

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

INGENIERÍA ELÉCTRICA

**INFORME FINAL DEL PROYECTO DE RESIDENCIA
PROFESIONAL**

**“PROYECTO EJECUTIVO PARA LA CREACIÓN DE
CENTRAL MICRO HIDROELÉCTRICA”**

DESARROLLADO POR

**CARPIO CÁRDENAS SERGIO
GUILLEN VIVES JORGE RAFAEL**

10270553

10270583

ASESOR

Dr. RUBÉN HERRERA GALICIA

Tuxtla Gutiérrez, Chis. (12 DE JUNIO DE 2015)



CAPITULO I

1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Estado del arte.....	2
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos	5
1.5 Metodología.....	6

CAPITULO II

2.1 Caracterización Del Área En Que Se Participó.....	10
2.2 Antecedentes de la empresa.....	10
2.3 Organigrama de la Empresa.....	10
2.4 Misión, Visión y Valores.....	11
2.5 Descripción Del Área Donde Se Realizó El Proyecto.....	11

CAPITULO III

3. Fundamento Teórico	12
3.1 Potencial Hidrico.....	12
3.2 Obra Civil.....	15
3.3 Turbina.....	22
3.4 Generador.....	25
3.5 Inversor.....	27
3.6 Protecciones.....	30

CAPITULO IV

4. Desarrollo.....	42
4.1 Diseño de Obra Civil.....	42
4.2 Diseño de Turbina.....	58
4.3 Dimensionamiento del inversor.....	72
4.4 Programación de protecciones.....	82

Anexos

Anexo A.....	86
Anexo B.....	118

Capítulo I

1. Introducción

1.1 Antecedentes

La energía eléctrica se ha convertido en una necesidad para todas las personas. En Chiapas parte de la población no cuenta con este servicio por razones culturales, económicas o por las características geográficas. Las razones culturales varían desde que no quieren pagar por el servicio hasta por miedo a que se modifique el medio de donde se construirá la línea de transmisión.

La demanda de energía es adquirida por las grandes ciudades, pero también existen pequeños lugares que necesitan del servicio de energía eléctrica. Estos lugares requieren una pequeña carga eléctrica pero son muchos los lugares que quieren estos servicios, haciendo esto imposible de suministrar ya que es difícil el acceso para su distribución, lo que provoca elevados costos en infraestructura.

La principal dificultad de llevar energía eléctrica a comunidades pequeñas es la inversión en la creación de una línea de transmisión a cada uno de estos lugares. La creación de la línea de transmisión sería restringida o anulada por el impacto ambiental que causaría. La mayoría de los grupos ambientalistas lo toman como un ecocidio dificultando aún más esta obra.

Uno de los factores que provoca que no cuenten con energía eléctrica todas las comunidades en Chiapas es la falta de comunicación entre los ejidatarios y la empresa que suministra la energía. El gobierno federal implementó un programa de energía sustentable en el 2012 pero se vio afectado por los pobladores de la zona alta de Tapachula quienes tomaron las instalaciones donde se construiría una central micro-hidráulica ya que esos terrenos fueron comprados con engaños.

Comisión federal de electricidad se hace ajeno a este problema, ya que en Chiapas muchas comunidades que tienen energía eléctrica se niegan a pagar por el servicio provocando que CFE no otorgue nuevos proyectos de ampliación o construcción ya que se cree que no pagarán por el servicio y sería una mala inversión. Las comunidades se niegan a pagar por dos razones: la primera por pertenecer al grupo étnico o grupos zapatistas y la otra razón es porque dicen que es injusto pagar por algo que aquí se produce.

1.2 Estado del Arte

Antonio Roque, Duarte M. Sousa (Member IEEE), Claudio Casimiro y Elmano Margato, Center for Innovation in Electrical and Energy Engineering. Presentaron una visión general de las soluciones técnicas disponibles para ser utilizadas en las plantas de energía micro-hidroeléctricas como lo es el control directo del par (DTC) en una máquina de inducción. Además proponen un equipo adecuado para soluciones particulares. También realizan un análisis económico de la planta teniendo en cuenta el escenario que podría presentarse en un plazo de 20 años [1].

Issam Salhi, Mohammed Chennani, Said Doubabi y Nabil Ezziani, Faculty of Science and Technology of Marrakesh. Presentaron un enfoque moderno basado en la construcción de un modelo matemático de uso en la regulación de la frecuencia y voltaje de una planta micro-hidroeléctrica. Utilizaron simuladores para la comprobación de los modelos no lineales en donde la velocidad y los cambios de potencia son grandes [2].

Petr Chlebis, Martin Sobek, Katerina Baresova, Department of Electronics, Faculty of Electrical Engineering, Czech Republic. Este trabajo se ocupa de las posibilidades de uso de la energía de los pequeños cursos de agua que permitan el suministro de instalaciones de infraestructura o turísticos. El diseñado requiere un sistema eficiente con respecto a los cambios de frecuencia con correcciones de las fallas en el rango de micro segundos [3].

C. Marinescu, Serban, Member Transilvania University, Brasov, Romania. Department of Electrical Engineering, Romania. Este trabajo se ocupa de garantizar una frecuencia estable de acuerdo con los estándares de calidad de la energía. El trabajo se llevó a cabo en dSPACE®. Las principales formas de onda se adquieren a través del software ControlDesk® donde se simuló cambios de frecuencia extremas [4].

B. Varun Nair, Matson Mathew, Albin Joseph, Lisha K. Shaji, Anith Krishnan, Jijo Balakrishnan y Dr. Thomaskutty Mathew, Department of Electrical and Electronics Engineering, College of Engineering Kidangoor, Kerala, India. Propusieron el diseño de una central Micro Hidroeléctrica que se puede utilizar para suministrar energía a Kurushumala, una pequeña granja lechera. En este proyecto se realiza el dimensionamiento de la tubería de carga, de boquilla, la turbina y el alternador de inducción [5].

R. Magureanu, M. Albu, V. Bostan. University Politehnica, Romania. Su trabajo se basa en la solución eléctrica para turbinas de velocidad variable, tomando como base a la electrónica de potencia. El trabajo hace un estudio en cuanto a la eficiencia de turbinas hidráulicas y los tipos de generadores que existen. El estudio se lleva a cabo para identificar el control necesario para el ajuste de la velocidad. El estudio se realiza mediante la manipulación de caudal [6].

C. Marinescu, member IEEE y I. Serban, member IEEE, Transilvania University, Brasov, Romania. El trabajo estudia el comportamiento de las Micro Redes, centrándose en el modo de funcionamiento de una micro red piloto basado en la energía eólica y la hidráulica. La energía generada proporciona electricidad y calor a los consumidores locales. El control de la frecuencia utiliza una carga inteligente para equilibrar las potencias activas del sistema [7].

L. belhadji, S. Bacha y D. Roye, Grenoble Institute of Technology, France. En su trabajo se analiza un novedoso enfoque de control de un sistema de conversión de energía hidroeléctrica conectada a la red trifásica. El sistema intercambia rápidamente la potencia activa con el sistema eléctrico, simultánea e independientemente del cambio de potencia reactiva. El sistema reacciona en el rango de los microsegundos [8].

Dariusz Borkowski y Tomasz Wegiel, Institute of Electromechanical Energy Conversion, Cracow University of Technology, Poland. En su trabajo presentan una solución completa para una central micro hidroeléctrica que opera a velocidades variables. Integra un generador síncrono de imanes permanentes acoplado a una turbina de hélice con lo cual reduce el conjunto hidromecánico. Además, presenta el análisis de la eficiencia del GSIP y la unidad de electrónica de potencia. Se modifican las estrategias de control con el procedimiento de almacenamiento de agua [9].

Omar Bottesi y Luigi Alberti, Faculty of Science and Technology, Free University of Bozen-Bolzano, Italy. En su trabajo consideran el diseño de un generador de tamaño pequeño de alta eficiencia para la producción de energía eléctrica en una micro-central. Diferentes diseños de generadores se comparan con el fin de identificar la mejor solución que se adapte a este tipo de instalaciones. Se logra operar el generador a diferentes frecuencias en diferentes condiciones, consiguiéndose la conexión a la red por medio de un inversor [10].

Lakhdar Belhadji, Seddik Bacha, Iulian Munteanu, Rumeau y Daniel Roye. Grenoble Electrical Engineering Laboratory, France. En su trabajo, emplean una planta micro-hidroeléctrica de velocidad variable basada en una turbina semi

Kaplan. Proponen una técnica novedosa llamado *Seguimiento del Máximo Punto de Potencia* de alto rendimiento adaptativo. Esto permite un seguimiento de alta calidad debido a la respuesta dinámica superior y una alta calidad de la potencia de salida debido a la cancelación de las oscilaciones de estado estacionario [11].

El proyecto consiste en la elaboración del diseño de una central Micro-Hidroeléctrica. Este es un sistema de generación distribuida que tiene la finalidad de producir energía eléctrica mediante el caudal provisto por el río del parque ecoturístico “El Chiflón”, que será suficiente para satisfacer la demanda del mismo parque. Además, se busca integrar de manera eficiente los aspectos ecológico, técnico y económico.

1.3 Justificación

La energía eléctrica es un servicio básico e importante para el desarrollo humano. Este proyecto tendrá un impacto en la economía del centro ecoturístico “El Chiflón”, ya que beneficiará de manera significativa a dicho centro, al ser capaz de generar su propia energía. El pago que se realiza convencionalmente por la energía eléctrica en el centro pasará a ser una ganancia a largo plazo pues solo se realizará una inversión inicial para la creación de la central micro-hidroeléctrica y se tendrá la energía por un menor costo conforme se alcanza al punto de amortización.

En México el principal modelo de obtención de energía es a través de combustibles fósiles. Debido al alto impacto ambiental producido, la generación de energía se inclina cada vez más hacia la sustentabilidad que proteja a nuestro planeta, las centrales micro-hidroeléctricas son una mejor forma de convivir con el medio ambiente. En nuestro país la energía eléctrica de las micro-centrales cuenta con un sector tecnológicamente maduro.

Al promover las centrales micro-hidroeléctricas en Chiapas para las comunidades que cuentan con el recurso hídrico suficiente se genera un ahorro en la emisión de los gases de efecto invernadero, se evita un desgaste excesivo del agua, se produce energía limpia y renovable y el impacto visual es mínimo, por tratarse de un centro ecoturístico, las distancias entre los lugares de generación y consumo suelen ser cortas y facilitan su distribución.

En cuanto a la tecnología utilizada, se propone una turbina Michell Banki, la cual ha sido utilizada desde hace más de un siglo pero que cuenta con las características necesarias que se ajustan al proyecto. Lo esencial será el dimensionamiento que se hará de ésta turbina para que posteriormente se adapte

un generador. Los sistemas de regulación de frecuencia también se proponen y tienen la tarea de entregar una frecuencia y una potencia adecuada.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Específico

Diseñar y construir un prototipo digital de una unidad de generación Micro-Hidroeléctrica adaptada a las características de los afluentes en Chiapas.

1.4.2 Objetivos Particulares

Seleccionar el diámetro de la tubería forzada. Diseñar una turbina Michell-Banki. Identificar la ubicación de la casa de máquinas. Diseñar la boca toma, tanque de presión, desarenador. Diseñar la etapa de monitoreo. Diseñar la etapa de control de frecuencia. Diseñar la etapa de transmisión y distribución.

El diámetro de la tubería.- Se calculará de acuerdo a la energía eléctrica que necesita el parque, para esta potencia dada debe existir un flujo volumétrico mínimo que se encontrará y se adaptará una tubería que será la que transporte la cantidad de agua calculada.

Diseñar una turbina Michell-Banki.- Tomando como base la altura bruta del salto de agua y el caudal encontrado, se dimensionará las características de la turbina, como los son su diámetro del rotor, la cantidad de álabes necesarios, el inyector, el peso de cada alabe, el grosor de cada alabe, la fuerza ejercida a la turbina y a cada alabe. Esto será diseñado en el programa SolidWorks.

Identificar la ubicación de la casa de máquinas.- Para la ubicación de la casa de máquinas se toman en cuenta el desnivel calculado y las características del lugar, las cuales deben favorecer la distribución de la energía y evitar un impacto visual considerable.

Diseñar la boca toma, tanque de presión, desarenador.- La toma de agua deber ser calculada y diseñada de acuerdo a la cantidad de agua que el sistema necesita introducir. El caudal luego pasara por un desarenador y un tanque de presión con dimensiones propuestas, el cual tiene como objetivo proveer de agua constante a la turbina.

Diseñar la etapa de control.- Esta etapa es aquella que se encargará de que la energía eléctrica sea suministrada con los parámetros establecidos por CFE que es 60 Hz y 127 voltios. Esto se hace para que tanto CFE otorgue permiso de generación como también para que los equipos instalados en el centro ecoturístico no sufran daños con el paso del tiempo.

Diseñar la etapa de transmisión y distribución.- Esta etapa del proyecto se basa especialmente en llevar la energía eléctrica a cada equipo que en el centro ecoturístico con el voltaje necesario para cada uno. Para ello es importante tener en cuenta con que voltaje se genera, que distancia está la carga, y cuánta energía hay que suministrar. Con esto se calcula las protecciones, el calibre de los conductores y si es necesario también el transformador elevador o reductor.

1.5 Metodología

Diagrama a bloques del Hardware

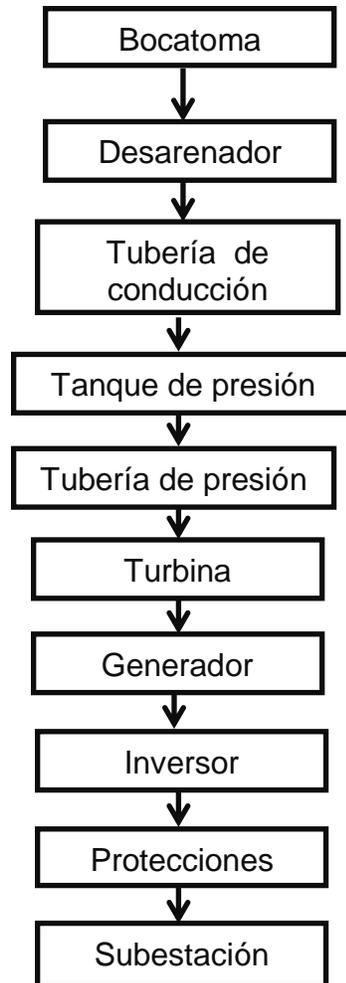


Fig. 1.1 Diagrama a bloques del Hardware.

Bocatoma.- Esta parte tiene la función de captar el caudal necesario para el funcionamiento de la central. Esta debe impedir al máximo la entrada del material sólido flotante o en suspensión. La construcción debe ser sencilla y económica, de forma que facilite la operación de mantenimiento y trabajos rápidos de generación.

Desarenador.- Él retira el mayor porcentaje de partículas sólidas en suspensión en el agua como también las partículas de impureza que existen en el agua. Este cuenta con una serie de saldas, entradas y aliviadores que en caso de fallas o en exceso de agua pueda ser liberada y no afecte a todo el equipo que se tiene posteriormente.

Tubería de conducción.- Se encarga de transportar el agua, ya en mejores condiciones, hasta el tanque de presión, la tubería puede ser también un canal y depende de las condiciones del medio donde se va a instalar para que se determine cual se utilizara. La tubería de conducción es recomendable ya que el agua a trasportar no se contamina con patricillas ajenas como basura, ramas o piedras.

Tanque de presión.- El tanque de presión puede usarse para asegurar que la cantidad de agua que necesita el sistema para trabajar correctamente esté disponible si la red de suministro ha fallado o si no es capaz de suministrar agua durante un pico de demanda. Este recurso también se usa para asegurar que los arranques y paradas de las bombas no afectan a la red de suministro de agua.

Tubería de presión.- Lleva el caudal necesario a la velocidad requerida hasta la turbina. La tubería a presión o tubería forzada tiene como objetivo conducir el agua desde un punto en el cual se tiene una gran energía potencia es decir desde el tanque de precio hasta otro punto llamado casa de máquinas y en particular a la turbina donde libera toda esa energía potencial.

Turbina.- La turbina es un motor rotativo que convierte en energía mecánica la energía de una corriente de agua. En nuestro caso se optó por una turbina Michell Banki ya que cumple con los requerimientos necesarios para la central los cuales son una caída media y un pequeños caudal y un precio relativamente económico y se hizo diseño mediante las condiciones establecidas por instituto nacional de energía.

Generador.- Es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos el cual transformando la energía mecánica en eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura. El generador que se utilizara es uno de imanes permanentes para evitar tener un sistema de excitación.

Inversor.- Es el dispositivo que se encarga de mantener un nivel óptimo de voltaje como también de frecuencia. Este sistema cuenta con un sistema de electrónico IGBT que son controlados por una señal PWM la cual establece si el sistema tiene que proporcionar más voltaje o disminuir el mismo. Esto es posible mediante los componentes principales que convierten la CA a CC la cual se puede manipular con mayor facilidad y una vez controlada se convierte a CA para su distribución.

Protecciones.- Su función es desconectar la instalación eléctrica de forma rápida cuando existe un corto circuito o existe un fallo en los equipos, es decir cuando un motor gira a una velocidad mayor a su nominal. Existen variados tipos de protecciones como los termináticos que desconecta el suministro eléctrico parecido a un fusible solo que este se puede utilizar una infinidad de veces más.

Diagrama a bloques del Software

Conversión de AC/CD.- La corriente alterna es la forma más eficiente de suministrar energía eléctrica. Sin embargo La conversión de CA a CD es para poder controlar voltaje y la corriente de una manera sencilla y eficiente ya que también se tiene que regular la frecuencia. La frecuencia es una de las variables que cuenta con normativas inflexibles en cuanto a la variación de esta.

Potencia eléctrica.- En este bloque se examina como viene la potencia eléctrica del generador es decir como está mandando el generador. Este busca encontrar errores en el sistema y mandar una señal a la señal al generador de ajustes por PWM para que el mande la señal al controlador y pueda eliminar el error del sistema y hacer eficiente a la energía.

PWM.- Esta es una señal analógica que sirve para evitar el Angulo de disparo de los UJT encargados de dejar pasar cierta cantidad de energía y así poder regular la necesaria para nuestro sistema. La señal PWM está dividida en dos etapas una está encargada de regular el voltaje y frecuencia excedentes y la otra parte se encarga de aumentar el voltaje y frecuencia del el sistema esto se hace para obtener energía de calidad.

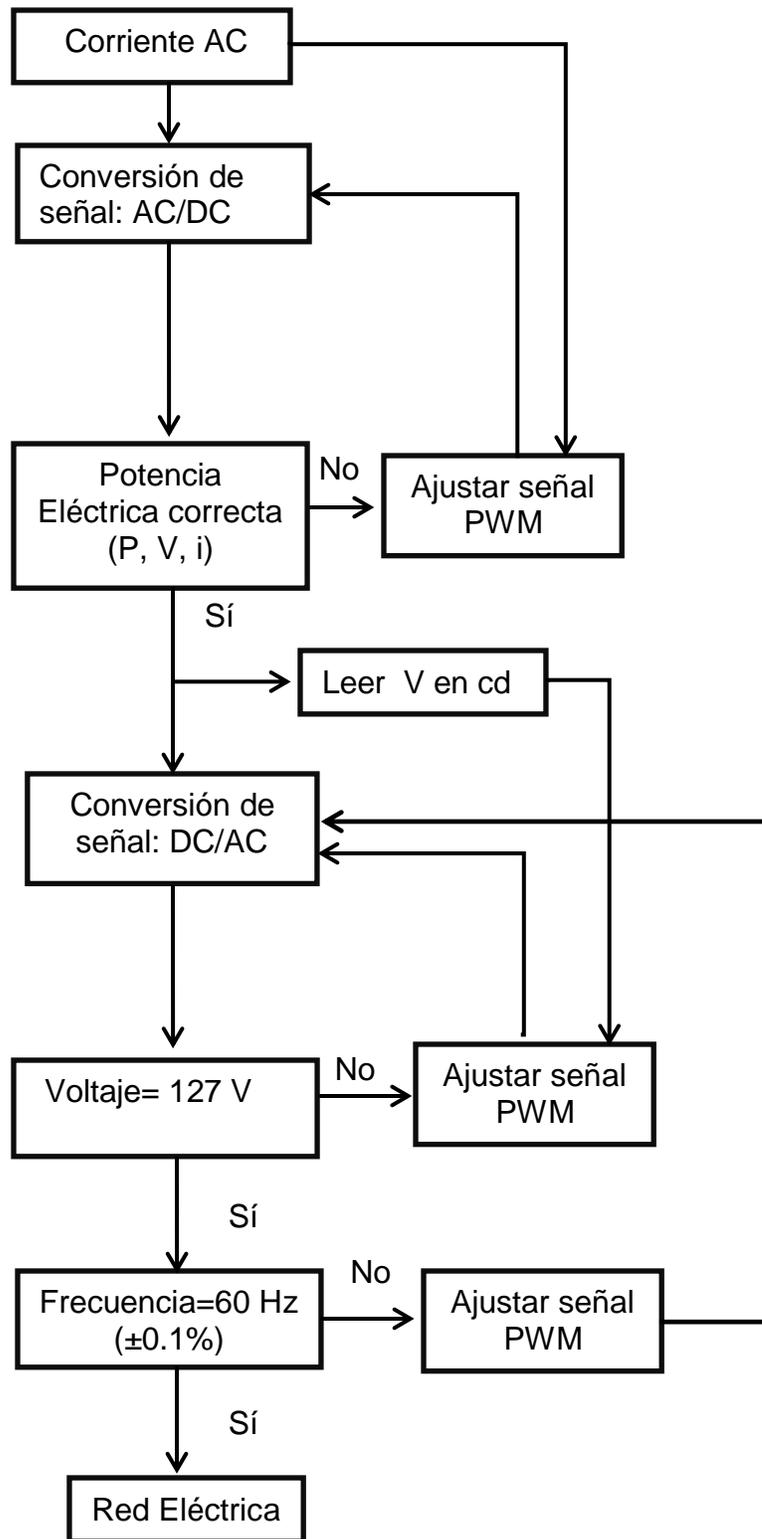


Fig. 1.2 Diagrama a bloques del inversor.

2.4 Misión, Visión y Valores

Misión

Formar de manera integral profesional de excelencia en el campo de la ciencia y la Tecnología con actitud emprendedora, respeto al medio ambiente y apego a los valores éticos.

Visión

Ser una Institución de excelencia en la educación superior Tecnológica del Sureste, comprometida con el desarrollo socioeconómico sustentable de la región.

Valores

El ser humano, El espíritu de servicio, El liderazgo, El trabajo en equipo, La calidad, El alto desempeño, Respeto al medio ambiente.

2.5 Descripción Del Área Donde Se Realizó El Proyecto

El proyecto se llevó a cabo en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Ahí realizaremos cálculos, pruebas en el laboratorio de máquinas síncronas como también la construcción del prototipo. En el tecnológico realizaremos todo lo pertinente a la elaboración del diseño de la central micro hidroeléctrica, como por ejemplo calcular la el diámetro de las tuberías, la elección de la turbina adecuada para las necesidades de la central.

Como también se realizaran los planos de las instalaciones. Como lo es los diagramas unifilares y los planos para la construcción obra civil, el diseño del prototipo en el programa SolidWorks. En la institución se llevan a cabo todas las pruebas para el correcto funcionamiento del prototipo a entregar.

También se tendrá que realizar una visita de campo en el centro ecoturístico “El Chiflón”, donde se obtuvo datos para la realización de los cálculos para el correcto diseño de la central, los cuales son la altura de donde estará el tanque de presión a comparación de la casa de máquinas, el caudal de agua que cuenta el río, la carga que consume el centro ecoturístico.

El parque ecoturístico se encuentra entre los municipios de Socoltenango y Tzimol del estado de Chiapas que se ubican a 146 km de distancia del tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y sus coordenadas son 16°11'6.30" latitud norte y 92°16'52.98" longitud oeste.

3. Fundamento Teórico

3.1 Potencial Hídrico

Al fluir las aguas desde un punto A a un punto B sea cual sea su recorrido intermedio (el propio curso del agua), un canal o una tubería forzada pierde energía potencial de acuerdo con la ecuación 3.1, en la que P es la potencia en kW perdida por el agua, Q es el caudal medido en m³/s, H_B es el salto bruto en m y γ el peso específico del agua igual a su masa por la aceleración de la gravedad (kg*m/s²).

$$P = Q * H_b * \gamma \quad (\text{ec. 3.1})$$

El agua en su caída puede seguir el cauce del río en cuyo caso el potencial se disipará en fricción y turbulencia o puede circular por una tubería en cuya extremidad está instalada una turbina. En el segundo supuesto la masa de agua disipará su potencia en vencer la fricción para poder circular por la tubería y en atravesar los álabes de la turbina. Es precisamente este último componente de la energía potencial el que hace girar la turbina y generar así energía eléctrica.

Para valorar el recurso hídrico hay que conocer cómo evoluciona el caudal a lo largo del año (un solo valor instantáneo del caudal no es significativo) y cuál es el salto bruto de que se dispone. En el mejor de los casos, las autoridades hidrológicas habrán instalado, en el tramo de río en el que piensa emplazarse el aprovechamiento, una estación de aforos con lo que podrá disponerse de una serie de caudales, que será tanto más válida cuanto más larga sea su historia.

Dado el tamaño de los ríos sobre los que se construyen estos aprovechamientos, puedan encontrarse registros de caudales para el tramo en cuestión. Si no existen habrán que acudir a la hidrología, que nos permitirá conocerlos con suficiente aproximación, bien sea por medición directa o indirecta, bien sea por cálculo a partir de los factores climáticos y fisiográficos de la cuenca de captación.

Existen organismos especialmente dedicados a gestionar los datos hidrológicos y los datos climáticos recogidos, respectivamente, en las estaciones de aforo y de meteorología. En el seno de las Naciones Unidas existe una organización, la World Meteorological Organization (Organización Meteorológica Mundial) que dispone de un servicio de información hidrológica (infohidro).

La principal información que está encargada a diseminar esta organización es sobre instituciones y agencias relacionadas con la hidrología, principales cuencas y lagos del mundo, redes de estaciones hidrológicas de los países, número de estaciones y duración de las series, bancos de datos hidrológicos nacionales e internacionales.

Si no existen series temporales para el tramo de río en estudio y se dispone de tiempo para ello, se pueden medir los caudales a lo largo de un año, como mínimo, ya que una serie de medidas instantáneas no tiene ningún valor. Para ello puede hacerse uso de diversas opciones. Las más usuales son la medición del área transversal del río y la velocidad media, otra opción es la medición mediante un vertedero y la más directa es por dilución de un soluto en la corriente.

Método del área transversal y la velocidad media.- Un método convencional empleado en río grandes y medianos consiste en medir la sección transversal del río y la velocidad media de la corriente de agua que la atraviesa. Para ello hay que contar con una estación de aforos, aguas debajo de un tramo recto de razonable longitud, en lo que se conoce como sección de control, figura 3.1, donde se pueda establecer, de una manera fiable, una relación entre alturas de lámina y caudal.

En una estación de aforos, lo que se mide y registra es el nivel de la lámina de agua a lo largo del tiempo, Se utiliza una regla graduada en metros y centímetros, similar a una mira topográfica. Para calcular el área de la sección transversal, se recomienda descomponerla en una serie de trapecio. Midiendo sus lados con ayuda de unas reglas graduadas. El área de la sección mojada del cauce vendrá dada por la ecuación 3.2.

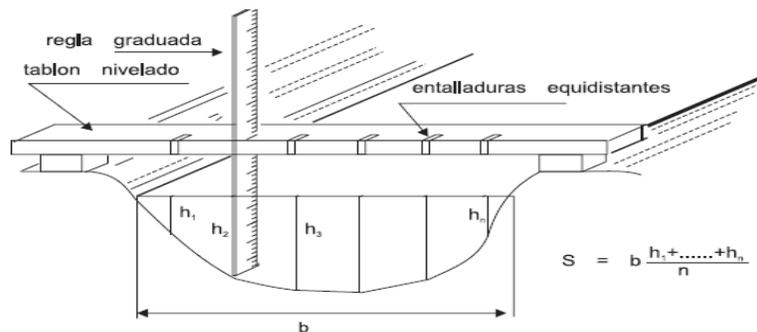


Fig. 3.1 Cálculo de la sección transversal del cauce de un río (ESHA).

$$S = b * \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n} \quad (ec. 3.2)$$

Para medir la velocidad de corriente se coloca un objeto flotante no muy ligero, por ejemplo un tapón de madera, en el centro de la corriente y se mide el tiempo en segundos que necesita para recorrer una longitud en metros. El método no es utilizable en cauces de perfil irregular o de muy poca profundidad, pero da resultados aceptables si se escoge un tramo relativamente recto y de sección uniforme.

Medición del caudal por dilución de un soluto en la corriente.- Este método de dilución resultan particularmente idóneos para los pequeños arroyos de montaña, donde debido a la rapidez de la corriente y a la escasa profundidad del cauce no se puede utilizar con éxito un molinete. Para calcular el caudal se inyecta en el curso de agua una solución de un producto químico, de concentración conocida y aguas abajo, a una distancia suficiente para que el producto se haya mezclado.

El producto puede inyectarse a un ritmo constante, durante un lapso de tiempo dado, o de golpe en una única dosis. Tomando muestras del agua a cortos intervalos y analizándolas, se construye, una curva concentración-tiempo. Hasta hace poco se utilizaban soluciones de sales de cromo y las muestras se analizaban por colorimetría. El método es muy preciso pero requiere un equipo costoso y personal especializado.

Medida del caudal mediante el uso de un aliviadero.- Siempre que no sobrepase los $4 \text{ m}^3/\text{s}$, un caudal se puede medir, haciéndolo pasar por un vertedero de sección conocida dispuesto perpendicularmente a la corriente. Los vertederos se clasifican en corte V, rectangular y trapezoidal y pueden ser de cresta ancha o de cresta delgada.

Los vertederos triangulares o en V resultan más precisos para caudales pequeños, pero los rectangulares pueden medir un rango de caudales mucho más amplia. La figura 3.2 muestra las dimensiones de dos vertederos, respectivamente con sección rectangular y triangular, así como las fórmulas empleadas para calcular el caudal en función de h.

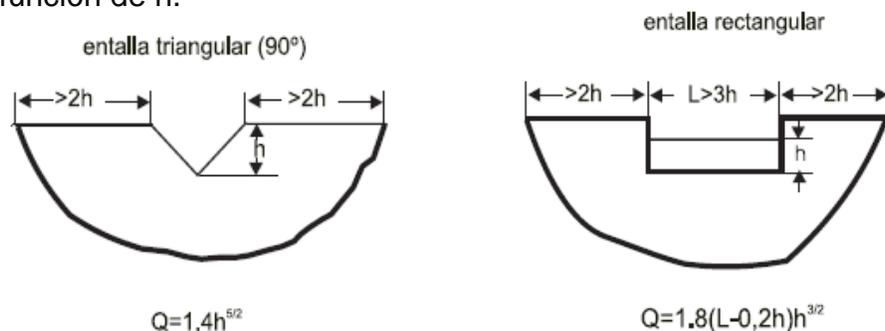


Fig. 3.2 Medición de caudal con vertedero triangular y rectangular.

3.2 Obra Civil

Obra de Toma.- Las rejillas de obra de toma evitan que cuerpos flotantes penetren a las partes de la turbina y la lleguen a deformar con el golpe y obstruyan su funcionamiento. Se ha dado el caso de objetos que obstruyen alguna de las salidas de la carcasa en la zona de álabes fijos y el impulso del agua deja de ser uniforme ocasionando con ello, cabeceos y cavitación en las partes móviles como puede ser en álabes de control o del rodete.

La dimensión máxima de la trama de la rejilla normalmente oscila entre 1.2 y 1.8 m de ancho y 2.5 a 3.0 m de alto. La rejilla en sí, puede tener forma plana o semicircular pero el área de huecos debe tener cuando menos de tres a cuatro veces el área suficiente para que pase al gasto máximo necesario para la operación de la turbina. Es de hecho a partir de este gasto necesario que se calculan las dimensiones de la rejilla.

Anteriormente, se llegaron a instalar equipos de limpia rejas en algunas plantas pero se han visto disminuidos ya que las facilidades que brinda la autonomía de los buzos modernos, hace preferible aprovechar los paros de las máquinas para hacer el mantenimiento con personal especializado. Para el cálculo estructural, debe considerarse que estas rejillas deben ser capaces de resistir la máxima presión hidrostática a que la somete una obstrucción total.

Los elementos que componen la bocatoma deben garantizar su buen funcionamiento; por ello, deben cumplir con los siguientes requerimientos básicos: El agua captada debe estar libre de sólidos, el material sólido depositado aguas arriba deberá ser evacuado por el flujo de un chorro de lavado intermitente, el tipo de construcción debe ser sencillo y económico y las descargas de crecidas deben ser evacuadas en forma segura de la obra de captación.

Compuertas de obra de toma: La función de las compuertas de obra de toma es evitar el paso de agua a las conducciones a presión y en caso de que no existan válvulas intermedias, evitar también el paso de agua a la turbina. La posición de la obra de toma está determinada a partir del nivel mínimo de operación quedando un colchón de agua entre este nivel y la entrada para evitar que se formen vórtices que permitan el paso del aire al interior de la máquina.

La compuerta debe estar diseñada para resistir la presión máxima del golpe de ariete. La fabricación se hace en dos o tres secciones dependiendo de las dimensiones y el peso. En su construcción, este tipo de elementos deben tener una válvula para permitir el lento llenado de la tubería de presión, con el objeto de que no se formen cámaras de aire que al presionarse produzcan expulsiones violentas de agua por el conducto de aireación.

Obra de Conducción.- El caudal que será aprovechado para generar energía eléctrica es captado en la bocatoma y llevado a través de un canal que puede estar a cielo abierto o cerrado manteniéndose el caudal a presión atmosférica; en su trazado pasa diferentes accidentes topográficos que son sorteados con obras especiales como viaductos, sifones, rellenos y túneles hasta llegar al tanque de presión. La fig. 3.3 muestra un esquema de la bocatoma y la obra de conducción.

Dado que el agua captada contiene elementos en suspensión, se requiere colocar en el trazado un desarenador que los elimine, el cual puede estar ubicado contiguo a la bocatoma o al lado del tanque de presión. El trazado de la conducción se realiza en función de conseguir una mayor eficiencia y seguridad de las obras a menor costo, manteniendo una pendiente longitudinal positiva menor que la del río y variando sólo dentro de ciertos límites.

La pendiente de la conducción se establece con un criterio técnico-económico. El criterio técnico está sujeto a las características de los sitios posibles de toma y a la variación de caudal, que generalmente disminuye aguas arriba. El criterio económico lo establece la longitud de la conducción, es decir, un aprovechamiento con una pequeña pendiente del recurso ocasiona una mayor longitud y mayor costo, e inversamente disminuye si la pendiente del afluente es elevada.

Para seleccionar alternativas que cumplan los requerimientos técnico-económicos, se puede reducir la longitud de la conducción por medio de túneles, acueductos o rellenos. Los túneles se construyen cuando el volumen de excavación de la plataforma para construir el canal es tan grande que resulta más económico construir un túnel (pendiente mayor a 45%) y cuando se necesita atravesar una loma de un lugar a otro, es menos costoso que construir un canal en su contorno.

Los acueductos son puentes que permiten conducir a través de ellos el caudal en depresiones. En estos casos, pueden usarse rellenos compactados o sifones. El sifón es la conducción del caudal a través de una tubería por una depresión hasta el lugar donde encuentra la pendiente inicial del canal. Para evitar el rebosamiento

del caudal por encima de las paredes del canal abierto, generado por el aumento súbito del caudal, se construyen aliviaderos.

El aliviadero es una obra de seguridad de la conducción que se encarga de verter al afluente las aguas de exceso que superan la capacidad del canal; se ubica en especial cuando éste es abierto. Las aguas de exceso se producen por daño u obstrucción de los pasos de aguas lluvias y por derrumbes en las laderas. El daño u obstrucción de los pasos de aguas lluvias hace que las aguas entren en el canal aumentando el caudal y se desborden por encima de las paredes del canal.

La obstrucción del canal provoca que el caudal empiece a represarse en ese lugar, aumentando el nivel hasta que se desborda sobre el labio del canal. El desbordamiento del caudal genera erosión intensiva del mismo, que por lo general es de reparación muy costosa. Una manera de evitar los caudales de exceso consiste en recubrir totalmente el canal o construir aliviaderos en forma de vertederos laterales o sifones, ubicados en una de sus márgenes.

Para el dimensionamiento del aliviadero en la obra de conducción es importante determinar el número de éstos en el canal. La elección del número de aliviaderos se basa en un criterio técnico-económico entre la longitud entre éstos y la altura de seguridad para obtener un menor costo por excavación y volumen de hormigón. El aliviadero es un vertedero lateral en el canal con una cresta unos pocos centímetros por encima del nivel normal del agua.

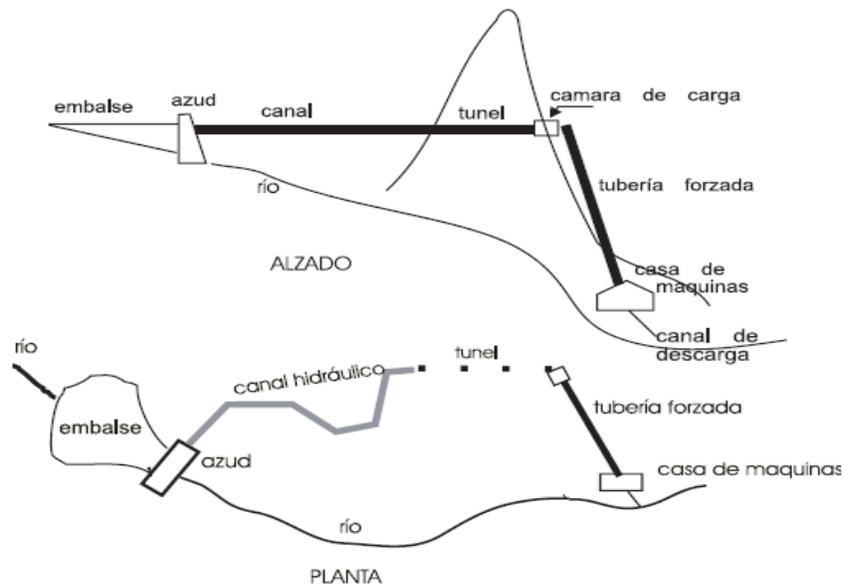


Fig. 3.3 Esquema de aprovechamiento de agua fluyente en montaña.

Desarenador.- El desarenador es una obra hidráulica que sirve para sedimentar partículas de material sólido suspendidas en el agua, en el interior de la conducción. Las partículas se mantienen en suspensión debido a que la velocidad de entrada en la bocatoma es elevada y suficiente para arrastrar partículas sólidas; en especial durante las crecidas puede entrar gran cantidad de sedimentos.

El volumen de sólidos durante las crecientes para ríos de montaña es aproximadamente de 4 a 6% del volumen de agua transportada y en río de llanura es de 0.2 a 1.0%. No disponer del desarenador genera disminución de la sección de la conducción por sedimentación, disminución de la capacidad del tanque de presión por acumulación de material sólido. Cuando mayor es la velocidad de las partículas, éstas desgastan más rápidamente la tubería y las turbinas.

El propósito del desarenador consiste en eliminar partículas de material sólido suspendidas en el agua de la conducción; para que ellas se decanten se disminuye su velocidad, en consecuencia, para cumplir con su propósito el desarenador dispone de una mayor área o sección. Es fundamental asegurar una distribución uniforme de velocidades en las distintas secciones transversales y longitudes dentro de la cámara de sedimentación, como se ilustra en la figura 3.4.

El éxito del desarenador se refleja tanto en la economía de la construcción como en la disminución de pérdidas hidráulicas. Debe ubicarse una transición de entrada que una el canal con el desarenador y una final que acople el desarenador con el canal, o posiblemente no se encuentre, si éste dispone de un vertedero. Por esto, la transición deber tener un ángulo de divergencia suave ($12^\circ - 30^\circ$) y, de ser posible, las paredes curvas tangentes en todo punto a la dirección del agua.

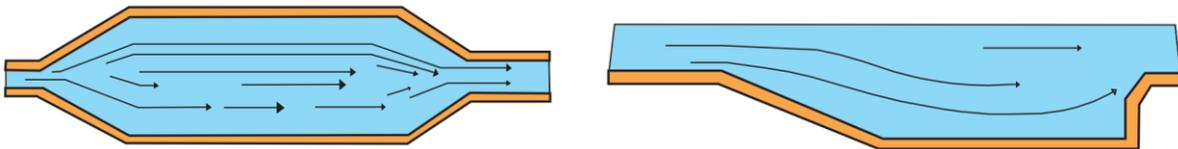


Fig. 3.4 Se ilustra la manera correcta de distribuir las velocidades en los desarenadores.

Los desarenadores se clasifican según la forma de eliminar los sedimentos: De lavado continuo (cuyos sedimentos se eliminan constantemente) o de lavado intermitente (los sedimentos se eliminan durante los trabajos de mantenimiento). Estos tipos de desarenadores se explican en el anexo 1.1. El desarenador que en este proyecto se presenta es el de lavado intermitente y se dimensiona en la siguiente sección.

Cámara de Presión.- Las variaciones en la demanda de energía eléctrica en pequeñas centrales hidroeléctricas obligan a una regulación del caudal que pasa por la turbina, la cual crea ondas de oscilación en la tubería de presión que deben ser amortiguadas en la cámara de presión o en la almenara. Estas ondas de oscilación son mayores en el momento de arranque de la turbina o en su parada total por rechazo de carga.

Dependiendo del momento en que se originan tales ondas pueden ser positivas o negativas, denominándoseles *golpe de ariete*. El tanque de presión y la almenara son estructuras que unen un sistema de baja presión con uno de alta presión y deben ser dimensionadas para que cumplan con las condiciones críticas de operación, es decir, partida brusca y parada brusca. Las características del golpe de ariete se presentan un poco más a detalle en el anexo A.2.

Tanque de Presión.- Es un tanque con capacidad suficiente para garantizar la partida o parada brusca de las turbinas. Está conectada al canal por medio de una transición, de la cual el agua pasa a la tubería de presión a través de una rejilla que evita la entrada de elementos sólidos flotantes. Entre la rejilla y la tubería se instala una compuerta de cierre al paso del agua. Entre la compuerta y la rejilla se dejan unas ranuras en las paredes para la instalación de compuertas de apoyo.

Los excesos de agua en la cámara se vierten a través de un aliviadero ubicado en una de las paredes, el cual está acompañado de una compuerta de fondo que permite su vaciado y el lavado de sedimentos. El aliviadero y la compuerta se conectan a un canal común que lleva el agua al río donde es mínima la erosión. Una apreciación de las características de la cámara de presión se observa en la figura 3.5.

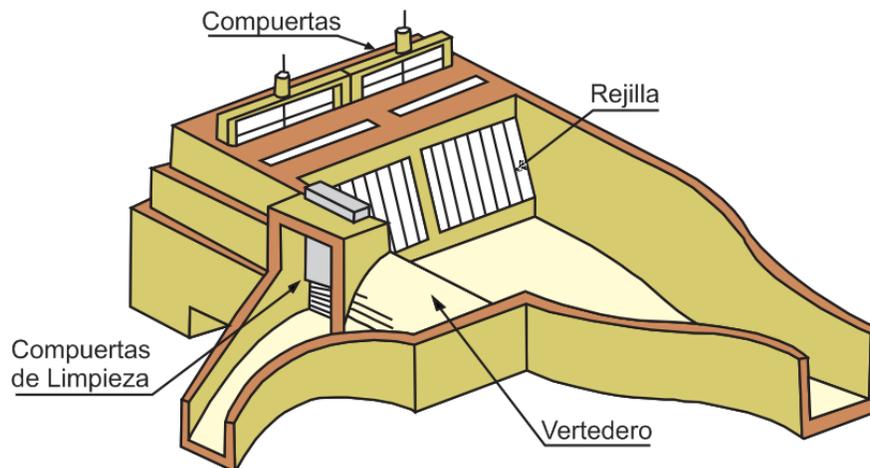


Fig. 3.5 Representación gráfica de un tanque de presión.

La cámara de presión cumple con la función de crear un volumen de reserva de agua que permite satisfacer las necesidades de las turbinas durante los aumentos bruscos de demanda y además permite amortiguar el golpe de ariete. Desaloja el exceso de agua en las horas en las que el caudal de agua consumido por las turbinas es inferior al caudal de diseño. Mantiene sobre la tubería una altura de agua suficiente para evitar la entrada de aire.

Almenara.- Es un conducto de oscilación que permite disipar las ondas elásticas generadas por el flujo cuando hay un cierre rápido, puesta en marcha de turbinas o presencia de aire. Tiene como función, además de disminuir el golpe de ariete, almacenar o distribuir caudal hasta que llegue la desaceleración y acortar el periodo variable de las ondas. Existe la almenara Simple, con cámaras, de estrangulamiento inferior y la diferencial véase anexo A.2.

Tubería de Presión.- La función de esta estructura es conducir el agua a la turbina, garantizando siempre un volumen máximo a velocidades específicas. Su diseño está regido por las presiones máximas que debe soportar; la interior, debido a la altura y sobrepresión de un rechazo de carga o golpe de ariete y la exterior, por el efecto de la carga hidrostática y la acción de la roca sobre el tubo.

La calidad del acero a emplear está especificada por el diseñador; dependiendo de las dimensiones con las que se elaboran las placas se forman los anillos, pero debe tenerse en cuenta que entre menor cantidad de soldadura se utilice será más económica su fabricación. Por ahorro y facilidad de manejo sería deseable que toda la fabricación de la tubería se hiciera en la obra, en México, normalmente se hace parte en la fábrica y parte en la obra.

