generador eléctrico que produce electricidad. (Jarauta Rovira, 2015).

América Latina y el Caribe tiene una cobertura eléctrica de un 96.7%. Pese a este alto porcentaje de electrificación comparativamente con otras regiones, aún existen 20.5 millones de personas que no tienen acceso a la electricidad (valor preliminar para las estadísticas 2017, el valor 2016 correspondía a 21.8 millones), de ese valor estimamos que más del 60% habita en zonas rurales aisladas. (Blanco, 2018).

En Ecuador las diferentes fuentes de energía son: hidráulicas (energía potencial del agua), térmicas (calor generado por combustibles fósiles), solares (sol), eólicas (viento) y de aprovechamiento de la biomasa (residuos orgánicos). Ecuador cuenta con más de 5.000 MW de capacidad instalada: 56% térmica, 42% hidráulica, 0.5% solar y 0.4% eólica. Ecuador ha venido desarrollando proyectos de generación hidráulica, solar y eólica en los últimos años. (ECUATRAN, 2018).

Por otra parte, la Organización Latinoamericana de Energía ha determinado que la demanda de energía hidroeléctrica en la región es claramente creciente. Para los países andinos entre los que está el Ecuador, la demanda varía entre el 3.1 % hasta el 4.0 % de la demanda energética para los escenarios analizados de baja y alta integración. (OLADE, 2016).

La hidro generación de energía en el Ecuador constituye una alternativa a la solución del problema del suministro de energía principalmente en regiones aisladas, además que refuerzan técnicamente al sistema eléctrico del país. Es por esto por lo que con la implementación de este tipo de proyectos se produce un aporte técnico – económico que beneficia a las zonas de influencia y contribuyen a cubrir la demanda de energía eléctrica, además de aportar técnicamente al Sistema Nacional Interconectado. (MEER, 2018).

A2. Planteamiento del problema

En la actualidad la cobertura total del suministro eléctrico en la provincia de Imbabura, es del 98.21% según el departamento de desarrollo y planificación de EMELNORTE, empresa encargada de la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica en la zona norte del país, por lo cual el porcentaje restante corresponde al 1,79 %, que básicamente comprende a muchos sectores rurales o apartados de las principales urbes no tengan acceso al suministro eléctrico y estén prácticamente estancados en el desarrollo sin ser beneficiarios de un servicio básico, no obstante la demanda anual del potencial aumenta rápidamente debido al crecimiento constante de la población y a la expansión industrial.

Existen zonas demasiadas alejadas como lo es el sector Natividad del cantón Otavalo que, por distintas razones, ya sea por las condiciones topológicas del lugar, la situación económica o debido a la baja densidad poblacional dificultan que las distribuidoras locales de energía realicen obras de interconexión de redes de distribución para este tipo de sectores.

Los estudios de pequeñas centrales hidroeléctricas en el país carecen de diseños técnicos competentes en relación con la importancia de los proyectos, procediendo a su instalación con simples criterios, sin las bases esenciales de ingeniería para la ejecución de obras de tal magnitud, provocando que pequeñas centrales sean ineficientes en su funcionamiento por lo cual el potencial energético y los recursos, no son aprovechados por completo.

A3. Formulación del problema

¿Cómo cubrir la necesidad del suministro de servicio eléctrico a zonas aisladas provistas de fuentes hídricas con caídas naturales?

A4. Justificación del trabajo

La disponibilidad de la energía ha sido siempre esencial para la humanidad que cada vez demanda más recursos energéticos para cubrir sus necesidades de consumo y bienestar. Las energías renovables convencionales que provienen de fuentes inagotables como las corrientes de agua, no emiten gases de efecto invernadero, por ello es fundamental realizar un diseño eléctrico de una micro central hidroeléctrica.

El proyecto de diseño de una micro central hidroeléctrica pretende solucionar un problema persistente en los sectores rurales alejados de las urbes que carecen de servicio eléctrico y con ello conseguir un crecimiento con equidad de la población, incorporando al sector rural al proceso de desarrollo del país, a través de dotar a la población de energía eléctrica; herramienta que permite mejorar la calidad de vida y promueve el desarrollo de actividades productivas.

Sin embargo, esta no debe estar basada en la extensión de redes, debe ser una generación eléctrica caracterizada por ser local, sostenible y asequible. Esta forma de suministrar energía eléctrica se obtiene con micro centrales hidroeléctricas, solución que además de disponer del servicio de energía eléctrica en una forma constante, tiene un impacto ambiental positivo dado que obliga a preservar la cuenca hidrográfica.

Por ello se ha visto en la necesidad de diseñar una micro central hidroeléctrica para la hacienda Las Garzas la que se encuentra vía Selva Alegre, en el sector Natividad, del cantón Otavalo la cual logre satisfacer las necesidades eléctricas de un domicilio particular y cuente con la energía necesaria para alimentar cercas eléctricas. En varios sectores del país se han implementado varios de estos sistemas los cuales cuentan con los componentes básico para convertir la energía hidráulica potencial en energía eléctrica.

Dada la importancia que se requiere al decidir la construcción de una micro central hidroeléctrica, se necesita de un apoyo escrito, que permita realizar el dimensionamiento de una Pequeña Central Hidroeléctrica con criterio técnico y económico.

A5. Alcance del trabajo

Con la presente investigación se desea diseñar un micro central hidroeléctrica en la cual se determinará la selección del tipo de micro central, su estructura correspondiente, sistema de transmisión de potencia, selección del generador, selección de turbina, para su implementación, la cual se diseñará de acuerdo con la cantidad de caudal presente en la cuenca.

Se realizará el análisis de los cálculos correspondientes para dimensionar la cantidad de potencial energético que la micro central será capaz de entregar para el suministro eléctrico, de acuerdo con su estructura y el flujo de caudal.

Por otra parte, se desarrollará un análisis de factibilidad técnica y económica para la implementación del correspondiente diseño del proyecto, además de comparar los costos de la micro central hidroeléctrica con un proyecto de extensión de redes de distribución hasta el sector Natividad-Otavalo.

A6. Viabilidad del trabajo

En la hacienda “Las Garzas” existe la presencia de una cuenca hidrográfica, la cual tiene el beneficio de ser aprovechada para convertirse en energía eléctrica, la disponibilidad de recursos hídricos en el Ecuador es abundante. La mayoría de los ríos que fluyen tanto hacia la vertiente del Pacífico como a la del Amazonas, nacen en la cordillera de los Andes y sus caudales son variables en función de las condiciones climáticas y geográficas a lo largo de su recorrido.

Paralelamente la topografía característica de la zona interandina ofrece desniveles aprovechables para la generación hidroeléctrica. Estas dos condiciones hacen que la posibilidad de aprovechamiento del recurso hídrico en generación de energía limpia sea la alternativa óptima para el país, en la necesidad de satisfacer el requerimiento de energía eléctrica.

En la Constitución de la República del Ecuador menciona en el artículo 15 que corresponde al Estado promover, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto, así como que la soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

A7. Objetivo general

Diseñar una micro central hidroeléctrica mediante la determinación de parámetros técnicos para que suministre energía eléctrica a la hacienda “Las Garzas”

A8. Objetivos específicos

- Establecer las bases teóricas de los factores que intervienen en el diseño de una micro central hidroeléctrica.
- Determinar los parámetros necesarios para diseñar una micro central hidroeléctrica.
- Realizar los diseños eléctricos de la micro central hidroeléctrica.

CAPÍTULO 1

Marco teórico

1.1 Centrales hidroeléctricas.

Una central hidroeléctrica, es una planta en la que se utiliza la energía hidráulica para la generación de energía eléctrica. Estas centrales aprovechan la energía potencial gravitatoria que posee la masa de agua de un caudal natural en dependencia de un desnivel de altura, se hace pasar el caudal captado por una turbina hidráulica que transmite energía mecánica de rotación a un generador eléctrico donde se convertirá en energía eléctrica. Se localizan habitualmente en zonas cercanas a fuentes hídricas como las corrientes de agua, o a los grandes centros urbanos y zonas industriales. (Zandanel A. , 2016).

Se diferencian las centrales hidroeléctricas unas de otras de acuerdo con la potencia instalada y con la energía potencial primaria que origina la transformación en energía eléctrica. Para obtener electricidad se utilizan generadores que son accionados por turbinas hidráulicas; el conjunto recibe el nombre de grupo generador. (Zandanel A. , 2016).

Una central hidroeléctrica (CH) estará formada por todos los elementos que intervienen en la conducción, las obras van desde la captación del agua hasta su devolución al cauce por el canal de descarga, en este proceso intervienen equipos mecánicos y eléctricos que son los encargados de la transformación energética, hasta el punto de entregar la energía eléctrica a la compañía local que realice la distribución de energía.. (Sanz Osorio, 2016).

Según el estado del agua, una central hidroeléctrica puede ser de agua fluyente, sirviéndose para su cometido de la fuerza natural de un río para generar energía eléctrica, o de embalse, las cuales precisan de tuberías de alta presión para conseguir la energía hidráulica del agua en reposo que se encuentra en depósitos o tanques de carga que realizan la función de presa. Estas últimas son más costosas que las primeras, pero a la vez más útiles pues se puede obtener energía de ellas durante todo el año, por lo que es el modelo de central hidroeléctrica más utilizado para generar grandes potencias de energía. (Ingeoexpert, 2018).

El sistema de captación de aguas o bocatoma de una central hidroeléctrica está construido con el fin de crear un desnivel que origina una energía potencial acumulada. Esa agua se deja caer para conseguir energía mediante la diferencia de la gravedad. Cuando el agua pasa por la turbina, genera un movimiento rotatorio que hace accionar un alternador (generador) y transforma la energía mecánica en eléctrica. (Renovablesverdes, 2018).

Las características de las centrales hidroeléctricas son proporcionales a los componentes que la conforman. Empezando por la presa, que se encarga de retener el agua en el embalse, en ese embalse se sitúan los rebosaderos o vertederos que permiten liberar el agua sobrante sin que pase por la turbina. (Redondo, 2018).

Otro elemento que poseen las centrales hidroeléctricas son las rejillas o mallas presentes en bocatomas y tanques de carga, para evitar que impurezas, piedras u otros elementos provoquen grandes daños a tuberías, turbinas y válvulas que controlan el paso del agua. (Redondo, 2018).

1.2 Clasificación de las centrales hidroeléctricas.

Existe una diversa información acerca de cómo se clasifican las centrales hidroeléctricas, por lo cual se tomará la información más relevante, la cual indicará objetivamente las características de cada central hidroeléctrica.

La clasificación de las centrales se realizará a partir de tres aspectos diferentes:

- Centrales en función de su capacidad.
- Centrales en función de su emplazamiento.
- Clasificación según la altura del salto.

1.2.1 Centrales hidroeléctricas en función de su capacidad.

No existe un valor específico o rango de clasificación de acuerdo con la potencia generada, a la cual se rijan todos los países u organismos del sector, por lo que difieren unos de otros de acuerdo con las normas eléctricas de cada país. Según la Unidad de Planeación Minero Energética (2015), de Colombia con sustento de información de la organización latinoamericana de energía (OLADE), las hidroeléctricas por su capacidad se clasifican de la siguiente manera:

Pico central.

Capacidad instalada entre 0,5 y 5 kW, operación a filo de agua, aplicable a zonas no interconectadas o casos aislados de zonas interconectadas.

Micro central.

Capacidad instalada entre 5 y 50 kW, operación a filo de agua, aplicable a zonas no interconectadas o casos aislados de zonas interconectadas.

Minicentral.

Capacidad instalada entre 50 y 500 kW, operación a filo de agua, aplicable a zonas no interconectadas o casos aislados de zonas interconectadas.

Pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH).

Capacidad instalada entre 500 y 20.000 kW, operan a filo de agua con caudales medios, son aplicables a zonas no interconectadas y zonas interconectadas (sin posibilidad de participar en el despacho eléctrico, menores a 500 kW, y con posibilidad de hacerlo las mayores a 10.000 kW). (Unidad de Planeación Minero Energética, 2015).

Centrales hidroeléctricas (CH).

La capacidad instalada es mayor de 20 MW, se encuentran cercanas a centros poblados, el caudal con el que operan es de gran cantidad, forman parte de los sistemas nacionales interconectados de cada país, participan en el despacho eléctrico. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2015).

Para facilitar la comprensión acerca de la clasificación de las centrales hidroeléctricas, de acuerdo con su capacidad, se realizó un resumen en la Tabla 1.1.

TABLA 1.1 Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su capacidad.

Tipo de Hidroeléctrica de acuerdo a la potencia instalada.	Capacidad instalada en kW
Pico central	Entre 0,5 y 5 kW.
Micro central	Entre 5 y 50 kW.
Minicentral	Entre 50 y 500 kW.
Pequeñas centrales Hidroeléctricas	Entre 500 y 20.000 kW.
Centrales hidroeléctricas	Mayor a 20 MW.

Fuente: (Unidad de Planeación Minero Energética, 2015).

1.2.2 Centrales hidroeléctricas en función de su emplazamiento.

Las centrales hidroeléctricas presentan una gran diversidad en todos los aspectos y en función de su emplazamiento las centrales hidroeléctricas se pueden dividir en cuatro grupos:

- Centrales de embalse.
- Centrales de agua fluyente.
- Centrales en canales de riego.
- Centrales en tuberías de abastecimiento de agua potable.

Centrales de embalse.

Se ubican bajo los embalses de agua, disponen de extensas cantidades de agua, lo que admite una regulación y control del caudal, estas centrales operan de acuerdo a la

necesidad de potencia que se requiera generar, en general presentan un salto geodésico variable y turbinan grandes cantidades de agua; en las micro centrales el almacenamiento suele ser pequeño de varios metros cúbicos, por lo que se suele generar energía durante varias horas del día y durante la noche se llena el depósito, se puede observar en la Figura 1 una central con embalse de gran magnitud. (Díaz, 2015).



Fig. 1. Central hidroeléctrica de embalse.
Fuente: (Megaconstrucciones, 2015).

Centrales de agua fluyente.

Estas centrales como se observa en la Figura 2, toman una parte del caudal de un cauce fluvial, lo dirigen hacia la central y, tras provocar el giro de una turbina hidráulica, reingresa a su cauce natural. El proceso de derivación inicia mediante la construcción de un muro de derivación, desde el cual el agua se bifurca y pasa por un canal hasta una cámara de carga. Una vez en la cámara de carga, el agua pasa por un conducto a presión hasta llegar posteriormente a la turbina, la cual se encuentra acoplada a un generador eléctrico. Finalmente, el agua es devuelta al río. (Díaz, 2015).



Fig. 2. Central hidroeléctrica de agua fluyente.
Fuente: (Ecovive, 2018).

Centrales en canales de riego.

Según Gonzáles, Pérez, Santos, & Fernández (2013), Es posible tener dos tipos de alternativas:

- Instalar la central en el propio canal de riego, aprovechando un desnivel que presente el mismo. En este caso es necesario instalar un baipás para permitir suministrar agua para riego cuando la turbina se detiene. (Figura 3).

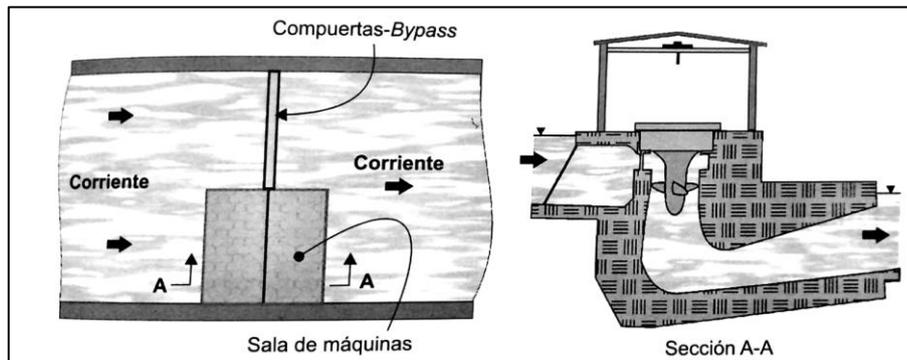


Fig. 3. Central en propio canal de riego, aprovechando un desnivel.
Fuente: (Carta Gonzáles & Pérez, 2013).

- La central se instala paralela al canal y se construye una toma lateral del canal para alimentar a una tubería instalada a lo largo del canal (Figura 4). El agua, una vez es turbinada vuelve a ingresar al canal principal.

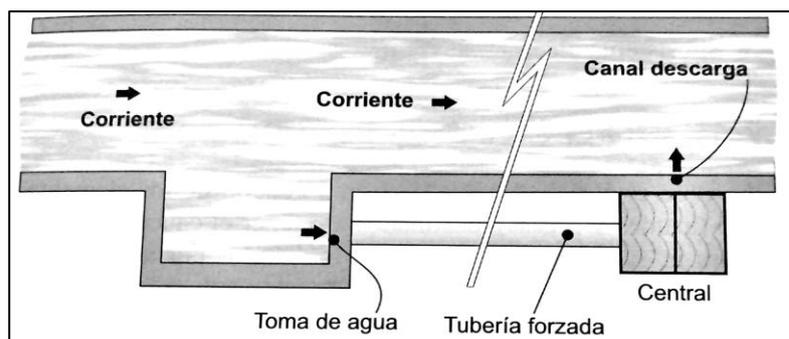


Fig. 4. Central paralela a canal de riego.
Fuente: (Carta Gonzáles & Pérez, 2013).

Centrales en tuberías de suministro de agua potable.

Consisten en tomar el agua a la salida de las tuberías de las estaciones de tratamiento de agua potable, para que pase por una turbina, con el propósito de convertir la energía hidrostática que contiene el agua en energía eléctrica, posteriormente el caudal turbinado es captado por las tuberías que suministran de agua potable a la población. (Figura 5). (Carta Gonzáles & Pérez, 2013).

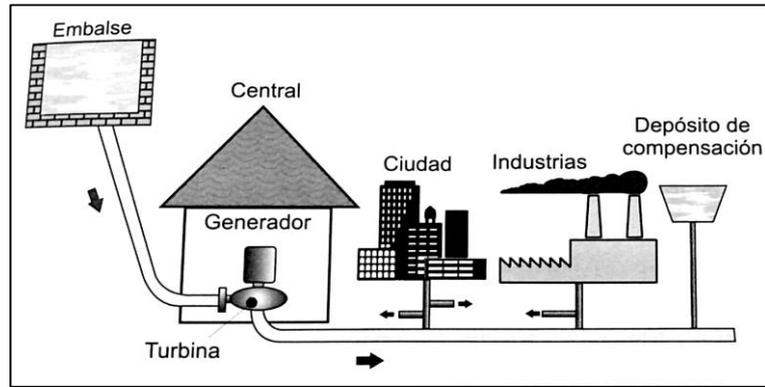


Fig. 5. Central de red de suministro de agua potable.
Fuente: (Carta Gonzáles & Pérez, 2013)

1.2.3 Centrales hidroeléctricas según la altura del salto.

La altura puesta a disposición de la turbina (salto neto H_n) determina el tipo de componentes de la central. Se clasifican en centrales de pequeña, mediana y gran altura, introduciendo frecuentemente un rango intermedio para el que las características de las centrales toman rasgos de uno y otro tipo de planta. (Creus, 2014).

Centrales de pequeña altura.

Propio de localizaciones con suelos llanos o suavemente ondulados, la altura aprovechable es menor a 15 metros, suelen tener gran caudal, y no es necesario un embalse. Turbinas Kaplan, hélice o Francis axial. En la Figura 6 se muestra una central con un salto neto de pequeña altura. (Creus, 2014).

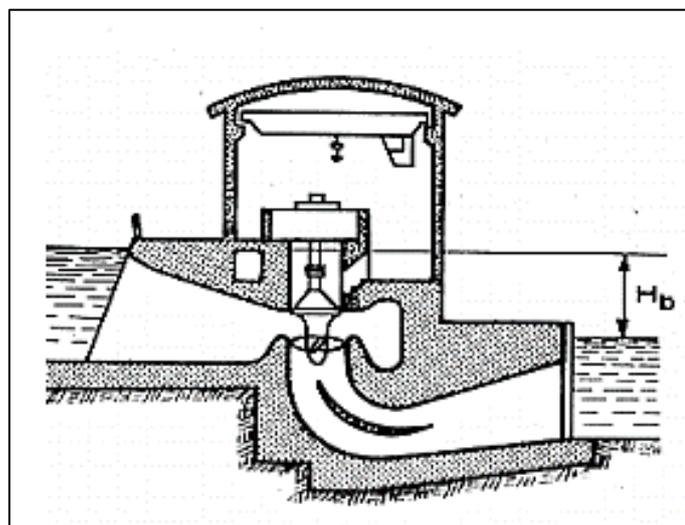


Fig. 6. Central por altura de salto: Pequeña.
Fuente: (Creus, 2014)

Centrales de mediana altura.

Propio de topografías o relieves con grados de inclinación que van desde los 15 m hasta los 50 m, caudal y alturas intermedias, con pequeños depósitos o reservorios. Turbinas Kaplan, hélice, Francis diagonal, Deriaz. (Creus, 2014).

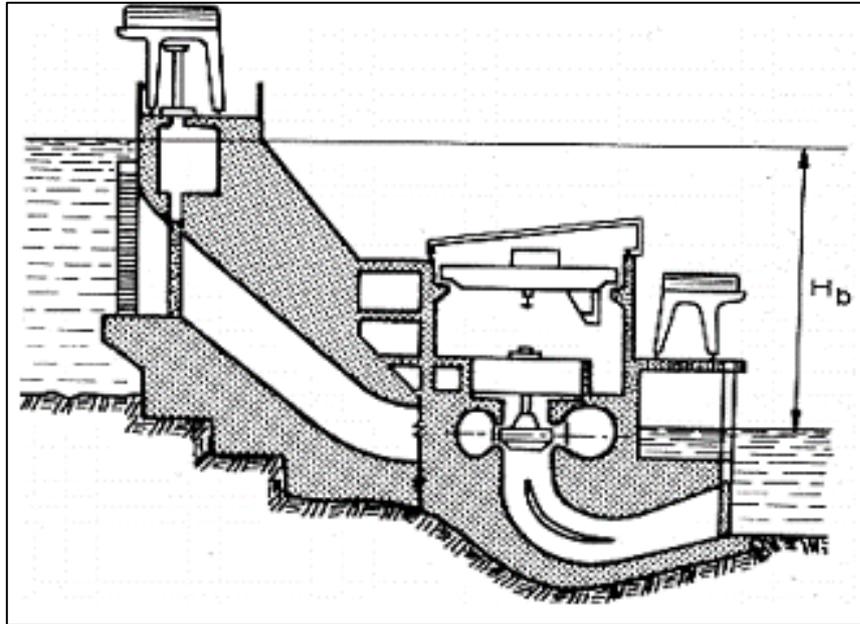


Fig. 7. Central por altura de salto: Mediana.
Fuente: (Creus, 2014)

Centrales de gran altura.

Propio de emplazamientos montañosos, con altura neta mayor a 50 metros, los caudales son reducidos, y es necesario construir grandes presas con embalses. Los canales de derivación (túneles) y tuberías forzadas son gran longitud (varios kilómetros usualmente). Turbinas Francis radial, Pelton. (Creus, 2014).

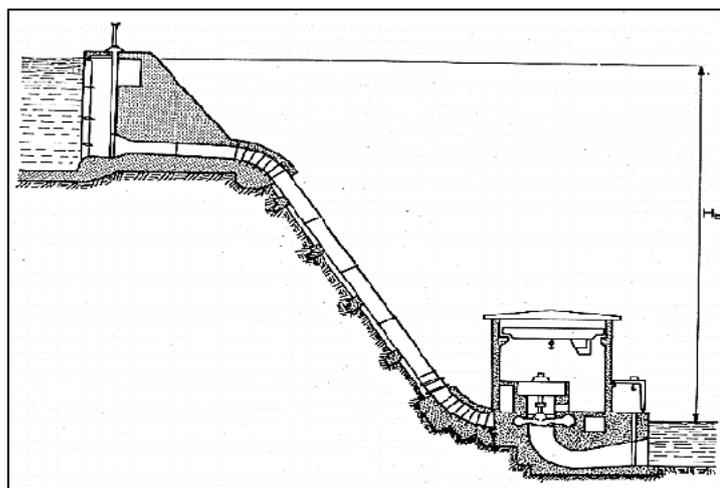


Fig. 8. Central por altura de salto: Gran altura.
Fuente: (Creus, 2014).

1.3 Partes de las centrales hidroeléctricas.

Algunas de las características más relevantes de los elementos que componen una central hidroeléctrica son:

1.4.1 Presa.

Es una construcción artificial en forma de barrera que se construye en algunos ríos para embalsarlos y contener su caudal. Los motivos principales para construir presas son aglomerar el agua del río en un sitio determinado, lo que permite generar electricidad, regular el agua y dirigirla hacia canales o sistemas de abastecimiento, esta obra aumenta la depresión de los ríos para hacerlos navegables, permite controlar el caudal de agua durante los periodos de inundaciones y sequía. (Creus, 2014).

En la Figura 9 se muestra una central con la construcción de una presa.

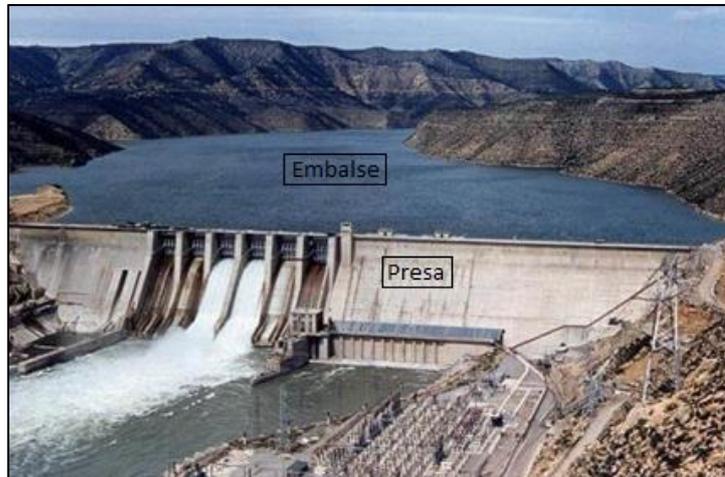


Fig. 9. Central hidroeléctrica (embalse- presa).
Fuente: (Curiosfera, 2018).

1.4.2 Embalse.

Depósito que se forma en forma de estancamiento del agua lo cual es provocado por la presa. En ocasiones puede contar con un separador de arenas para la sedimentación y evita que el agua se torne turbia. (Creus, 2014).

En la Figura 9 se muestra la formación de un embalse por medio de una presa.

1.4.3 Bocatoma.

Es la obra civil para pequeñas centrales mediante la cual se capta el caudal sea de forma directa o mediante una bifurcación, con esta construcción se puede obtener el caudal de diseño, su construcción es sólida, por lo que debe soportar las crecidas del río. (Collazos Pino, Sánchez Barón, & Ortiz Flores, 2015). La bocatoma de una micro central hidroeléctrica puede observarse en la Figura 10.



Fig. 10. Componentes de una micro central.
Fuente: (Enertec Spa, 2016),

1.4.4 Obras de conducción.

Son las encargadas de conducir el caudal por medio de tuberías o canales, las obras civiles que se acoplan a las obras de conducción habitualmente son la bocatoma de agua, el tanque de carga y la casa de máquinas, el agua que es conducida es turbinada y luego regresa a su cauce natural. (Collazos Pino, Sánchez Barón, & Ortiz Flores, 2015).

En la Figura 11 se muestran, las obras de conducción de una micro central hidroeléctrica.

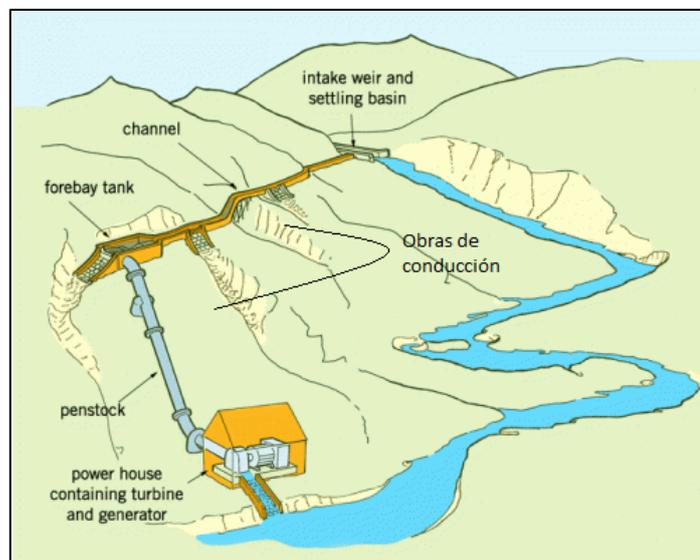


Fig. 11. Obras de conducción.
Fuente: (Todoproduktividad, 2011).

