

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA PARA EL MONTAJE
DE MICROGENERADORES DE ENERGÍA, IMPULSADOS POR PEQUEÑAS
CAÍDAS DE AGUA, PARA ZONAS DESCUBIERTAS POR LA RED ELÉCTRICA
NACIONAL**

HUGO FERNANDO OLAYA ARDILA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMECAICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA PARA EL MONTAJE
DE MICROGENERADORES DE ENERGÍA, IMPULSADOS POR PEQUEÑAS
CAÍDAS DE AGUA, PARA ZONAS DESCUBIERTAS POR LA RED ELÉCTRICA
NACIONAL**

HUGO FERNANDO OLAYA ARDILA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Civil**

**Director
ÁLVARO EFRÉN DÍAZ SEDANO
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMECAICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a mis padres y a todas las personas participes del presente proyecto, por haber hecho parte de este proceso tan importante en mi vida

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|-------------|
| INTRODUCCIÓN | 15 |
| 1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 17 |
| 2. JUSTIFICACIÓN | 18 |
| 3. OBJETIVOS | 19 |
| 3.1 OBJETIVO GENERAL | 19 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 19 |
| 4. ASPECTOS TEÓRICOS | 21 |
| 4.1 FUENTES DE ENERGÍA | 21 |
| 4.2 TURBINA | 26 |
| 4.3 TIPOS DE TURBINAS HIDRÁULICAS | 30 |
| 4.4. TURBINAS PELTON | 31 |
| 4.4.1 Turbinas Francis | 32 |
| 4.4.2 Turbinas Kaplan | 34 |
| 4.5 CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS | 35 |
| 4.6 POTENCIA DE UNA TURBINA HIDRÁULICA | 37 |
| 4.7 CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS | 37 |
| 4.8 TIPOS DE CENTRALES | 39 |
| 4.9 RUEDA PELTON | 41 |
| 4.9.1 Aplicaciones | 42 |
| 5. ESQUEMA TEMÁTICO | 45 |
| 5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA | 45 |
| 5.1.1 Localización | 45 |
| 5.1.2 Coordenadas El cañón de las Hermosas | 45 |
| 5.1.3 Parámetros | 50 |
| 5.1.4 Descripción del lugar donde se realizará el proyecto | 51 |

| | |
|---|----|
| 5.1.5 Descripción del área | 52 |
| 5.1.6 Clima | 52 |
| 5.1.7 Altitud | 52 |
| 5.1.8 Morfodinámica | 52 |
| 5.1.9 Índices Morfométricos | 53 |
| 6. DISEÑO HIDRÁULICO | 55 |
| 6.1 ÁREA DE LA TUBERÍA | 55 |
| 6.2 VELOCIDAD (m /seg): | 55 |
| 6.3 CAUDAL | 56 |
| 6.4 FLUJOS EN TUBERÍAS | 56 |
| 7. DISEÑO MECÁNICO | 62 |
| 7.1 TURBINA PELTON | 62 |
| 7.1.1 Criterio de selección | 62 |
| 7.1.2 Dimensiones de la cuchara | 63 |
| 7.1.3 Fuerzas en la cuchara | 64 |
| 7.1.4 Fuerza producida por el chorro | 64 |
| 7.1.5 Torque | 64 |
| 7.2 CRITERIOS PARA LA POLEA | 65 |
| 7.3 OPERACIÓN DEL SISTEMA | 65 |
| 8. CRITERIO DE SELECCIÓN DE CONFIGURACIÓN | 66 |
| 8.1 UNIDADES DE RODAMIENTO | 66 |
| 8.1.1 fijación al eje | 66 |
| 8.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE UNIDAD | 66 |
| 8.3 TUBERÍA PVC | 67 |
| 9. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | 68 |
| 9.1 ASPECTOS TÉCNICOS | 68 |
| 10. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN | 69 |
| 10.1 DESCRIPCIÓN | 69 |
| 10.2 MATERIALES | 69 |
| 10.2.1 Cemento | 69 |

| | |
|---|----|
| 10.2.2 Agregado fino | 69 |
| 10.2.3 Agregado grueso | 70 |
| 10.2.4 Agua | 70 |
| 10.3 EQUIPO | 70 |
| 10.4 UBICACIÓN | 70 |
| 11. RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES. | 71 |
| 11.1 FUENTES DE ENERGÍA | 71 |
| 11.2 EL PORQUÉ DE LA LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS. | 72 |
| 11.3 ENERGÍA SOLAR PARA LA PRODUCCIÓN DE CALOR Y ELECTRICIDAD. | 72 |
| 11.3.1 Ventajas y desventajas del uso de energía solar para calefacción y calentamiento del agua. | 73 |
| 11.4 PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE AGUA EN MOVIMIENTO Y DEL CALOR ALMACENADO EN AGUA | 74 |
| 11.4.1 Energía hidroeléctrica | 74 |
| 11.4.2 Ventajas y desventajas de la energía hidroeléctrica. | 75 |
| 11.5 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE UN GENERADOR DIESEL | 76 |
| 11.5.1 Principio de Funcionamiento | 76 |
| 11.5.2 Ventajas y desventajas | 77 |
| 11.6 DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA | 78 |
| 11.6.1 Líneas Eléctricas | 78 |
| 11.6.2 Estaciones eléctricas | 79 |
| 11.6.3 Consejos De Ahorro De Energía | 79 |
| 11.6.4 Especificaciones Técnicas Para Las Instalaciones Eléctricas | 80 |
| 11.6.5 La Electricidad Desde El Generador Hasta Su Hogar | 82 |
| 12. PRESUPUESTO DE IMPLEMENTACIÓN | 86 |
| 13. COSTO DE PRODUCCIÓN | 89 |
| 14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 93 |
| BIBLIOGRAFÍA | 95 |
| ANEXOS | 96 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | Pág. |
|---|------|
| Grafico 1. Esquema de una hidroeléctrica | 22 |
| Grafico 2. Esquema de una hidroeléctrica en planta. | 23 |
| Grafico 3. Turbina hidráulica. (Motor hidráulico) | 26 |
| Grafico 4. Conjunto turbina-generador. (Grupo) | 27 |
| Grafico 5. – Componentes esenciales de una turbina hidráulica. | 28 |
| Grafico 6. – Diferencia de nivel existente entre la entrada y la salida del agua de alimentación a una turbina. | 29 |
| Grafico 7. - Tipos de turbinas | 30 |
| Grafico 8. Funcionamiento de la turbina PELTON | 32 |
| Grafico 9– Turbina Francis de eje horizontal. | 33 |
| Grafico 10. – Turbina Francis de eje vertical | 34 |
| Grafico 11. - Diferencia en caudales. | 35 |
| Grafica 12. Instalación común de una turbina PELTON con dos inyectores | 44 |
| Grafico 13. Esquema de la rueda PELTON | 44 |
| Grafico 14. Cobertura energética del país | 46 |
| Grafico 15. Cobertura energética del Tolima | 47 |
| Grafico 16. Ubicación del presente proyecto | 48 |
| Grafico 17. Cobertura nacional | 48 |
| Grafico 18. Cobertura Departamental | 49 |
| Grafico 19. Cobertura Municipal | 49 |
| Grafico 20. Cobertura Zona | 50 |
| Grafico 21. Dimensiones de la cuchara | 63 |
| Grafico 22. Ejemplo De Una Planta Central Eléctrica: | 81 |
| Grafico 23. Costo de implementación | 91 |
| Grafico 24. Costo de Kw/h | 92 |
| Grafico 25. Comparación de costos | 92 |

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Fotografía 1. Rueda de Pelton | 41 |
| Fotografía 2. Rodete y cuchara de una turbina PELTON | 43 |
| Fotografía 3. Turbina PELTON y alternador | 43 |
| Fotografía 4. Celdas solares | 72 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Clasificación de las fuentes de energía | 24 |
| Tabla 2. Parámetros de la cuenca | 50 |
| Tabla 3. Comparación del impacto ambiental de las diferentes formas de producir electricidad (en Toneladas por Gwh producido): | 71 |
| Tabla 4. Dimensiones de transformadores | 82 |
| Tabla 5. Costos de la implementación de energía solar para la producción de calor y electricidad. | 86 |
| Tabla 6. Costo de implementación de electricidad a partir de agua en movimiento | 87 |
| Tabla 7. Costo de implementación de energía a partir de un generador DIESEL | 88 |
| Tabla 8. Costo de implementación de la energía por redes eléctricas | 88 |
| Tabla 9. Costo de producción (generación de energía por paneles solares) | 89 |
| Tabla 10. Costo de producción (generación de energía a partir de agua en movimiento) | 89 |
| Tabla 11. Costo de producción (generación de energía a partir de un generador DIESEL) | 90 |
| Tabla 12. Costo de producción (generación de energía a partir de líneas eléctricas) | 91 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|-------------------------------|-------------|
| ANEXO A. Registro fotográfico | 96 |

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA PARA EL MONTAJE DE MICROGENERADORES DE ENERGÍA, IMPULSADOS POR PEQUEÑAS CAÍDAS DE AGUA, PARA ZONAS DESCUBIERTAS POR LA RED ELÉCTRICA NACIONAL

AUTOR: HUGO FERNANDO OLAYA ARDILA**

PALABRAS CLAVES: Pelton, Generador, Energía, Microgeneración, Rueda

DESCRIPCIÓN

En el presente proyecto hemos estudiado la factibilidad para implementar diferentes opciones generadoras de energía para las familias que habitan las zonas remotas del país y que no cuentan con la cobertura por parte de la red eléctrica nacional.

Hemos buscado determinar la viabilidad técnica y financiera de micro generadores de energía como la rueda pelton para encontrar la solución de mayor conveniencia para las familias del campo que cuentan con un mínimo recurso hídrico.

Con el apoyo financiero y el aporte de su fuerza de trabajo logramos implementar una turbina tipo pelton en zona montañosa del sur del Tolima bajo la jurisdicción del municipio de Chaparral, después de un largo trabajo por razones de ubicación geográfica y sociopolítica del área logramos culminar con éxito la empresa propuesta, obteniendo nuestro principal objetivo el cual era llevar energía eléctrica a un lugar en las montañas Colombianas.

Después de lograr el objetivo principal establecimos las diferencias económicas para la implementación de distintos tipos de energía para el área analizada, de dichos estudios y comparaciones logramos establecer cómo se intuyó en un principio que la opción más viable y confiable era la generación eléctrica a través de turbinas tipo pelton movidas con una pequeña cantidad de agua.

Con el trapajo puesto en marcha a quedado la gran satisfacción de haber puesto un poco de conocimiento en Ingeniería al servicio de una familia campesina, no hay mayor recompensa que percibir el impacto positivo que la luz eléctrica puede tener en toda una sociedad. Agradecimiento a la familia Ceballos Gaviria por su hospitalidad y largas horas de trabajo en la ejecución de este proyecto.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ciencias Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Álvaro Efrén Díaz Sedano. Ingeniero Civil

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF TECHNICAL AND FINANCIAL FEASIBILITY MICROGENERATORS MOUNTING POWER, DRIVEN BY SMALL WATERFALLS, FOR AREAS DISCOVERED BY THE NATIONAL GRID

AUTHOR: HUGO FERNANDO OLAYA ARDILA **

KEYWORDS: Pelton, Generator, Energy, Microgeneration, Wheel

DESCRIPTION

In this project we have studied the feasibility of implementing different power generation options for families living in the remote areas and who do not have coverage by the national grid.

We search to determine the technical and financial viability of micro power generators, such as the pelton wheel to find the most convenient solution for rural families that have minimal water resources.

With financial support and contribution of its workforce, we implemented a Pelton turbine in a mountainous area in southern Tolima under the jurisdiction of the municipality of Chaparral, which was a difficult task due to geographical and socio-political problems, we were still able to successfully culminate our proposed business goals, achieving our main objective which was to bring electricity to a place in the Colombian mountains.

After achieving our main objective, we established economic differences for the implementation of different types of energy to the area analyzed, and in comparing these studies, we established our initial intuition that the most viable and reliable electricity generation was through pelton turbines driven with a small amount of water.

With the project being launched to the great satisfaction of having put some knowledge in engineering at the service of a peasant family, there is no greater reward than to perceive the positive impact that electrical power can have throughout a society. We appreciate the Ceballos Gaviria family for their hospitality and working long hours in the execution of this project.

* Degree work

** Faculty of Physics and mechanics. School of Civil Engineering. Director: Alvaro Efren Diaz Sedano. Civil Engineer

INTRODUCCIÓN

En todos los países del mundo, la energía eléctrica juega un papel Fundamental en el desarrollo y el nivel de vida de cada nación, pues, gracias a ella es posible acceder a los diferentes adelantos tecnológicos que el hombre va creando con el transcurrir de los tiempos.

Razón por la cual en los últimos años se ha incrementado la demanda energética por parte del sector industrial y residencial urbano y por otro lado se encuentra parte del sector rural que se ha visto abandonado de las bondades del suministro eléctrico, ya sea por su ubicación geográfica o por descuido gubernamental, sea cual fuese la causa, el presente estudio se concentra en aquellas regiones, que cuentan con ciertas características especiales o ventajas , como contar con recursos hídricos apropiados para poder generar energía a costos relativamente bajos.

Un aspecto motivador muy especial en el presente trabajo es la experiencia ya vivida, al hacer el montaje preliminar del generador y obtener un potencial aproximado a los 600 vatios, no hubo mayor recompensa que la satisfacción de ver las caras de las personas que colaboraron en toda la operación de transporte de la rueda PELTON, los ejes, el generador, los que hicieron la toma de agua para alimentar la rueda, todo este gran esfuerzo se vio recompensado solo con esta pequeña pero significativa potencia, que dejo encender ocho bombillos a media luz, pero que con los respectivos ajustes harán brillar de forma incandescente el filamento de las bombillas, si logramos conseguir un 50% más de potencia daremos un gran paso en una empresa que comenzó con tan solo un sueño de este humilde servidor que pensó en traer la energía eléctrica a una familia y que puede terminar en la consecución del mejoramiento del nivel de vida para toda una región, si logramos la meta de los 900 vatios, estaremos asegurando el uso

de bombillas, televisores, refrigeradores, licuadoras, radiotransmisores, y otro sin número de usos que se logran a partir de la generación eléctrica.

Además llevar a cada unidad familiar del sector rural, pequeñas plantas micro generadoras de energía, a costos bajos de operación y mantenimiento, los cuales puede ser asumidos cómodamente por las familias beneficiadas por el proyecto.

De manera global el presente estudio también concentra su atención en fuentes de energía alterna como los paneles solares, biodigestores, generadores de gasolina y suministro eléctrico a cargo de la red eléctrica nacional, analizando los pros y los contra de estas fuentes como posibles soluciones al problema de falta de fluido eléctrico.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los pobladores del páramo de las Hermosas zona rural de Chaparral Tolima en los límites entre Tolima y Valle del Cauca lugar el cual cuenta con una riqueza hidrográfica, carece del servicio público de energía eléctrica y esto influye en la estabilidad y desarrollo de todos los integrantes de dicha comunidad, desaprovechando totalmente los recursos naturales encontrados en esa región, la cual se encuentra alejada del casco urbano de Chaparral y por lo tanto su difícil acceso y transporte, hace que la cobertura de las entidades encargadas de prestar este servicio no llegue hasta esta población, por lo cual nace la idea de aprovechar su climatología y abundancia de fuentes hídricas para la creación de microgeneradores de energía que suplan la necesidad de quienes habitan en zonas geográficas similares contribuyendo de esta manera al mejoramiento de su nivel de vida.

2. JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta que hoy en día la energía eléctrica o electricidad es un bien necesario para el progreso y desarrollo de la sociedad se puede establecer un estrecho vínculo entre el flujo eléctrico que llaga al hogar y el mejoramiento de las condiciones de vida las cuales se verán impactadas por las nuevas tecnologías como la televisión, radio entre otras, que traerán consigo información a través de estos medios, de forma precisa que permitirá promover los diferentes aspectos socioculturales del núcleo familiar además, cabe resaltar la importancia de establecer una relación de mutuo beneficio entre una comunidad que tal vez nunca ha establecido una relación con la Universidad Industrial de Santander y atreves de proyectos como este establecer presencia institucional con regiones apartadas por barreras geográficas y sociopolíticas, haciéndolas participes por la entidad educativa, a nivel de impacto ambiental cabe resaltar que este método esta denominado como fuente de energía limpia por excelencia junto con la explotación de energía eólica pues se puede considerar que sus subproductos residuales no tendrán ningún tipo de impacto sobre el entorno que lo rodea.