La tubería de presión debe ser recta, aunque en ocasiones es difícil de obtener, debido a las condiciones del terreno. Esto obliga a ajustarse al perfil topográfico de su trazado, con el apoyo de estructuras que le ayudan a sostenerse (apoyos) y a variar la pendiente (anclajes). La tubería de presión está compuesta por una toma de agua, codos para variación de pendiente, juntas de unión, juntas de expansión, bifurcaciones, válvulas independientes a la tubería de presión, anclajes y apoyos.

Para el dimensionamiento de la tubería de presión deben tenerse en cuenta el diámetro que de acuerdo con un análisis técnico y económico que permita determinar el diámetro que causa las menores pérdidas y el de menor costo. El espesor se determina de acuerdo con los esfuerzos generados por el golpe de ariete, el peso del agua y de la tubería. El material de la tubería permite seleccionar tuberías de mayor resistencia a los esfuerzos mecánicos.

Debido a que el costo de la tubería puede representar gran parte del presupuesto de toda la pequeña central es prioritario, entonces, optimizar su diseño para reducir no sólo costos de mantenimiento sino la inversión inicial. Una selección adecuada del material y del espesor de la tubería de presión podrá significar beneficios económicos en la reducción del número de anclajes y de apoyos.

Espesor de la tubería.- El espesor de la tubería se determina con base en el golpe de ariete. Para mayor facilidad de montaje y mantenimiento de la tubería de presión, ésta se construye a cielo abierto apoyada sobre estructuras de concreto. Dicha construcción genera tensión debido a la variación de temperatura, tensión de flexión y tensión longitudinal. El espesor de la tubería de presión se determina como se muestra en la ecuación 3.3.

$$e = \frac{P_s * D}{2\delta t * K_f} + e_s = \frac{(H_B + H_s) * D}{2\delta t * K_f} + e_s \quad (\text{ec. 3.3})$$

Dónde e es igual al espesor de tubería de presión (mm), P_s es la presión máxima considerando el golpe de ariete, H_B es la caída bruta (m), H_s es la sobrepresión ejercida por el golpe de ariete (m) y se considera el 30% de la caída bruta, D es el diámetro de la tubería, δt es la tensión de tracción del material (Kg/cm^2), K_f es la eficiencia de las uniones (0.8 - 1.0) y e_s es el espesor adicional (3 mm).

Para seleccionar el espesor de la tubería de presión una vez conocidos la caída neta, la pendiente del terreno y el diámetro de la tubería de presión se determina el espesor de la tubería de acuerdo a la ecuación 3.3, se hallan las tensiones que la tubería debe soportar, se selecciona un tipo de material del cual conocemos su tensión admisible y considerando únicamente las tensiones longitudinales se puede determinar la longitud entre apoyos.

Material de la tubería.- Al decidir el material que se empleará para un proyecto tienen que ser considerados la presión de diseño, tipo de unión, diámetro y pérdidas por fricción, peso y grado de dificultad de la instalación, accesibilidad al sitio, terreno y tipo de suelo, mantenimiento y vida esperada de la instalación, condiciones climáticas, disponibilidad, costo relativo.

A menudo, los materiales utilizados en las tuberías de presión son el acero comercial, policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad, hierro dúctil centrifugado, asbesto-cemento, resina poliéster con fibra de vidrio reforzado. Además, para el empalme entre tubo y tubo se usa la unión con bridas, unión por espiga y campana y uniones mecánicas o soldadas véase anexo A.2.

3.3 Turbina

Las turbinas hidráulicas o eólicas son las turbo máquinas que transforman la energía hidráulica en mecánica. Reciben agua o aire con una gran cantidad de movimiento y hacen que disminuya, para así generar una fuerza propulsora y con ella un par motor. Este par es el que hace girar al generador, mediante el cual se produce la energía eléctrica.

Turbina Hidráulica: Se puede definir como aquella máquina que transforma la energía hidráulica aportada por un fluido incompresible en energía mecánica, mediante la variación del momento de la cantidad de movimiento, en resumen es una turbo máquina hidráulica motora, se describe de una manera explícita en el anexo A.3.

Existen dos tipos de turbinas hidráulicas, las de acción y las de reacción. Se llaman turbinas de acción o vena libre, a aquellas en las que el agua mueve el rodete exclusivamente con energía cinética. Se llaman turbinas de reacción o de vena forzada a las que utilizan energía cinética y de presión para mover el rodete.

Las turbinas de acción se emplean en centrales hidroeléctricas cuyo salto sea grande y el caudal relativamente pequeño, es decir en aquellos casos en que la relación caudal-altura es reducida, y por tanto corresponden a velocidades específicas bajas, en particular se emplea en lugares como ríos o en cruces de agua con caídas altas más información en el anexo A.3 Turbina de acción.

Las centrales hidroeléctricas con turbinas de reacción están ubicadas en el cauce medio o terminal de los ríos, incluso en su propia desembocadura, como es el caso de las centrales mareomotrices, que aprovechan tanto el propio caudal del río, como el flujo y reflujos de las mareas esta turbinas no necesitan una caída alta si no que se basan en el caudal que se le es suministrado más información en el anexo A.3 Turbinas de reacción.

La Selección del tipo de Turbina el tipo, geometría y dimensiones de la turbina están condicionados, fundamentalmente, por los siguientes criterios: Altura del salto neto, Rango de caudales a turbinar, Velocidades de Rotación, Problemas de cavitación, Velocidad de embalsamiento, Costo.

En la tabla 3.1 se especifica, para cada tipo de turbina, el rango de valores de salto neto dentro con la que puede trabajar. Obsérvese que hay evidentes solapamientos, de modo que para una determinada altura de salto pueden emplearse varios tipos de turbina.

Tabla 3.1 Rango de alturas de salto

Tipo de Turbina	Rango de salto en metros
Kaplan y Hélice	$2 < H < 20$
Francis	$10 < H < 350$
Pelton	$50 < H < 1300$
Michell-Banki	$3 < H < 200$
Turgo	$50 < H < 250$

La selección de la turbina depende fundamentalmente del caudal y la altura. El caudal es la cantidad de potencial hídrico que cuenta el lugar. Este potencial junto a la altura nos delimitan la turbina a utilizar y esto depende mucho a cuanto energía eléctrica quedamos generar en la imagen de abajo podemos darnos cuenta de cómo están delimitadas cada una de las turbinas con respecto a caudal, altura y potencia a generar. Más información en el anexo A.3 Criterios para selección del tipo de Turbina

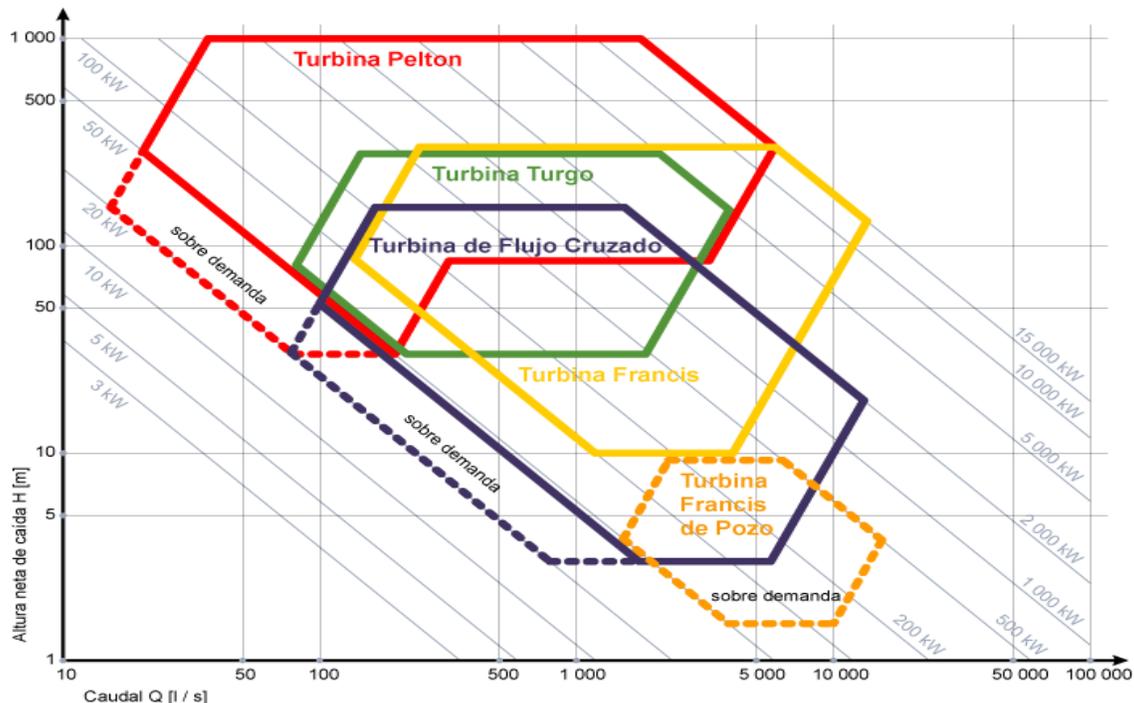


Fig. 3.6 Clasificación de las turbinas hidráulicas de acuerdo a la relación Caudal-Salto [n].

La turbina Michell Banki puede describirse como de acción, de flujo transversal, de doble paso o efecto, de admisión parcial y de flujo radial centrípeto-centrífugo. Su característica principal es que un amplio chorro de agua de sección rectangular incide dos veces, cruzando por el interior del rotor, sobre los álabes. La diferencia fundamental respecto a otras turbinas es que no se reproduce deflexión axial del agua, la que se mueve sobre planos perpendiculares al eje del rotor.

Es utilizada principalmente para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Sus ventajas principales están en su sencillo diseño y su fácil construcción, lo que la hace atractiva en el balance económico de un aprovechamiento a pequeña escala. No obstante, esto no impide que la turbina se utilice en grandes instalaciones y actualmente existen máquinas de este tipo de hasta 6 MW.

Las principales características de esta máquina son la velocidad de giro puede ser seleccionada en un amplio rango, Puede operar en amplios rangos de caudal y altura sin variar apreciablemente su eficiencia, El diámetro de la turbina no depende necesariamente del caudal, Se alcanza un aceptable nivel de rendimiento con pequeños turbinas, Se puede regular el caudal y la potencia por medio de un álabe ajustable, Su construcción es sencilla, pudiendo ser fabricada en pequeños talleres más información en el anexo A.3 Turbina Michell Banki.

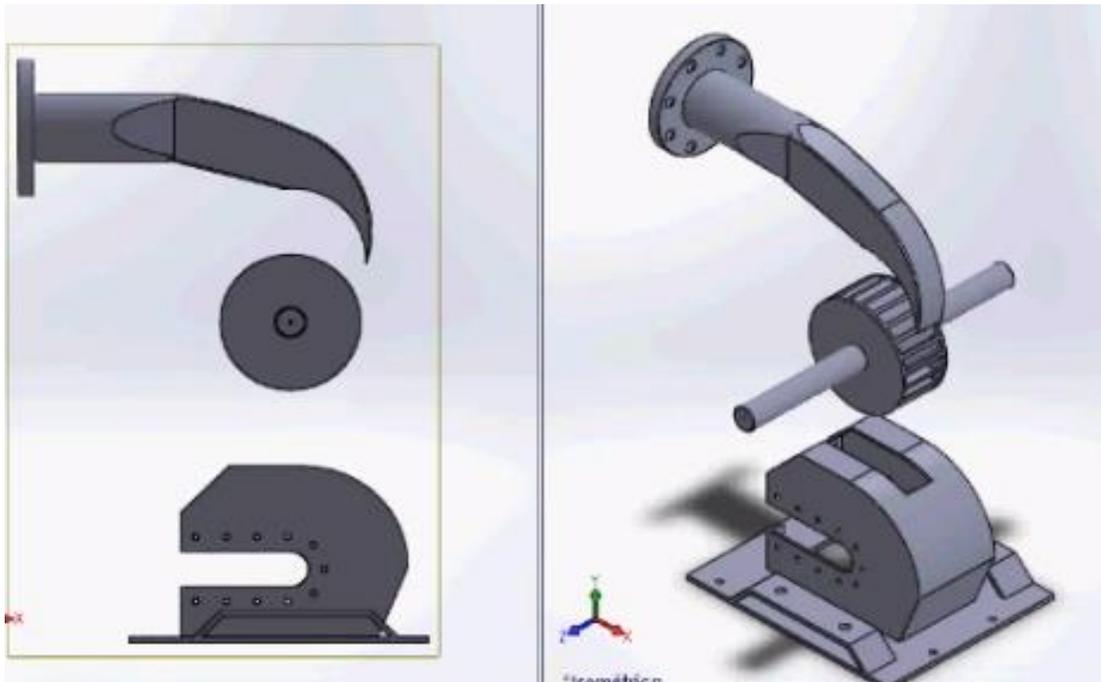


Fig. 3.7 Turbina Michell Banki.

3.4 Generador

Los generadores son máquinas utilizadas para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica AC o DC. En un generador se aplica una corriente dc al devanado del rotor, la cual produce un campo magnético rotacional dentro de la máquina. Este campo magnético rotacional induce un grupo trifásico de voltajes en los devanados del estator del generador.

Dos términos utilizados para describir los devanados de una máquina son devanados de campo y devanados de armadura. En general, el término devanado de campo se aplica a los devanados que producen el campo magnético principal en la máquina, y el término devanados de armadura se aplica a los devanados donde se induce el voltaje principal. Los devanados de campo están sobre el rotor, de modo que los términos devanados del rotor y devanados de campo se utilizan indistintamente más información en el anexo A.4 Generador.

Los generadores eléctricos se diferencian según el tipo de corriente que producen. Así, nos encontramos con dos grupos de máquinas eléctricas rotativas: los alternadores y las dinamos. Y cada uno es utilizado para la misma variable pero para diferente aplicación. Y los dos se basan en el mismo principio una fuerza mecánica actúa sobre ellos transformado a energía eléctrica.

Los alternadores generan electricidad en corriente alterna. El elemento inductor es el rotor y el inducido el estator. Su principal característica es cambiar constantemente la polaridad para que haya movimiento y genere energía. En el mundo se utilizan alternadores con una frecuencia de 50 Hz o 60 Hz, es decir, que cambia su polaridad 50 o 60 veces por segundo más información en anexo A.4 Alternador.

Los dinamos generan electricidad en corriente continua. El elemento inductor es el estator y el inducido el rotor. Una de las características de las dinamos es que son máquinas reversibles, se pueden utilizar tanto como generador o como motor. El motor es la principal aplicación industrial de la dinamo, ya que tiene facilidad a la hora de regular su velocidad de giro en el rotor.

Igual que el alternador las partes del dinamo son el estator es la parte fija exterior, rotor El rotor es la Parte móvil que gira dentro del estator, Entrehierro El entrehierro es el espacio de aire comprendido entre el rotor y el estator con acepción de la conmutación que es la operación de transformación de una señal alterna a una señal continua y también se conoce como rectificación de señal más información en anexo A.4 Dinamo.

Los alternadores son los generadores que se utilizan para toda central eléctrica ya que la corriente alterna es fácil de transportar. Es decir se generan menos pérdidas que la corriente continua. En cuanto a los alternadores existen 3 tipos el alternador con excitación de rotor, el alternador de imanes permanentes y las motobombas que no necesitan de ninguna excitación para generar.

El alternador con excitación en el rotor es el más conocido y utilizado por las centrales eléctricas de gran tamaño. Estas centrales los utilizan ya que para este caso este generador es eficiente y fácil de construir con relación a su tamaño. El generador funciona suministrándole una corriente a su estator para que cree un campo y pueda inducirle al rotor y así generar electricidad.

Los generadores de imanes permanentes son aquellos que no necesitan que se les excite al rotor para que pueda generar un campo. Ya que cuentan con un imán permanente incrustado en el rotor lo que provoca que siempre tenga un campo magnético lo que induce energía al estator. La única desventaja de él es que para un generador arriba de 1 MW son complejos de fabricar más información en el anexo A.4 Generador de imanes permanentes.

Las motobombas son utilizadas para la generación de electricidad en pequeña escala, es decir son utilizadas para centrales eléctricas micro y nano incluso hasta en centrales pico. Esto se debe a que son fáciles de conseguir y de operar ya que la turbina está acoplada a ella y solo hay que sobrepasar la velocidad síncrona de la máquina para que se comporte como generador.

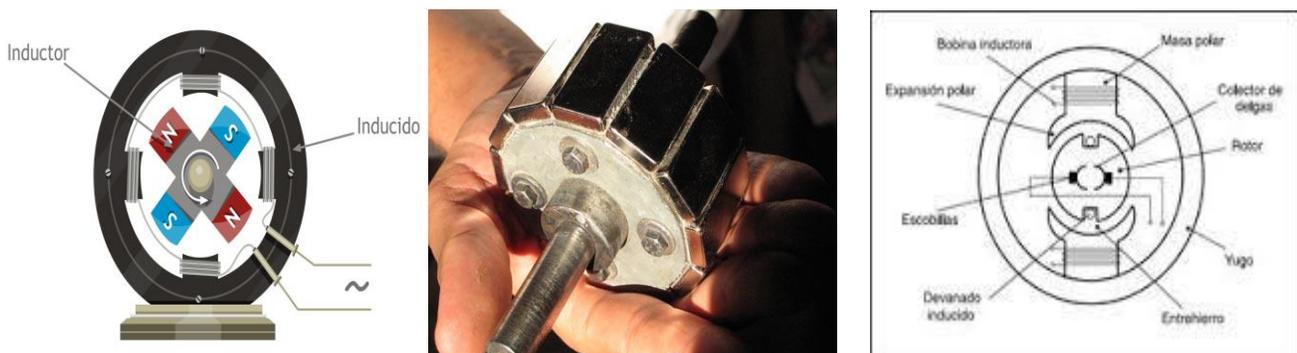


Fig. 3.8 Alternador de inducción, generador de imanes permanentes y dinamo.

Para este proyecto se utiliza un generador síncrono de imanes permanentes PMSG de la marca ABB utilizado en primera instancia en sistemas de generación eólica de velocidad variable. Este generador tiene la ventaja de evitar el sistema de excitación en el estator cuyo sistema de control se torna más complejo. Este tipo de generador posee una alta eficiencia (98%) debido a que evita las pérdidas por calentamiento en el mismo estator.

El aumento del aislamiento del rotor permite utilizar una amplia gama de convertidores. Minimiza la distorsión armónica total (THD) específicamente en el quinto y séptimo orden, ofrece alta calidad de la energía. ABB cuenta con experiencia en diseño de Generadores de imanes permanentes habiendo lanzado su primer modelo de alta velocidad en 2003. Esta experiencia se utiliza para las exigentes aplicaciones de la energía eólica.

El generador utiliza enfriamiento líquido o de aire. Posee una alta tecnología en aislamiento de tensión, presenta un tamaño pequeño y es de flexible construcción modular para una fácil integración en diferentes diseños de turbina. Sus diferentes presentaciones van hasta los 7 MW, 690 a 3.3 kV, 2,5 kV de aislamiento del rotor. Factor de potencia 0,9. La gama de velocidades de funcionamiento 0-2000 rpm, con un máximo de hasta 3000 rpm.



Fig. 3.9 Generador Síncrono de imanes permanentes marca ABB de 100kw.

3.5 Inversores

Fabricante	Modelo		País
DELTA ELECTRONICS	Solivia CMEU G3		Alemania
GAMESA ENERTRÓN	Inversor Central	100 kW	España
		500 kW	
GREENPOWER (GPtech)	POWER	PV 100	España
		PV 500	
		PV 500 CT	
		PV 500 modular	
		PV 630 modular	
INGETEM	IngecomSunPower (sin transformador)	100 TL	España
		125 TL	
		150 TL	
	IngecomSunPower Max 220 AC	250 TL	
		375 TL	
		500 TL	
	IngecomSunPower Max 275 AC	215 HE TL	
		500 HE TL	
		625 HE TL	
JEMA	Serie IF	100	España
		250	
		500	
KACO New Energy	Powador XP100-HV		Alemania
POWER ELECTRONICS	FreeSun Serie HE	FS 250IH - FS 1000IH	España
	FreeSun Serie HE Station (HES)	FS 250OH - FS 1000OH	
POWER-ONE	Aurora Lite		EE.UU
	Aurora Plus		
	Aurora Ultra		
REFUSOL	REFUSOL	100 K	Alemania
		160 K	
		333 K	
		500 K	
		630 K	
	REFUSPB	500 K	
		630 K	
		1,0 M	
		1,3 M	
SIEMENS	Sinvert Serie M	350	Alemania
		420	
		700	
	Sinvert Serie MS	850	
		1000	
		1300	
		1400	
	Sinvert Serie M-TL	1700	
		500	
		1000	
Sinvert Serie MS-TL	1500		
	2000		
SMA	Sunny Central	200/250/350/250 HE	Alemania
		500 a 800 CP	
		400/500/630 MV	
		400/500/630 HE	
		800/1000/1250 MV	
		100 Indoor/100 Outdoor /100In-Out HE	
SUNGROW	Serie SG (con transformador)	100 K3	China
		125 K	
		250 K3	
	Serie SG (sin transformador)	500 KTL	
		630 KTL	
		1000 KHV	
	Serie SG (grandes sistemas)	1000 KS	
		1260 KS	

Fig. 3.10 Marcas líderes de inversores eléctricos.

En la imagen 3.10 se exponen todas las marcas líderes en el mercado y cada una tiene sus ventajas y desventajas. Esto quiere decir que unas son más conocidas en México que otras y como consecuencia más fácil de conseguir como lo es la marca siemens que en todo México es líder en máquinas eléctricas y control de ellas, más información en el anexo A.5 Marcas mundiales de inversores.

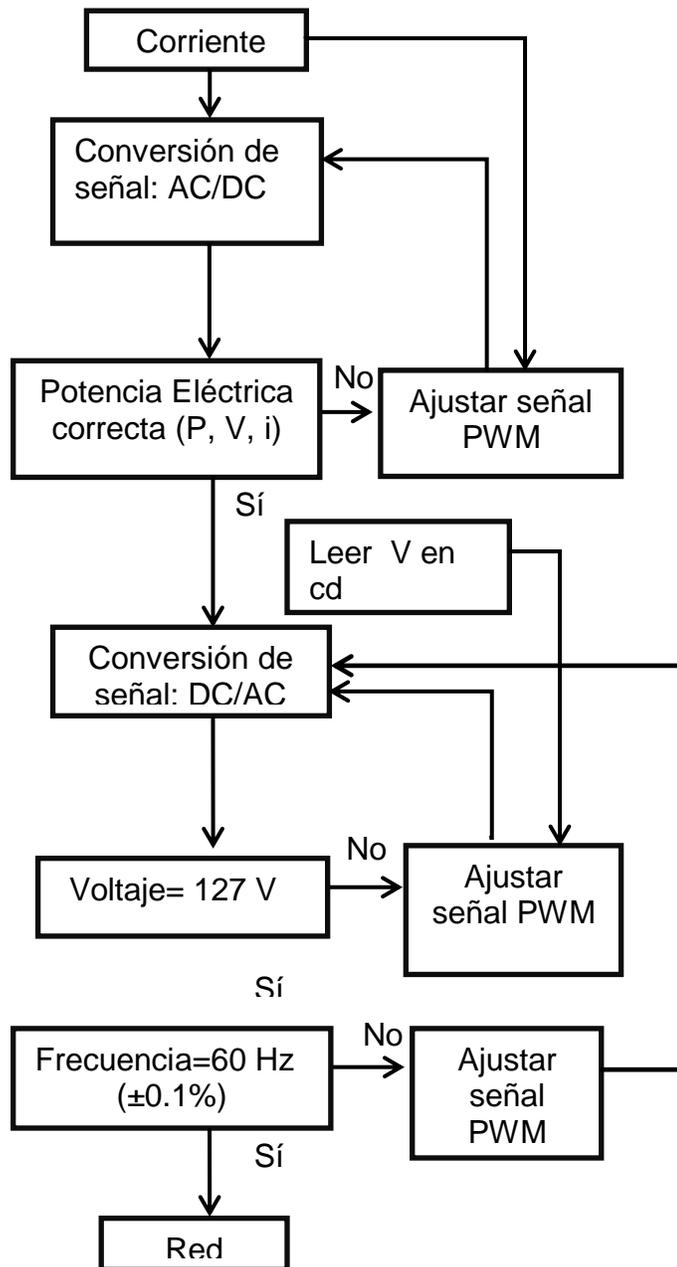


Fig. 3.11 Diagrama a bloques del inversor para micro-hidroeléctrica .

3.6 Protecciones

Toda instalación eléctrica tiene que estar dotada de una serie de protecciones que la hagan segura, tanto desde el punto de vista de los conductores y los aparatos a ellos conectados, como de las personas que han de trabajar con ella. Estas protecciones pueden variar desde complejos sistemas que utilizan programación o hasta con ductor que se funde cuando pasa una corriente determinada por él.

Existen muchos tipos de protecciones, que pueden hacer a una instalación eléctrica completamente segura ante cualquier contingencia, pero hay tres que deben usarse en todo tipo de instalación: de alumbrado, domesticas, de fuerza, redes de distribución, circuitos auxiliares, ya sea de baja o alta tensión. Estas tres protecciones eléctricas son protección contra cortocircuitos, Protección contra sobrecargas, Protección contra electrocución.

Protección contra cortocircuitos.- En el origen de todo circuito deberá colocarse un dispositivo de protección, de acuerdo con la intensidad de cortocircuito que pueda presentarse en la instalación". No obstante se admite una protección general contra cortocircuitos para varios circuitos derivados. Los dispositivos más empleados para la protección contra cortocircuitos son: Fusibles calibrados también llamados cortacircuitos, o Interruptores automáticos termo magnéticos.

Protección contra sobrecargas.- Entendemos por sobrecarga al exceso de intensidad en un circuito, debido a un defecto de aislamiento o bien, a una avería o demanda excesiva de carga de la máquina conectada a un motor eléctrico. Las sobrecargas deben de protegerse, ya que pueden dar lugar a la destrucción total de los aislamientos, de una red o de un motor conectado a ella. Una sobrecarga no protegida degenera siempre en un cortocircuito.

Si el conductor neutro tiene la misma sección que las fases, la protección contra sobrecargas se hará con un dispositivo que proteja solamente las fases, por el contrario si la sección del conductor neutro es inferior a la de las fases, el dispositivo de protección habrá de controlar también la corriente del neutro". Además debe de colocarse una protección para cada circuito derivado de otro principal. Los dispositivos utilizados son fusibles gt y gf, termo magnéticos y relés térmicos

Protección contra electrocución.- Frente a los peligros de la corriente eléctrica, la seguridad de las personas, ha de estar fundamentada en que nunca puedan estar sometidas involuntariamente a una tensión peligrosa. Por tal motivo, para la protección contra electrocución deben de ponerse los medios necesarios para que esto nunca ocurra.

La reglamentación actual clasifica las protecciones contra contactos indirectos, que pueden dar lugar a electrocución en dos clases: Clase A: Esta clase consiste en tomar medidas que eviten el riesgo en todo momento, de tocar partes en tensión, o susceptibles de estarlo, y las medidas a tomar son separación de circuitos, separación entre partes con tensión y masas metálicas, por medio de aislamientos, Recubrimiento de las masas con elementos aislantes.

Clase B: Este sistema que es empleado, tanto en instalaciones domésticas como industriales, consiste en la puesta a tierra de las masas, asociada a un dispositivo de corte automático relé o controlador de aislamiento, que desconecte la instalación defectuosa. Las cuales son divididas en Puesta a tierra de las masas, Relés de control de aislamiento, Interruptores diferenciales, Relés de aislamiento.

Se denomina puesta a tierra a la unión eléctrica, entre todas las masas metálicas de una instalación y un electrodo, que suele ser generalmente una placa o una jabalina de cobre o hierro galvanizado o un conjunto de ellos, enterrados en el suelo, con el fin de conseguir una perfecta unión eléctrica entre masas y tierra, con la menor resistencia eléctrica posible, como se ve en la figura 3.12 Con esto se consigue que en el conjunto de la instalación no puedan existir tensiones peligrosas entre masas y tierra.

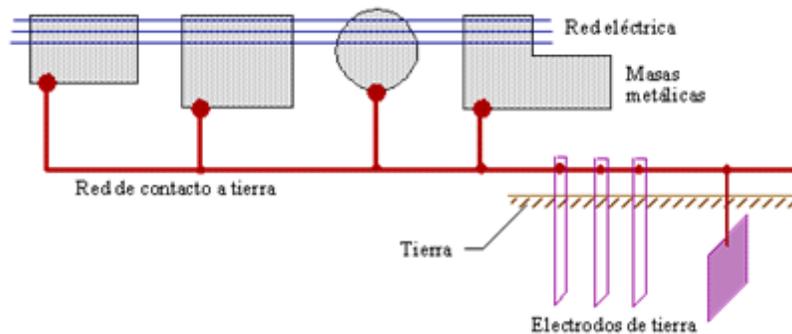


Fig. 3.12 Protección puesta a tierra.

Interruptores o relés diferenciales.- El interruptor diferencial es un elemento destinado a la protección de las personas contra los contactos indirectos. Se instala en el tablero eléctrico después del interruptor automático del circuito que se desea proteger, generalmente circuitos de enchufes, o bien, se le puede instalar después del interruptor automático general de la instalación si es que se desea instalar solo un protector diferencial, si es así se debe cautelar que la capacidad nominal del disyuntor general sea inferior o igual a la del protector diferencial.

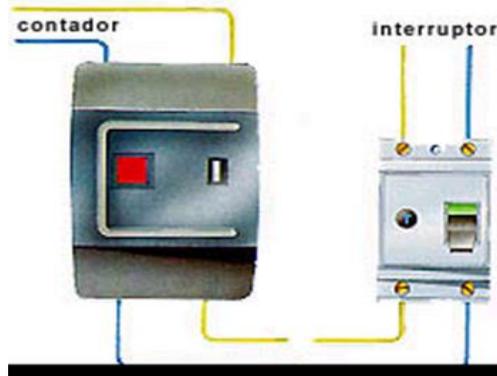


Fig. 3.13 Interruptores o relés diferenciales.

El interruptor diferencial, fig. 3.14, es un aparato cuya misión es desconectar una red de distribución eléctrica, cuando alguna de sus fases se pone a tierra, bien sea directamente o a través de humedades generalmente. El interruptor diferencial se activa al detectar una corriente de defecto I_d , que sea superior a su umbral de sensibilidad I_s .

La protección diferencial está basada en la 1ª Ley de Kirchoff, Esto hace que cuando se produce la derivación a tierra de una fase, exista un desequilibrio entre la suma geométrica de las intensidades de la red; este desequilibrio, que es precisamente la corriente de defecto I_d , es lo que detecta el interruptor diferencial, provocando a continuación la desconexión de la red defectuosa. Más información en el anexo A.6 Protecciones

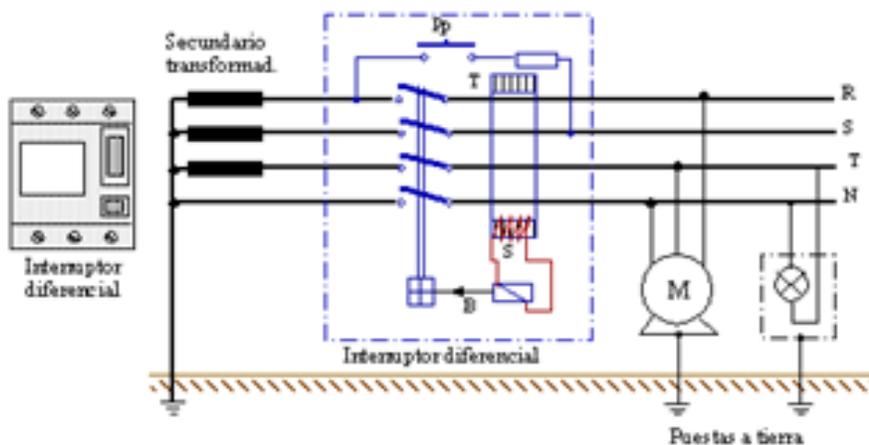


Fig. 3.14 Conexión de interruptor diferencial.

Interruptores termo magnéticos QO de Square-D.- Estos interruptores brindan protección ante eventos de sobrecarga y cortocircuito. Su ágil y eficiente montaje tipo enchufable y el indicador de disparo VISI-TRIP, son características muy útiles en su instalación y operación continua.

Se instalan en los centros de carga QOD, QOX y QO, así como en los tableros de alumbrado NQ, existen versiones de 1, 2 y 3 polos, en capacidades de 10 a 125A, así como otras versiones especiales, tales como la protección contra falla a tierra y la protección contra transitorios, entre otros.

Los interruptores QO de Square-D están contruidos de acuerdo con las normas mexicanas NMX-J-266, adicionalmente el diseño cumple con la norma UL-489, por lo que cuentan con certificado NOM y UL.

Diagramas de conexión, variantes GFI, EPD, AFI y CAFI.

Interruptores QO-GFI.- Diseñados para dar protección a personas ante eventos de falla a tierra, además, protegen contra eventos de sobrecarga y cortocircuito. Ante fallas a tierra, estos equipos deben de activarse y abrir el circuito con corriente de falla de 6mA y mayores, y deben de permanecer cerrados si la intensidad de falla es menor de 4 mA.

Una protección de este tipo es exigida por la NOM-001-SEDE-2012 (Norma Oficial Mexicana de Instalaciones Eléctricas) en circuitos derivados como: baños, cocinas, cocheras, contactos en el piso y exterior, albercas, fuentes, tinas e instalaciones similares.

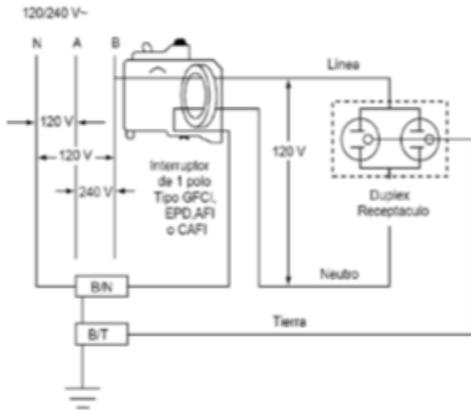
Interruptores QO-EPD.- Diseñados para dar protección ante eventos de falla a tierra, con sensibilidad de 30mA, por lo que está diseñado para proteger equipos como los de calefacción.

Interruptores QO-AFI y CAFI.- Recomendado para reducir el riesgo de incendio por la detección de falla de arco eléctrico, también protegen contra eventos de sobrecarga y cortocircuito. El modelo QO-AFI detecta y actúa ante el arco eléctrico entre cables paralelos, es decir, entre la línea y el neutro, o entre la línea y la tierra. El modelo QO-CAFI además de reconocer el arco paralelo, también puede detectar y actuar ante el arco eléctrico en serie, que se da en un mismo conductor cuando éste se rompe internamente.

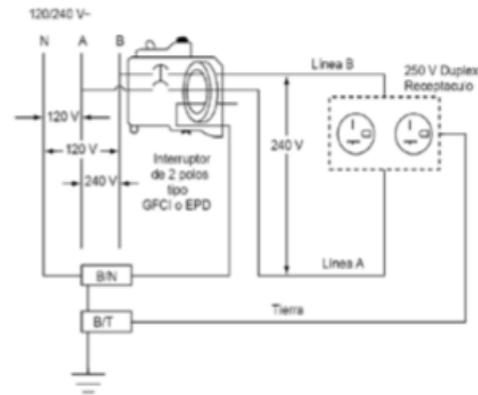
Interruptor	Tablero de alumbrado		Centro de carga			Excepciones
	NQOD	NQ	QO	QOX	QOD	
GFI, EPD	Si	Si	Si	Si	Si	QOD1, QOD2, QO2
AFI, CAFI	Si	Si	Si	Si	No	QO2, QO24, QO35

Esquemas de conexión.

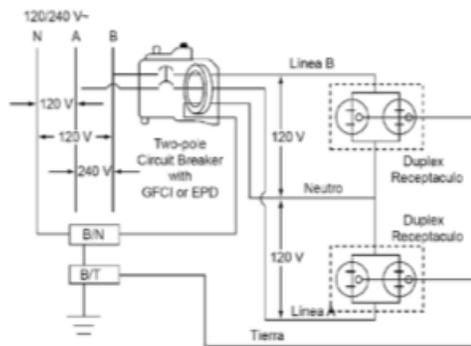
Esquema de conexión interruptores de 1 polo.



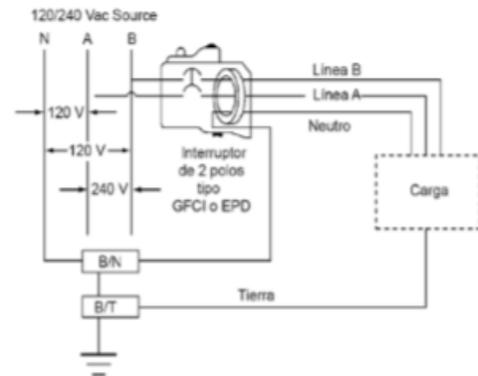
Esquema de conexión para un receptáculo de 2 fases, 240 V máximo.



Esquema de conexión de multicircuitos monofásicos.



Esquema de conexión para una carga a 3 hilos.



Tipo de Interruptor	Corriente Nominal	Conductor de aluminio		Conductor de cobre	
		mm ²	AWG	mm ²	AWG
QO1	10 - 30		#14 - 8		#14 - 8
	10 - 30		-		(2) #14 - 10
	35 - 70		#8 - 2		#8 - 2
QO2 & QO3	10 - 30		#14 - 8		#14 - 8
	35 - 70		#8 - 2		#8 - 2
	80 - 125		#4 - 2/0		#4 - 2/0
QO Tandem	15 - 20		#12 - 8		#14 - 8
GFI-AFI-EPD	15 - 30		#12 - 8		#14 - 8
	40 - 50		#12 - 4		#14 - 4

QO-GFI Interruptores QWIK GARD® (Sensibilidad = 6mA)

Protección contra sobrecarga, cortocircuito y falla a tierra, para protección de personas contra falla a tierra Clase A, 10 000 A de capacidad interruptiva.

Corriente nominal [A]	1 polo, 120/240V~ Catálogo	2 polos, 120/240V~ Catálogo
15	QO115GFI	QO215GFI
20	QO120GFI	QO220GFI
30	QO130GFI	QO230GFI
40		QO240GFI
50		QO250GFI



QO-EPD (Sensibilidad = 30mA)

Protección contra sobrecarga, cortocircuito y falla a tierra, para protección de equipos contra falla a tierra Clase B, 10 000 A de capacidad interruptiva.

Corriente nominal [A]	1 polo, 120/240V~ Catálogo	2 polos, 120/240V~ Catálogo
15	QO115EPD	QO215EPD
20	QO120EPD	QO220EPD
30	QO130EPD	QO230EPD
40		QO240EPD
50		QO250EPD



QOW Interruptor termomagnético

Sin ventana ni bandera de disparo, 10 000 A de capacidad interruptiva.

Corriente nominal [A]	1 polo 120/240V~ Catálogo
15	QOW115
20	QOW120
30	QOW130

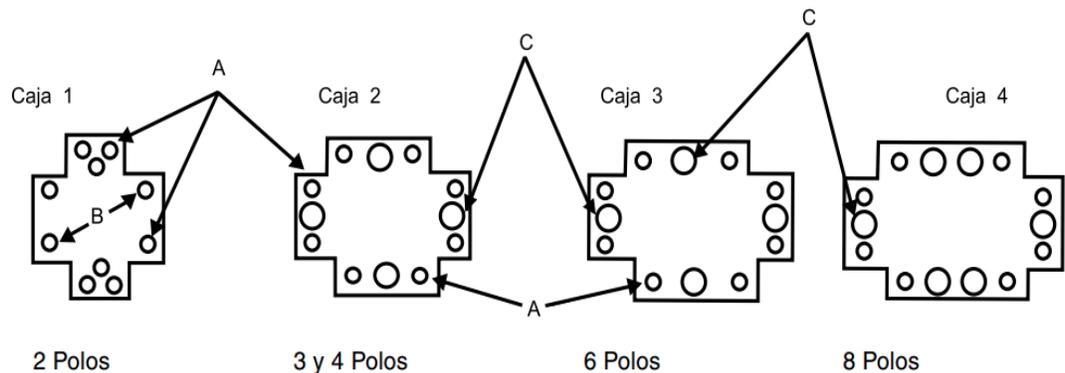


Centros de carga QOD de Square D.- Son la solución básica para la distribución eléctrica en los hogares y para aplicaciones comerciales ligeras. Estos equipos cuentan con zapatas principales para recibir la alimentación de energía eléctrica para después, distribuirla a los circuitos derivados en que se instalan los

interruptores QO que comprende desde 1 hasta 8 espacios para circuitos derivados, predominando los equipos monofásicos, aunque también existe un equipo trifásico de 3 espacios.

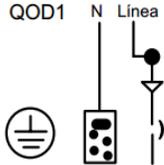
Características. Cuenta con un número de espacios entre 1, 2, 3, 4, 6 y 8 circuitos derivados, la corriente nominal es de 50 a 100 A. El sistema es 1 Fase – 2 Hilos, 120 V~. 2 Fases – 3 Hilos, 120/240 V~. 3 Fases – 4 Hilos, 220Y/127V~. La frecuencia es de 60. La capacidad interruptiva es de 10 000 A.

Cuenta con Interruptores derivados, Interruptores termomagnéticos QO Montaje enchufable, con ventana indicadora de disparo VISI-TRIP y Gabinete envolvente de lámina de acero rolada en frío, Tipo 1, uso interior, Color Gris, Conexiones terminales de aluminio estañado para mayor protección anticorrosión, Certificados por la NOM-ANCE.



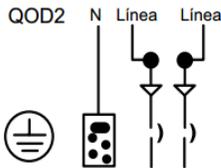
Centros de carga QOD. Línea domestica nacional.

Alimentación a zapatas principales

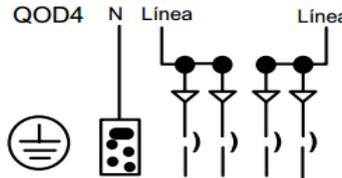
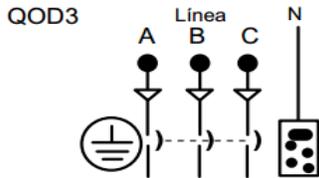


No. espacios	Corriente nominal	Tipo de sistema	Tensión V ~	No. catálogo empotrar	No. catálogo sobreponer	No. de caja
1	50 A	1F-2H	127	QOD1F	QOD1S	1
2	50 A	2F-3H	240/120	QOD2F	QOD2S	1
3	100 A	3F-4H	220Y/127	QOD3F	QOD3S	2
4	60 A	2F-3H	240/120	QOD4F	QOD4S	2
6	100 A	2F-3H	240/120	QOD6F	QOD6S	3
8	100 A	2F-3H	240/120	QOD8F	QOD8S	4

Conductor admisible en las zapatas de alimentación

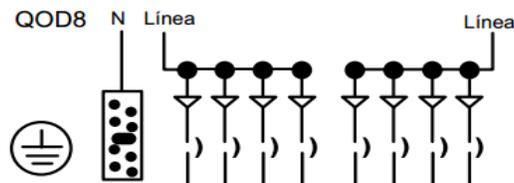
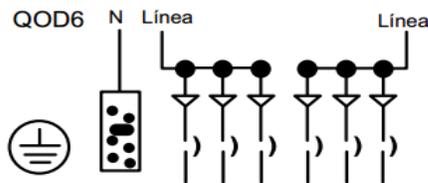


No. de espacios	Catálogo prefijo	Mínimo		Máximo	
		mm ²	AWG	mm ²	AWG
1	QOD1	2,08	14	13,3	6
2	QOD2	2,08	14	13,3	6
3	QOD3	2,08	14	67,43	2/0
4	QOD4	2,08	14	13,3	6
6	QOD6	2,08	14	53,48	1/0
8	QOD8	2,08	14	53,48	1/0



Dimensiones (mm/pulg)

No. de caja	Montaje	Ancho	Alto	Fondo
1	Empotrar	127 / 5,0	186 / 7,3	75 / 2,95
	Sobreponer	93 / 3,75	157 / 6,2	
2	Empotrar	190 / 7,5	210 / 8,2	75 / 2,95
	Sobreponer	165 / 6,5	188 / 7,4	
3	Empotrar	227 / 8,9	210 / 8,2	75 / 2,95
	Sobreponer	200 / 7,9	188 / 7,4	
4	Empotrar	269 / 10,6	210 / 8,2	75 / 2,95
	Sobreponer	242 / 9,5	188 / 7,4	

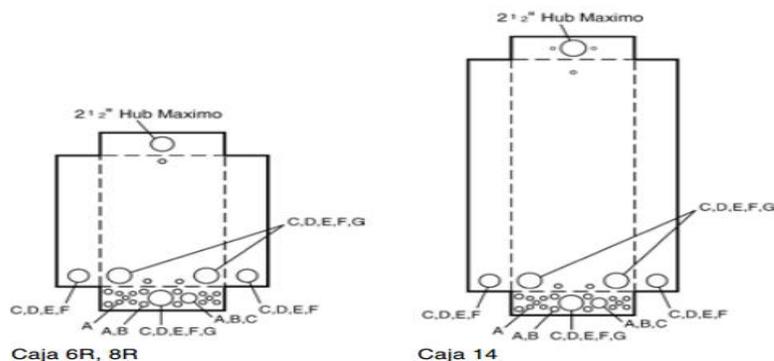


Centros de carga QO (tipo americano) de Square D.- Estos equipos pueden solicitarse con interruptor principal o zapatas principales, tanto para sistemas monofásicos, como trifásicos, dependiendo de los requerimientos de la aplicación. Existen centros de carga QO desde 2 hasta 42 espacios para circuitos derivados.