1.4.5 Desarenador.

Es necesario que las partículas en suspensión como palos, hojas u otras impurezas que lleva el agua sean decantadas, por ello al final de la obra de conducción se construye un tanque de mayores dimensiones que el canal, para que las partículas pierdan velocidad y sean decantadas, en la Figura 10 se muestra un desarenador. (Collazos Pino, Sánchez Barón, & Ortiz Flores, 2015).

1.4.6 Tanque de carga.

En esta obra la velocidad del agua es prácticamente cero, se acopla con las obras de conducción, canal de conducción y tubería de presión, sus dimensiones deben garantizar que no ingresen burbujas de aire en la tubería de presión, permitir el fácil arranque del grupo turbina - generador y permite amortiguar el golpe de ariete, en la Figura 10 se muestra un tanque de carga de una micro central hidroeléctrica. (Collazos Pino, Sánchez Barón, & Ortiz Flores, 2015).

1.4.7 Aliviadero.

Esta obra también es conocida como vertedero, es la encargada de verter el caudal de exceso que se presentan en la bocatoma y en el tanque de carga, el caudal vertido regresa al cauce del aprovechamiento, en la Figura 10 se puede observar cómo es un aliviadero. (Collazos Pino, Sánchez Barón, & Ortiz Flores, 2015).

1.4.8 Tubería de presión.

A través de ella se conduce el caudal desde el tanque de carga hasta la turbina, esta tubería está apoyada en anclajes que le ayudan a soportar la presión generada por el agua y la dilatación que le ocurre por variación de temperatura, en la Figura 11 se muestra la tubería de presión denominada pen stock. (Collazos Pino, Sánchez Barón, & Ortiz Flores, 2015).

1.4.9 Casa de máquinas.

La casa de máquinas es una obra civil en la que se encuentra el grupo generador (turbina-generador), encargado de transformar la energía potencial en mecánica y está en eléctrica para atender la demanda, además existirán otros elementos como tableros que cuentan con protecciones, reguladores de tensión y de velocidad, en la Figura 11 se muestra la casa de máquinas. (Collazos Pino, Sánchez Barón, & Ortiz Flores, 2015).

1.4.10 Sección de desagüe.

La sección de desagüe o canal es una tubería o una obra de conducción que conecta la sala de máquinas con el río para devolver el agua que fue turbinada y usada para la

generación eléctrica a su cauce natural aguas abajo, en la Figura 10 se muestra la sección de desagüe. (Prieto, 2016).

1.4 Estimación de la demanda.

El estudio de la demanda es un aspecto importante para el diseño de una micro o mini central hidroeléctrica. Sus resultados deben aportar el consumo real de la población a la que se desea alimentar de energía, para ello se toma en cuenta todos los equipos eléctricos que representen una carga, por ejemplo: lavadora, ducha eléctrica, cocina eléctrica, refrigeradora, lámparas, motores y otras cargas que demanden energía. (Soluciones Prácticas, 2010).

El suministro de energía eléctrica tiene el propósito mejorar las condiciones de vida de los beneficiarios al brindar energía eléctrica para el uso doméstico o industrial para una zona durante todo el año. Por esta razón, es necesario que se tenga una idea del estado energético del lugar en donde se realice el estudio de la micro central hidroeléctrica, además de otros factores como la situación económica, productividad y perspectivas de crecimiento a nivel eléctrico. (Soluciones Prácticas, 2010).

Demanda actual.

Ortiz (2011), sugiere que, con el fin de identificar la demanda actual de la comunidad o centro poblado al que se planea suministrar energía, se debe conocer información que refleje el consumo energético para obtener datos precisos para realizar el dimensionamiento de los equipos de la micro central para ello se toma en cuenta lo siguiente:

- Población
- Tasa de crecimiento
- Número de viviendas o usuarios
- Capacidad instalada en negocios, talleres, servicios, industria

En pequeños sistemas aislados rurales, la estimación de la demanda actual se realiza generalmente en base a la potencia, es decir a la demanda máxima de potencia. A continuación, se presentan dos métodos basados en la potencia y un método que incluye un análisis mayor en términos de consumo de energía. (Soluciones Prácticas, 2010).

Demanda doméstica.

Estimando una potencia de entre 250 y 400 W/vivienda. Se toma en cuenta su ubicación geográfica, tamaño promedio de las viviendas, número y tipo de focos a utilizar, equipos electrodomésticos y otros. (Villanueva, 2010).

Demanda institucional.

Se estima una potencia en base a las instituciones existentes (escuelas, centros de salud, municipio, local comunal, iglesia). (Villanueva, 2010).

Demanda industrial.

Se basa en las industrias y su posible tecnificación con el apoyo de la energía eléctrica. En pequeños centros poblados, esta demanda es mínima o nula debido a que la energía es usada para iluminación y electrodomésticos, sin embargo, de acuerdo con las características del centro poblado, su ubicación y producción se puede estimar una demanda de potencia. (Villanueva, 2010).

Alumbrado público.

Esta carga se compone por el número de luminarias que se quiere instalar para este servicio y la potencia que demandan. (Villanueva, 2010).

Demanda futura.

Es el pronóstico del crecimiento de la población y cómo influye en la demanda potencial de un periodo de tiempo determinado por el diseñador del sistema (micro o minicentral hidroeléctrica). El crecimiento de la demanda debe calcularse de forma cuidadosa, ya que se realiza en base a estimados de natalidad, mortalidad, migración, perspectivas de desarrollo y otros. (Soluciones Prácticas, 2010).

Un método sencillo para la estimación de la demanda futura es la aplicación de fórmulas estadísticas que incluyen como variables la demanda actual, tasa de crecimiento y el número de años de proyección. El método considera un crecimiento uniforme a lo largo del periodo considerado. También se tiene presente la curva de carga, que representa el comportamiento de la demanda del sistema y está sujeta normalmente a fluctuaciones periódicas y cambios tendenciales. (Soluciones Prácticas, 2010).

En sectores aislados de las urbes generalmente las potencias se mantienen por varios años sin tener un incremento considerable, todo esto se debe al ritmo de vida que ellos llevan, por lo que se puede esperar una curva de carga típica durante todo el proyecto. (Soluciones Prácticas, 2010).

1.5 Evaluación de recursos hidro energéticos.

La capacidad de generación de energía mediante el empleo de agua está determinada por la altura o caída (energía potencial) que se pueda obtener y del caudal disponible. La

altura depende a la topografía del terreno y el caudal de las características del río o arroyo que se va a utilizar. (Soluciones Prácticas, 2010).

A continuación, se describen métodos prácticos para la evaluación de la altura y del caudal. La utilización de cualquiera de estos dependerá de los materiales y equipos que se pueda llevar o encontrar en el lugar de evaluación, nivel de estudio (perfil, prefactibilidad, factibilidad), así como el tamaño del proyecto (pico, micro o minicentral hidráulica). (Soluciones Prácticas, 2010).

1.5.1 Medición de la altura o salto geodésico.

Los mapas con curvas de nivel sirven para hacer una primera estimación del salto disponible y pueden utilizarse para estudios de prefactibilidad de micro centrales hidráulicas (MCH). (Soluciones Prácticas, 2010).

La caída neta del aprovechamiento la podemos determinar con métodos sencillos hasta llegar al uso de equipo de topografía; algunos de estos métodos son:

Método del nivel con manguera.

Es un método sencillo, los elementos que se requiere son una manguera y unas escalas, además del personal no necesariamente calificado; la forma de su aplicación se muestra en la Figura 12. (Ortiz, 2011).

La altura H_x se determina como la diferencia entre las dos indicaciones de las escalas, en los puntos del nivel de agua en la manguera; la altura total del aprovechamiento es la suma de éstas, desde la casa de máquinas hasta el tanque de carga. (Ortiz, 2011).

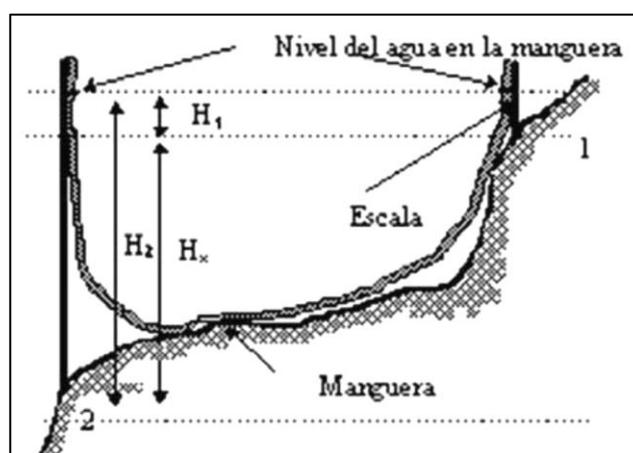


Fig. 12. Método del nivel con manguera.
Fuente: (Ortiz, 2011).

Método del nivel de carpintero.

Emplea el mismo principio del método de la manguera, con la diferencia que se usa un nivel de carpintero, al método se le debe anexar para su implementación una regla para sostener el nivel o un hilo de nylon, su aplicación se indica en la Figura 13. (Ortiz, 2011).

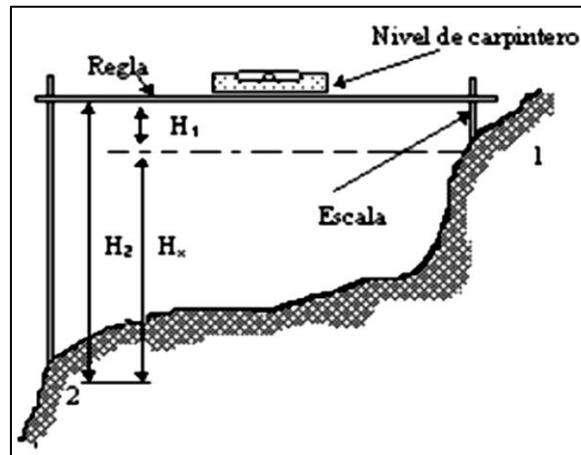


Fig. 13. Método del nivel de carpintero.
Fuente: (Ortiz, 2011).

La altura se determina de igual forma como se ha descrito en el procedimiento anterior, al igual que las curvas de nivel. (Ortiz, 2011).

Método del altímetro.

El altímetro es un instrumento de medición fácil de usar, mide la presión atmosférica, directamente relacionada con la altura sobre el nivel del mar, aunque varía ligeramente debido al clima, temperatura y humedad relativa. Como estas variaciones pueden ser muy significativas para la evaluación del salto, a fin de obtener resultados aceptables es necesario tomar varias lecturas durante el día y luego estimar un valor final. En la Tabla 1.2 se muestra un ejemplo de mediciones utilizando un altímetro. (Soluciones Prácticas, 2010).

TABLA 1.2 Lecturas en cámara de carga y casa de máquinas.

Hora	8	10	12	14	16	18
Cámara de carga	3220	3235	3200	3240	3210	3225
Casa de máquinas	3170	3180	3150	3180	3150	3160

Fuente: Adaptado de (Soluciones Prácticas, 2010).

Método del nivel de ingeniero.

El nivel de ingeniero tiene una precisión de ± 1 mm; pero es caro y pesado y requiere operadores diestros. Por lo general los errores se producen en las largas series de cálculos

que hay que efectuar; con él las distancias pueden ser medidas simultáneamente, pero no es apropiado para lugares escarpados o con muchos árboles. (Soluciones Prácticas, 2010).

Método del barómetro.

La presión atmosférica varía en forma inversamente proporcional a la altura sobre el nivel del mar; así, en función de la presión en un determinado lugar se puede concluir su altura; por lo tanto, si se conoce la diferencia de presión entre dos puntos, se puede determinar la diferencia de nivel existente. (Ortiz, 2011).

1.5.2 Medición del caudal.

Para conocer la evolución de los caudales medios diarios en la zona de río donde se desea instalar la central hidroeléctrica se puede recurrir a la información registrada en las estaciones de aforo que estén instaladas en la zona de interés. (Soluciones Prácticas, 2010)

Realizar una medición de caudal, ofrece una mejor visión del comportamiento del recurso hídrico; si no existe información disponible, se pueden aplicar algunos métodos para su obtención. (Ortiz, 2011).

Método del recipiente.

Consiste en llenar un recipiente de volumen conocido (Figura 14) registrándole el tiempo de llenado, la relación entre estos dos nos indica el caudal. Para tener una medición más exacta se debe tomar varias medidas en diferentes épocas del año y tomar su promedio. En la Figura 14 se puede observar la medida del caudal con un recipiente. (Ortiz, 2011).

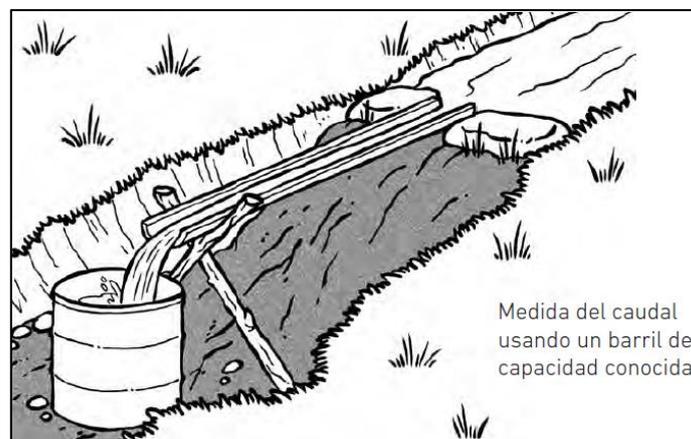


Fig. 14. Medida del caudal utilizando el método del recipiente.
Fuente: (Soluciones Prácticas, 2010)

Medición de caudal con correntómetro.

Es un método de medida, el cual requiere de un equipo especial, consistente en una hélice que sumergida y enfrentada contra el vector velocidad del caudal gira

proporcionalmente a éste, el número de r.p.m. indica la velocidad, como se muestra en la Figura 15.

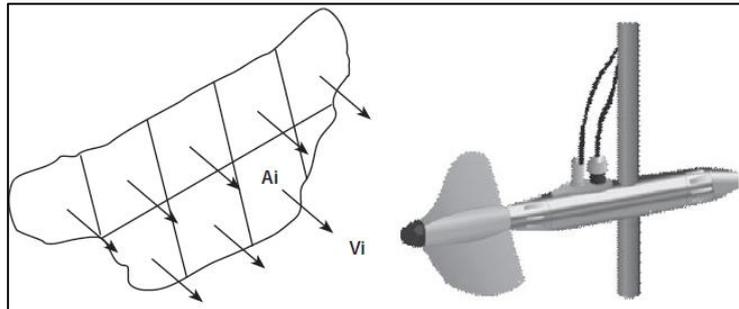


Fig. 15. Vector velocidad en cada una de las áreas.
Fuente: (Ortiz, 2011).

Como se observa la velocidad del caudal es diferente en toda su sección, es recomendable medir en diferentes puntos, con el fin de obtener una medida promedio, que identifique su velocidad. Para determinar el valor del caudal se divide la sección transversal del cauce en varias secciones pequeñas y en su centro se medirá la velocidad con el correntómetro. (Ortiz, 2011).

Para calcular el área A de la sección transversal, puede discretizarse la misma en n trapecios como muestra la Figura 16.

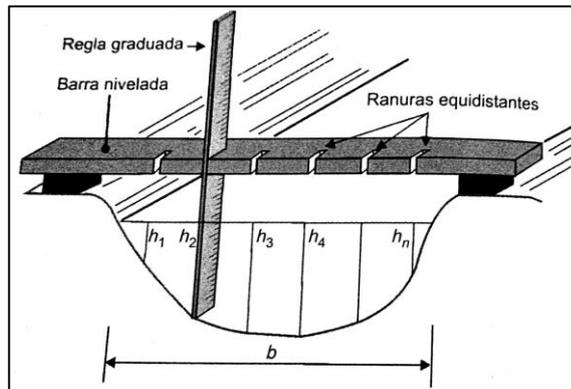


Fig. 16. Cálculo del área de una sección transversal.
Fuente: (Carta Gonzáles & Pérez, 2013).

Mediante el empleo de reglas graduadas se miden las alturas o lados de los trapecios. Una vez conocida la velocidad media en una serie de secciones verticales en que se puede dividir el cauce, es posible estimar la velocidad media global como la suma de los productos del área de cada una de esas superficies por el valor medido de sus correspondientes velocidades, dividida por la superficie total A de la sección. (Carta Gonzáles & Pérez, 2013).

Método de la solución de sal.

Este método es bastante preciso. Las mediciones bien efectuadas darán errores menores a 5 % y permiten hacer estimaciones de potencia y cálculos posteriores. Este

método se basa en el cambio de la conductividad del agua, al cambiar el grado de concentración de sal. De este modo, si disolvemos una masa (M) de sal en un balde y vertemos la mezcla en una corriente de agua, dándole el tiempo necesario para diluirse, provocaremos un incremento de la conductividad que puede ser medido, mediante un equipo llamado conductímetro. En la Figura 17 se muestra un ejemplo de cómo se realiza la medición por el método de la solución de sal. (Soluciones Prácticas, 2010).

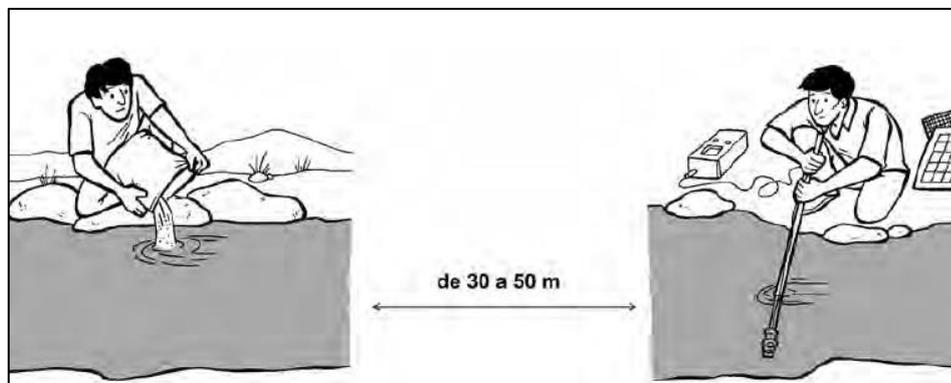


Fig. 17. Método de la solución de sal.
Fuente: (Soluciones Prácticas, 2010).

Medición de caudal con vertedero.

El uso de este método permite una lectura continua del caudal en una escala, por tal motivo es más usado en el seguimiento de caudales. Los vertederos radican en una pequeña presa que puede ser de madera, la cual tiene una ventana por la cual circula el caudal, su magnitud se obtiene por medio de la altura de su cresta, como se indica en la Figura 18. (Soluciones Prácticas, 2010).

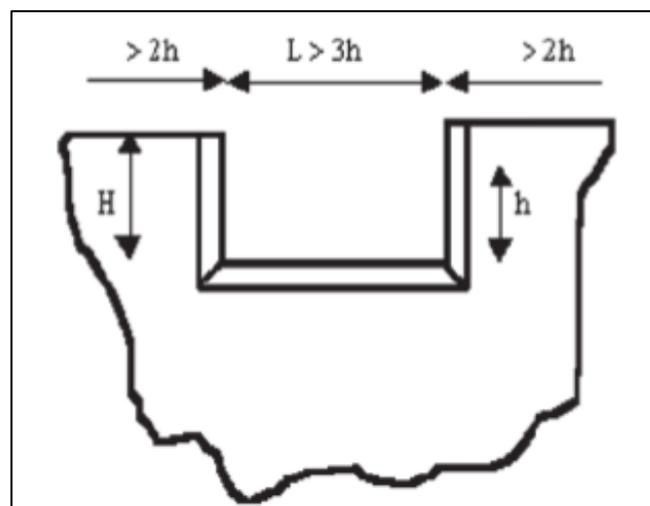


Fig. 18. Vertedero de medida.
Fuente: (Soluciones Prácticas, 2010).

1.6 Equipo electromecánico de una central hidroeléctrica.

1.6.1 Turbinas.

Las turbinas tienen como principio y fundamento a las ruedas hidráulicas, las cuales giran con una velocidad constante accionadas por la energía potencial de una inclinación de una corriente de agua y que transmiten la energía mecánica alcanzada a un eje de giro para su aprovechamiento por un equipo consumidor. La rueda hidráulica de las turbinas se denomina rodete, el cual se conecta mediante un eje transmisor al rotor, que es el elemento rotativo del equipo consumidor habitual, es decir, del generador. (Cuesta & Vallarino, 2015).

Clasificación de las turbinas.

Las turbinas utilizan un rango muy amplio de desniveles y caudales, a partir de unos pocos metros, hasta más de 1500m y desde unas decenas de litros por segundo en las pequeñas centrales de montaña hasta más de 600 m³/s en cada una de las turbinas de los aprovechamientos de los grandes ríos de llanura. (Cuesta & Vallarino, 2015).

Las turbinas pueden clasificarse de formas muy diversas atendiendo a las características y a su manera de funcionamiento. La clasificación más importante es la que, en atención a su funcionamiento, las divide en turbinas de acción y en turbinas de reacción: (Domínguez, 2013).

Turbinas de acción.

Son turbinas en las que toda la energía potencial del flujo de agua se transforma en energía cinética en una tobera. Cada tobera produce un chorro a gran presión, cuyo caudal se regula mediante una válvula de aguja. Se utilizan en grandes saltos de agua entre 40 y 1200 m. (Creus, 2014).

Las turbinas de acción se emplean desde épocas antiguas en forma de ruedas hidráulicas; en la actualidad se usa solamente la turbina Pelton para grandes aprovechamientos, aunque para centrales pequeñas también se emplean otros tipos de turbinas de acción como las Turgo o las Michell-Banki. (Cuesta & Vallarino, 2015).

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. (Creus, 2014). 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

de giro, el rendimiento alcanzado con estas turbinas suele ser mayor al 90% para cargas mayores. En la Figura 19 se muestra una turbina Pelton. (Cuesta & Vallarino, 2015).



Fig. 19. Turbina Pelton de un inyector.
Fuente: (Balluf, 2018).

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° . 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 20 se muestra el inyector y el rodete con los álabes de la turbina Turgo. (Ortiz Flórez, 2011).

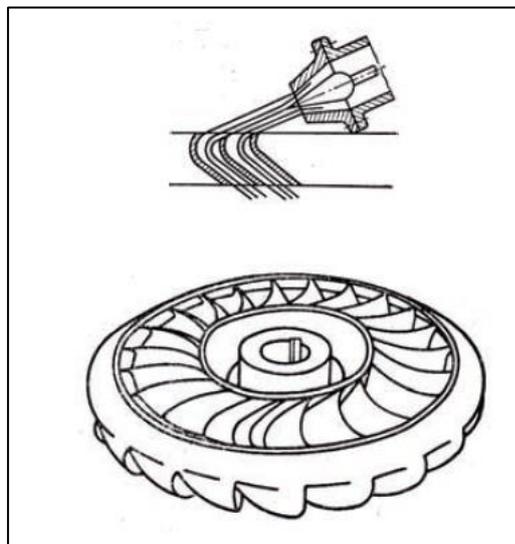


Fig. 20. Turbina Turgo.
Fuente: (Ortiz Flórez, 2011).

La ventaja que ofrece en comparación con la Pelton es que el rodete, puede operar con un mayor caudal, el rodete es más pequeño. Adicionalmente posee las siguientes características: igual eficiencia a cargas parciales, escaso riesgo de cavitación, fácil acceso a sus partes y buena tolerancia a la erosión; sin embargo, debido al chorro inclinado posee un empuje axial, razón por la que se le usa en pequeñas centrales. (Ortiz Flórez, 2011).

Turbina Michell-Banki

Es una turbina de acción de flujo transversal, de doble acción y de admisión parcial. Los elementos esenciales que forman la turbina son el distribuidor y el rodete. El distribuidor consta de una paleta directriz que sirve para regular el caudal. El rodete tiene una forma cilíndrica que se compone por un par de discos, entre los cuales se fijan periféricamente los álabes con curvaturas. La forma cilíndrica del rodete compromete a que el eje sea del tipo horizontal, lo cual ayuda a ajustarse a distintos caudales aumentando o reduciendo la longitud del rodete. En la Figura 21 se muestra una turbina Michell Banki. (Ortiz Flórez, 2011).

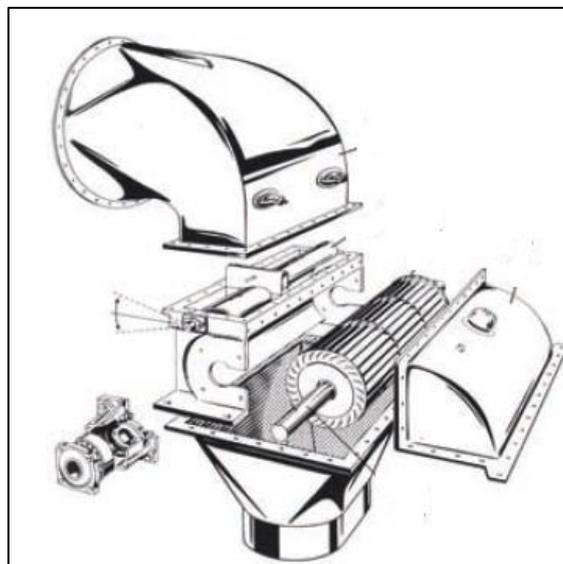


Fig. 21. Turbina Michell-Banki.
Fuente: (Ortiz Flórez, 2011).

Turbinas de reacción.

Son semejantes a la hélice de un barco y aprovechan la energía cinética del agua en movimiento. Las amplias palas o álabes de la turbina son impulsadas por agua de alta presión liberada por una compuerta, son aptas para caudales variables de agua. (Creus, 2014).

Turbina Francis.

La turbina Francis pertenece a las turbinas de reacción, es la turbina más comúnmente utilizada en las actuales centrales hidroeléctricas, A diferencia de la turbina de acción, en la

cual el rodete opera en el aire, en la turbina de reacción el rodete debe estar completamente sumergido para funcionar eficazmente, es decir es de admisión total. (Carta Gonzáles & Pérez, 2013).

La turbina Francis (Figura 22) se adecua muy bien para diferentes saltos y caudales, ostenta un rango de operación formidable, la caída de presión tiene iniciación antes de entrar al rodete de la turbina, y parte en el mismo rodete, el flujo llena totalmente el canal inter álabes del rodete; poseen a menudo una corona de álabes directrices(distribuidor) orientables como órgano regulador de caudal y a la salida de la turbina se coloca un tubo de desagüe para recuperar parte de la energía cinética y de altura que aún posee el agua a la salida del rodete. (Prieto, 2016).



Fig. 22. Instalación de una turbina Francis de gran potencia.
Fuente: (Prieto, 2016).

Turbina Kaplan.

Es un perfeccionamiento de la turbina tipo hélice, se muestra en la Figura 23 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 continua 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. (Prieto, 2016).



Fig. 23. Turbina Kaplan.
Fuente: (Prieto, 2016).

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 22 para apreciar la aplicación de las turbinas en relación con la altura y el caudal.

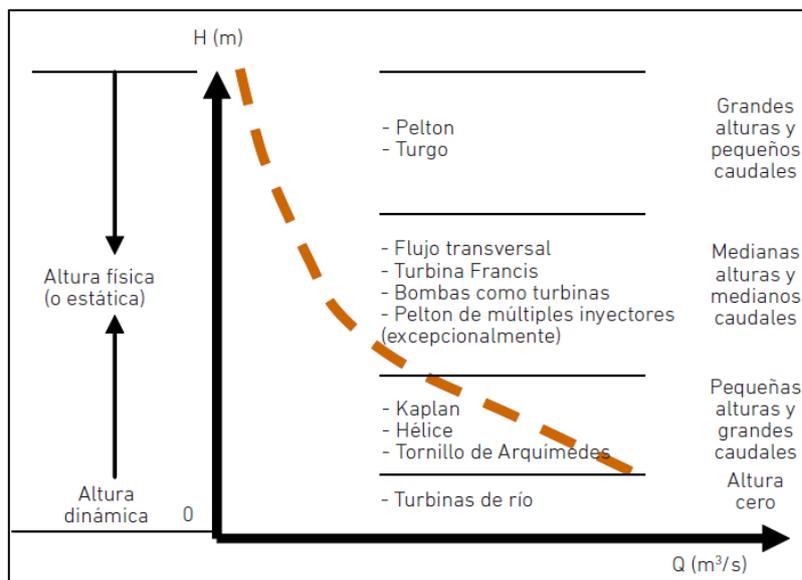


Fig. 24. Aplicación de los diferentes tipos de turbinas según altura y caudal.
Fuente: (Soluciones Prácticas, 2010).