En este proyecto se quiere dar prioridad y enfatizar en la importancia que tiene el recurso hídrico en nuestro país como fuente generadora de progreso y bienestar, en las poblaciones que son beneficiadas por una ubicación geográfica estratégica que le permita explotar a este, es entonces en donde este proyecto hace insistencia en el análisis financiero, para poder concluir lo que intuitivamente se percibe como la fuente energética de más bajos costos. Desde este punto de vista económico debemos recalcar la buena oportunidad de negocio que va implícita en el proyecto ya que de obtener los resultados esperados y tener la aceptación por parte de la comunidad donde se va a realizar este proyecto ganaríamos un mercado con capacidad de pago interesado en el mejoramiento de la calidad de vida.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Hacer un estudio de factibilidad técnico y financiero, además de prestar apoyo técnico y logístico para el montaje y puesta en funcionamiento de turbina(s) generadora(s) de energía tipo PELTON, las cuales pretenden brindar suministro eléctrico a bajos costos de operación y mantenimiento, dependiendo de un máximo aprovechamiento del recurso hídrico con el que se cuenta en la zona de formulación del proyecto, mejorando en gran forma el nivel de vida de las personas beneficiadas por este trabajo.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Participar en la formulación, revisión y asistencia técnica para la ejecución a cabalidad del proyecto de micro generación, en las condiciones más óptimas y bajo los requerimientos técnicos exigidos.
- Identificar y plantear soluciones a los problemas sencillos relacionados con ingeniería civil, presentes en la zona donde se adelanten las labores de instalación de las ruedas PELTON.
- Cuantificar y revisar las cantidades de obra y los análisis de precios unitarios necesarios para los proyectos de infraestructura energética que se presentan a lo largo del trabajo de investigación.
- Asesorar e incentivar a la comunidad para que acudan a la consecución de préstamos blandos con los cuales puedan financiar sus proyectos de micro

generación energética y sean beneficiados en sus hogares y pequeñas empresas familiares.

- Aplicar los conocimientos adquiridos en mecánica e hidráulica para la construcción de la toma de agua alimentadora de la turbina. Ubicada en la quebrada la Arabia vereda san José de las hermosas municipio de chaparral Tolima.
- Elaborar un estudio técnico comparativo conducente a la elaboración de un informe final dirigido a pequeñas comunidades rurales o fincas aisladas, de fácil entendimiento, donde se pueden identificar en un estudio de campo básico inicial , los componentes esenciales para la posible construcción y puesta en funcionamiento de turbinas tipo PELTON (celdas solares, generación con gasolina, biodigestores o conexión a la red energética dada la conveniencia) además de un estimativo aproximado del costo de instalación a partir del proyecto a ejecutar en la hacienda la Arabia.

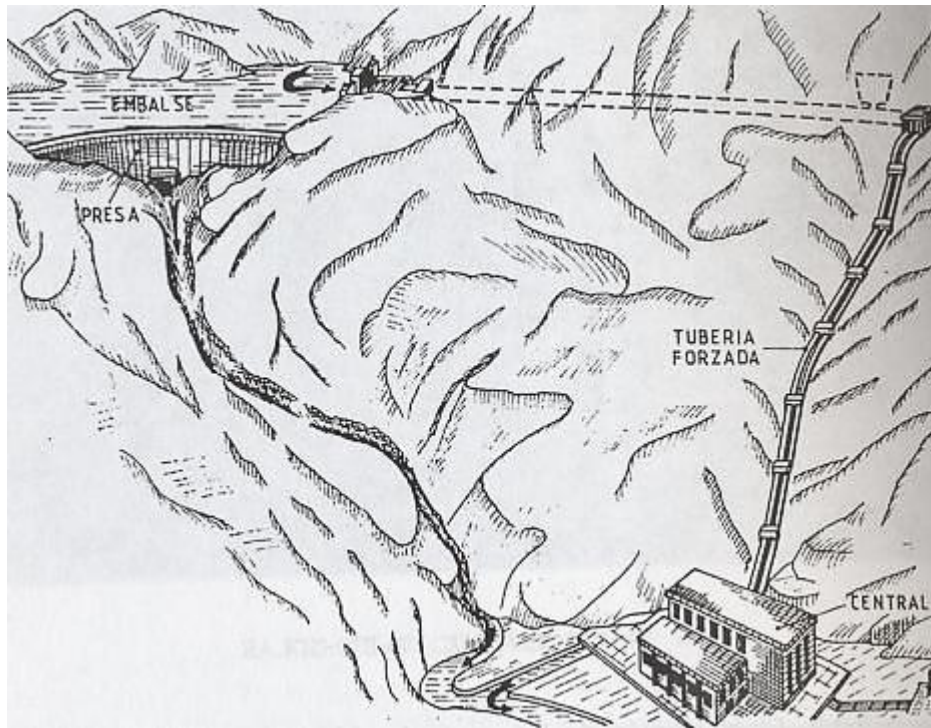
4. ASPECTOS TEÓRICOS

4.1 FUENTES DE ENERGÍA

Las Centrales eléctricas son instalaciones en las que la energía de un fluido se transforma en energía mecánica en un motor, que a su vez la transfiere al eje del rotor de un generador eléctrico, obteniéndose la energía eléctrica correspondiente. Al conjunto formado por el motor-generador se le llama grupo. En las grandes centrales el motor es una turbina (hidráulica, de vapor o gas, según el caso).

En las centrales hidroeléctricas la energía potencial la suministra el agua, para la que se ha buscado, a partir de presas, una cierta elevación respecto a la turbina. Esta elevación puede variar desde 1 metro (grandes caudales) hasta cerca de 2.000 metros (pequeños caudales). Precisamente estos datos son los que van a originar diseños de turbinas muy diferentes.

Grafico 1. Esquema de una hidroeléctrica



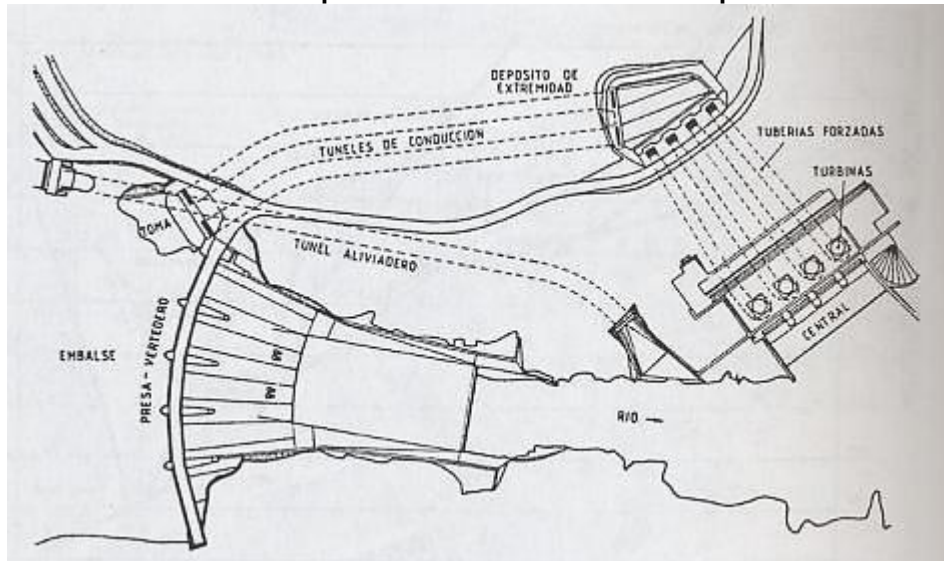
Fuente: ORTIZ, Flórez Ramiro. Pequeñas centrales Hidroeléctricas. MC GRAW-HILL

Las hidroeléctricas se construyen en las cuencas de los ríos. A pesar de su elevado coste de instalación, son las centrales más rentables debido a su bajo costo de explotación; esto suponiendo condiciones pluviométricas favorables. Además no son contaminantes. El problema es que las cuencas están ya muy explotadas y cada vez son más costosas las posibles nuevas instalaciones. De todas formas, en el mejor de los casos las hidroeléctricas no cubren ni mucho menos la demanda actual, por lo que hay que recurrir a otras fuentes de energía primaria.

Ya que la energía eléctrica no puede almacenarse, últimamente se han construido centrales de bombeo, o de acumulación; en las mismas, se eleva agua en horas de bajo consumo, donde existe excedente de energía eléctrica en la red proveniente de otras centrales generadoras y se baja en horas punta, generando de nuevo energía eléctrica; a pesar de las pérdidas correspondientes a esta doble

función, el tema es rentable. El motor eléctrico y la bomba hidráulica de la noche se transforman por la mañana en alternador y turbina respectivamente.

Grafico 2. Esquema de una hidroeléctrica en planta.



Fuente: ORTIZ, Flórez Ramiro. Pequeñas centrales Hidroeléctricas. MC GRAW-HILL

Renovables o agotables

Las fuentes de energía se pueden dividir en dos grandes subgrupos: permanentes (renovables) y temporales (agotables). En principio, las fuentes permanentes son las que tienen origen solar, de hecho todos sabemos que el Sol permanecerá por más tiempo que la especie humana. Aun así, el concepto de renovabilidad depende de la escala de tiempo que se utilice y el ritmo de uso de los recursos. Así pues, los combustibles fósiles se consideran fuentes no renovables ya que la tasa de utilización es muy superior al ritmo de formación del propio recurso.


ENERGÍA DE SUMINISTRO




No se ilumina una habitación sólo pulsando el interruptor de la luz, éste es el último paso de una larga cadena de procesos de conversión. Toda fuente de energía (también denominada energía primaria) sufre una serie de transformaciones en cadena hasta que es utilizada por el usuario. Las tecnologías

de suministro y de uso final son las encargadas de transformar la energía primaria en servicio energético.

La energía hidroeléctrica consiste en dejar caer desde una gran altura una cantidad de agua sobre una turbina, haciendo que éstas giren. Estas turbinas a su vez ponen en movimiento un generador capaz de producir electricidad. Aquí está inmersa la energía potencial de la represa de agua, la cual se transforma en energía cinética al ponerse en movimiento para girar las turbinas, quienes a su vez originan energía eléctrica.

Tabla 1. Clasificación de las fuentes de energía

| Fuentes | Característica |
|--|--|
| <p>Energía fósil</p> | <p>Los combustibles fósiles se pueden utilizar en forma sólida (carbón) o gaseosa (gas natural). Son acumulaciones de seres vivos que vivieron hace millones de años. En el caso del carbón se trata de bosques de zonas pantanosas, y en el caso del petróleo y el gas natural de grandes masas de plancton marino acumuladas en el fondo del mar. En ambos casos la materia orgánica se descompuso parcialmente por falta de oxígeno, de forma que quedaron almacenadas moléculas con enlaces de alta energía.</p> |
| <p>Energía hidráulica</p>  | <p>La energía potencial acumulada en los saltos de agua puede ser transformada en energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas aprovechan energía de los ríos para poner en funcionamiento unas turbinas que arrastran un generador eléctrico.</p> |

| Fuentes | Característica |
|---|---|
| <p data-bbox="315 306 516 390">Energía de la biomasa</p>  | <p data-bbox="545 323 1461 579">La biomasa, desde el punto de vista energético, se considera como el conjunto de la materia orgánica, de origen vegetal o animal, que es susceptible de ser utilizada con finalidades energéticas. Incluye también los materiales procedentes de la transformación natural o artificial de la materia orgánica.</p> |
| <p data-bbox="315 632 516 663">Energía solar</p>  | <p data-bbox="545 674 1461 810">La captación de la radiación solar sirve tanto para transformar la energía solar en calor (térmica), como para generar electricidad (fotovoltaica).</p> |
| <p data-bbox="331 894 505 978">Energía geotérmica</p>  | <p data-bbox="545 905 1461 1157">Parte del calor interno de la Tierra (5.000°C) llega a la corteza terrestre. En algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición, y, por tanto, servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar.</p> |
| <p data-bbox="358 1262 477 1346">Energía nuclear</p> | <p data-bbox="545 1209 1461 1398">El núcleo atómico de elementos pesados como el uranio, puede ser desintegrado (fisión nuclear) y liberar energía radiante y cinética. Las centrales termonucleares aprovechan esta energía para producir electricidad mediante turbinas de vapor de agua.</p> |
| <p data-bbox="318 1440 516 1524">Energía gravitacional</p> | <p data-bbox="545 1440 1461 1524">La atracción del Sol y la Luna que origina las mareas puede ser aprovechada para generar electricidad.</p> |

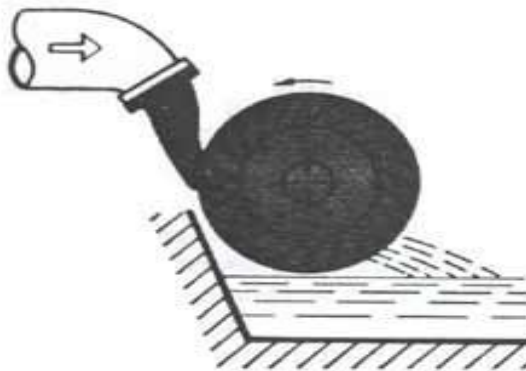
Fuente: Organización DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACION, LA CIENCIA Y LA CULTURA. Programa mundial para la evaluación de recursos naturales hídricos para el desarrollo, el fortalecimiento de capacidades, y el medio ambiente. Disponible en: www.unesco.org. Fecha de consulta: Agosto de 2012

4.2 TURBINA

Por TURBINA, palabra relacionada con el torbellino creado por un fluido, se entiende todo dispositivo mecánico capaz de convertir en trabajo, en la forma de movimiento de rotación, la energía cinética presente en masas de agua, vapor o gas, al encontrarse éstas dotadas de una determinada velocidad de desplazamiento.

La aplicación inmediata del trabajo mecánico desarrollado en la turbina, es la de hacer girar al rotor del generador de energía eléctrica, en el cual se realiza la transformación de la energía mecánica en energía eléctrica. Todo ello, como consecuencia de estar rígidamente unidos, generalmente, los ejes de ambas máquinas, turbina-generador, formando un eje único con el que se obtiene sincronismo de giro entre las mismas, es decir, idéntico número de revoluciones durante espacios de tiempo iguales

Grafico 3. Turbina hidráulica. (Motor hidráulico)

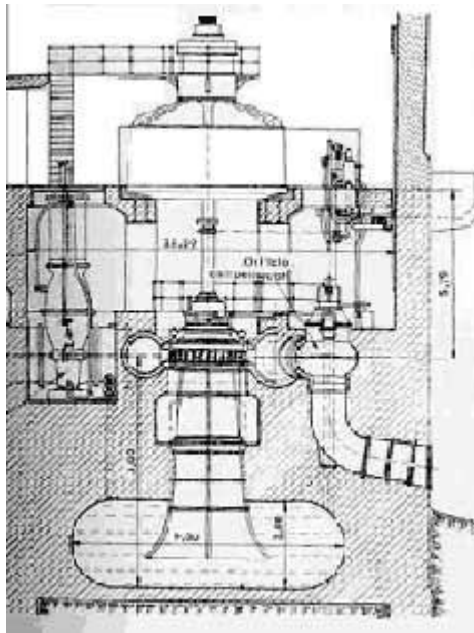


Fuente: VEN TE CHOW. Hidráulica de canales abiertos. MC GRAW-HILL.

En determinadas máquinas, particularmente en las que proporcionan pequeñas potencias y trabajan con poca altura de salto, se suele disponer un multiplicador de velocidad, instalado entre ambos ejes, a fin de que las dimensiones del generador sean reducidas.

De ahora en adelante, al referirnos al conjunto turbina-generator, le denominaremos grupo. Igualmente utilizaremos la expresión alternador para nombrar al generador, por ser alterna la corriente producida en el mismo.

Grafico 4. Conjunto turbina-generator. (Grupo)



Fuente GREENE, RICHARD W, Válvulas. MC GRAW-HILL

Vamos a centrarnos en el estudio exclusivo de las denominadas Turbinas Hidráulicas, expresión que identifica a las máquinas motrices accionadas por el agua, instaladas en las Centrales Hidroeléctricas.