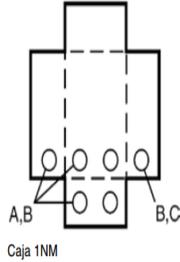
Existe un modelo en gabinete no metálico para uso en intemperie, ideal para acometida residencial. Los centros de carga QO se instalan en pared y pueden solicitarse para montaje empotrar o sobreponer. Toda la gama de interruptores termomagnéticos enchufables QO de Square D puede instalarse en los centros de carga QO.

Cuenta con espacios de 2 a 42 circuitos derivados, la Corriente nominal es de 30 a 225 A, el sistema en, 1 Fase – 2 ó 3 Hilos, 120/240 V~ 3 Fases – 3 ó 4 Hilos, 220Y/127 V~, la frecuencia es 60 Hz Alimentación: Zapatas principales o interruptor principal.

Capacidad interruptiva de 10 000 A, con zapatas principales. 22 000 A, con interruptor principal e interruptores derivados, el montaje Empotrar o Sobreponer, Color Gris ANSI 49, Conexiones terminales de aluminio estañado para mayor protección anticorrosión. Certificados por la UL, NOM-ANCE.

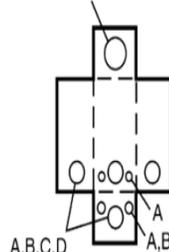


Tipo NEMA 3R, a prueba de lluvia.

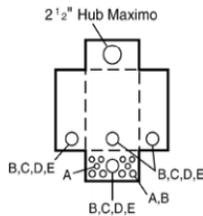


Caja 1NM

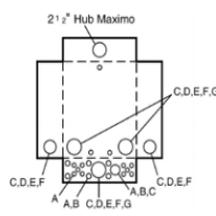
2 1/2" Hub Maximo



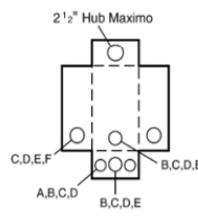
Caja 1R



Caja 2R



Caja 3R, 4R



Caja 10R

Corriente Amperes	Número de Espacios	Caja, frente e interior		Conductor principal		Accesorio de tierra	No. de caja
		No. de catálogo		Al	Cu		
Gabinete NO metálico							
Monofásico 1F - 3H 120/240 V- 10 000 A sim							
60	2	QO24L60NRNM	#14 - # 4	#14 - # 4	incluido		1NM
Gabinete Metálico							
Monofásico 1F - 3H 120/240 V- 10 000 A sim							
40	2	QO2L40RB	#12 - # 6	#14 - # 6	PK3GTA-1		1R
70	2	QO24L70RB	#14 - # 4	#14 - # 4	PK4GTA		1R
100	6	QO612L100RB	#8 - # 1	#8 - # 1	PK7GTA		2R
10	8	QO816L100RB	#8 - # 1	#8 - # 1	PK7GTA		2R
125	12	QO112L125GRB	#6 - # 2/0	#6 - # 2/0	INCLUIDO		3R
125	24	QO124L125GRB	#6 - # 2/0	#6 - # 2/0	INCLUIDO		4R
200	30	QO130L200GRB	#6 - 250	#6 - 250	INCLUIDO		6R
225	42	QO142L225GRB	#6 - 300	#6 - 300	INCLUIDO		8R
Trifásico 3F - 4H 240/120 V- 10 000 A sim							
60	3	QO403L60NRB	-	#10 - # 6	PK4GTA		10R
125	12	QO312L125GRB	#6 - # 2/0	#6 - # 2/0	INCLUIDO		3R
125	20	QO320L125GRB	#6 - # 2/0	#6 - # 2/0	INCLUIDO		4R
200	30	QO330L200GRB	#6 - 250	#6 - 250	INCLUIDO		6R
225	42	QO342L225GRB	#6 - 300	#6 - 300	INCLUIDO		8R

Interruptor principal - Gabinete Tipo 3R (uso intemperie o interior)

Corriente Amperes	Número de Espacios	Caja, frente e interior		Conductor principal		Accesorio de tierra	No. de caja
		No. de catálogo		Al	Cu		
Gabinete Metálico							
Monofásico 1F - 3H 120/240 V- 10 000 A sim							
100	12	QO112M100RB	#6 - # 2/0	#6 - # 2/0	PK9GTA		3R
100	20	QO120M100RB	#6 - # 2/0	#6 - # 2/0	PK15GTA		4R
200	30	QO130M200RB	#4 - 250	#4 - 250	PK18GTA		6R
225	42	QO142M225RB	#4 - 300	#4 - 300	PK23GTA		8R
Trifásico 3F - 4H 240/120 V- 10 000 A sim							
100	27	QO327M100RB	#4 - # 2/0	#4 - # 2/0	PK15GTA		6R
200	30	QO330MQ200RB	#6 - 250	#6 - 250	PK18GTA		14R
225	42	QO342MQ225RB	#6 - 300	#6 - 300	PK23GTA		14R

Sistema de Alarma.- Para protección del el generador como del inversor se recurrió a la invención de un sistema de alarma que cumpla con ciertas características. Para ello se utiliza una tarjeta de datos llamada Arduino como también sensores de voltaje, corriente y temperatura y los sistemas de desconexión del circuito y el sistema de alarmas para fallas.

Este sistema debe ser capaz de detectar un nivel de voltaje por debajo o mayor a lo requerido, además de la elevación de temperatura y corriente del generador debido a una falla de cortocircuito o similar que genere un incremento en la corriente o calentamiento. El circuito además generará una alarma visible o audible para un operario, quien revisará los posibles problemas ocasionados.



Fig. 3.15 Tarjeta Arduino uno.

Arduino se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos, teniendo entradas desde una variedad de sensores e interruptores y el control de una variedad de luces, motores y otras salidas físicas. Los proyectos de Arduino pueden ser independientes o comunicarse con el software de una computadora (flash, Processing). La tarjeta puede ensamblarse o comprarse pre ensamblado y el código abierto puede descargarse de forma gratuita.



Fig. 3.16 Sensor de temperatura Lm35.

Sensor de Temperatura Lm35.- Es un pequeño sensor de temperatura, Fig. 3.16, con 9 a 10 bits de precisión desde 0 °C a 100 °C con un margen de error de tan solo 0.5 grados. No requiere de componentes externos para su funcionamiento. Cada sensor incorpora de fábrica un número de serie de 64 bits que permite conectar múltiples sensores en paralelo usando sólo una patilla como bus de datos.



Fig. 3.17 Sensor de corriente SCT-013-030.

Sensor de corriente SCT-013-030.-El sensor SCT-013-030, fig. 3.17, se utiliza para medir la corriente alterna. Son particularmente útiles para medir el consumo(o generación) de electricidad de un edificio entero.

El tipo de núcleo dividido, es particularmente adecuado para el uso de bricolaje se puede enganchar directamente a cualquier cable de alta tensión o neutral sin tener que hacer ningún trabajo de alta tensión eléctrica. Sus especificaciones se observan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Especificaciones del sensor SCT-013-030.

Especificaciones	
Corriente de entrada	0-30 A
Tensión de salida	0-1 V
No-linealidad	± 3%
resistencia de muestreo	62Ω
Relación de vueltas	1800: 1
Grado de resistencia	Grado B
Temperatura de trabajo	-25 ° C ~ + 70 ° C
Rigidez dieléctrica (Entre la carcasa y la salida)	1500V AC / 1min 5 mA

4. Desarrollo

4.1 Dimensionamiento de la Central

El desarrollo del proyecto parte desde las obras que garantizan el buen funcionamiento de la central hidroeléctrica. Gran parte de la infraestructura requerida para la generación de electricidad, que produce el mayor porcentaje costos, en contraste con lo que se puede creer, es la obra civil. A diferencia de la obra eléctrica, que debido a los avances tecnológicos se reduce enormemente en tamaño y precio.

La obra civil debe garantizar un flujo constante de agua y en condiciones adecuadas (mínima concentración de sólidos disueltos) hacia la turbina y también debe de ser capaz de evitar los niveles excesivos de agua que puedan producir sobrepresiones y generar problemas secundarios como daño a la turbina o en el peor de los casos ruptura de tubería.

Estas obras civiles comienzan desde la obra de toma, la obra de conducción, el desarenador, el tanque de presión y la tubería forzada. Aunque en la obra de conducción y en la tubería forzada se utilizan tuberías prefabricadas de acero o PVC, se requiere de una obra que dé soporte y anclaje a estas estructuras.

4.2 Bocatoma

Para el dimensionamiento de la Bocatoma se parte de algunos datos de diseño como lo es el caudal que debe ser captado y el nivel mínimo de las aguas en el río. Estos datos son $Q=1.1992 \text{ m}^3/\text{s}$ y $h_0 = 1\text{m}$. El caudal se calcula de acuerdo la potencia generada y la altura en base a una medición realizada en la zona planeada para ello. Posteriormente se eligen los barrotes rectangulares para la construcción de la rejilla de captación. Esta tipo de rejilla adopta un coeficiente de derrame μ que depende de la forma y varía entre 0.68 y 0.85. Para este caso se utiliza $\mu=0.7$ (fig. 4.15).

$$Q = \frac{P}{H * g * \eta} = \frac{100 \text{ kW}}{(10) * (9.81) * (0.85)} = 1.1992 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (\text{ec. 4.1})$$

La altura utilizada para el cálculo anterior se toma por el desnivel que debe existir entre la bocatoma hasta el tanque de presión.

Con el fin de evitar que el material de acarreo golpee directamente la rejilla, ésta debe tener una inclinación, la cual se toma de la tabla 4.1. En la tabla se selecciona un ángulo de inclinación $\beta = 20^\circ$ que le corresponde un coeficiente de captación $\chi = 0.837$.

Tabla 4.1 Coeficiente χ de acuerdo con el ángulo de inclinación.

β	χ
14°	0.879
16°	0.865
18°	0.851
20°	0.837
22°	0.825
24°	0.812
26°	0.800

A continuación, se determina la abertura entre barras a de la rejilla. Ésta puede tener las medidas expresadas en la tabla 4.2. Para este caso se selecciona $a = 4$ cm. La distancia entre los ejes de las barras depende del ancho de cada barra. Para la bocatoma aquí descrita se usan barras comunes de $\frac{3}{4}$ " lo que equivale a $d = 6$ cm. Para mejor apreciación de las medidas se presenta la imagen 4.15, en ella se muestran las dimensiones de las barras.

Tabla 4.2 Distancia entre barras y ejes de acuerdo al tipo de reja utilizada

Rejas	Abertura
Rejas gruesas 1 1/2"	4 – 10 cm
Rejas comunes 3/4" – 1 1/2"	2 – 4 cm
Rejas finas 3/8" – 3/4"	1 – 2 cm

Una vez determinado estos parámetros se procede a calcular el coeficiente de contracción c , el cual varía en función de la disposición de las barras de la rejilla. Este coeficiente se expresa de la siguiente manera:

$$C = 0.6 * \left(\frac{a}{d}\right) * (\cos \beta)^{3/2} \quad (\text{ec. 4.2})$$

$$C = 0.6 * \left(\frac{4}{6}\right) * (\cos 20^\circ)^{3/2} = 0.36436673$$

La altura inicial del agua h se determina con la siguiente fórmula. Donde h_0 es el nivel mínimo de las aguas del río y se determina en base a una medición en el lugar planificado para la obra de toma. X es el coeficiente de captación según la inclinación de la rejilla y es igual a 0.837.

$$h = \frac{2}{3} * \chi * h_0 \quad (ec. 4.3)$$

$$h = \frac{2}{3} * (0.837) * (1m) = 0.558m$$

A partir de la información anterior, el caudal es igual a:

$$Q = c * \mu * b * L * (2 * g * h)^{1/2} \quad (ec. 4.4)$$

$$Q = (0.364366) * (0.7) * b * L * (2 * 9.81 * 0.558)^{\frac{1}{2}} = 0.843922344 * b * L$$

Donde las medidas de b y L representan el ancho del vertedero y la longitud de la rejilla, respectivamente. Estas constantes de diseño pueden tomar varios valores de acuerdo a las condiciones del terreno. Estos posibles valores se muestran en la tabla 4.3. Se escoge el más apropiado: el que mejor se adapte a las condiciones y el que suponga un mejor costo.

Tabla 4.3 Posibles valores para b y L en la determinación del caudal a captar por la rejilla.

Q (m ³ /s)	b (m)	L (m)
1.1992	1	1.42
1.1992	1.5	0.947
1.1992	2	0.71
1.1992	2.5	0.568

Se hace un análisis para determinar cuál de los datos anteriores se debe escoger. Para ello se determina el ancho de la rejilla b' (véase figura 4.16). Este ancho es el ancho real, ya que b solo representa el espacio libre por el cual pasara agua, pero no considera el espacio ocupado por las rejillas.

Entonces primero se determina el número de espacios n que habrá en toda la rejilla mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{b}{a} \quad (ec. 4.5)$$

Se toman en consideración todos los valores obtenidos para b en la tabla 4.3 y al final se escoge el que tiene por $b=2m$. Esto debido a que la cantidad de barrotes a utilizar es 1 más que el número de espacios. Esta cantidad al ser multiplicada por la longitud de cada barrote determina la cantidad de material para su fabricación y por ende se escoge la que genera menor costo, además que se adapta perfectamente a las condiciones del río San Vicente.

$$\text{Número de espacios } (n) = \frac{2}{0.04} = 50 \text{ espacios} \quad (\text{ec. 4.6})$$

$$\text{Número de barras } (N) = n + 1 = 50 + 1 = 51 \text{ barras} \quad (\text{ec. 4.7})$$

$$\text{Material a utilizar} = N * L = (51) * (0.71m) = 36.21m \text{ de material} \quad (\text{ec. 4.8})$$

Ahora bien el ancho total de la toma de agua b' , incluida la rejilla, es de:

$$b' = b + (N * e) = 2 + (51 * 0.02) = 3.02 m \quad (\text{ec. 4.9})$$

Para evitar que hojas y otros elementos puedan reducir el área de captación se aumenten en 20% la longitud de la rejilla.

$$L' = 1.2 * L = 1.2 * 0.71m = 0.852 m \quad (\text{ec. 4.10})$$

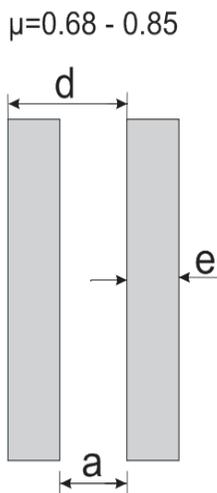


Fig. 4.1 Medidas en las barras de la rejilla para la bocatoma.

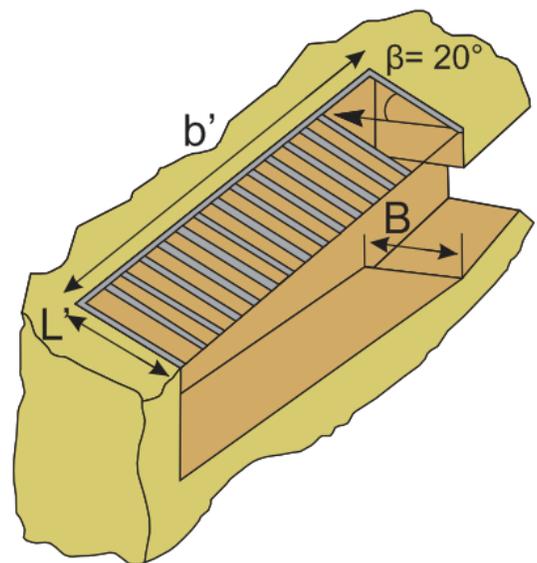


Fig. 4.2 Dimensiones del canal de aducción y de la rejilla.

Ahora se procede con el cálculo del ancho del canal, el cual corresponde a la componente horizontal de la longitud de la rejilla, esto se determina fácilmente con la relación coseno del triángulo rectángulo:

$$B = L' * \cos \beta \quad (\text{ec. 4.11})$$

$$B = (0.852) * \cos 22^\circ = 0.7899 \text{ m}$$

La profundidad del canal T es aproximadamente igual a su ancho B. Es decir, B= T = 0.7899. Esto debido a que, el canal debe ser de sección transversal cuadrada, porque con esto se concentra la mayor área en el menor espacio.

La pendiente I recomendada para el canal colector de la toma es de 30% a fin de eliminar los sólidos en suspensión que pasen a través de la rejilla:

$$I = 30\% \quad (\text{ec. 4.12})$$

4.3 Desarenador

Esta obra se encarga para sedimentar las partículas de material sólido suspendidas en el agua. Estas partículas se encuentran suspendidas debido a la velocidad con la que entran de la bocatoma y en parte por la crecida de agua provocada por la temporada de lluvias que agita el agua o lleva sedimentos del deslizamiento de tierra de las orillas del río.

El proceso de sedimentación es importante debido a que las partículas sólidas disueltas en el agua pueden corroer a la turbina, puesto que al entrar en ésta, se encuentran a una gran velocidad. Además, cambian la densidad del agua y por consiguiente la presión dentro de la tubería, lo que provocaría daños en ésta y un aumento en la frecuencia de mantenimiento en el mejor de los casos.

Por ello es fundamental el dimensionamiento del desarenador. Para este proyecto se escoge un desarenador de lavado intermitente, cuyos sedimentos se eliminan cada cierto tiempo en los trabajos de mantenimiento. Las aguas del río San Vicente, contienen sedimentos del tipo arcilloso cuya velocidad horizontal V_d límite según Dubuat es de 0.081 m/s, para este caso se utiliza 0.2m/s. Esta velocidad según este autor no debe exceder los 0.5 m/s, esto para asegurar que el agua no arrastre partículas.

Ahora bien, según Arkhangalski, la velocidad de sedimentación V_s que representa la velocidad vertical debido a la influencia de la gravedad se puede extraer de la tabla 4.4. Se toma en cuenta que para centrales hidroeléctricas con caídas en el

rango de 10 – 100 metros o de caída media, como en el caso del presente proyecto, el tamaño de partículas en suspensión debe oscilar entre 0.1 a 0.2 mm de diámetro.

Tabla 4.4 Velocidades de sedimentación de las partículas sólidas en suspensión de acuerdo con su diámetro.

D (mm)	V _s (m/s)
0.05	0.178
0.10	0.692
0.15	1.560
0.20	2.160
0.25	2.7
0.30	3.240
0.35	3.78
0.40	4.32
0.45	4.86
0.50	5.40

Se consideran las partículas con el menor tamaño posible según el tipo de caída que se trabaja en este proyecto, esto es: partículas con un diámetro de 0.1mm y una velocidad vertical de 0.692 m/s. El empuje ascensional dinámico W, según Sokolov, equivale a:

$$W = 0.152 * V_s = (0.152) * (0.692) = 0.105184 \quad (\text{ec. 4.13})$$

Siguiendo el dimensionamiento, tenemos que la longitud mínima L que deber tener el desarenador se puede expresar de la siguiente manera:

$$L = \frac{V_d * h}{V_s'} = \frac{V_d * h}{V_s - W} \quad (\text{ec. 4.14})$$

$$L = \frac{(0.2) * (1.5)}{(0.692 - 0.105184)} = 0.511233504 \text{ m}$$

En este cálculo se elige la profundidad de la cámara $h=1.5$ m porque para una velocidad horizontal V_d que oscila entre 0.1 y 0.4 m/s se sugiere tomar una altura que esté en el rango de 1.5 y 4 m. El tiempo de decantación de la partícula es de:

$$td = \frac{L}{V_d} = \frac{0.511233504}{0.2} = 2.55616 \text{ s} \quad (\text{ec. 4.15})$$

El tiempo de sedimentación de la partícula es igual a:

$$t_s = \frac{h}{V_s - W} = \frac{1.5}{0.692 - 0.105184} = 2.5561675 \text{ s} \quad (\text{ec. 4.16})$$

Para el buen funcionamiento del desarenador se relacionan los tiempos de sedimentación t_s y el tiempo de decantación t_d de la partícula, dónde se requiere que se cumpla la condición:

$$t_d \geq t_s \quad (\text{ec. 4.17})$$

Esto tiene sentido si se piensa que la velocidad que recorre la partícula verticalmente debe ser menor a la velocidad que recorre horizontalmente. Si no fuera de esta manera, antes que las partículas logren caer al fondo de la cámara habrán pasado por el canal de salida llevados por la velocidad horizontal de la corriente. Entonces tenemos que ambos tiempos son iguales $t_d = t_s$, por lo tanto aún se cumple con la condición de funcionamiento.

Se encuentra el ancho del desarenador, el cual viene dado por:

$$B = \frac{Q}{h * V_d} = \frac{1.1992}{1.5 * 0.2} = 4 \text{ m} \quad (\text{ec. 4.18})$$

Entre el canal de entrada y el desarenador debe existir una transición que asegure la distribución del flujo de agua. Esta transición también puede encontrarse al final, uniendo el desarenador con el canal. La transición posee un ángulo de divergencia que oscila entre 12° y 30° . Para este caso se utiliza el máximo ángulo que es $\alpha = 30^\circ$. Se procede de la siguiente manera:

$$B' \geq B - \frac{1}{3} * L * (2 * \tan \alpha) \quad (\text{ec. 4.19})$$

$$B' \geq (4) - \frac{1}{3} * (0.511233504) * (2 * \tan 30^\circ) = 3.803226133 \text{ m}$$

$$B' \geq 3.803226133 \text{ m}$$

B' es el ancho del canal y de acuerdo a lo anterior, su valor tiene que ser igual o más que 3.803226133 m. Ahora bien para calcular la longitud de la transición se realiza lo siguiente:

$$l = \frac{B - B'}{2 * \tan \alpha} = \frac{(4 - 3.803226133)}{2 * \tan 30^\circ} = 0.170411167 \text{ m} \quad (\text{ec. 4.20})$$

Por último se determina la altura del vertedero, el cual se determina con:

$$H = \left(\frac{m}{V}\right)^2 (\text{cm}) \quad (\text{ec. 4.21})$$

Como se observa se requiere conocer al coeficiente de creta del vertedero m . Éste puede adoptar valores de entre 1.8 y 2. Para este caso se toma el valor de $m=2$:

$$H = \left(\frac{2}{0.2}\right)^2 = 100 \text{ cm} \quad (\text{ec. 4.22})$$

4.4 Tubería de conducción

Esta obra se utiliza para llevar las aguas desde el desarenador hasta el tanque de presión. El trazado de la tubería se realiza por una pequeña formación montañosa ubicada a un costado del río San Vicente. La tubería con la cual se llevará las aguas será de PVC debido al bajo costo que este presenta y tendrá una longitud de aproximadamente 225 m.

La tubería de presión requiere de un ángulo de inclinación para mantener el fluido en movimiento. El desnivel creado entre la bocatoma y el tanque de presión será de aproximadamente 10 m. Se recomienda que la velocidad de las aguas que pasan por el tubo no disminuya en 2 m/s para evitar sedimentación y la erosión del tubo.

Para su dimensionamiento se parte del caudal requerido, que en este caso será de $Q=1.1992 \text{ m}^3/\text{s}$. Para la determinación del diámetro de esta tubería se realiza una tabla que posee valores arbitrarios para la velocidad. Esto con el fin de poder utilizar la fórmula 4.23 y obtener un par ordenado para cada valor de velocidad sugerido. De estos valores generados se selecciona el que mejores resultados tenga con el menor costo.

$$D = 1.13 * \sqrt{\frac{Q}{V}} \quad (\text{ec. 4.23})$$

Tabla 4.5 Determinación del diámetro de la tubería de conducción mediante tabulación de velocidades.

Velocidad (m/s)	Diámetro		
	Metros (m)	Centímetros (cm)	Pulgadas (in)
1	1.2375	123.7469	48.7193
1.5	1.0104	101.0390	39.7791
2	0.8750	87.5023	34.4497
2.5	0.7826	78.2644	30.8128
3	0.7145	71.4453	28.1281
3.5	0.6615	66.1455	26.0415
4	0.6187	61.8735	24.3596
4.5	0.58335	58.3349	22.9665
5	0.55341	55.3413	21.7879
10	0.39132	39.13222	15.40639

Debido al costo, al tamaño que supone un espacio por ocupar y a la velocidad a la cual se desplaza el fluido dentro de la tubería, se selecciona la tubería que tiene un diámetro de 24.3596 pulgadas. Esta medida del diámetro es un grande en comparación con la que se utilizará para la conducción a presión pero es debido en parte a la velocidad que se necesita para el fluido.

Se puede determinar también la presión dentro de la tubería, la cual está dada por la siguiente expresión:

$$P = \rho * g * h = \left(\frac{1000kg}{m^3} \right) * \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right) * (10m) = 98100 Pa \quad (ec. 4.24)$$

La presión generada dentro de la tubería es de aproximadamente 98.1 kPa. P representa la densidad del agua en kg/m³, g la aceleración de la gravedad y h el desnivel creado entre el desarenador y el tanque de presión.

Un aspecto importante en el cálculo de la tubería es la determinación de las pérdidas por fricción, las perdidas en válvulas, en bifurcaciones, perdidas en accesorios. De manera práctica, se tiene que hacer un estudio más detallado en la zona para conocer con exactitud la ruta de la tubería y así, saber el número de accesorios, las válvulas y aquellos complementos que requiera. Por el momento se hace una aproximación de las pérdidas por fricción las cuales se presentan en la tabla 4.6.

Tabla 4.6 Determinación de las pérdidas por fricción de la tubería de conducción.

Velocidad (m/s)	Diámetros (m)	Coefficiente λ	Pérdidas por Fricción H_f (m)
1	1.23747	0.008856505	0.082075096
1.5	1.01039	0.00910040	0.232400823
2	0.87502	0.009277509	0.486357254
2.5	0.78264	0.009417255	0.862429098
3	0.71445	0.009532998	1.37715131
3.5	0.66146	0.009631966	2.045662899
4	0.61873	0.009718526	2.882035968
4.5	0.58335	0.009795522	3.899490994
5	0.55341	0.009864915	5.110547156
10	0.39132	0.010333855	30.28387178

Para realizar la tabulación de la tabla 4.6 se sustituyen los valores de las velocidades propuestas y los diámetros resultantes en las ecuaciones 4.25 y 4.26. Se utiliza una longitud de tubería de 225 m y una constante de perdidas $k=0.5$ para la tubería de PVC.

$$\lambda = 0.01 * \left(\frac{K}{D}\right)^{0.134} \quad (\text{ec. 4.25})$$

$$H_f = \lambda * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{v^2}{2 * g}\right) \quad (\text{ec. 4.26})$$

Las pérdidas por fricción en la tubería de conducción son entonces igual a 2.88 metros.

4.5 Tubería a Presión

La tubería a presión es una obra que tiene como objetivo conducir el caudal requerido desde el tanque a presión hasta la turbina. Esta construcción debe ser, de preferencia recta, aunque debido a las condiciones del terreno esto puede llegar a complicarse. En este proyecto se presenta un panorama en el que las condiciones permiten totalmente que la tubería sea totalmente recta y solo se calculan las pérdidas por fricción y por válvulas.

El cálculo de esta tubería se realiza de manera similar al de la tubería de conducción. Se requiere de un desnivel entre el nivel máximo de las aguas en el

tanque de presión hasta el nivel de desfogue, esta altura es $h=32$. El caudal de diseño necesario para lograr los objetivos energéticos es de $Q=0.374767 \text{ m}^3/\text{s}$. Se procede con una tabulación, en la que se proponen velocidades para las aguas y con la fórmula de caudal utilizada anteriormente se encuentran una serie de diámetros, de entre los cuales, se escoge el más apropiado.

$$D = 1.13 * \sqrt{\frac{Q}{V}}$$

(ec. 4.27)

Tabla 4.7 Determinación del diámetro de la tubería a presión.

Velocidad (m/s)	Diámetro		
	Metros	Centímetros	Pulgadas
1	0.69177	69.1766	27.2349
1.5	0.56482	56.4825	22.2372
2	0.48915	48.9153	19.2580
2.5	0.43751	43.7512	17.2249
3	0.39939	39.9392	15.7241
3.5	0.36976	36.9765	14.5577
4	0.34588	34.5883	13.6174
4.5	0.32610	32.6102	12.8387
5	0.30937	30.9367	12.1798
10	0.21876	21.8756	8.6124

Según los resultados obtenidos se opta por utilizar la tubería con un diámetro $D=0.34588 \text{ m}$ equivalente a poco más de $13 \frac{1}{2} \text{ ''}$. Esta medida es considerable si se toman en cuenta las pérdidas por fricción, ya que si se incrementa el diámetro disminuyen las pérdidas pero aumentan los costos. Por otro lado, si se disminuye el diámetro disminuyen los costos pero aumentan las pérdidas por fricción, lo que genera un costo extra de operación y de mantenimiento.

Se determina también la presión generada en la tubería:

$$P = \rho * g * h = \left(\frac{1000\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) * (32\text{m}) = 313920 \text{ Pa} \quad (\text{ec. 4.28})$$

Como se dijo anteriormente es importante conocer las pérdidas generadas debido a la fricción de las aguas con el material de la tubería. Como se realizó con la

tubería de conducción, primero se debe conocer el coeficiente de pérdidas por fricción el cual es dependiente la constante del material y el diámetro de la tubería. La constante $k=1.15$ es para la tubería de acero nueva.

También se consideran la longitud de la tubería de presión $L=76.4m$. La forma de proceder es realizando una tabulación de los coeficientes de fricción generados para cada diámetro de tubería y con estos obtener un conjunto de pérdidas por fricción para cada diámetro y velocidad específica. Todo esto con el fin de comparar las pérdidas entre una y otra tubería.

$$\lambda = 0.01 * \left(\frac{K}{D}\right)^{0.134} \quad H_f = \lambda * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{v^2}{2 * g}\right)$$

Tabla 4.8 Determinación de las pérdidas por fricción H_f en la tubería a presión.

Velocidad (m/s)	Diámetros (m)	Coeficiente λ	Pérdidas por Fricción H_f (m)
1	0.69177	0.010704809	0.060257874
1.5	0.56482	0.01099960	0.17062398
2	0.48915	0.011213675	0.357073652
2.5	0.43751	0.011382585	0.633177989
3	0.39939	0.011522483	1.01107662
3.5	0.36976	0.011642105	1.501884298
4	0.34588	0.011746729	2.115932478
4.5	0.32610	0.011839795	2.862927366
5	0.30937	0.011923669	3.752060289
10	0.21876	0.012490475	22.23380575

Las pérdidas por fricción generadas en esta tubería son de 2.1159 m. Para calcular las pérdidas debido a la válvula de control que existe antes de la turbina se utiliza la siguiente ecuación:

$$h_v = \xi v * \frac{v^2}{2 * g} \quad (ec. 4.29)$$

$$h_v = (0.1) * \frac{(4)^2}{2 * (9.81)} = 0.081549439 \text{ m}$$

Donde ξv es el coeficiente de pérdidas para una válvula del tipo esférica y V es la velocidad dentro del tubo. De esta manera se determinan las pérdidas por la

válvula de control y por fricción que juntas dan como resultado aproximadamente 2.2 m en pérdidas.

Otro aspecto fundamental que hay que tener en cuenta para la tubería de presión es el grosor de la pared del tubo esto para seguridad contra la sobrepresión debida al golpe de ariete. Para ello se requiere realizar una estimación de cuánto debe ser el grosor mínimo de la tubería. Se procede de la siguiente manera.

$$e = \frac{(H + H_s) * D}{2 * \delta_t * K_f} + e_s \quad (ec. 4.30)$$

$$e = \frac{1.3 * 32 * 0.34588}{2 * (1200) * (0.8)} + 0.003 = 10.4940 \text{ mm}$$

Donde H_s es la sobrepresión ejercida por el golpe de ariete, δ_t es la tensión de tracción del material igual a 1200 Kgf/cm², K_f es la eficiencia de las uniones y su rango de oscilación va de 0.8 a 1.0, e_s es el espesor adicional igual a 3mm.

La sobrepresión H_s se considera que es 30% mayor a la altura considerada por lo que para hallarlo se multiplica la altura h por 1.3. Esto equivale a tomar la altura y sumarle su 30%.

4.6 Tanque de Presión

El tanque de presión es un contenedor de agua con capacidad suficiente como para proveer de un flujo constante a la turbina. También puede desechar agua excedente cuando el caudal utilizado es inferior al de diseño y mantiene a la tubería de presión a un nivel de aguas suficiente para evitar la entrada de aire.

El tanque de presión se dimensiona de acuerdo a dos condiciones de operación: Partida brusca y parada brusca. En la primera se debe evitar que ingrese aire en la tubería de presión y en la segunda se debe garantizar la estabilidad funcional de la cámara de presión y del canal de conducción

Los datos necesarios para su dimensionamiento son: el caudal de diseño que llegará hasta la turbina $Q=0.374767 \text{ m}^3/\text{s}$, la altura de la central $H_C=32\text{m}$, el diámetro de la tubería a presión $D=0.34588\text{m}$ y la longitud de la tubería a presión $L=76.4\text{m}$. Con base en esta información y tomando en cuenta la imagen 4.3 para visualizar las medidas se procede de la siguiente manera.

Primero debe fijarse una altura a_1 que evite el ingreso de posibles sedimentos a la tubería de presión. Esta altura debe ser no mayor a 0.5 metros y no menor de 0.3 metros. Para nuestro caso y valorando las posibilidades optamos por:

$$a_1 = 0.4 \text{ m}$$

(Ec. 4.31)

Luego se toma una altura a_2 que será igual al diámetro de la tubería forzada. La tubería que aquí se presenta, como ya vimos, es igual a 0.34588 m. Puesto que en el mercado no se encuentran tuberías con las dimensiones exactas y debido a la practicidad de los cálculos, esta altura se toma como:

$$a_2 = 0.4 \text{ m}$$

(ec. 4.32)

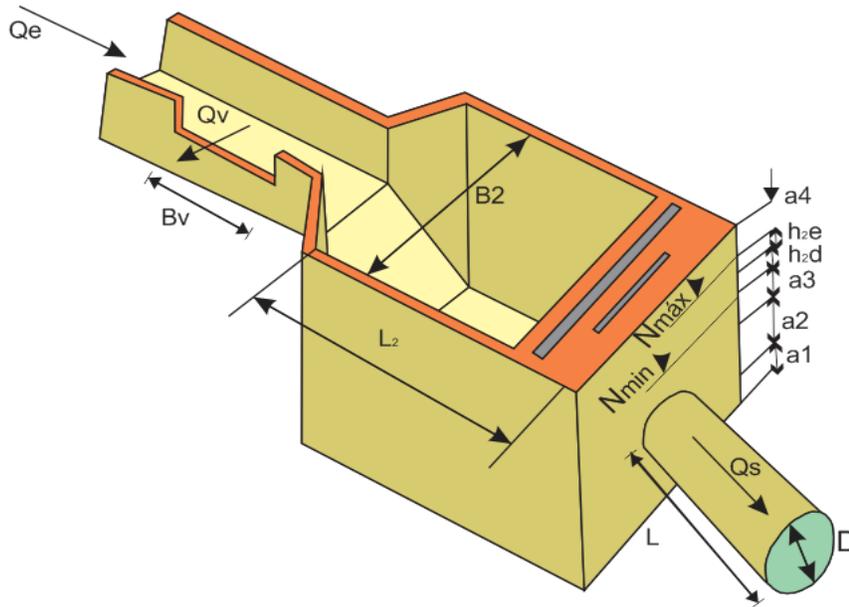


Fig. 4.3 Características principales del tanque de presión.

Para que el torbellino creado por el flujo del caudal no genere cavitación debe dejarse un nivel mínimo que se mantenga en el rango de $0.5D < a_3 < 1.5D$ y como mínimo debe ser de 0.3 m. Por consiguiente el valor de a_3 toma el valor de:

$$a_3 = 0.4 \text{ m}$$

(ec. 4.33)

Por efecto del golpe de ariete se crea una elevación del nivel del agua en el tanque de presión, como seguridad se toma el siguiente valor:

$$a_4 = 0.3 \text{ m} \quad (\text{ec. 4.34})$$

En función de la altura del vertedero $h_1=0.3\text{m}$, de la topografía local, de la calidad del agua, de la ubicación del canal y de los conductos forzados, del tamaño de las compuertas se toma un valor para la cámara h_2 .

$$h_2 = a_1 + a_2 + a_3 + h_1 = 0.4 + 0.4 + 0.4 + 0.3 = 1.5 \text{ m} \quad (\text{ec. 4.35})$$

Ahora bien, se fijan los valores posibles para la velocidad media de la cámara de presión. Estos oscilan entre 0.6 y 1.0 m/s. Se escoge un valor intermedio:

$$V_2 = 0.8 \text{ m/s} \quad (\text{ec. 4.36})$$

Se procede ahora a determinar el ancho del tanque de presión, con la siguiente ecuación:

$$b_2 = \frac{Q}{(V_2 * h_2)} \quad (\text{ec. 4.37})$$

$$b_2 = \frac{0.374767}{(0.8) * (1.5)} = 0.312305833 \text{ m}$$

Siguiendo con el dimensionamiento, se encuentra la altura del agua h_{2d} en el tanque para el arranque que viene dado por la expresión:

$$h_{2d} = \frac{Q}{7 * b_2 * \sqrt{h_2}} \quad (\text{ec. 4.38})$$

$$h_{2d} = \frac{0.374767}{7 * 0.312305833 * \sqrt{1.5}} = 0.139970842 \text{ m}$$

Se calcula h'_{2e} como sigue:

$$h'_{2e} = a_1 + a_2 + a_3 + h_{2d} \quad (\text{ec. 4.39})$$

$$h'_{2e} = 0.4 + 0.4 + 0.4 + 0.139970842 = 1.339970842 \text{ m}$$

Para confirmar que los cálculos realizados son correctos se debe cumplir con la siguiente condición:

$$h'_{2e} < h_2 \quad (\text{ec. 4.40})$$

Se observa que la altura $h'_{2e}=1.339970842m$ si es menor a la altura $h_2=1.5m$, por lo que se cumple con la condición y se puede seguir con el dimensionamiento. En caso de no cumplirse esta condición se debe recalculer h_2 .

Se determina la longitud de la cámara de presión:

$$L2 = 0.304 * \frac{Q * L * \sqrt{h_2}}{Hc * D^2} \quad (ec. 4.41)$$

$$L2 = 0.304 * \frac{(0.374767) * (76.4) * \sqrt{1.5}}{(32) * (0.4)^2} = 6.849050515 m$$

Como se puede observar, las dimensiones del tanque de presión son un poco radicales ya que la longitud es de aproximadamente 7 metros, mientras que su ancho es de poco más de 30 centímetros. Además, el ancho del taque es inferior al del diámetro del tubo, es decir, que el tubo no podría entrar en el tanque de presión.

Para resolver esto se propone tomar el área del tanque y extraer la raíz cuadrada con el fin de darle al tanque una forma más cúbica. Esto puede reducir considerablemente el material utilizado para su construcción. Entonces se tiene que:

$$s = b2 * L2 = (0.312305833) * (6.849050515) = 2.138998426 m^2 \quad (ec. 4.42)$$

$$b2 = L2 = \sqrt{2.138998426} = 1.4625 m \quad (ec. 4.43)$$

Ahora se procede a calcular la altura del nivel máximo h_{2e} , de la siguiente manera:

$$h_{2e} = \frac{0.25 * Q}{b2 * \sqrt{h_2}} \quad (ec. 4.44)$$

$$h_{2e} = \frac{0.25 * 0.374767}{1.4625 * \sqrt{1.5}} = 0.052307004 m$$

Se calcula el ancho del vertedero como se muestra a continuación:

$$bv = \frac{5 * b2^{\frac{3}{2}} * h_2^{3/4}}{\sqrt{Q}} \quad (ec. 4.45)$$

$$bv = \frac{5 * (0.312305833)^{\frac{3}{2}} * (1.5)^{3/4}}{\sqrt{0.374767}} = 1.93209 \text{ m}$$

Por último se determina la altura final de la cámara de presión, la cual es la suma siguiente:

$$ht = h_2 + h_{2e} + h_{2d} + a_4 \quad (\text{ec. 4.46})$$

$$ht = 1.5 + 0.052307004 + 0.139970842 + 0.3 = 1.992277846 \text{ m}$$

4.7 Dimensionamiento de turbina

En la determinación del tipo de turbina se tuvo en cuenta las siguientes condiciones de diseño $Q=0.374767 \text{ m}^3/\text{s}$; $H= 32 \text{ m}$. De acuerdo a los criterios de selección de una turbina tal como lo es el salto neto, el caudal, la velocidad de giro y a la potencia generada, sintetizadas de manera gráfica en la figura 3.6 además de la sencillez en su fabricación y su reducido costo, se sabe que el tipo de turbina aconsejable es la Michell-Banki.

La potencia bruta calculada es:

$$P = Q * H * g * \eta \quad (\text{ec. 4.47})$$

$$P = \left(0.374767 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) * (32 \text{ m}) * \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) * (.85) = 100 \text{ KW}$$

Dónde

P= Potencia bruta (kW)

Q= caudal (m^3/s)

H= Altura (m)

g= gravedad (m/s^2)

η = eficiencia

Una vez definida el tipo de turbina a utilizar, se procedió con el diseño hidráulico. Como primer paso se seleccionó los ángulos de admisión con lo que debe entrar el agua al rotor de la turbina. En este sentido, α es el ángulo formado entre el vector de velocidad tangencial y el de velocidad absoluta del fluido; β representa el ángulo entre la velocidad tangencial y la relativa. Para ello se apoyó en la tabla 4.9 que definen el ángulo β en función al ángulo α .



Tabla 4.9 Variación del ángulo β en función a α .

α	β
15	28.187
15.2	28.519
15.4	28.850
15.6	29.179
15.8	29.507
15.9	29.761
16	29.834
16.1	29.997
16.102	30.00
16.2	30.159
16.4	30.482
16.6	30.804
16.8	31.125
17	31.444

Como siguiente paso se procede con el diseño del rotor, para ello se necesita tener en cuenta el coeficiente de velocidad del inyector el cual está representado como k_c . Este coeficiente es el que representa un vector unitario definido como el cociente entre el vector velocidad absoluta c_1 a la entrada del álabe y su magnitud, es decir el coeficiente $\sqrt{2gH}$. Para el coeficiente k_c , se recomienda que tome el valor de 0.967.

A continuación se selecciona el diámetro externo del rotor. Para esto se toma el cociente entre el caudal y la raíz cuadrada de la altura neta y se compara en la tabla 4.10 del Instituto Nacional de Energía.

Tabla 4.10 Selección del diámetro externo del rotor (Instituto Nacional de Energía 1986)

$Q/\sqrt{H_n}$	Diámetro del rotor (mm)
0.02236-0.04743	200
0.04743-0.07906	300
0.07906-0.11068	400
0.11068-0.15812	500

$$\frac{Q}{\sqrt{H_n}} = \frac{0.374767 \frac{m^3}{s}}{\sqrt{32 m}} = 0.066250071 \quad (ec. 4.48)$$

El diámetro para el rotor es 300 mm ya que el cociente está en el rango comprendido entre 0.04743 y 0.07906. Para calcular el diámetro interior del rotor es necesario hacer la siguiente operación:

$$D_i = D * 0.66 \quad (ec. 4.49)$$

$$D_i = (300mm) * (0.66) = 198mm$$

La velocidad de giro de la turbina esta es representada mediante la ecuación siguiente:

$$N = 42,284 * K_c * \frac{\sqrt{H_n}}{D} * \cos \alpha \quad (ec. 4.50)$$

$$N = 42.84 * (0.967) * \frac{\sqrt{32 m}}{0.3 m} * \cos (16.102) = 750.49 rpm$$

El número de álabes que debe llevar la turbina está representado mediante la tabla del Instituto Nacional de Energía. El número de álabes que requerirá nuestra turbina es de 24.

Tabla 4.11 Selección del número de álabes del rotor Instituto Nacional de Energía.

Diámetro del rotor (mm)	Número de Álabes
200	22
300	24
400	26
500	28

La selección del espesor de los álabes se obtuvo mediante las características del tubo que se necesita para hacer el álabe.

Tabla 4.12 Características de la tubería para construcción del álabe.