Las turbinas tienen unas partes fijas que se encargan del encauzamiento del flujo en una forma hidráulicamente eficiente y otras móviles que realizan la transformación de la energía hidráulica en mecánica y del control y regulación de caudal de agua utilizado. Las

principales partes fijas y móviles de las turbinas de acción y reacción se muestran en la Tabla 1.3. (Soluciones Prácticas, 2010).

TABLA 1.3 Partes fijas y móviles de las turbinas de acción y reacción.

Partes	Turbinas de acción	Turbinas de reacción
Fijas	Conducto distribuidor	Cámara espiral y ante distribuidor
	Foso de la turbina	Tubo de aspiración
	Carcasa	Tapa de la turbina
Móviles	Inyectores	Distribuidor
	Rodete	Rodete
	Deflector	Eje
	Eje	

Fuente: Autor.

1.7.1.1 Dimensionamiento y selección de las turbinas.

Selección mediante gráficos de altura y caudal.

El diagrama de la Figura 25 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.

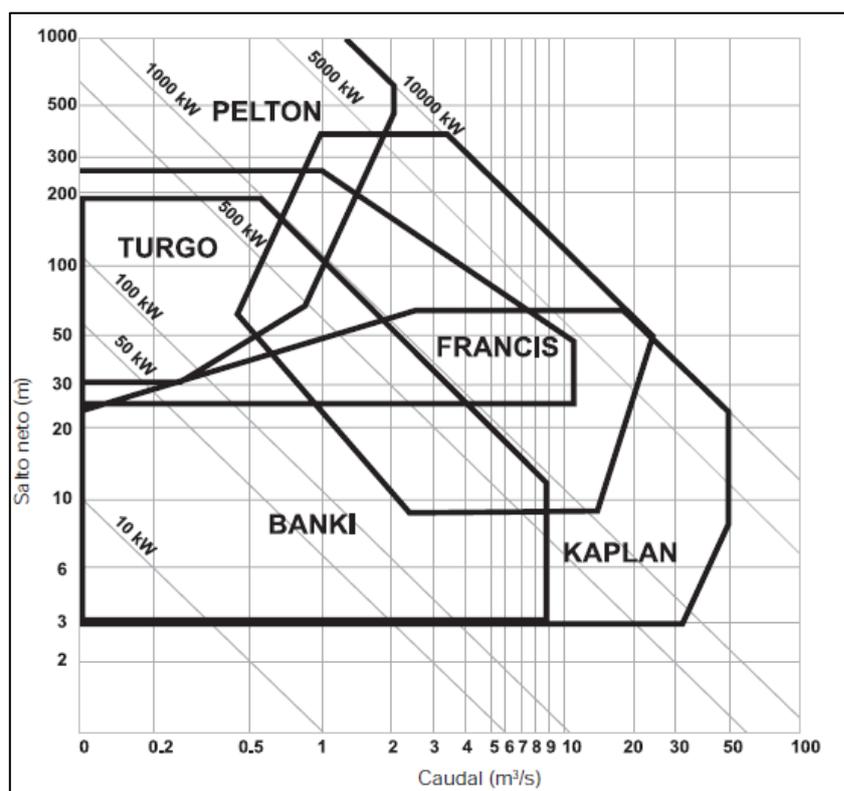


Fig. 25. Selección de turbinas.
Fuente: (Soluciones Prácticas, 2010).

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. (Soluciones Prácticas, 2010).

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. (Soluciones Prácticas, 2010).

1.6.2 Generador eléctrico.

El generador es una máquina capaz de generar energía eléctrica de corriente alterna, mediante la transformación de energía mecánica. La mayor parte de generadores en centrales hidroeléctricas son del tipo síncrono, en pequeñas centrales se suele usar el generador de inducción o asíncrono.

Consiste en una masa giratoria, en cuya periferia se disponen unos electroimanes que giran en el interior de un cilindro hueco, compuesto por chapas magnéticas de acero de silicio. Tanto el rotor como el estator tienen devanados contruidos con cobre electrolítico; los devanados del rotor situados en los polos se conectan a través de anillos y escobillas a una fuente externa de corriente continua. El flujo magnético creado por la corriente de excitación pasa a través del entrehierro y al girar el rotor induce en el devanado del estator una fuerza electromotriz que al aplicarla a un circuito exterior hace fluir una corriente eléctrica. (Cuesta & Vallarino, 2015).

Existen dos tipos de generadores eléctricos que son utilizados en pequeñas centrales hidroeléctricas:

- Generadores síncronos.
- Generadores asíncronos o de inducción.

La principal diferencia entre los dos tipos de generadores es el tipo de excitación, mientras el generador síncrono lo realiza de manera autónoma, el generador de inducción requiere de una red externa o banco de condensadores que lo suministre.

Los principales componentes de un generador son:

- Estator.
- Rotor.
- Sistema de excitación.

- Regulador de voltaje.

Generador de inducción.

La máquina asincrónica es robusta y su costo es menor en comparación con la síncrona, es usada en infinidad de procesos industriales, además tiene la característica de ser una máquina reversible, lo cual permite que funcione como generador de potencia activa en el momento en que es conectada a una fuente de reactivos capacitivos y adherida mecánicamente a un primo-motor, que hace que su rotor sobrepase la velocidad síncrona. (Ortiz, 2011).

En generación no necesita de un componente de sincronización, tiene capacidad de sobre velocidad y protección contra cortocircuitos; sin embargo, su principal desventaja es que no puede regular la potencia reactiva por sí mismo, por lo tanto, necesita que sea suministrada externamente; bien sea conectándole un banco regulado de condensadores en sus terminales o acoplándola directamente a la red. (Ortiz, 2011).

En la Figura 26 se muestra una máquina de inducción funcionando como generador.

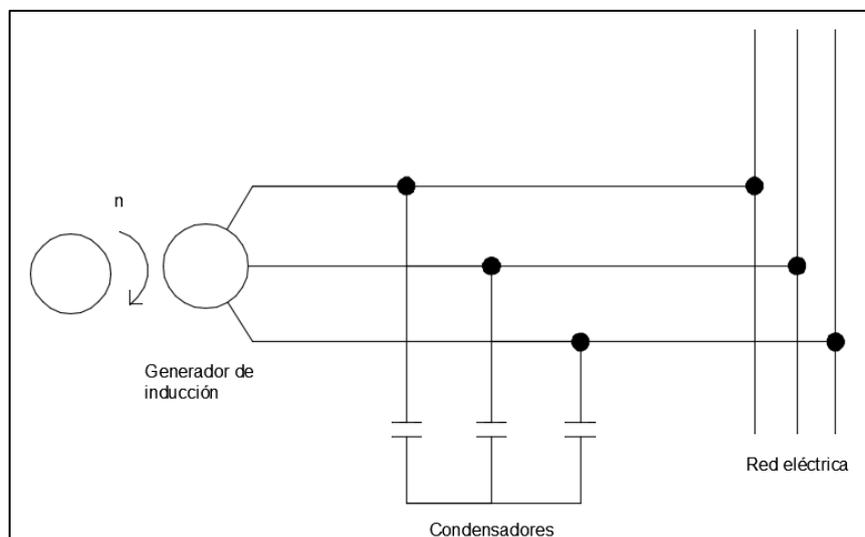


Fig. 26. Generador de inducción conectado a la red.
Fuente: (Barrado Rodrigo, 2013).

Comportamiento en carga

Cuando se conecta una carga a un sistema aislado, se reduce el valor de la tensión y la frecuencia que proporcionaba el generador en un inicio, este efecto es mayor si la carga es considerable y si no se tiene un sistema de regulación de velocidad de giro del rotor. En la Figura 27 se muestra el comportamiento de un generador de inducción al conectar una carga. (Barrado Rodrigo, 2013).

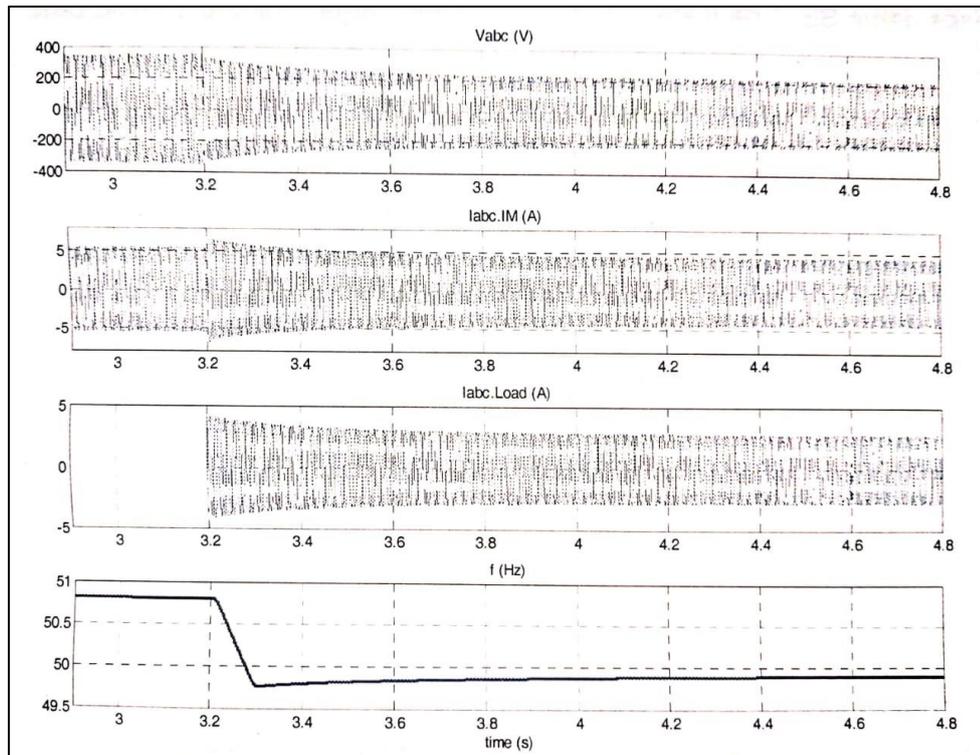


Fig. 27. Voltaje, corriente y frecuencia, del generador de inducción al conectarse una carga.
Fuente: (Barrado Rodrigo, 2013).

El valor de la frecuencia y tensión que suministra un generador de inducción depende de la capacidad de los condensadores, de la velocidad de giro del rotor y de la carga que se conecta. En el caso de que se alimente únicamente a un sistema de carga monofásica se debe cambiar las conexiones de los condensadores de auto excitado. Este cambio es debido a que se quiere conseguir una máquina más eficiente y con corrientes equilibradas que circulan por los devanados del estator. En la Figura 28 se muestran propuestas de las conexiones, en caso de que la carga sea monofásica y según los devanados del estator. (Barrado Rodrigo, 2013).

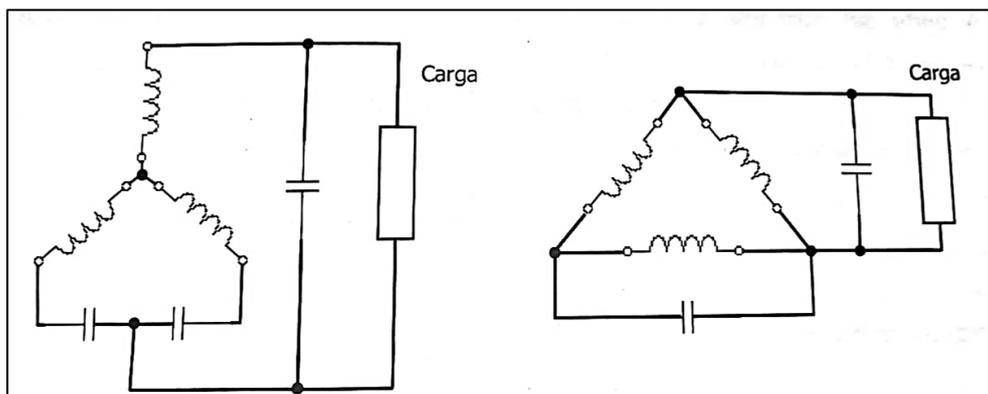


Fig. 28. Conexiones para carga monofásica.
Fuente: (Barrado Rodrigo, 2013).

Velocidad síncrona.

El campo magnético inductor creado por los devanados del estator es giratorio y se mueve a una velocidad denominada síncrona. La cual viene fijada por el número de polos de la máquina y la frecuencia de la corriente alterna del sistema de alimentación. No obstante, el rotor de máquina asíncrona gira con una velocidad menor a la del sincronismo. La diferencia entre las velocidades se llama deslizamiento. Si se hace girar al rotor de la máquina de inducción por encima de la velocidad del sincronismo se puede obtener potencia activa y funciona como generador. (Barrado Rodrigo, 2013).

Momento de inercia.

Según Cuesta & Vallarino (2015), el momento de inercia de la masa giratoria del grupo es un parámetro fundamental que debe tener una magnitud adecuada para:

- Dar estabilidad al aprovechamiento haciendo posible el control de la velocidad y facilitando el arranque del grupo y su sincronización a la red.
- Limitar la sobre velocidad del grupo cuando se desconecta bruscamente el generador.

1.6.3 Protecciones eléctricas.

Cuando se presenta una falla en una microcentral es necesario que se prevea para así poder evitar fallas en los equipos y pérdidas económicas, por lo que se necesita de relés de protección los cuales basan su funcionamiento especialmente, en la información de los parámetros voltaje, corriente, temperatura y características de tiempo. (Mera Velasco, 2000).

Cuando los valores calibrados de voltaje o corriente han sido superados, se inicia una secuencia de operación automática de parada de la central. Ejemplos de relés de protección comúnmente utilizados, lo constituyen los relés de sobre corriente, sobre voltaje, sobre carga, diferenciales, etc. (Mera Velasco, 2000).

El equipo de protección, del que puede disponer el tablero de control principal de una minicentral hidroeléctrica, se refiere principalmente a: interruptores de fuerza, interruptores de pequeña potencia, seccionadores fusibles, seccionadores barra, fusibles en general. Los interruptores de fuerza, también denominados disyuntores, tienen como función establecer o cortar la continuidad de un circuito eléctrico bajo carga, cuando se ha producido una sobre intensidad o una sobrecarga. (Mera Velasco, 2000).

En la Figura 29, se muestra un diagrama unifilar de las protecciones que tiene una pequeña central hidroeléctrica.

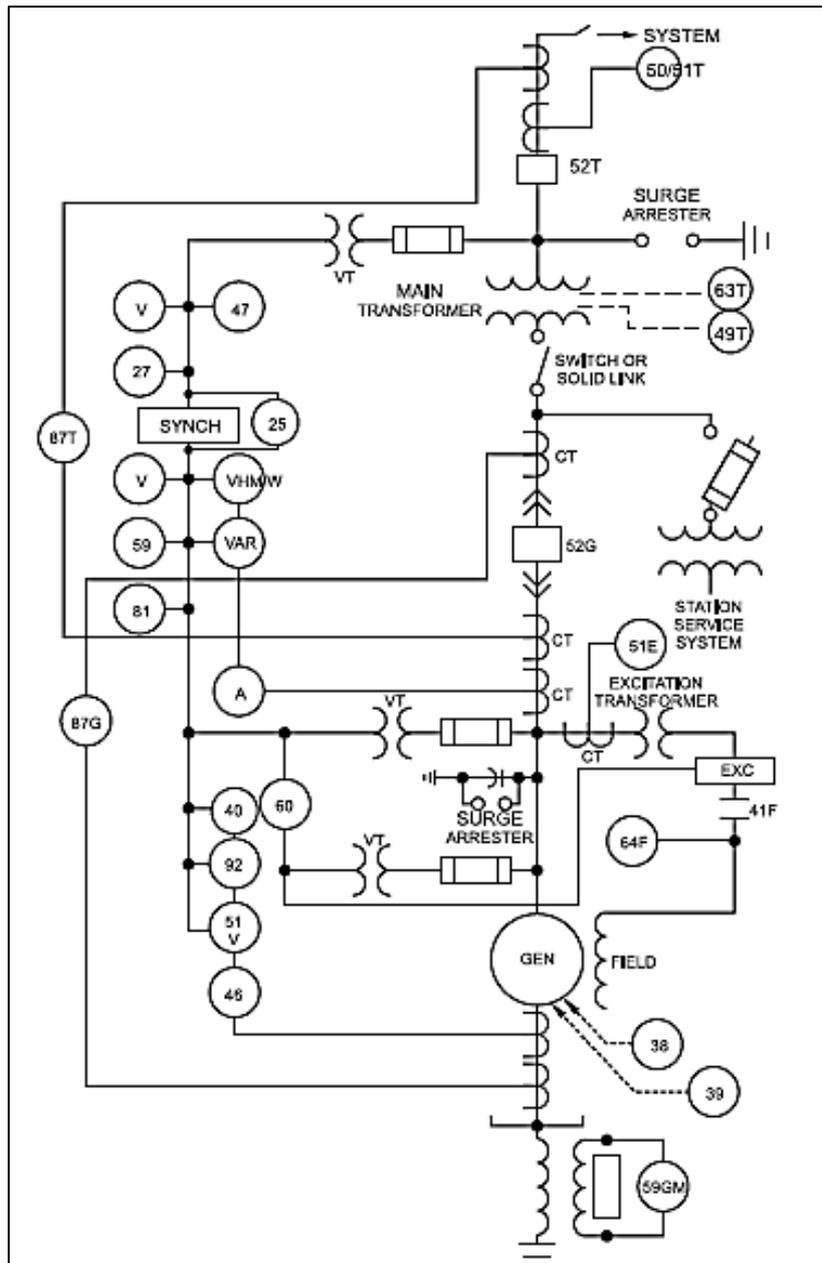


Fig. 29. Diagrama de protecciones eléctricas.
Fuente: (Coz, Sánchez, & Viani, 1996).

CAPÍTULO 2

Desarrollo

2.1 Introducción.

El diseño de la micro central hidroeléctrica depende de las condiciones físicas del lugar en donde se realizará el estudio, para ello se considerará dos factores importantes; primeramente la altura de la caída de agua, en la cual se tienen distintas pérdidas; el segundo factor es el caudal de diseño, estos factores se los determinarán en el sitio de estudio y proporcionarán los datos para establecer la potencia eléctrica a generarse, la cual será necesaria para alimentar los dispositivos eléctricos existentes en el sitio, además sienta las bases para dimensionar las estructuras civiles y contribuye a la selección de los equipos para la casa de máquinas.

2.2 Tipos de Investigación.

Los tipos de investigación empleados en el desarrollo de esta tesis de grado son del tipo bibliográfico, de campo y aplicada, las cuales permitirán el desarrollo de una manera teórica, metodológica y analítica.

2.3 Métodos de investigación.

Los métodos aplicados a la presente investigación son los siguientes: deductivo, analítico y sintético usados en la recopilación de información teórica, obtenida de fuentes como documentos, revistas, textos y páginas de internet, analizando de manera detenida toda la información con la finalidad de identificar lo que más se adapta a la presente tesis de grado para así poder realizar los cálculos necesarios para el dimensionamiento de los equipos y el análisis económico.

2.4 Descripción del sitio de estudio.

El diseño de la MCH se va a realizar en la hacienda “Las Garzas”, en el cual hay un potencial hídrico aprovechable para la generación de energía eléctrica renovable y se encuentra ubicado en la provincia de Imbabura, exactamente en la parroquia San José de Quichinche perteneciente al cantón Otavalo, su clima es frío y tiene una altitud promedio de 3200 msnm. Actualmente la hacienda está habitada por una familia de 4 integrantes, que se dedican a actividades como la agricultura y ganadería. El lugar tiene como coordenadas geográficas los datos mostrados en la Tabla 2.1.

TABLA 2.1 Coordenadas geográficas del sitio de estudio.

Latitud	Longitud
0.271910	-78.426935

Fuente: (Google Maps, 2019).

Para una apreciación gráfica de la ruta de acceso se toma un lugar referente de la zona (planta industrial de cemento Selva Alegre) como punto de partida y como punto de final el sitio de estudio, la distancia entre los dos puntos es de aproximadamente 27 km por la vía Otavalo-Selva Alegre como se muestra en la Figura 30, el transcurso de tiempo que toma hasta llegar al sitio de estudio es de aproximadamente 34 minutos.

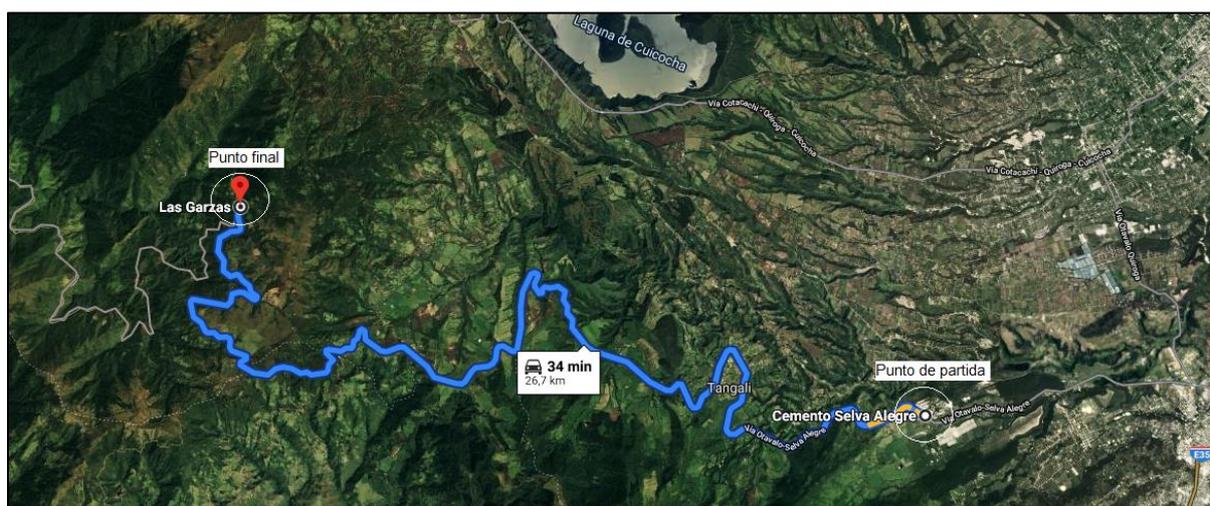


Fig. 30. Ubicación del sitio satelitalmente.
Fuente: (Google Maps, 2019).

2.4.1 Datos meteorológicos de la zona.

Los datos de temperatura del aire y precipitaciones que se muestran en las Figuras 25 y 26 , los cuales fueron tomados de la estación meteorológica INGUINCHO y se pueden encontrar en el anuario meteorológico publicado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INHAMI) en junio de 2017. , la estación está operativa actualmente y se ubica en la provincia de Imbabura y es la más cercana al sitio de estudio, su altitud corresponde a los 3140 metros, sus coordenadas geográficas son latitud 0.258333 y longitud: -78.400833.

Temperatura del aire.

El clima que encontramos en el sitio de estudio es frío y las temperaturas del aire son bajas debido a que se encuentra en una zona montañosa elevada, en la Figura 31 se muestra la temperatura del aire, máxima y mínima durante el año 2017 en grados centígrados.

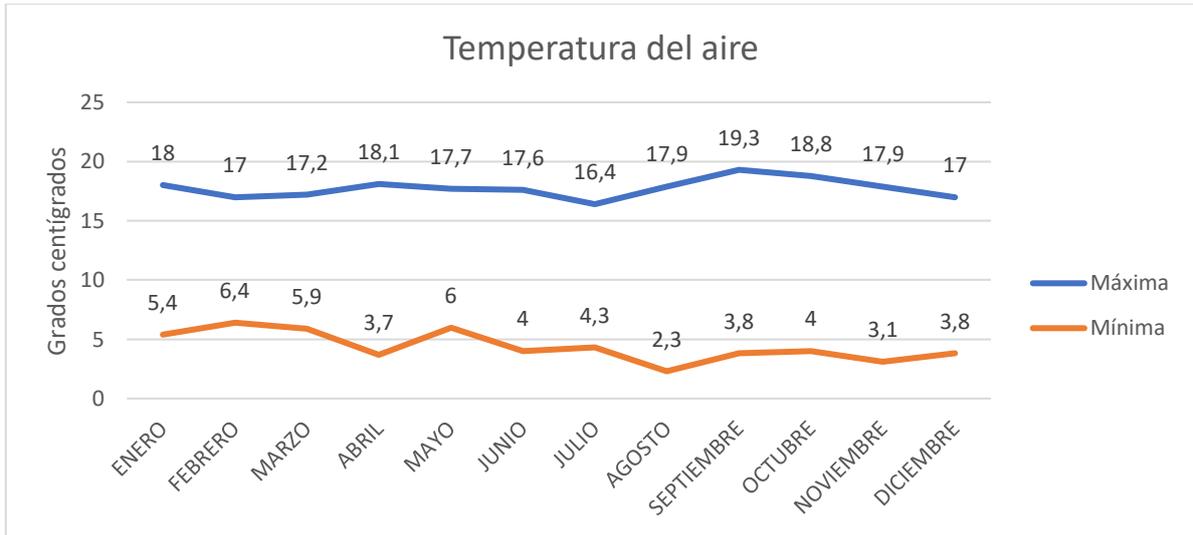


Fig. 31. Temperatura del aire en estación INGUINCHO.
Fuente: Elaborado por el autor, adaptada de (INAMHI, 2017)

Según (INAMHI, 2017) para medir la temperatura se utilizó termómetros al aire libre.

EL valor anual de la temperatura mostrada en la Figura 30 es de 10,7 grados centígrados.

Precipitación de llluvias.

Las precipitaciones de llluvias en el sitio de estudio son frecuentes debido a su ubicación geográfica, favoreciendo a que el caudal de sus fuentes hídricas sea constante la mayor parte del año, en la Figura 32 se muestran las precipitaciones de llluvias registradas por el INHAMI.

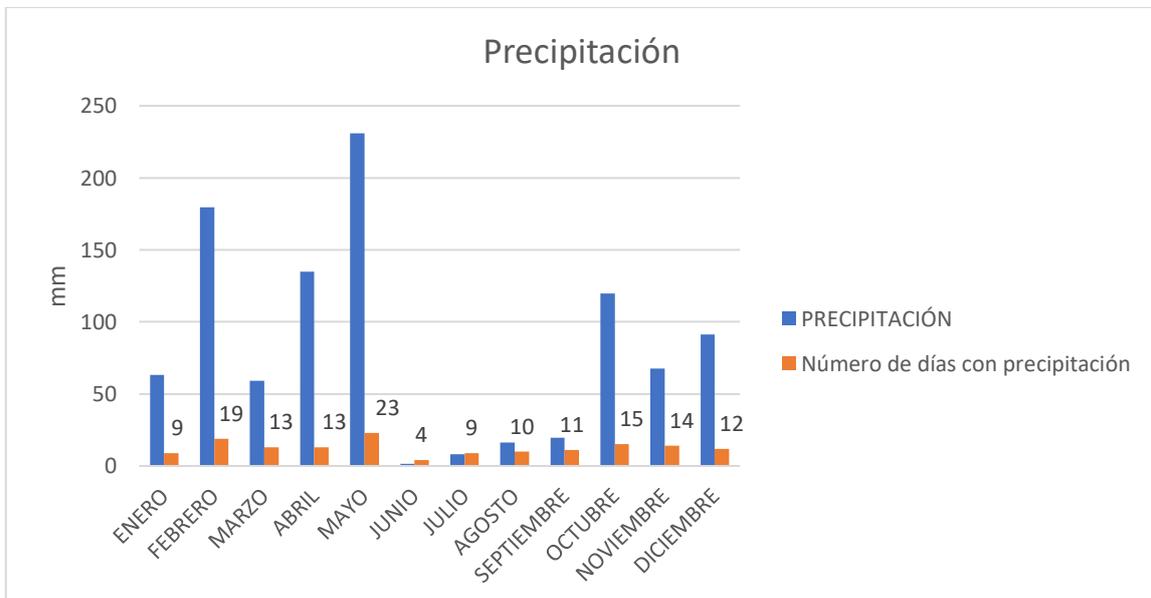


Fig. 32. Precipitaciones de lluvia INGUINCHO.
Fuente: Elaborado por el autor, adaptada de (INAMHI, 2017)

Según (INAMHI, 2017) para la medición de la precipitación se utilizaron pluviómetros, su magnitud correspondiente está en milímetros, el valor anual de las precipitaciones tomadas en la estación INGUINCHO son de 991.9 mm, con una humedad relativa media del 85%.

2.5 Flujograma para el diseño de la micro central hidroeléctrica.

El diseño de una micro central hidroeléctrica empieza a partir de la estimación de la demanda del sitio de estudio, previamente se estableció una fundamentación teórica, la cual ayudará a comprender el funcionamiento y las partes de las centrales hidroeléctricas, el diseño depende principalmente de dos parámetros principales.