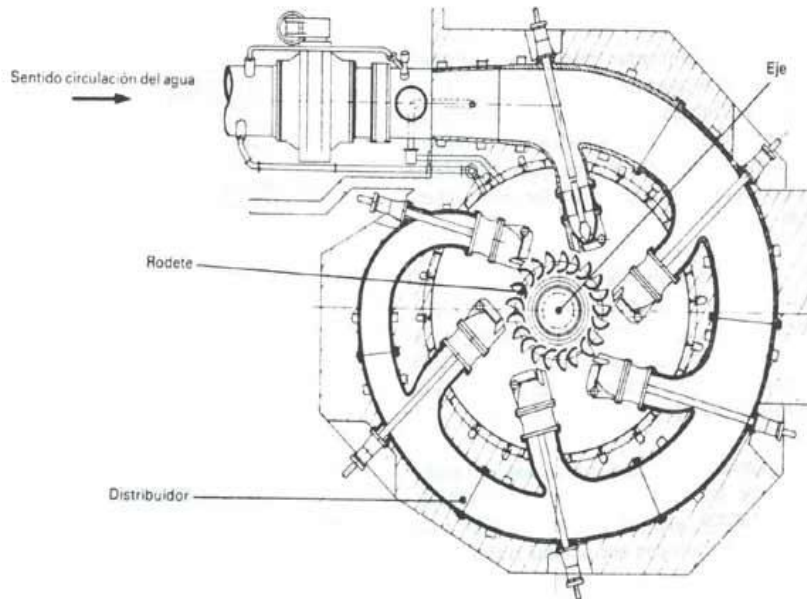
En base a la anterior consideración, podemos decir que turbina hidráulica es la máquina destinada a transformar la energía hidráulica, de una corriente o salto de agua, en energía mecánica. Por lo tanto, toda turbina convierte la energía del agua, manifestada bien en su forma de presión (energía potencial o de posición) como en la de velocidad (energía cinética), en el trabajo mecánico existente en un eje de rotación. En términos generales y sin ánimo de ser reiterativos, podemos definir a las turbinas hidráulicas como motores hidráulicos destinados a aprovechar las corrientes y saltos de agua.

Hemos expuesto «qué» función tiene una turbina. Ahora se trata de analizar «cómo» se origina esa función en la misma.

Sin detenernos a mostrar amplios detalles descriptivos de los componentes fundamentales, ya que lo haremos oportunamente al hablar de cada tipo de turbina, expondremos con brevedad cómo se produce el funcionamiento de las turbinas en términos generales.

Una turbina hidráulica es accionada por el agua en movimiento, una vez que ésta es debidamente encauzada hacia el elemento de turbina denominado distribuidor, el cual, circularmente, distribuye, regula y dirige un caudal de agua que tiende a incidir, con mayor o menor amplitud, hacia el centro del círculo descrito, sobre un rotor o rueda móvil conocida con el nombre de rodete, que, conjuntamente con el eje en el que está montado, ha de estar perfectamente equilibrado dinámico y estáticamente.

Grafico 5. – Componentes esenciales de una turbina hidráulica.



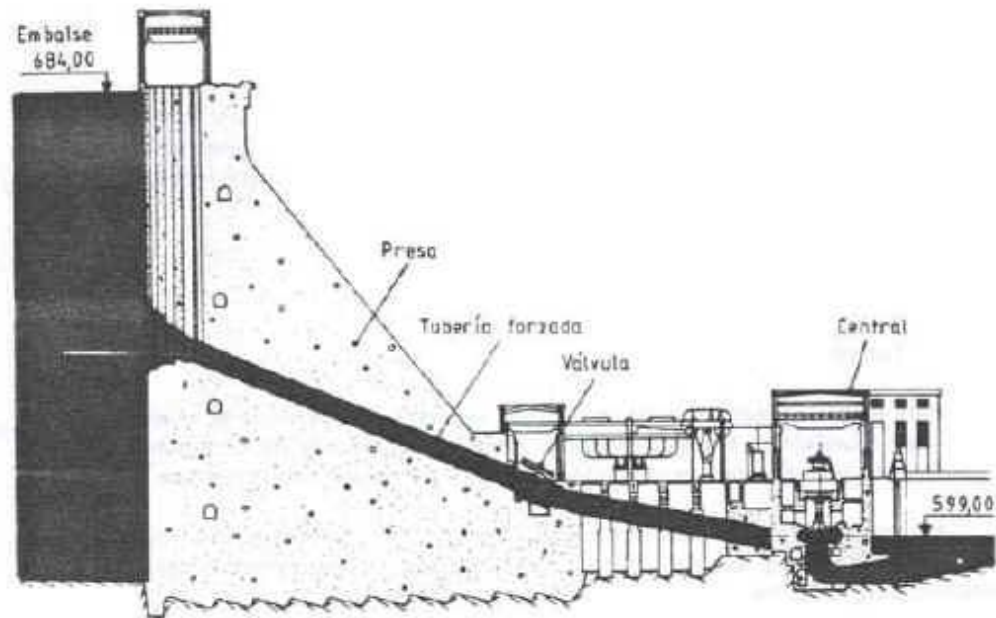
(Vista en planta de una turbina PELTON de eje vertical con seis equipos de inyección).

Fuente: GREENE, RICHARD W, Válvulas. MC GRAW-HILL

De lo expuesto se deduce cómo la energía del agua, originalmente la mayoría de los casos en forma de energía potencial de tipo gravitatorio, se convierte en energía cinética al pasar sucesivamente por el distribuidor y el rodete, debido a la diferencia de nivel existente entre la entrada y la salida de la conducción (Fig. 4).

En consecuencia, se provocan cambios en la magnitud y dirección de la velocidad del fluido, lo que hace que se produzcan fuerzas tangenciales en el rodete, generándose así energía mecánica al girar éste.

Grafico 6. – Diferencia de nivel existente entre la entrada y la salida del agua de alimentación a una turbina.



Fuente: ORTIZ, Flórez Ramiro. Pequeñas centrales Hidroeléctricas. MC GRAW-HILL.

El rendimiento de las instalaciones con turbinas hidráulicas, siempre es elevado, pudiendo llegar desahogadamente al 90% o más, después de tener en cuenta todas las pérdidas hidráulicas por choque, de caudal, de fricción en el generador, mecánicas, etc.

Los problemas de regulación de velocidad son importantes, principalmente a causa de las grandes masas de agua que entran en juego, con sus aceleraciones

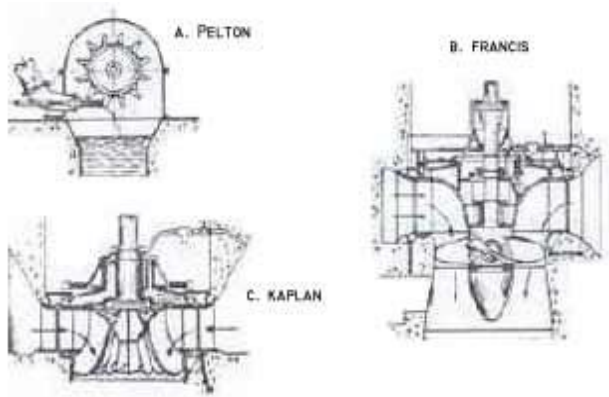
positivas y negativas, que se transforman en ondas de presión. La continuidad de las columnas de agua transmite a las ondas, produciéndose fuertes choques o golpe de ariete que es necesario evitar o por lo menos controlar.

4.3 TIPOS DE TURBINAS HIDRÁULICAS

En el presente apartado, se inicia el estudio de los tres tipos de turbinas hidráulicas utilizados con mejores resultados en la actualidad.

De cada uno de dichos tipos, mencionaremos las características técnicas y de aplicación más destacadas que los identifican, la descripción de los distintos elementos que componen cada turbina, así como el principio de funcionamiento de las mismas.

Grafico 7. - Tipos de turbinas



Los tres tipos objeto de estudio son:

- Turbinas PELTON(a)
- Turbinas FRANCIS (b)
- **Turbinas KAPLAN (c)**

Fuente: VEN TE CHOW. Hidráulica de canales abiertos. MC GRAW-HILL.

Para establecer esta relación en el orden indicado, nos basamos en el empleo de las turbinas en función de la altura del salto, si bien no hay límites perfectamente definidos que separen los márgenes de utilización de unos tipos respecto de los demás.

No ampliaremos el estudio a otros tipos de turbinas, tales como Fourneyron, Girard, Jonval, Schwamkrug, Zuppinger, etc., por encontrarse en el momento presente desfasados tecnológicamente.

4.4. TURBINAS PELTON

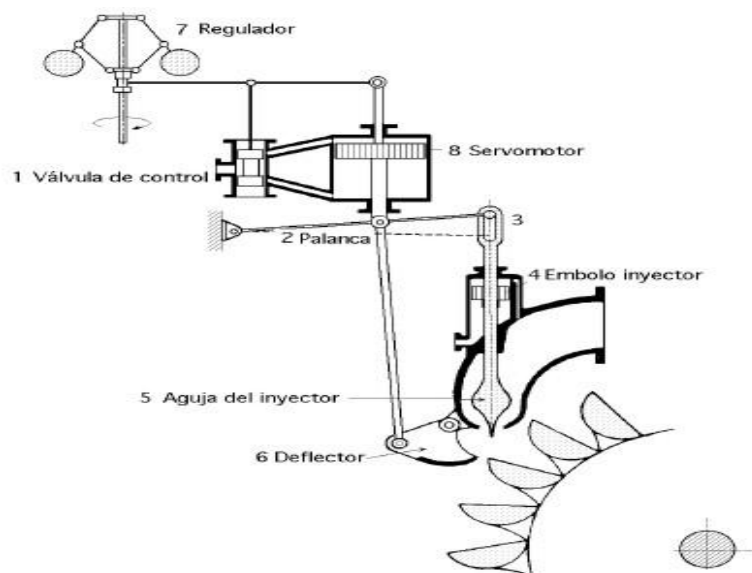
Las turbinas PELTON, se conocen como turbinas de presión por ser ésta constante en la zona del rodete, de chorro libre, de impulsión, o de admisión parcial por ser atacada por el agua sólo una parte de la periferia del rodete. Así mismo entran en la clasificación de turbinas tangenciales y turbinas de acción, conceptos que analizaremos a su debido tiempo.

Su utilización es idónea en saltos de gran altura (alrededor de 200 m y mayores), y caudales relativamente pequeños (hasta $10 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente).

Por razones hidroneumáticas, y por sencillez de construcción, son de buen rendimiento para amplios márgenes de caudal (entre 30 % y 100 % del caudal máximo). Por ello se colocan pocas unidades en cada central que requiere turbinas de estas características.

Pueden ser instaladas con el eje en posición vertical u horizontal, siendo esta última disposición la más adecuada, la cual nos servirá de referencia para hacer las descripciones necesarias.

Grafico 8. Funcionamiento de la turbina PELTON



Fuente: GENERACIÓN DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Disponible en: www.gea.usm. Fecha de consulta: Junio de 2012

4.4.1 Turbinas Francis. Son conocidas como turbinas de sobrepresión por ser variable la presión en las zonas del rodete, o de admisión total ya que éste se encuentra sometido a la influencia directa del agua en toda su periferia. También se conocen como turbinas radiales-axiales y turbinas de reacción, conceptos que se ampliarán en su momento.

El campo de aplicación es muy extenso, dado el avance tecnológico conseguido en la construcción de este tipo de turbinas. Pueden emplearse en saltos de distintas alturas dentro de una amplia gama de caudales (entre 2 y 200 m³/s aproximadamente).

Consideraremos la siguiente clasificación, en función de la velocidad específica del rodete, cuyo número de revoluciones por minuto depende de las características del salto.

- Turbina Francis lenta. Para saltos de gran altura (alrededor de 200 m o más).

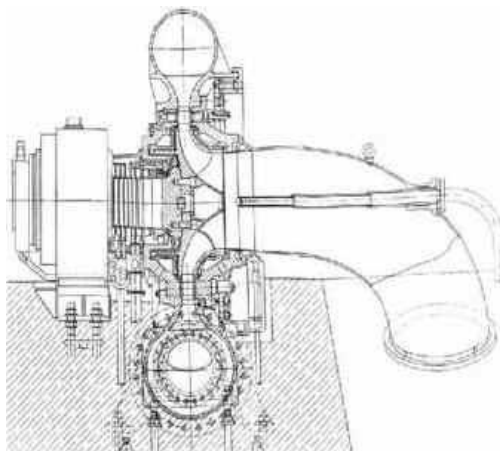
- Turbina Francis normal. Indicada en saltos de altura media (entre 200 y 20 m)
- Turbinas Francis rápidas y extra rápidas. Apropriadas a saltos de pequeña altura (inferiores a 20 m).

El concepto de velocidad específica se tratará adecuadamente en el apartado 9.10.

Las turbinas Francis, son de rendimiento óptimo, pero solamente entre unos determinados márgenes (para 60 % y 100 % del caudal máximo), siendo una de las razones por la que se disponen varias unidades en cada central, al objeto de que ninguna trabaje, individualmente, por debajo de valores del 60 % de la carga total.

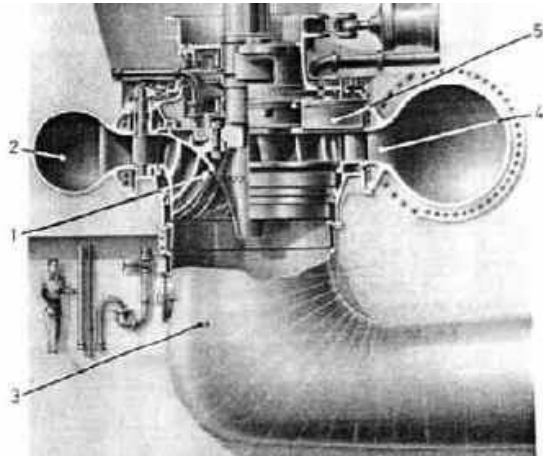
Al igual que las turbinas PELTON, las turbinas Francis pueden ser instaladas con el eje en posición horizontal, o vertical, siendo esta última disposición la más generalizada por estar ampliamente experimentada, especialmente en el caso de unidades de gran potencia. Para describirlas, nos basaremos en turbinas de eje vertical.

Grafico 9– Turbina Francis de eje horizontal.



Fuente: OCAMPO GIL, LUIS HERNANDO. Diseño de accionamientos y transmisiones de máquina. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Grafico 10. – Turbina Francis de eje vertical



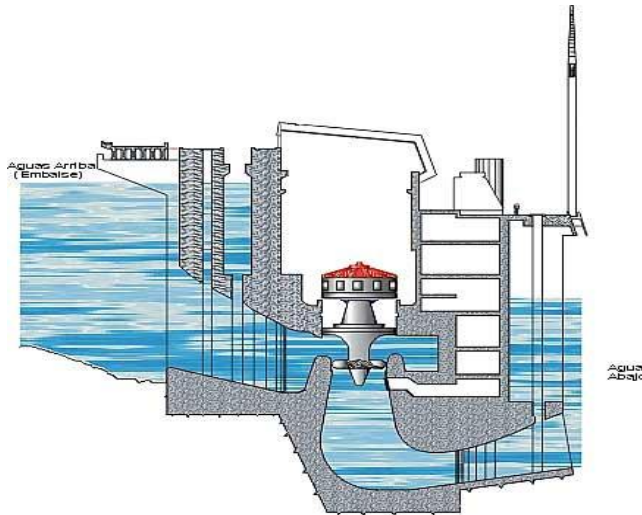
Fuente: COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA. Disponible en: www.conae.gob.mx. Fecha de consulta: Junio de 2012

4.4.2 Turbinas Kaplan. Al igual que las turbinas Francis, las de tipo Kaplan, son turbinas de admisión total, incluidas así mismo en la clasificación de turbinas de reacción. Las características constructivas y de funcionamiento, son muy similares entre ambos tipos.

Se emplean en saltos de pequeña altura (alrededor de 50 m. y menores), con caudales medios y grandes (aproximadamente de 15 m³/s en adelante).

Debido a su singular diseño, permiten desarrollar elevadas velocidades específicas, obteniéndose buenos rendimientos, incluso dentro de extensos límites de variación de caudal. A igualdad de potencia, las turbinas Kaplan son menos voluminosas que las turbinas Francis.

Grafico 11. - Diferencia en caudales.



Fuente: LA ENERGÍA. Disponible en: www.consumer.es. Fecha de consulta: Julio de 2012

4.5 CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS

Son diversas las razones de tipo técnico que dan base para establecer una clasificación de las turbinas hidráulicas. Razones que, en la mayoría de los casos, se complementan entre sí, para definir e identificar ampliamente a un determinado tipo de turbina.