Rotor Diámetro (mm)	Tubería		
	Diámetro (in)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)
200	2 1/2	5.16	8.62
300	4	6.02	16.07
400	5	6.55	21.78
500	6	7.11	28.26

Para el ancho del rotor es necesario calcular primero el paso entre álabes que está dado por la ecuación siguiente.

$$P_z = \frac{\pi * D}{Z} \quad (ec. 4.51)$$

Dónde

Z= número de álabes

D= diámetro del rotor

$$P_z = \frac{\pi(300mm)}{24} = 39.269908 \quad (ec. 4.52)$$

Se prosigue con el cálculo del número de álabes de admisión el cual se obtiene mediante la ecuación siguiente.

$$Z_a = Z * X_z \quad (ec. 4.53)$$

Donde

Z= número de álabes

X_z= Relación entre número de álabes de admisión y número de álabes totales del rotor que es igual a 0.175.

$$Z_a = 24 * 0.175 = 4.2$$

Finalmente la ecuación para calcular el ancho del rotor se expresa de la siguiente forma.

$$B = 0.259 \left[\frac{Q}{K_c * D * \sqrt{H} * X_z} \right] \quad (ec. 4.54)$$

$$B = 0.259 \left[\frac{0.374767 \frac{m^3}{s}}{0.967 * 0.3m * \sqrt{32} * 0.175} \right] = 0.337987267 m$$

Cabe mencionar que esta medida es la mínima necesaria para el ancho del rotor y por lo regular es ajustada para alcanzar un 40% más que el inyector. Para calcular el inyector se debe calcular primero el arco de admisión del inyector el cual está dado por la ecuación siguiente:

$$L_a = \frac{\pi D}{Z} * Z_a + Z_a * e \quad (ec. 4.55)$$

$$L_a = \frac{\pi(300 \text{ mm})}{24} * (4.2) + ((4.2) * (6.02)) = 190.217 \text{ mm} = 0.19 \text{ m}$$

Para determinar el ángulo de admisión θ_a se emplea la ecuación siguiente:

$$\theta_a = \frac{360}{\pi * D} * L_a \quad (ec. 4.56)$$

$$\theta_a = \frac{360}{\pi * (0.3 \text{ m})} * (0.19 \text{ m}) = 72.6577^\circ$$

Bajo la hipótesis que el modelo matemático de la entrada y salida del caudal en el inyector puede definirse como un flujo potencial, la función que representa la curva envolvente del inyector cara superior para cualquier ángulo entre 0° y θ_a está dada por:

$$T_o = r * e^{\left[\frac{1 - \frac{\theta_i}{\theta_a}}{B * C} \right] * Q} \quad (ec. 4.57)$$

C es la Constante de la Ley de Torbellino Potencial y está dada de a siguiente manera:

$$C = 2.3 * \eta * \frac{D * \sqrt{H}}{K_c} \quad (ec. 4.48)$$

Finalmente, la altura del inyector h_t en cada punto de la envolvente está dada por:

$$h_t = T_o - r \quad (ec. 4.49)$$

En la figura 4.4 se representa gráficamente todas las alturas del inyector para un rango de valores del ángulo de admisión comprendido entre 0° y θ_a . Para el cálculo del ancho del inyector, aplicando la ley de conservación de la masa entre la salida del inyector y la entrada del rotor se obtiene según la ecuación:

$$B_i = \frac{360 * Q}{(\pi * D - eZ) * \theta_a * K_c * \sqrt{2gh} * \sin \alpha} \quad (ec. 4.50)$$

$$B_i = \frac{360 * (0.374767 \text{ m}^3/\text{s})}{(\pi * (0.3 \text{ m}) - (0.00602) * (24))(72.65) * (0.967) * \sqrt{627.84} * \sin(16.102)} =$$

$$B_i = 0.346260 \text{ m}$$

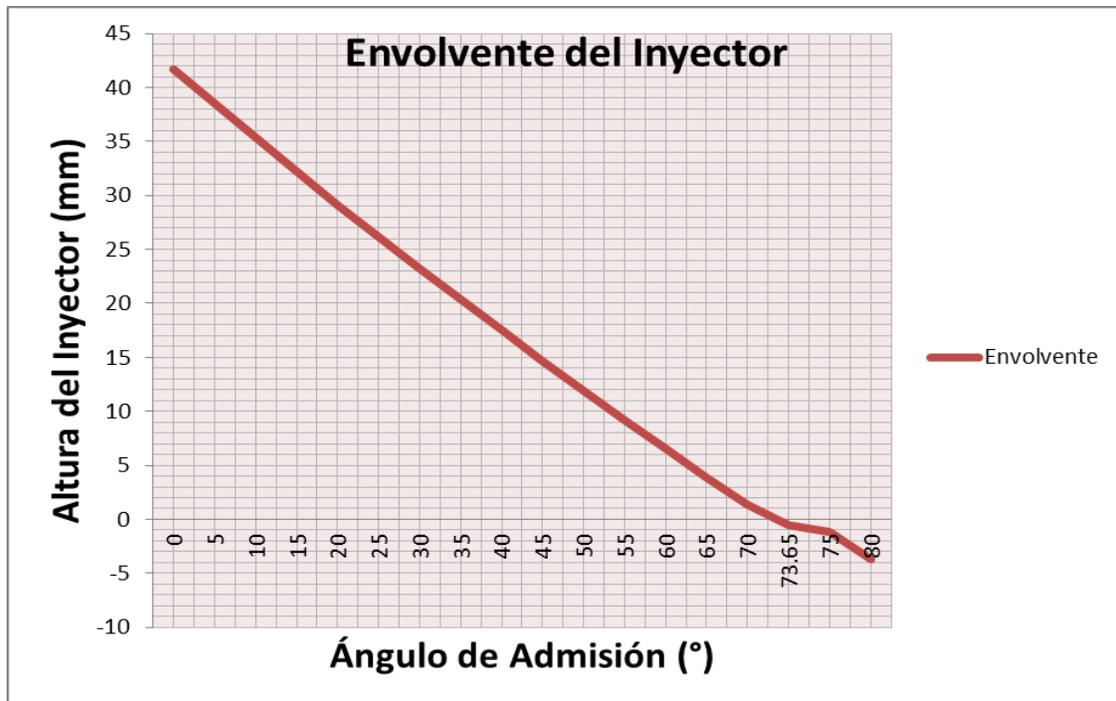


Fig. 4.4 Representación gráfica de la curva de alturas del inyector para rangos de valores del ángulo de admisión.

Analizando un poco los resultados obtenidos, se observa que el ancho del inyector es más grande que el ancho del rotor. Este resultado no es adecuado, ya que es recomendable, como ya se dijo, que el ancho del rotor supere de un 20 a un 40% al ancho del inyector, y de esta manera evitar las pérdidas de caudal. Por lo anterior, se toma el ancho del rotor y se agrega un 40% más para obtener el valor más adecuado.

$$B = B * 1.40 \quad (\text{ec. 4.51})$$

$$B = (0.337987267) * (1.40) = 0.4731821738 \text{ m}$$

Al realizar esta operación se incrementó en un 40% el tamaño del rotor. Para comprobar la relación existente entre el nuevo ancho de rotor y el ancho del inyector se realiza la siguiente operación:

$$\frac{B}{B_i} = \frac{0.4731821738}{0.346260542} = 1.3665 = 36\% \quad (\text{ec. 4.52})$$

Algunos lectores se preguntarán la razón por la cual se incrementó el ancho del rotor en un 40% y luego al relacionarlo con el inyector, la diferencia es de 36%. Esto podría haberse simplificado mucho si inicialmente se toma el ancho del inyector y se incrementa 40% para obtener el ancho del rotor y de esta manera la diferencia entre el ancho del rotor y del inyector sería justamente 40%.

Lo cierto es que la diferencia es de un 4% y en unidades mensurables es de aproximadamente 1 cm, con lo cual, ambas opciones resultan adecuadas debido a que se encuentran en el rango de lo aceptable. Se continúa con el diseño mecánico y como primer paso se obtendrá el diseño mecánico de los álabes el cual comprende el caudal en un álabe y se obtiene mediante la siguiente fórmula.

$$Q_a = \frac{Q}{Z_a} = \frac{0.374767 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{4.2} = 0.089230238 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (\text{ec. 4.53})$$

El peso unitario de cada álabe viene dado por la siguiente expresión:

$$P_a = P_u * L_a$$

Donde

P_u = Peso por unidad de longitud del material constructivo de un álabe kg/m

L_a = longitud del álabe m

Para obtener P_u hay que utilizar una regla de tres, ya que para conocer su valor, primero hay que determinar el peso del tubo completo:

$$\begin{aligned} 16.07 &= 360^\circ \\ P_u &= 72.65^\circ \end{aligned}$$

$$P_u = 3.243015278$$

$$P_a = 3.243015278 \frac{kg}{m} * 0.473182174 m = 1.534537 kg \quad (ec. 4.54)$$

La fuerza hidráulica sobre un álabe esta se debe al cambio de dirección que experimenta el agua al pasar por las paletas del rotor. Se calcula aplicando la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento sobre un álabe la cual es una resultante y se expresa:

$$F_{hx} = 429.38 * Q_a * \sqrt{H} * (\cos 16 - \sin \phi) \quad (ec. 4.55)$$

$$F_{hx} = 429.38 * 0.08660 * \sqrt{32} * (\cos 16 - \sin 20) = 130.255114 N$$

$$F_{hy} = 429.38 * Q_a * \sqrt{H} * (\cos 16 + \sin \phi) \quad (ec. 4.56)$$

$$F_{hy} = 429.38 * 0.08660 * \sqrt{32} * (\cos 16 + \sin 20) = 274.1403964 N$$

$$F_{hr} = \sqrt{(F_{hx})^2 + (F_{hy})^2} \quad (ec. 4.57)$$

$$F_{hr} = \sqrt{(130.255114)^2 + (274.1403964)^2} = 303.5116994 N$$

El ángulo ϕ se obtuvo mediante la tabla 4.13 que muestra el ángulo de salida y el ángulo de arco de circunferencia de la geometría del álabe, ambos en función del diámetro del rotor.

Tabla 4.13 Ángulos característicos del rotor del Instituto nacional de energía.

Diámetro del rotor en milímetros	ϕ	θ
200	15.50	74.50
300	20.00	70.00
400	17.00	73.00
500	14.60	75.40

La fuerza centrífuga sobre un álabe viene dada por la siguiente expresión:

$$F_c = 0.895 * \frac{P_a * H}{D} \quad (ec. 4.58)$$

$$F_c = 0.895 * \frac{1.534537 \text{ kg} * 32 \text{ m}}{0.3 \text{ m}} = 146.512661 \text{ kg}$$

La fuerza total sobre el alabe viene dada por la resultante total en el eje x y la resultante total en el eje y con respecto al ángulo entre la fuerza hidráulica sobre el álabe y la dirección horizontal representado por λ . Para obtener a λ se utiliza la siguiente ecuación:

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{F_{hx}}{F_{hy}} = 64.58572974^\circ \quad (ec. 4.59)$$

Para obtener la resultante total de fuerza en el eje x está dada por la ecuación siguiente:

$$R_x = 312.7300367 * \cos 64.58572975 = 134.211256 \quad (ec. 4.60)$$

Para obtener la resultante total de fuerza en el eje y está dada por la ecuación siguiente:

$$R_y = F_{hr} * \sin \lambda + F_c \quad (ec. 4.60)$$

$$R_y = 312.7300367 * \sin 20 + 146.512661 = 428.979322$$

Para la fuerza total en el alabe es igual a la suma de las dos fuerzas anteriores

$$R_t = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (\text{Ec. 4.60})$$

$$R_t = \sqrt{(134.211256)^2 + (428.979322)^2} = 449.4840597$$

Teniendo en cuenta las rigideces relativas entre los discos laterales del rotor y los álabes, se considera al álabe como una barra prismática bien empotrada en sus extremos. Adoptada esta condición de borde, el momento flector máximo sobre un álabe viene dado por:

$$M = \frac{R_t * B}{12} \quad (\text{ec. 4.61})$$

$$M = \frac{449.4840597 * 47.31821738}{12} = 17.72398705$$

Una vez realizados los cálculos correspondientes para el dimensionamiento de la turbina Michell Banki se toman los datos obtenidos y se construye un diseño con la herramienta SolidWorks. Como primer paso se diseña el rotor de la turbina, para ello se dibuja un álabe a partir de una circunferencia que representa un tubo. La circunferencia se corta en una sección que forma un ángulo $\theta=70^\circ$.

Una vez que se tiene la sección de la circunferencia, se traza una línea equidistante con una separación de $e=6.02$ mm. Estas dos líneas representan el grosor del álabe. Luego se aplica la función de matriz circular para generar los 24 álabes, con las mismas dimensiones, dentro del diámetro interno (198 mm) y el externo (300 mm). Los álabes quedan con la disposición de la figura 4.5.

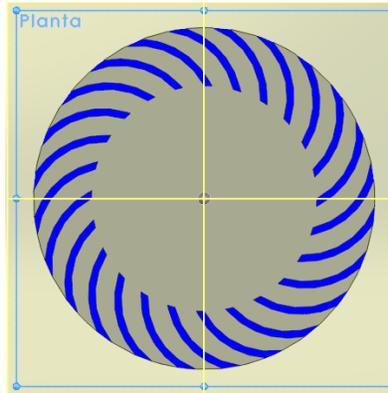


Fig. 4.5 Distribución de los álabes de la Turbina en SolidWorks.

Los álabes que se encuentran dibujados en 2 dimensiones se les agrega una altura, la cual representa el ancho del rotor $B=47.31$ cm. Los álabes tienen que ser fijados en una superficie que a la vez contenga el eje de rotación que transmitirá el par mecánico al generador. Así que se dibujan dos discos con un diámetro de 300 mm y 10 mm de grosor en ambos lados de la turbina y se colocan los ejes de rotación con una longitud de 15 mm. Los resultados de estos trazos se muestran en la figura 4.6.

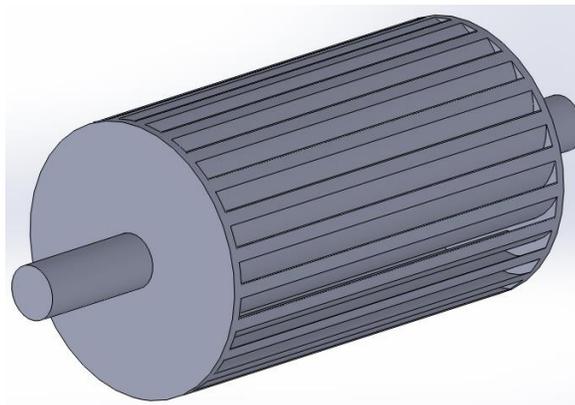


Fig. 4.6 Esquema de una turbina Michell Banki hecho en SolidWorks.

Se continúa con el diseño del inyector y como se determinó anteriormente, la longitud del arco de admisión es igual a $L_a=0.19$ m y el ángulo de admisión es igual a $\theta_a=72.65^\circ$. El arco de admisión es la parte del inyector encargado de dirigir el flujo de agua de manera tangencial hacia el rotor y se encuentra además, separado del rotor por una altura que varía de 0 a 41.7 mm, según se demostró con la gráfica de la envolvente.

Posterior al arco de admisión o envolvente se encuentra una transición rectangular cuya inclinación debe ser la del ángulo comprendido entre el flujo tangencial y el flujo absoluto que tendrán las aguas dentro del inyector, es decir, $\alpha=16.102^\circ$. A continuación, se hace una sencilla unión entre el inyector y lo que será la tubería de presión. Estos datos descritos se utilizan para realizar el dibujo que se presenta en la imagen 4.7.

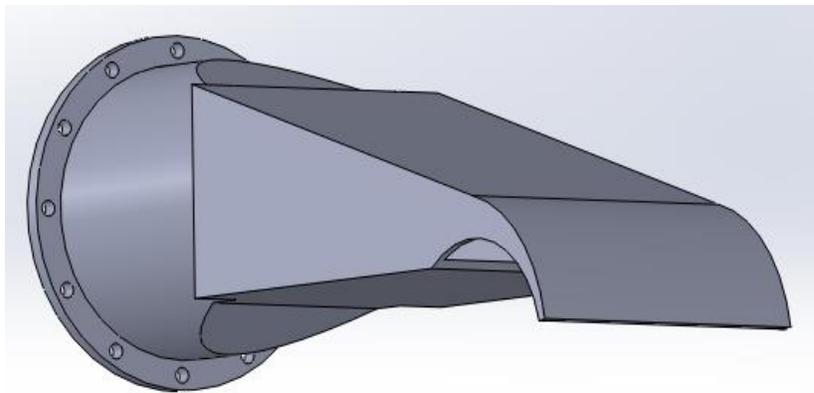


Fig. 4.7 Esquema del inyector de la turbina Michell Banki hecho en SolidWorks.

A continuación, se realiza una transición entre la parte rectangular del inyector y la parte circular de la tubería. Esta transición no debe presentar demasiados pliegues o soldaduras para no afectar de manera perceptible el flujo que, a través de él, pasará. Se finaliza el pequeño tramo de tubería con unas bridas que serán las que una el inyector con la tubería a presión. Entre el inyector y la tubería puede existir una válvula de control, que inicie la marcha de la turbina.

El inyector y el rotor pueden permanecer dentro de un contenedor que, a la vez los fije a una superficie y re direcciona el flujo de agua hacia el desfogue. En esta ocasión solo se diseña el inyector y el rotor para dar muestra de cómo sería la turbina utilizada en la micro central que aquí se presenta. Esta turbina junto con el inyector pueden ser contruidos de manera artesanal por una persona con conocimientos en soldadura, solo con mostrarle las especificaciones de diseño.

Para finalizar la construcción de la turbina Michell Banki mediante la herramienta SolidWorks, se muestran la imagen 4.8 y 4.9. La primera presenta un corte transversal del rotor el cual permite observar la forma hueca de éste, cuya funcionalidad tiene que ver con la distribución del fluido eficientemente. La segunda imagen presenta el conjunto rotor-inyector terminados y en espera de un fluido que de vida a la turbina y a la vez al generador.

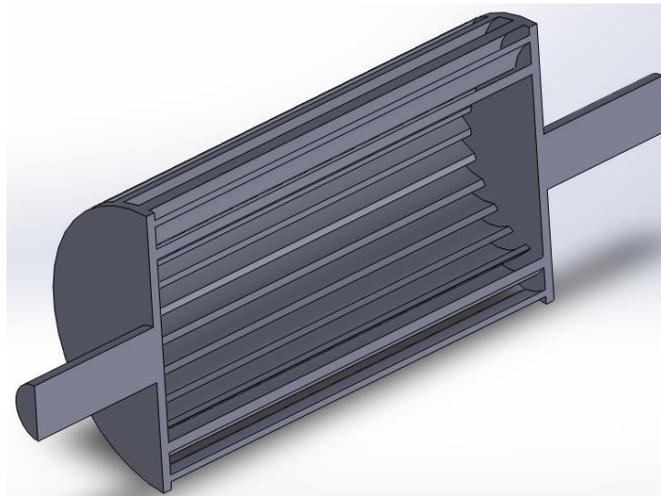


Fig. 4.8 Corte transversal del rotor de la turbina Michell Banki.

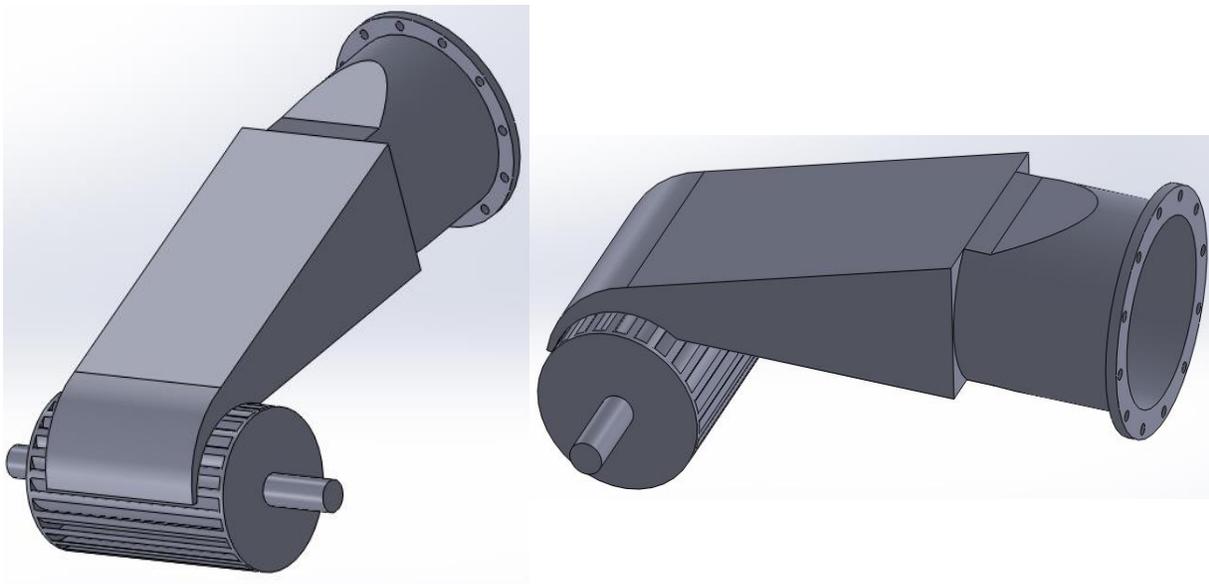


Fig. 4.9 Conjunto Rotor-Inyector terminados de la turbina Michell Banki.

4.8 Dimensionamiento del inversor

Todos los cálculos realizados en este apartado son considerando una tensión de entrada de 127 voltios. Se sabe que la tensión media de salida (V_{OUT}) del rectificador sin contemplar la caída de tensión en los diodos será:

$$V_{out} = \frac{3}{\pi} V_{in\text{pico}}$$

$$V_{out} = \frac{3}{\pi} * (127V) = 121.2760V \quad (\text{ec. 4.62})$$

Considerando la caída de tensión de los diodos que se ha fijado en 0,7 voltios por diodo y debido a la configuración del rectificador y la conducción por parejas, la caída de tensión total de los diodos en cada instante de conducción será de:

$$\Delta V_D = 1.4V \quad (\text{ec. 4.63})$$

Con lo que el valor de la tensión media en la salida del rectificador será de:

$$V_{out} = 121.2760V - 1.4V = 119.876V \quad (\text{ec. 4.64})$$

El factor de rizado (Fr) se ha fijado en 0,25% para obtener una tensión con el mínimo rizado:

$$Fr = \frac{V_r}{V_{AutMAX}} = 0.0025 \quad (\text{ec. 4.65})$$

Siendo V_r el voltaje de rizado:

$$V_r = V_R * V_{OUT MAX} \quad (\text{ec. 4.66})$$

Este factor de rizado supondrá a la salida un rizado con una amplitud de:

$$V_r = (127) * (0.0025) = 0.3175V \quad (\text{ec. 4.66})$$

Para la elección de los diodos es necesario saber la corriente que deben soportar, y esa corriente en valor eficaz es:

$$I_{Drms} = \frac{1}{\sqrt{3}} * I_{OUT rms} \approx \frac{1}{\sqrt{3}} * 151.3776 \approx 87.3979 \quad (\text{ec. 4.67})$$

Donde $I_{OUT rms}$ es la corriente en valor eficaz de la carga o salida del rectificador que es aproximadamente igual a la corriente media de carga, ya que los términos de alterna son pequeños:

$$I_{OUT rms} \approx I_{OUT} = \frac{V_{OUT}}{R} = \frac{119.876}{0.7919} = 151.3776 A \quad (\text{ec. 4.68})$$

Donde R es la carga existente a la salida del rectificador:

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(127)^2}{20365} = 0.7919 \Omega \quad (\text{ec. 4.69})$$

La potencia disipada en los diodos será de:

$$P_D = \Delta V_D * I_{Drms} = 1.4 * 151.3776 = 211.9286 W \quad (\text{ec. 4.70})$$

Para asegurar el funcionamiento del sistema el rectificador debe ofrecer un valor medio de salida de 5 voltios, que es la tensión demandada por el siguiente bloque. Considerando una caída de tensión en los diodos de 1,4 voltios, la tensión V_{OUT} resulta:

$$V_{OUT} = 110 + 1.4 = 111.4 V \quad (\text{ec. 4.71})$$

Por lo tanto la tensión mínima de entrada requerida por el rectificador que asegura el funcionamiento del sistema será:

$$V_{INpico-min} = \frac{V_{out}}{\frac{3}{\pi}} = \frac{111.4}{0.95} = 117.26 V \quad (\text{ec. 4.72})$$

Se sabe que la tensión a la salida del rectificador presenta una componente continua junto con la influencia de los armónicos tal como muestra la siguiente ecuación:

$$V_{OUT}(t) = \frac{3}{\pi} V_{INpico} * (1 + \frac{2}{35} \cos 6\omega t + \dots)$$

(ec. 4.73)

Para minimizar el rizado de la señal se intentará eliminar el sexto armónico debido a que es el que más afecta a la señal de salida mediante un filtro LC. A partir de la función de transferencia de un filtro LC se puede calcular el valor atenuado de cada uno de los armónicos ($V_{n_{rms}}$ atenuado) de la tensión de salida (V_{OUT}):

$$V_{n_{rms} \text{ atenuado}} = \left| \frac{-1}{(n * \omega)^2 * LC - 1} \right| * V_{n_{rms}}$$

(ec. 4.74)

Dónde:

$N=6$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi 60 \text{ rad/s}$$

(ec. 4.75)

$V_{n_{rms}}$ es la amplitud en valor eficaz del sexto armónico antes de filtrar que se puede calcular a partir de la ecuación

$$V_{n_{rms}} = \frac{\frac{3}{\pi} V_{INpico} * \frac{2}{35}}{\sqrt{2}} = \frac{0.95 * 127 * \frac{2}{35}}{\sqrt{2}} = 4.8749 \text{ V}$$

(ec. 4.76)

Debido a que se quiere obtener un valor de rizado máximo del 0,25%:

$$Fr = \frac{V_r}{V_{OUT MAX}} = 0.0025$$

(ec. 4.77)

siendo V_r el voltaje de rizado:

$$V_r = Fr * V_{OUT MAX}$$

(ec. 4.78)

Se obtiene que el rizado máximo de la tensión de salida será de:

$$V_r = (127) * (0.0025) = 0.3175 V \quad (\text{ec. 4.79})$$

Como el armónico que más afecta a la componente fundamental es el sexto se intentará fijar la amplitud máxima de éste una vez filtrado a 0.3175 V:

$$V_{n_{rms \text{ atenuado}}} = 0.3175 V \quad (\text{ec. 4.80})$$

A partir de estos datos y mediante la ecuación (4.74) se puede calcular el valor del producto LC:

$$0.3175 = \left| \frac{-1}{(6 * 2\pi 60)^2 * LC - 1} \right| * 4.8749$$

Despejando a LC se obtiene

$$LC = \frac{\frac{4.8749}{0.3175} + 1}{(6 * 2\pi 60)^2} = \frac{16.3540}{2261.9467} = 7230 \times 10^{-6} \quad (\text{ec. 4.81})$$

A partir del resultado obtenido se determinan valores comerciales de condensador e inductor a:

$$C = 8200 \mu F$$

$$L = 10 mH$$

Todos los cálculos realizados en este apartado son considerando el caso más desfavorable, es decir cuando la tensión de entrada es mínima (110 voltios). La conmutación del transistor estará controlada por el circuito modulador de ancho de pulso pero para realizar los cálculos del convertidor se requiere el valor del ciclo de trabajo (D) del transistor, con lo que se tomará el valor teórico del convertidor configurado en lazo abierto. A partir de la ecuación (4.62) se puede encontrar el ciclo de trabajo del transistor:

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} = 1 - \frac{110}{127} = 0.1338 \quad (\text{ec. 4.82})$$

Por lo tanto el transistor conducirá durante el 12.38% del tiempo de un periodo, esto se ha definido como T_{ON} :

$$T_{ON} = T - \frac{T * V_{in}}{V_{out}} \quad (\text{ec. 4.83})$$

donde T es el periodo correspondiente a una frecuencia de 25kHz:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{25000} = 0.00004 \text{ segundos} \quad (\text{ec. 4.84})$$

Por lo tanto:

$$T_{ON} = T - \frac{T * V_{in}}{V_{out}} = 0.00004 - \frac{0.00004 * 110}{127} = 0.36535 \times 10^{-3} \text{ segundos} \quad (\text{ec. 4.85})$$

El valor mínimo que deberá tener el inductor (L_{B1}) para asegurar el correcto funcionamiento del convertidor se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$L_{B1min} = \frac{D(1-D)^2 * R_{B1}}{2 * f} \quad (\text{ec. 4.85})$$

Donde R_{B1} es la carga que debe soportar el convertidor, en este caso tiene un valor de:

$$R_{B1} = \frac{V^2}{P} = \frac{(127)^2}{20365} = 0.7919 \Omega \quad (\text{ec. 4.86})$$

Por lo tanto:

$$L_{B1min} = \frac{D(1-D)^2 * R_{B1}}{2 * f} = \frac{0.1388(1-0.1388)^2 * 0.7919}{2 * 25000} = 1.6304 \mu H \quad (\text{ec. 4.87})$$

La corriente media en el inductor será:

$$I_{LB1} = \frac{V_{in}}{(1-D)^2 * R_{B1}} = \frac{110}{(1-0.1388)^2 * 0.7919} = 187.2899 \quad (\text{ec. 4.88})$$

Durante el intervalo de conducción del transistor, en el inductor se producirá un almacenamiento de energía y una variación de corriente constante, lineal y creciente con un valor de:

$$\Delta i_{L_{on}} = \frac{V_{in} * T_{ON}}{L_{B1min}} = \frac{110 * 0.36535 \times 10^{-3}}{1.6304 \times 10^{-6}} = 24649.4725 \quad (\text{ec. 4.89})$$

mientras que durante el intervalo de no conducción del transistor la variación de corriente será:

$$\Delta i_{L_{off}} = \frac{(V_{in} - V_{out}) * (T - T_{ON})}{L_{B1min}} = \frac{(110 - 127) * (0.04 - 0.36535) * 10^{-3}}{1.6304 \times 10^{-6}} = -3373.09 \text{ A} \quad (\text{ec. 4.90})$$

Los valores máximo y mínimo que deberá soportar el inductor serán:

$$I_{max} = I_{LB1} + \frac{\Delta I_{Lon}}{2} = 187.2899 + \frac{24649.4725}{2} = 12514.026 \text{ A} \quad (\text{ec. 4.91})$$

$$I_{min} = I_{LB1} - \frac{\Delta I_{Lon}}{2} = 187.2899 - \frac{24649.4725}{2} = 12137.446 \text{ A} \quad (\text{ec. 4.92})$$

Los valores obtenidos en las corrientes (4.88), (4.91), y (4.92) son muy elevados pero están fundamentados en el gran potencial del sistema. Estas corrientes, a su vez, son las que deberá soportar el transistor, con lo que son de utilidad también para realizar la elección de dicho componente. Viendo el rango de corrientes que deberán soportar, se contempla la posibilidad de montar diversos transistores en paralelo para reducir la corriente de paso por cada uno de ellos.

La capacidad del condensador viene definida por la ecuación:

$$B_{B1} = \frac{D}{R_{B1} * f * Fr} \quad (\text{ec. 4.93})$$

donde el factor de rizado de la tensión de salida se a fijado al 0,25% ya que está señal deberá poder cargar las baterías del sistema, con lo que se requiere una señal con un mínimo rizado. Este factor de rizado supondrá a la salida un rizado con una amplitud de 0.3175 V. Por lo tanto el valor mínimo del condensador (C_{B1}) para asegurar un funcionamiento correcto y un rizado del 0,25% es el siguiente:

$$B_{B1} = \frac{D}{R_{B1} * f * Fr} = \frac{0.1338}{0.7919 * 25000 * 0.0025} = 2.7033 \text{ mF} \quad (\text{ec. 4.94})$$

El circuito resultante mediante los cálculos realizados es el siguiente:

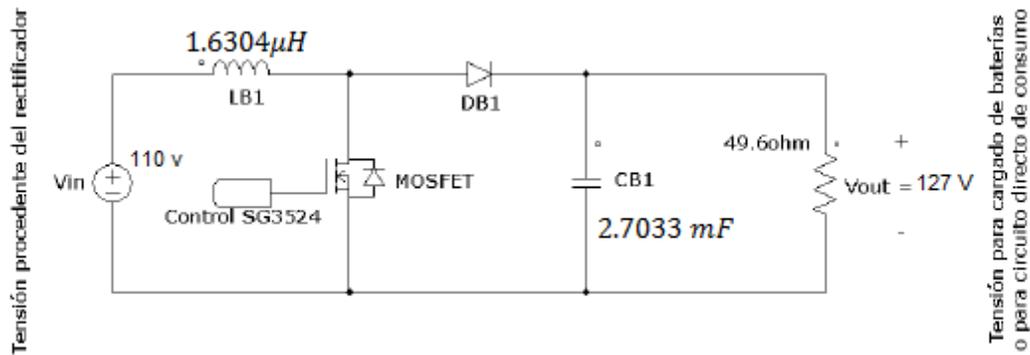


Fig. 4.10 Circuito eléctrico dimensionado del convertidor elevador o Boost B1.

La tensión eficaz de salida viene dada por:

$$V_{OUTrms} = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} V_{in}^2 dt} = V_{IN} \quad (\text{ec. 4.95})$$

La tensión instantánea del valor de salida del inversor en series de Fourier es:

$$V_{OUT}(t) = \sum_{n=1,2,3...}^{\infty} \frac{4V_{IN}}{n\pi} \sin(nwt) \quad (\text{ec. 4.96})$$

Para $n=1$ se obtiene el valor de la tensión eficaz de la componente fundamental desarrollada en la siguiente ecuación.

$$V_{OUT1rms}(t) = \frac{4V_{IN}}{\pi\sqrt{2}} = 0.90V_{IN} \quad (\text{ec. 4.97})$$

Se ha tenido en cuenta que al seleccionar como tensión de salida únicamente esta componente, se reduce la amplitud de la salida. Con lo que para mantener una tensión en valor eficaz de 220 voltios a la salida se ha tenido que subir la tensión de entrada (V_{IN}):

$$220 = 0.90 * V_{IN} \quad ; \quad V_{IN} \approx 244 V \quad (\text{ec. 4.98})$$

Para calcular la distorsión armónica total (THD) de forma exacta necesitamos conocer la tensión aportada por todos los armónicos:

$$TDH = \frac{1}{V_{OUT1rms}} \sqrt{\sum_{n=3,5,7,\dots}^{\infty} V_{OUT1rms}^2} = \frac{1}{V_{OUT1rms}} \sqrt{(V_{OUTrms})^2 - (V_{OUT1rms})^2} \quad (\text{ec. 4.99})$$

Si:

$$V_{OUTrms} = V_{IN} = 224V \quad (\text{ec. 4.100})$$

entonces:

$$TDH = \frac{1}{V_{OUT1rms}} \sqrt{(V_{OUTrms})^2 - (V_{OUT1rms})^2} = \frac{1}{219.16} \sqrt{(244)^2 - (219.16)^2} = 48.43\% \quad (\text{ec. 4.101})$$

Para conseguir mejorar la distorsión armónica total se ha añadido un filtro LC paso bajo dimensionado a partir de la siguiente ecuación:

$$w = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (\text{ec. 4.102})$$

Tomando una frecuencia de corte de 100 hercios para eliminar la distorsión provocada por los armónicos y a su vez no reducir la amplitud de la fundamental y:

$$w = 2\pi f \quad (\text{ec. 4.103})$$

Entonces la ecuación (4.102) resulta:

$$LC = 2.53 \times 10^{-6} \quad (\text{ec. 4.104})$$

A partir del resultado obtenido se determinan valores comerciales de condensador e inductor a:

$$C = 250 \mu F \quad (\text{ec. 4.105})$$

$$L = 10 \text{ mF} \quad (\text{ec. 4.106})$$

Para el oscilador puente de Wien se desea que el valor de salida del oscilador sea a una frecuencia de 60 hercios, mediante la ecuación (4.107) se obtiene el valor de RC para que eso sea posible:

$$60 = \frac{1}{2\pi * RC} \quad (\text{ec. 4.107})$$

El valor de RC que resulta al despejar la ecuación (4.107) es:

$$RC = 2.6525 \times 10^{-3} \quad (\text{ec. 4.108})$$

A partir del resultado obtenido y determinando un valor comercial para el condensador de :

$$C = 100 \text{ nF} \quad (\text{ec. 4.109})$$

la R resulta:

$$R = 27 \text{ K}\Omega \quad (\text{ec. 4.110})$$

Este circuito se compone de cuatro resistencias, dos condensadores y un amplificador operacional en configuración no inversora con una ganancia (Av) ajustable mediante los valores de R1 y R2 a partir de la siguiente ecuación:

$$AV = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (\text{ec. 4.111})$$

El valor de amplitud deseado a la salida del oscilador es de 4,5 voltios, esta amplitud será regulada por la ganancia del operacional. Inicialmente, para el arranque del oscilador se ha definido una ganancia 5 a partir de la ecuación (4.111) y fijando el valor de R1 en:

$$R_1 = 10 \text{ K}\Omega \quad (\text{ec. 4.112})$$

Con lo que R2 tendrá un valor de:

$$R_2 = 40 \text{ K}\Omega \quad (\text{ec. 4.113})$$

Cuando el circuito haya empezado a oscilar la ganancia fijada en 5 se reducirá a un valor cercano a 3 (Δv_{est}) para mantener la estabilidad y la amplitud de la onda al nivel deseado.

$$AV_{est} = 1 + \frac{R_{eq}}{R_1} = 3 \quad (\text{ec. 4.114})$$

Siendo R_{eq} el valor de la suma en paralelo de la resistencia R2 y el potenciómetro (R_d):

$$R_{eq} = \frac{R_2 * R_d}{R_2 + R_d} \quad (\text{ec. 4.115})$$

El valor de R_d resulta:

$$R_d = 40.2 \text{ K}\Omega \quad (\text{ec. 4.116})$$

El circuito será mejorado con una red de compensación de amplitud mediante dos diodos y un potenciómetro (R_d) . De esta forma se conseguirá que la señal de salida no se vuelva inestable y la amplitud de la onda se mantenga en el nivel deseado. Gracias al potenciómetro se podrá ajustar la salida de forma más precisa. El circuito tendrá la configuración de la figura 4.11.

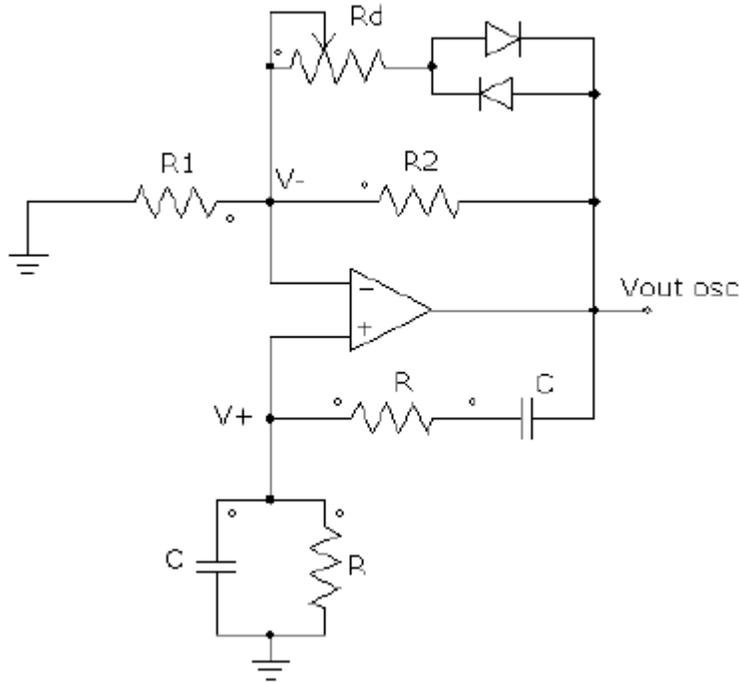


Fig. 4.11 Circuito eléctrico de Puente de Wien mejorado con compensación de amplitud.

Como se ha comentado anteriormente el inversor es el encargado de convertir la señal eléctrica procedente del convertidor elevador B1 de corriente continua a corriente alterna y para ello se ha escogido el inversor de puente completo que se muestra a continuación:

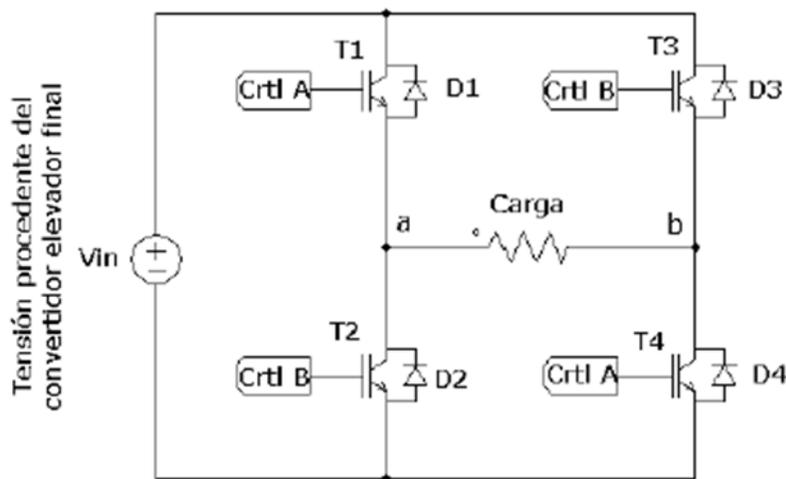


Fig. 4.12 Esquema del inversor de puente completo.

4.4 Programación de protecciones

Para resolver el problema de las protecciones se utiliza un sistema basado en la plataforma Arduino uno. Se utiliza para ello un sensor de temperatura LM35, el cual registra la temperatura del generador y un sensor de voltaje. Cuando la temperatura excede los 80°C se activará un indicador de luz que hará que un operario determine la razón de ésta sobre-temperatura. El sensor de voltaje activará un relevador en caso exista una sobretensión o una tensión disminuida.

Para poder controlar el sensor de voltaje se requiere un transformador de voltaje con una relación de vueltas de 10:1 a la salida del generador, esto con el fin de adecuar el voltaje a la placa Arduino. Posteriormente se utiliza un rectificador de precisión de onda completa y entrega una forma de onda igual a la mostrada en la figura 4.13. El rectificador de onda está basado en el amplificador operacional LM358, cuyo circuito se presenta en la figura 4.14

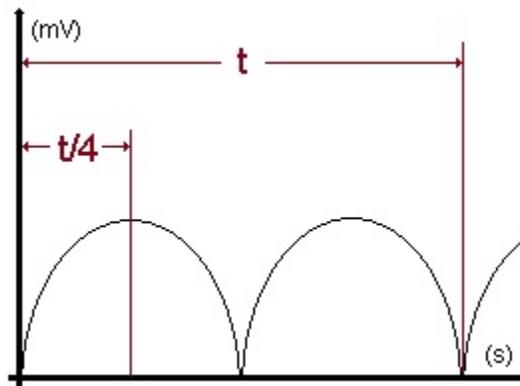


Fig. 4.13 Esquema de una señal senoidal rectificada con un inversor de onda completa (diverteka).

A la salida del rectificador de precisión, se coloca una resistencia de 14 Ω con el fin de ajustar el voltaje a 5 Volts. Este voltaje de salida será el que funcionará como entrada analógica en el puerto A0 del Arduino. El sensor de temperatura estará conectado a la entrada analógica del A1 del Arduino de acuerdo con el esquema que se puede encontrar en el datasheet del mismo integrado y que se presenta en la figura 4.15.

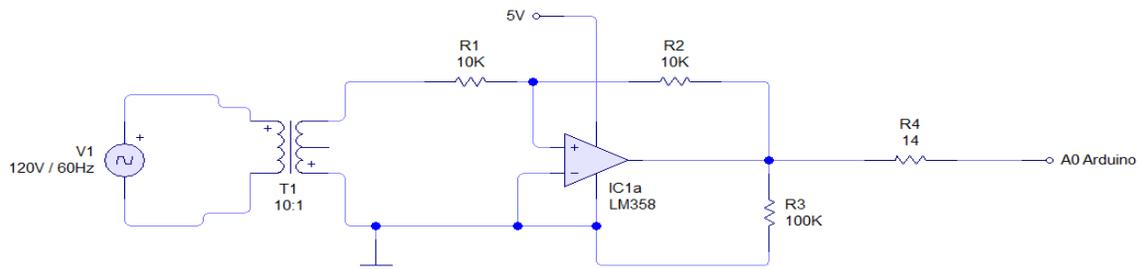


Fig. 4.14 Esquema del circuito rectificador basado en el Op-Am LM358 (LiveWire).

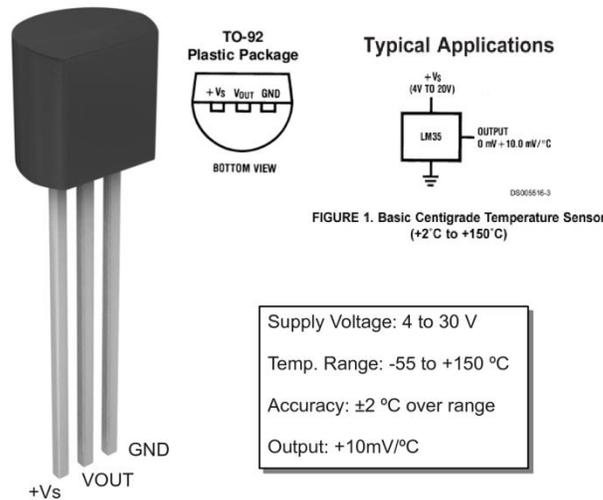


Fig. 4.15 Esquema del sensor de temperatura LM35.

El sensor de corriente es un transformador, estrictamente de corriente, que consta de un pequeño núcleo partido de ferrita cuyo primario es al conductor cuya corriente requiere ser medida, y el secundario es un embobinado con una relación de vueltas de 1800:1 conectado en paralelo con una resistencia de 62 Ω. El diagrama de la conexión interna del sensor se muestra en la figura 4.16. La programación del Arduino se presenta a continuación:

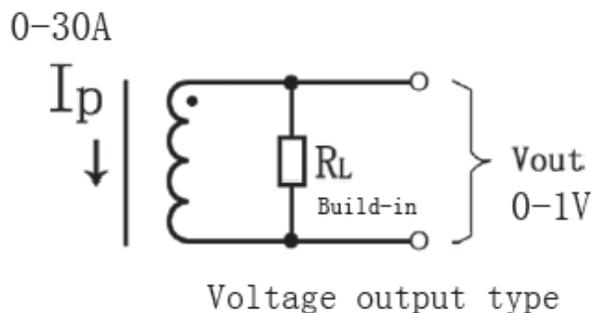


Fig. 4.16 Esquema interno del sensor de corriente SCT013-030.