El primero es la estimación del caudal, conociendo este parámetro a su vez se calcula el diámetro de la tubería por la cual va a pasar el caudal y se mide la trayectoria total por donde se van a realizar las obras de conducción para conocer su longitud, con estos datos se puede obtener la presión necesaria para la tubería

El segundo parámetro es la estimación del salto geodésico, donde se consideran las pérdidas que pueden presentarse y así tener una altura de salto geodésico neto.

Con ambos parámetros se puede establecer una potencia eléctrica aproximada, que la micro central será capaz de generar.

Satisfaciendo la demanda, se procede a seleccionar el equipo electromecánico de la micro central, el cual consta de la turbina hidráulica con su respectivo generador eléctrico y para obtener un voltaje con una frecuencia dentro de los rangos establecidos en el país se dimensiona un control de cargas.

Se ha realizado un flujograma y se muestra en la Figura 33, el cual es una representación gráfica de la secuencia o etapas que se tomarán en cuenta para realizar el diseño de la micro central hidroeléctrica.

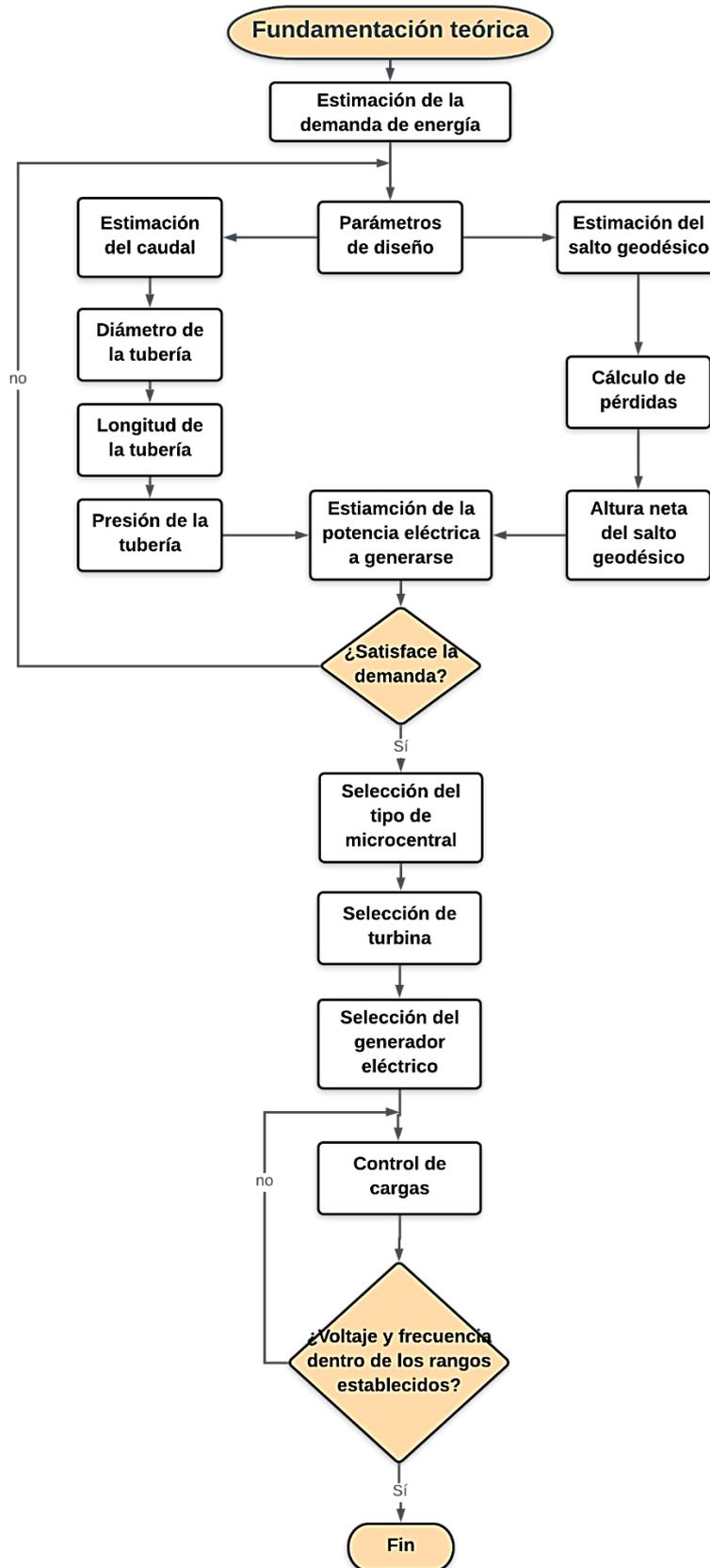


Fig. 33. Flujograma para el diseño de una micro central hidroeléctrica.
Fuente: Autor.

2.6 Estimación de la demanda.

Para la estimación de la demanda se hizo un censo de los equipos eléctricos que se encuentran en la hacienda “Las Garzas”, cada uno enfocándose en la potencia nominal.

TABLA 2.2 Demanda actual de la hacienda "Las Garzas".

Dispositivos	Cantidad U.	Potencia nominal (w)	Potencia nominal total (w)
Focos led	4	10	40
Televisor 32 pulgadas LCD	1	150	150
Radio	1	50	50
Otros (cargador de celular, reloj, etc.)	4	10	40

Fuente: Autor.

La potencia nominal máxima al encender todos los dispositivos de la Tabla 2.2, será de 280 watts, la vivienda existente en la hacienda “Las Garzas” es del tipo rural y no dispone de una gran variedad de electrodomésticos, la generación eléctrica en la micro central hidroeléctrica se destinará únicamente para la vivienda que cuenta con los dispositivos ya mencionados anteriormente.

2.7 Parámetros de diseño.

La instalación de una MCH depende de los siguientes criterios principales:

- Estimación del caudal disponible en el sitio.
- Estimación del salto geodésico o altura de caída.
- Estimación de potencia a instalar.

2.7.1 Estimación del caudal.

El caudal seleccionado para el diseño de la MCH es relativamente pequeño, el cual ayudará para que la misma pueda trabajar a plena carga, el mayor número de horas y así ser aprovechado en su totalidad. Dicho caudal será el encargado de proveer de energía primaria para el movimiento de la turbina hidráulica.

Para tener información del volumen de agua que posee el caudal se realizaron mediciones directas al afluente hídrico, para ello fue necesario disponer varios materiales que se enlistan en la Tabla 2.3, además se utilizó el método de aforo del recipiente, para medir

caudales pequeños, el cual se caracteriza por su simpleza y sin necesidad de tener una preparación especial.

TABLA 2.3 Instrumentos usados para la medición del caudal.

Objeto	Tipo de medida	Magnitud
Recipiente	Volumen	Litros
Cronómetro	Tiempo	Segundos
Flexómetro	Distancia	Metros
Tubo de PVC	Diámetro	Metros
Presa		

Fuente: Autor.

El método del recipiente se usa en pequeñas corrientes desde $100 \text{ cm}^3/\text{s}$.

En primer lugar, se realizó la construcción de una pequeña presa con distintos materiales como tierra, madera y piedras como se observa en la Figura 34, dichos materiales se los encontró cercanos al lugar, las dimensiones de la presa son de 0,38 metros de altura y 0,85 metros de ancho.



Fig. 34. Presa para la contención parcial del caudal.
Fuente: Autor.

En la mitad de la presa se colocó un tubo de policloruro de vinilo (PVC) como se observa en la Figura 35 con un diámetro de 0,1 metros de diámetro y de 1,5 metros de longitud, el cual servirá para liberar el agua que se contuvo por medio de la presa.



Fig. 35. Tubo de PVC en la presa.
Fuente: Autor.

Para proceder a la medición del caudal, se toma un recipiente con un volumen conocido y con un cronómetro se mide el tiempo en el que tarda en llenarse el recipiente hasta su límite de capacidad, los materiales se observan en la Figura 36.

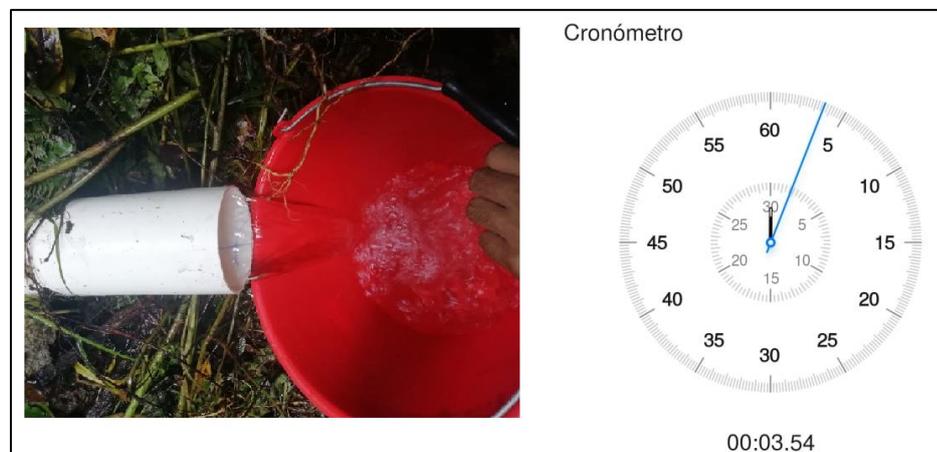


Fig. 36. Recipiente y cronómetro para medición de caudal.
Fuente: Autor.

Se realizaron 4 mediciones directas, para después calcular su promedio y tener un valor más exacto. Se lleno un recipiente de 16 litros de volumen con el afluente hídrico que atraviesa el tubo de PVC que se encuentra en la presa, registrando el tiempo de llenado por medio de un cronómetro digital. La relación entre estos dos valores nos indica el caudal. Las mediciones se realizaron en el mes de abril y los datos obtenidos se muestran en la Tabla 2.4.

TABLA 2.4 Medición hidrológica.

Fecha	Medición	Volumen (litros)	Tiempo (segundos)
03/04/2019	1	16	4
08/04/2019	2	16	3.1
24/04/2019	3	16	3.3
30/04/2019	4	16	3.7
Promedio		16	3.5

Fuente: Autor

Para el cálculo del caudal se tomó la Ecuación 1. (Nicola, 1990)

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Dónde:

Q= caudal ($\frac{m^3}{s}$)

V= Volumen en litros

t= Tiempo de llenado en segundos

s = segundos

Remplazando los datos del promedio del volumen del recipiente y el tiempo de llenado de la Tabla 2.4 en la Ecuación.1, se tiene el siguiente resultado:

$$Q = 0.00457 \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

2.7.2 Estimación del salto geodésico.

Para obtener una mayor energía potencial que se transmitirá a la turbina, se elegirá un desnivel lo más grande posible.

Para la evaluación de los recursos topográficos, mediciones de longitud verticales y horizontales del sitio, además de sus coordenadas, se utilizaron distintos equipos los cuales se muestran en la Tabla 2.5 y fueron necesarios para la obtención de los diferentes datos. A continuación, se realiza una lista de cada uno de ellos:

TABLA 2.5 Instrumentos utilizados para la topografía del lugar.

Objeto	Tipo de medida	Magnitud
GPS	Posicionamiento	Sistema de coordenadas
Altímetro	Distancia vertical	Metros
Flexómetro	Distancia horizontal	Metros

Fuente: Autor.

Para la medición del salto geodésico se utilizó el método del GPS (Global Positioning System). En la actualidad existe la facilidad de uso del GPS por medio de los teléfonos inteligentes, este método muestra la posición de un punto, mediante la triangulación de los satélites.

En la Figura 37 se muestra la ubicación del sitio de estudio y sus respectivas coordenadas geográficas, para ello se utilizó la aplicación de mapas de Google, además del uso del GPS de un smartphone.

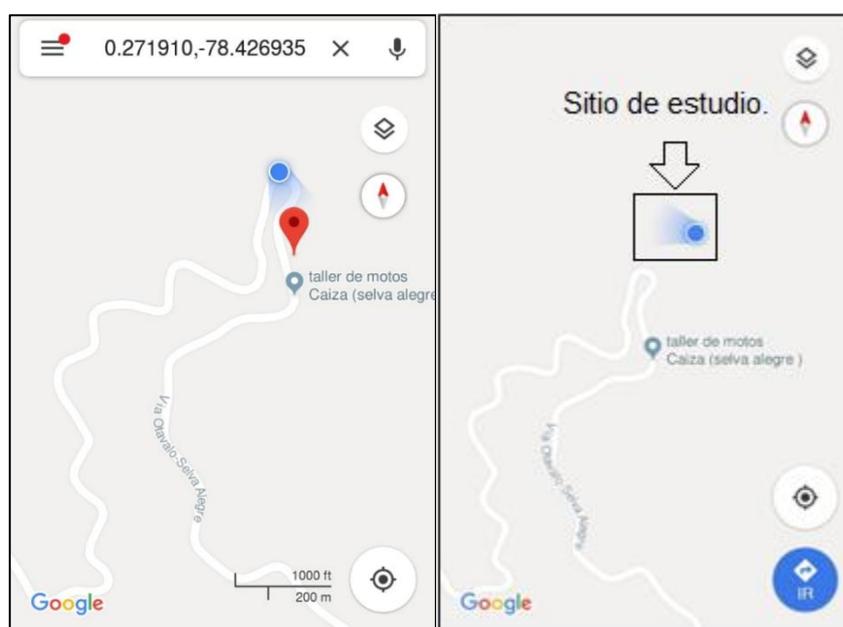


Fig. 37. Coordenadas geográficas del sitio de estudio.
Fuente: (Google Maps, 2019).

En la Figura 38 se muestran dos aplicaciones móviles de Android que fueron utilizadas para realizar las mediciones de altura del salto geodésico del agua en el sitio de estudio, las mediciones realizadas fueron varias para reducir posibles errores.

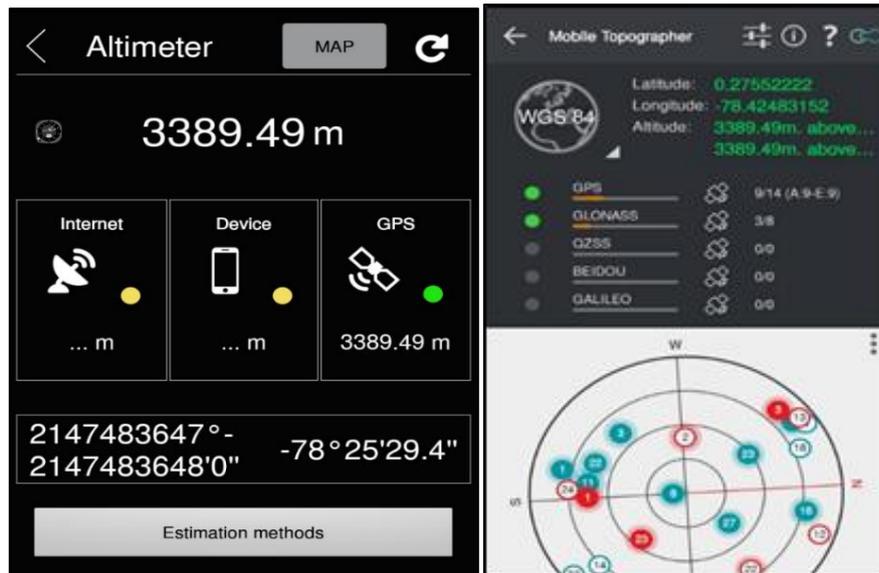


Fig. 38. Aplicaciones móviles para medir altitud.
Fuente: (S.F. Applicality Ltd., 2019).

El instrumento de la Figura 39, se lo utilizó para realizar las mediciones longitudinales horizontales del lugar para estimar los metros de tubería o canalización que será necesaria para la implementación de la micro central hidroeléctrica.

El Flexómetro usado tiene graduación en milímetros, metros y pulgadas, con recubrimiento de PVC para resistir la humedad y tiene marcas de 2 colores para hacer más fácil la lectura, además de una manilla de rebobinado rápido.



Fig. 39. Flexómetro.
Fuente: (Stanley, 2019).

Se realizó una representación de curvas de nivel mostradas en la Figura 40, mediante el uso de los mapas de Google, en la cual se muestra el relieve de la superficie del terreno mediante un conjunto de planos paralelos entre sí, separados una cierta distancia unos de otros, este diagrama de curvas fue utilizado para indicar la proporción de superficie con

relación a la altitud, la curva con menor nivel está en los 2800 metros y la de mayor nivel en 3400 metros sobre el nivel del mar.



Fig. 40. Curvas de nivel y relieve del sitio de estudio.
Fuente: (Google Maps, 2019).

Altura bruta del salto de agua

Es el desnivel que existe entre la toma de agua y la casa de máquinas, La medición de las alturas se tomó como referencia el lugar donde se ubicará la cámara de carga como altura Z_1 y la casa de máquinas en donde se encontrará el grupo turbina-generador como altura Z_2 .

La altura neta se la determino de acuerdo con el método del GPS.

Procedimiento:

- Para realizar las mediciones de los distintos puntos de nivel, se realizó una visita técnica previa en la cual se conoció la topografía del lugar y la ruta de acceso hasta el afluente hídrico.
- Seguidamente se procede a ubicar cada obra de la MCH en un dibujo referencial al relieve del lugar, en el cual se toma la altura mayor posible para el tanque de carga y una altura inferior para la casa de máquinas con el grupo turbina-generador buscando aprovechar un desnivel considerable entre las dos obras para tener un buen parámetro para la generación de la hidroelectricidad.

- Para medir la altura a nivel del mar desde donde se ubicará el tanque de carga se utilizó el método del GPS, el cual a través de dos aplicaciones móviles (Altimeter y Mobile Topographer) de Android se adquirirían los datos de la triangulación de los satélites. Esta medición se la denominó altura Z_1 y su medición se muestra en la Tabla 2.6,
- Finalmente tomando la posición en la cual se desea instalar la casa de máquinas se procedió a realizar la medición de la altura, con las dos aplicaciones mencionadas anteriormente y el GPS del móvil, esta medición se la denominará altura Z_2 y se puede observar en la Tabla 2.6.
- Con estas dos medidas de altura Z_1 y Z_2 se calculará posteriormente la altura bruta del salto geodésico del caudal.

Todas las medidas realizadas correspondientes a la altura del tanque de carga y casa de máquinas se detallan en la Tabla 2.6.

TABLA 2.6 Mediciones de altura del tanque de carga y casa de máquinas.

Fecha	Medición	Aplicación	Altura Z_1	Altura Z_2
03/04/2019	1	Altimeter	3389.56	3367.43
08/04/2019	2	Topographer	3389.88	3370.55
24/04/2019	3	Altimeter	3389.49	3367.78
30/04/2019	4	Topographer	3389.49	3367.78

Fuente: Autor.

Para el cálculo de la altura bruta se utilizó la Ecuación 2 (Bengoa, 2017).

$$h_b = z_1 - z_2 \quad (2)$$

Dónde:

h_b = altura bruta (m)

Z_1 = altura del tanque de carga ($msnm$)

Z_2 = altura de la casa de máquinas ($msnm$)

Los resultados de la Ecuación 2, se muestran en la Tabla 2.7.

TABLA 2.7 Resultados de la Ecuación 2.

Número de medición	Altura Z1	Altura Z2	Altura bruta (hb)
1	3389.56 msnm.	3367.43 msnm	$hb_1 = 22,56$ m
2	3389.88 msnm	3370.55 msnm	$hb_2 = 19,33$ m
3	3389.49 msnm	3367.78 msnm	$hb_3 = 21,71$ m
4	3389.49 msnm	3367.78 msnm	$hb_4 = 21,71$ m

Fuente: Autor.

Para tener un valor único de todas las mediciones realizadas con respecto a la altura del sitio, se realizará un promedio de las resultantes hb , mediante la Ecuación 3.

$$h_b \text{ prom} = \left(\frac{hb_1 + hb_2 + hb_3 + hb_4}{4} \right) m \quad (3)$$

Remplazando los datos de la Tabla 2.7 en la Ecuación 3 se obtiene una altura bruta promedio:

$$h_b \text{ prom} = 21.32 [m]$$

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. (Bengoa, 2017)

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.

$$h_n = (h_b - h_{pér}) \quad (4)$$

Dónde:

$$h_n = \text{Altura neta (m)}$$

$$h_b = \text{Altura bruta (m)}$$

$$h_{pér} = \text{Altura por pérdidas (m)}$$

Cálculo de pérdidas de 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.

Colocando tuberías más grandes se crea menos fricción, pero aumenta los costos económicos porque tienen un precio mayor. Las pérdidas aceptables van del 10 al 15 por ciento del salto bruto.

Para el cálculo de las pérdidas se toma la Ecuación 5. (Canyon Industries, 2014)

$$h_{pérd} = \frac{15}{100} * h_b \quad (5)$$

Dónde:

$h_{pérd}$ = Altura pérdida (m)

h_b = Altura bruta (m)

Remplazando el resultado de la Ecuación 3 en la Ecuación 5, se obtiene.

$$h_{pérd} = 3.2 (m)$$

Para determinar la altura neta se toma la Ecuación 4 y en esta se remplaza los resultados de la Ecuación 3 y de la Ecuación 5, para obtener lo siguiente:

$$h_n = 18.12 (m)$$

2.8 Tuberías.

Se realizaron las distintas mediciones longitudinales de los tramos de tubería mediante el uso de un flexómetro y se decidió dividir la tubería en dos segmentos.

El primer segmento de tubería tiene como punto inicial la obra civil de la bocatoma de agua y la misma tiene como punto final el tanque de carga, la longitud de este segmento es de 285.6 metros.

El segundo segmento correspondiente a la tubería de presión inicia a partir del tanque de carga y finaliza en la casa de máquinas, la longitud tomada en este segmento es de 64,85 metros.

La extensión total de la tubería abarcando los dos segmentos anteriormente mencionados, corresponde a los 350,45 metros de longitud.

2.8.1 Cálculo del diámetro interno de la tubería de conducción.

Para calcular el diámetro interno se utilizará la Ecuación 6. (Vásquez Huaricocha, 2015).

$$D = 0.3 * \sqrt[5]{\frac{Q^2 * L}{h_b}} \quad (6)$$

Dónde:

D= Diámetro interno de la tubería (m)

Q= caudal (m^3/s)

L= Longitud de la tubería (m)

h_b = Altura bruta (m)

Remplazando los datos en la Ecuación.6 se obtiene el diámetro de la tubería:

$$D = 0.07[m]$$

El diámetro para la tubería de conducción es de 0.07 metros, la cual corresponde a una tubería de 2,75 pulgadas y considerando que no existe una fabricación en serie de esta, se toma un diámetro de 3 pulgadas.

2.8.2 Cálculo del diámetro interno de la tubería de presión.

Según (Vásquez Huaricocha, 2015), para calcular el diámetro interno de la tubería se utiliza la Ecuación 7.

$$D = 0.3 * \sqrt[5]{\frac{Q^2 * L}{h_n}} \quad (7)$$

Dónde:

D= Diámetro interno de la tubería (m)

Q= caudal (m^3/s)

L= Longitud de la tubería (m)

h_n = Altura neta (m)

Remplazando los datos en la Ecuación 6 se obtiene el diámetro de la tubería:

$$D = 0.05 \text{ (m)}$$

El diámetro para la tubería de presión es de 0.05 metros, la cual corresponde a una tubería de 1,96 pulgadas y considerando que no existe una fabricación en serie de esta, se toma un diámetro de 2 pulgadas.

2.8.3 Cálculo de la velocidad de flujo en la tubería.

Para calcular la velocidad del flujo del agua, en la tubería se utilizará la Ecuación 8. (Picón, 2017)

$$v = \frac{4Q}{\pi \cdot D t^2} \quad (8)$$

Dónde:

v= velocidad (m/s)

Q= Caudal ($\frac{m^3}{s}$)

D_t = Diámetro de la tubería (m)

Remplazando los datos del caudal y el diámetro de la tubería de presión en la Ecuación 7, se obtiene la siguiente velocidad de flujo de caudal.

$$v = \frac{4 \cdot 0.005 [m^3/s]}{\pi \cdot (0.05m)^2}$$

$$v = 2.54 \text{ m/s}$$

2.8.4 Cálculo de la presión nominal de la tubería.

Para encontrar la presión nominal de la tubería se utiliza la Ecuación 9.

$$P = d \cdot g \cdot h_n \quad (9)$$

Dónde:

P = presión nominal del sistema [Pa]

D = Densidad del fluido 1000 [kg/m^3]

g= Aceleración de la gravedad 9.81 [m/s^2]

h_n = Altura neta del salto de agua 18.12 [m]

Se reemplaza los datos en la Ecuación 8 y se obtiene el siguiente valor de la presión de la tubería:

$$P = 178 \text{ [kPa]}$$

2.8.5 Selección del material para la tubería.

La tubería es la encargada de transportar el fluido (agua) desde la bocatoma hasta la turbina, por lo cual se debe considerar varios parámetros antes de seleccionar el tipo de tubería, para ello hay que tomar en cuenta el peso de esta, la corrosión, el costo, las pérdidas por fricción y la presión de trabajo, cada uno de estos parámetros cambian de acuerdo con el material.

TABLA 2.8 Comparación de los distintos materiales para tuberías.

Material	Pérdida por fricción	Peso	Corrosión	Costo	Presión de trabajo
Hierro dúctil	4	3	2	1	5
Asbesto cemento	3	3	4	4	4
PVC	5	5	4	4	4
Acero comercial	3	3	3	2	5
Polietileno	5	5	5	3	4

Fuente: (Coz, Sánchez, & Viani, 1996).

Los valores que se muestran en la Tabla 2.8 son adimensionales y van de 1 a 5 tomando en cuenta como referencia que el valor de 1 es malo y 5 como excelente.

El material con mejores características en comparación con la fricción, peso, corrosión, costo y presión de trabajo es el polietileno, además de que tiene más ventajas como su durabilidad la cual es de al menos 50 años, su flexibilidad y elasticidad permite realizar mejores trazados y soportan el golpe de ariete.

2.9 Cálculo de la potencia eléctrica.

Para calcular la potencia teórica que se producirá en la micro central hidroeléctrica se utilizará la Ecuación 10. (Nicola, 1987).

$$P_t = \frac{Q \cdot h_n}{102} \tag{10}$$

Dónde:

P_t = Potencia teórica [kW]

Q = Caudal [l/s]

h_n = altura neta [m]

Remplazando en la Ecuación 10, los datos de caudal y altura neta se obtiene lo siguiente:

$$P_t = 0,8823 [kW] \approx 888,23[W]$$

La potencia útil se obtiene la relación de la potencia teórica y los rendimientos de los equipos utilizados como la turbina, el generador y el sistema de transmisión entre los dos anteriores.

Los rendimientos de los equipos generalmente están en el orden del 90% como aproximación y se tiene Ecuación 11 para obtener la potencia útil. (Nicola, 1987).

$$P_u = P_t * r_1 * r_2 * r_3 \quad (11)$$

Dónde:

P_u = Potencia útil

P_t =Potencia total

r_1 =Rendimiento de turbinas

r_2 =Rendimiento del generador

r_3 =Rendimiento de la transmisión

Remplazando cada uno de los rendimientos r_1 , r_2 , r_3 con el 90% y el resultado de la Ecuación 10 en la Ecuación 11, se obtiene una potencia útil de:

$$P_u = 647,51[W]$$

2.10 Selección del tipo de micro central.

El tipo de micro central hidroeléctrica está condicionado por la topografía y las características que presenta el lugar donde va a ser ubicada, para realizar una selección se debe tener en cuenta otros aspectos influyentes en su entorno a la hora de definir sus consideraciones técnicas sin olvidar el respeto medioambiental de la instalación.

El caudal que se presenta en el sitio de estudio es reducido, alrededor de los 5 litros por segundo como se demostró mediante un cálculo sencillo en la Ecuación 1.

La superficie topográfica que presenta el sitio se muestra en las curvas de nivel de la Figura 2.11 y las mediciones de altura de la Tabla 2.6 sustentan que el relieve es del tipo montañoso, lo cual lo hace idóneo por lo que siempre existirá disponibilidad del caudal debido a las lluvias en el lugar y por otro lado existen diferencias de altura que pueden ser aprovechadas para el desarrollo de la energía potencial y cinética del agua.

La potencia útil que se pretende generar es de 647,51 watts y la central hidroeléctrica según su potencia está dentro de la micro generación eléctrica.

Según las alturas de nivel que se obtuvieron mediante mediciones y curvas, la central de acuerdo con el salto geodésico neto, la central tiene una altura neta mediana que corresponde a los 18 metros en vertical, ubicando como punto inicial el tanque de carga y como punto final la casa de máquinas.

De acuerdo con su emplazamiento la central hidroeléctrica tiene las características de estos dos tipos de centrales:

- Centrales de embalse.
- Centrales de agua fluyente.

Se tomará como central de embalse por los criterios que se presenta a continuación:

Se pretende construir un tanque de carga que funcione como un pequeño embalse para así tener la posibilidad de almacenar el agua proveniente del riachuelo.