A continuación, se relacionan los argumentos considerados y las clasificaciones derivadas de los mismos, explicándose oportunamente los conceptos que proceda, ya que algunos de ellos han quedado suficientemente expuestos en apartados anteriores, y otros son de fácil comprensión en función de su propio enunciado.

❖ Por el número de revoluciones específicas:

- Turbinas LENTAS.
- Turbinas NORMALES.
- Turbinas RÁPIDAS.
- Turbinas EXTRARRÁPIDAS.

- ❖ Según la posición del eje:
 - Turbinas HORIZONTALES.
 - Turbinas VERTICALES.

- ❖ Por el modo de admisión del agua:
 - Turbinas de ADMISIÓN PARCIAL. Ver turbinas PELTON.
 - Turbinas de ADMISIÓN TOTAL. Ver turbinas Francis y Kaplan.

- ❖ Por la manera de actuar los chorros o las láminas de agua sobre o a través de las palas, álabes, etc.:
 - Turbinas de ACCIÓN.
 - Turbinas de REACCIÓN.

- ❖ Por la dirección del agua dentro de la turbina respecto al eje de rotación, o dirección de entrada del agua:
 - Turbinas RADIALES.
 - Turbinas AXIALES.
 - Turbinas RADIALES-AXIALES.
 - Turbinas TANGENCIALES.

- ❖ Por las características de la cámara:
 - Turbinas de CÁMARA CERRADA.
 - Turbinas de CÁMARA ABIERTA.

- ❖ Por la función desarrollada:
 - Turbinas REVERSIBLES.
 - Turbinas NO REVERSIBLES. Destinadas sólo a producir trabajo mecánico.

4.6 POTENCIA DE UNA TURBINA HIDRÁULICA

Son elevados y complejos los cálculos relacionados con las turbinas hidráulicas, los cuales se ponen de manifiesto, en la mayoría de los casos como resultado de los ensayos y experiencias llevadas a cabo por los técnicos de las casas constructoras.

No obstante, existen unas series de fórmulas basadas en fenómenos físicos ligados con la mecánica, hidráulica, etc.

Aunque está fuera de nuestro cometido la realización de todo planteamiento matemático sobre las turbinas hidráulicas, las cuales, previamente a ser instaladas en la central, han sido perfectamente calculadas, de acuerdo con las características y exigencias del aprovechamiento hidroeléctrico para el que son proyectadas, vamos a hacer referencia a una expresión que consideramos de utilidad con vista a temas futuros, la potencia de una turbina hidráulica.

Tal concepto, depende directamente de la potencia del salto de agua, perteneciente a la turbina para la que se plantea el cálculo de la potencia útil presente en el eje del grupo.

4.7 CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar de distintos modos atendiendo a sus características principales, una primera clasificación puede ser:

- Centrales de agua fluente. Son centrales que aprovechan el cauce natural del río. Son poco frecuentes, pues requieren caudales importantes en cualquier época del año.

- Centrales de agua embalsada. Almacenan agua en un embalse valiéndose de presas, con objeto de regular el caudal, variable dependiendo de la época del año.

A este segundo grupo de centrales, las que embalsan el agua tras una presa se pueden clasificar en:

- Centrales de regulación (de caudal). Son las centrales convencionales.
- Centrales de bombeo. Para su instalación se necesita de dos embalses. Son aquellas en función de la demanda pueden volver a bombear el agua que ha pasado por la turbina desde el embalse inferior hacia el embalse superior.

Podemos hacer otra clasificación en base a la altura del salto:

- Centrales de alta presión. Aquellas cuyo salto está por encima de los 200 metros de altura (alcanzando incluso los 2.000 metros). En estas los caudales son relativamente pequeños de unos 20 m³/s máximo por turbina. Suelen estar ubicadas en zonas de alta montaña.
- Centrales de media presión. Comprende los saltos entre 20 y 200 metros de altura. Según la altura, la central puede estar bajo la presa o alejada de ella si con ello se consigue más altura. Los caudales en este caso alcanzan los 200 m³/s.
- Centrales de baja presión. Corresponden a saltos pequeños de menos de 20 metros, con caudales en la turbina de unos 300 m³/s, aunque los hay de más del doble, llegando a 600 ó 800 m³/s.

En función del tipo de presa, que dependerá de la configuración del terreno y las características de la tierra en la que se va a asentar:

- Presa de arco o bóveda. Es adecuada para presa de gran altura y no excesiva longitud. Es de hormigón armado y sus extremos han de quedar bien estribados.
- Presa de gravedad. La estabilidad de esta presa se consigue por su propia fuerza de gravedad. Es de hormigón sin armar, y su base resulta mayor que en la de arco. Requiere terreno de buena calidad.
- Presa de tierra o escollera. Su base resulta bastante mayor a las anteriores. Dependiendo la de altura y el tipo de tierra. Se usa para poca altura y con una calidad de terreno de cimentación mala. La mayor parte del volumen de tierra produce de la propia excavación.

4.8 TIPOS DE CENTRALES

Una turbo máquina consta fundamentalmente de una rueda de alabes, rodete, que gira libremente alrededor de un eje cuando pasa un fluido por su interior. La forma de los alabes es tal que cada dos consecutivos forma un conducto que obliga al flujo a variar su cantidad de movimiento, lo que provoca una fuerza, esta fuerza al desplazarse el alabe provoca un trabajo. La clasificación fundamental de una turbina (convierte la energía del flujo en una energía mecánica en el eje, lo contrario sería una bomba) es las de acción y las de reacción.

- Turbinas de acción: Se llaman así cuando la transformación de la energía potencial en energía cinética se produce en los órganos fijos anteriores al rodete (inyectores o toberas). En consecuencia el rodete solo recibe energía

cinética. La presión a la entrada y salida de las cucharas (o alabes) es la misma e igual a la atmosférica.

- Turbinas de reacción: Se llama así (en el caso de pura) cuando se transforma la energía potencial en cinética íntegramente en el rodete. Este recibe solo energía potencial. La presión de entrada es muy superior a la presión del fluido a la salida. Esto ocurre en un aspersor. En la realidad no se ha desarrollado este tipo de turbina industrialmente. Se llaman así aun que habría que considerarlas como un tipo mixto.

Otra clasificación muy distinta es en función de la dirección del flujo en el rodete, lo que puede hacer que clasifiquemos a las turbo máquinas en:

- **Axiales:** El desplazamiento del flujo en el rodete es paralelo al eje. Es axial y tangencial (giro).
- **Radiales:** El desplazamiento en el rodete es perpendicular al eje. No tiene componente axial.
- **Mixtas:** Tiene componente Axial, radial y tangencial.

En la actualidad, las turbinas que dominan el campo en las centrales hidroeléctricas son:

- PELTON (de acción)
- Francis (de reacción)
- Hélice y Kaplan (de reacción)
- Bulbo (de reacción)}

El rendimiento de todas ellas supera el 90%. Podemos comparar sus rendimientos en función con el porcentaje del caudal nominal para las que fueron diseñadas.

4.9 RUEDA PELTON

Una TURBINA PELTON es uno de los tipos más eficientes de turbina hidráulica. Es una turbo máquina motora, de flujo transversal, admisión parcial y de acción. Consiste en una rueda (rodete o rotor) dotada de cucharas en su periferia, las cuales están especialmente realizadas para convertir la energía de un chorro de agua que incide sobre las cucharas.

Las TURBINAS PELTON están diseñadas para explotar grandes saltos hidráulicos de bajo caudal. Las centrales hidroeléctricas dotadas de este tipo de turbina cuentan, la mayoría de las veces, con una larga tubería llamada galería de presión para transportar al fluido desde grandes alturas, a veces de hasta más de dos mil metros. Al final de la galería de presión se suministra el agua a la turbina por medio de una o varias válvulas de aguja, también llamadas inyectores, los cuales tienen forma de tobera para aumentar la velocidad del flujo que incide sobre las cucharas.

Fotografía 1. Rueda de Pelton



Fuente: COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA. Disponible en: www.conae.gob.mx. Fecha de consulta: Junio de 2012

Lester Allan PELTON carpintero y montador de ejes y poleas, inventó la turbina PELTON en 1879, mientras trabajaba en California. Obtuvo su primera patente en 1880.

Una historia dice que PELTON inventó su rueda cuando se fijó en cómo el agua salpicaba fuera de las fosas nasales de una vaca mientras esta bebía de un chorro de agua.

4.9.1 Aplicaciones. Existen TURBINAS PELTON de todos los tamaños. Hay turbinas de varias toneladas montadas en vertical sobre cojinetes hidráulicos en las centrales hidroeléctricas. Las TURBINAS PELTON más pequeñas, solo de unos pocos centímetros, se usan en equipamientos domésticos.

En general, a medida que la altura de la caída de agua aumenta, se necesita menor caudal de agua para generar la misma potencia. La energía es la fuerza por la distancia, y, por lo tanto, una presión más alta puede generar la misma fuerza con menor caudal.

Cada instalación tiene, por lo tanto, su propia combinación de (presión), velocidad y volumen de funcionamiento más eficiente. Usualmente, las pequeñas instalaciones usan paletas estandarizadas y adaptan la turbina a una de las familias de generadores y ruedas, adecuando para ello las canalizaciones. Las pequeñas turbinas se pueden ajustar algo variando el número de toberas y paletas por rueda, y escogiendo diferentes diámetros por rueda. Las grandes instalaciones de encargo diseñan el par torsor y volumen de la turbina para hacer girar un generador estándar.

Un chorro de agua, convenientemente dirigido y regulado, incide sobre las cucharas del rodete que se encuentran uniformemente distribuidas en la periferia de la rueda. Debido a la forma de la cuchara, el agua se desvía sin choque, cediendo toda su energía cinética, para caer finalmente en la parte inferior y salir de la máquina. La regulación se logra por medio de una aguja colocada dentro de la tubería.

Este tipo de turbina se emplea para saltos grandes y presiones elevadas.

Fotografía 2. Rodete y cuchara de una turbina PELTON



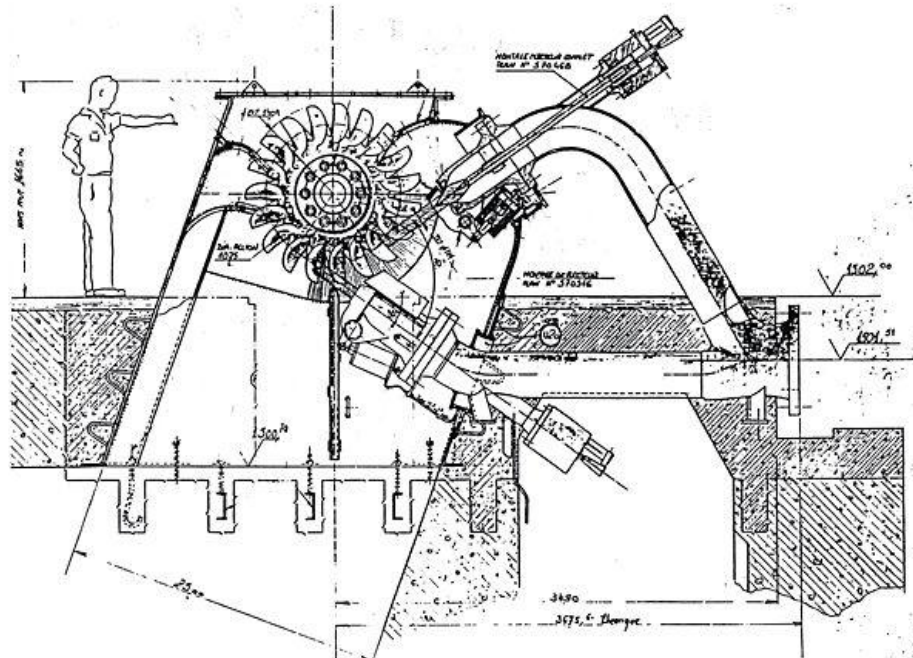
Fuente: MANUAL SOBRE ENERGÍA RENOVABLE: hidráulica a pequeña escala/ BIOMASS USERS NETWORK (BUN-CA) 1 ed. – San José, C.R. BIOMASS USERS NETWORK (BUN-CA) 2002

Fotografía 3. Turbina PELTON y alternador



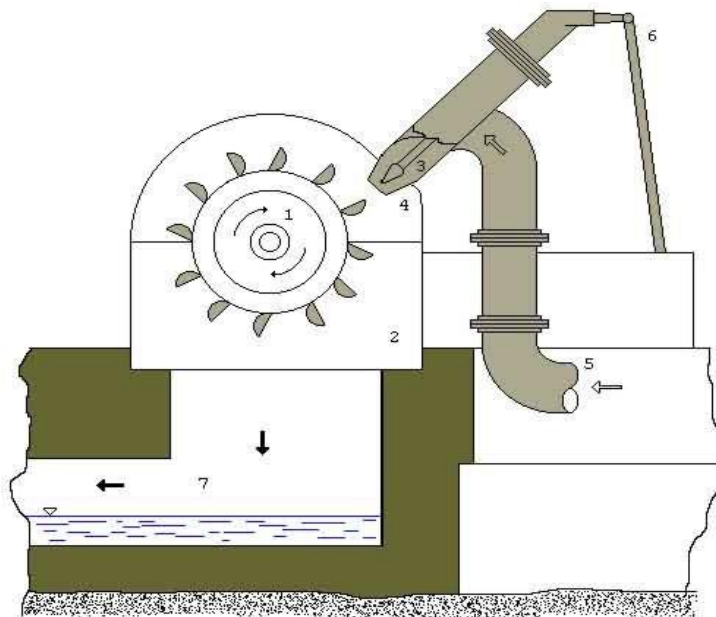
Fuente: Fuente: MANUAL SOBRE ENERGÍA RENOVABLE: hidráulica a pequeña escala/ BIOMASS USERS NETWORK (BUN-CA) 1 ed. – San José, C.R. BIOMASS USERS NETWORK (BUN-CA) 2002

Gráfico 12. Instalación común de una turbina PELTON con dos inyectores



Fuente: ORTIZ, Flórez Ramiro. Pequeñas centrales Hidroeléctricas. MC GRAW-HILL

Gráfico 13. Esquema de la rueda PELTON



1. rodete
2. Cuchara
3. Aguja
4. Tobera
5. Conducto de entrada
6. Mecanismo de regulación
7. Cámara de salida

Fuente: VEN TE CHOW. Hidráulica de canales abiertos. MC GRAW-HILL.

5. ESQUEMA TEMÁTICO

5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

5.1.1 Localización. Se encuentra ubicado en la Cordillera Central de Colombia, entre los departamentos del Valle del Cauca y Tolima, hace parte de los municipios de Palmira, Tuluá, Buga, El Cerrito y Pradera en el Valle, y de los municipios de Chaparral y Río Blanco en el Tolima.