/* Conexiones del Sensor LM35: Voltaje=5v, salida analógica, tierra. Esta secuencia con la curva del transistor hacía arriba. Este sensor entrega 10mV por cada °C. Tiene un rango de operación de entre 0-100°C con una exactitud de 0.5°C */

```
const int analogInPin = A0;
int sensor=A1;
```

```
// entrada analógica A0
// Se determina la entrada analógica A1
```

```

const int SensorCorriente = A2;           // Se determina la entrada para el sensor
long voltaje;                             //long == para guardar variables muy grandes
long temperatura;
int retardo = 2 ;                         // (tiempo (s.) entre visionados)
int ni = 35;                               // Número de iteraciones
float lectura, lectura2 ,ff,Vv,Vrms, Ratio, PkW, IAmp;
int led=13;

```

```
void setup() {
```

```

Serial.begin(9600);           // Velocidad de comunicación con el puerto serial
ff = 4.15;                   // 1/4 del Periodo en milisegundos / (50Hz -> 5 / 60Hz -> 4.15)
Ratio = 36.5;                // Ratio o relación (mV/mA) del sensor de corriente

```

```

DDRD=B11111111; //se indican las salidas con los "1" en salidas digitales lado A
DDRB=B111000;  //se indican las salidas digitales lado B
}

```

```
// ----- Rutina Smooth -----
```

```

float smoothread(float fc){           // fc (factor corrector)
float retorno = 0.0;                 // (ni) => rango 10 a 50 mejor promedio [smoothing]

```

```

for (int x = 0; x< ni; x++){
do {                                 // espero paso por cero
  delayMicroseconds(100); }

```

```

  while (analogRead(0) != 0) ; // Mientras la medición sea distinta de 0
  delay (ff);                   // espera al valor pico del ciclo
  delay (10);                   // estabilizacion CAD
  retorno = retorno +(analogRead(0)*fc);
}

```

```

return retorno / ni;
}

```

```
// ----- Rutina 2 Smooth -----
```

```

float smoothread2(float fc2){        // fc (factor corrector)
float retorno = 0.0;                 // (ni) => rango 10 a 50 mejor promedio [smoothing]

```

```

for (int i = 0; i< ni; i++){
do {                                 // espero paso por cero

```

```

delayMicroseconds(100); }

while (analogRead(2) != 0) ;           // Mientras la medición sea distinta de 0
delay (ff);                          // espera al valor pico del ciclo
delay (10);                          // estabilizacion CAD
retorno = retorno +(analogRead(2)*fc2);
}
return retorno / ni;
}

void loop() {

lectura = smoothread (1);           // lectura (rms)
Vv = (lectura * 0.13671875);         // Voltaje obtenido ---> Cada bit equivale a 0.13671875
Volts
// Así los 1024 bits equivalen a los 140 volts que pueden ser entregados por
el transformador

Vrms = (Vv/1.41);                   // Se convierte a un valor eficaz

lectura2 = smoothread2 (1);
IAmp = (lectura2 * Ratio)/1000;     // Cálculo de la intensidad en amperes
PkW = (Vv*IAmp)/1000;              // Potencia en kW

voltaje=(analogRead(sensor)*5000L)/1023; // lee el valor de la entrada analógica y
me da el voltaje
temperatura=voltaje/10; //lo convierte a temperatura

temperatura=constrain(temperatura,0,100); // se limita la variable temperatura para
que solo oscile de entre 0 y 100 °C

if(Vv >= 114 && Vv<= 126){ // Si el voltaje se mantiene en el rango aceptable no se
enciende ninguna indicación

digitalWrite(led,LOW);}
else{
digitalWrite(led,HIGH);}

if(temperatura >= 80){ // Si la temperatura del generador no excede los 80° no
habrá indicación

digitalWrite(led,HIGH);}

```

```
else{
digitalWrite(led,LOW);}

Serial.print("\n" );
Serial.print("\n===== " );
Serial.print("\n *** Lectura de Variables *** " );
Serial.print("\n===== \n" );
Serial.print("\n- Tension Calculada [V]: " );
Serial.print(Vv);
Serial.print("\n- Tension RMS Calculada [V]: " );
Serial.print(Vrms);
Serial.print("\n- Intensidad Calculada [A]: " );
Serial.print(Iamp);
Serial.print("\n- Potencia Calculada [kW]: " );
Serial.print(PkW);
Serial.print("\n----- \n" );
Serial.print("Temperatura del Generador: ");
Serial.print(temperatura);
Serial.print(" °C ");
Serial.println("");
Serial.println("");
Serial.print("\n----- \n" );
delay(retardo * 100);
}
```

ANEXO

Anexo A

Desarenador de lavado intermitente.- Este tipo de desarenador se caracteriza porque se lava periódicamente, aunque la operación de lavado procura realizarse en el menor tiempo posible, esto lo determina la cantidad de sedimentos que trae el agua. El desarenador de lavado intermitente tiene los siguientes componentes: Compuerta de admisión, transición de entrada, transición de salida o vertedero, cámara de sedimentación, compuerta de purga y canal directo figura Anexo 1.1.

La compuerta de admisión une la obra de conducción con el desarenador. Generalmente son dos compuertas, una ubicada en la entrada al desarenador y la otra, en la entrada al canal directo. La transición de entrada garantiza una velocidad uniforme y una eficiente sedimentación. Cuando el desarenador no tiene vertedero para enviar el agua limpia al tanque de presión, entonces dispone de otra transición que une el desarenador con un canal que va al tanque de presión.

En la cámara de sedimentación se sedimentan las partículas sólidas debido a la disminución de la velocidad por el aumento de sección. La forma del desarenador es en general rectangular o trapezoidal, simple o compuesto. La cámara rectangular es de fácil construcción pero su costo es elevado, ya que las paredes son muros de contención. La cámara trapezoidal es hidráulicamente más eficiente y económica porque sus paredes trabajan como revestimiento.

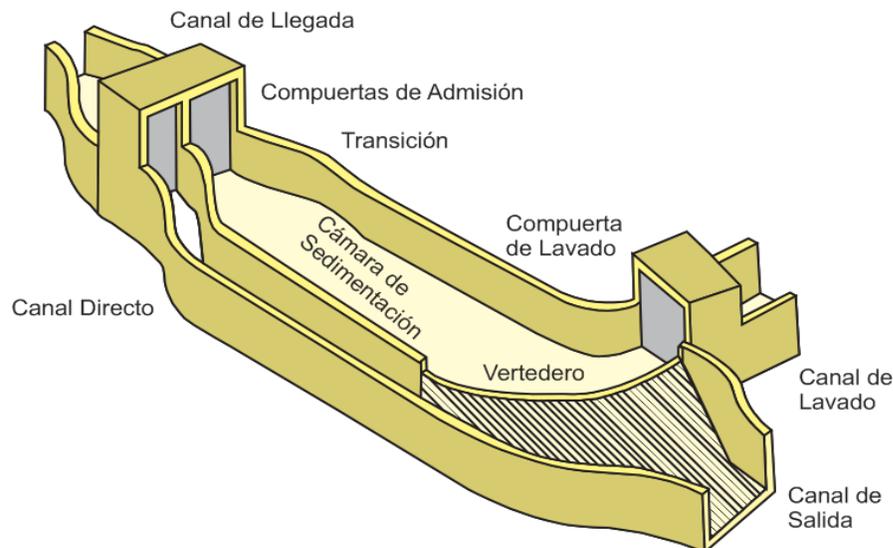


Fig. Anexo A.1 Desarenador de lavado intermitente.

El lavado de la cámara se facilita concentrando los sedimentos en el centro de la misma; conviene para ello que el fondo tenga una pequeña caída hacia el centro con una pendiente transversal, usualmente de 1.5 a 1.8. Para desalojar los materiales depositados en el fondo hacia la compuerta de lavado generalmente se le da un gradiente elevado de 2 a 6%.

El incremento de la profundidad obtenido por efecto de las pendientes en el fondo de la cámara aumenta el volumen del desarenador, el cual no fue incluido en el cálculo; este volumen adicional se toma como depósito para los sedimentos entre lavados. Un estudio de la cantidad y tamaño de los sedimentos que trae el agua asegura una adecuada capacidad del desarenador para no ser lavado frecuentemente.

El desarenador debe evitar la turbulencia y la tendencia al desplazamiento. La primera agita el sedimento manteniéndolo en suspensión y la segunda consiste en la capacidad del agua de moverse rápidamente desde la entrada hasta la salida, transportando consigo sedimentos. En un principio al estar el desarenador limpio de sedimentos, la velocidad del agua toma valores bajos y cuando está lleno la velocidad del agua es mayor y las partículas viajarán hacia el tanque de presión.

El vertedero por el cual pasa el agua limpia hacia el tanque de presión debe ubicarse formando una curva desde uno de los muros laterales hasta cerca de la compuerta de desfogue. La velocidad de paso por el vertedero debe ser baja para evitar crear turbulencia en el desarenador y arrastrar materiales en suspensión. La velocidad máxima admitida es 1 m/s. La compuerta de lavado se encarga de desalojar el material sólido depositado en el fondo.

Desarenador de Cámara Doble.- Por lo general, cuando el caudal pasa de 10 m³/s, se recomienda dividir el desarenador en dos o más cámaras de igual forma. Cuando se tienen dos cámaras, cada una se calcula para la mitad del caudal y solamente durante el lavado una de ellas trabaja con el caudal total. En este tipo de desarenadores, cada cámara tiene su compuerta de admisión y de lavado independientes y no requieren un canal directo, esto se ilustra en la figura anexo 1.2.

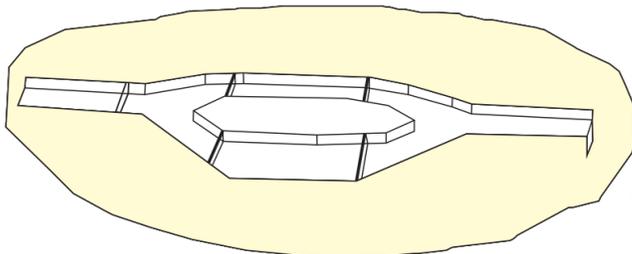


Fig. Anexo A.2 Desarenador de Cámara Doble.

Desarenador de lavado continuo.- En este tipo de desarenador el material depositado se elimina en forma continua; para ello requiere que el caudal disponible sea mayor que el de diseño. Un desarenador de lavado continuo se ilustra en la figura Anexo 1.3. El desarenador de lavado continuo se divide en dos cámaras, superior e inferior, las cuales están separadas por una reja de barrotes.

La cámara inferior contiene los sedimentos más pesados, encauzados a una galería longitudinal de pequeña sección para su vertimiento al afluyente. El agua situada en la galería sale con velocidades relativamente altas, arrastrando consigo los sedimentos. Las arenas que se depositan en la cámara superior son arrastradas a la inferior a través de los espacios estrechos entre barrotes por el agua que pasa de una a otra cámara, como se ilustra en la figura Anexo 1.3.

La galería debe permitir el fácil paso de los sedimentos a una velocidad adecuada. Debe tenerse en cuenta que en este tipo de desarenadores se lavan continuamente los sedimentos con el caudal Q_s , donde las velocidades de entrada V_1 y salida V_2 del desarenador no son iguales. A la entrada del desarenador debe pasar un caudal Q_e , que es igual a la suma del caudal Q_s necesario para el lavado continuo y el caudal Q_d de diseño que irá hasta el tanque de presión.

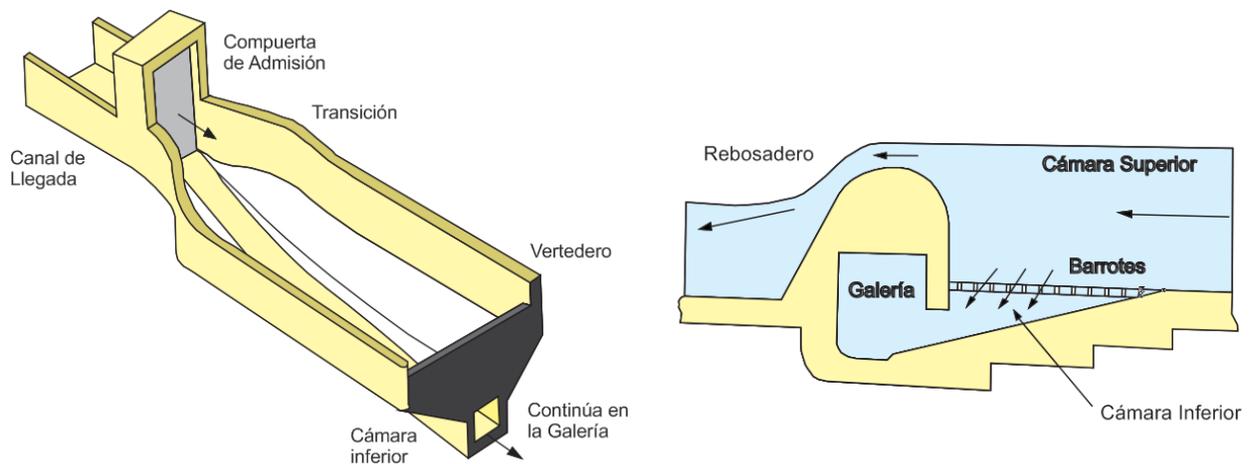


Fig. Anexo A.3 Desarenador de lavado continuo.

Golpe de Ariete.- Las ondas de oscilación que se originan en el instante en que se cierra parcial o totalmente el órgano de control de la turbina se llaman golpe de ariete positivo, el cual se caracteriza porque el agua que se encuentra junto a la turbina se detiene y la energía cinética se transforma en presión fig. Anexo 1.4. Bajo estas condiciones, si el tubo fuera rígido, el líquido incompresible y el cierre

de la válvula instantáneo se tendría, según la ecuación de Newton, una presión infinita.

En realidad, como resultado del aumento de presión el líquido se comprime y las paredes del tubo se expanden, lo cual permite que entre en el tramo una cantidad adicional de agua antes de que se detenga. Después, sucede de igual forma en la sección situada inmediatamente más arriba. De esta forma el aumento de presión se prolonga hacia la almenara que tiene una superficie libre y donde el proceso se detiene.

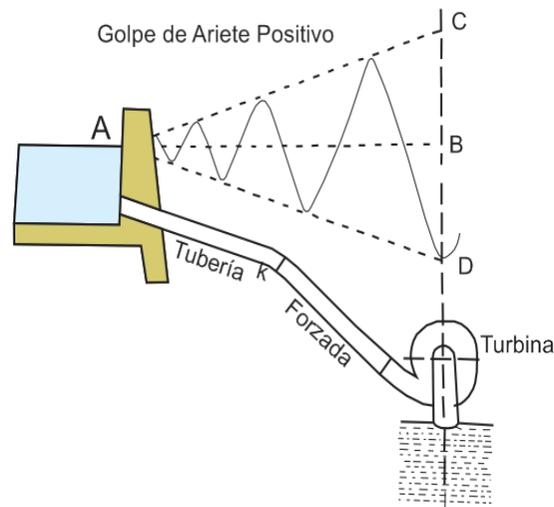


Fig. Anexo A.4 Representación gráfica de un golpe de ariete positivo.

Cuando la onda de presión llega a la almenara, toda la tubería está dilatada y el agua comprimida. En este momento, la sobrepresión se reduce instantáneamente a cero debido a que en la almenara no existe una presión mayor que la correspondiente a la profundidad del agua sobre la tubería. Como ya no existe movimiento de agua, ésta empieza ahora a dilatarse y la tubería a contraerse.

Este proceso inverso comienza en la almenara y se propaga hacia la válvula. Por inercia sale una cantidad de agua mayor que la que entró y la tubería reduce su diámetro a un valor menor que el inicial con el resultado de una reducción de la presión. Teóricamente, el valor en el que baja la presión es igual, pero de signo contrario que el aumento de presión antes experimentado. Después de esta onda de descompresión se tiene una nueva onda de compresión y así sucesivamente.

Por falta de elasticidad de las paredes y de fricción en el líquido parte de la energía se disipa en el calor, y el proceso se va amortiguando hasta desaparecer. Cuando la turbina requiere la apertura parcial o total (arranque de la planta) del órgano de control se produce un golpe de ariete negativo, el cual posee

características similares, pero en sentido inverso. La figura Anexo 1.5 muestra su comportamiento.

El golpe de ariete positivo exige un mayor espesor de tubería pero puede reducirse si el tiempo de cierre se encuentra en un punto medio que no deteriore la tubería de presión y no tan lento que desestabilice el grupo turbina-generador. El máximo golpe de ariete se calcula admitiendo que una variación de cantidad de movimiento es igual al impulso de la fuerza en la sección más próxima al distribuidor en una turbina de acción o en la tubería en una turbina de reacción.

El tiempo T es el que demora la onda de presión para desplazarse desde el órgano de control hasta la almenara y regresar; se determina por la expresión 1.1, donde L, es la longitud del ducto y V_s es la velocidad de la onda de presión. Como se aprecia en la ecuación, el tiempo es dos veces la longitud de la tubería dividido por la velocidad, debido a que se considera el rebote de la onda.

$$T = \frac{2 \cdot L}{V_s} \tag{ec. 1.1}$$

La velocidad de la onda de presión puede determinarse en condiciones reales con las ecuaciones 1.2 ó la ecuación 1.3. Dónde 1425 es la velocidad del sonido en el agua, E_0 es la elasticidad del agua (2×10^3 MPa), E es la elasticidad del material de las paredes de la tubería (para el acero $E = 2 \times 10^5$ MPa), D y e son el diámetro y el espesor de la tubería y K es una constante de acuerdo al material (4.4 para hierro fundido, 18 para plástico y 0.5 para acero).

$$V_s = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{E_0 \cdot D}{E \cdot e}}} \tag{ec. 1.2}$$

$$V_s = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K \cdot \frac{D}{e}}} \tag{ec. 1.3}$$

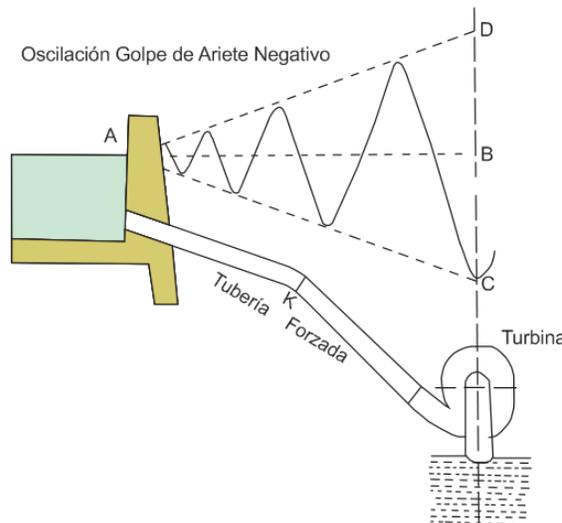


Fig. Anexo A.5 Representación gráfica de un golpe de ariete negativo (apertura del órgano de control).

Tipos de Almenara.- La Almenara Simple es un tubo que tiene una abertura sin restricciones, lo suficientemente largo para que el fluido no se derrame. La almenara con cámaras se usa si hay épocas en las que varía mucho el caudal. Consta de cámara de expansión, cámara de alimentación que suple el caudal necesario y un pozo de conexión. La almenara de estrangulamiento inferior o de orificio tiene una reducción en la entrada al tanque amortiguador, que permite una mayor caída de presión y por lo tanto reduce las oscilaciones.

La almenara Diferencial es una combinación entre orificio y simple. Hay una parte central que esta comunicada por unos orificios a un tanque, y que en caso de abertura rápida la parte que está en el tanque suple a la parte central. En caso de cerrado brusco es conveniente ya que el flujo entra por los orificios disipándose efectivamente. En las presas se coloca una almenara aguas arriba de la casa de máquinas a modo de protección de las turbinas.

Para la descripción de la almenara se parte de un esquema de una pequeña central hidroeléctrica filo de agua, similar al indicado en la figura 1.6 y 1.7. Al cerrar el órgano de control de la turbina, la energía cinética con la que se desplaza el caudal eleva el nivel en la almenara en Y_E . Al igualar la variación de la energía cinética en la conducción de baja presión, con la variación de energía potencial del agua en la almenara, sin considerar las pérdidas, se tiene la ecuación. 1.4.

$$\int_0^v \frac{m * Vt}{g} dVt = \int_0^{Ye} \gamma * y * Ac dy \quad (ec. 1.4)$$

Dónde m es la masa del agua, Vt es la velocidad en la conducción, γ es el peso específico del agua, y es la sobrepresión, Ac es el área de la almenara, Lt es la longitud de la conducción y At es el área de conducción. La sobrepresión teórica del golpe de ariete es como se indica en la ecuación 1.5 y 1.6. El periodo de oscilación de la almenara se determina con la ecuación 1.7. Una almenara debe instalarse si se cumple con cualquiera de las expresiones de la ecuación 1.8.

$$Ye = +Vt * \sqrt{\frac{Ac * Lt}{g * At}} \quad (Ec. 1.5)$$

$$Yd = -Vt * \sqrt{\frac{Ac * Lt}{g * At}} \quad (Ec. 1.6)$$

$$T = 2 * \pi \sqrt{\frac{Ac * Lt}{g * At}} \quad (Ec. 1.7)$$

$$\frac{th}{v} < 0.51 \quad \text{ó} \quad \frac{L}{Hb} \leq 5 \quad (Ec. 1.8)$$

Dónde t_h son las pérdidas de altura en la conducción y H_B es la caída bruta del aprovechamiento. La condición más general plantea que si el tiempo de cierre del órgano de control es menor de 3 segundos, se requiere una almenara. Una forma de evitar la instalación de la almenara es colocar válvulas de alivio próximas a la turbina o difusores, como en el caso de la turbina Pelton.

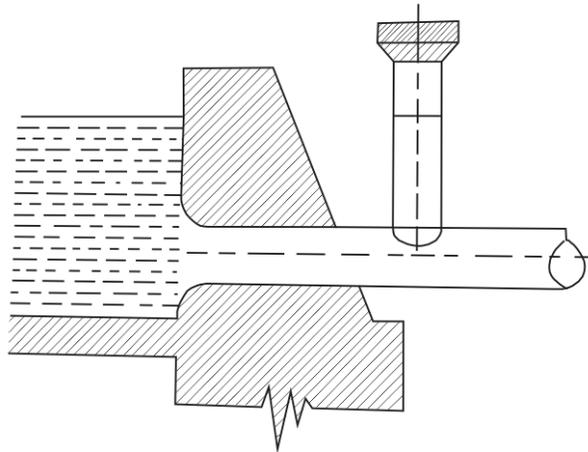


Fig. Anexo A.6 Forma constructiva de una almenara.

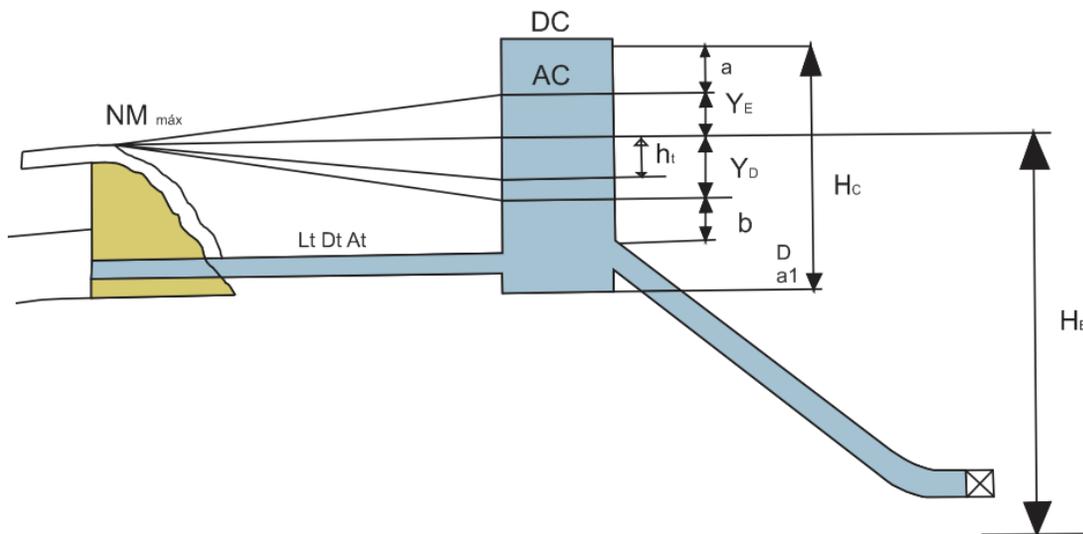


Fig. Anexo A.7 Sistema en derivación.

Material de la tubería.- Para la selección de la tubería se considera la longitud de ésta, su diámetro, el grosor calculado debido al golpe de ariete, el tipo de unión utilizada, las presiones a las cuales estará sometido, la dificultad en su instalación debido a la topografía en el que se instala, pero sobre todo se tiene presente el material con el que se construye, ya que del material con el que se construya dependerá la vida útil de la tubería. En seguida se presentan los más empleados.

Acero Comercial.- El acero comercial ha sido uno de los materiales más usados para tuberías de presión. Estas tuberías pueden ser fabricadas con maquinaria común en la mayoría de talleres de regular tamaño que trabajen con acero. Se fabrican con planchas de acero roladas y soldadas. Sus diámetros y espesores son variados. Tienen un factor de pérdida por fricción regular y si están recubiertas por una capa de pintura u otra capa de protección pueden durar hasta 20 años.

Poli-cloruro de vinilo PVC.- La tubería de PVC es una de las más empleadas en las pequeñas centrales. Es relativamente económica, se produce en diámetros que van hasta cerca de 400 mm, y es adecuada para presiones elevadas (100 a 150 m). Al variar el espesor de la pared de la tubería se obtienen diferentes niveles de presión. Es liviana y fácil de transportar e instalar. Tiene un factor de pérdidas por fricción bajo y es resistente a la corrosión.

No obstante, es relativamente frágil y puede ser dañada por impactos de rocas, en especial a bajas temperaturas. La principal desventaja radica en que el PVC se deteriora cuando se expone a la luz ultravioleta, la cual raja la superficie afectando seriamente la resistencia de la tubería. Por ello, debe estar protegida de la luz solar directa, ya sea enterrándola, cubriéndola con vegetación, envolviéndola o pintándola. Las tuberías de PVC tiene uniones tipo espiga y campana.

Hierro dúctil centrifugado.- El hierro dúctil ha remplazado en gran medida al hierro fundido, aunque este último en sistemas antiguos. Las tuberías de hierro dúctil pueden ser revestidas en su interior con cemento, lo que las dota de protección contra la corrosión y de una baja pérdida por fricción. Es un material pesado, de allí que sea difícil de instalar y sea costoso. Estas tuberías son unidas mecánicamente con espiga-campana y un sello flexible o bien con bridas.

Asbesto-Cemento.- Las tuberías hechas de cemento reforzado con fibra de asbesto son frágiles y adecuadas para trabajar a una presión moderada. Son más pesadas que las de PVC y tienen una apreciable pérdida por fricción. El polvo producido al cortar estas tuberías puede ser dañino para la salud, razón por la cual quienes trabajan con ellas tienen que usar equipo de protección adecuado.

Resina de poliéster con fibra de vidrio reforzado.- Las tuberías hechas de resina reforzada con fibra de vidrio insertada en forma de espiral son livianas y poseen bajo coeficiente de fricción. Son frágiles y hay que instalarlas con bastante cuidado. Pueden ser utilizadas con presiones elevadas con la condición de que estén bajo tierra y se rellene el espacio donde se colocan con material fino seleccionado. Se unen con una espiga campana y sello flexible.

Polietileno de alta densidad.- Estas tuberías son buena alternativa frente a las de PVC. Son particularmente útiles para pequeños sistemas. Tienen un coeficiente de pérdidas de fricción bajo, son resistentes a la corrosión y no se deterioran cuando están expuestas a la luz solar. Estas tuberías son unidas calentando los extremos y fusionándolos a presión utilizando equipo especial, lo cual es una desventaja. Las bondades de estos materiales se observa en la tabla 1.1.

Tabla A1.1 Comparación de los diferentes materiales para tuberías de presión.

Material	Pérdidas 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

Nota: Los rangos van de Malo=1, a excelente=5.

Tipos de uniones.- Por lo general, las tuberías vienen en longitudes estándares y deben ser unidas entre sí utilizando alguno de los métodos existentes para ello. Al escoger el mejor método de unión para un sistema determinado debe considerarse la adecuación al material de tubería seleccionada, grado de destreza del personal que instala las tuberías, grado de flexibilidad requerido en las uniones, costos relativos, grado de dificultad de la instalación.

Uniones con bridas embridada.- Al fabricar las tuberías individuales se colocan bridas, figura 1.8, en sus extremos. Durante la instalación cada una de las bridas es empernada a la otra, siendo necesario poner una empaquetadura de caucho entre cada par. Las tuberías unidas con bridas son fáciles de instalar, aunque pueden aumentar sus costos. Las uniones embridadas se utilizan con frecuencia en tuberías de acero pero también ocasionalmente de hierro dúctil.

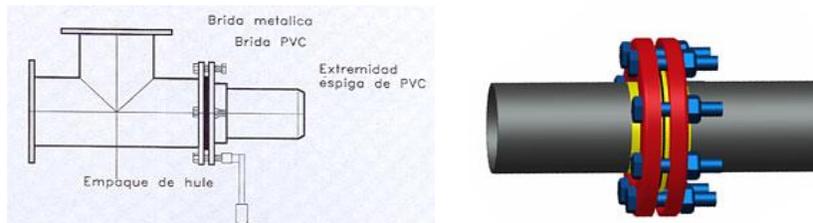


Fig. Anexo A.8 Unión de tuberías por medio de bridas.

Espiga y campana.- Las uniones de espiga y campana figura Anexo 1.9 vienen preparadas de fábrica, de manera que el diámetro interno de la campana es igual

al diámetro externo de la tubería. El extremo de cada tubería puede así ser empujado en la campana de la siguiente. Cada sección de tubería se confina empleando un sello de caucho o un pegamento especial. Las uniones con sello de caucho son de sello de anillo O y sellos de labio V, simples o múltiples.



Fig. Anexo A.9 Unión de tuberías por espiga y campana.

Uniones mecánicas.- Las uniones mecánicas rara vez son usadas en las tuberías de presión debido a su costo. Su principal aplicación es la unión de tuberías de diferente material (por ejemplo acero y PVC), o en situaciones en las que se necesita una ligera deflexión en una tubería que no garantiza la colocación de un codo. Algunos tipos de unión mecánica no pueden tolerar fuerzas en la dirección de la tubería y tienen que ser fijados con bloques de anclajes.

Uniones soldadas.- Las uniones soldadas se emplean en tuberías de acero y apelando a técnicas especiales en el caso de las de polietileno. Se trata de un método relativamente barato, aunque sus desventajas son contar con los problemas que presenta el llevar un soldador de arco y una fuente de energía aun terreno remoto y de difícil acceso. La soldadura de una tubería de polietileno requiere también alguna capacitación.

El hecho de tener que comprar equipo especial resulta costoso, aunque a menudo es posible alquilarlo al fabricante de tuberías. Los dos extremos de la tubería que serán unidos son fijados en una plantilla especial, colocando luego moldes calientes en ambos extremos. Cuando el material al extremo de la tubería está en estado semilíquido, se juntan con fuerza los dos extremos, lo que hace que ambos se fusionen. El proceso se llama soldadura por fusión.

Anexo A.3.- El elemento fundamental de la turbina es el impulsor llamado rodete o rueda, es el único elemento giratorio, y es donde se verifica la transformación de

energía hidráulica en mecánica. Además del rodete constan de una serie de elementos, situados aguas arriba del rodete que tiene la misión de introducir el agua con la dirección y condiciones precisas. A su salida se encuentran otros órganos que tienen el objetivo de evacuar convenientemente el agua hacia el canal de desagüe.

Anexo A.3 Turbinas de Acción.- consta fundamentalmente del distribuidor, llamado inyector, y de la rueda o rodete. El inyector tiene como misión introducir el agua en el rodete de forma conveniente; es una prolongación de la tubería forzada, que reduce la sección, con salida a la atmósfera, de esta forma la energía de presión que el agua posee a su entrada se convierte totalmente en energía cinética. Puede tener de 1 a 6 inyectores, pero en todo caso la admisión del agua en el rodete es puntual.

El rodete está constituido por un cubo unido al eje, con una serie de cazoletas dispuestas en su periferia. El chorro formado a la salida de cada inyector incide tangencialmente sobre las cazoletas, convirtiéndose la energía cinética del agua en energía mecánica. La turbina, arrastrando el generador eléctrico, permite la obtención de la energía eléctrica a partir de la energía mecánica de aquella.

Al necesitar saltos grandes con caudales reducidos, las turbinas Pelton se emplean en centrales de cabecera de cauce, es decir próximas al nacimiento de los ríos, donde, por una parte, llevan fuertes pendientes, pudiéndose obtener así grandes desniveles entre puntos relativamente próximos, Por otro lado las cuencas vertientes en las cabeceras de cauce son reducidas.

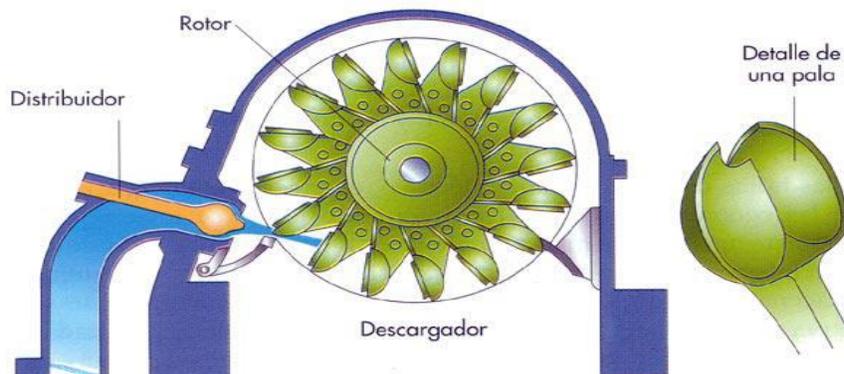


Fig. Anexo A.10 Esquema de una turbina Pelton con sus principales componentes.

Anexo A.3 Turbinas de Reacción: Las Turbinas de reacción tienen una concepción notablemente diferente a las de acción. En primer lugar, el elemento situado en lo más arriba del rodete, llamado distribuidor, transforma parte de la energía de presión, que tiene el agua a la entrada de la turbina, en energía cinética.

El distribuidor en este caso rodea todo el rodete, llegando el agua por la totalidad de la periferia de éste, siendo por tanto la admisión del agua total. El rodete, único órgano transformador de energía hidráulica en mecánica, es de diseño diferente según el tipo de turbina de reacción de que se trate, pero en esencia está formado por el cubo, unido al eje, y una serie de alabes dispuestos en la periferia de aquel.

El agua a la salida del rodete tampoco sale a la atmósfera, sino que penetra en un tubo llamado tubo difusor o tubo de aspiración, generándose a su entrada una depresión, cuya misión fundamental es aumentar la energía hidráulica absorbida por el rodete. El tubo difusor desemboca en el canal de desagüe, que devuelve el agua al cauce natural.

En conjunto las turbinas de reacción están formadas por los siguientes elementos: Cámara espiral, ante distribuidor, distribuidor, rodete y tubo difusor. Las turbinas de reacción se utilizan para una gama muy amplia de alturas y caudales, donde la relación caudal-altura es mayor que las correspondientes a turbinas de acción. Los valores más bajos de dicha relación corresponden a las turbinas Francis y los más elevados a las Hélice, Kaplan, Deriaz, Bulbo y Straflo, por este orden.

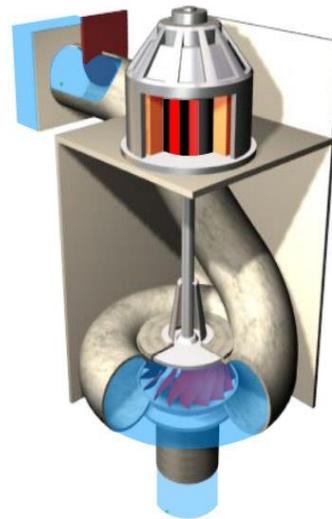
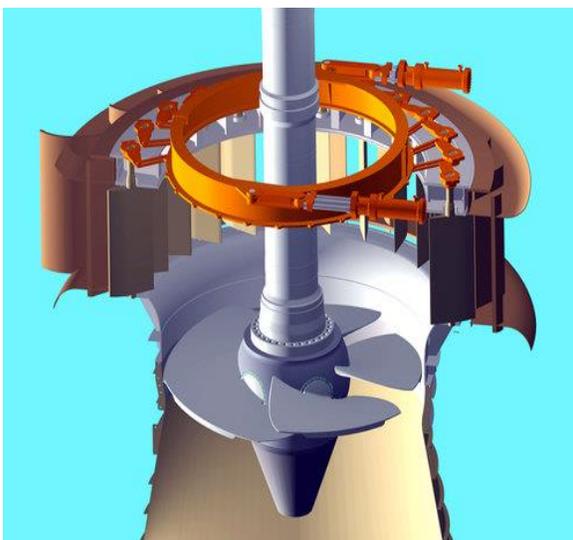


Fig. Anexo A.11 Esquema de una turbina Kaplan y una Francis respectivamente. Ambas clasificadas dentro del grupo de las turbinas de reacción.

A medida que el río discurre por su cauce va disminuyendo la pendiente y reduciendo su cota, disminuyendo las posibilidades de generar salto, pero incrementándose su cuenca vertiente y por lo tanto su caudal.

Las turbinas revisadas anteriormente forman un conjunto de máquinas que se encuentran ubicadas dentro del grupo de las máquinas de fluidos. Estas máquinas han sido ampliamente utilizadas para la producción de energía mecánica, cuya transformación finaliza con la generación de electricidad mediante otro tipo de máquinas, los generadores eléctricos. En la figura 3.18 se resume la clasificación de las máquinas de fluidos.

Anexo A.3 Criterios para selección del tipo de Turbina

Altura del Salto: El salto bruto es la distancia vertical, medida entre los niveles de la lámina de agua en la toma y en el canal de descarga, en las turbinas de reacción, o el eje de toberas en las de turbinas de acción. Conocido el salto bruto, para calcular el neto, basta deducir las pérdidas de carga, a lo largo de su recorrido.

El problema es particularmente crítico en el caso de los aprovechamientos de baja altura que, para que sean rentables, necesitan turbinar grandes volúmenes de agua. Se trata de aprovechamientos con 2 a 5 m de altura de salto y un caudal que puede variar entre 10 y 100 m³/s. Utilizan turbinas con un diámetro de rodete entre 1.6 m y 3.2 m de diámetro, acoplada a un generador asíncrono a través de un multiplicador.

Los conductos hidráulicos tienen unas dimensiones muy superiores a las requeridas por los aprovechamientos con saltos de media y gran altura, lo que conlleva la realización de importantes trabajos de obra civil, cuyo costo llega a superar al de los grupos turbo-generadores.

Para reducir el costo global obra civil, equipos y en particular reducir el volumen de obra civil, se han concebido un cierto número de configuraciones que han llegado a ser consideradas como clásicas. Todas ellas hacen uso de uno de los dos tipos de turbinas aplicables a estos saltos: Kaplan y la semi-Kaplan.

Rango de caudales a turbinar: Un valor aislado del caudal no tiene ninguna significación. Lo que interesa es el régimen de caudales preferiblemente representado por la curva de caudales clasificados obtenida de los datos

precedentes de la estación de aforos o de los estudios hidrológicos, previos a la elección de la turbina. No todo el caudal representado en una CCC puede utilizarse para producir energía eléctrica.

En primer lugar hay que descartar el caudal ecológico que tiene que transitar todo el año por el cauce cortocircuitado. En segundo lugar, cada tipo de turbina solo puede trabajar con caudales comprendidos entre el nominal para el que el rendimiento es máximo y el mínimo técnico por debajo del cual no es estable.

Un caudal y una altura de salto definen un punto en el plano que reúne las envolventes operacionales de cada tipo de turbina. Cualquier turbina dentro de cuya envolvente caiga dicho punto, podrá ser utilizada en el aprovechamiento en cuestión. La elección final será el resultado de un proceso iterativo, que balancee la producción anual de energía, el costo de adquisición y mantenimiento, y su fiabilidad.

Los datos de varios fabricantes europeos, y muestra las envolventes operacionales de los tipos de turbina más utilizados. Los límites no son precisos, varían de fabricante a fabricante, en función de la tecnología utilizada y tienen por ello un carácter exclusivamente orientativo.

Velocidad específica: La velocidad específica constituye un excelente criterio de selección, más preciso sin duda que el más convencional y conocido de las envolventes operacionales que acabamos de mencionar.

En los grandes aprovechamientos el sistema de control de caudal tiene dos funciones principales: 1) Reducir la potencia de la turbina y así controlar la velocidad y 2) Conservar los recursos de agua donde estén disponibles.

En un micro aprovechamiento, la función de control de caudal debe ser simple, tal que la turbina pueda aún girar eficientemente a reducidos caudales. Nótese también que el nomograma permite seleccionar la velocidad de rotación producida por la turbina, y calcular cuando una relación de transmisión es necesaria.

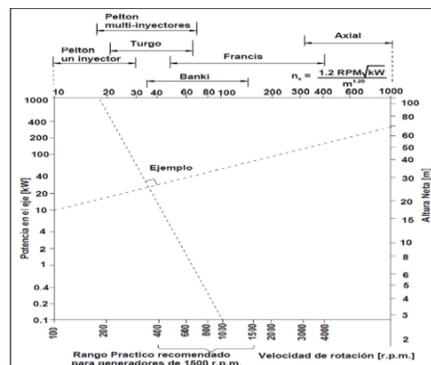


Fig. Anexo A.12 Selección de la Turbina de acuerdo a la velocidad específica.

Velocidad de rotación: La velocidad de rotación de una turbina es función de su velocidad específica, de su potencia y de la altura del aprovechamiento. En los pequeños aprovechamientos suelen emplearse generadores estándar, por lo que hay que seleccionar la turbina de forma que, bien sea acoplada directamente o a través de un multiplicador, se alcance una velocidad de sincronismo. La tabla 3.2 muestra las velocidades de sincronismo, para generadores multi-polos con frecuencias de 50 y 60 Hz.

Tabla 1.2 Velocidades de rotación en rpm según la frecuencia utilizada.

Número de polos	Frecuencia		Número de polos	Frecuencia	
	50 Hz	60 Hz		50 Hz	60 Hz
2	3000	3600	16	375	450
4	1500	1800	18	333	400
6	1000	1200	20	300	360
8	750	900	22	272	327
10	600	720	24	250	300
12	500	600	26	231	277
14	428	540	28	214	257

Velocidad de embalamiento: Cuando, trabajando a plena potencia hidráulica, desaparece súbitamente la carga exterior, bien sea por corte del interruptor o por fallo en la excitación del alternador, la turbina aumenta su velocidad hasta alcanzar lo que se conoce como velocidad de embalamiento. Esa velocidad varía con el tipo de turbina, el ángulo de apertura del distribuidor y la altura de salto.

En las turbinas Kaplan la velocidad de embalsamiento puede llegar a ser 3.2 veces superior a la nominal. En las Francis, Pelton, Banki y Turgo, esa relación varía entre 1.8 y 2. Hay que tener en cuenta que al aumentar la velocidad de embalamiento, se encarecen el multiplicador y el generador, que habrán diseñarse para poder resistir las fuerzas de aceleración centrífuga correspondientes.

Anexo A.3 Turbina Michell Banki: La turbina se desarrolló en forma paralela por el húngaro Donat Banki, por el alemán Fritz Ossberger y el australiano Anthony George Michell Maldon. La turbina fue basada en la teoría de Poncelet, ingeniero francés (1788-1867) quien desarrolló la clásica rueda hidráulica de eje horizontal.

La turbina hidráulica Michell Banki turbina de flujo transversal o turbina de Ossberger, fue patentada por el ingeniero australiano A. George Michell en 1903 y posteriormente el profesor Donat Banki de la Universidad Técnica de Budapest la desarrolló y difundió entre 1917 y 1919. La turbina fue perfeccionada posteriormente tanto hidráulica como mecánicamente por la casa Ossberger de

Baviera (Alemania Occidental), quienes desarrollaron el modelo Michell-Ossberger de la turbina.

Son turbinas de eje horizontal con un rodete ancho en forma de cilindro provisto de álabes en el que el flujo actúa en dos etapas, en la primera el agua penetra por la periferia hacia el interior actuando sobre los álabes y en una segunda etapa después de cruzar el eje, sale al exterior atravesando de nuevo el espacio entre los álabes lo que provoca un cambio de dirección del flujo.

Este cambio de dirección no resulta fácil y da lugar a una serie de choques que son la causa de su bajo rendimiento nominal. El rotor gira en el interior de una carcasa de acero, la cual se prolonga con un tubo convergente que actúa de tubo de aspiración.

Una característica atractiva de estas máquinas es la forma aplanada de su curva de rendimientos. Esto se logra con un diseño de la turbina con admisión parcial. Se divide el rotor en 3 partes iguales y la admisión del agua se puede realizar por 1/3, 2/3, o la totalidad del rotor. Este tipo de diseños es el desarrollado por la firma de Ossberger.

En esta clase de admisión permite obtener una curva de rendimiento como la de la figura 3.22 en la cual se observa la comparación con la curva de rendimiento de una turbina tipo Francis. Su rendimiento máximo es inferior al 87% pero se mantiene entre límites aceptables para caudales entre el 16% y el 100% del caudal máximo de diseño.

Las turbinas Michell Banki son máquinas muy robustas, pueden operar con una amplia gama de caudales, por lo que resultan adecuadas para las centrales no conectadas a la red general que sirven a comunidades aisladas. La utilización de estas turbinas conectadas a la red general es poco frecuente, para saltos mayores a 100 m, a causa de su inferior rendimiento frente a las turbinas Pelton.

La turbina pelton que sería su posible alternativa en este rango de saltos; la utilización con saltos menores que 100 m es más frecuente, especialmente en los casos en los que es ventajosa su capacidad de operar con caudales muy inferiores al nominal.