El embalse también tiene la posibilidad de abastecer de agua para otros usos como el riego o abastecimiento para el consumo, según necesiten sus usuarios.

Los diseños de este tipo de central serán sencillos para así tener una rápida construcción de las obras civiles y que sean implementadas por personas que no requieran un alto conocimiento del tema, además de los costos que presentan este tipo de construcciones.

Se considera que la implementación de la micro central debe interferir lo menos posible con el ecosistema de la zona.

Se busca que con este diseño se pueda aprovechar en gran parte el recurso hídrico presente en la zona para producir energía eléctrica.

Al momento de realizar un mantenimiento se desea que este no sea muy complicado, y lo pueda realizar los mismos propietarios.

2.11 Obras civiles.

Las obras civiles que se diseñarán para la micro central hidroeléctrica tienen como fin aprovechar al máximo las condiciones del lugar en que serán instaladas.

Al implementar este tipo de estudios se ha encontrado que el aspecto económico tiene gran relevancia, por lo que generalmente las obras civiles y los dispositivos de generación de electricidad demandan una importante inversión, para ello el diseño tomará en cuenta este

aspecto con relación a los componentes que dispondrá la misma para que sea un proyecto factible.

Seguidamente se muestra en la Figura 41 las principales obras civiles correspondientes a la micro central hidroeléctrica, las cuales se van a ubicar en la hacienda "Las Garzas", de acuerdo con las condiciones hídricas y topológicas que presenta el sitio de estudio y al dimensionamiento realizado previamente, además se muestran las alturas correspondientes según las curvas de nivel.

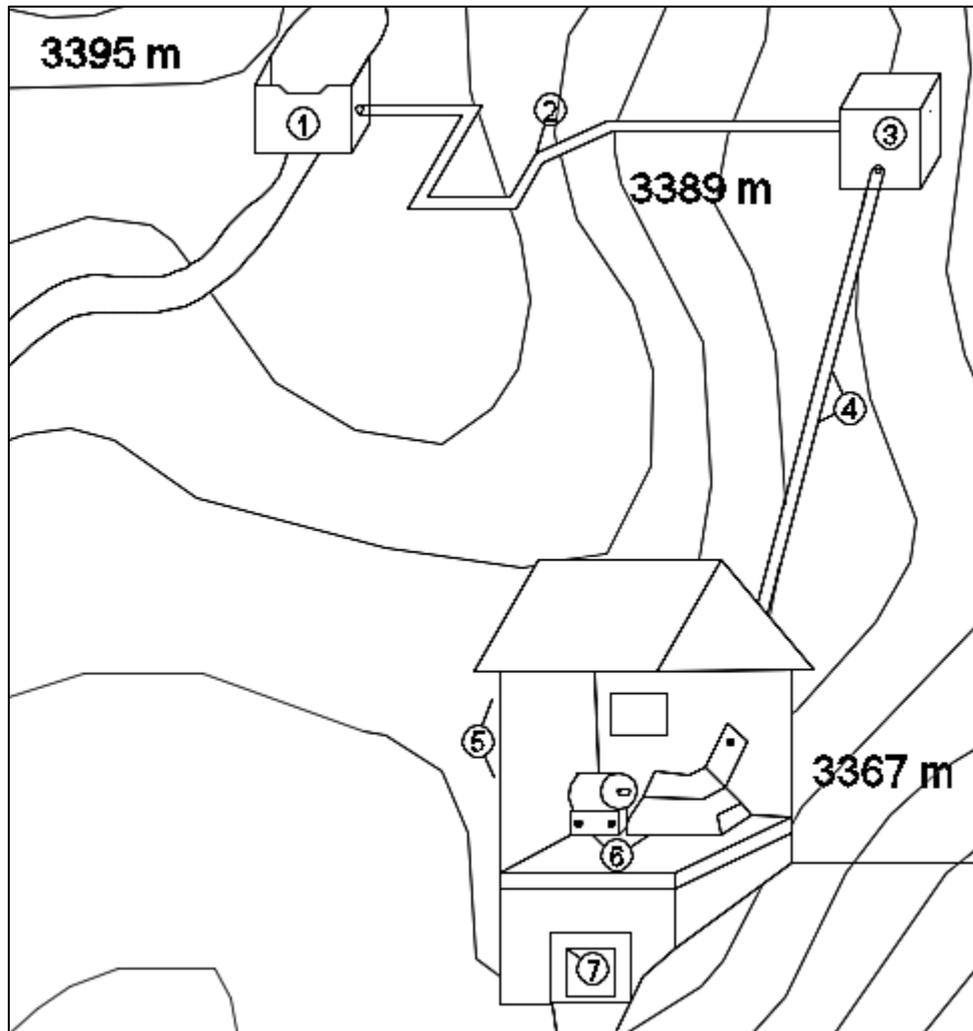


Fig. 41. Disposición de obras civiles mediante curvas de nivel.
Fuente: Autor.

Dónde:

- 1 = Bocatoma de agua.
- 2 = Tubería de conducción.
- 3 = Tanque de carga.
- 4 = Tubería de presión.

5 = Casa de máquinas.

6 = Equipo electromecánico.

7 = Canal de descarga.

2.11.1 Bocatoma de agua.

Los factores por considerar como valores de entrada para el diseño de la bocatoma son el caudal de agua a captar, la altura mínima del espejo de agua y el ancho de la sección del canal por donde fluye el riachuelo, dichos valores se muestran con sus pertinentes unidades en la Tabla 2.9.

TABLA 2.9 Factores para el dimensionamiento.

Caudal	5	l/s
Ancho de río	0.90	m
Velocidad del agua	1	m/s
Gravedad	9.81	m/s^2
Densidad del agua	1000	kg/m^3

Fuente: Autor.

Mediante las mediciones realizadas en el riachuelo de cada factor influyente para el dimensionamiento de la construcción de la bocatoma de agua, se procede a estimar las magnitudes de la obra como se muestra en la Tabla 2.10.

TABLA 2.10 Dimensiones estimadas para la bocatoma de agua.

Altura del Azud	0.80	m
Ancho del azud	0.9	m
Grosor de muro	0.15	m
Coefficiente del vertedero	0.75	<i>adimensional</i>
Altura del dentellón	0.2	m

Fuente: Autor.

La bocatoma es la encargada de captar el agua procedente del riachuelo y la conforman distintas obras que se muestran en la Figura 42.

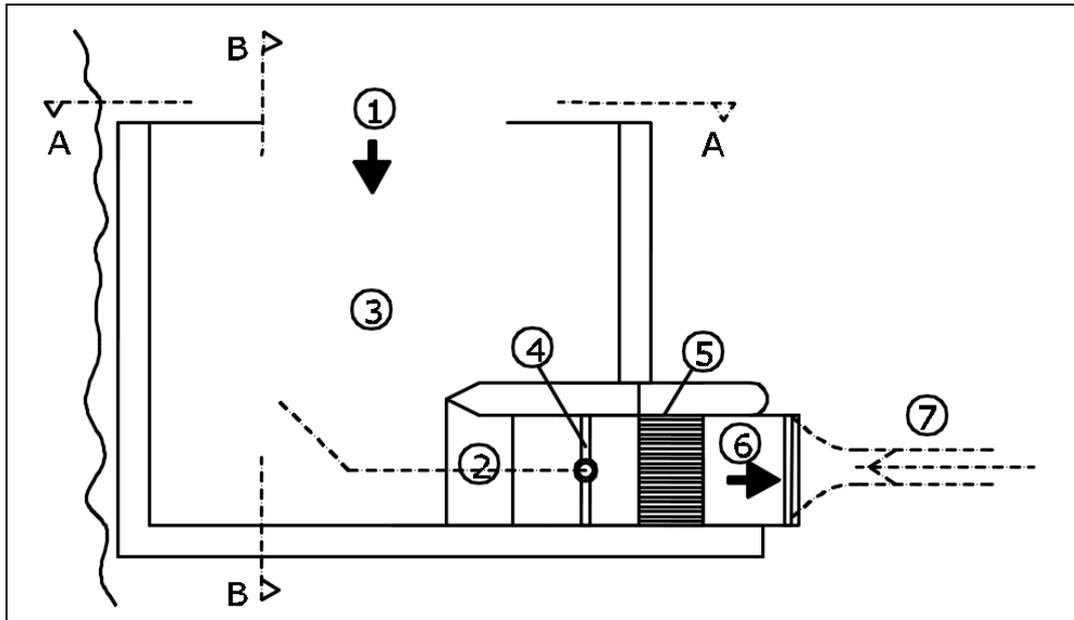


Fig. 42. Bocatoma de agua.
Fuente: Autor.

Dónde:

1= Ingreso del caudal del riachuelo.

2= Descarga de fondo.

3= Solera de captación.

4= Compuerta de admisión.

5= Desripador.

6= Salida del caudal captado.

7= Tubería de conducción.

8= Vertedero.

9= Azud.

El azud o muro de la bocatoma tendrá las siguientes magnitudes 0.80 metros de altura, medida desde el nivel del piso y 0.90 metros de ancho ajustado a la topografía existente del canal natural del afluente.

El ancho del azud fue tomado como $a= 0.90$ m y la altura como $b=0.80$ m, y se muestran en la Figura 43.

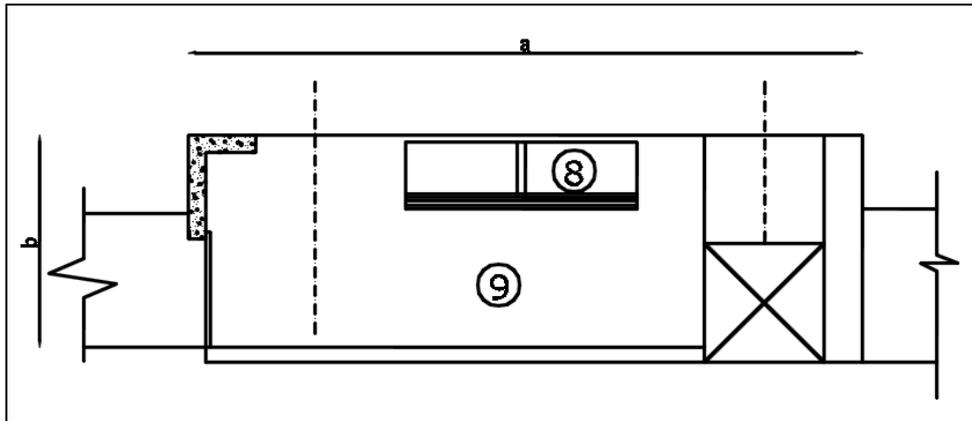


Fig. 43. Azud o muro de la bocatoma.
Fuente: Autor.

El azud o barrera se utilizó con el fin de derivar todo el caudal de agua y controlarlo mediante su propia altura con la ayuda de un vertedero.

Para obtener las dimensiones del vertedero que se encuentra en el azud se toma un coeficiente de 0.75 y se lo multiplica por el valor del ancho del azud, y se tiene 0.67 metros sobre la horizontal del muro y se deja 0.10 metros para que pasen excesos de agua o impurezas livianas como pequeñas ramas u hojas.

Las medidas del vertedero son $a = 0.67$ m y $b = 0.10$ m y se muestran en la Figura 44.

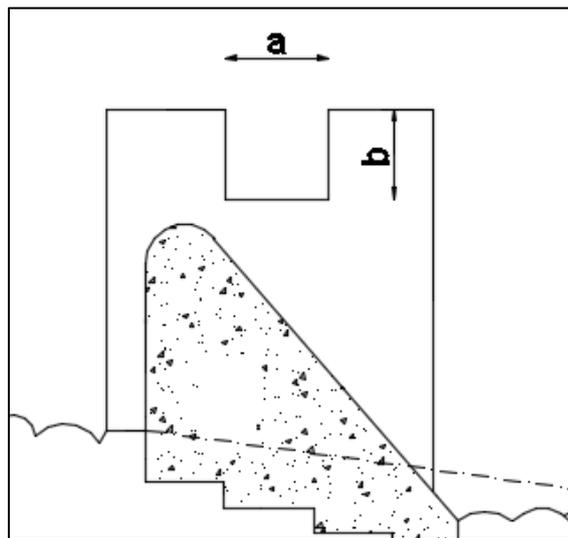


Fig. 44. Vertedero de agua.
Fuente: Autor.

Se instalará un desripador a la salida de la bocatoma, con una inclinación de 26° con respecto a la horizontal, direccionadas hacia aguas abajo, para evitar el atascamiento de hojas, rocas y otros objetos no deseados en el sistema. La rejilla del desripador se construirá con varilla $3/4"$ (19,05 mm) y un espaciamiento entre ellas de 50 mm como se muestra en la Figura 45.

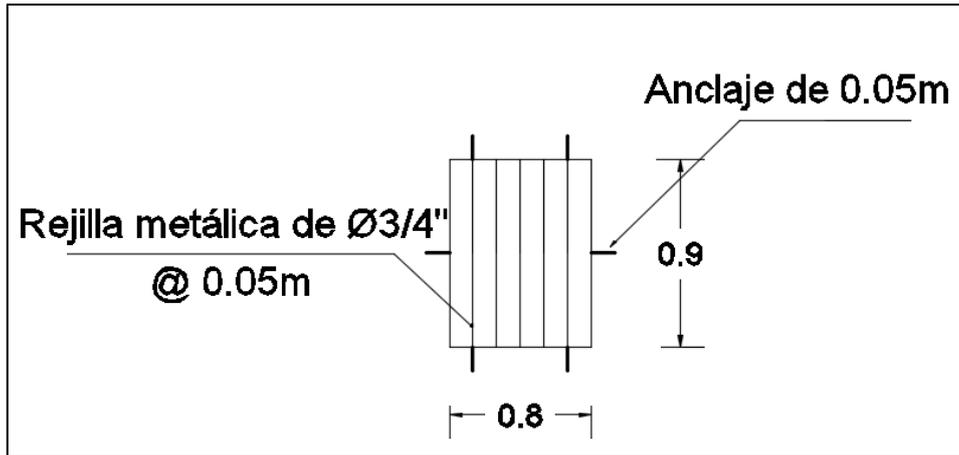


Fig. 45. Características de la rejilla de la bocatoma.
Fuente: Autor.

Además, si se desea se puede instalar una compuerta manual en la bocatoma para que se pueda realizar una limpieza de las impurezas y sedimentos que puede recolectar el desripador, además dicha compuerta ayudará a proporcionar un control del caudal y un mantenimiento aguas debajo, en la Figura 46 se muestran los detalles de la compuerta.

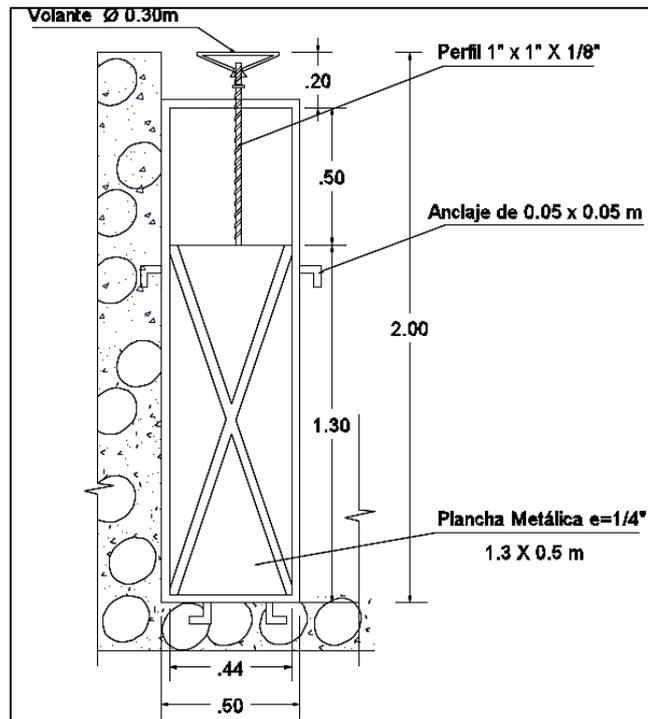


Fig. 46. Dimensiones de la compuerta manual.
Fuente: Autor.

2.11.2 Tubería de conducción.

La tubería de conducción será el medio de transporte para el fluido captado por medio de la bocatoma, el cual servirá de abastecimiento para el tanque de carga, aprovechando los factores hídricos, un desnivel de altura de 6 m y la gravedad.

La tubería de conducción sigue el perfil del terreno a lo largo de la ruta de acceso desde la bocatoma hasta el tanque de carga y se muestra en la Figura 47 con las medidas longitudinales.

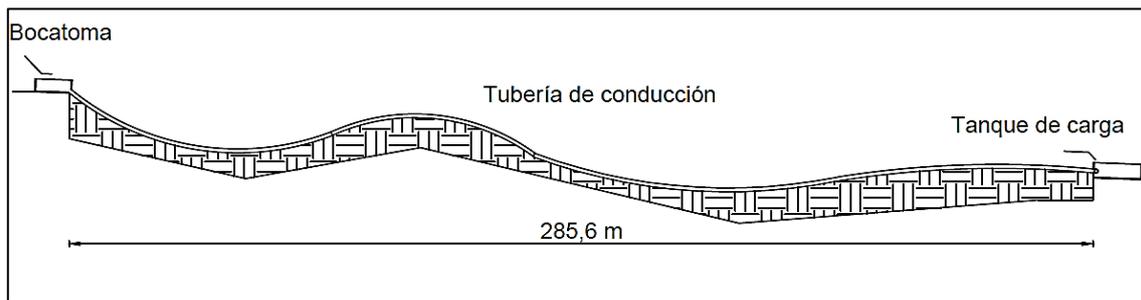


Fig. 47. Perfil del recorrido de la tubería de conducción.
Fuente: Autor.

En la Figura 48 se muestra un extracto de las especificaciones técnicas comerciales de la tubería, además se resalta el rango en el que la tubería fue dimensionada.

TUBOS DE POLIETILENO ALTA DENSIDAD PE 100 · ESPECIFICACIONES														
DIÁMETRO NOMINAL DN	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	SERIE DEL TUBO (S)												
		RELACIÓN DIÁMETRO - ESPESOR NORMALIZADA (SDR)												
		PRESIÓN NOMINAL DE TRABAJO PN												
		ESPESOR (mm)												
MILÍMETROS	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
20	20,0	20,3	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	2,4	2,3	2,7
25	25,0	25,3	-	-	-	-	-	-	2,0	2,4	2,3	2,7	2,8	3,3
32	32,0	32,3	-	-	-	-	2,0	2,4	2,4	2,8	2,9	3,4	3,6	4,2
40	40,0	40,4	-	-	2,0	2,4	2,4	2,8	3,0	3,5	3,7	4,3	4,5	5,2
50	50,0	50,5	2,0	2,4	2,4	2,8	3,0	3,5	3,7	4,3	4,6	5,3	5,6	6,4
63	63,0	63,6	2,5	3,0	3,0	3,5	3,8	4,4	4,7	5,4	5,8	6,7	7,1	8,2
75	75,0	75,7	2,9	3,4	3,6	4,2	4,5	5,2	5,6	6,4	6,8	7,8	8,4	9,7
90	90,0	90,8	3,5	4,1	4,3	4,9	5,4	6,2	6,7	7,7	8,2	9,4	10,1	11,6
110	110,0	111,0	4,2	4,8	5,3	6,1	6,6	7,6	8,1	9,3	10,0	11,5	12,3	14,1

Fig. 48. Especificaciones del catálogo de tuberías.
Fuente: (RIVAL, 2018).

El diámetro dimensionado para la tubería fue de 70 mm, como en el catálogo comercial no existe este valor se tomará el superior que corresponde a 75 mm de diámetro.

En la Figura 49 se muestra el rollo de 100 metros de tubería de polietileno de alta densidad.



Fig. 49. Rollo de tubería.
Fuente: (PLASTIGAMA, 2018).

2.11.3 Tanque de carga.

Una vez que el agua es captada por la bocatoma se dirigirá a través de la tubería de conducción hasta llegar al tanque de carga (Figura 50), el cual tiene la función de un depósito situado al final del canal, justo antes de la entrada de la tubería de presión.

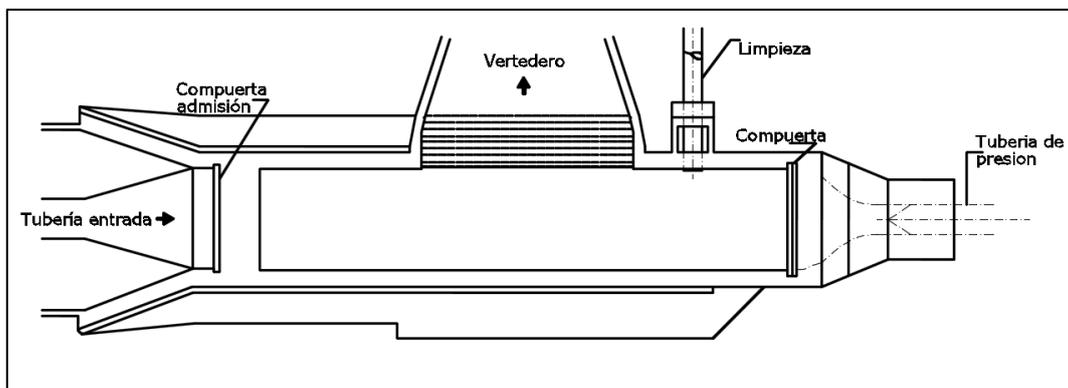


Fig. 50. Tanque de carga (vista de planta).
Fuente: Autor.

Está diseñada para actuar como una reserva de agua para mantener la presión de caída en la tubería y requiere una entrada continua de agua del canal para mantener su nivel máximo, se contempla también un vertedero de alivio de caudal necesario para cuando el tanque alcance su máxima capacidad.

De ser necesario también se implementan dos compuertas una de entrada y una de salida a los extremos del tanque (Figura 44), estas compuertas cumplen la misma función que la compuerta ubicada en la bocatoma de agua.

En este tanque de agua existe una pequeña tubería de limpieza (Figura 51) para drenar el agua que se encuentre en el tanque y realizar los respectivos mantenimientos para remover objetos sólidos.

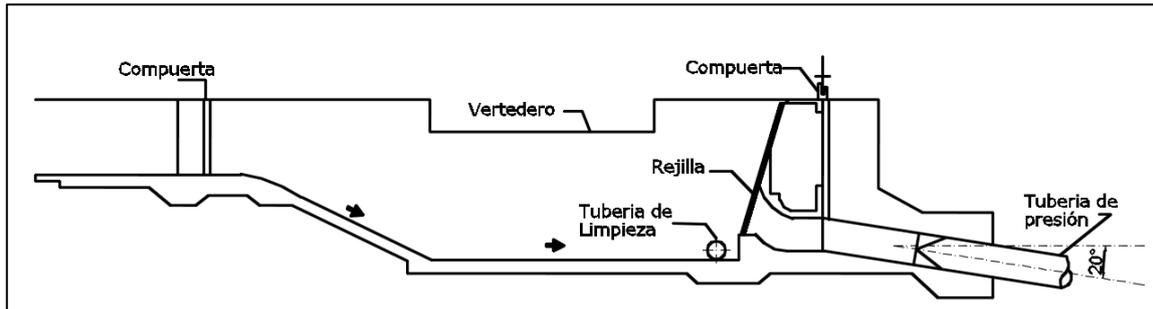


Fig. 51. Tanque de carga (corte vertical).
Fuente: Autor.

Anterior a la tubería de presión se coloca una rejilla o malla fina (Figura 45) para evitar que ingresen partículas pequeñas a la tubería y éstas ocasionen daños erosionando la tubería y la turbina que se encuentran aguas abajo y por lo tanto reduciendo la vida útil de la planta.

Los datos tomados para el tanque de carga se muestran en la Tabla 2.11.

TABLA 2.11 Datos para la cámara de carga.

Caudal	5	l/s
Ubicación(altura)	3889	m s.m.m
Grosor de pared	0.15	m
Diámetro de la entrada de la tubería	75	mm
Diámetro de salida de tubería	50	mm

Fuente: Autor.

Las dimensiones del tanque de carga se muestran en la Figura 52, el volumen máximo del tanque de carga es de 6,5 metros cúbicos.

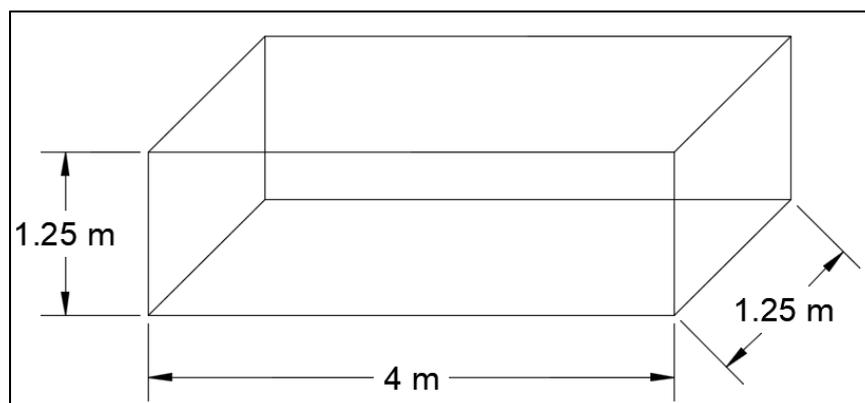


Fig. 52. Dimensiones del tanque de carga.
Fuente: Autor.

El tanque de carga alcanzará su capacidad máxima de llenado en 22 minutos con un caudal de 5 (l/s), este es seleccionado considerando las posibles ampliaciones que pueda tener la planta hidroeléctrica u otros usos que se le pueda dar al tanque de carga.

2.11.4 Tubería de presión.

La tubería seleccionada, para la MCH, es de polietileno de alta densidad, los diámetros, presiones de trabajo, distancias y demás características, se dimensionaron en el apartado 2.8.

En la Figura 53 se muestra un extracto del catálogo de la tubería, resaltando las dimensiones de la tubería q se utilizará.

DIÁMETRO NOMINAL mm	PRESIÓN NOMINAL DE TRABAJO MPa	SERIE	ESPESOR NOMINAL DE PARED mm	LONGITUD m
20	1,60	5	2,0	ROLLOS 100
32	1,60	5	2,9	
40	1,25	6,3	3,0	
50	1,25	6,3	3,7	
63	1,25	6,3	4,7	
90	1,00	8	5,4	

Fig. 53. Especificaciones de la tubería de presión.
Fuente: (PLASTIGAMA, 2018).

2.11.5 Casa de máquinas.

La casa de máquinas (Figura 54) se compone de una sala de máquinas y de locales secundarios como depósitos, guardarropas, lavabos y baños, que se ubican según su destino alrededor de la sala de máquinas donde va la turbinas y el generador.

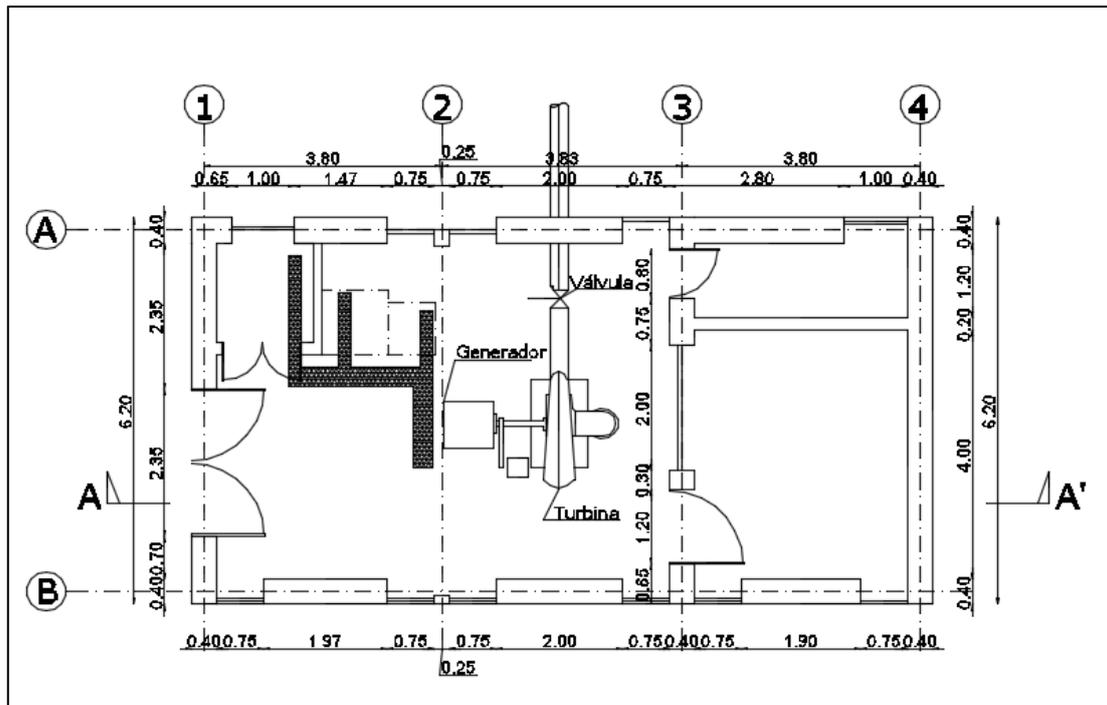


Fig. 54. Casa de máquinas vista de planta.
Fuente: Autor.