5.1.2 Coordenadas El cañón de las Hermosas

- UTM: VK32

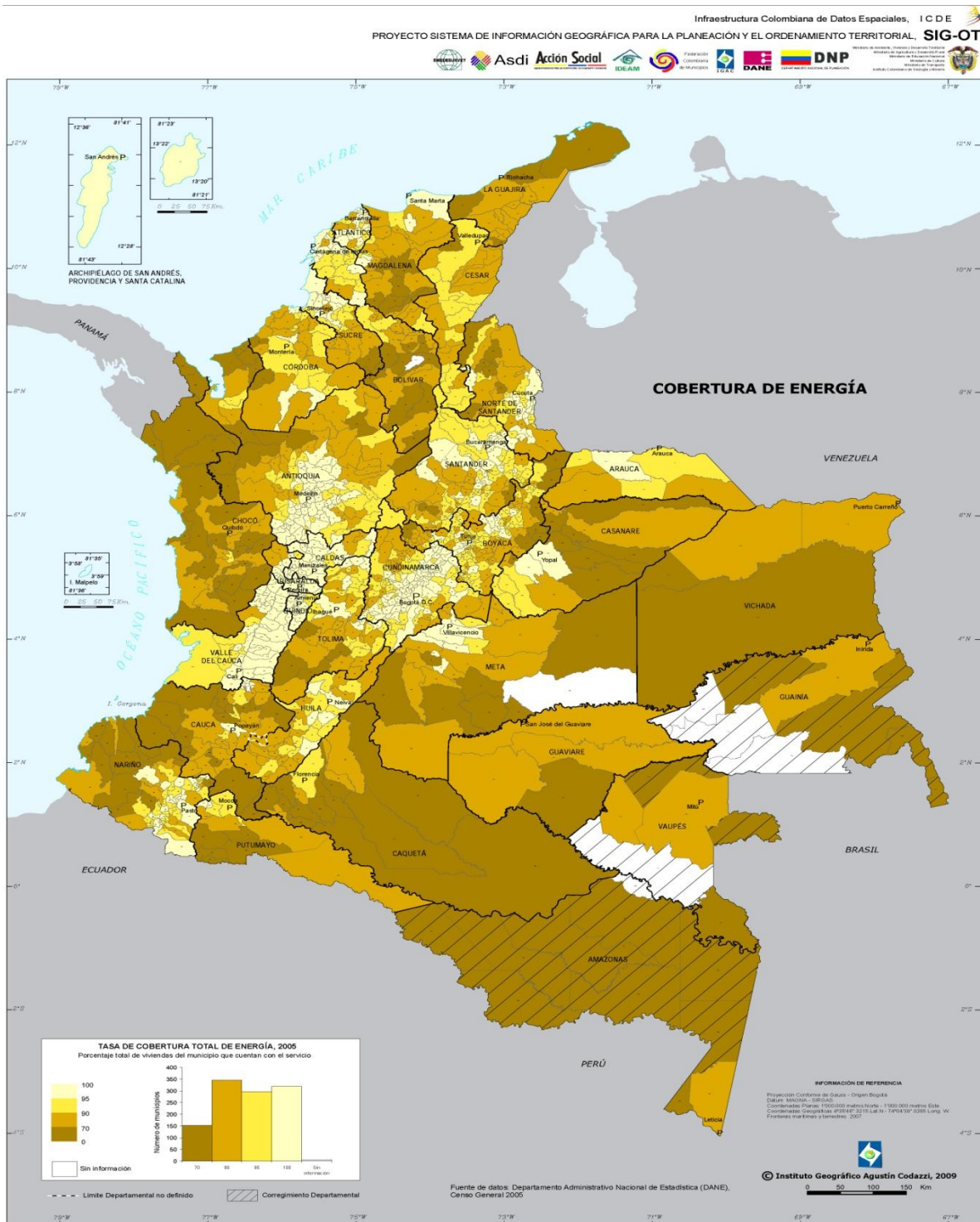
Coordenadas Geográficas en decimales (WGS84)

- Latitud: 3.825
- Longitud: -75.600

Coordenadas Geográficas en minutos y segundos (WGS84)

- Latitud: 3 49' 29"
- Longitud: -75 35' 59"

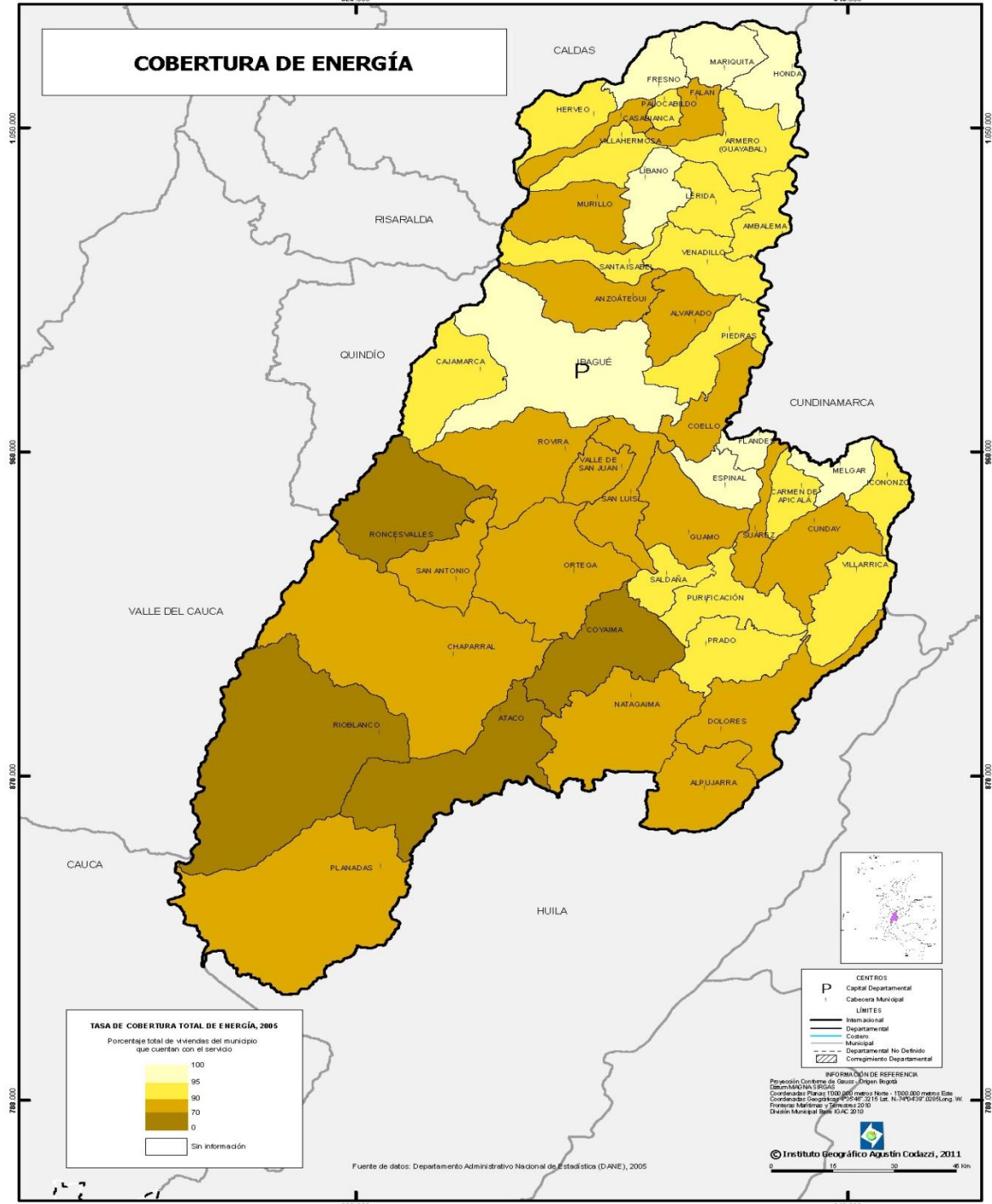
Grafico 14. Cobertura energética del país



Fuente: INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Disponible en: www.igac.gov.co. Fecha de consulta: Agosto de 2012.

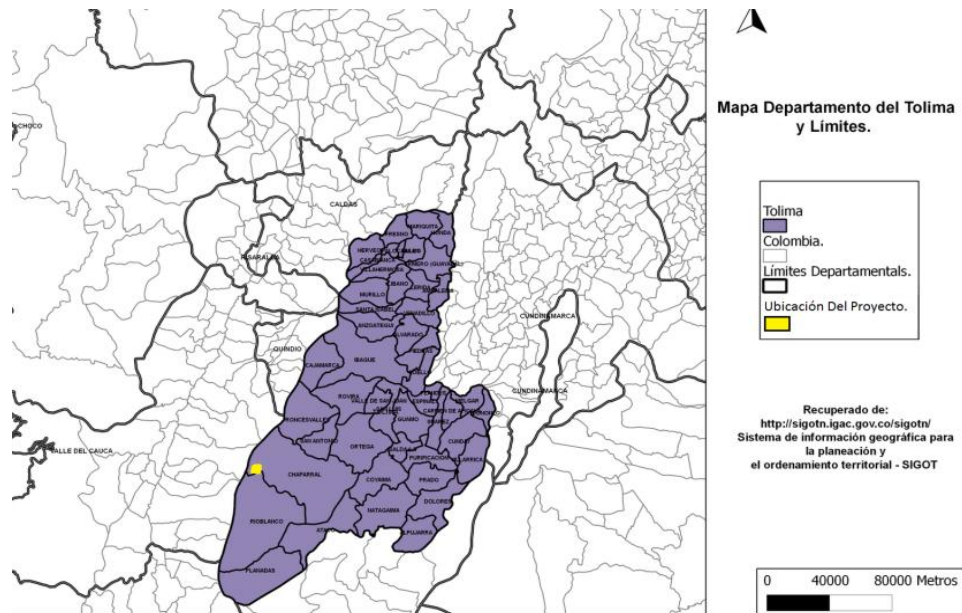
Grafico 15. Cobertura energética del Tolima

DEPARTAMENTO DEL TOLIMA



Fuente: INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Disponible en: www.igac.gov.co. Fecha de consulta: Agosto de 2012.

Grafico 16. Ubicación del presente proyecto



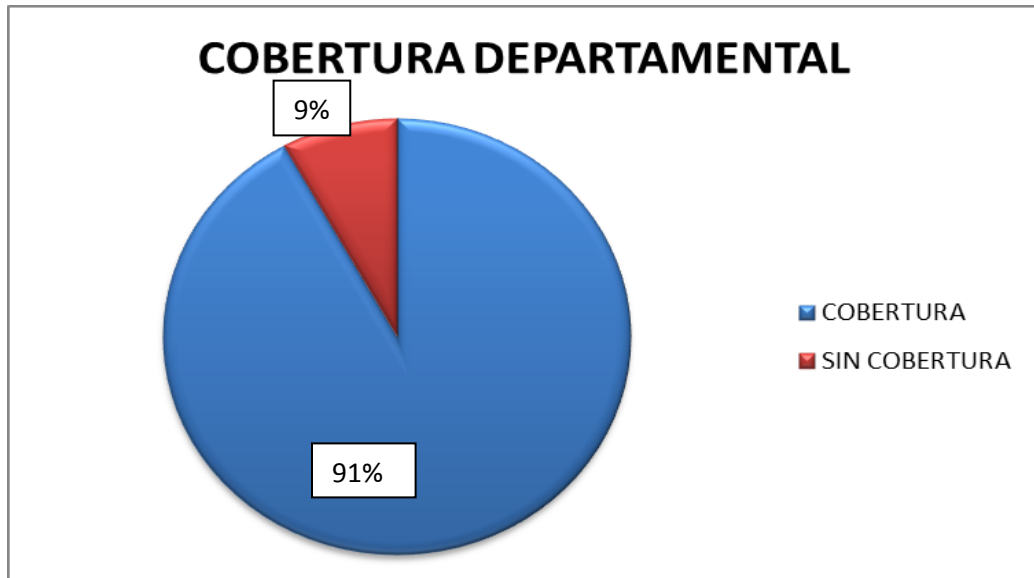
Fuente: INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Disponible en: www.igac.gov.co. Fecha de consulta: Agosto de 2012.

Grafico 17. Cobertura nacional



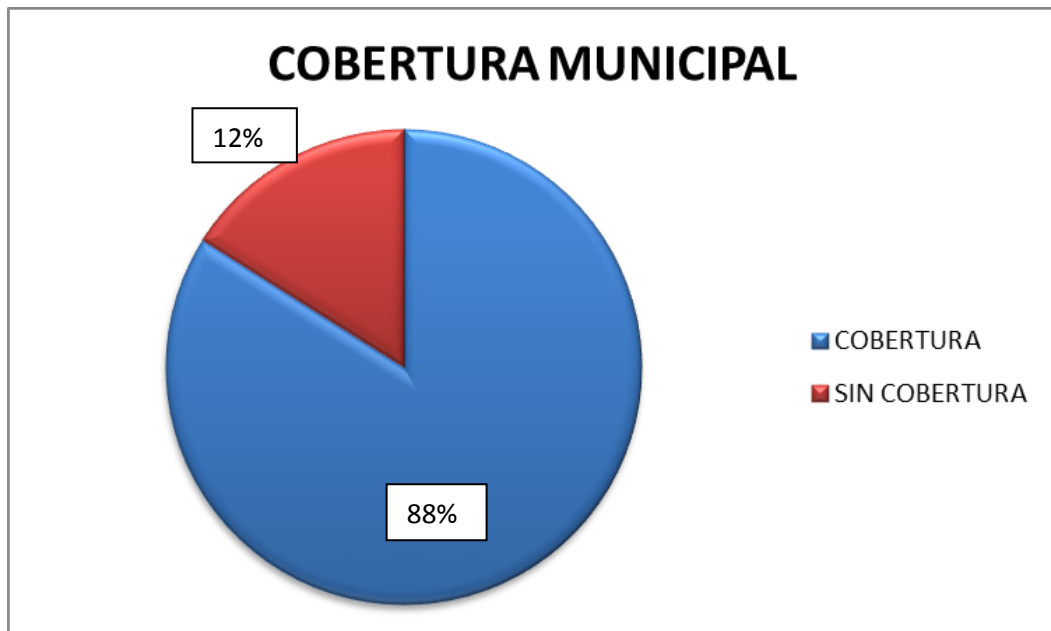
Fuente: INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Disponible en: www.igac.gov.co. Fecha de consulta: Agosto de 2012.

Grafico 18. Cobertura Departamental



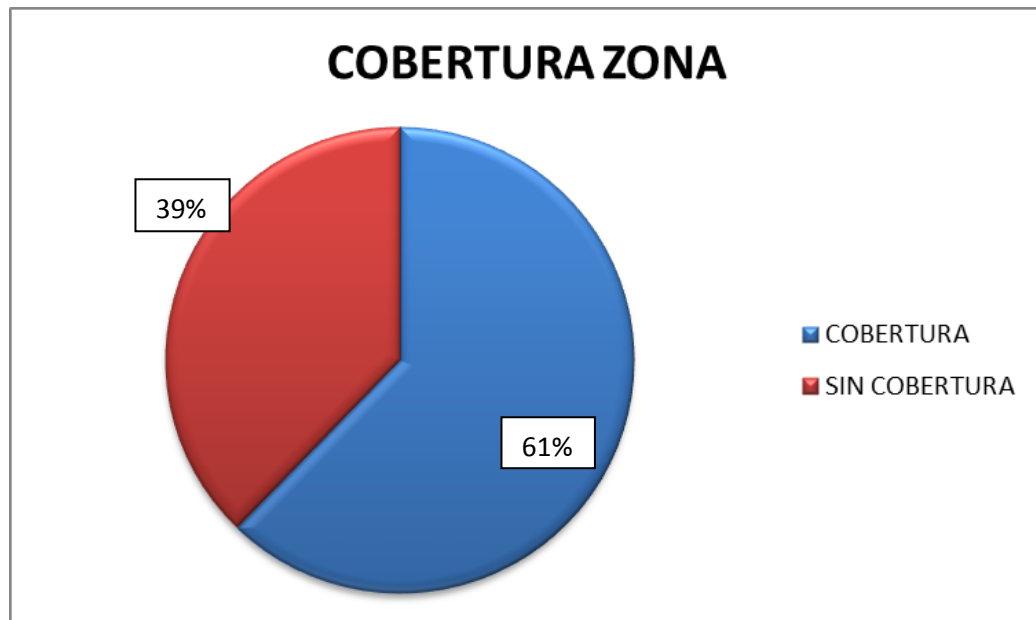
Fuente: INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Disponible en: www.igac.gov.co. Fecha de consulta: Agosto de 2012.

Grafico 19. Cobertura Municipal



Fuente: INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Disponible en: www.igac.gov.co. Fecha de consulta: Agosto de 2012.

Grafico 20. Cobertura Zona



Fuente: INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Disponible en: www.igac.gov.co. Fecha de consulta: Agosto de 2012.

5.1.3 Parámetros

Tabla 2. Parámetros de la cuenca

| Parámetros | Valor |
|-----------------|---------------------|
| Localización | Chaparral (Tolima) |
| Cuenca | Rio Amoyá |
| Naciente | Finca la Arabia |
| Área de drenaje | 518 Km ² |
| Caudal tomado | 8.3 Lt/seg |
| Salto bruto | 32 m |

Fuente: Autor del proyecto

5.1.4 Descripción del lugar donde se realizará el proyecto. El Proyecto Hidroeléctrico del río Amoyá, Municipio de Chaparral (Tolima), está ubicado en la cuenca del río Amoyá. La región se encuentra dentro del Páramo de Las Hermosas, un ecosistema sensible alrededor de la cuenca del mismo río. Tiene alturas superiores a los 4.000 msnm, y es fuente de numerosos ríos, entre ellos el Amoyá. El Páramo contiene más de 5.000 especies de plantas y representa entre el 12-16 % de la flora nativa colombiana.

Más ampliamente, el ecosistema de páramo en Colombia tiene una relevancia estratégica para el país y juega un papel importantísimo como fuente de cerca del 70 % de sus recursos hídricos.