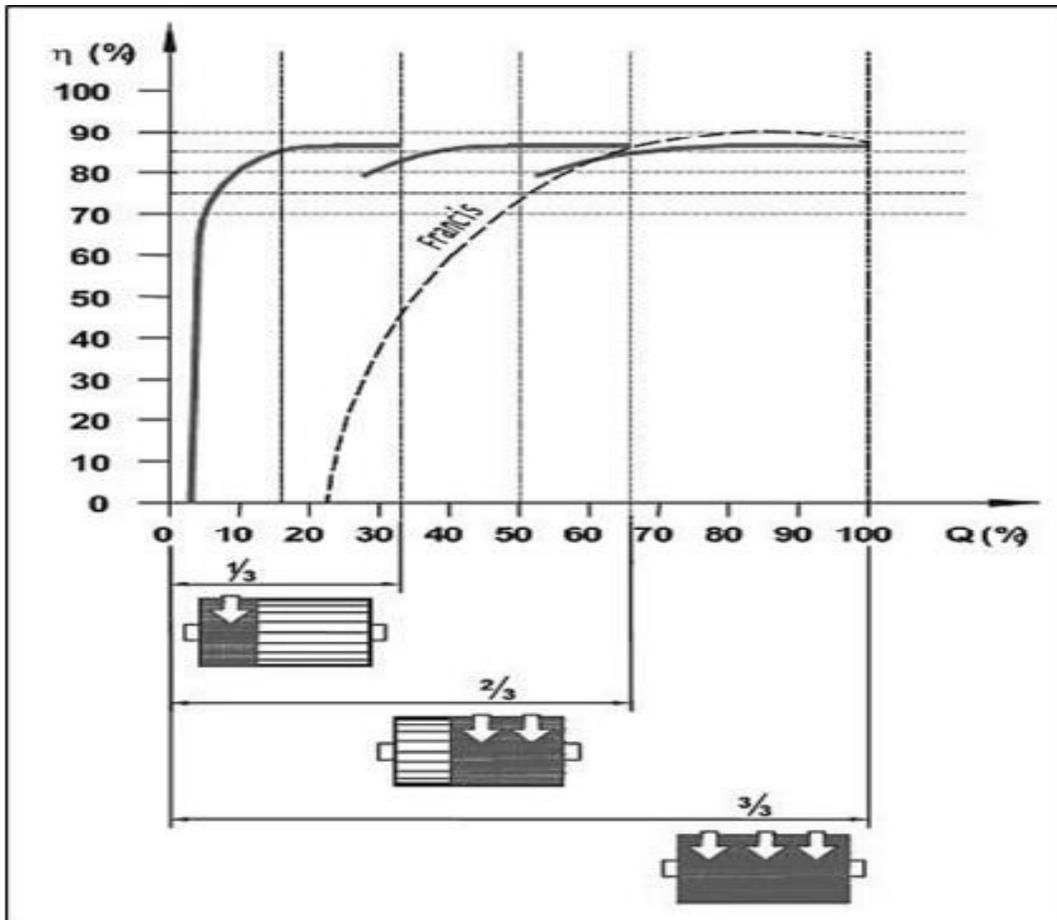


Fig. Anexo A.13 Curva de rendimiento de una turbina Michell Banki con admisión parcial.

Carcasa: La carcasa de la turbinas Michell Banki es totalmente construida en acero extremadamente robusto y resistente a los impactos, para evitar posibles deformaciones en todo el conjunto. Para obtener una estructura rígida las chapas son ajustadas y abulonadas antes de la soldadura.

Inyector: El inyector posee una sección transversal rectangular que va unida a la tubería por una transición rectangular-circular. El inyector es el que dirige el agua hacia el rotor a través de una sección que toma a una determinada cantidad de álabes del mismo, y que guía el agua para que entre al rotor con un ángulo determinado obteniendo el mayor aprovechamiento de la energía.

Esta conducción deberá poseer una buena aceleración y una distribución de velocidades uniforme en la sección de salida, así como un bajo nivel de pérdidas de carga, para lograr la mayor transformación posible de energía potencial en energía cinética.

El inyector puede tener distintas geometrías diferenciadas fundamentalmente por el ángulo de admisión y el órgano de regulación que posea, si es que éste existe.

Rotor: Se trata de la pieza más significativa de esta turbina. Está equipada con una serie de álabes de acero lijado y perfectamente pulido. Los álabes están soldados a unos discos laterales mediante un proceso que precisa un especial cuidado. Existen estudios realizados que presentan un número óptimo de álabes que están en función del diámetro del rotor, éstos varían entre 22-28.

El perfil curvado de estos álabes, hace que se produzca una fuerza axial limitada, de forma que se puede prescindir de un eje axial reforzado, que podría acarrear una complicada fijación. En rotores anchos los álabes son reforzados con varios discos. Antes del montaje final se equilibran los rodets cuidadosamente y se realiza un control defectos minuciosos.

Eje: Las turbinas Michell Banki están equipadas con un eje horizontal pasante, anclado bilateralmente a dos cojinetes de empuje. Es decir que el flujo pasa a través de la parte interna del rotor. Esta construcción, por más que se tome cuidados, no elimina la interferencia que causa el eje al flujo del agua, lo que disminuye el rendimiento.

Los cojinetes absorben todos los esfuerzos axiales derivados de la turbina, para posteriormente transmitirlos a la cimentación. Al mismo tiempo el rodete está centrado en el eje, y por tanto, entre ambos cojinetes.

Otro tipo de eje es el que se llama, eje bridado, que exige un cuidado mayor durante la fabricación, tanto en el posicionamiento y como en la fijación de las bridas a los discos laterales del rotor. Estas deben estar alineadas para el montaje de los rodamientos, con el objeto de evitar posibles vibraciones indeseables para la estabilidad del conjunto. En este tipo de eje es importante hacer una comprobación de la rigidez de la pieza, ya que ésta se ve perjudicada por la falta del eje pasante.

Principio de Funcionamiento de la Turbina Michell Banki: La turbina consta de dos elementos principales: un inyector y un rotor. El rotor está compuesto por dos

discos paralelos a los cuales van unidos los álabes curvados en forma de arco circular.

El inyector posee una sección transversal rectangular que va unida a la tubería de aducción por una transición rectangular-circular. Este inyector es el que dirige el agua hacia el rotor a través de una sección que abarca una determinada cantidad de álabes del mismo y que guía el agua para que entre al rotor con un ángulo determinado, obteniendo el mayor aprovechamiento de la energía.

La energía del agua es transferida al rotor en dos etapas, lo que también da a esta máquina el nombre de turbina de doble efecto, y de las cuales la primera entrega un promedio del 70% de la energía total transferida y la segunda alrededor del 30% restante. Finalmente, el agua es restituida mediante una descarga a presión atmosférica.

La turbina Michell Banki permite aprovechar económicamente saltos de baja potencia siendo por esto recomendable para su uso en pequeñas centrales, además de poseer buena eficiencia a cargas parciales como se muestra en la figura 3.22. Fundamentalmente su aplicación se destina a la producción de energía eléctrica en pequeña escala, o en otros casos, su eje se acopla por correa a otros dispositivos mecánicos, y la energía mecánica obtenida se utiliza directamente en trabajos de taller.

El campo de aplicación cubre un sector de la demanda que dejan libres otros tipos de máquinas, como se aprecia en los gráficos proporcionados por los fabricantes.

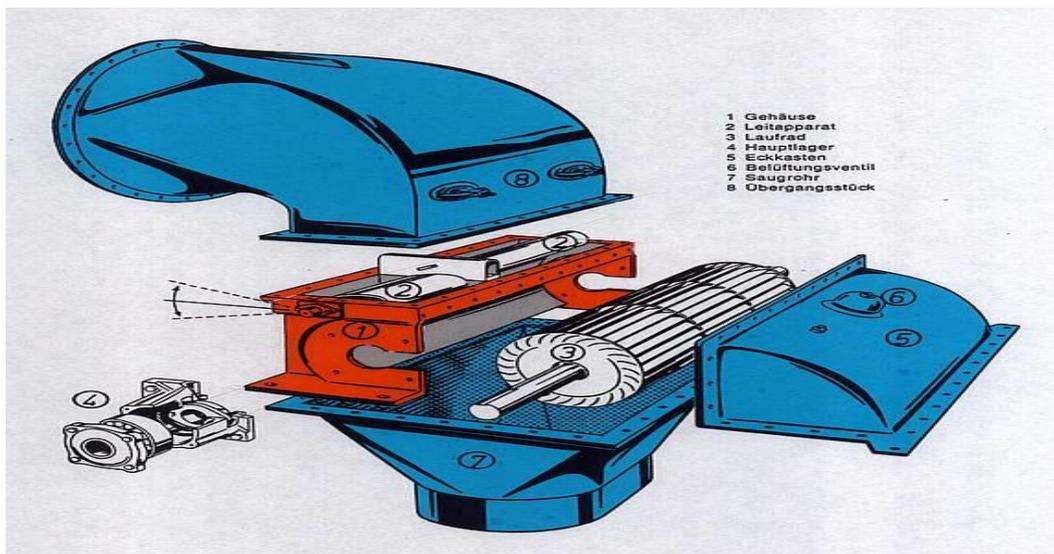


Fig. Anexo A.13 Partes de la turbina Michell-Banki.

Anexo A.14 Alternador: En esencia, el rotor de un generador sincrónico es un electroimán. Los polos magnéticos del rotor pueden ser construidos salientes o no salientes. El término saliente significa “proyectado hacia afuera” o “prominente”; un polo saliente es un polo magnético que se proyecta hacia fuera de la superficie del rotor. Por otro lado, un polo no saliente es un polo magnético construido al mismo nivel de la superficie del rotor.

La figura 3.23 muestra un rotor de polos no salientes y un rotor de polos salientes respectivamente. Los rotores de polos no salientes se utilizan en rotores de dos y cuatro polos, mientras que los rotores de polos salientes se utilizan en rotores de cuatro o más polos. Puesto que el rotor está sujeto a campos magnéticos variables, se construye con láminas delgadas agrupadas para reducir las pérdidas por corrientes parásitas.

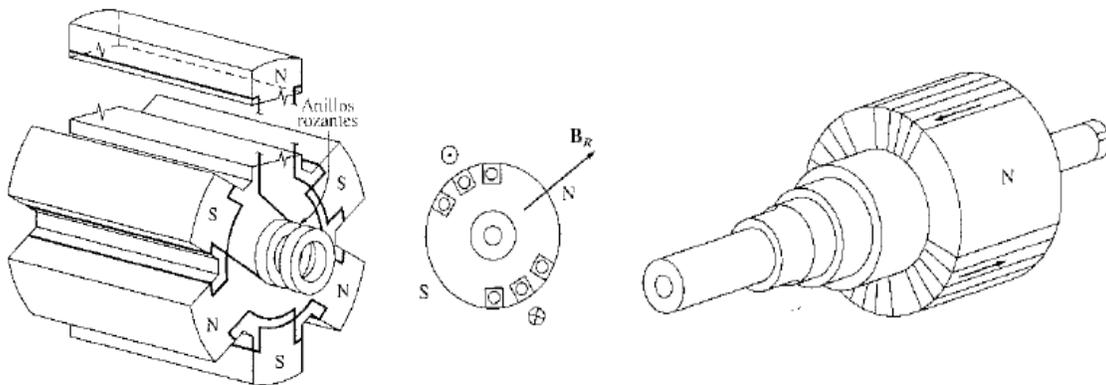


Fig. Anexo A.15 Rotor de una máquina sincrónica de polos salientes y de polos no salientes, respectivamente.

Se debe suministrar una corriente dc al circuito de campo del rotor. Puesto que el rotor está girando, se requiere un arreglo especial para entregar potencia dc a sus devanados de campo. Existen dos formas comunes de suministrar esta potencia dc:

Suministrar la potencia dc desde una fuente externa al rotor por medio de anillos rozantes y escobillas y suministrar la potencia dc desde una fuente especial montada directamente en el eje del generador sincrónico.

Los anillos rozantes son anillos metálicos que circundan el eje de la máquina pero se encuentran aislados de él. Un extremo del devanado del rotor dc está unido a cada uno de los dos anillos rozantes colocados sobre el eje de la máquina sincrónica, y una escobilla estacionaria se desliza sobre cada anillo rozante. Una

escobilla es un bloque de un compuesto de carbón grafitado que conduce la electricidad libremente y tiene muy baja fricción para no desgastarse con el anillo rozante.

Si se conecta el extremo positivo de una fuente de voltaje dc a una escobilla y el extremo negativo a la otra, se aplicará igual voltaje dc al devanado de campo en todo momento, sin tener en cuenta la posición angular o la velocidad del rotor.

En generadores y motores grandes, se utilizan excitadores sin escobillas para suministrar la corriente de campo dc a la máquina. Un excitador sin escobillas es un generador ac pequeño cuyo circuito de campo está montado en el estator y su circuito de armadura está montado sobre el eje del rotor. La salida trifásica del generador excitador es rectificadora a corriente directa por un circuito rectificador trifásico montado también en el eje del generador y se incluye en el circuito principal de campo dc.

Para que la excitación de un generador sea completamente independiente de cualquier fuente de potencia externa, se incluye con frecuencia un pequeño excitador piloto en el sistema. Un excitador piloto es un pequeño generador ac de imanes permanentes montados en el eje del rotor y un devanado trifásico, montado sobre el estator. Este generador produce la potencia para el circuito de campo del excitador que, a su vez, controla el circuito de campo de la máquina principal.

Número de polos: El número de polos en un generador síncrono depende de la velocidad de rotación y de la frecuencia que deseamos producir. Considere, por ejemplo, el conductor de un estator que es barrido sucesivamente por los polos N y S del rotor. Si se induce un voltaje positivo cuando un polo N pasa frente al conductor, se induce un voltaje negativo similar cuando el polo S hace lo mismo. Por lo tanto, cada vez que un par completo de polos cruza el conductor, el voltaje inducido realiza un ciclo completo. Esto es cierto para cada dos conductores del estator; por consiguiente, podemos deducir que la frecuencia del alternador es:

$$f = \frac{p * n}{120}$$

Donde

f = Frecuencia del voltaje inducido (Hz)

p = Número de polos en el rotor

n = Velocidad del rotor (r/min)

Características principales del estator: desde un punto de vista eléctrico, el estator de un generador síncrono es idéntico al de un motor de inducción trifásico. Se compone de un núcleo cilíndrico laminado que contiene un conjunto de ranuras que portan un devanado trifásico imbricado. El devanado siempre está conectado en Y el neutro está conectado a tierra. Se prefiere una conexión en Y a una delta porque:

El voltaje por fase es de sólo $1/\sqrt{3}$ o 58% del voltaje entre líneas. Esto significa que el voltaje más alto entre un conductor del estator y el núcleo de éste conectado a tierra es de sólo el 58% del voltaje de línea. Por consiguiente, podemos reducir la cantidad de aislante en las ranuras, lo que, a su vez nos permite incrementar el diámetro de los conductores. Un conductor más grande nos permite incrementar la corriente y por ende, la salida de potencia de la máquina.

Cuando un generador síncrono está sometido a carga, el voltaje inducido en cada fase se distorsiona y la forma de onda deja de ser sinusoidal. La distorsión se debe principalmente a un indeseado voltaje de tercer armónico cuya frecuencia es tres veces la frecuencia fundamental. Con una conexión en Y, los armónicos de línea a neutro distorsionantes no aparecen entre las líneas porque se cancelan entre sí. Por consiguiente, los voltajes de línea permanecen sinusoidales en todas las condiciones de carga.

El voltaje de línea nominal de un generador síncrono depende de su capacidad de kVA. En general, mientras más grande es la capacidad de potencia, más alto es el voltaje. Sin embargo, el voltaje nominal entre líneas rara vez excede los 25 kV porque el aislamiento incrementado en las ranuras ocupa un valioso espacio a expensas de los conductores de cobre.

3.4 Dinamo: El generador de corriente continua, también llamado dinamo, es una máquina eléctrica rotativa a la cual le suministramos energía mecánica y la transforma en energía eléctrica en corriente continua. se utilizan muy poco, ya que la producción y transporte de energía eléctrica es en forma de corriente alterna.

Las principales partes de esta máquina son: El estator es la parte fija exterior de la dinamo. El estator contiene el sistema inductor destinado a producir el campo magnético. Está formado por Polos inductores: Diseñados para repartir uniformemente el campo magnético. Distinguimos en ellos el núcleo y la expansión polar. El número de polos ha de ser par, en caso de máquinas grandes se han de utilizar polos auxiliares.

Devanado inductor: Son las bobinas de excitación de los polos principales, colocadas alrededor del núcleo. Están hechos con conductores de cobre o de aluminio recubiertos por un barniz aislante. **Culata:** La culata sirve para cerrar el circuito magnético y sujetar los polos. Está construida con material ferromagnético.

Rotor: El rotor es la Parte móvil que gira dentro del estator. El rotor al estar sometido a variación de flujo crea la fuerza electromotriz inducida, por lo tanto contiene el sistema inducido. Está formado por: Núcleo del inducido. Devanado inducido. Colector. Escobillas. Cojinetes. Los cuales forman la parte móvil de la dinamo.

Núcleo del inducido: Cilindro construido para reducir las pérdidas magnéticas. Dispone de ranuras longitudinales donde se colocan las espiras del enrollamiento del inducido. **Devanado inducido:** Formado por espiras que se distribuyen uniformemente por las ranuras del núcleo. Se conecta al circuito exterior de la máquina por medio del colector y las escobillas.

Colector: Cilindro solidario al eje de la máquina formado por segmentos de cobre o láminas aisladas eléctricamente entre ellas. En cada lámina se conecta una bobina. Es el encargado de realizar la conversión de corriente alterna a corriente continua. **Escobillas:** Son piezas de carbón-grafito o metálicas, que están en contacto con el colector. Hacen la conmutación de la corriente inducida y la transportan en forma de corriente continua hacia el exterior. **Cojinetes:** Sirven de soporte y permiten el giro del eje de la máquina.

El entrehierro es el espacio de aire comprendido entre el rotor y el estator. Suele ser normalmente de entre 1 y 3 milímetros. El entrehierro es imprescindible para evitar rozamientos entre la parte fija y la parte móvil. Ya que si no existiera caería en rozaduras entre el rotor y el estator ocasionando calentamientos en la máquina y como consecuencia de ello la deformación del el rotor y el estator.

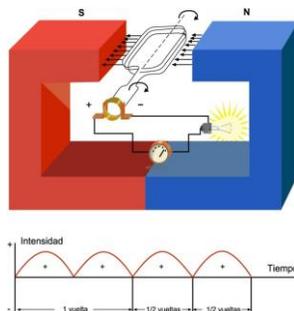


Fig. Anexo A.16 Dinamo.

La conmutación es la operación de transformación de una señal alterna a una señal continua y también se conoce como rectificación de señal. Las dinamos hacen esta conmutación porque tienen que suministrar corriente continua. Esta conmutación en las dinamos se realiza a través del colector de delgas. Los anillos del colector están cortados debido a que por fuera de la espira la corriente siempre tiene que ir en el mismo sentido.

A la hora de realizar esta conmutación existen diferentes problemas. Cuando el generador funciona con una carga conectada en sus bornes, nos encontramos con una caída de tensión interna y una reacción en el inducido. El inducido creará un flujo magnético que se opone al generado por el imán. A este efecto se le da el nombre de fuerza contra electromotriz, que desplazará el plano neutro.

Para solucionar este problema se pueden realizar diversas mejoras como: Desplazamiento de las escobillas: Este método cambia las escobillas a su nueva posición corrigiendo el desvío del plano, el problema es que el motor puede trabajar desde el 0% de su carga total al 100%, por lo que el plano puede cambiar.

Polos de conmutación o auxiliares: la función de estos polos auxiliares es la de compensar el flujo producido por las bobinas inducidas y compensarlo. Es una solución muy útil y económica. Bobinas de compensación: Cuando los generadores son de gran potencia, los polos de conmutación no son suficientes, en este caso usamos bobinas de compensación.

A.4 Generador de imanes permanentes: es un generador síncrono en el que se ha sustituido el bobinado de excitación, normalmente en el rotor, por un sistema formado por imanes permanentes que suministran un campo de excitación constante. Dista mucho de ser como un generador síncrono normal. En un generador usual, se controla la tensión mediante la excitación. En un PMG la excitación es constante por lo que al cargar el generador cae la tensión sin opción de regulación.

Se usa en aquellos casos en los que no importa que la tensión caiga, en cierto grado o siempre que se aplique electrónica a la salida del generador. La electrónica puede convertir un rango de tensiones variable en tensión continua de valor constante. Estos generadores son utilizados por los parques eólicos y las micro hidroeléctricas por su bajo mantenimiento.

La principal ventaja es su simplicidad. La fabricación y montaje del rotor es más barata si se usan imanes. No necesitan mantenimiento ya que no llevan escobillas. Además la consistencia mecánica de un PMG es muy superior, aparte de no necesitar sistemas para su excitación. Al eliminar la excitación se puede llegar a ahorrar un 20% de energía simplemente por usar imanes. Al ser una

fuerza de energía independiente del generador, puede servir para suministrar energía a sistemas auxiliares del generador principal.

Los imanes utilizados por son de última generación para asegurar su óptimo funcionamiento. Los imanes usuales, cuando se abre el circuito magnético que los rodea pierden su imantación, mientras estos se mantienen, por lo que se puede separar el rotor del estator sin miedo a perder propiedades magnéticas. Los imanes utilizados, dependiendo del tipo, son capaces de trabajar hasta 140°C, siendo los imanes de 80°C los habituales.

Se utilizan imanes de Neodimio Cobalto ya que son los que mejores propiedades tienen. Para el caso de los generadores eólicos, los imanes pueden ser un problema ya que generan un par reluctante que impide arrancar al generador a bajas velocidades de viento. Se calcula los generadores para eliminar casi completamente este efecto.

A.5 Inversor.- Los convertidores de corriente directa a corriente alterna son utilizados como drivers de motores y como fuentes de corriente alterna ininterrumpida y tienen como objetivo producir una señal de corriente alterna sinusoidal, cuya magnitud y frecuencia puedan ser controladas. Existen diversos tipos de convertidores inversores de los cuales el convertidor de una sola pieza y el convertidor en puente de media y onda completa.

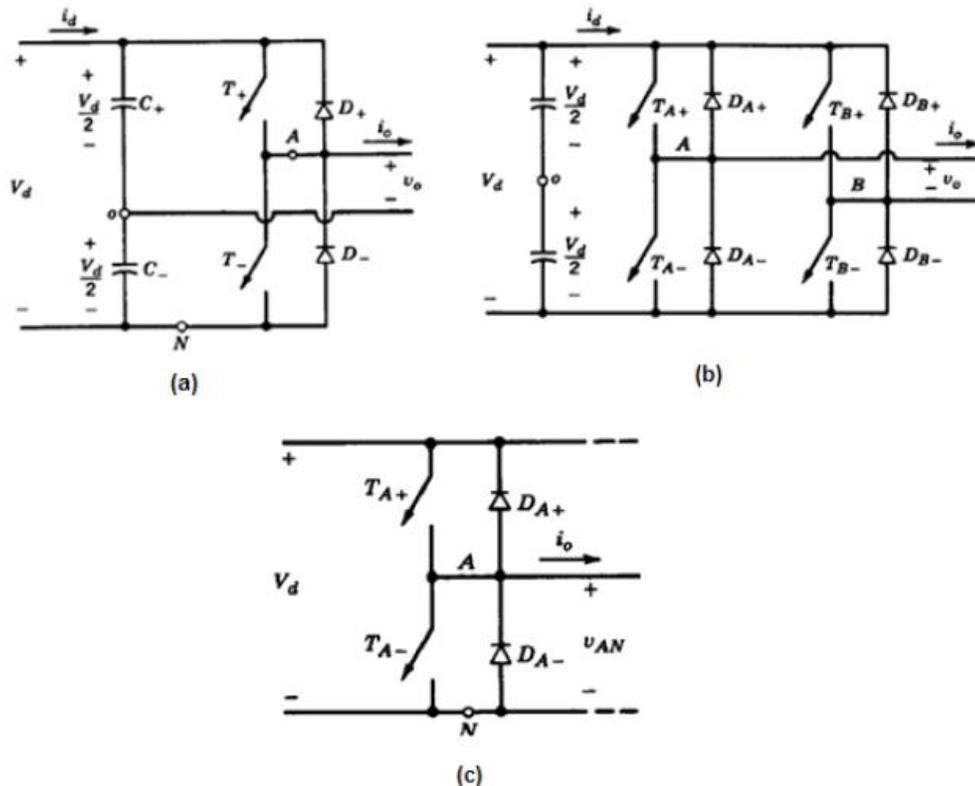


Fig. Anexo A.17 Inversores básicos.

Un inversor simple consta de un oscilador que controla a un transistor, el cual se utiliza para interrumpir la corriente entrante y generar una onda rectangular. Esta onda rectangular alimenta a un transformador que suaviza su forma, haciéndola parecer un poco más una onda senoidal y produciendo el voltaje de salida necesario.

La forma de onda de salida del voltaje de un inversor ideal debería ser sinusoidal. Una buena técnica para lograr esto es utilizar la técnica de PWM logrando que la componente principal senoidal sea mucho más grande que las armónicas superiores. Los inversores más modernos han comenzado a utilizar formas más avanzadas de transistores o dispositivos similares, como los tiristores, los triac o los IGBT.

Los inversores más eficientes utilizan varios artificios electrónicos para tratar de llegar a una onda que simule razonablemente a una onda senoidal en la entrada del transformador, en vez de depender de éste para suavizar la onda. Se pueden clasificar en general en dos tipos: inversores monofásicos e inversores trifásicos. Se pueden utilizar condensadores e inductores para suavizar el flujo de corriente desde y hacia el transformador.

El inversor fotovoltaico es el equipo electrónico que permite suministrar la potencia generada a la red comercial. Su función principal es convertir la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna, con unas características establecidas por la red: 220V de valor eficaz de tensión y una frecuencia de 60 Hz.

Control principal. Incluye todos los elementos de control general, los sistemas de generación de onda basados en sistemas de modulación de anchura de pulsos PWM y parte del sistema de protecciones.

Etapas de potencia. Esta etapa puede ser única o modular en función de la potencia deseada. Se opta por la tecnología en baja frecuencia ya que ofrece buenos resultados con una alta fiabilidad y bajo coste. Además, debe incorporar un filtro de salida LC, para filtrar la onda y evitar el rizado en la tensión procedente de los módulos.

Control de red. Es la interfaz entre la red y el control principal. Proporciona el correcto funcionamiento del sistema al sincronizar la forma de onda generada a la de la red eléctrica, ajustando tensión, fase, sincronismo

Seguidor del punto de máxima potencia MPPT. Es uno de los factores más importantes en un inversor. Su función es acoplar la entrada del inversor a los

valores de potencia variables que produce el generador, obteniendo en todo momento la mayor cantidad de energía disponible, la máxima potencia.

Protecciones. De manera general, los inversores deben estar protegidos ante tensión de red fuera de márgenes, frecuencia de red fuera de márgenes, temperatura de trabajo elevada, tensión baja del generador, intensidad del generador fotovoltaico insuficiente, fallo de la red eléctrica y transformador de aislamiento, además de las protecciones pertinentes contra daños a personas y compatibilidad electromagnética.

Monitorización de datos. Los inversores dispondrán de microprocesadores que les facilite una gran cantidad de datos tanto de los parámetros habituales tensión, corriente, frecuencia, como de parámetros externos radiación, temperatura ambiente, e internos P.E. temperaturas de trabajo.

A.5 Marcas de inversores.- El análisis llevado a cabo en este proyecto se centrará en el estudio de inversores que ofrezcan una potencia de salida igual o superior a 100 kW. Se tomarán como referencia 13 fabricantes internacionales con posiciones líderes en el mercado, y se compararán un total de 86 modelos diferentes.

DELTA ELECTRONICS.- Delta Group, gracias a los avances tecnológicos, ha aumentado considerablemente la eficacia de sus productos de suministro de energía y ha lanzado productos con características de ahorro de energía tales como balastos electrónicos, accionamiento de motor de CA, inversores de energía renovable y componentes de pilas combustibles. La eficacia del 97,5% en los inversores fotovoltaicos de Delta es la más alta que se ha conseguido en su clase.

GAMESA ENERTÓN.- Está consolidado como uno de los principales suministradores españoles de energías renovables. En las instalaciones de Coslada, se fabrican inversores fotovoltaicos de hasta 500 kW, así como soluciones para huecos de tensión en Parques Eólicos, un avance tecnológico pionero en el mercado. Con su modelos Inversor central: 100kW/ 500 kW.

GREENPOWER.- GPtech es una empresa andaluza de base tecnológica, pionera en España por su oferta de servicios I+D+i en los sectores de las energías renovables, la eficiencia y el ahorro energéticos. Modelos analizados power pv 100, power pv 500, power pv 500 ct, power pv 500 modular, power pv 630 modular.

INGETEAM.- Ingeteam es una empresa líder especializada en ingeniería eléctrica y en el desarrollo de equipos eléctricos, motores, generadores y convertidores de frecuencia. Aplica sus productos principalmente en cuatro sectores: energía, industria, naval y tracción ferroviaria, buscando optimizar el consumo, así como maximizar la eficiencia en la generación de energía.

JEMA.- Hoy en día su actividad se centra en el desarrollo de convertidores de alto rendimiento diseñados para plantas de energía eólica, fotovoltaica, hidrógeno, etc., robustos y de manejo sencillo: Inversores Fotovoltaicos serie IF; convertidores para aerogeneradores de Control de Corrientes por Rotor, Redes débiles y Doblemente Alimentado (DFIM); cargador-descargador de baterías contra red; diversos sistemas para la mejora de la eficiencia energética; así como otros desarrollos específicos definidos por el cliente.

KACO.- KACO New Energy [6] está especializada en inversores fotovoltaicos y sistemas de monitoreo, así como en sistemas de suministro de energía para aplicaciones ferroviarias e industriales. Como fabricante líder en este campo, la compañía ha producido más de 3 gigavatios de inversores fotovoltaicos desde 1999. KACO New Energy solo utiliza componentes de alta calidad, que están diseñados para trabajar a altas temperaturas.

POWER ELECTRONICS.- Desde 1986, Power Electronics [7] adquiriendo una experiencia que la sitúa como empresa pionera en el sector. La fabricación de sus equipos se lleva a cabo mediante los mejores desarrollos de electrónica de potencia y ahora se complementan con su división de Renovables donde desarrollan sus Inversores Solares.

Con la importancia que tiene hoy día la eficiencia y el ahorro energético, en Power Electronics siguen creando nuevas gamas de producto en la división de Industria, con equipos especiales diseñados para Media Tensión invirtiendo su esfuerzo en ofrecer todos aquellos productos que optimizarán sus instalaciones fotovoltaicas.

POWER-ONE.- Es una de las pocas empresas que ofrece una gran variedad de productos para el perfeccionamiento de los servicios de conversión de energía. Además, aumentan la disponibilidad de los productos de energía solar y eólica con mejores características y rendimientos, ofrecen una instalación más fácil y el mejor servicio al cliente.

Power One, en sus soluciones de alta eficiencia de energía 'verde', proporciona una amplia gama de beneficios: reducción del consumo de energía, aprovechamiento de la energía mejorada en las aplicaciones de energía alternativa, aumento de la densidad de potencia, mejor rendimiento en ambientes con elevadas temperaturas y reducción del coste de enfriamiento, gracias a sistemas que disipan menos calor.

REFUSOL.- REFUsol GmbH es un fabricante de inversores fotovoltaicos a la vanguardia tecnológica mundial. Con un grado de rendimiento máximo del 98,2 %, los inversores REFUsol están entre los más eficaces e innovadores del mercado. La gama de productos de alta calidad abarca inversores centrales con una gama de potencia de 4 kW a 1,3 MW.

SIEMENS.- Siemens es el proveedor líder en el mundo de productos, servicios y soluciones para la generación, transmisión y distribución de energía, así como para la extracción, transformación y el transporte de petróleo y gas. Sus innovaciones permiten alcanzar una mayor eficiencia en la generación y transmisión de energía, reduciendo considerablemente las emisiones de dióxido de carbono.

Los inversores solares SINVERT, con el sistema de entrada de alimentación, se adapta perfectamente a los sistemas fotovoltaicos de tamaño mediano y a las plantas de energía solar a partir de 10 KVA a MVA. Modelos analizados: Sinvert: 350 M/420 M, 700 MS/ 850 MS/ 1000MS/ 1300 MS/ 1400MS/ 1700 MS, 500 M TL 100 MS TL/ 1500 MS TL /2000 MS TL

SMA.- SMA desarrolla y fabrica inversores solares muy eficientes para: instalaciones de cualquier tamaño, cualquier clase de potencia y todas las especificaciones de red en cualquier parte del mundo, independientemente del tipo de módulo solar que se utilice. SMA es el proveedor de este segmento que tiene el mayor volumen de ventas a nivel mundial.

SPUTNIK-SOLARMAX.- Bajo la marca SolarMax, Sputnik Engineering desarrolla, produce y distribuye, desde hace 20 años, inversores solares y ofrece soluciones para la supervisión de instalaciones. Se caracterizan por la calidad suiza: máxima eficiencia, seguridad en el funcionamiento y larga vida útil.

SUNGROW.- Entre sus principales productos están el inversor y convertidor para sistemas fotovoltaicos, y un convertidor UPS para grandes sistemas eólicos, además de ofrecer servicios de consultoría de proyectos, diseño de sistemas, soporte técnico y otros servicios para el proceso del proyecto.

Debido al aumento de las plantas de energía fotovoltaica, la capacidad de energía conectada a red crece al mismo ritmo. Sungrow tiene más de 10 años de experiencia en investigación, desarrollo, producción y venta de energía fotovoltaica conectada a red, lo que ha puesto en marcha una serie de inversores hechos para plantas de energía fotovoltaica de mediano y gran tamaño, tales como 100 kW, 250 kW, 500 kW y 1 MW.

Anexo A.6 Protecciones

Fusibles o cortacircuitos.- en el arranque. Su nombre proviene de que han de ir acompañados de otros elementos de protección, como son generalmente los relés térmicos. Cada cartucho fusible tiene en realidad unas curvas de fusión, que pueden diferir algo de las definiciones anteriores, dadas por los fabricantes. En la figura Anexo 3., vemos algunos tipos de cartuchos fusibles, así como unas curvas de fusión orientativas, de los tres tipos existentes.

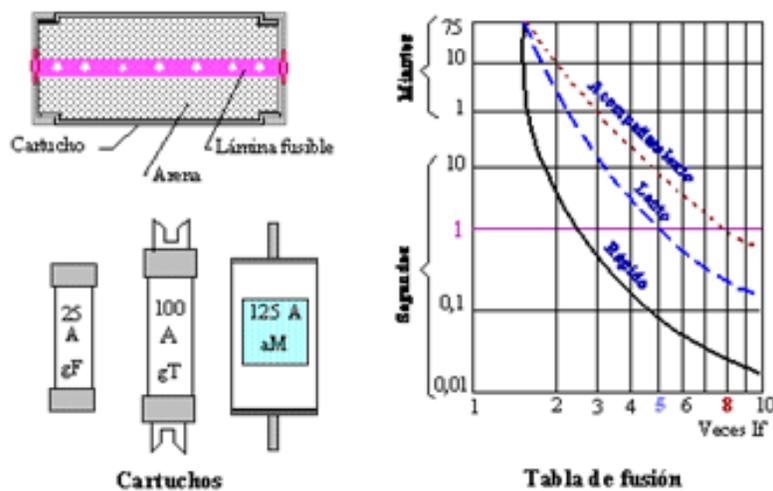


Fig. Anexo A.18 Tipos de cartuchos y curvas orientativas de fusión.

Los **fusibles lentos gT** son los menos utilizados, empleándose para la protección de redes aéreas de distribución generalmente, debido a los cortocircuitos momentáneos que los árboles o el viento pueden hacer entre los conductores. Estos son los fusibles que están a lados de los aparta rayos en las líneas de 13 200 voltios. Estos fusibles llevan un protección contra daños al fusible llamado porta cartucho.

Los **fusibles rápidos gF** se emplean para la protección de redes de distribución con cables aislados y para los circuitos de alumbrado generalmente. Estos protecciones son las utilizadas en las casas porque el margen en desconectar el circuito es de milisegundos logrando poner a salvo a los quipos conectadas a la línea. Los fusibles de acompañamiento aM, como ya hemos dicho, son un tipo especial de cortacircuitos, diseñado para la protección de motores eléctricos.

Los cartuchos fusibles de los tipos **gF** y **gT** bien elegidos, en cuanto a intensidad de fusión, se emplean también como **protección contra sobrecargas**, principalmente en instalaciones de alumbrado y de distribución, pero nunca debe de emplearse el tipo **aM**, ya que éstos, como ya se dijo, están diseñados especialmente para la protección contra cortocircuitos de los motores eléctricos.

Interruptores automáticos, magnetotérmicos.- Estos dispositivos, conocidos abreviadamente por PIA (Pequeño Interruptor Automático), se emplean para la protección de los circuitos eléctricos, contra cortocircuitos y sobrecargas, en sustitución de los fusibles, ya que tienen la ventaja de que no hay que reponerlos; cuando desconectan debido a una sobrecarga o un cortocircuito, se rearman de nuevo y siguen funcionando. Según el número de polos, se clasifican éstos en: unipolares, bipolares, tripolares y tetra polares. Estos últimos se utilizan para redes trifásicas con neutro.

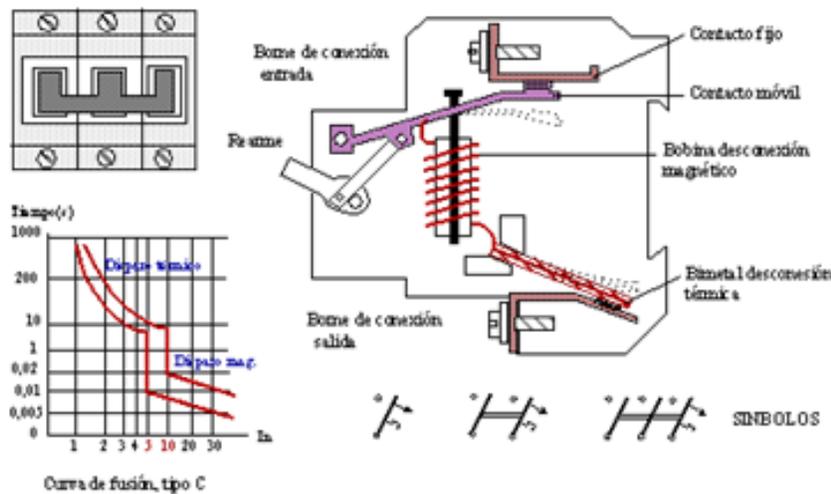


Fig. Anexo A.19 Interruptor termo magnético

Estos aparatos constan de un disparador o desconectado magnético, formado por una bobina, que actúa sobre un contacto móvil, cuando la intensidad que la atraviesa su valor nominal (I_n). Éste es el elemento que protege la instalación contra cortocircuitos, por ser muy rápido su funcionamiento, y cada vez que desconecta por este motivo debe de rearmarse (cerrar de nuevo el contacto superior), bien sea manual o eléctricamente.

También poseen un desconectador térmico, formado por una lámina bimetálica, que se dobla al ser calentada por un exceso de intensidad, y aunque más lentamente que el dispositivo anterior, desconecta el contacto inferior del dibujo.

Esta es la protección contra sobrecargas y su velocidad de desconexión es inversamente proporcional a la sobrecarga. Cuando la desconexión es por efecto de una sobrecarga, debe de esperarse a que enfríe la bilamina y cierre su contacto, para que la corriente pase de nuevo a los circuitos protegidos.

Los interruptores automáticos magnetotérmicos, se emplean mucho domésticamente y para instalaciones de Baja Tensión en general y suelen fabricarse para intensidades entre 5 y 125 amperios, de forma modular y calibración fija, sin posibilidad de regulación. Para intensidades mayores, en instalaciones industriales, de hasta 1.000 A o más, suelen estar provistos de una regulación externa, al menos para el elemento magnético, de protección contra cortocircuitos.

Protección contra sobrecargas.- Este tipo de protecciones suele utilizarse en líneas subterráneas como medida de precaución para evitar el paso de intensidades superiores a las nominales, con el consiguiente peligro para el aislamiento, por causas térmicas. Naturalmente este exceso de intensidad es siempre muy inferior a la corriente de cortocircuito, utilizándose para su prevención dispositivos térmicos o magnéticos, similares a los utilizados en las protecciones de motores.

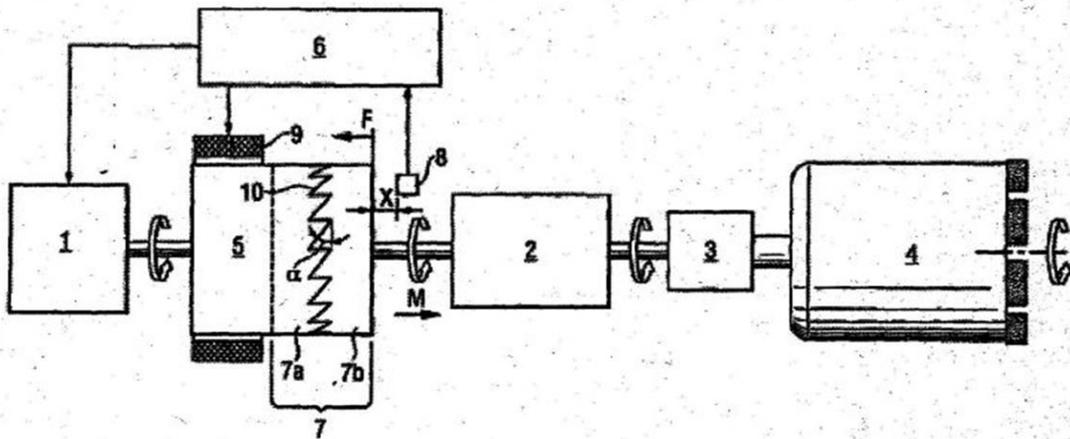


Fig. Anexo A.20 Protección de sobre carga para un motor.

Anexo B

B.1 Estudio Topográfico

Las cascadas Velo de Novia se localizan en el municipio de Socoltenango, a 45 km de Comitán de Domínguez. Se localiza en las coordenadas 16°11'6.30" latitud norte y 92°16'52.98" longitud oeste. Está ubicado dentro de la depresión central del estado de Chiapas, muy cerca de la sierra central.

Cuenta con un terreno de 15 hectáreas a lo largo del río San Vicente, que alimenta al distrito de riego número 059, módulo 3. Este distrito de riego comenzó a funcionar en el año de 1957. La principal forma de cultivo dependiente de este distrito es la caña de azúcar que abastece el ingenio Pujiltilic. Además, el Río San Vicente, forma parte de la región hidrológica administrativa XI (RHA-XI) de la Frontera Sur que comprende el estado de Chiapas, Tabasco y parte de Campeche.

El área delimitada para el proyecto cuenta con 10 hectáreas aproximadamente a lo largo del río San Vicente, el cual tiene un caudal aparente de 5 m³/s, en los meses de estiaje y se incrementa hasta un 60% en los meses de mayo a agosto.



Fig. Anexo B.1 Entrada al centro ecoturístico cascada Velo de Novia, Chifló (Google earth).

Luego de atravesar la entrada principal del centro ecoturístico, se recorre cerca de un kilómetro por un camino hecho de lajas de piedra hasta llegar la ubicación principal donde puede apreciarse un paisaje más natural.

Este punto es el inicio al recorrido a lo largo de río, pasando por el conjunto de 4 cascadas, fuente de su principal belleza. La imagen anexo 2.2 muestra el inicio del camino para el recorrido. Es preciso mencionar que el centro cuenta con unas cabañas para el hospedaje de los visitantes, un centro de atención, tiendas, un restaurante, una cafetería, baños y alumbrado en parte del recorrido. Esto se considera más a detalle al entrar en la etapa de la determinación de la carga del lugar.



Fig. Anexo B.2 Inicio al recorrido del centro ecoturístico. El camino de la izquierda conduce a las cabañas de hospedaje. En el camino de la derecha inicia el recorrido.

Topografía.- El centro ecoturístico “El Chiflón” se encuentra ubicado en el municipio de Socoltenango, apenas separado hacia el este, por el río San Vicente, del municipio de Tzimol. Al norte colinda con Las Rosas, al noroeste con

Venustiano Carranza, al Suroeste por la Concordia, al Sur por Chicomuselo y al Sureste por Frontera Comalapa. Todos estos, municipios pertenecientes al estado de Chiapas. Socoltenango forma parte de la región IV De los Llanos. El municipio de Socoltenango cuenta con un terreno donde predomina la meseta con cañadas. Además, es un valle de laderas tendidas que terminan, hacia el norte, de manera escalonada y ascendente, en montañas o lomeríos (fig. Anexo 2.3). Las alturas comprendidas entre el bajo relieve del valle y la elevación montañosa varían desde los 400 hasta los 1400 m.s.n.m. Como referencia éste municipio se encuentra ubicado entre los paralelos $15^{\circ}54'$ y $16^{\circ}19'$ de latitud norte; los meridianos $92^{\circ}09'$ y $92^{\circ}34'$ de longitud oeste.

La entrada del centro ecoturístico se encuentra ubicado en las coordenadas $16^{\circ}11'06.30''$ de latitud norte y $92^{\circ}16'52.98''$ de longitud oeste y el recorrido es al costado izquierdo del río San Vicente, atravesando por un conjunto de 4 cascadas que forman parte del atractivo turístico del lugar debido a la singular forma de éstas y su color turquesa.

El terreno recorrido para esta investigación, a través del margen del río, se extiende aproximadamente 1.2 kilómetros de longitud y está ubicado entre los puntos 1 y 2 mostrados en la fig. Anexo 2.4. Estos puntos representan la entrada al recorrido del parque y la posición de la última caída de agua, también conocida como “La Corona”. El desnivel creado entre estos mismos puntos, por la abrupta ascensión montañosa, es de aproximadamente 200 metros. La altura promedio del primer punto es de 595 m.s.n.m. y la de “La Corona” es de 804 m.s.n.m.