La cámara de la turbina en saltos pequeños de altura es del tipo abierto, ya que es posible hacer llegar directamente el distribuidor de la turbina al agua procedente de la tubería de presión. La turbina puede ser de eje vertical u horizontal.

El canal de descarga (Figura 55) recoge el agua de la salida de la turbina para devolverla nuevamente al río, en el punto conveniente. A la salida de la turbina el agua tiene aún una velocidad considerable.

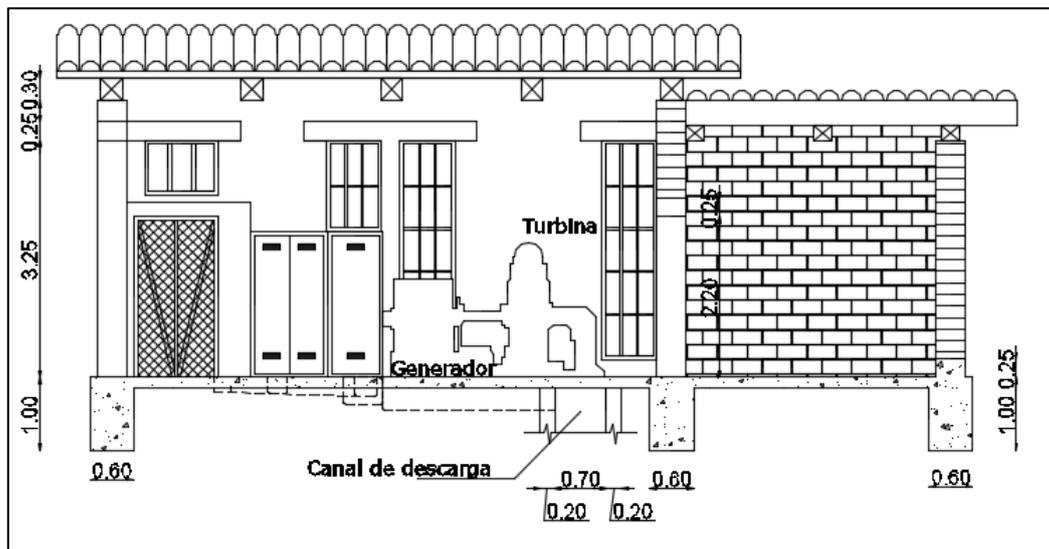


Fig. 55. Corte vertical de la casa de máquinas.
Fuente: Autor.

La casa de máquinas se puede construir con hormigón, piedra o ladrillo.

CAPÍTULO 3

Análisis de resultados

En este capítulo se pretende dar a conocer los elementos que conforman la casa de máquinas de la micro central hidroeléctrica, los cuales son similares a cualquier otra instalación generadora de hidroelectricidad. Por otro lado, se va a realizar una selección y del equipamiento eléctrico con sus diagramas de conexión y un análisis económico.

3.1 Equipo electromecánico.

La casa de máquinas es una obra civil que contiene el equipo electromecánico de la micro central hidroeléctrica, el cual realiza la conversión de la energía hidráulica en mecánica y de mecánica en eléctrica.

Los equipos eléctricos y mecánicos que dispondrá la micro central hidroeléctrica, en la casa de máquinas es el siguiente:

- Válvula
- Turbina hidráulica
- Generador eléctrico
- Elementos de regulación
- Elementos de control

En la casa de máquinas únicamente se va a instalar un hidro grupo debido a que la capacidad de generación es limitada por el caudal y la altura del salto geodésico, el suministro de caudal se va a realizar de forma directa empalmada con una válvula, la cual es la que permite el paso o cierre del flujo de agua. A la salida de la válvula se conecta otro tramo de tubería que dirigirá el caudal hacia la turbina que, en conjunto con el generador realiza la transformación de energía hidráulica en eléctrica. El agua una vez ha pasado por la turbina es conducida hacia el canal de descarga que la devuelve al cauce inicial.

La conversión de energía está sujeto a la demanda de energía eléctrica, por tal motivo la potencia en el eje de la turbina debe variar proporcionalmente, de tal forma que se mantenga la frecuencia constante; para ello la turbina dispone de un regulador de velocidad que permite ajustar el caudal a la demanda de energía eléctrica. Adicionalmente la demanda de energía eléctrica conectada a los bornes del generador tiene una componente activa y una reactiva; la activa se regula en el generador ajustando en la turbina el caudal a la demanda de energía activa y la componente reactiva causa variaciones de tensión. Para regular las variaciones de tensión el generador dispone de un regulador de tensión.

Debido a que el centro de consumo no se encuentra en el mismo punto de generación, se realizará una red de transmisión de la energía desde la micro central hidroeléctrica., para su transmisión se seleccionará el tipo de conductor con sus caídas de tensión.

3.2 Turbina hidráulica.

La turbina es el equipo en el cual se transforma la energía hidráulica en mecánica, está acoplada directamente al generador y en conjunto atienden la demanda de energía eléctrica. Las turbinas más conocidas y empleadas en centrales hidroeléctricas son la turbina Pelton, Francis y Kaplan, para pequeñas centrales se unen otro tipo de turbinas como la Michell Banki y la Turgo.

El tipo de turbina hidráulica para la micro central hidroeléctrica se la determina de acuerdo con un ábaco dado por los fabricantes de turbinas (Figura 56), en dicho ábaco se encuentran los parámetros de caudal y salto neto del sitio.

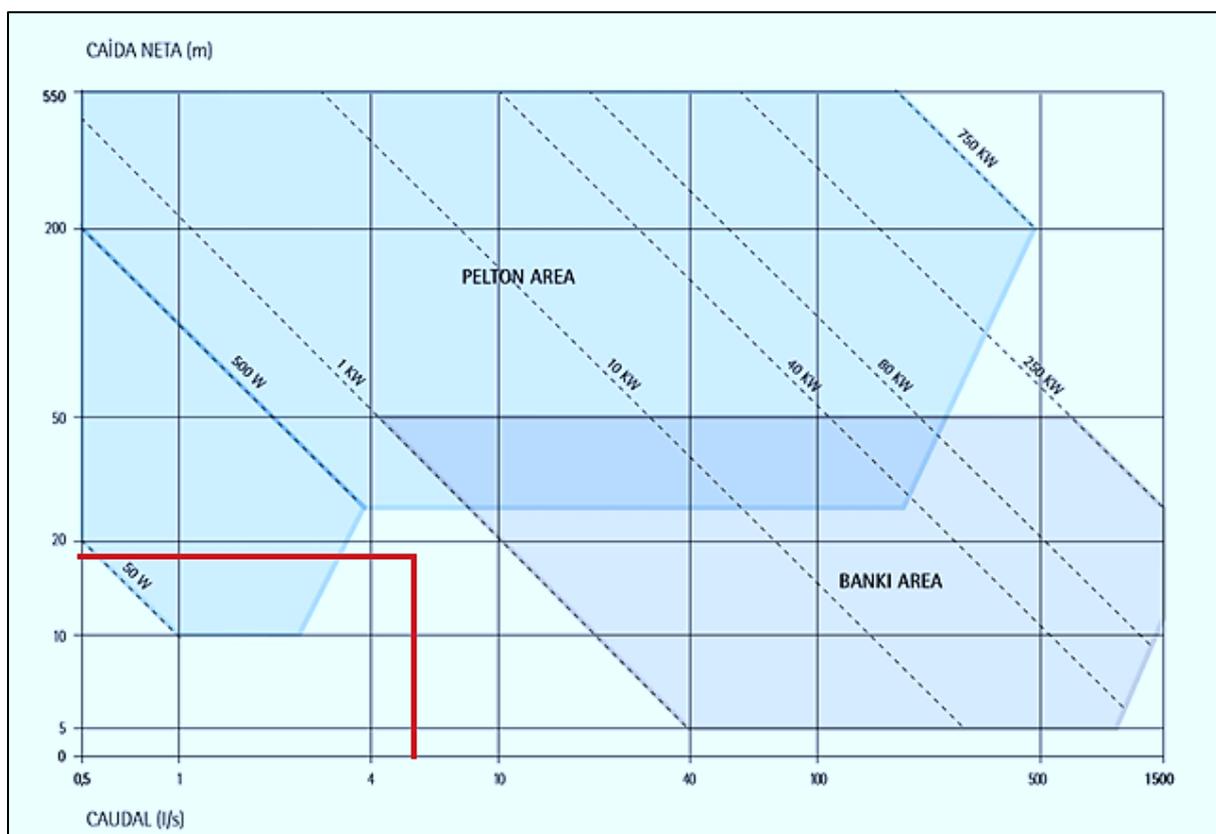


Fig. 56. Caudal (l/s) vs Caída neta(m).
Fuente: (IREM, 2019).

Los datos del caudal que se obtuvo mediante el estudio hidrológico y la altura neta del estudio topográfico se ubicaron en la Figura 50 y se trazó una línea de color rojo en el gráfico.

Analizando el gráfico, se puede estimar la potencia que puede llegar a generar que es superior a los 500 watts y en base a las características del caudal y la altura se puede aproximar que la turbina puede estar entre una Pelton y una Michell Banki, la cuales operan con grandes saltos y bajo caudal.

3.2.1 Potencia de la turbina

Para estimar la potencia de la turbina se tiene los parámetros mostrados en la Tabla 3.1, los cuales se analizaron y calcularon en el desarrollo del apartado 2.7.

TABLA 3.1 Parámetros para estimar la potencia de la turbina.

Gravedad	9.81 m/s^2
Densidad del agua	997 kg/m^3
Caudal	5 l/s
Altura neta	18.12 m
Rendimiento de la turbina	80-90 %

Fuente: Autor.

Según (González, 2009) la potencia de la turbina se obtiene por medio de la Ecuación 12.

$$P_T = g * Y * Q * h_n * n_T \quad (12)$$

Dónde:

PT = Potencia de la turbina (w)

g = Gravedad (m/s^2)

Y= Densidad del agua 1000(kg/m^3)

Q = Caudal (m/s)

h_n = Altura neta (m)

n_T = Rendimiento de la turbina (80%)

Se remplaza los parámetros de la Tabla 3.1 en la Ecuación 12 y se tiene una potencia de:

$$P_T = 711 w$$

3.2.2 Velocidad de giro de la turbina.

La velocidad de giro del eje de una turbina depende de la velocidad de giro a la que se quiere que rote el eje del generador, y de la existencia si fuera el caso de sistemas de transmisión de potencia mecánica; ya que primero se debe recurrir a los fabricantes para en base a la disponibilidad del grupo (turbina-generador) seleccionar la velocidad de giro.

Debido a que el acoplamiento directo es el más eficiente se consideran como base las velocidades sincrónicas a las que deberá girar el generador para obtener una frecuencia de 60 Hz según el número de pares de polos.

Se tomará una velocidad de giro de 1800 rpm debido a la disponibilidad de equipos por parte de fabricantes.

3.2.3 Velocidad específica de la turbina.

Se puede seleccionar el tipo de turbina en función de la velocidad específica N_s , la cual es el número de revoluciones que daría una turbina similar a la que se trata de encontrar y que entrega un caballo de potencia, al ser instalada en un salto de altura unitaria.

La velocidad específica de la turbina se obtiene con la Ecuación 13. (Mállitasig & Tapia, 2009).

$$N_s = \frac{n_{st} \sqrt{P}}{h n^{5/4}} \quad (13)$$

Dónde:

N_s = Número específico de revoluciones

n_{st} = velocidad síncrona de la turbina (rpm)

P = Potencia de la turbina (HP)

h = Altura neta (m)

Remplazando los datos ya obtenidos en la Ecuación 13, se obtiene la siguiente velocidad específica de la turbina:

$$N_s = 47 \text{ rpm}$$

La velocidad obtenida para la turbina se compara con las velocidades que desarrollan distintas turbinas y se la ubica dentro de un rango de valores como se muestra en la Tabla 3.2.

TABLA 3.2 Valores de velocidad específica para distintos tipos de turbina.

Velocidad específica	Turbinas
De 5 - 30	Pelton con un inyector
De 30 - 70	Pelton con varios inyectores
De 40 - 160	Michell Banki -Turgo
De 60 – 150	Francis Lenta
De 150 - 250	Francis Normal
De 250 – 450	Francis Rápida
De 450 - 600	Francis Extra rápida
Más de 500	Kaplan o hélice

Fuente: (Mállitasig & Tapia, 2009).

3.2.4 Control de velocidad de la turbina.

El sistema de control de velocidad y de carga de la turbina está formado por el equipo de control y el equipo de accionamiento requerido para regular el flujo de agua que atraviesa la turbina y que regular la velocidad de la unidad y la salida de potencia conectada al generador.

La regulación de velocidad se la puede realizar por regulación de caudal y por regulación de carga, de forma manual o automática; sin embargo, se recomienda para mayor confiabilidad la regulación de velocidad con un regulador electrónico por caudal, el cuál actuará sobre la válvula de chorro, en el arranque, en la sincronización, y en el control de carga.

Se ha tomado esta decisión por las siguientes razones:

- Se proporciona un sistema con frecuencia y voltaje estables en casos de variaciones instantáneas considerables de demanda.
- Respuesta a exigencias de sensibilidad, estabilidad y seguridad muy precisas.

En la Figura 57 se muestra un esquema del sistema de control de turbinas por control de carga.

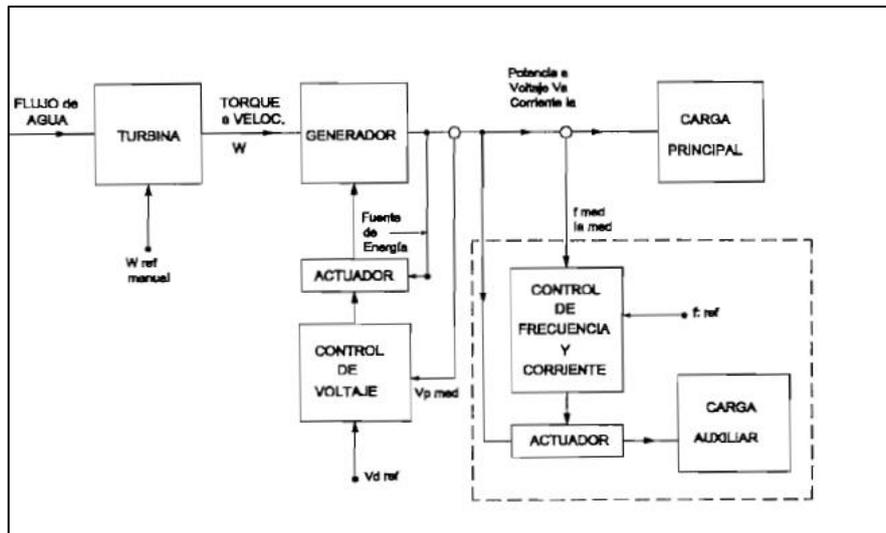


Fig. 57. Sistema de control de velocidad por control de carga.
Fuente: (Vásquez Huaricocha, 2015).

3.2.4.1 Requerimientos del regulador de velocidad.

Los requerimientos generales del regulador de velocidad son:

- Control de arranque y parada con sensores de velocidad.
- Régimen de velocidad seleccionado en el panel de control.
- Suiches de velocidad para embalamiento, posición de parado, para excitación, y para sincronización.
- Indicador para condición de funcionamiento.

3.2.5 Especificaciones para la turbina hidráulica.

TABLA 3.3 Especificaciones para la turbina.

Parámetros de funcionamiento	
Caudal	5 l/s
Salto de presión	18 m
Presión	>1.8 bar
Rendimiento	80-100 (%)
Características técnicas	
Tipo de turbina	Michell Banki/ Turgo
Acoplamiento	Directo
Diámetro de entrada/salida	50 a 70 mm
Velocidad de giro	1800 rpm
Velocidad específica	47 rpm
Potencia de la turbina	790 w

Fuente: Autor.

3.3 Generador eléctrico.

Existen dos tipos de generadores, los sincrónicos y los asincrónicos, ambos son empleados en micro centrales hidráulicas. Los generadores sincrónicos son capaces de suministrar la energía reactiva de la carga, por lo cual, pueden utilizarse para redes aisladas al sistema o conectadas al sistema, son más complejos debido a que posee un sistema de control de la excitación. El generador considerado para la micro central será del tipo síncrono con 3 fases.

3.3.1 Velocidad síncrona.

Debido a que se va a realizar el acople del eje de la turbina directamente con el eje del generador, este girará a la misma velocidad, por lo que para ofrecer la potencia generada a una frecuencia de 60Hz, el generador contará con un número de polos definido por la Ecuación 14. (Vásquez Huaricocha, 2015).

$$p = \frac{120 * f}{n_{st}} \quad (14)$$

Dónde:

p= Número de polos

n_{st} = Velocidad síncrona de la turbina (rpm)

f = Frecuencia (Hz)

Se remplazan los datos en la Ecuación 14 y se obtiene el siguiente número de polos para el generador:

$$p = 4$$

Para calcular la velocidad síncrona del generador (n_s) se utiliza la Ecuación 15. (Vásquez Huaricocha, 2015).

$$n_s = 120 * \frac{f}{p} \quad (15)$$

Dónde:

n_s = Velocidad síncrona (rpm)

f = Frecuencia (Hz)

p= número de polos

Mediante el remplazo de la Ecuación 14 y la frecuencia de 60 Hz en la Ecuación 15 se obtuvo la siguiente velocidad síncrona del generador:

$$n_s = 1800 \text{ rpm}$$

En la Tabla 3.4 se muestran las velocidades síncronas dependiendo del número de pares de polos que tenga el generador y la frecuencia de trabajo.

TABLA 3.4 Velocidades síncronas de acuerdo con el número de polos del generador.

Número de pares de polos	Frecuencia de trabajo 60 (Hz)
1	3600 rpm
2	1800 rpm
3	1200 rpm
4	900 rpm
6	720 rpm

Fuente: Autor.

3.3.2 Potencia de salida del generador.

Para el cálculo de la potencia activa que se obtiene a la salida del generador se considera que éste tiene un rendimiento del 95% y como se optó por una conexión directa entre el eje de la turbina y el eje del generador, la eficiencia de la transmisión, en este caso se considera como 1. Para el cálculo de la potencia activa se usa la Ecuación 16. (SENA, 2013).

$$PG = PT * n_G \tag{16}$$

PG = Potencia del generador (w)

PT = Potencia de la turbina (w)

n_G = Rendimiento del generador (95%)

Remplazando la Ecuación 15 y el rendimiento del generador en la Ecuación 16 se obtiene la siguiente potencia a la salida del generador:

$$PG = 675 \text{ w}$$

Para el cálculo de la potencia aparente se selecciona un factor de potencia de 0.9, considerando que esta central es aislada a la red de distribución al ser inexistente en el sitio, por lo tanto, se usa la Ecuación 17. (Coz, Sánchez, & Viani, 1996).

$$S_G = \frac{P_G}{fp} \tag{17}$$

Dónde:

S_G = Potencia aparente del generador (VA)

P_G = Potencia activa del generador (w)

fp = Factor de potencia

Remplazando la Ecuación 16 y el factor de potencia en la Ecuación 17 se obtiene una potencia aparente de:

$$S_G = 750 \text{ (VA)}$$

3.3.3 Cálculo de la corriente nominal del generador.

Para el cálculo de la corriente del generador se tiene en cuenta que el voltaje a la salida del generador trifásico puede tener voltajes de 160 a 272 V y se calcula mediante la Ecuación 18. (Nicola, 1990).

$$I = \frac{S_G}{\sqrt{3} * V} \quad (18)$$

El voltaje de generación seleccionado en los bornes del generador es de 220 voltios, debido a que es un voltaje estandarizado por los fabricantes, además con este voltaje se evitará la presencia de un transformador de voltaje.

Se remplaza la Ecuación 17 y el voltaje de salida del generador (220V) en la Ecuación 18 y se obtiene el siguiente valor de la corriente:

$$I = 1.97 \text{ A}$$

3.3.4 Regulador de tensión.

Los reguladores de voltaje actuales son electrónicos y permiten tener una precisión de $\pm 1\%$ con variaciones de velocidad de hasta el 10%, también proporciona una gran estabilidad al sistema.

Se recomienda usar un regulador de estado sólido, para controlar automáticamente la corriente de excitación del generador, para asegurar que los voltajes de salida estén dentro de los rangos establecidos en el país, así se podrá tener un voltaje estable con carga o en vacío.

3.3.5 Sistema de excitación del generador.

Se decidió utilizar un sistema de excitación estática (Figura 58) para que el generador sea del tipo auto excitado, su corriente de excitación procede del mismo generador y es rectificadora por medio de diodos.

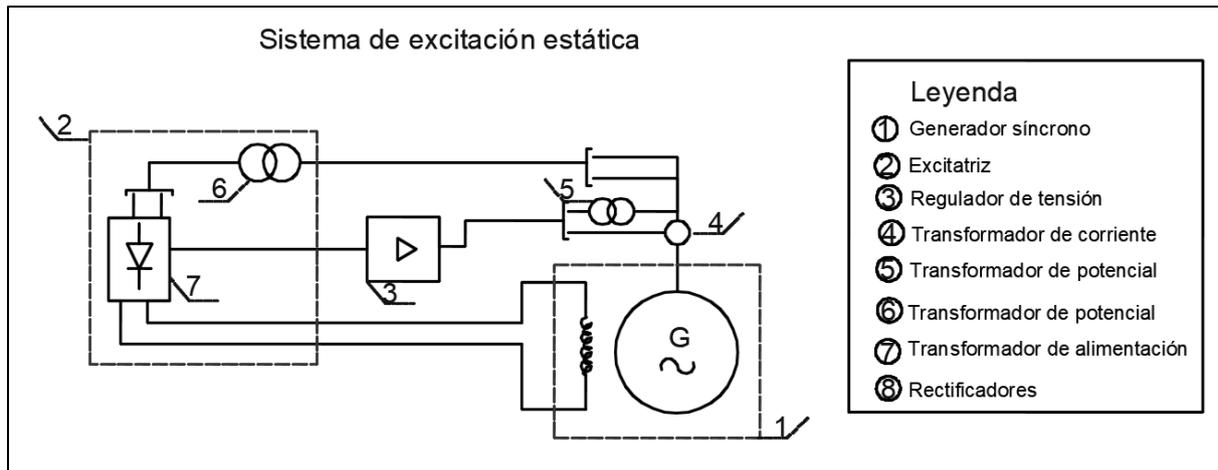


Fig. 58. Sistema de excitación del generador síncrono.
Fuente: Autor, adaptado de (Mera, 2000).

En la Figura 59 se muestra un diagrama de bloques de los elementos que operan en conjunto con la excitatriz del generador, dichos elementos sirven para realizar un control de corriente y voltaje de la excitatriz para regular el voltaje de salida del generador.

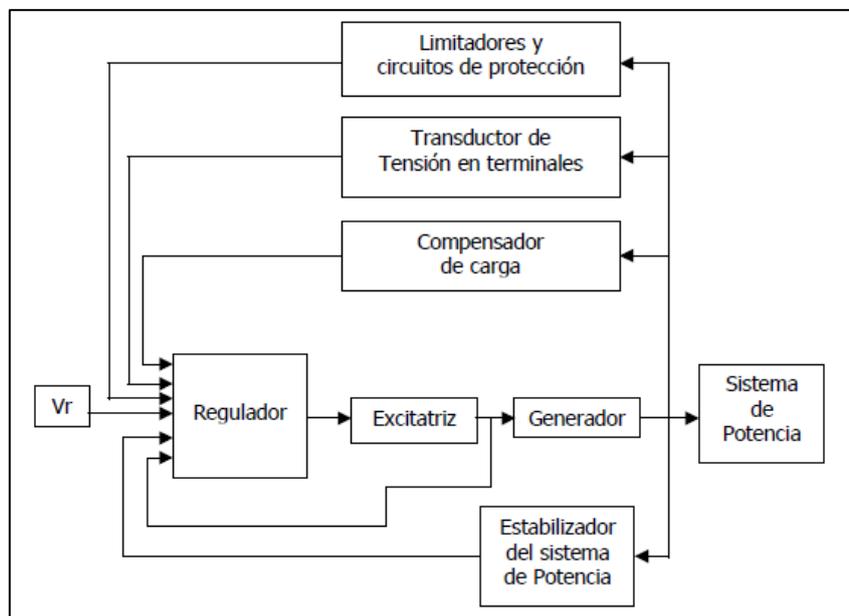


Fig. 59. Elementos del sistema de excitación.
Fuente: (Kundur, 2013).

Los diodos rectifican una onda completa y suplen de corriente al campo magnético del generador, su construcción es estándar y por lo general vienen montados en el extremo libre del eje del generador.

Las tensiones que suministrará la excitatriz van desde los 24 V en DC hasta los 125 V en DC, de acuerdo con el fabricante y sus características.

3.3.6 Especificaciones del generador.

TABLA 3.5 Especificaciones del generador para la M.C.H.

Características	
Tipo	3 fases, síncrono
Aislamiento eléctrico	Clase B o superior
Rendimiento	>90 %
Altitud sitio de montaje	3200 msnm
Potencia	750 VA
Acoplamiento	Directo
Velocidad de giro	1800 rpm
Polos	4
Factor de potencia	>0.9
Voltaje	220 V
Sistema de control	
IP del cuadro de control	55 o mayor
Regulación de tensión	Electrónico
Excitatriz	Estática
Frecuencia	60 Hz

Fuente: Autor.

3.4 Equipos de medición.

El equipo de medición, se lo coloca en cajas de material aislante y solamente debe observarse las medidas en sus respectivas pantallas, sean analógicos o digitales.

Los equipos básicos por utilizarse para la medición son los siguientes:

- Voltímetro
- Amperímetro
- Frecuencímetro
- Medidor de potencia activa

3.5 Equipos de protección.

Existen los siguientes equipos para la protección del generador contra factores de perturbación interna o externa.

- Protección de sobre corriente
- Protección de sobre tensión

En la Tabla 3.6 se muestra la leyenda correspondiente a la Figura 54, de acuerdo con el código ANSI (American National Standards Institute).

TABLA 3.6 Nomenclatura de protecciones eléctricas de la Figura 54

64R	Relé de falla a tierra
12	Relé de sobre velocidad del generador
49S	Relé de sobre carga térmica en el generador
81	Relé de (sobre y baja) frecuencia
59	Relé de sobre tensión
51	Relé de sobre corriente
27	Relé de baja tensión

Fuente: Adaptado de (Coz, Sánchez, & Viani, 1996) .

La descripción de las protecciones incluidas en esta sección tiene por objeto dar un panorama de las posibles fallas del generador. Las protecciones eléctricas (Figura 54) fueron seleccionadas de acuerdo con el tamaño de la central y el tipo de sistema aislado.

Relé de falla a tierra (64R)

Cuando se produce una falla a tierra en un punto cualquiera del devanado de campo ubicado en el rotor.

Relé de sobre velocidad del generador (12)

La detección de la sobre velocidad se realiza generalmente de forma mecánica por medio de un dispositivo de masas giratorias, la protección no desconecta la máquina ya que se produciría un embalamiento, sino que cierra la válvula de admisión de la turbina.

Relé de sobre carga térmica en el generador (49S)

Es una protección para sobrecalentamientos producidos por distintos tipos de problemas que se presentan en la unidad. Las resistencias detectoras de temperatura o bien, relés de sobre corrientes, están prestos a entrar en funcionamiento cuando se sobrepasa la temperatura admisible.

Relé de (sobre y baja) frecuencia (81)

Protege al generador de un excesivo flujo magnético que podría causar daños a los núcleos de hierro que conforman a la unidad. Para su protección, no mide el flujo directamente, sino que lo calcula por medio de la relación (V/Hz).

Relé de sobre tensión (59)

Protege principalmente a los equipos eléctricos conectados a los terminales del generador ante voltajes que pueden estar por encima de un valor máximo tolerable.

Relé de baja tensión (27)

Esta protección actúa cuando el voltaje de generación ha tenido una caída del 40% del voltaje ajustado.

Relé de sobre corriente (51)

Cubre fallas externas al generador y en ambas direcciones, por lo que resulta una protección complementaria a las protecciones totalmente selectivas como la protección diferencial.

3.6 Distribución de la energía eléctrica.

El punto de generación de energía eléctrica se encuentra apartado de la carga, para lo cual se necesita una pequeña red de distribución, la cual será ubicada estratégicamente para acortar distancias, reducir las pérdidas energéticas en el conductor y reducir costos. Esta red tiene como objetivo suministrar de energía eléctrica a la vivienda ubicada en la hacienda “Las Garzas”.