Chaparral está localizado al sur del Departamento del Tolima sobre los Andes colombianos, con alturas entre los 800 y los 4500 msnm. Cuenta con una población de 41.052 habitantes, 51% de los cuales viven en el casco urbano. En las áreas rurales las principales actividades económicas son el cultivo de café, caña de azúcar y maíz, así como la ganadería lechera. El Páramo se encuentra amenazado en esta región principalmente por la colonización de nuevas tierras (ubicadas hacia la zona del Páramo), para la agricultura y la ganadería por parte de la comunidad local.

El Cañón de Las Hermosas es uno de los paisajes más espléndidos del sur del Tolima, aunque poco visitado y bastante desconocido.

El Parque Las Hermosas alberga especies de flora y fauna que no se encuentran en otros lugares, al igual que especies en peligro de extinción. Además, cuenta con numerosos ríos y más de 300 lagunas que le dan una singular apariencia de colcha de retazos.

5.1.5 Descripción del área. El Parque Las Herosas está ubicado en la región divisoria entre las macro cuencas del río Magdalena y río Cauca y cuenta con numerosos ríos y más de 300 lagunas que le dan una apariencia de colcha de retazos. El Cañón de Las Herosas es uno de los paisajes más espléndidos del sur del Tolima, aunque bastante desconocido El área del Parque alberga especies de flora y fauna endémicas, al igual que especies en peligro de extinción.

5.1.6 Clima. Cuenta entre 21 y 25 grados centígrados de temperatura media anual ponderada siendo un clima templado y frío.

5.1.7 Altitud. Entre 1600 MSNM en la cuenca del Cambriny 4500 MSNM en el cerro de las tres letras.

5.1.8 Morfodinámica. El paisaje inicial ha sido moldeado a través del tiempo por procesos de tipo natural como la precipitación, temperatura y la biodiversidad respecto a la cobertura vegetal de la cual actúa directamente sobre el terreno.

El habitante de la micro cuenca ha contribuido a acelerar la erosión mediante la inadecuada utilización de los recursos naturales existentes da la precisión económica de los bosques los suelos, sin las especificaciones técnicas requeridas en ello.

5.1.8.1 Dinámica fluvial: La micro cuenca se puede clasificar como un torrente de montaña el cual vacua los materiales y sedimentos que llegan a su cauce y tienden a estabilizarse.

Se puede apreciar las corrientes de agua superficiales de tipo permanente y estacional. Los principales procesos presentes en la micro cuenca son pequeños

socavamientos laterales, corrientes permanentes en el cauce, grandes cascadas superiores a 10 metros y de menor altura localizadas en las vertientes.

5.1.9 Índices Morfométricos. Los datos aquí consignados pertenecen a la cenca del río Amoyá que va hasta el sitio donde se encuentra ubicada la naciente en la finca la Arabia.

5.1.9.1 Altura del punto más elevado o cabecera de la cuenca (Hp): 4500 msnm

5.1.9.2 Altura del punto de desembocadura (Hc): 4468 msnm

5.1.9.3 Longitud de la corriente hasta la desembocadura (Lc): 0.071 km

5.1.9.4 Pendiente media de la corriente en metros sobre kilómetros (m/km)

$$I_c = \frac{H_c - H_p}{L_c}$$
$$I_c = \frac{4500 - 4468}{0.071}$$
$$I_c = 450,70$$

5.1.9.5 Área de cuenca: 518 km²

5.1.9.6 Diámetro de la tubería: 2 pulgadas

5.1.9.7 Radio de la rueda PELTON: 9 pulgadas (23 cm)

5.1.9.8 Longitud de un álabe: 2,7 pulgadas (7 cm)

5.1.9.9 Radio rueda volante: 8 pulgadas (20 cm)

5.1.9.10 Profundidad de cuenca: 24 pulgadas (60 cm)

6. DISEÑO HIDRÁULICO

6.1 ÁREA DE LA TUBERÍA

0.002 m²

$$A = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$
$$A = \frac{\pi * 0.05^2}{4}$$
$$A = 0.002\text{m}^2$$

6.2 VELOCIDAD (m /seg):

Formula de Manning

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot J^{0,5}$$

Fuente: VEN TE CHOW. Hidráulica de canales abiertos. MC GRAW-HILL.

- J= representa la pérdida de altura por unidad de longitud de la conducción. A este valor se le llama pendiente de la línea de energía (Pérdidas / L).
- n= es el coeficiente de rugosidad, depende del material de la tubería =0,009 mm.
- Rh= es el radio hidráulico de la sección (área / perímetro mojado = un cuarto del diámetro para conductos circulares a sección plena).

$$R_h = \frac{D}{4} = r \cdot 0,50$$

Fuente: VEN TE CHOW. Hidráulica de canales abiertos. MC GRAW-HILL.

$$R_h = 0.0125 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$\underline{V} = 4.02 \text{ m/seg}$$

6.3 CAUDAL

$$Q = A \cdot V$$

Dónde:

- A = área
- V= velocidad
- Q= Caudal

$$Q = 0.002 \text{ m}^2 \times 4.02 \text{ m /seg}$$

$$Q = 0.008 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

6.4 FLUJOS EN TUBERÍAS

Para solucionar los problemas prácticos de los flujos en tuberías, se aplica el principio de la energía, la ecuación de continuidad y los principios y ecuaciones de la resistencia de fluidos.

La resistencia al flujo en los tubos, es ofrecida no solo por los tramos largos, sino también por los accesorios de tuberías tales como codos y válvulas, que disipan energía al producir turbulencias a escala relativamente grandes.

La ecuación de la energía o de Bernoulli para el movimiento de fluidos incompresibles en tubos es:

$$\frac{P_1}{\rho * g} + \frac{V_1^2}{2 * g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{V_2^2}{2 * g} + Z_2 + h_f$$

Fuente: VEN TE CHOW. Hidráulica de canales abiertos. MC GRAW-HILL.

- ✓ V = velocidad del fluido en la sección considerada.
- ✓ g = aceleración gravitatoria, 9,81 m/s² y g_c = 1 kgm/(N·s²)
- ✓ z = altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.
- ✓ P = presión a lo largo de la línea de corriente.
- ✓ (γ = ρg) = Γ = es el peso específico
- ✓ h = es una medida de la energía empleada en vencer las fuerzas de fricción a través del recorrido del fluido.
- ✓ Los subíndices 1 y 2 indican si los valores están dados para el comienzo o el final del volumen de control respectivamente.

Cada uno de los términos de esta ecuación tiene unidades de energía por peso (LF/F=L) o de longitud (pies, metros) y representa cierto tipo de carga. El término de la elevación, Z, está relacionado con la energía potencial de la partícula y se denomina carga de altura. El término de la presión P/ρ*g, se denomina carga o cabeza de presión y representa la altura de una columna de fluido necesaria para producir la presión P. El término de la velocidad V/2g, es la carga de velocidad (altura dinámica) y representa la distancia vertical necesaria para que el fluido caiga libremente (sin considerar la fricción) si ha de alcanzar una velocidad V partiendo del reposo. El término h_f representa la cabeza de pérdidas por fricción.

El número de Reynolds permite caracterizar la naturaleza del escurrimiento, es decir, si se trata de un flujo laminar o de un flujo turbulento; además, indica, la

importancia relativa de la tendencia del flujo hacia un régimen turbulento respecto a uno laminar y la posición relativa de este estado de cosas a lo largo de determinada longitud:

$$\text{Re} = \frac{D \cdot V}{\nu}$$

En donde D es el diámetro interno de la tubería, V es la velocidad media del fluido dentro de la tubería y ν es la viscosidad cinemática del fluido. El número de Reynolds es una cantidad adimensional, por lo cual todas las cantidades deben estar expresadas en el mismo sistema de unidades.

Colebrook ideó una fórmula empírica para la transición entre el flujo en tubos lisos y la zona de completa turbulencia en tubos comerciales:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \ln \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re}\sqrt{f}} \right)$$

En donde,

f = factor teórico de pérdidas de carga.

D = diámetro interno de la tubería.

ϵ = Rugosidad del material de la tubería.

Re = número de Reynolds.

La relación ϵ/D es conocida como la rugosidad relativa del material y se utiliza para construir el diagrama de Moody.

La ecuación de Colebrook constituye la base para el diagrama de Moody.

Debido a varias inexactitudes inherentes presentes (incertidumbre en la rugosidad relativa, incertidumbre en los datos experimentales usados para obtener el diagrama de Moody, etc.), en problemas de flujo en tuberías no suele justificarse el uso de varias cifras de exactitud. Como regla práctica, lo mejor que se puede esperar es una exactitud del 10%.

La ecuación de Darcy-Weisbach se utiliza para realizar los cálculos de flujos en las tuberías. A través de la experimentación se encontró que la pérdida de cabeza debido a la fricción se puede expresar como una función de la velocidad y la longitud del tubo como se muestra a continuación:

$$f = h_f \left(\frac{2gD}{LV^2} \right)$$

En donde,

h_f = Pérdida de carga a lo largo de la tubería de longitud L ., expresada en $N \cdot m / N$

L = Longitud de la tubería, expresada en m .

D = Diámetro interno de la tubería, expresada en m .

V = Velocidad promedio del fluido en la tubería, expresada en m/s .

El factor de fricción f es adimensional, para que la ecuación produzca el correcto valor de las pérdidas. Todas las cantidades de la ecuación excepto f se pueden determinar experimentalmente.

Ecuación de Bernoulli

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + h = h_f + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2$$

Fuente: VEN TE CHOW. Hidráulica de canales abiertos. MC GRAW-HILL.

Despejamos P en la ecuación para determinar la presión con la que sale el agua, sabiendo que:

- ✓ $Z_1 = 32\text{m}$
- ✓ $V_1 = 0$
- ✓ $P_1 = 0$
- ✓ $h = 0$
- ✓ $V_2 = 4.02\text{ m/seg}$
- ✓ $g = 9,81\text{ m/s}^2$
- ✓ $\gamma = 1000\text{ Kg/m}^3$
- ✓ $Z_2 = 0$
- ✓ $h_f =$ Lo podemos despejar de la ecuación:

$$f = h_f \left(\frac{2gD}{LV^2} \right)$$

Solo si tenemos f que lo podemos hallar con la ecuación:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \ln \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re}\sqrt{f}} \right)$$

Teniendo en cuenta que:

- ✓ $\epsilon = 0,1\text{ mm}$ O $0,0001\text{ m}$. tubería PVC
- ✓ $D = 0,05\text{ m}$.
- ✓ $\text{Re} =$ podemos despejarlo de:

$$\text{Re} = \frac{v_s D}{\nu}$$

Si sabemos que:

- ✓ $v_s =$ velocidad 4,02 m/seg
- ✓ $\mu = 1,002 \text{ N s/m}^2 \times 10^{-3}$
- ✓ $\nu = 1,004 \text{ m}^2/\text{s} \times 10^{-6}$

Entonces:

- $Re = 2 \times 10^5$

Con esto podemos calcular $f = 0,015$

- ✓ De allí que $hf = 4,36$

De la ecuación de energía con los valores ya obtenidos podemos calcular la presión a la cual viaja el agua por la tubería y caerá en la rueda PELTON, para hacer girar a esta.

$$P_2 = \frac{Z_1 - \frac{v^2}{2g} - hf}{\gamma}$$

$$P_2 = \frac{32\text{m} - \frac{4,02\text{m}}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}} - 4,36}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 0,027 \text{ N/m}^2$$

Ahora bien, sabiendo el caudal y la presión que soporta la turbina PELTON para que esta gire, vemos en campo que no son las suficientes las revoluciones por segundo para que la dinamo pueda llegar a proporcionar una potencia de 900 watts,

7. DISEÑO MECÁNICO

7.1 TURBINA PELTON

7.1.1 Criterio de selección. A continuación se hace un breve resumen de los parámetros utilizados en el diseño hidráulico y los parámetros obtenidos en dicho diseño.

- $Q = 8,3 \text{ L}_{\text{seg}}$
- $h = 32$ metros de cabeza piezométrica
- $V = 4,02 \text{ m/seg}$
- $D_{\text{turbina}} = 0,45 \text{ m}$ o 18 pulg.

✓ obtenemos la velocidad tangencial de la rueda en el diámetro con la ecuación:

$$U = 0,41V = 1,65$$

- A partir de u y de D de la turbina podemos obtener la velocidad angular.

$$N = \frac{U}{\pi * D}$$

$$N = \frac{1,65}{\pi * 0,5} = 1,05$$

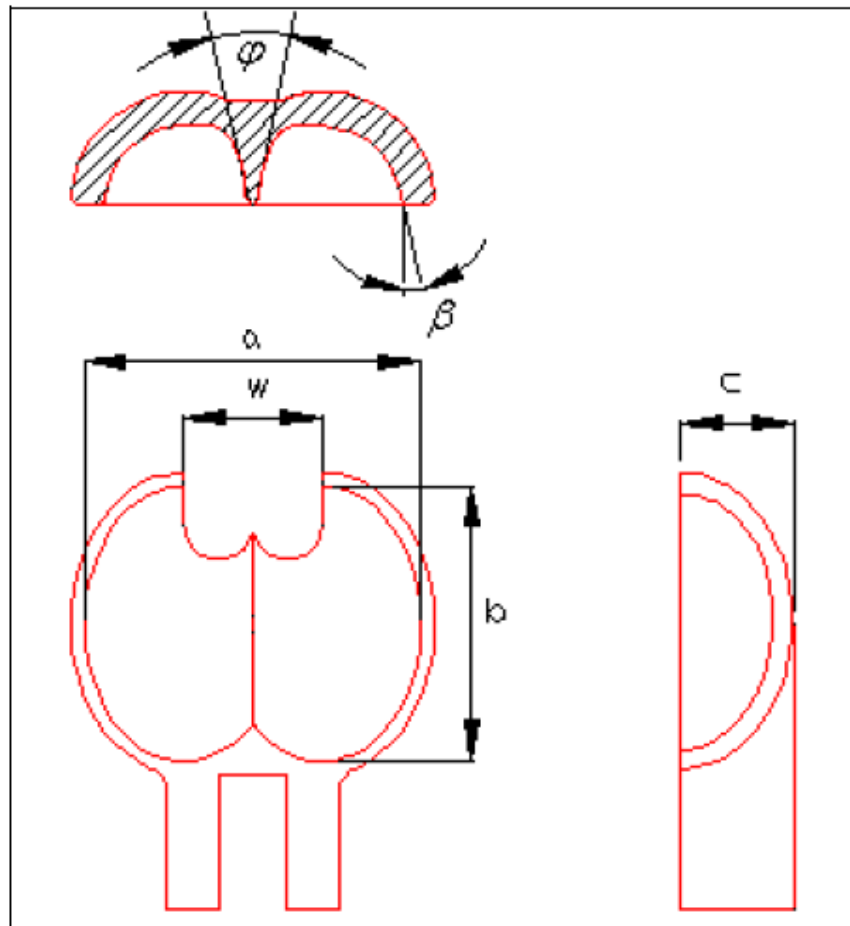
NOTA 1: Como la turbina fue re-utilizada ya que la idea del proyecto es que se genere energía a costos bajos, se utilizó una rueda PELTON de 18 pulg de diámetro.

7.1.2 Dimensiones de la cuchara

- $a = 3,13d$
- $b = 2,6d$
- $c = 0,9d$
- $w = 1,2d$
- $\varphi = 20$
- $\beta = 8$

Las convenciones se pueden ver en la siguiente figura:

Grafico 21. Dimensiones de la cuchara



Fuente: VEN TE CHOW. Hidráulica de canales abiertos. MC GRAW-HILL.

- El número de cucharas en la turbina es de: 17

7.1.3 Fuerzas en la cuchara. Las cucharas tienen un peso aproximado de 85,5 gr, dato necesario para calcular la fuerza centrífuga:

$$\frac{W * U^2}{gr}$$

Dónde:

- ✓ W= peso cuchara
- ✓ U= velocidad tangencial en el diámetro medido de la rueda.
- ✓ r= Radio medio desde el eje hasta el centro de gravedad de la cuchara.