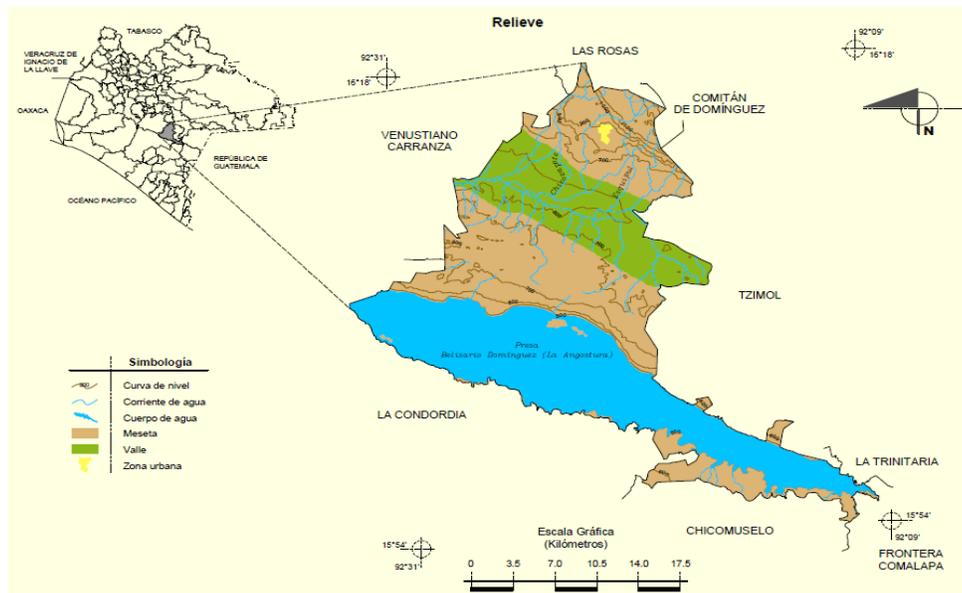


Fig. Anexo B.3 Relieve del municipio de Socoltenango, Chiapas (Marco Geoestadístico, INEGI).

Las mediciones de las alturas se realizaron mediante un altímetro digital que toma el valor de la presión atmosférica y lo convierte a una altura. La exactitud de éste instrumento es de ± 5 metros. Este valor presenta cierta variación debido a las oscilaciones de la temperatura, humedad y presión. Todas estas variables dependientes del clima de la región. Se realizaron algunas mediciones dentro del recorrido para conocer el desnivel que tendrá el volumen de agua y de esta manera saber con precisión la energía que es posible generar.

Las alturas registradas con el altímetro digital son comparadas con las provistas por el satélite y que están al alcance con la aplicación de Google earth.

Ambas alturas se muestran proporcionales y arrojan un desnivel de aproximadamente 200 metros utilizando Google earth y uno de 209 metros utilizando el altímetro. En la fig. Anexo 2.5 se presenta una tabla comparativa del perfil de elevación extraído de Google earth y del perfil realizado con mediciones hechas con el altímetro en algunos puntos del recorrido.

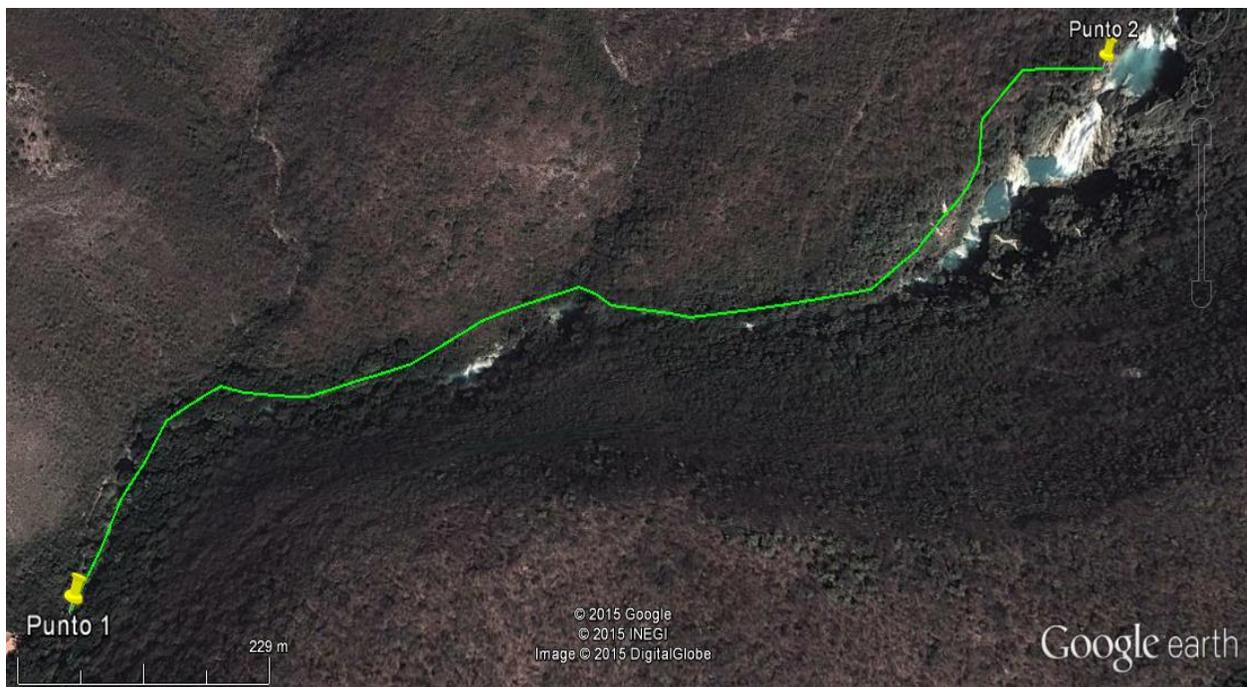


Fig. Anexo B.4 Imagen satelital del recorrido desde el punto más bajo al más alto (Google earth).

Perfil de Elevación

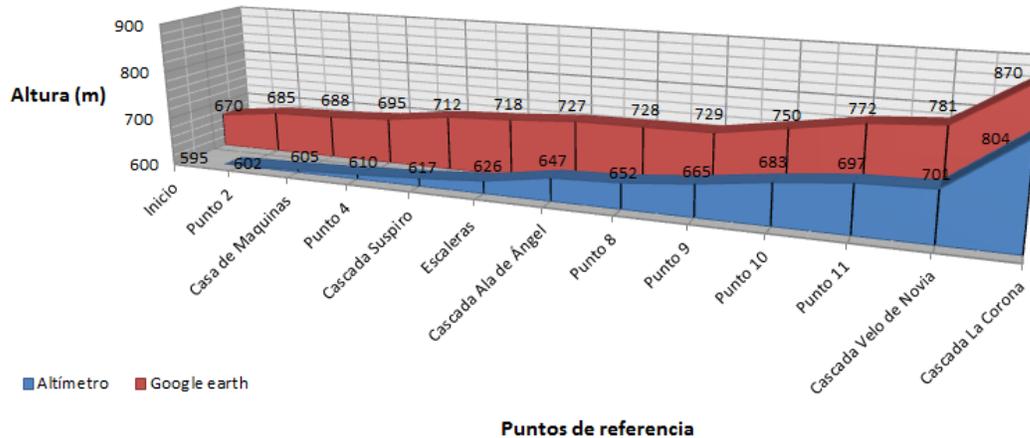


Fig. Anexo B.5 Perfil de elevación realizado con un Altimetro digital y Google earth en diversos puntos.

La diferencia entre los datos obtenidos radica principalmente en la forma de medir la altura de cada herramienta. Mientras que el altímetro utiliza un sensor de presión atmosférica que mide la fuerza ejercida por la atmósfera, la herramienta de Google utiliza un tipo de haz que es emitido desde el satélite y la variación de la altura depende del eco producido por éste haz y el tiempo que tarda en regresar. Ambos instrumentos presentan inexactitud considerable pero para los fines que se persiguen con este proyecto se consideran aceptables. Las mediciones utilizadas para calcular el desnivel creado entre la bocatoma y la casa de máquinas serán las obtenidas por el altímetro.

El área que se estudia es de aproximadamente de 6 hectáreas y se puede apreciar en la figura Anexo 2.6. En esta región se trazan las curvas de nivel metro a metro para obtener una perspectiva más amplia de lugar. Para ello se exporta el plano del lugar desde Google earth hasta Global Mapper. En éste software se traza un modelo a escala de tres dimensiones y al final se exporta nuevamente a AutoCAD, que será el software que mostrará las curvas de nivel en dos dimensiones.

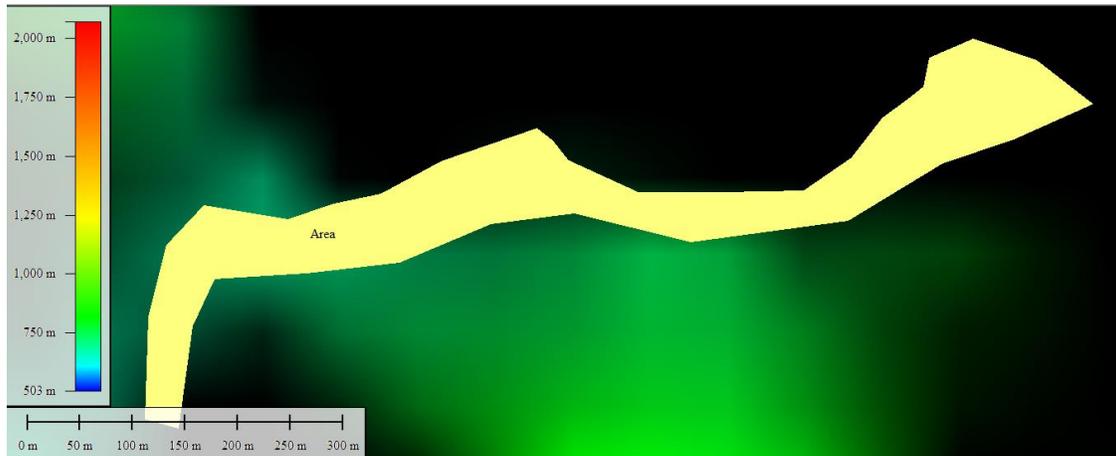


Fig. Anexo B.6 Área delimitada para el estudio topográfico de aproximadamente 6 hectáreas.

Las características del terreno se aprecian de mejor manera con el diseño del plano que se presenta a continuación, fig. Anexo 2.7. En esta imagen se observa el nivel del mar en comparación con la superficie estudiada y entre éstas dos, la capa de tierra que las divide. Se ve además, que el nivel del río crece abruptamente en los últimos 100 metros, dado que en esta zona se localiza una pequeña loma. El resto del río se encuentra en una zona con poca inclinación, en parte, a que está ubicado en un valle o cañada formado por las mismas montañas.

Los últimos 100 metros de ascensión son los más precarios. Esta parte del recorrido es la transición entre la cascada Velo de Novia y La Corona. Ésta última es poco frecuentada debido a lo complicado que puede resultar escalar, ya que carece de un sendero adaptado para una caminata “tranquila”. Sin embargo, *La Corona* se encuentra en lo más alto del centro ecoturístico y por lo tanto tiene gran cantidad de energía potencial aprovechable.

La energía potencial contenido dentro de las aguas del río San Vicente en la zona más alta, podría generar suficiente electricidad como para abastecer a, por lo menos, dos de los poblados más cercanos, como los son Socoltenango y Tzimol. Esta afirmación se pondrá a prueba en la sección siguiente, dónde se proponen las dimensiones de una turbina y los cálculos correspondientes. Aunque, los objetivos del presente proyecto solo son el diseño de una central que alimente al centro ecoturístico, se examinará el máximo potencial aprovechable y sus beneficios.

Otra aproximación del terreno es mediante la creación de las curvas de nivel. Las curvas de nivel son un conjunto de líneas que representan todos los puntos que se encuentran a la misma altura. Todas las curvas dan muestra de las propiedades

del terreno en cuestión que de otra manera serían difíciles de apreciar. Con este método se pueden aproximar las alturas en casi todos los puntos de la superficie y se pueden presentar como una función de sus coordenadas cartesianas.

Uno de los principales inconvenientes con las curvas de nivel es su exactitud. Como se hizo mención anteriormente, el método propuesto en este trabajo no cuenta con una exactitud clínica, aunque si cuenta con una proporcionalidad entre una y otra medida, esto es, tiene precisión entre cada valor considerado.

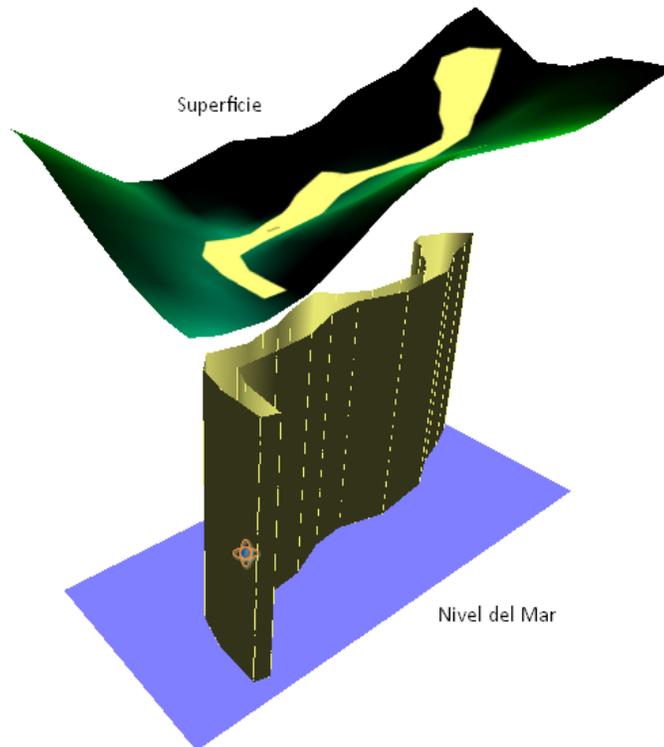


Fig. Anexo B.7 Diseño de un plano en tres dimensiones de la zona estudiada (Software Global Mapper).

En la figura Anexo 2.8 se aprecia un plano que representa las curvas de nivel del centro ecoturístico. Como era de esperarse y como se mencionó anteriormente, se observa que las líneas convergen drásticamente en el último tramo del río. Las curvas se encuentran a una distancia de un metro entre cota y cota, lo que hace más preciso la determinación del desnivel que tendrá este sistema hidráulico. El trazado de las curvas puede hacerse de manera más precisa con herramientas más adecuadas, aunque este sencillo bosquejo da pauta a un estudio preliminar que nos permite visualizar en un primer plano las dimensiones del proyecto y sus alcances.

Curvas de Nivel: Centro Ecoturístico “Cascada Velo de Novia”, El Chiflón

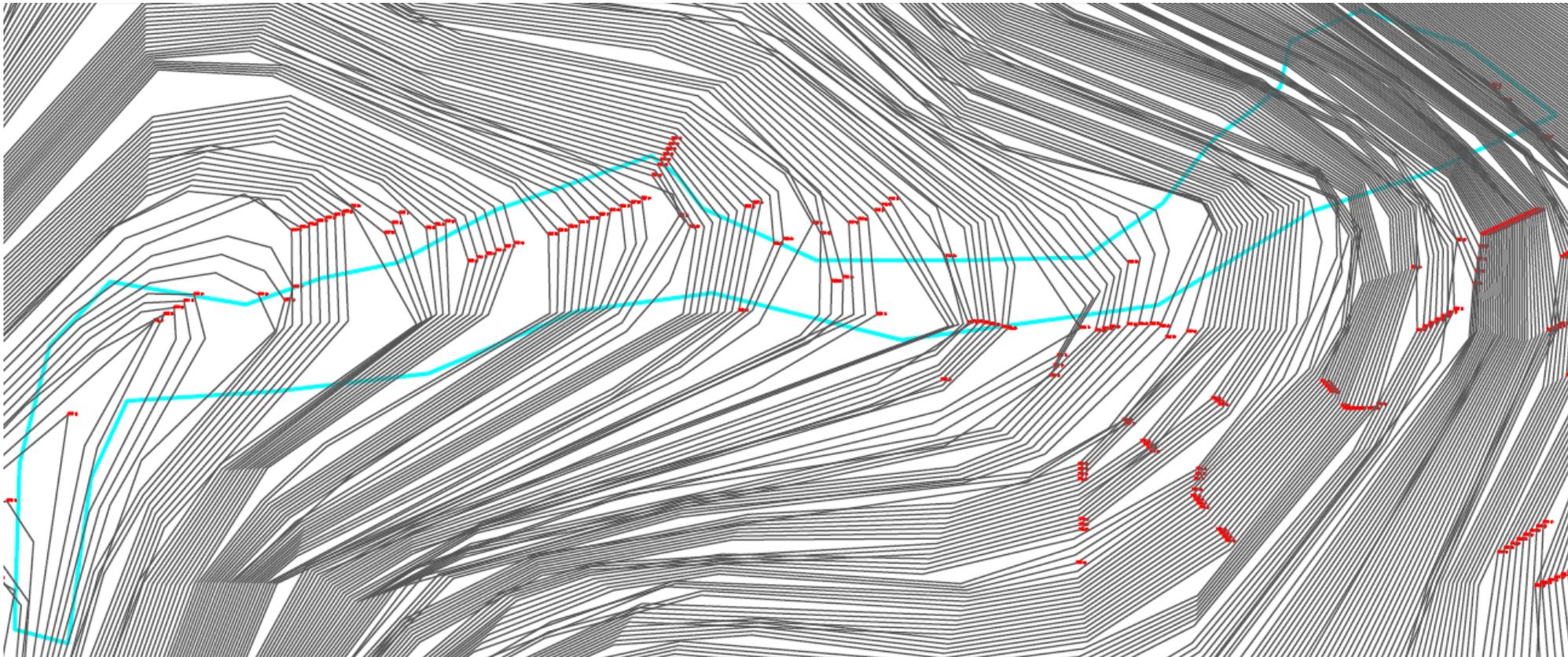


Fig. Anexo B.8 Curvas de nivel metro a metro realizadas en AutoCAD. En color cian se marca el perímetro del río, las líneas negras representan las curvas de nivel trazadas con 1 metro de diferencia entre cota y cota. En rojo se muestran las etiquetas de altitud poco apreciables en esta imagen.

Geología.- El municipio de Socoltenango cuenta principalmente con estructuras que datan del periodo cretácico (47.81%) y cuaternario (16.1 %). Éstas descansan sobre rocas del complejo basal de la era paleozoica y del precámbrico que afloran en el noreste de la depresión en el límite con la Sierra Madre.

Las rocas que se hallan en ese sitio corresponden a las sedimentarias tales como: calizas (47.81 %), travertino (1.54 %) y conglomerado (0.34 %). Además de dolomitas formadas por la erosión y redepositación de productos de meteorización de materias a través de la acumulación de restos biológicos. La integración de las estructuras geológicas se puede apreciar en la figura anexo 2.9.

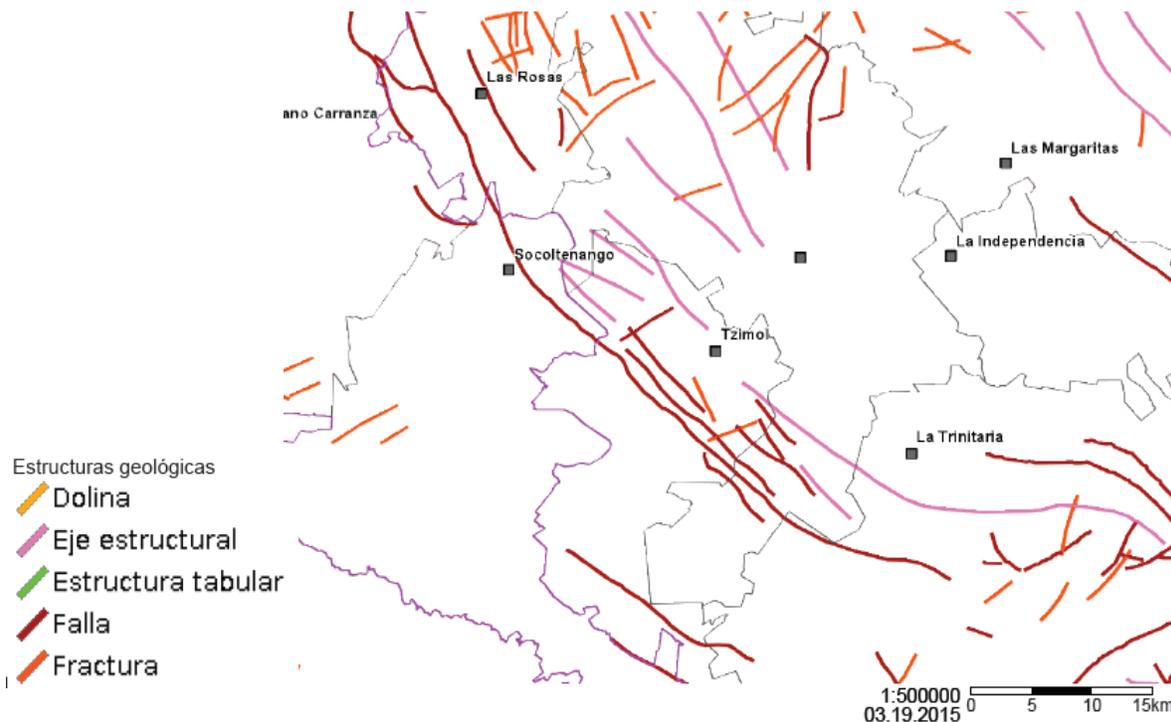


Fig. Anexo B.9 Estructuras Geológicas del municipio de Socoltenango, Chiapas (CEIEG).

Edafología

La región presenta 4 tipos de suelos los cuales son: Leptosol (40.95%), Vertisol (16.26%), Phaeozem (3.83%) y Luvisol (2.87%). En la zona de estudio el suelo predominante es el Leptosol, dado que es un lugar muy escarpado y con elevado índice de erosión. Las planicies adyacentes al área de estudio tienen gran predominancia de Vertisol, éste usado principalmente para el cultivo de caña de azúcar. La figura anexo 2.10 muestra un mapa con la distribución de los tipos de suelos principales de ésta región.

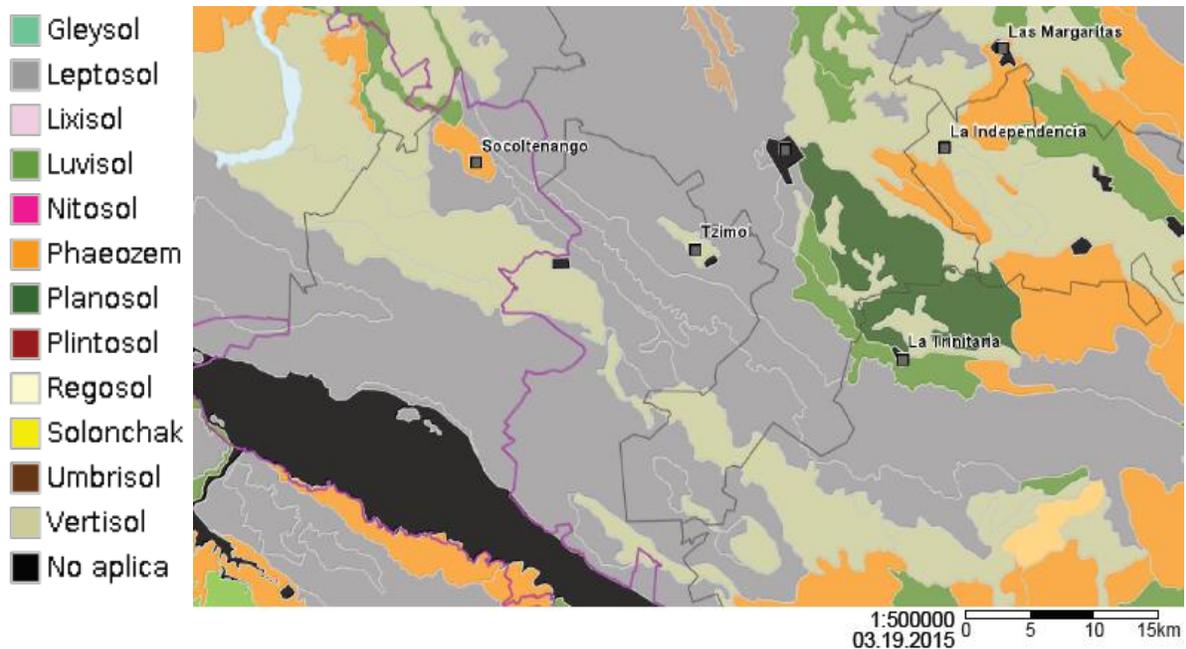


Fig. Anexo B.10 Tipos de suelos predominantes en el municipio de Socoltenango, Chiapas (CEIEG).

Clima

Esta región cuenta con una diversidad de climas debido a sus condiciones topográficas y a su ubicación en el mapa. Presenta clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (95.72 %), semicálido subhúmedo con lluvias en verano (2.67%) y cálido subhúmedo con lluvias en verano, menos húmedo (1.61). Su rango de temperaturas va 20° a 26° C, aunque en periodo invernal puede alcanzar temperaturas cercanas a los 15°C y en verano temperaturas que llegan hasta los 35°C. El mes más caluroso es mayo y se deduce que esta zona está exenta de heladas.

Las precipitaciones anuales van desde los 900 mm hasta los 1500 mm de agua. De acuerdo a la distribución de las lluvias durante el año, tenemos que la mayor parte cae entre los meses de junio a octubre, siendo el mes más lluvioso septiembre, con una precipitación media de 215 mm. El mes más seco es enero con una precipitación media de 1.6 mm. La evaporación media anual es 1162.3 mm, un tanto menor a las precipitaciones, lo que hace de éste, un lugar rico en recursos hídricos.

Los vientos en esta zona corren de noreste a este y tienen una intensidad de moderados (19-26 km/hora) a fuertes (26 - 44 km/hora). En la figura anexo 2.11 se

muestra la distribución de los climas, en la figura anexo 2.12 la distribución de temperaturas y en la figura anexo 2.13 la distribución de las precipitaciones.

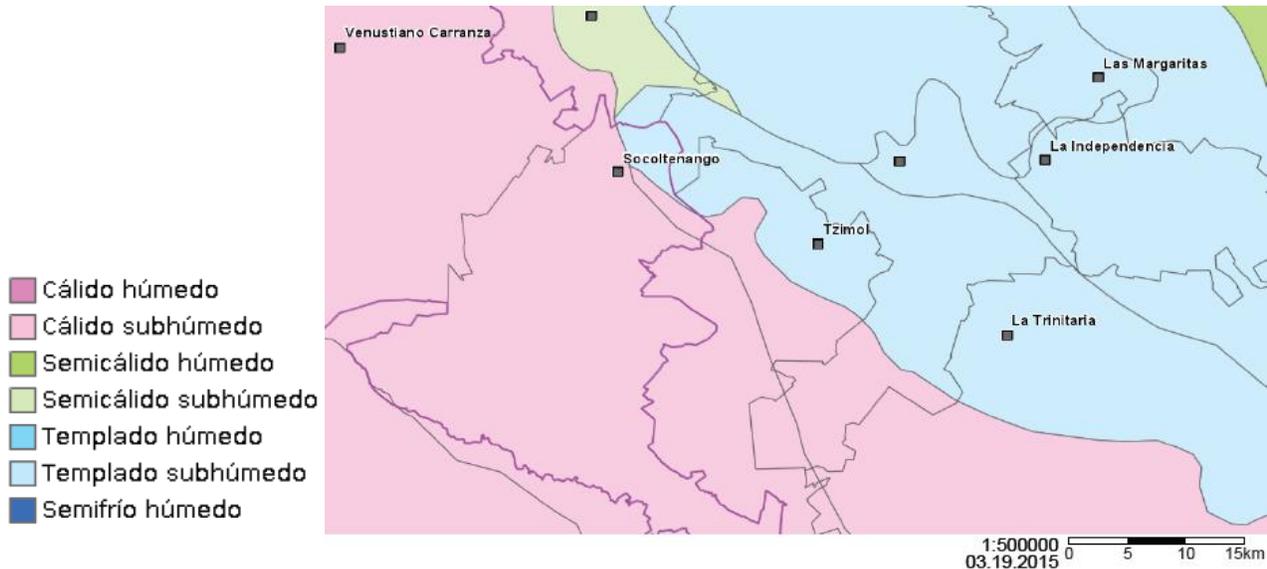


Fig. Anexo B.11 Distribución de climas en Socoltenango. Se aprecia el predominio del cálido subhúmedo (CEIEG).

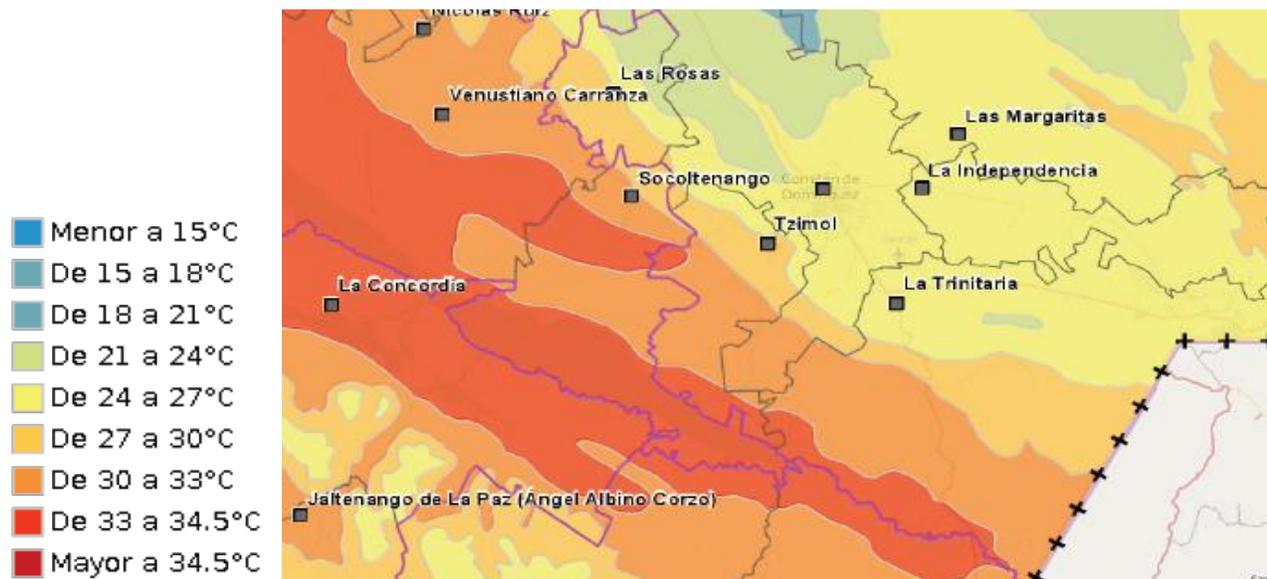


Fig. Anexo B.12 Distribución de las temperaturas durante los meses de Mayo-Agosto en Socoltenango (CEIEG).

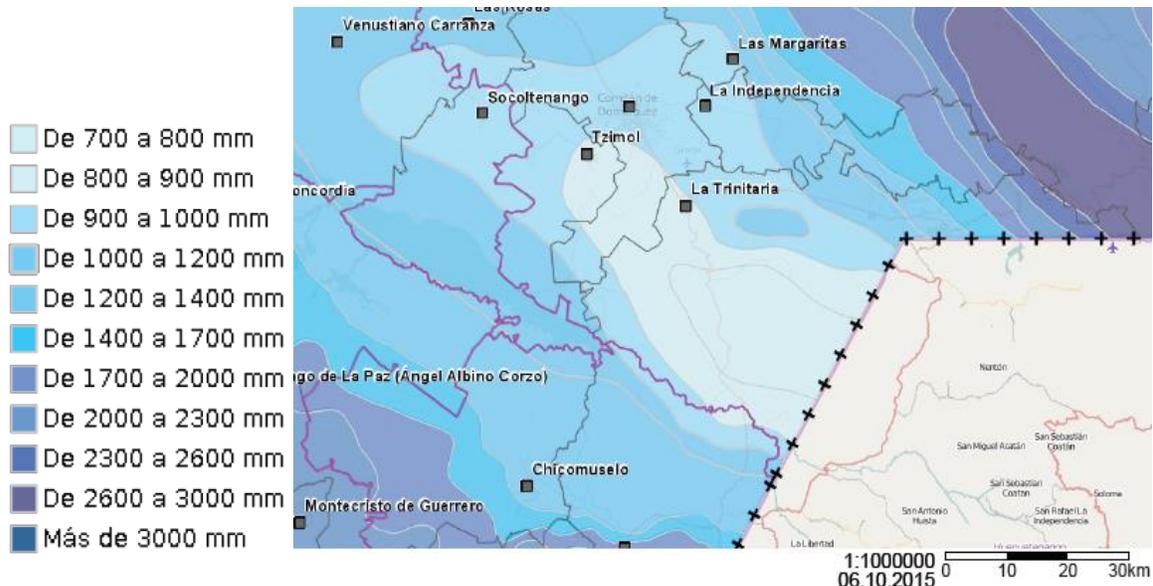


Fig. Anexo B.13 Distribución de las precipitaciones anuales en Socoltenango en los meses de Mayo-Agosto (CEIEG).

Flora y Fauna

La región de los Llanos presenta una cobertura vegetal compuesta principalmente por vegetación secundaria (selva caducifolia, bosque de encino y coníferas). El estrato arbóreo está conformado por árboles que miden 15 metros en promedio, habitan naturalmente en la depresión central de Chiapas.

En ella habitan especies propias de estos tipos de vegetación de las que entre otras, cabe mencionar a *Bursera Simaruba* (Palo mulato), *Bursera excelsa* (Copal), *Haematoxylum brasiletto* (Brasil), *Ceiba acuminata* (ceiba), *Swietenia humilis* (Caobilla), *Alvaradoa amorphoides* (camaron), *Cedrela odorata* (cedro rojo), *Spondias purpurea* (jocote), *Espondias mombin* (Jobo), *Platymiscium dimorphrandum* (Hormiguillo), *Pouteriza zapota* (zapote mamey), *Heliocarpus reticulatos* (corcho o namo), *Ficus cookii* (amate) y *Calycophyllum candidissimum* (canelo) que es la especie que, por abundancia, da el nombre de esta área.

En cuanto a la fauna, en esta región habitan especies endémicas amenazadas o en peligro de extinción como son: *Didelphis marsupialialis* (Tlacuache cuatro ojos), *Tamandua mexicana* (Brazo fuerte), *Sciurus aerogaster* (Ardilla gris), *Odocoileus virginianus* (Venado cola blanca), *Felis wiendii* (tigrijo), *Heloderma horridum* (Escorpión) y diversas especies de serpientes, pericos e iguanas.

El ecosistema y recursos naturales del área están siendo impactados severa y negativamente por diversas actividades humanas, como son el deterioro de la cuenca y el crecimiento indiscriminado de la frontera agropecuaria lo que de continuar sin una adecuada planeación, conducirá al detrimento de la calidad de vida de sus habitantes y a la pérdida de valiosos recursos naturales en el corto plazo, por lo que requieren de acciones inmediatas.

La descripción que se mencionó anteriormente es la de la región económica de los Llanos. La región de estudio en el centro ecoturístico es prácticamente el mismo, con excepción de la fauna en peligro extinción. En el centro ecoturístico tan solo existe diversidad de aves, serpientes e iguanas y no habitan especies en peligro.



Fig. Anexo B.14 En la imagen de la izquierda se muestra el río San Vicente y un poco de la vegetación circundante. A la derecha se muestra una roca sedimentaria común en el centro ecoturístico El Chiflón.

Anexo B.2

Informe Preventivo Estudio de Impacto Ambiental

“Central micro-hidroeléctrica en el centro ecoturístico el Chiflón”

El centro ecoturístico el chiflón cuenta con un servicio de energía eléctrica limitado y con deficiencias por parte de la institución que le provee el servicio, esto representa una limitante para el crecimiento del centro ecoturístico ya que se panea un crecimiento gradual para mejora de sus instalaciones y el costo de la energía eléctrica representa una gran déficit en la economía del mismo.

Esta región cuenta con riqueza natural y es un atractivo turístico influyente en el estado pues genera parte significativa de los ingresos económicos de la región, los recursos hídricos de esta zona no son aprovechados para la producción de energía eléctrica.

El centro ecoturístico cuenta con la altitud, caudal y geografía necesaria para la instalación de una central hidroeléctrica, que tenga la capacidad de suministrar y abastecer la demanda necesaria y potencial del centro mismo y sus alrededores, aprovechando de forma eficiente los recursos naturales sin causar daños ambientales y visuales en el centro.

Se proponer la creación e instalación de una central micro-hidroeléctrica con el objetivo de abastecer la demanda de energía eléctrica en el centro ecoturístico el chiflón y sus alrededores optimizando las instalaciones y reduciendo los costos por dicho servicio, así mismo se establece la necesidad de preservar y proteger los ecosistemas, disminuir el impactos visual que se genere y determinar el impacto ambiental que se pueda provocar, basándose en la normativa de protección al medio ambiente.

**CASCADA DEL VELO DE NOVIA S. DE S.S.**

Tuxtla Gutiérrez Chiapas, a 12 de marzo del 2015

M.C. Alfonso Flores Ramírez

Director General de Impacto y Riesgo Ambiental

De acuerdo a lo establecido en los Artículos 31 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y 29 al 34 de su Reglamento en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental, adjunto para su análisis y determinación correspondiente original y tres (3) copias en disco compacto, una de ellas con la leyenda “CONSULTA AL PÚBLICO”, resumen ejecutivo, y pago de derechos el Informe Preventivo del proyecto.

“ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UNA CENTRAL MICRO-HIDROELÉCTRICA EN CASCADA DEL VELO DE NOVIA S. DE S.S.”

Los que firman al calce, bajo protesta de decir verdad, manifiestan que la información relacionada con el Informe Preventivo del proyecto denominado **“ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UNA CENTRAL MICRO-HIDROELÉCTRICA EN CASCADA DEL VELO DE NOVIA S. DE S.S.”**, a su leal saber y entender, es real y fidedigna, que saben de la responsabilidad en que incurren los que declaran con falsedad ante autoridad distinta de la judicial, como lo establece el Artículo 420 Quater del Código Penal Federal.

Atentamente,

[Nombre y firma del representante legal de la empresa]

[Nombre y firma del responsable de la elaboración del estudio]

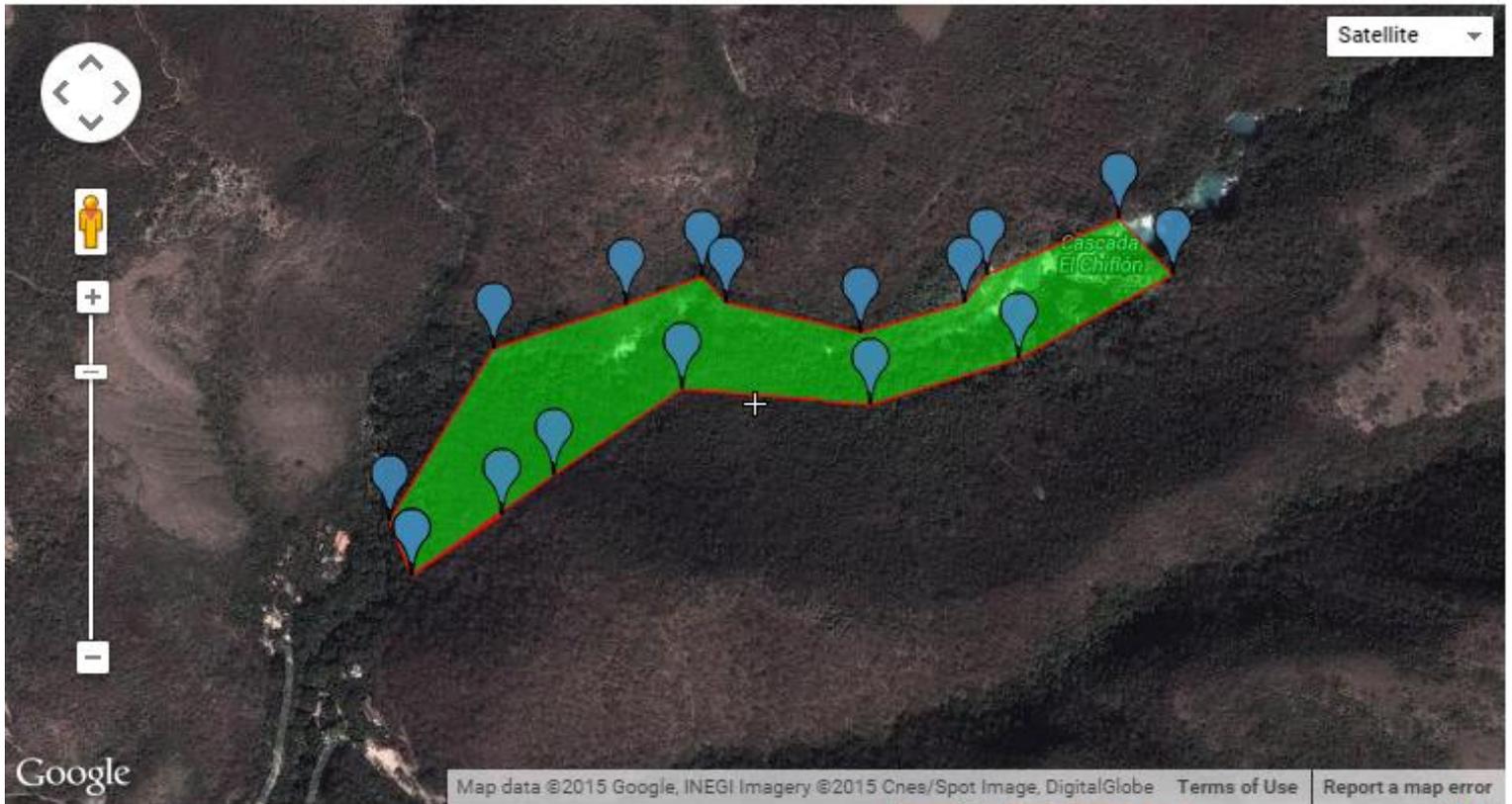
ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UNA CENTRAL MICRO-HIDROELÉCTRICA EN CASCADA DEL VELO DE NOVIA S. DE S.S.

CARRETERA LA ANGOSTURA, COLONIA LA MESILLAS MUNICIPIO DE TZIMOL, A 45 KM DE COMITÁN, ESTADO DE CHIAPAS.



Las cascadas velo de novia se localizan en el municipio de Socoltenango a 45 Km de Comitán Chiapas, cuenta con un terreno de 15 hectáreas a lo largo del rio san Vicente, que alimenta al distrito de riego 059 modulo 03, se localiza en las coordenadas 16°11'6.30"N latitud, y 92°16'52.98"O longitud.

el área delimitada para el proyecto cuenta con 10 hectáreas a lo largo del rio san Vicente el cual tiene un caudal aparente de 5 m³ por segundo, en los meses de sequía y se incrementa hasta un 60% en los meses mayo- agosto.



Área: 0.101 km², 10.060 Hectáreas.

Perímetro: 2138.209 m, 2.138 km.

Inversión requerida

1.1 Planteamiento y diseño

Se establecen los costos de planteamiento y diseño de la central micro-hidroeléctrica basándonos en el costo de estudios de carácter necesario para la evaluación de la factibilidad de la central, el presupuesto se realiza consultando el costo de estudios de suelo, hidrológicos, topográficos, de relieve y un levantamiento de flora y fauna de la región, conforme a sus especialistas y tomando en cuenta el costo de los planos y certificados que expidan para la comprobación de los estudios.

<i>Tabla anexo B.1 Costos de diseño.</i>						
Estudio de factibilidad	de					50000
Proyecto de ingeniería	de					25000
Planos						10000
					Total	85000

1.2. Equipos electromecánicos

El equipo electromecánico para la constitución de la central genera uno de los principales costos por la instrumentación necesaria para la turbina, los costos se establecen a partir de la descripción de material necesario para la turbina y el generador así como el costo de instalación.

<i>Tabla anexo B.2. Costos de equipo electromecánico.</i>						
Turbina						\$ 6,490.00
Generador						\$ 50,000.00
Instalación de equipos	de					\$ 16,947.00
					Total	\$ 73,437.00

2. Determinación de costos de la obra civil.

Costos de tubería.-

Para la construcción de la central micro-hidroeléctrica, se requiere instalar tubería de PVC, de la boca toma al tanque de precio con una longitud de 225m y 25 pulgadas de diámetro nominal, que será el canal o tubería de conducción. El costo de mano de obra se calcula con el sueldo base de \$200 para 3 albañiles con horario de 7 am, a 4 pm. Durante 5 días dando un costo de \$3000.

La tubería de presión será de acero con una longitud de 74.6 metros y un diámetro nominal de 14 pulgadas, es importante resaltar que en caso de ser necesaria una almenara para evitar el golpe de ariete el costo de la tubería aumenta un 25%. La mano de obra para la instalación de la tubería de presión se obtiene de un sueldo base de \$250 para 3 albañiles durante 2 días.

Tabla anexo B.3 Costo de tubería.

cedula	Tubería	Longitud	diámetro	diámetro nominal	costo por metro	material	mano de obra	costo de tubería	costo total
		Metros	metros	pulgadas	peso		pesos	pesos	
40	Canal	225	0.6187	24.35827	\$1380	PVC	\$ 3000	\$ 310,500	\$ 313,500
40	Presión	74.6	0.3458	13.61417	\$2355.5	acero	\$ 1500	\$ 175,720	\$ 177,220
								\$ 486,220	\$ 490,720

Para la construcción de la obra civil se determina el costo de la mano de obra estableciendo como sueldo base de \$200 a \$300 por trabajador (albañil, maestro de obra), se determina el número de trabajadores y número de días para cada construcción o instalación.

Tabla anexo B.4 Costos de mano de obra.