La red de distribución inicia a partir del punto de generación (casa de máquinas) y es de baja tensión trifásica de 220 voltios, la tiene una longitud aproximada de 128 metros, la red llegará a un tablero de distribución ubicado en el centro de carga.

El tipo de aislamiento para el conductor es el tipo TTU, el cual es apto para instalaciones a la intemperie o directamente enterrados-

En la Figura 61 se muestra un esquema unifilar de la red de distribución.

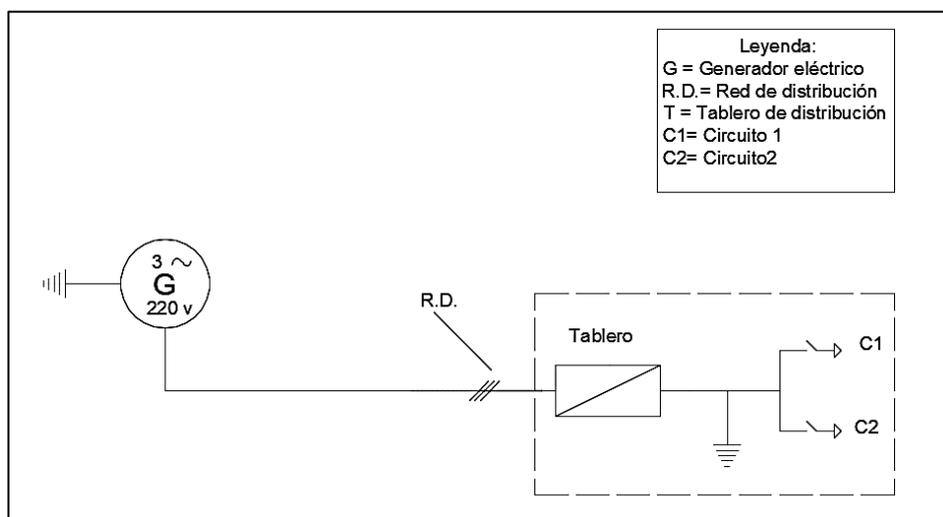


Fig. 61. Diagrama unifilar de la red de distribución.
Fuente: Autor.

3.6.1 Cálculo de la caída de tensión en el conductor.

Para saber cuál es la sección del conductor se usa la metodología de caída de tensión, con el fin de conocer la sección necesaria para los conductores y la corriente máxima que pueden transportar. Los resultados se muestran en la Tabla 3.7. Para calcular caída de tensión en el conductor se aplica la Ecuación 19. (Areatecnología, 2018).

$$S = \rho_{cu} \frac{\sqrt{3} * L * I}{\Delta V} \quad (19)$$

Dónde:

S= Sección del conductor (mm²).

ρ_{cu} =Resistividad del cobre (0.01768 ohm).

L= Longitud del conductor (m).

I= Intensidad de la carga r (A).

ΔV = Caída de tensión (V).

TABLA 3.7 Cálculos para la red de distribución.

Distancia (m)	Corriente (A)	Voltaje de generación(V)	Caída de tensión (V)	Sección (mm2)	Calibre (AWG)	Voltaje en la carga (V)
C.G → C.C. = 130	2	220	1.87 V (0.85%)	4	12	218.13

Fuente: Autor

Donde:

C.G → C.C = Distancia desde el centro de generación hasta el centro de carga.

Se calculó la sección del conductor con el tramo total de 130 m, con un voltaje de generación de 220V, de un sistema trifásico y con una corriente de 2 amperios para la carga.

Según se muestra en la Tabla 3.7 el conductor que se requiere para la implementación de la red es el de 12 AWG.

3.7 Análisis económico.

En este apartado se realiza el análisis de los costos del proyecto, dando a conocer la inversión necesaria para su implementación, además se busca conocer si es beneficioso desde el punto de vista económico ejecutar el proyecto o por el contrario la ejecución del proyecto generará una pérdida al inversionista.

Los costos de la implementación de la micro central hidroeléctrica se los distribuirá de la siguiente forma:

- Obras civiles
- Partes electromecánicas
- Red de distribución eléctrica

Se incluirán en este análisis los siguientes indicadores:

- VAN
- TIR
- Relación costo- beneficio

A continuación, en la Tabla 3.8 se presenta un desglose de los materiales y equipos necesarios para implementar la planta hidroeléctrica con sus respectivos costos tomados de mercados de plataformas digitales nacionales e internacionales.

TABLA 3.8 Materiales necesarios para implementar la micro central hidroeléctrica.

Obras civiles				
ítem	Unidad	Costo unitario	Cantidad	Costo total
Bocatoma de agua	m ²	50	1	50
Rejilla	m ²	15	1	15
Tubería de polietileno 3"	m	1.10	286	314.60
Codo a 45°de 3"	Global	1.5	3	4.50
Tanque de carga	m ²	50	5	250
Compuerta	m ²	25	1	25
Rejilla	m ²	15	1	15
Tubería de polietileno 2"	m	1.10	65	71.50
Válvula 2"	Global	7	1	7
Casa de máquinas	m ²	50	7.20	360
Misceláneos	-	-	-	100
Subtotal			1212.60	
Equipo electromecánico				
Grupo generador (Turbina-Generador)	Global	783	1	783
Tablero de control (Regulador de velocidad- Regulador de tensión)	Global	100	1	100
Protecciones eléctricas	Global	6.25	3	18.75
Importación de equipos	Global	-	-	108.21
Subtotal			1009.96	
Red de distribución				
Conductor (TTU- 12AWG)	m	0.40	390	156

Tablero de distribución (3P-3C)	Global	25	1	20
Varilla copperweld	Global	8	1	8
Subtotal			184	
Total			2406.56	

Fuente: Autor.

El costo total de inversión de la micro central hidroeléctrica es de 2406,56 USD.

La producción de energía eléctrica se considerará que sea constante a lo largo de la vida útil de la micro central. Además, se obtendrá ingresos por la venta de energía eléctrica la cual tendrá un consumo aproximado de 18 horas diarias durante los 365 días de año, los cuales consumirán la energía producida por la micro central (675 W), obteniendo 4434.75 kWh anuales.

El kWh de energía eléctrica para la tarifa residencial en Ecuador es de aproximadamente 9 centavos de dólar y en la Tabla 3.9 se muestran los ingresos obtenidos.

TABLA 3.9 Ingresos por la generación eléctrica

Energía (kWh) al año	Tarifa del kWh (USD)	Total (USD)
4434.75	0.09	399.13

Fuente: Autor.

Anualmente se tendría un ingreso de 399.13 USD y se establece que la vida útil del proyecto sea de 20 años, la tasa de interés de la inversión será del 2 % y se aproxima que la inversión se recupere en 5 años.

3.7.1 Indicador VAN.

El valor actual neto (VAN) es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. Se calcula el VAN por medio de la Ecuación 20. (Baca, 2013).

$$VAN = \sum_{t=1}^T B_t (1+r)^{-t} - \sum_{t=1}^T C_t (1+r)^{-t} \quad (20)$$

Dónde:

B_t = Beneficio anual del proyecto

C_t = Costo anual del proyecto

$(1+r)^{-t}$ = Factor de actualización

T = Número de años de vida útil del proyecto

t = Período de capitalización (tiempo)

Criterios:

Si VAN > 0 El proyecto generará ganancia económica.

Si VAN = 0 El proyecto no generará ganancia ni pérdida económica.

Si VAN < 0 El proyecto generará una pérdida económica.

3.7.2 Indicador TIR.

La Tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión. El TIR se obtiene mediante el cálculo de Ecuación 21. (Baca, 2013).

$$TIR = \sum_{t=1}^T B_t (1+r)^{-t} - \sum_{t=1}^T C_t (1+r)^{-t} = 0 \quad (21)$$

Dónde:

B_t = Beneficio anual del proyecto

C_t = Costo anual del proyecto

$(1+r)^{-t}$ = Factor de actualización

T = Número de años de vida útil del proyecto

T = Período de capitalización (tiempo)

Criterios:

Si TIR ≥ Tasa de descuento

El proyecto generará ganancia económica.

Si TIR < 0 Tasa de descuento

El proyecto generará una pérdida económica.

Empleando las Ecuaciones 20 y 21, se calculó los valores correspondientes al VAN y al TIR y se muestran en la Tabla 3.10.

TABLA 3.10 VAN y TIR.

Año	Ingresos	Egresos	Flujo de efectivo neto	Tasa de descuento
0		\$ 2406,56		2%
1	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
2	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
3	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
4	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
5	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
6	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
7	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
8	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
9	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
10	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
11	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
12	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
13	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
14	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
15	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
16	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
17	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
18	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
19	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
20	\$ 399,13	\$ 60,00	\$ 349,13	
VAN			3138,70	
TIR			12,9%	

Fuente: Autor.

El valor actual neto (VAN) obtenido es mayor a cero por lo tanto es un valor favorable, puesto que la implementación de este proyecto tendrá ganancias durante la vida útil del mismo.

La tasa de interés de retorno (TIR), de igual manera que el VAN es beneficiosa para el proyecto y tiene un valor superior a la tasa de interés propuesta en el cálculo, estos indicadores muestran que es viable implementar el proyecto.

3.7.3 Relación costo-beneficio.

El análisis costo-beneficio es una herramienta financiera que mide la relación que existe entre los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión, es más conocido

con el nombre de índice de rentabilidad. Se calcula por medio de la Ecuación 22. (Sánchez & García, 2014)

$$IR = \frac{\sum_{j=0}^n \frac{B_j}{(1+i)^j}}{\sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+i)^j}} \quad (22)$$

Dónde:

IR = índice de rentabilidad

B_j = Flujo neto positivo en el período j

C_j = Flujo neto negativo en el período j

i = Tasa de descuento

n = Horizonte de evaluación

Criterios:

Si IR > 1 la inversión generará ganancias económicas

SI IR= 1 la inversión no generará ni ganancias ni pérdidas económicas

Si IR < 1 la inversión producirá pérdidas económicas

Mediante el uso de la Ecuación 22, se calcula el índice de rentabilidad (Tabla 3.11), también conocido como relación beneficio/costo

TABLA 3.11 Índice de rentabilidad.

Costo/Beneficio	
Horizonte de evaluación	20
Tasa de descuento	2%
Flujo neto positivo	\$ 5.545,26
Flujo negativo	\$ 2.406,56
Índice de rentabilidad	2,3

Fuente: Autor.

El índice de rentabilidad obtenido es mayor que la unidad, por lo cual se demuestra que el proyecto es beneficioso y generará ingresos económicos.

Conclusiones

- Una micro central hidroeléctrica, se basa y tiene el mismo funcionamiento que una central hidroeléctrica habitual, pero a menor escala, su instalación tiene como propósito generar energía eléctrica renovable, la cual es limpia e inagotable. Aprovecha la energía potencial gravitatoria que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel de altura, los mismos son los limitantes para dimensionar su capacidad de acuerdo con la potencia a generar y su emplazamiento. Este tipo de instalaciones requieren distintas obras civiles como la bocatoma de agua, obras de conducción, tanque de carga, tubería de presión y equipos electromecánicos como la turbina y el generador eléctrico. Cada parte cumple una función determinada en el proyecto desde captar el agua, hasta el punto de transformar la energía mecánica en energía eléctrica.
- Se determinó una demanda energética de 280 watts en la hacienda “Las Garzas”, la cual corresponde a electrodomésticos e iluminación, en la medición del recurso hídrico se obtuvo un caudal de 5 l/s mediante el método del recipiente, y en el análisis topográfico del sitio se obtuvo un salto geodésico neto de 18 metros con relación a la altura sobre el nivel del mar de la bocatoma de agua con respecto a la casa de máquinas. A partir de estos datos se calculó la potencia teórica que puede generar la micro central, la cual es de 888 W, la cual satisface la demanda y el excedente se aprovechará posteriormente en un pequeño complejo turístico, destinando la energía para calefacción. Posteriormente se hace un análisis de las obras civiles de acuerdo con los datos calculados.
- La selección de los componentes electromecánicos de la micro central como turbina hidráulica, generador eléctrico, elementos de regulación, control, protección y distribución están dimensionados de acuerdo con la potencia eléctrica generada y la carga considerando las pérdidas producidas en la transformación de la energía y la eficiencia de los equipos. La potencia eléctrica generada es de 675 W, con una corriente nominal de 2 amperios, el voltaje que se suministrará a la carga es de 220v trifásico con una frecuencia de 60 Hz. Mediante un conductor calibre 12 AWG del tipo TTU, la caída de voltaje en el conductor es de 1,87 voltios. Al efectuarse el análisis económico de los costos de los componentes de la micro central hidroeléctrica, se necesita 2406.56 USD para su implementación. Por último, se calculó los índices del VAN, TIR e índice de rentabilidad, los cuales son favorables para el proyecto, recuperando la inversión en 5 años y generando ingresos económicos.

Recomendaciones

- Se debe seguir fomentando el estudio de energías renovables limpias, en la carrera de electricidad para aprovechar los recursos naturales que posee la provincia de Imbabura, además de lograr desarrollar y experimentar los conocimientos adquiridos en las aulas de clase para brindar aportes científicos al país.
- Para futuros proyectos se recomienda contar con datos hidrológicos de al menos un año para observar el comportamiento del caudal a lo largo de los meses y tener una mayor precisión para la generación de energía eléctrica.
- Se debe analizar un sistema de almacenamiento de energía mediante un banco de baterías y un inversor para aumentar la capacidad de la micro central hidroeléctrica, la cual puede ser un respaldo para cuando existan horas pico en el uso de energía eléctrica, además aprovechan las horas en las que la carga esta desconectada para almacenar energía.
- Realizar reformas legales para contemplar incentivos económicos y también eliminar aranceles para importar equipos como turbinas o generadores que contribuyan a la generación de energía eléctrica en pequeña escala a partir de fuentes renovables limpias que no generan gran impacto al ecosistema.
- Al momento de ubicar las obras civiles y destinar el sitio para su construcción se debe tomar en cuenta tener el mayor salto geodésico posible desde el tanque de carga hacia la casa de máquinas en donde se encuentra la turbina, así se obtendrá una potencia eléctrica mayor.
- Se debe incorporar un laboratorio de energías renovables en la carrera de Ingeniería en Electricidad de la Universidad Técnica del Norte con distintos instrumentos para el análisis, medición y simulación para realizar prácticas y pruebas de aprovechamientos hidro energéticos.

Referencias

- Allasia, D. (7 de Julio de 2013). *Estimación del diámetro económico de una tubería*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/152318599/Ecuacion-de-Bresse>
- Baca, G. (2013). *Evaluación de proyectos*. Mexico D.F: Mc Graw Hill.
- Balluf. (19 de Abril de 2018). *Regular turbinas Pelton*. Obtenido de <https://www.balluff.com>
- Barrado Rodrigo, J. A. (2013). *El generador de inducción autoexcitado*. México: Alfaomega.
- Bengoa, J. (24 de Enero de 2017). *Análisis de altura neta y potencia generada para una turbina Pelton*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/marcwilynarshover/anlisis-de-altura-neta-y-potencia-generada-para-una-turbina-pelton>
- Bigordá, T. (19 de Enero de 2018). *Renovables verdes*. Obtenido de <https://www.renovablesverdes.com>
- Blanco, A. (1 de Junio de 2018). *OLADE*. Obtenido de <http://www.olade.org/boletines-olade/>
- Canyon Industries. (2014). *Guide to hydro Power*. Obtenido de <http://www.canyonhydro.com/guide/index.html>
- Carta Gonzáles, J. A., & Pérez, R. C. (2013). *Centrales de energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables, 2. edición*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Collazos Pino, A., Sánchez Barón, V. H., & Ortiz Flores, R. (Cali de Cali de 2015). *Microcentrales hidroeléctricas con aplicación de máquinas reversibles*. Cali: Universidad del Valle.
- Coz, F., Sánchez, T., & Viani, B. (Febrero de 1996). *MANUAL DE MINI Y MICROCENTRALES HIDRÁULICAS*. Obtenido de UNA GUÍA PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS: http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/archivos_grandes/002_microhidrocentrales.pdf
- Creus, A. (2014). *Energías Renovables/2a.Edición*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Cuesta, L., & Vallarino, E. (2015). *Aprovechamientos hidroeléctricos*. Madrid: Garceta.
- Curiosfera. (5 de Julio de 2018). *Cómo funciona una central hidroeléctrica*. Obtenido de <https://www.curiosfera.com>

- Dávila, C., Vilar, D., Villanueva, G., & Quiroz, L. (2010). *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima: Forma e Imagen.
- Díaz, J. (2015). *Sistemas de energías renovables*. Madrid: parainfo.
- Ecovive. (13 de Febrero de 2018). *Centrales Hidroeléctricas Según la Afluencia del Caudal*. Obtenido de <https://ecovive.com>
- ECUATRAN. (20 de Junio de 2018). *La energía renovable en Ecuador*. Obtenido de <http://www.ecuatran.com/blog/la-energia-renovable-en-ecuador/>
- Enertec Spa. (1 de Marzo de 2016). *Genera tu propia energía*. Obtenido de Microhidro: <http://www.minenergia.cl>
- González, M. (Febrero de 2009). *Máquinas de fluidos*. Obtenido de Turbina pelton: https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/6771/mod_resource/content/1/maquinas_fluidos/tema-6-turbinas-pelton.pdf
- Google Maps. (30 de Octubre de 2019). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps/place/0%C2%B016'31.9%22N+78%C2%B025'29.4%22W/@0.2756775,-78.4314523,15z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d0.2755222!4d-78.4248315!5m1!1e4>
- INAMHI. (30 de Junio de 2017). *Anuario meteorológico 2013*. Obtenido de http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf
- Ingeoexpert. (22 de Marzo de 2018). *Cómo funciona una central hidroeléctrica y cuál es su estructura interna*. Obtenido de <https://ingeoexpert.com/como-funciona-una-central-hidroelectrica/?v=3fd6b696867d>
- IREM. (12 de Diciembre de 2019). *Pico Hydro*. Obtenido de Ecowatt Hydro: <https://www.irem.it/es/hydro-power/instalaciones-en-isla/>
- Jarauta Rovira, L. (2015). *Las energías renovables*. Barcelona: Editorial UOC.
- Kundur, P. (29 de Enero de 2013). *Sistema de excitación de la máquina síncrona*. Obtenido de Power System Stability and Control: <https://es.slideshare.net/Leonidas-unosistema-deexcitaciondelamaquinasincronica>

- Mállitasig, O., & Tapia, L. (2009). MODELACIÓN Y DISEÑO DIGITAL PARA MICRO CENTRALES DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA. *XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA*, 1-11.
- MEER. (20 de Octubre de 2018). *Construcción de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Obtenido de <http://www.olade.org>
- Megaconstrucciones. (30 de Agosto de 2015). *Embalse de Piedra del Águila*. Obtenido de <http://megaconstrucciones.net/?construccion=embalse-piedra-aguila>
- Mera Velasco, J. H. (Julio de 2000). *Diseño del sistema eléctrico y de control de una mini central hidroeléctrica de 100 kW*. Obtenido de Repositorio digital: <https://bibdigital.epn.edu.ec>
- Mera, J. (Julio de 2000). *Diseño del sistema eléctrico y de control de una minicentral hidroeléctrica de 100 kw*. Obtenido de Repositorio EPN: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5794>
- Nicola, G. (1990). *Las microcentrales hidráulicas*. Ambato: Casa de la Cultura Ecuatoriana.
- OLADE. (24 de Septiembre de 2016). *Organización Latinoamericana de Eneqía*. Obtenido de <http://www.olade.org>
- Ortiz Flórez, R. (5 de Febrero de 2011). *Hidráulica : Generación de energía*. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com>
- Ortiz, R. (2011). *Pequeñas centrales hidroeléctricas*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Picón, M. (8 de Julio de 2017). *Flujo en tuberías y pérdidas*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/miguelbula75/problema-2-flujo-en-tuberas-y-prdididas>
- PLASTIGAMA. (5 de Julio de 2018). *Conducciones de polietileno alta densidad PE100*. Obtenido de Acuaflex: <https://plastigama.com/wp-content/uploads/2018/07/Acuaflex-2018.pdf>
- Prieto, J. (2016). *Máquinas e instalaciones hidráulicas y eólicas*. Madrid: Dextra.
- Redondo, j. (24 de Enero de 2018). *Centrales hidroeléctricas: Qué son, tipos y funcionamiento de las centrales en España*. Obtenido de Erenovable: <https://erenovable.com/centrales-hidroelectricas/>
- Renovablesverdes. (13 de Septiembre de 2018). *Central hidráulica: Funcionamiento y tipos*. Obtenido de <https://www.renovablesverdes.com/central-hidraulica/>

- RIVAL. (8 de Agosto de 2018). *Tuberías de polietileno de alta densidad*. Obtenido de plasticosrival:
http://plasticosrival.com/files/products/polyethylene/catalogue/PR_Polietileno_AltaDensidad.pdf
- S.F. Applicality Ltd. (22 de Mayo de 2019). *Mobile topographer*. Obtenido de https://play.google.com/store/apps/details?id=gr.stasta.mobiletopographer&hl=en_US
- Sánchez, A., & García, V. (2014). Evaluación de la prefactibilidad de un sistema de generación eléctrica a partir de biogás con estiércol de ganado vacuno o porcino en Cundinamarca. *Revista Tekhnê*. Vol. 11., 37–50.
- Sanz Osorio, J. F. (2016). *Energía hidroeléctrica (2a. ed.)*. Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- SENA. (11 de Enero de 2013). *Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas*. Obtenido de <https://www.thefreelibrary.com>
- Sierra Vargas, F. E., & Sierra Alarcón, A. F. (2014). Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas alternativa real de generación. *Informador Técnico*, 73-85.
- Soluciones Prácticas. (2010). *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima: Forma e imagen.
- Soluciones Prácticas. (2010). *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima: Forma e Imagen.
- Stanley. (25 de Octubre de 2019). *Flexómetros*. Obtenido de <https://www.stanleyworks.es/search/flexometro>
- Todoproductividad. (15 de Noviembre de 2011). *Aprendiendo a diseñar pequeñas centrales hidroeléctricas*. Obtenido de <http://todoproductividad.blogspot.com>
- Torres, H. (Septiembre de 2006). *SISTEMAS DIGITALES DE CONTROL DE CARGA Y REGULACIÓN DE VELOCIDAD (DIGIPID), PARA LA ESTABILIDAD DE FRECUENCIA EN PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS*. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0139_ME.pdf
- Unidad de Planeación Minero Energética. (9 de Octubre de 2015). *Atlas potencial hidroeléctrico de Colombia*. Obtenido de Hidroenergía: http://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf

Vásquez Huaricocha, V. R. (Agosto de 2015). *Estudio y diseño de un sistema micro-hidroeléctrico para generación y abastecimiento de energía eléctrica mediante energía renovable para una vivienda típica del sector de Sinincay*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10515/1/UPS-CT005495.pdf>

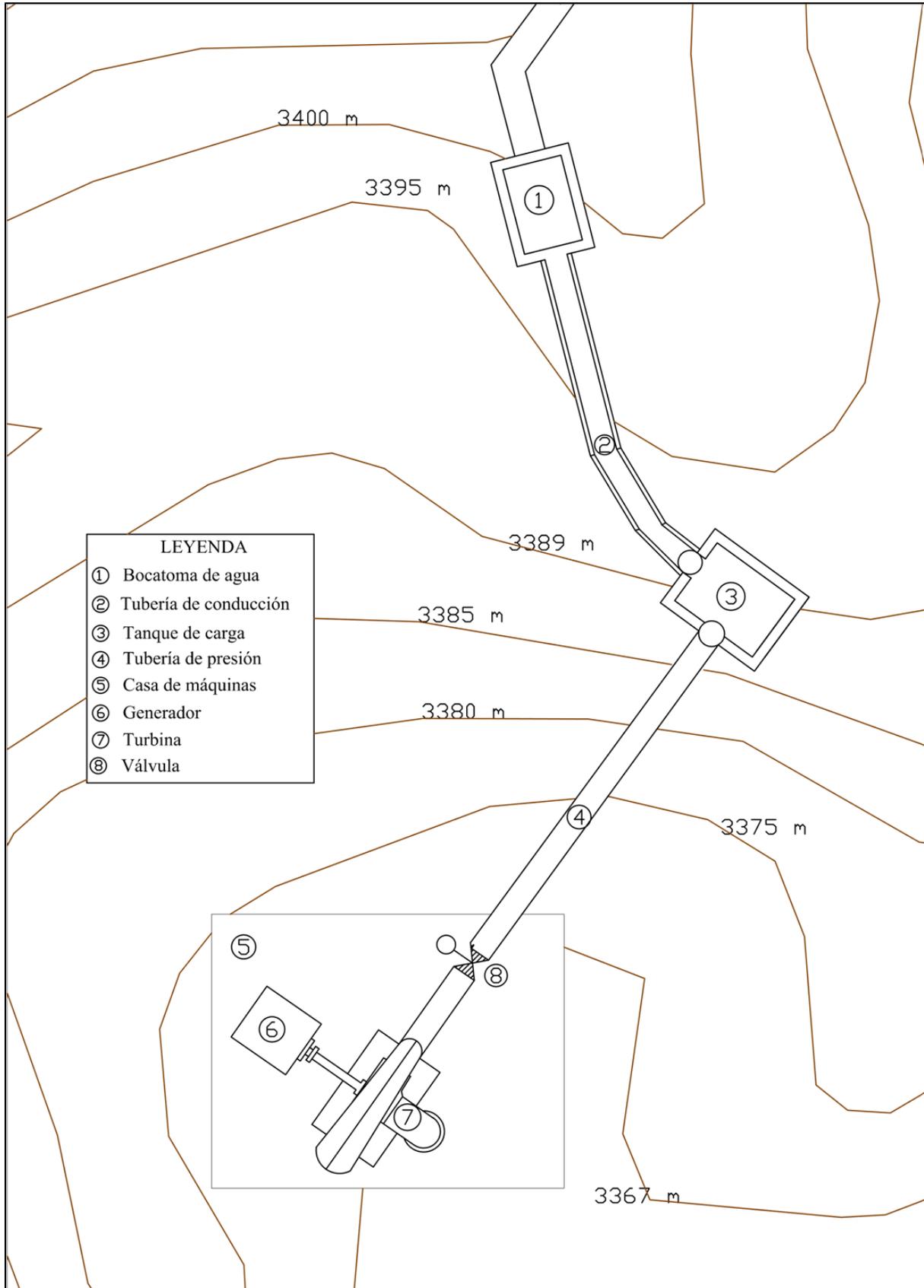
Villanueva, G. (2010). *Manual para la evaluación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima: Soluciones Prácticas.

Zandanel, A. (2016). *Introducción a la física: La energía: transformaciones, transferencias y su aprovechamiento*. Buenos Aires: Editorial Maipue.