- Se obtiene que la fuerza centrífuga es igual a: 1,03kgf

7.1.4 Fuerza producida por el chorro. La fuerza producida por el chorro se calcula asumiendo que solo una cuchara se mueve con una cierta velocidad U, la cual es incidida por un chorro que lleva una velocidad V. Esta fuerza se calcula así:

$$Fr = Vr * Q$$

Dónde:

- ✓ Vr= Velocidad relativa del chorro con respecto a la rueda

$$Fr = 0,033 \text{ kgf}$$

7.1.5 Torque. Valor de Torque= fuerza de chorro* Radio medio

$$\text{Torque} = 0,759 \text{ kg*cm}$$

7.2 CRITERIOS PARA LA POLEA

- ✓ Velocidad angular N: 960 rpm
- ✓ Distancia entre centros= 80cm

7.3 OPERACIÓN DEL SISTEMA

La rueda PELTON no cumplía con las revoluciones necesarias para que la dinamo girara lo suficiente para proporcionar la electricidad necesaria para proporcionar el servicio de electricidad. Por eso se dispuso una rueda volante sobre el mismo eje de la turbina PELTON, la rueda volante está unida al dinamo por una polea que proporciona un giro al dinamo en relación 1 a 3 con la rueda volante, proporcionando así una potencia de 900 watts.

8. CRITERIO DE SELECCIÓN DE CONFIGURACIÓN

Seleccionar la configuración de menor diámetro para un eje es recomendable escoger el de menor diámetro por criterio de diseño ya que este soporta la misma carga con un diámetro inferior, otro criterio son los costos del material del eje ya que son proporcionales a la dimensión del eje.

8.1 UNIDADES DE RODAMIENTO

El material propuesto es poliamida reforzada con fibra de vidrio que incorpora un refuerzo de espira de acero, chapa de acero.

8.1.1 fijación al eje. El eje solo se puede elegir entre cuatro sistemas diferentes para fijar los rodamientos y los soportes con rodamiento.

- Prisionero
- Anillo de fijación excéntrico
- Manguito de fijación
- Ajustes de interferencia

Los soportes de chapas de acero de las unidades con rodamiento pueden soportar las mismas cargas de los rodamientos que incorporan

8.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE UNIDAD

Las unidades de rodamiento con de chapa de acero están diseñadas para cargas moderadas y son menos adecuadas para las cargas de choque.

La obturación estándar para los rodamientos y sus soportes ofrecen una buena duración contra el polvo y los contaminantes sólidos, y también ofrece una retención fiable del lubricante dentro del rodamiento.

8.3 TUBERÍA PVC

La tubería de PVC es una de las más empleadas en las pequeñas centrales. Es relativamente económica, se producen en diámetros que van hasta cerca de 400 milímetros y es adecuada para presiones elevadas.

Al variar el espesor de la pared de la tubería se optimen 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 corrección.

No obstante, es relativamente frágil y puede ser dañada por golpes e impactos fuertes 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 seria mente la resistencia de la tubería. Por eso debe estar siempre protegida de la luz solar ya sea enterrándola, cubriéndola y pintándola.

9. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

9.1 ASPECTOS TÉCNICOS

Resulta prioritaria la implantación de un programa de manejo que garantice la optimización de los sistemas e instalaciones, con el fin de mejorar la continuidad del servicio. En este programa, la operación y el mantenimiento deben tener una importancia especial.

En épocas de inviernos, las corrientes de agua arrasan con una gran cantidad de rocas, hojas, material que puede ocasionar un taponamiento de las tuberías que conduce al sistema de generación de energía, provocando así el desabastecimiento en la planta, fallando el sistema.

El mantenimiento y operación del sistema empieza desde el mismo lecho de la cuenca, con la continua vigilancia en pro de mantener el cauce del río en la dirección y condiciones propias para correcta captación del agua.

Se deberá vigilar que la tubería permanezca libre de piedras y escombros, para lo cual el operario tendrá que hacer inspecciones diarias, librándola de materiales que obstruya el paso del agua, de la misma forma deberá verificar en cada inspección que el nivel del agua sea el suficiente para que esta tubería no lo seque.

10. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN

A continuación se relacionan algunas consideraciones especiales que deben tenerse en cuenta durante el proceso constructivo para obtener una buena calidad en las obras ejecutadas.

10.1 DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la construcción de las obras de concreto simple, que forman parte de las obras proyectadas.

10.2 MATERIALES

Los materiales empleados en la fabricación del concreto deben ceñirse a lo especificado a continuación.

10.2.1 Cemento. El cemento debe ser portland, normalmente tipo I que cumpla con las especificaciones NTC-321

El cemento que podrá ser suministrado a granel o empacado en bolsas, deberá ser almacenado en forma que garantice protección contra cualquier clase de humedad en todo tiempo y facilite la inspección e identificación de lotes a fin de gastarlos en el mismo orden en que se reciban.

10.2.2 Agregado fino. El agregado fino será arena natural lavada, u otro material similar que cumpla con la norma NTC-174 que se compondrá de granos duros y estará libre de polvo, esquistos, limos, álcalis, ácidos y materias orgánicas o nocivas.

10.2.3 Agregado grueso. El agregado grueso, será material pétreo triturado y clasificado o gravas naturales seleccionadas y clasificadas que cumplan con la norma ASTM C-33 se compondrá de partículas duras, y limpias, estarán libres de material orgánico o nocivo. El tamaño máximo será de 2”.

10.2.4 Agua. El agua que se use para el concreto, mortero y lechada, así como para el curado deberá ser limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, sales, álcalis, limo, materia orgánica y otras impurezas.

10.3 EQUIPO

El equipo para las obras de concreto, son básicos, ya que por la ubicación del proyecto es difícil el transporte de equipos pesados y mano de obra en gran magnitud, es por esto que los elementos o equipos utilizados en el proyecto fueron:

- Pala
- Masete
- Pica
- Martillo
- Atornillador
- Carretilla
- Espátula
- Y otros.

10.4 UBICACIÓN

Las construcciones en concreto del proyecto se realizaran a unos 6 mts de distancia con la casa beneficiada del proyecto, por lo tanto el costo del transporte de la electricidad será bajo.

11. RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES.

11.1 FUENTES DE ENERGÍA

Las fuentes de energías son aquellas que de forma periódica se ponen a disposición del hombre y que éste es capaz de aprovechar y transformar en energía útil para satisfacer sus necesidades, es decir, se renuevan de forma continua en contraposición con los combustibles fósiles de los cuales existen unas determinadas cantidades disponibles agotables en un plazo más o menos largo.

Tabla 3. Comparación del impacto ambiental de las diferentes formas de producir electricidad (en Toneladas por Gwh producido):

| FUENTE DE ENERGÍA | CO2 | NO2 | SO2 | PARTÍCULAS | CO | HIDRO-CARBUROS | RESIDUOS NUCLEARES | TOTAL |
|-------------------------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|----------------|--------------------|------------|
| Carbón | 1.058,2 | 2.986 | 2,971 | 1,626 | 0,267 | 0,102 | - | 1.066,1 |
| Gas Natural (ciclo combinado) | 824 | 0,251 | 0,336 | 1,176 | TR | TR | - | 825,8 |
| Nuclear | 8,6 | 0,034 | 0,029 | 0,003 | 0,018 | 0,001 | 3,641 | 12,3 |
| Fotovoltaica | 5,9 | 0,008 | 0,023 | 0,017 | 0,003 | 0,002 | - | 5,9 |
| Biomasa | 0 | 0,614 | 0,154 | 0,512 | 11,361 | 0,768 | - | 13,4 |
| Geotérmica | 56,8 | TR | TR | TR | TR | TR | - | 56,8 |
| Eólica | 7,4 | TR | TR | TR | TR | TR | - | 7,4 |
| Solar Térmica | 3,6 | TR | TR | TR | TR | TR | - | 3,6 |
| Hidráulica | 6,6 | TR | TR | TR | TR | TR | - | 6,6, |

Fuente: US Department of Energy, Council for Renewable Energy Education y AEDENAT.

NOTA 3: Los valores de emisiones consideran también las emitidas durante el periodo de construcción de los equipos.

11.2 EL PORQUÉ DE LA LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS.

Los principales recursos energéticos que utilizamos (el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio) son limitados y, por lo tanto, pueden agotarse. Además, su utilización provoca un gran impacto ambiental en la biosfera al contaminar el aire, el agua y el suelo. Estos hechos han generado un interés creciente por el desarrollo de nuevas tecnologías para la utilización de fuentes de energía renovables alternativas que, aunque actualmente son poco rentables, tienen la ventaja de ser poco contaminantes. En la actualidad, en nuestro país, las energías alternativas representan únicamente alrededor de 1'5% de la producción energética

11.3 ENERGÍA SOLAR PARA LA PRODUCCIÓN DE CALOR Y ELECTRICIDAD.

Fotografía 4. Celdas solares



Fuente: GENERACIÓN DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Disponible en: www.gea.usm. Fecha de consulta: Junio de 2012

La energía solar es particularmente adecuada para suministrar calor en él, o por debajo del, punto de ebullición del agua, la cual puede utilizarse para calefacción o enfriamiento de espacios o agua. Estos usos absorben el 30% al 50% del uso de la energía en países industriales y aún más en países subdesarrollados.

La energía solar puede colectarse, almacenarse y distribuirse por medio de sistemas activos o pasivos.

Un sistema de calentamiento solar pasivo captura energía solar directamente dentro de una estructura y la convierte en calor de baja temperatura para calefacción de espacios, por otra parte también estos sistemas deben reducir la pérdida calorífica en climas fríos, así como la ganancia de calor en época cálida.

Un sistema de calentamiento solar activo, concentra la energía solar, usando una bomba o ventilador para suministrar parte de las necesidades de calefacción de espacio o de calentamiento de agua en un edificio. Los sistemas de colectores activos también proporcionan agua caliente. En Estados Unidos se han instalado más de 1.3 millones de sistemas de calentamiento solar activo para agua, en Chipre, Jordania e Israel, los calentadores solares activos para agua suministran del 25% al 65% del agua caliente para hogares. Cerca del 12% de las viviendas en Japón y el 37% en Australia utilizan tales sistemas.

11.3.1 Ventajas Y Desventajas Del Uso De Energía Solar Para Calefacción Y Calentamiento Del Agua.

11.3.1.1 Ventajas: El suministro de energía para sistemas activos o pasivos que colectan energía solar para calefacción a baja temperatura en edificios es gratuito y se encuentra disponible de manera natural en días soleados.

La producción energética neta útil es de moderada (sistemas activos) a elevada (sistemas pasivos).

La tecnología está bien desarrollada y puede instalarse con rapidez.

No hay emisión de dióxido de carbono a la atmósfera y los impactos ambientales por la contaminación de aire y agua son bajos.

11.3.1.2 Desventajas: Los costos iniciales desalientan a los compradores.

La mayor parte de los sistemas solares pasivos necesitan que los propietarios abran y cierren ventanas y celosías para regular el flujo y distribución del calor, pero esto puede hacerse por medio de microprocesadores no muy costosos.

Los propietarios de sistemas solares activos y pasivos necesitan de reglamentaciones que impidan que otros construyan estructuras que bloqueen el acceso de un usuario a la insolación o incidencia solar.

11.4 PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE AGUA EN MOVIMIENTO Y DEL CALOR ALMACENADO EN AGUA

11.4.1 Energía hidroeléctrica. Energía hidráulica, energía que se obtiene de la caída del agua desde cierta altura a un nivel inferior lo que provoca el movimiento de ruedas hidráulicas o turbinas. La hidroelectricidad es un recurso natural disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua. Su desarrollo requiere construir pantanos, presas, canales de derivación, y la instalación de grandes turbinas y equipamiento para generar electricidad (véase Generación y transporte de electricidad). Todo ello implica la inversión de grandes sumas de dinero, por lo que no resulta competitiva en regiones donde el carbón o el petróleo son baratos, aunque el coste de mantenimiento de una central térmica, debido al combustible, sea más caro que el de una central hidroeléctrica. Sin embargo, el peso de las consideraciones medioambientales centra la atención en estas fuentes de energía renovables.

- **Existen varios tipos de sistemas hidroeléctricos:**

De gran escala en el cual se construyen elevadas presas a través de ríos grandes para generar grandes embalses, luego el agua acumulada se deja fluir a través de conductos a velocidades controladas, impulsando turbinas y generando electricidad.

De pequeña escala se construyen presas de baja altura sin embalses, o bien con uno pequeño. El flujo de agua natural y renovable se utiliza para generar electricidad, pero la producción de energía puede variar con los cambios estacionales en el caudal de la corriente fluvial.

Sistemas hidroeléctricos con bombeo y acumulación de agua, su principal uso es para suministrar energía extra durante periodos de demanda máxima.

11.4.2 Ventajas y desventajas de la energía hidroeléctrica.

11.4.2.1 Ventajas

- La energía hidroeléctrica tiene una producción energética neta de moderada a elevada y costos de operación y mantenimiento bajos.
- Las plantas hidroeléctricas rara vez necesitan ser cerradas y no producen emisiones de dióxido de carbono ni contaminantes del aire atmosférico.
- Sus embalses tienen una vida útil, de dos a diez veces la vida de plantas térmicas nucleares y de carbón.
- Las grandes presas ayudan también a controlar inundaciones y proporcionan un flujo regulado de agua de riego a áreas situadas corriente debajo de la presa.

11.4.2.2 Desventajas

- Los costos de construcción para nuevos sistemas a gran escala son elevados.
- Los embalses de los sistemas a gran escala inundan extensas regiones, destruyen hábitats de la vida silvestre, desplazan pobladores, disminuyen la fertilización natural de los terrenos agrícolas situados agua abajo de la presa.

- Al reducir el flujo de una corriente, las hidroeléctricas pequeñas alteran las actividades recreativas y la vida acuática, perturban el entorno de los ríos no navegables y destruyen los aguazales y terrenos pantanosos.

11.5 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE UN GENERADOR DIESEL

El motor diesel es un motor térmico de combustión interna alternativo en el cual el encendido del combustible se logra por la temperatura elevada que produce la compresión del aire en el interior del cilindro, según el principio del ciclo del diesel.

11.5.1 Principio de Funcionamiento. Un motor diesel funciona mediante la ignición (encendido) del combustible al ser inyectado muy pulverizado y con alta presión en una cámara (o precámara, en el caso de inyección indirecta) de combustión que contiene aire a una temperatura superior a la temperatura de auto combustión, sin necesidad de chispa como en los motores de gasolina. Esta es la llamada auto inflamación.

La temperatura que inicia la combustión procede de la elevación de la presión que se produce en el segundo tiempo del motor, la compresión. El combustible se inyecta en la parte superior de la cámara a gran presión desde unos orificios muy pequeños que presenta el inyector de forma que se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura y presión (entre 700 y 900 °C) Como resultado, la mezcla se inflama muy rápidamente. Esta combustión ocasiona que el gas contenido en la cámara se expanda, impulsando el pistón hacia abajo.

Esta expansión, al revés de lo que ocurre con el motor de gasolina, se hace a presión constante ya que continúa durante la carrera de trabajo o de expansión. La biela transmite este movimiento al cigüeñal, al que hace girar, transformando el movimiento lineal del pistón en un movimiento de rotación.

Para que se produzca la auto inflamación es necesario alcanzar la temperatura de inflamación espontánea del gasóleo. En frío es necesario pre-calentar el gasóleo o emplear combustibles más pesados que los empleados en el motor de gasolina, empleándose la fracción de destilación del petróleo fluctuando entre los 220 °C y 350 °C, que recibe la denominación de gasóleo o gasoil en Inglés.

11.5.2 Ventajas y desventajas. La principal ventaja de los motores diesel, comparados con los motores a gasolina, es su bajo consumo de combustible. Debido a la constante ganancia de mercado de los motores diesel en turismos desde la década de 1990 (en muchos países europeos ya supera la mitad), el precio del combustible ha superado a la gasolina debido al aumento de la demanda. Este hecho ha generado quejas de los consumidores de gasóleo, como es el caso de transportistas, agricultores o pescadores.

En automoción, las desventajas iniciales de estos motores (principalmente precio, costos de mantenimiento y prestaciones) se están reduciendo debido a mejoras como la inyección electrónica y el turbocompresor. No obstante, la adopción de la precámara para los motores de automoción, con la que se consiguen prestaciones semejantes a las de los motores de gasolina, presenta el inconveniente de incrementar el consumo, con lo que la principal ventaja de estos motores prácticamente desaparece.

Actualmente se está utilizando el sistema common-rail en los vehículos automotores pequeños. Este sistema brinda una gran ventaja, ya que se consigue un menor consumo de combustible, mejores prestaciones del motor, menor ruido (característico de los motores diesel) y una menor emisión de gases contaminantes.