Obra	días	sueldo base	trabajadores	Total
tanque de presión	3	\$ 200.00	3	\$ 1,800.00
boca toma	1	\$ 300.00	2	\$ 600.00
Desarenador	3	\$ 200.00	2	\$ 1,200.00
casa de maquinas	3	\$ 200.00	3	\$ 1,800.00

Se establece el costo de materia prima para la construcción de las obras civiles cuantificando la cantidad de sementó y varillas para la construcción del tanque de presión, boca toma desarenador y casa de máquinas por el costo unitario del material. Características del material. Bolsa de sementó de 50kg con un valor de \$280, varilla de calibre 3/8 y 12 metros de largo con valor de \$9.20 por metro.

Tabla anexo B.5. Costos de materia prima.

costo de material				
Obra	material	unidades	costo unitario	Total
tanque de presión	cemento (kg)	235.7	\$ 7.00	\$ 2,475.00
	varilla (M)	89.7	\$ 9.20	
boca toma	cemento (kg)	105.67	\$ 7.00	\$ 1,120.00
	varilla (M)	41.34	\$ 9.20	
Desarenador	cemento (kg)	146.66	\$ 7.00	\$ 1,540.00
	varilla (M)	55.79	\$ 9.20	
casa de maquinas	cemento (kg)	156.19	\$ 7.00	\$ 1,640.00
	varilla (M)	59.42	\$ 9.20	

Costos de obras de construcción civil. Para obtener el costo total de la obra civil se realiza una sumatoria entre los totales de mano de obra y materia prima de cada construcción.

Tabla anexo B.6 Costos de obra civil.

Obra civil	mano de obra	costo de materia prima	Total
Bocatoma	\$ 600.00	\$ 1,120.00	\$ 1,720.00
Canal	\$ 3,000.00	\$ 310,500.00	\$ 313,500.00
Desarenador	\$ 1,200.00	\$ 1,540.00	\$ 2,740.00
Tanque de presión	\$ 1,800.00	\$ 2,475.00	\$ 4,275.00
Tubería forzada	\$ 1,500.00	\$ 175,720.00	\$ 177,220.00
Casa de maquinas	\$ 1,800.00	\$ 1,640.00	\$ 3,440.00
Total	\$ 9,900.00	\$ 492,995.00	\$ 502,895.00

Una vez se obtiene el costo de la construcción de la obra civil se le agrega del 4 al 5% del costos total de la tubería \$ 486,220 (tubería de acero y PVC) por concepto de fletes, que equivale a un aumento de \$ 20,188.70 dando como total absoluto del costo para obra civil \$ **523,084.00.**

Obra eléctrica

Tabla anexo B.7 Costos de obra civil.		
Obra eléctrica		Costo
Tablero de general a 200 A		5000
Tablero de 7 espacios		1500
Tablero de 16 espacios		3000
Tablero de 7 espacios		1500
Conductores		
Cable de cobre xlp cal. 3/0 awg		17250
Cable de cobre cal. 2		8000
Cable de cobre cal. 8		3200
Cable de cobre cal. 10		3400
Cable de cobre cal. 12		1200
Cable de cobre cal. 14		2400
Mallas de tierra		
Varilla de tierra física 16 mm		150
Conector para varilla		20
2 sacos de gel de 11 kg		300
1 galón de electrolito		110
5 m cable #2 desnudo		200
1 registro con tapa de 28x16.2 cm		300

Costos de operación

Tabla anexo B.8 Costos de operación.			
	porcentaje	unidad	total
costos de operación anual	2%	149.8102	14981.02
reparación y mantenimiento anual	1%	74.9051	7490.51
insumos para administración anual	0.25%	18.726275	3745.255
total de egresos anuales del proyecto			\$ 26,216.79

Mantenimiento.-

El costo de mantenimiento se establece un costo inicial de \$5000 por los primeros seis meses. La inversión requerida se basa en el capital necesario a invertir para lograr la instalación y el funcionamiento total y óptimo de la central, dicha central contempla gastos de instalación, operación, mantenimiento y materia prima dando como resultado una inversión total de \$ 799,051.00.

El capital a invertir se rige por el costo de la materia prima y mano de obra, en este particular caso la obra civil es una parte influyente pues se basa en la estructura de la central, que va desde la tubería de presión y canal hasta el tanque de presión y casa de máquinas, costos por el equipo eléctrico como: turbina, cableado, mallas de tierra y tableros eléctricos así como controladores y su instalación.

planteamiento y diseño		\$ 85,000.00
equipos electromecánico		\$ 120,437.00
obra civil		\$ 523,084.00
obra eléctrica		\$ 47,530.00
costos de operación		\$ 15,000.00
mantenimiento		\$ 5,000.00
	total	\$ 799,051.00

Número de empleos generados.

En el diseño y elaboración de la central micro-hidroeléctrica se ven involucrados un gran número de personas las cuales aportan de manera simbólica para la creación de la misma. Los empleos generados de manera directa son; 2 ingenieros eléctricos, 1 ingeniero químico, 1 ingeniero civil, 1 operador de planta, 1 maestro de obra y 3 albañil.

De manera indirecta se genera trabajo para empresas topográficas y geográficas, también se requiere de biólogos para realizar el levantamiento de flora y fauna, es necesario estudios necesarios de campo, que aporten información histórica para la evaluación de impacto ambiental. De manera esporádica se emplearan choferes y guardias, Generando alrededor de 20 empleos en la región.

3.2 Descripción de la central.

El desarrollo del proyecto parte desde las obras que garantizan el buen funcionamiento de la central hidroeléctrica. Gran parte de la infraestructura requerida para la generación de electricidad, que produce el mayor porcentaje costos, en contraste con lo que se puede creer, es la obra civil. A diferencia de la obra eléctrica, que debido a los avances tecnológicos se reduce enormemente en tamaño y precio.

La obra civil debe garantizar un flujo constante de agua y en condiciones adecuadas (mínima concentración de sólidos disueltos) hacia la turbina y también debe de ser capaz de evitar los niveles excesivos de agua que puedan producir sobrepresiones y generar problemas secundarios como daño a la turbina o en el peor de los casos ruptura de tubería.

Estas obras civiles comienzan desde la obra de toma, la obra de conducción, el desarenador, el tanque de presión y la tubería forzada. Aunque en la obra de conducción y en la tubería forzada se utilizan tuberías prefabricadas de acero o PVC, se requiere de una obra que dé soporte y anclaje a estas estructuras.

La demanda de energía requerida en el centro es de 40 Kva para aprovechar el caudal y abastecer el centro con una proyección de crecimiento y la posible distribución de energía se produce 1 KW. La tubería a utilizar se propone de PVC para el canal al tanque de presión y de esta a la casa de maquina se usara tubería de acero para tubería de presión, la casa de máquinas cuenta con un aislamiento de 5cm.

De espesor para evitar las vibraciones y el ruido excesivo. El caudal que se toma del rio volverá a su encause 329m debajo de la bocatoma por lo tanto no habrán afectaciones en cuanto al caudal del rio, la tubería de conducción será subterránea por lo tanto no tendrá un impacto visual significativo.

3.3 Descripción de Flora y Fauna

La región de los Llanos presenta una cobertura vegetal compuesta principalmente por vegetación secundaria (selva caducifolia, bosque de encino y coníferas). El estrato arbóreo está conformado por árboles que miden 15 metros en promedio, habitan naturalmente en la depresión central de Chiapas.

En ella habitan especies propias de estos tipos de vegetación de las que entre otras, cabe mencionar a *Bursera Simaruba* (Palo mulato), *Bursera excelsa* (Copal), *Haematoxylum brasiletto* (Brasil), *Ceiba acuminata* (ceiba), *Swietenia humilis* (Caobilla), *Alvaradoa amorphoides* (camaron), *Cedrela odorata* (cedro rojo), *Spondias purpurea* (jocote), *Espondias mombin* (Jobo), *Platymiscium*

dimorphrandum (Hormiguillo), *Pouteriza zapota* (zapote mamey), *Heliocarpus reticulatos* (corcho o namo), *Ficus cookii* (amate) y *Calycophyllum candidissimum* (canelo) que es la especie que, por abundancia, da el nombre de esta área.

En cuanto a la fauna, en esta región habitan especies endémicas amenazadas o en peligro de extinción como son: *Didelphis marsupialialis* (Tlacuache cuatro ojos), *Tamandua mexicana* (Brazo fuerte), *Sciurus aerogaster* (Ardilla gris), *Odocoileus virginianus* (Venado cola blanca), *Felis wiendii* (tigrillo), *Heloderma horridum* (Escorpión) y diversas especies de serpientes, pericos e iguanas.

El ecosistema y recursos naturales del área están siendo impactados severa y negativamente por diversas actividades humanas, como son el deterioro de la cuenca y el crecimiento indiscriminado de la frontera agropecuaria lo que de continuar sin una adecuada planeación, conducirá al detrimento de la calidad de vida de sus habitantes y a la pérdida de valiosos recursos naturales en el corto plazo, por lo que requieren de acciones inmediatas.

La descripción que se mencionó anteriormente es la de la región económica de los Llanos. La región de estudio en el centro ecoturístico es prácticamente el mismo, con excepción de la fauna en peligro extinción. En el centro ecoturístico tan solo existe diversidad de aves, serpientes e iguanas y no habitan especies en peligro.

3.4 Conclusiones

La propuestas de una central micro-hidroeléctrica en el centro ecoturístico el Chiflón plantea la iniciativa del uso de energías limpias en el estado de Chiapas, resulta ser factible y de alto beneficio para el centro ecoturístico y la comunidad pues la construcción de dicho centro beneficiara con fuentes de empleo de manera directa e indirecta y abastecerá la demanda necesaria de energía eléctrica en el centro así como la demanda de energía óptima para la mejora de las instalaciones y el crecimiento progresivo del centro.

El costo de la energía eléctrica será mínimo, pues en el análisis de factibilidad del proyecto tiene un tiempo de vida de 20 años en los cuales se producirá un 1kw/h de energía con un costo total de inversión de 799,051.00.

El nivel de energía producido está por debajo del que se establece en LA LEY DE PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE Y EQUILIBRIO ECOLÓGICO DEL ESTADO DE CHIAPAS Y EL REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE EN MATERIA DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL. Basados en estas normativas, por la magnitud de la central no presenta ningún riesgo de impacto ambiental, visual ni ecológico.

3.5 Marco legal

CAPÍTULO II DE LAS OBRAS O ACTIVIDADES QUE REQUIEREN AUTORIZACIÓN EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL Y DE LAS EXCEPCIONES

Artículo 5o.- Quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización de la Secretaría en materia de impacto ambiental:

K) INDUSTRIA ELÉCTRICA:

I. Construcción de plantas nucleoelectricas, hidroelectricas, carboelectricas, geo termoelectricas, eoloelectricas o termoelectricas, convencionales, de ciclo combinado o de unidad turbogás, con excepción de las plantas de generación con una capacidad menor o igual a medio MW, utilizadas para respaldo en residencias, oficinas y unidades habitacionales;

II. Construcción de estaciones o subestaciones eléctricas de potencia o distribución;

III. Obras de transmisión y subtransmisión eléctrica, y

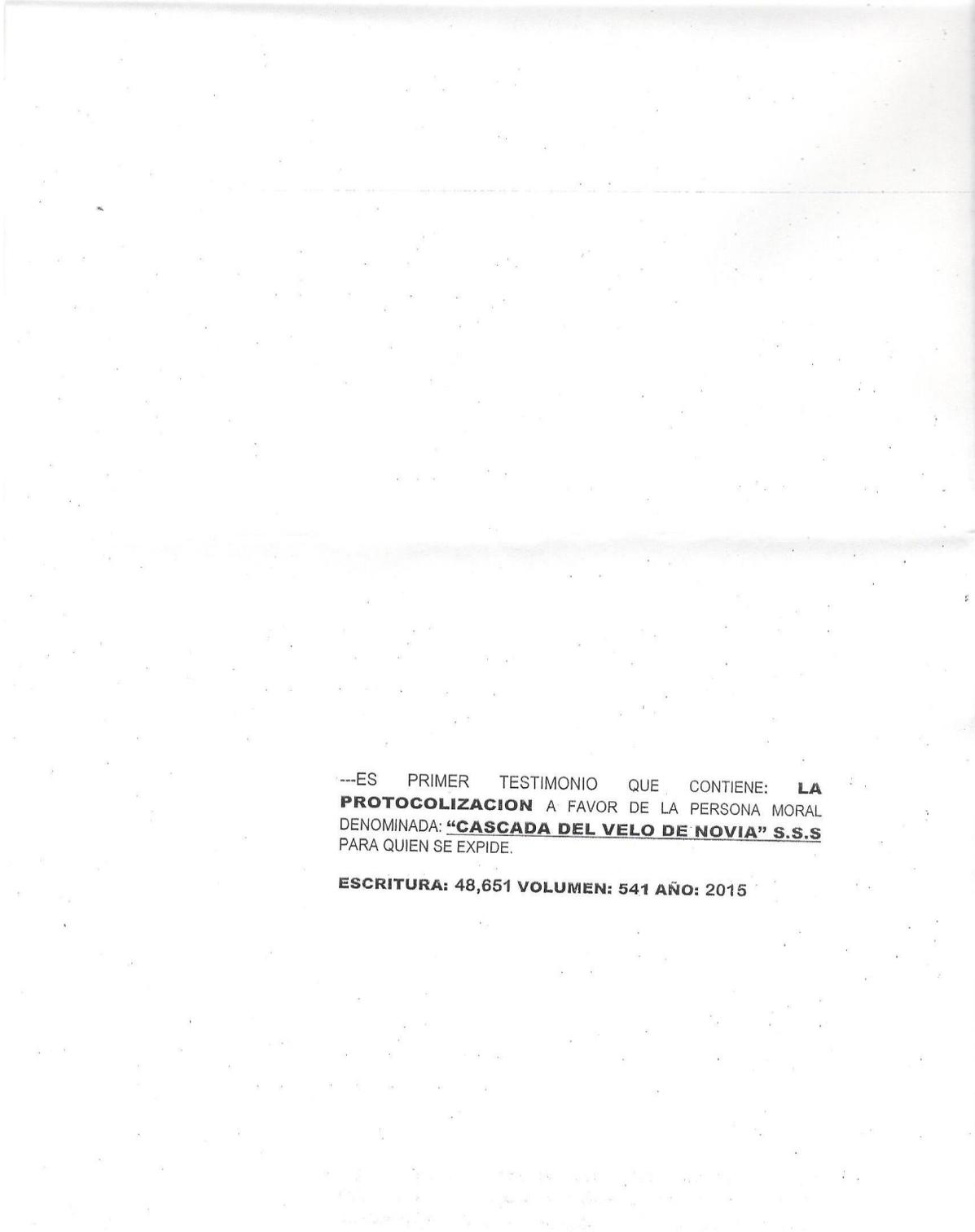
IV. Plantas de cogeneración y autoabastecimiento de energía eléctrica mayores a 3 MW. Las obras a que se refieren las fracciones II a III anteriores no requerirán autorización en materia de impacto ambiental cuando pretendan ubicarse en áreas urbanas, suburbanas, de equipamiento urbano o de servicios, rurales, agropecuarias, industriales o turísticas.

R) OBRAS Y ACTIVIDADES EN HUMEDALES, MANGLARES, LAGUNAS, RÍOS, LAGOS Y ESTEROS CONECTADOS CON EL MAR, ASÍ COMO EN SUS LITORALES O ZONAS FEDERALES:

I. Cualquier tipo de obra civil, con excepción de la construcción de viviendas unifamiliares para las comunidades asentadas en estos ecosistemas, y

II. Cualquier actividad que tenga fines u objetivos comerciales, con excepción de las actividades pesqueras que no se encuentran previstas en la fracción XII del artículo 28 de la Ley, y que de acuerdo con la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables y su reglamento no requieren de la presentación de una manifestación de impacto ambiental, así como de las de navegación, autoconsumo o subsistencia de las comunidades asentadas en estos ecosistemas.

3.5 Acta constitutiva del centro ecoturístico El Chiflón



---ES PRIMER TESTIMONIO QUE CONTIENE: **LA PROTOCOLIZACION** A FAVOR DE LA PERSONA MORAL DENOMINADA: **“CASCADA DEL VELO DE NOVIA” S.S.S** PARA QUIEN SE EXPIDE.

ESCRITURA: 48,651 VOLUMEN: 541 AÑO: 2015



Lic. Vicente Gerardo Pensamiento Maldonado

NOTARIO PÚBLICO No. 20 DEL ESTADO Y DEL PATRIMONIO DEL INMUEBLE FEDERAL

---ESCRITURA PÚBLICA NÚMERO 48,651 CUARENTA Y OCHO MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Y UNO---

---VOLUMEN NÚMERO 541 QUINIENTOS CUARENTA Y UNO---

---En la Ciudad de Comitán de Domínguez, Chiapas, México, del día 24 Veinticuatro del mes de Marzo del año 2015 Dos Mil Quince, YO LICENCIADO VICENTE GERARDO PENSAMIENTO MALDONADO, Titular de la Notaría Pública Número 20 Veinte del Estado y del Patrimonio Inmueble Federal, en ejercicio, con Domicilio Profesional en la Primera Calle Sur Oriente Número ocho de esta Ciudad, Hago Constar:---

---Que ante mí compareció el señor SERGIO LOPEZ AGUILAR, en su carácter de Presidente del Consejo de Administración y Delegado Especial de la persona moral denominada "CASCADA DEL VELO DE NOVIA", SOCIEDAD DE SOLIDARIDAD SOCIAL, personalidad que acreditará más adelante, con el objeto de PROTOCOLIZAR EL ACTA DE ASAMBLEA GENERAL EXTRAORDINARIA de fecha 14 Catorce de Marzo del 2015 dos mil quince, constante de cinco hojas útiles tamaño oficio escritas únicamente en su anverso y que me exhibe con sus respectivas firmas autógrafas de los socios.---

---En vista de lo solicitado por el compareciente, por medio del presente instrumento y con fundamento en lo dispuesto por la Ley del Notariado Vigente, el suscrito Notario, procede a PROTOCOLIZAR la Convocatoria y el Acta de referencia, cuyo texto literal se insertará al testimonio original que de este se expida:---

---ANTECEDENTES.---

---DE CONSTITUCION: Se acredita la legal existencia de la sociedad, mediante Escritura Pública Número 6,410 seis mil cuatrocientos diez, Volumen 186 ciento ochenta y seis, de fecha cuatro de julio del dos mil tres, otorgada en la ciudad de Ocosingo, Chiapas, pasada ante la fe del Licenciado Roberto Solís Cancino, Notario Público Numero Cincuenta y Cinco del Estado e inscrita en la Sección Quinta bajo el numero 149 ciento cuarenta y nueve, del Libro I Volumen I, del registro publico de la propiedad y del comercio del Distrito Judicial de Comitán, Chiapas. De fecha diez de julio del dos mil tres, misma que contiene la protocolización del acta constitutiva de dicha persona moral, documento que doy fe de tener a la vista y que en copia fotostática mando agregar a mi apéndice de esta escritura bajo la letra "A".---

---MODIFICACION: Escritura Pública Número 36,943 treinta y seis mil novecientos cuarenta y tres, Volumen 410 cuatrocientos diez, de fecha veintinueve de abril del dos mil seis, inscrita en la Sección Quinta bajo el numero 137 ciento treinta y siete del libro I Volumen I, del registro publico de la propiedad y del comercio del Distrito judicial de Comitán, Chiapas, de fecha once de mayo del dos mil seis, misma que contiene la protocolización del acta de asamblea extraordinaria de fecha 21 de marzo del 2006, con la Exclusión y Admisión de Socios de dicha persona moral, documento que doy fe de tener a la vista y que en copia fotostática mando agregar a mi apéndice de esta escritura bajo la letra "B".---

---MODIFICACION: Escritura Pública Número 39,267 treinta y nueve mil doscientos sesenta y siete, volumen 437 cuatrocientos treinta y siete, de fecha 23 Veintitrés del mes de Abril del año 2008 dos mil ocho, inscrita en la Sección Quinta bajo el numero 103 Ciento tres, Libro I Uno, Volumen I

Cotejado

Uno, del registro publico de la propiedad y del Comercio del Distrito Judicial de Comitán, Chiapas, de fecha 09 nueve de Junio de 2008 dos mil ocho, misma que contiene la protocolización del acta de asamblea extraordinaria de fecha 11 de mayo de 2008, con la Exclusión y Admisión de Socios, así elección de nuevos integrantes de ambos consejos de dicha persona moral, documento que doy fe de tener a la vista y que en copia fotostática mando agregar a mi apéndice de esta escritura bajo la letra "C".-----

---- MODIFICACION: Escritura Publica Número 42,514 Cuarenta y Dos Mil Quinientos Catorce, Volumen 475 Cuatrocientos Setenta y Cinco, de fecha 22 Veintidós del mes de Mayo del año 2010 dos mil diez, misma que contiene la protocolización del acta de asamblea extraordinaria de fecha 18 dieciocho de mayo de 2010, con la Exclusión y Admisión de Socios, así elección de nuevos integrantes del Consejo de Administración de dicha persona moral, documento que doy fe de tener a la vista constante de tres hojas útiles tamaño oficio escritas en su anverso y reverso y que en copia fotostática mando agregar a mi apéndice de esta escritura bajo la letra "D".-----

---- MODIFICACION: Escritura Publica Número 42,917 Cuarenta y Dos Mil Novecientos Diecisiete, Volumen 479 Cuatrocientos Setenta y Nueve, de fecha 04 cuatro del mes de Septiembre del año 2010 dos mil diez, misma que contiene la protocolización del acta de asamblea extraordinaria de fecha 23 Veintitrés de mayo de 2010, con la baja voluntaria y alta de un Socio, de dicha persona moral, documento que doy fe de tener a la vista constante de tres hojas útiles tamaño oficio escritas en su anverso y reverso y que en copia fotostática mando agregar a mi apéndice de esta escritura bajo la letra "E".-----

---- MODIFICACION: Escritura Publica Número 45,057 Cuarenta y Cinco Mil Cincuenta y Siete, Volumen 502 Quinientos Dos, de fecha 09 Nueve del mes de Enero del año 2012 dos mil doce, misma que contiene la protocolización del acta de asamblea extraordinaria de fecha 08 Ocho de Enero del 2012, con la baja voluntaria y alta de Socios, de dicha persona moral, documento que doy fe de tener a la vista constante de tres hojas útiles tamaño oficio escritas en su anverso y reverso y que en copia fotostática mando agregar a mi apéndice de esta escritura bajo la letra "F".-----

---- FISCAL: También me acredita que la sociedad esta inscrita en el Registro Federal de Contribuyentes mediante cedula de Identificación Fiscal, con clave **CVN0307055M1** (C, V, N, CERO, TRES, CERO, SIETE, CERO, CINCO, CINCO, M, UNO).- Documento que doy fe de tener a la vista constante de una hoja útil escrita en su anverso, y que en copia fotostática mando agregar a mi apéndice de esta escritura bajo la letra "G".-----

-----PERSONALIDAD.-----

---- El señor **SERGIO LOPEZ AGUILAR**, me acredita su carácter de Presidente del consejo de administración y Delegado Especial de la persona moral denominada "**CASCADA DEL VELO DE NOVIA**", **SOCIEDAD DE SÓLIDARIDAD SOCIAL**", con la misma acta de asamblea que se protocoliza de fecha 14 Catorce del mes de Marzo del 2015 Dos Mil Quince, datos que se tienen aquí por reproducidos como si se insertase a la letra.-----

-----GENERALES.-----

---- El señor **SERGIO LOPEZ AGUILAR**, manifestó haber nacido el día quince de enero de mil novecientos setenta y nueve, casado, vigilante, mexicano por nacimiento, de padres mexicanos, originario de Tzimol Chiapas y vecino de Socoltenango, Chiapas, con domicilio ubicado en Colonia



Lic. Vicente Gerardo Pensamiento Maldonado

NOTARIO PUBLICO No. 20 DEL ESTADO Y DEL PATRIMONIO DEL INMUEBLE FEDERAL

El Sabinat de paso por esta ciudad, quien se identifica con su credencial para votar folio 0000100667566 (cero, cero, cero, cero, uno, cero, cero, seis, seis, siete, cinco, seis, seis), expedida por el Instituto Federal Electoral, con su fotografía al margen,-----

FE NOTARIAL

YO, EL NOTARIO, BAJO MI FE, HAGO CONSTAR: -----

I.- De la verdad del acto.-----

II.- Que tuve a la vista el original del Acta de Asamblea de la mencionada sociedad, que se protocoliza, misma que mando agregar a mi apéndice de este instrumento bajo la letra "H".-----

III.- De que el compareciente no es de mi personal conocimiento, por lo que se identifica con su credencial correspondiente, misma que mando agregar a mi apéndice en copia fotostática bajo la letra "I".-----

IV.- Que el compareciente en mi concepto tiene plena capacidad legal y necesaria para otorgar el presente acto jurídico, pues nada en contrario me consta.-----

V.- que para cumplir con lo dispuesto por el octavo párrafo del artículo 27 veintisiete del Código Fiscal de la Federación, hago constar que le solicite al compareciente que me proporcionara la clave del Registro Federal de Contribuyentes y la Cédula de Identificación Fiscal o la Constancia de Registro Fiscal correspondiente de los socios fundadores, mismos de que no me exhiben ninguno de los documentos anteriores por lo tanto procederé a dar aviso a que se refiere el Artículo 24 Veinticuatro del Reglamento del Código Fiscal de la Federación.-----

VI.- De que advertí al compareciente la obligación que tiene de presentar la presente escritura y las anteriores para su inscripción al Registro Agrario Nacional que le corresponda.-----

VII.- De que habiéndole leído este instrumento al compareciente y explicado el valor y alcance legal de su contenido, manifestó su conformidad con el mismo, lo ratifica y firma en comprobación el mismo día de su otorgamiento.- DOY FE.-----

COMPARECIENTE.- SR. SERGIO LOPEZ AGUILAR.- Firmado.- ANTE MÍ.- LICENCIADO VICENTE GERARDO PENSAMIENTO MALDONADO.- Firmado.- MI SELLO DE AUTORIZAR.-----

AUTORIZACION DEFINITIVA

Con esta fecha queda autorizado definitivamente el instrumento que antecede, en la ciudad de Comitán de Domínguez, Chiapas a los 24 veinticuatro días del mes de Marzo del año 2015 Dos Mil Quince.- ANTE MI.- LIC. VICENTE GERARDO PENSAMIENTO MALDONADO.- Firmado.- MI SELLO DE AUTORIZAR.-----

INSERCIÓN

CONVOCATORIA

A TODOS LOS SOCIOS DE LA PERSONA MORAL DENOMINADA "CASCADA DEL VELO DE NOVIA" S DE S.S. PARA QUE ASISTAN A UNA ASAMBLEA GENERAL EXTRAORDINARIA QUE TENDRÁ VERIFICATIVO EL DÍA 14 DE MARZO DEL AÑO 2015 A PARTIR DE LAS 12:00 HORAS, EN EL DOMICILIO SOCIAL DE LA SOCIEDAD; MISMA QUE ESTARÁ SUJETA AL SIGUIENTE: ---

ORDEN DEL DIA

- 1. NOMBRAMIENTO DE LA MESA DE DEBATES Y APROBACION DE LA ORDEN DEL DIA. --
2. LISTA DE ASISTENCIA Y REPRESENTACION PROPORCIONAL DE LOS CERTIFICADOS DE APORTACION.-----

- 3.- BAJA Y ALTA DE SOCIOS.-----
- 4.- NOMBRAMIENTO DE UN NUEVO INTEGRANTE DEL CONSEJO DE VIGILANCIA.-----
- 5.- NOMBRAMIENTO DEL DELEGADO ESPECIAL -----
- 6.- CLAUSURA DE ASAMBLEA. -----

---- POR SER ESTA PRIMER CONVOCATORIA Y DE SUMA IMPORTANCIA, LOS ASUNTOS A TRATAR, SE LES RECOMIENDA A TODOS LOS INTERESADOS A SU PUNTUAL ASISTENCIA. --

---- ANEXO EL SABINAL, MUNICIPIO DE SOCOLTENANGO, CHIAPAS A 25 DE MARZO DE 2015.

---- **A T E N T A M E N T E.- CONSEJO DE ADMINISTRACION.-** C. SERGIO LOPEZ AGUILAR.- PRESIDENTE.- Firmado.- C. GENARO AGUILAR MORENO.- SECRETARIO.- Firmado.- C. ARBEY MORALES AGUILAR.- TESOREO.- Firmado.-----

-----**ACTA DE ASAMBLEA GENERAL EXTRAORDINARIA DE SOCIOS**-----

---- ANEXO EL SABINAL MUNICIPIO DE SOCOLTENANGO, CHIAPAS, MEXICO, SIENDO LAS DOCE HORAS DEL DIA **14 DE MARZO DEL 2015**, REUNIDOS EN EL DOMICILIO SOCIAL DE LA PERSONA MORAL DENOMINADA "**CASCADA DEL VELO DE NOVIA**" S DE S.S., SE REUNIERON LOS SOCIOS DE LA PERSONA MORAL, CON EL OBJETO DE CELEBRAR UNA ASAMBLEA GENERAL EXTRAORDINARIA DE SOCIOS, PARA LA CUAL FUERON CONVOCADOS PREVIAMENTE POR EL CONSEJO DE ADMINISTRACION DE LA SOCIEDAD, Y PARA TRATAR LOS PUNTOS CONTENIDOS EN EL SIGUIENTE:-----

-----**ORDEN DEL DIA** -----

- 1. NOMBRAMIENTO DE LA MESA DE DEBATES Y APROBACION DE LA ORDEN DEL DIA. --
- 2. LISTA DE ASISTENCIA Y REPRESENTACION PROPORCIONAL DE LOS CERTIFICADOS DE APORTACION.-----
- 3.- BAJA Y ALTA DE SOCIOS.-----
- 4.- NOMBRAMIENTO DE UN NUEVO INTEGRANTE DEL CONSEJO DE VIGILANCIA.-----
- 5.- NOMBRAMIENTO DEL DELEGADO ESPECIAL -----
- 6.- CLAUSURA DE ASAMBLEA. -----

---- **PRIMER PUNTO.-** SE PROCEDE AL NOMBRAMIENTO DE LA MESA DE DEBATES, DESIGNANDOSE COMO PRESIDENTE DE LA ASAMBLEA AL C. SERGIO LOPEZ AGUILAR, ASI COMO POR UNANIMIDAD DE VOTOS DE LOS PRESENTES SE APRUEBA EL ANTERIOR ORDEN DEL DIA Y SE DECLARA QUE ESTA ASAMBLEA ES DE CARÁCTER EXTRAORDINARIO.-----

---- **SEGUNDO PUNTO.-** EL PRESIDENTE PROCEDE A PASAR LISTA DE ASISTENCIA Y CERTIFICA QUE CON BASE EN EL ESCRUTINIO REALIZADO SE DEMUESTRA QUE EL CAPITAL SOCIAL SE ENCUENTRA AL 100% REPRESENTADO Y EN CONSECUENCIA EL PRESIDENTE DECLARA LEGALMENTE INSTALADA LA ASAMBLEA Y SE TIENEN COMO VALIDOS TODOS LOS ACUERDOS QUE EN ELLA SE TOMEN, EN LOS TERMINOS DE LEY. ----

---- **TERCER PUNTO.-** EN ESTÉ PUNTO DEL ORDEN DEL DIA EL PRESIDENTE DE LA MESA DE DEBATES, LES HACE MENCION A LOS PRESENTES QUE ES NECESARIO DAR DE BAJA A LA **SRA. CIELO MORALES AGUILAR** PORQUE ELLA YA NO ESTA PARTICIPANDO EN LAS ACTIVIDADES QUE SE LLEVAN ACABO EN LA SOCIEDAD POR LO MISMO DESPUES DE LLEGAR A UN ACUERDO DE ACEPTA LA BAJA DE LA **SRA. CIELO MORALES AGUILAR**



Lic. Vicente Gerardo Pensamiento Maldonado

NOTARIO PUBLICO No. 20 DEL ESTADO Y DEL PATRIMONIO DEL INMUEBLE FEDERAL

QUIEN DESDE ESTE MOMENTO DEJA DE PERTENECER A LA SOCIEDAD SIN NINGUN DERECHO NI TAMPOCO OBLIGACION CON LA MISMA; ASI TAMBIEN EL PRESIDENTE DE LA ASAMBLEA EN SUS MANOS TIENE LA SOLICITUD DE UNA PERSONA PARA INGRESAR COMO NUEVO SOCIO A NUESTRA SOCIEDAD POR LO TANTO SE PROCEDE A PONER EN PLENO LA ACEPTACION DEL SR. PEDRO MORALES MORALES; Y DESPUES DE HABER DELIVERADO POR UN RATO SE DIO ENTRADA A LA PERSONA COMO NUEVO SOCIO DE LA PERSONA MORAL DICIENDOLE SUS DERECHOS Y OBLIGACIONES PARA CUMPLIR DENTRO DE LA SOCIEDAD Y UNA VEZ ACEPTADOS LOS TERMINOS SE PROCEDE A TOMAR SUS GENERALES:-----

---- EL SEÑOR PEDRO MORALES MORALES, MANIFESTO HABER NACIDO EL DIA 27 DE ABRIL DE 1956, ORIGINARIO DE OCHUSJOB MUNICIPIO DE TZIMOL CHIAPAS Y VECINO DE LA LOCALIDAD EL SABINAL MUNICIPIO DE SOCOLTENANGO, CHIAPAS, CON DOMICILIO UBICADO EN EJIDO EL SABINAL DEL MISMO MUNICIPIO.-----

----CUARTO PUNTO.- EN ESTE PUNTO DEL ORDEN DEL DIA EL PRESIDENTE DE LA ASAMBLEA HACE MENCION A LOS SOCIOS PRESENTES DE QUE ES NECESARIO PARA EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA SOCIEDAD NOMBRAR AL NUEVO INTEGRANTE DEL DECONSEJO DE VIGILANCIA POR LO TANTO ESTANDO DE ACUERDO SE PROCEDE A NOMBRAR AL NUEVOS INTEGRANTE DEL CONSEJO DE VIGILANCIA EL SEÑOR PEDRO MORALES MORALES QUIÉN OCUPARA SU CARGO DE LA SOCIA CIELO MORALES AGUILAR, QUEDANDO INTEGRADO LOS CONSEJOS DE LA SIGUIENTE MANERA:-----

-----CONSEJO DE ADMINISTRACION:-----

- PRESIDENTE: SERGIO LOPEZ AGUILAR -----
- SECRETARIO: GENARO AGUILAR MORENO-----
- TESORERO: ARBEY MORALES AGUILAR -----
- PRIMER VOCAL: EUGENIO LOPEZ MORENO.-----
- SEGUNDO VOCAL: RENE LOPEZ AGUILAR.-----
- TERCER VOCAL: JUAN AGUILAR MORENO-----

-----CONSEJO DE VIGILANCIA:-----

- PRESIDENTE: SUSANO LOPEZ MORENO-----
- SECRETARIO: JAIME AGUILAR MORENO-----
- TESORERO: SAMUEL LOPEZ MORENO-----
- PRIMER VOCAL: ALFREDO MORALES AGUILAR.-----
- SEGUNDO VOCAL: ORLANDO LOPEZ AGUILAR.-----
- TERCER VOCAL: PEDRO MORALES MORALES-----

QUEDANDO DESDE EL DIA DE HOY OCUPANDO SUS PUESTOS EN REPRESENTACION DE LA SOCIEDAD-----

----QUINTO PUNTO.- SE DESIGNA AL DELEGADO ESPECIAL, PARA QUE ACUDA ANTE NOTARIO PUBLICO DE SU ELECCION A PROTOCOLIZAR LA PRESENTA ACTA Y REALICE LOS TRAMITES PERTINENTES, PARA TAL CARGO SE DESIGNAN AL C. SERGIO LOPEZ AGUILAR EN SU CARÁCTER DE PRESIDENTE DEL CONSEJO DE ADMINISTRACION.-----

----SEXTO PUNTO.- EN EL DESAHOGO DE ESTE PUNTO, EL PRESIDENTE MANIFIESTA QUE AL NO HABER OTROS ASUNTOS QUE DISCUTIR Y APROBAR, SE DA POR TERMINADA LA PRESENTE ASAMBLEA A LAS 14 HORAS DEL MISMO DÍA DE SU INICIO, LEVANTANDOSE ESTA ACTA PARA

Colgado



CONSTANCIA DE LOS ACUERDOS TOMADOS, LA CUAL UNA VEZ LEIDA FUE APROBADA POR TODOS LOS QUE INTERVINIERON.

-----LISTA DE SOCIOS DE LA PERSONA MORAL "CASCADA VELO DE NOVIA" S DE S.S.-----

No.	NOMBRE	FIRMA Y/O HUELLA DIGITAL
1	ALFREDO MORALES AGUILAR	.-Firmado.-
2	ANTONIO AGUILAR MORENO	.-Firmado.-
3	ARBEBY MORALES AGUILAR	.-Firmado.-
4	ELISEO LOPEZ AGUILAR	.-Firmado.-
5	ELVIRO LOPEZ MORENO	.-Firmado.-
6	EUGENIO LOPEZ MORENO	.-Firmado.-
7	GENARO AGUILAR MORENO	.-Firmado.-
8	JAIME AGUILAR MORENO	.-Firmado.-
9	JUAN NATIVIDAD AGUILAR MORENO	.-Firmado.-
10	LAURA AGUILAR MORENO	.-Huella.-
11	ORLANDO LOPEZ AGUILAR	.-Ausente.-
12	RENE LOPEZ AGUILAR	.-Firmado.-
13	SAMUEL LOPEZ MORENO	.-Firmado.-
14	SERGIO LOPEZ AGUILAR	.-Firmado.-
15	SUSANA LOPEZ MORENO	.-Firmado.-
16	ZENAIDA MORENO MORALES	.-Huella.-

-----SOCIO DE NUEVO INGRESO-----

No.	NOMBRE	FIRMA Y/O HUELLA DIGITAL
17	PEDRO MORALES MORALES	.-Firmado.-

-----SOCIO QUE SE DA DE BAJA Comitán de Domínguez, Chiapas a 13 de Marzo del 2015.-----

-----ASUNTO: RENUNCIA VOLUNTARIA.-----

-----C. SERGIO LOPEZ AGUILAR.- Presidenta del Consejo Directivo De la Persona Moral.-----

-----"CASCADA VELO DE NOVIA" S DE SS.-----

-----P R E S E N T E.-----

-----El que suscribe la Sra. CIELO MORALES AGUILAR a través de la presente, hago mi formal RENUNCIA VOLUNTARIA como SOCIA de la Persona Moral Denominada "CASCADA VELO DE NOVIA" S DE SS Con la fecha que en el encabezado aparece y en lo sucesivo no tendré parte ni en los derechos ni en las obligaciones dentro de la citada sociedad y quien se hará cargo de dicho derecho será el C. PEDRO MORALES MORALES.-----

-----Esperando que mi Renuncia Voluntaria sea aceptada por parte de los socios y por los Consejos y Coordinaciones de esta Sociedad, quedo de usted.-----

-----Respetuosamente.- SRA. CIELO MORALES AGUILAR.-Firmado.------

-----PARA CUMPLIR CON LO DISPUESTO POR EL ARTICULO DOS MIL QUINIENTOS VEINTIOCHO DEL CODIGO CIVIL VIGENTE EN EL ESTADO DE CHIAPAS Y SU CORRELATIVO EL ARTÍCULO 2554 DEL CODIGO CIVIL FEDERAL, A CONTINUACION SE TRANSCRIBE:-----

-----ART. 2528: EN TODOS LOS PODERES GENERALES PARA PLEITOS Y COBRANZAS, BASTARÁ QUE SE DIGA QUE SE OTORGA CON TODAS LAS FACULTADES GENERALES Y LAS ESPECIALES QUE REQUIERAN CLÁUSULA ESPECIAL CONFORME A LA LEY, PARA QUE SE ENTIENDAN CONFERIDOS SIN LIMITACIÓN ALGUNA-----



Lic. Vicente Gerardo Pensamiento Maldonado

NOTARIO PUBLICO No. 20 DEL ESTADO Y DEL PATRIMONIO DEL INMUEBLE FEDERAL

---EN LOS PODERES GENERALES PARA ADMINISTRAR BIENES, BASTARÁ EXPRESAR QUE SE DAN CON ÉSE CARÁCTER, PARA QUE EL APODERADO TENGA TODA CLASE DE FACULTADES ADMINISTRATIVAS.-----

---EN LOS PODERES GENERALES, PARA EJERCITAR ACTOS DE DOMINIO, BASTARÁ QUE SE DEN CON ÉSE CARÁCTER PARA QUE EL APODERADO TENGA TODAS LAS FACULTADES DE DUEÑO, TANTO EN LO RELATIVO A LOS BIENES, COMO PARA HACER TODA CLASE DE GESTIONES A FIN DE DEFENDERLOS.-----

---CUANDO SE QUISIEREN LIMITAR, EN LOS TRES CASOS ANTES MENCIONADOS, LAS FACULTADES DE LOS APODERADOS, SE CONSIGNARÁN LAS LIMITACIONES O LOS PODERES SERÁN ESPECIALES.-----

---ES PRIMER TESTIMONIO QUE SE SACA DE SU ORIGINAL, VÁ EN CUATRO HOJAS UTILES, MARCADAS CON MI SELLO DE AUTORIZAR, Y LO EXPIDO A FAVOR DE LA PERSONA MORAL DENOMINADA "CASCADA DEL VELO DE NOVIA" SOCIEDAD DE SOLIDARIDAD SOCIAL, DESPUES DE HABERLO COTEJADO DEBIDAMENTE SIN CORRECCIÓN ALGUNA, DEJANDO RAZON EN SU MATRIZ DE HABERSE EXPEDIDO EN LA CIUDAD DE COMITAN DE DOMINGUEZ, CHIAPAS, MEXICO, A LOS 24 VEINTICUATRO DIAS DEL MES DE MARZO DEL AÑO 2015 DOS MIL QUINCE.- DOY FE.-----

Cobrado



[Handwritten Signature]

LIC. VICENTE GERARDO PENSAMIENTO MALDONADO.



Anexo B.4 Reporte fotográfico



Fig. Anexo B.15 Ubicación de la bocatoma en el centro ecoturístico el chiflón.



Fig. Anexo B.16 Ubicación de la tubería de conducción en el centro ecoturístico en chiflón.



Fig. Anexo B.16 Ubicación del tanque de presión en el centro ecoturístico en chiflón.



Fig. Anexo B.17 Ubicación del casa de máquinas en el centro ecoturístico en chiflón.

Referencias

- [1] Antonio Roque, Duarte M. Sousa (Miembro de IEEE), Claudio Casimiro y Elmano Margato. Centro de Innovación en Ingeniería Eléctrica y Energía. “Análisis técnico y económico de una micro central hidroeléctrica”. IEEE, Transactions on Power Energy, 2010.
- [2] Issam Salhi, Mohammed Chennani, Said Doubabi y Nabil Ezziani. Facultad de Ciencia y Tecnología de Marrakesh. “Modelado y Regulación de una Micro Central Hidroeléctrica”. IEEE, Transactions on Power Energy, 2008.
- [3] Petr Chlebis, Martin Sobek, Katerina Baresova, Departamento de Electronica, Facultad de Ingeniería Eléctrica, República Checa. “Apoyo de las zonas periféricas de la región de Moravia-Silesia que utilizan las plantas de energía de micro-hidroeléctricas”. IEEE, Transactions on Power Energy, 2014.
- [4] C. Marinescu, Serban, I. (Miembros de la IEEE). Universidad de Transilvania, Brasov, Rumania. Departamento de Ingeniería Eléctrica de Rumania. “Análisis de Estabilidad de Frecuencia en una Micro Red Autónoma Residencial a partir de una Turbina de viento y de una Micro Central Hidroeléctrica”. IEEE, Transactions on Power Energy, 2009.
- [5] B. Varun Nair, Matson Mathew, Albin Joseph, Lisha K. Shaji, Anith Krishnan, Jijo Balakrishnan y Dr. Thomaskutty Mathew, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Colegio de Ingeniería, Kidangoor, Kerala, India. “Diseño de una Micro Central Hidroeléctrica usando un Motor de Inducción como Generador”. IEEE.
- [6] R. Magureanu, M. Albu, V. Bostan. Universidad Politécnica de Rumania. “Pequeñas Redes Inteligentes con Integración a Pequeñas Fuentes Hidroeléctricas Dispersas”. IEEE, Transactions on Power Energy, 2010.
- [7] C. Marinescu (miembro de la IEEE) y I. Serban (miembro de la IEEE) Universidad de Transilvania, Brasov, Rumania. “Control de Frecuencia Robusto para una Micro-red Autónoma de Aire/Agua”. IEEE, Transactions on Power Energy, 2011.
- [8] L. belhadji, S. Bacha y D. Roye, Instituto de Tecnología de Grenoble, Francia. “Control de Potencia Directa de una Micro Central Hidroeléctrica de Velocidad Variable basado en una Turbina de Hélice”. IEEE, Transactions on Power Energy, 2012.

[9] Dariusz Borkowski y Tomasz Wegiel, Instituto de Conversión de Energía Electromecánica, Universidad de Tecnología de Cracow, Polonia. “Pequeña Central Hidroeléctrica con Integración de Turbina-Generador Trabajando a Velocidad Variable”. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2013.

[10] Omar Bottesi y Luigi Alberti, Facultad de Ciencia y Tecnología, Free University of Bozen-Bolzano, Italy. “Diseño de un Pequeño Generador para las Plantas de Energía Micro Hidroeléctrica de Velocidad Variable”. IEEE, Transactions on Power Energy, 2014.

[11] Lakhdar Belhadji, Seddik Bacha, Iulian Munteanu, Rumeau y Daniel Roye. Grenoble Electrical Engineering Laboratory, France. “MPPT Adaptativo aplicado a una Micro Central Hidroeléctrica de Velocidad Variable”. IEEE, Transactions on Energy Conversion, 2013.