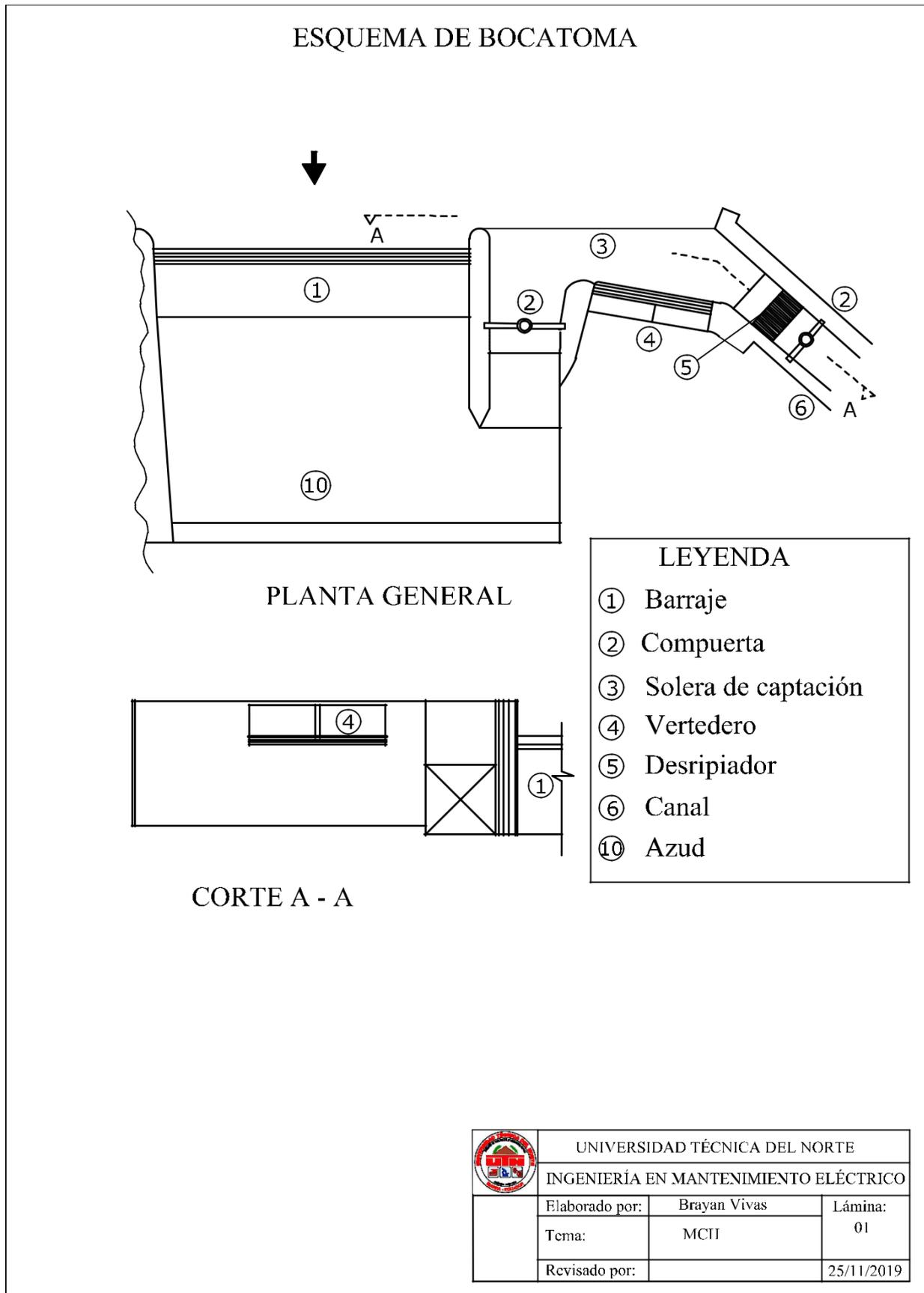
Zandanel, E. (2016). *Introducción a la física: la energía: transformaciones, transferencias y su aprovechamiento*. Buenos Aires: Editorial Maipue.

Anexos

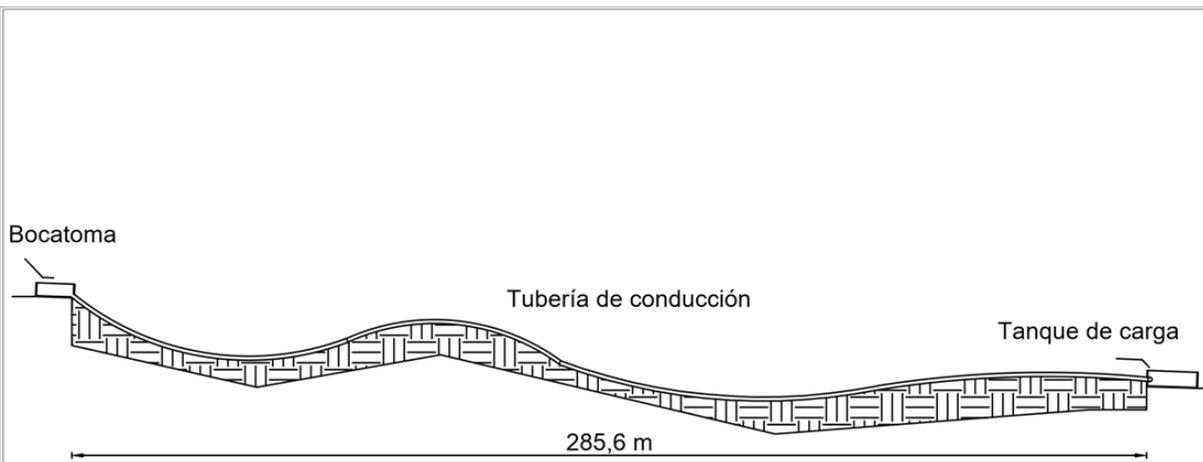
Anexo A. Obras civiles sobre curvas de nivel.



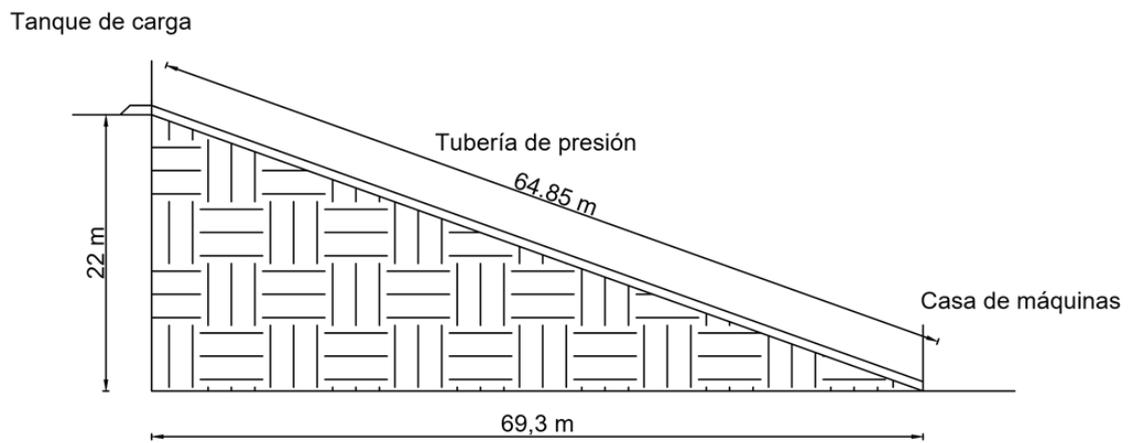
Anexo B. Diseño de la bocatoma de agua.



Anexo C. Tuberías de conducción y presión.



Sección A

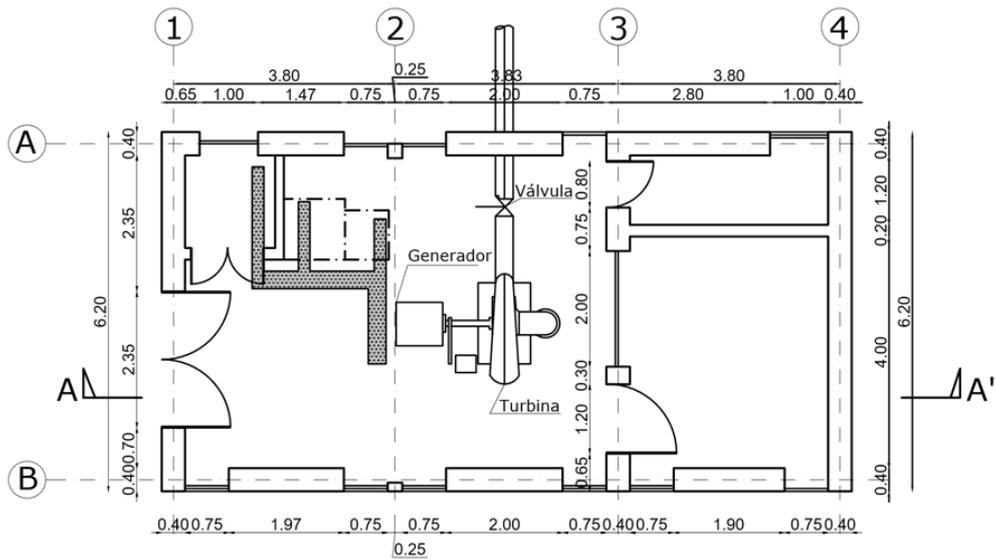


Sección B

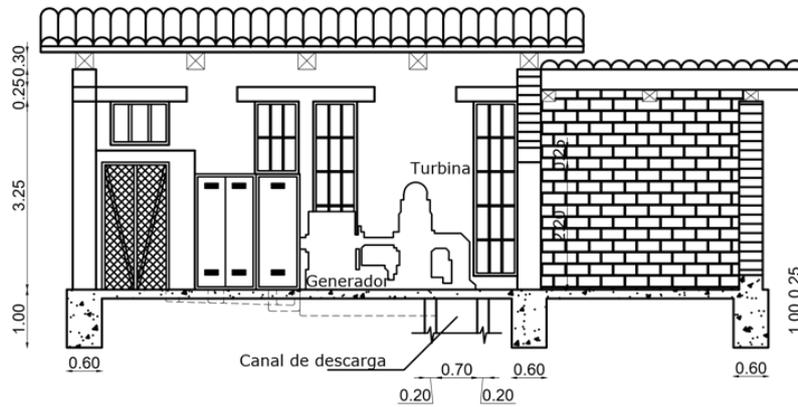
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO	
Elaborado por:	Brayan Vivas	Lámina:
Tema:	MCH	02
Revisado por:		25/11/2019

Anexo C. Diseño de la casa de máquinas.

CASA DE MÁQUINAS



PLANTA GENERAL

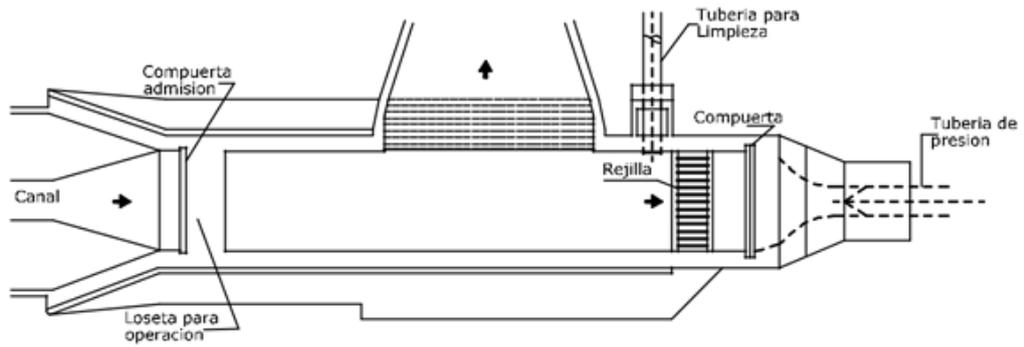


CORTE A - A'

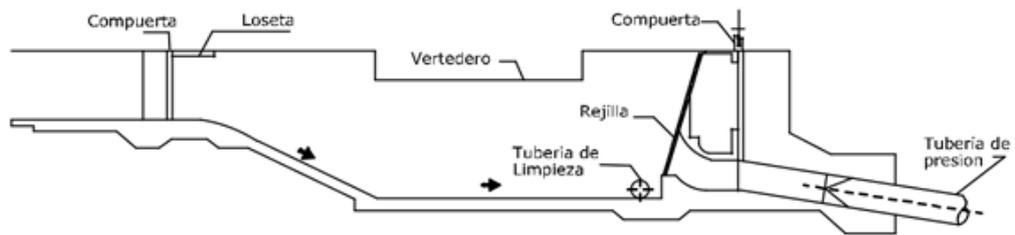
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO	
Elaborado por:	Brayan Vivas	Lámina:
Tema:	MCH	03
Revisado por:		25/11/2019

Anexo D. Diseño tanque de carga.

TANQUE DE CARGA



PLANTA GENERAL

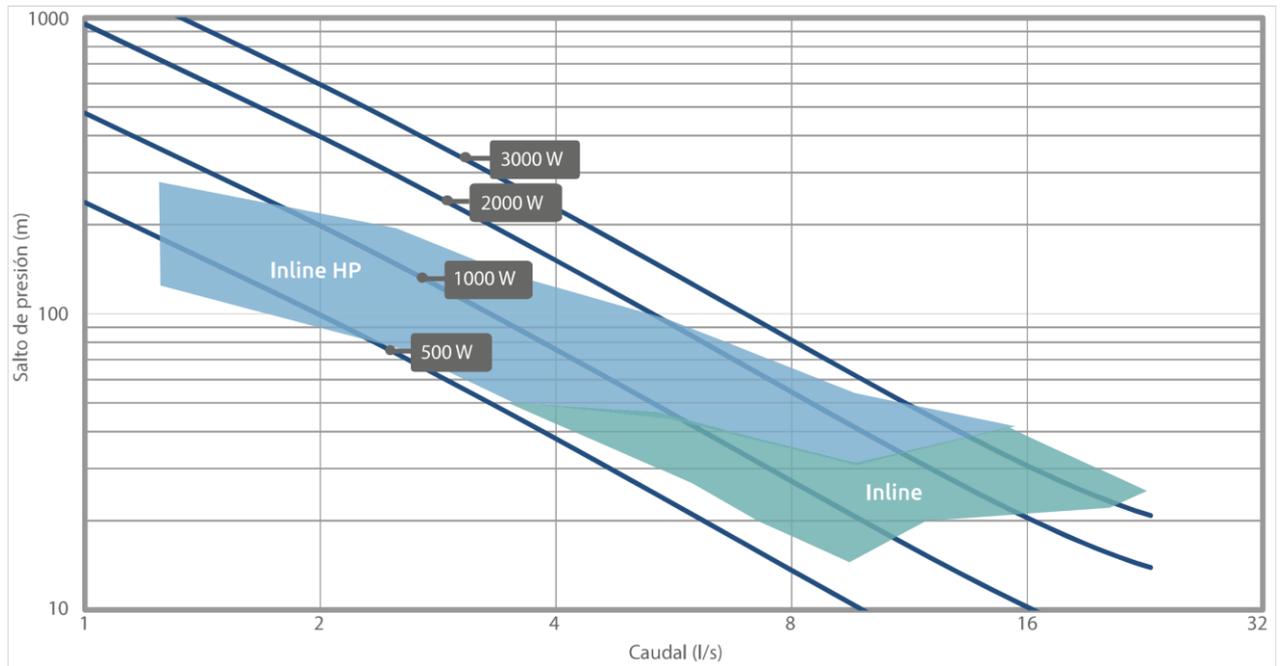


ELEVACIÓN

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO	
Elaborado por:	Brayan Vivas	Lámina:
Tema:	MCH	04
Revisado por:		25/11/2019

Anexo E. Salto de presión vs caudal. (Tecnoturbinas, 2020)

Rango de operación



Anexo F. Características técnicas de la turbina INLINE. (Tecnoturbinas, 2020)

Especificaciones de la turbina			
TIPO DE TURBINA	INLINE	INLINE R	INLINE HP
SISTEMA DE CONTROL ASOCIADO	Microregen o Hydroregen	Hydroregen	Microregen o Hydroregen
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
DISEÑO	Acoplamiento directo en línea con la conducción existente		
MONTAJE	Eje vertical u horizontal	Eje vertical	Eje vertical u horizontal
ACOPLAMIENTO	Bridas según EN1092-2		Bridas según EN 1092-2 ó rosca según EN ISO 228-1
DIÁMETROS DE ENTRADA/SALIDA mm (SEGÚN MODELO)	32 a 200	150 a 350	25 a 125
ESTANQUEIDAD	Cierre mecánico		
TIPO DE COJINETE	Rodamiento estándar de bolas		
FLUIDOS TURBINABLES	Agua potable, agua de riego, agua bruta de río, agua caliente sanitaria y agua de refrigeración		
MATERIALES			
CUERPO PRINCIPAL	Fundición gris		Acero inox AISI 304
RODETE	Fundición gris, bronce o acero inoxidable		Acero inox AISI 304
EJE	Acero templado		Acero inox AISI 304
ACOPLE GENERADOR	Fundición gris		Fundición gris
JUNTAS	DPAF, libre de asbestos		EPDM
CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO (Según modelo)			
SALTO DE PRESIÓN [m]	10 a 198	10 a 135	25 a 400
CAUDAL [litros / segundo]	8 a 150	105 a 510	1 a 45
PRESIÓN MÁXIMA [bar]	16	16 (opcional 25)	16 a 40 según modelo
VELOCIDAD NOMINAL [RPM]	1500 o 3000	1000 a 1500	1500 o 3000
TEMPERATURA FLUIDO [°C]	-30 a 140		-20 a 140
EFICIENCIA GLOBAL [%]	50 a 75	70 a 78	45 a 68
			
TURBINA INLINE	INLINE R		TURBINA INLINE HP

Anexo G. Características eléctricas del generador y cuadro de control. (Tecnoturbinas, 2020)

Especificaciones eléctricas		
SISTEMA DE CONTROL	MICRO REGEN	HYDRO REGEN
GENERADOR ELÉCTRICO		
TIPO	3 fases, síncrono de imanes permanentes, IEC TEFC	3 fases, asíncrono de jaula de ardilla, IEC TEFC
VOLTAJE DE SALIDA [VAC]	160 a 272	400
AISLAMIENTO ELÉCTRICO	Clase F (155)	
EFICIENCIA	IE4	IE2 o IE3 (según modelo)
IP	IP55	
CONEXIÓN A RED		
RANGO DE TENSIÓN DE LA RED [VAC]	180 a 264 (1 fase) 320 a 480 (3 fases)	380 a 480 (3 fases) 500 a 690 (3 fases) dependiendo de la potencia
RANGO DE FRECUENCIA DE LA RED [HZ]	50±3 o 60±3	47 a 63
POTENCIA DE SALIDA [kW]	2 a 25 (según modelo)	25 a 900 (según modelo)
$\cos \phi$	0.9 -1	1
PROTECCIONES		
PROTECCIONES ESTÁNDAR	Sobretensión, sobrecorriente, cortocircuito y embalamiento.	
PROTECCIONES DE CONEXIÓN A RED ⁽²⁾	Anti-isla, huecos de tensión, tiempo seguro de reconexión, límites de voltaje, límites de frecuencia y otras configurables de acuerdo con la normativa local vigente de cada país.	
CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL CUADRO DE CONTROL		
TEMPERATURA DE TRABAJO / TEMPERATURA DE REFRIGERACIÓN	-20 a +60°C (máximo recomendado 45°C)	-10 a 55°C (máximo recomendado 40°C)
HUMEDAD	10 a 90% sin condensación	10 a 90% sin condensación
ALTITUD [m]	2000 sin perder prestaciones	1000 sin perder prestaciones
IP CUADRO DE CONTROL	IP65	IP33 (opcional IP54)
(2) Programadas en fábrica para cumplir con el código de conexión a red vigente en cada país.		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>SISTEMA MICRO REGEN</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>SISTEMA MICRO REGEN</p> </div> </div>		

Anexo H. Cotización del grupo (turbina-generador) tipo XJ18-0.75DCT4-Z

Hydro Turbine Catalogue				
Type	Head	Flow	PM Generator	Price
	(m)	(m³/s)	(KW)	USD
XJ14-0.3DCT4-Z	12/14	3-5	0.3	419.00
XJ18-0.5DCT4-Z	12/18	5-7	0.5	580.00
XJ18-0.75DCT4-Z	14-18	5-8	0.75	783.00
XJ25-1.5DCT4-Z	18-25	8-11	1.5	1645.00
XJ25-1.5DCTH4-Z	15	12-18	1.5	1844.00
XJ25-3.0DCT4-Z	25-35	15-19	3	2633.00
XJ25-3.0DCTF4-Z	18-20	18-30	3	2887.00
XJP28-6.0DCT4/6-Z	28-35	30-38	6	5506.00
XJP28-6.0DCTF4/6-Z	18-20	38-50	6	5743.00
XJP30-10DCT4-Z	30-38	40-50	10	9355.00
XJP30-10DCTF4/6-Z	25-30	50-60	10	9654.00
XJP30-12SCTF4-Z	28-35	50-60	12	11226.00
XJP30-15SCTF4/6-Z	30-40	60-70	15	12349.00
XJP30-20SCTF4/6-Z	30-45	60-100	20	16465.00
XJ38-30SCTF4/6-Z	38-45	90-120	30	23521.00

Anexo I. Características del conductor (Electrocables, 2020)

> TTU - 2000 V

Conductor de cobre para 2000 V aislado con polietileno (PE) y chaqueta de policloruro de vinilo (PVC), resistente a la humedad y calor. Puede ser enterrado directamente.



> APLICACIONES

Los conductores de cobre tipo TTU-2.0 kV. son utilizados para circuitos de fuerza y alumbrado en edificaciones industriales y comerciales, son especialmente aptos para instalaciones a la intemperie o directamente enterrados. Este tipo de conductor puede ser usado en lugares secos y húmedos, su temperatura máxima de operación es 75 °C y su tensión de servicio para todas las aplicaciones es 2.000 V.

> ESPECIFICACIONES

Los conductores de cobre tipo TTU-2.0 kV. fabricados por ELECTROCABLES C.A., cumplen con las siguientes especificaciones y normas:

ASTM B3:	Alambres de cobre recocido o suave.
ASTM B8:	Conductores trenzados de cobre en capas concéntricas.
ASTM B787:	Conductores trenzados de cobre de 19 hilos, formación unilay para ser aislados posteriormente.
ANSI/NEMA WC-70: (ICEA S-95-658)	Cables de potencia nominal 2000 V. o menos, para distribución de energía eléctrica.

> CONSTRUCCIÓN

Los conductores tipo TTU-2.0 kV. son cableados y están contruidos con cobre de temple suave, están además aislados con una capa uniforme de material termoplástico polietileno (PE) resistente a la humedad y al calor, sobre la cual se aplica una cubierta protectora de policloruro de vinilo (PVC). Se suministran en color negro siempre y con distintas formas de embalaje.

Anexo J. Cotización del conductor (Electrocables, 2020)

Quito, 24 de Enero del 2020

Señor
Brayan Vivas
Presente



De mi consideración:

Nos complace hacerle llegar nuestra mejor oferta para los conductores por Ud, requeridos:

ITEM	CANT/M	DESCRIPCION	PRECIO UNIT. USD	PRECIO TOTAL USD
1	130	CABLE TTU # 12 2000V 90°C	0,399	51,87
		SUMAN		51,87
		IVA 14%		16,18
		TOTAL		<u>68,05</u>

CONDICIONES GENERALES DE LA OFERTA:

VALIDEZ DE OFERTA: 8 días.

TIEMPO DE ENTREGA: Inmediato según stock actual de bodega

FORMA DE PAGO: Contado

Esperamos poder servirlos, cualquier inquietud o comentario no dude en contactarnos.

Cordialmente,
ELECTROCABLES C.A

PABLO GUERRA GALARZA
Teléfonos: 2829-111/ 112/ 113/ 114.
Cel: 0984298894
Fax: 2829-115
Email: pguerra@electrocable.com
www.electrocable.com

Anexo K. Características de las tuberías (RIVAL, 2018)



DESCRIPCIÓN

Las Tuberías para presión de Polietileno PLÁSTICOS RIVAL color azul o color negro con rayas azules longitudinales son fabricadas con polietileno alta densidad virgen (PEAD o HDPE), exento de cargas y plastificantes.

Los diámetros, presiones de trabajo y demás características de las tuberías se ajustan a las especificaciones de la norma NTE INEN 1744

APLICACIONES

- Conducciones e impulsiones
- Distribuciones de agua
- Tomas domiciliarias

VENTAJAS

FLEXIBILIDAD

Suministro en grandes longitudes o acorde a necesidad

Menor número de uniones

Adaptables a terrenos sinuosos

EXCELENTE RESISTENCIA QUÍMICA Y A LA CORROSIÓN

Inatacables por aguas y suelos corrosivos

EXCELENTE ESTANQUEIDAD

La unión por soldadura garantiza dicha estanqueidad

IMPERMEABILIDAD A LOS GASES

La tubería no tiene porosidad

EXCELENTE RESISTENCIA AL IMPACTO, INCLUSO A BAJAS TEMPERATURAS

Ello favorece su fiabilidad durante la instalación

BAJO COEFICIENTE DE RUGOSIDAD

Mínimas pérdidas de carga y ausencia de incrustaciones

DURADERAS

Vida útil de 50 años como mínimo

pag. (1/2)



TODOS LOS TUBOS...TODOS LOS USOS

www.plasticosrival.com

TUBERÍAS POLIETILENO ALTA DENSIDAD PE 100

FABRICADO BAJO LA NORMA NTE INEN 1744

SELLO DE CALIDAD
INEN
Instituto Ecuatoriano de Normalización
NTE INEN 1744



TUBOS DE POLIETILENO ALTA DENSIDAD PE 100 · ESPECIFICACIONES

DIÁMETRO NOMINAL DN	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)		SERIE DEL TUBO (S)											
			S12,5	S10	S8	S6,3	S5	S4						
			RELACIÓN DIÁMETRO - ESPESOR NORMALIZADA (SDR)											
			SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 9						
			PRESIÓN NOMINAL DE TRABAJO PN											
0,63 MPa	0,8 MPa	1,0 MPa	1,25 MPa	1,6 MPa	2,0MPa	ESPESOR (mm)								
MILÍMETROS	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
20	20,0	20,3	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	2,4	2,3	2,7
25	25,0	25,3	-	-	-	-	-	-	2,0	2,4	2,3	2,7	2,8	3,3
32	32,0	32,3	-	-	-	-	2,0	2,4	2,4	2,8	2,9	3,4	3,6	4,2
40	40,0	40,4	-	-	2,0	2,4	2,4	2,8	3,0	3,5	3,7	4,3	4,5	5,2
50	50,0	50,5	2,0	2,4	2,4	2,8	3,0	3,5	3,7	4,3	4,6	5,3	5,6	6,4
63	63,0	63,6	2,5	3,0	3,0	3,5	3,8	4,4	4,7	5,4	5,8	6,7	7,1	8,2
75	75,0	75,7	2,9	3,4	3,6	4,2	4,5	5,2	5,6	6,4	6,8	7,8	8,4	9,7
90	90,0	90,8	3,5	4,1	4,3	4,9	5,4	6,2	6,7	7,7	8,2	9,4	10,1	11,6
110	110,0	111,0	4,2	4,8	5,3	6,1	6,6	7,6	8,1	9,3	10,0	11,5	12,3	14,1
125	125,0	126,1	4,8	5,5	6,0	6,9	7,4	8,5	9,2	10,6	11,4	13,1	14,0	16,1
140	140,0	141,3	5,4	6,2	6,7	7,7	8,3	9,5	10,3	11,8	12,7	14,6	15,7	18,1
160	160,0	161,4	6,2	7,1	7,7	8,9	9,5	10,9	11,8	13,6	14,6	16,8	17,9	20,6
180	180,0	181,6	6,9	7,9	8,6	9,9	10,7	12,3	13,3	15,3	16,4	19,7	20,1	23,1
200	200,0	201,8	7,7	8,9	9,6	11,0	11,9	13,7	14,7	16,9	18,2	21,8	22,4	25,8
225	225,0	227,0	8,6	9,9	10,8	12,4	13,4	15,4	16,6	19,9	20,5	24,6	25,2	29,0
250	250,0	252,3	9,6	11,0	11,9	13,7	14,8	17,0	18,4	22,1	22,7	27,2	27,9	32,1
280	280,0	282,5	10,7	12,3	13,4	15,4	16,6	19,9	20,6	24,7	25,4	30,5	31,3	36,0
315	315,0	317,8	12,1	13,9	15,0	17,3	18,7	22,4	23,2	27,8	28,6	34,3	35,2	40,5
355	355,0	358,2	13,6	15,6	16,9	19,4	21,1	25,3	26,1	31,3	32,2	38,6	39,7	45,7
400	400,0	403,6	15,3	17,6	19,1	22,0	23,7	28,4	29,4	35,3	36,3	43,6	44,7	51,4
450	450,0	454,1	17,2	19,8	21,5	24,7	26,7	32,0	33,1	39,7	40,9	49,1	50,3	57,8
500	500,0	504,5	19,1	22,0	23,9	27,5	29,7	35,6	36,8	44,2	45,4	54,5	55,8	64,2

PRODUCTO CON GARANTÍA DE PLÁSTICOS RIVAL

RE

Rev:02

Revisado: 2018-08
pag: (2/2)



TODOS LOS TUBOS... TODOS LOS USOS

www.plasticosrival.com

Anexo L. Fotografías



Vía de ingreso a la hacienda "Las Garzas"



Vivienda de la hacienda "Las Garzas"



Visita técnica del sitio de estudio



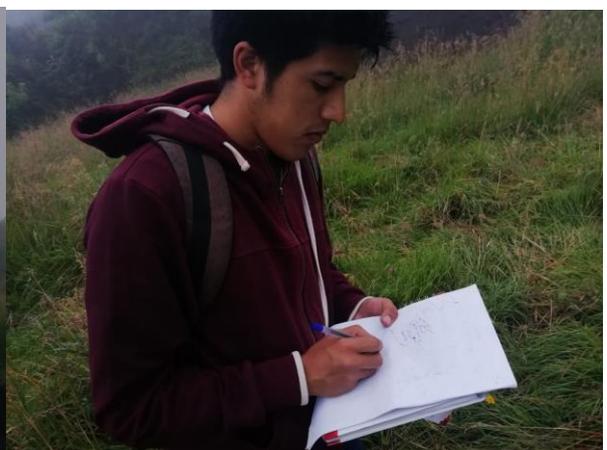
Caudal del sitio



Relieve del sitio



Mediciones del canal del riachuelo



Mediciones de altura de la topografía del sitio



Mediciones de caudal