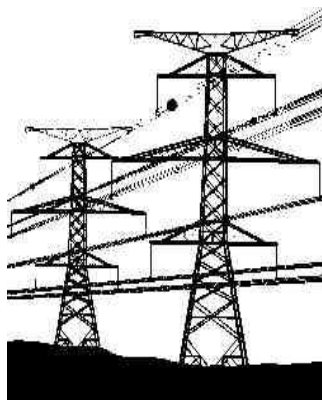
11.6 DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

El recorrido de la corriente desde las centrales hasta el usuario se realiza a través de dos grandes redes de líneas eléctricas: la de transporte y la de distribución. Las conexiones se llevan a cabo en las estaciones o subestaciones eléctricas.

11.6.1 Líneas Eléctricas. Son el conjunto de conductores, aislantes y accesorios, destinados al transporte y la distribución de energía eléctrica. Se dividen en dos tipos según su construcción:

- **Aéreas.** Los conductores se mantienen a una cierta altura del suelo. Son más económicas de instalar que las subterráneas, pero son menos fiables y necesitan más mantenimiento por estar sometidas permanentemente a los cambios meteorológicos (viento, lluvia, nieve, etc.)
- **Subterráneas.** Los conductores van enterrados bajo tierra dentro de canales. Tienen un elevado coste de instalación, pero son las más fiables y tienen un mantenimiento menor que las aéreas. Normalmente, las líneas de transporte y las líneas de distribución primaria son aéreas, y las líneas de distribución secundarias, subterráneas.

También se pueden clasificar según el grado de voltaje que transporten: Alta tensión (AT), tensión media (MT) y baja tensión (BT).



11.6.2 Estaciones eléctricas. Son instalaciones destinadas a la transformación y/o distribución de energía eléctrica y a la conexión entre dos o más líneas.

- **Estaciones transformadoras primarias (ET I).** Elevan la tensión de la energía eléctrica producida en la central a 110, 132, 220 y/o 400 kV.
 - **Estaciones de interconexión.** Aseguran la unión entre diferentes líneas de transporte.
 - **Estaciones receptoras o estaciones transformadoras secundarias (ET II).** Reducen la tensión de las líneas de transporte a valores comprendidos entre 6 y 66 kV.
 - **Casetas transformadoras o estaciones transformadoras terciarias (ET III).** Su función es reducir la tensión a 220 V y 380 V (baja tensión).
-
- **Estaciones distribuidoras. Interconectan las ET II.**

11.6.3 Consejos De Ahorro De Energía

- Sustituya las bombillas de incandescencia por lámparas electrónicas de bajo consumo: ahorran un 80% de energía y duran 10 veces más. A pesar de su mayor coste, la amortización está asegurada.
- Aproveche siempre que pueda la luz natural.
- No use lámparas de más potencia que la que necesite.
- Para incrementar la luminosidad de las habitaciones es recomendable pintarlas de colores claros: son más alegres y absorben menos la claridad.
- Evite tener luces encendidas sin necesidad. En lugares poco frecuentados puede instalar mecanismos de apagado automático.
- Conserve limpias las lámparas y las luminarias: la suciedad absorbe la luz.
- Los reguladores electrónicos de intensidad de luz permiten reducir el consumo de las bombillas incandescentes y también de las halógenas.

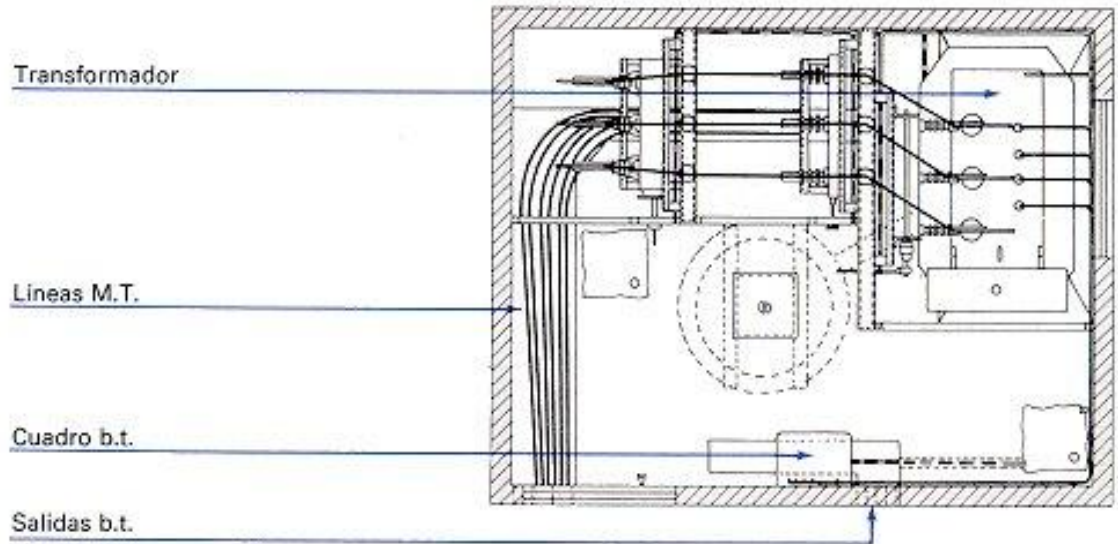
- Es aconsejable que cada estancia disponga del alumbrado adecuado a las actividades que se han de realizar en ella.
- Utilice fluorescentes donde necesite tener más iluminación y la luz encendida muchas horas. Si los ha de tener apagados menos de 20 minutos es preferible dejarlos encendidos para no acortar su vida útil.
- Los fluorescentes trifosfóricos dan un 20% más de luz con la misma potencia

11.6.4 Especificaciones Técnicas Para Las Instalaciones Eléctricas

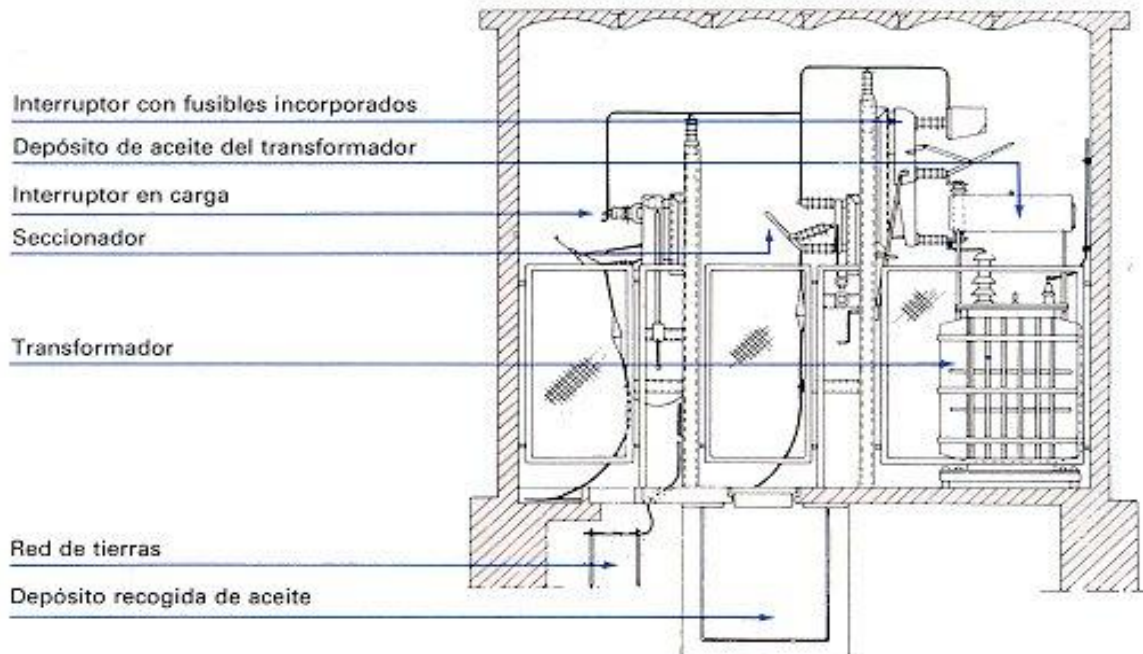
- ❖ Red de tierras
- ❖ Centro de transformación
- ❖ Caja conexión a tierra
- ❖ Caja General de Protección permanentemente accesible
- ❖ Canal protector de cables
- ❖ Centralización contadores
- ❖ Derivaciones individuales
- ❖ Cuadro mando y protección
- ❖ Instalación interior vivienda

Grafico 22. Ejemplo De Una Planta Central Eléctrica:

PLANTA (a)



PERFIL (b)



Fuente: LA ENERGÍA. Disponible en: www.consumer.es. Fecha de consulta: Julio de 2012

Siendo el transformador el elemento principal que integra un C.T., en la siguiente tabla se indican las dimensiones máximas de los transformadores de distribución, incluidas las partes más salientes (Recomendación UNESA 5201 C).

Tabla 4. Dimensiones de transformadores

| POTENCIA NOMINAL | LONGITUD | ANCHURA | | ALTURA | |
|---------------------|----------|---------------|----------------|----------------|---------------|
| | | Para 36 kV | Hasta 24 kV | Hasta 24 kV | Para 36 kV |
| kVA | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) |
| Hasta 100 | 110 | 110 | 74 | 78 | 149 |
| Hasta 160 | 114 | 124 | 83 | 85 | 150 |
| Hasta 250 | 130 | 135 | 91 | 98 | 162 |
| Hasta 400 | 160 | 162 | 102 | 105 | 175 |
| Hasta 630 | 160 | 185 | 110 | 115 | 187 |
| Hasta 1000 | 199 | 205 | 119 | 120 | 208 |

Fuente: LA ENERGÍA. Disponible en: www.consumer.es. Fecha de consulta: Julio de 2012

11.6.5 La Electricidad Desde El Generador Hasta Su Hogar. Para poder disfrutar de la electricidad en nuestro hogar, oficina o empresa ésta realiza un complejo recorrido desde los lugares donde se produce pasando por diferentes etapas hasta llegar finalmente a nuestras manos, en forma de luz, sonido, agua caliente o fría, etc. Todo este recorrido desde su generación hasta su entrega final, se realiza en lo que se denomina el sistema de potencia.

El sistema de potencia se encuentra dividido en 4 partes fundamentales como lo son:

- Generación
- Transmisión
- Sub-transmisión
- Distribución

11.6.5.1 Generación: Es aquí donde se realiza la transferencia de energía potencial, térmica, química, eólica (del viento), nuclear, etc. en energía mecánica y está en energía eléctrica. Para lo cual se utilizan gigantescos generadores.

Los generadores funcionan de manera similar a los motores, pero en forma inversa, esto significa que: mientras a un motor le inyectamos energía eléctrica para transformarla en energía mecánica (movimiento); a los generadores debemos de alguna manera entregarle energía mecánica (mover su eje) para transformarla en energía eléctrica y así producir electricidad. Claro está que un simple motor no funcionará como generador, para que lo haga deberá tener ciertos accesorios adicionales que los motores normalmente no traen.

Un ejemplo típico de los generadores, es el que utilizan ciertas bicicletas para producir la energía eléctrica suficiente para encender un faro que les permita ver en la oscuridad. El generador es un pequeño motor de corriente continua (DC), quien consigue girar y obtener la energía mecánica necesaria al hacerlo rozar contra uno de los cauchos de la bicicleta.

11.6.5.2. Transmisión: Toda la electricidad producida en los centros de generación se debe transportar hacia los grandes centros poblados, que por lo general se encuentran bastante alejados, uno del otro. Para realizar esta labor de forma eficiente se eleva el voltaje, por medio de transformadores, a valores entre 230 KV y 765 KV y se utilizan grandes torres metálicas para sujetar los cables que

la transportan, cruzar montañas, ríos y lagos; esta es la etapa que denominamos Transmisión.

11.6.5.3. Sub-transmisión: Una vez que nos aproximamos a los centros poblados, es necesario reducir el voltaje a valores menores (34.5 KV y 115 KV), por medio de transformadores reductores. Para facilitar así, la entrega de energía a su paso y hacer más sencillo transportar la electricidad hacia los grandes centros industriales y residenciales de las grandes ciudades (al poder utilizar estructuras metálicas de menores dimensiones). Esta corresponde a la etapa de Sub-transmisión.

Existen otros autores que consideran el nivel de voltaje de 115KV como de transmisión, por lo que podrá encontrarse en algunos textos esta diferencia sin que ello signifique un error, sino más bien una diferencia de criterios.

11.6.5.4. Distribución. Finalmente y para poder llegar a cada uno de los hogares, centros comerciales e industrias, se vuelve a reducir el voltaje a valores de 13.8 KV y menores, por medio de transformadores reductores. De esta forma es mucho más sencillo, económico y seguro, transportar la energía eléctrica a cada rincón del pueblo, urbanización o ciudad. Estamos entonces en la etapa de distribución.

En esta etapa se reduce el voltaje a valores comerciales (120 Volt, 240 Volt, 440 Volt), por medio de transformadores instalados directamente en los postes por donde se transporta la energía eléctrica.

Los postes y cables que normalmente vemos en las calles y los cilindros que se ven colgando en algunos postes (denominados transformadores), los cables que parten de los postes hacia cada casa, comercio o industria y los equipos contadores de energía (medidores) son los componentes de la fase de distribución y los últimos en la carrera de la electricidad desde el generador hasta nuestro hogar.

Los lugares donde se colocan los transformadores, bien sea para elevar o reducir el voltaje, se conoce como "Subestación Eléctrica".

12. PRESUPUESTO DE IMPLEMENTACIÓN

Tabla 5. Costos de la implementación de energía solar para la producción de calor y electricidad.

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL S |
|---|----------|----------------|----------------------|
| Módulos Solares de última tecnología de 205W cada uno para conformar arreglos de 400W, 600W o 800W según el modelo del sistema elegido. | 4 | \$ 2.593.800 | \$ 10.375.200 |
| Controlador de carga de 60A para gestionar la Energía Producida por los Paneles Solares | 1 | \$ 191.260 | \$ 191.260 |
| Inversor/Cargador de 1400W/1800W de Onda Modificada con Compartimiento de Baterías Incluido | 1 | \$ 5.607.900 | \$ 5.607.900 |
| Banco de Baterías de 200Ah o 400Ah según modelo elegido. | 1 | \$ 1.417.420 | \$ 1.417.420 |
| Cargador Inteligente de tres Etapas de 40Amps. | 4 | \$ 196.500 | \$ 786.000 |
| Salidas AC frontales para conectar aparatos, independientemente de haber hecho la instalación al panel principal de la casa u oficina. | 4 | \$ 636.660 | \$ 2.546.640 |
| Displays de LED multifunciones para todo el monitoreo y alarmas del sistema. | 1 | \$ 4.716.000 | \$ 4.716.000 |
| Opción de Protección con Falla a Tierra | 1 | \$ 123.140 | \$ 123.140 |
| Switch de Auto transferencia integrado y posibilidad de conectarle un generador eléctrico adicional. | 1 | \$ 979.880 | \$ 979.880 |
| Tablero o panel de distribución | 1 | \$ 1.820.900 | \$ 1.820.900 |
| COSTO TOTAL | | | \$ 28.564.340 |

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 6. Costo de implementación de electricidad a partir de agua en movimiento

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | VALOR UNIT | VR TOTAL |
|--|-------------------------|-------------------|---------------------|
| Rueda Pelton | 1 unid | \$ 90.000,00 | \$ 90.000,00 |
| Arreglo Alabes | | \$ 65.000,00 | \$ 65.000,00 |
| Rueda volante | 1 unid | \$ 110.000,00 | \$ 110.000,00 |
| Polea | 1 unid | \$ 28.000,00 | \$ 28.000,00 |
| estabilizador | 1 unid | \$ 380.000,00 | \$ 380.000,00 |
| Escobillas | | | \$ 6.000,00 |
| Chumaceras | | | \$ 14.000,00 |
| Cemento | 2 bultos | \$ 12.000,00 | \$ 24.000,00 |
| Rectificar eje Pelton | | \$ 20.000,00 | \$ 20.000,00 |
| Cableado | 95 mts | \$ 4.200,00 | \$ 399.000,00 |
| Alternador de polea 10 KVA mono fasico 1800 RPM | 1 | \$ 2.000.000,00 | \$ 2.000.000,00 |
| Roseta bombillos | 8 unid | \$ 1.500,00 | \$ 12.000,00 |
| Toma corriente | 8 unid | \$ 4.500,00 | \$ 36.000,00 |
| Interruptor | 8 inid | \$ 2.000,00 | \$ 16.000,00 |
| Arena Gruesa | 3 bultos m ³ | \$ 15.900,00 | \$ 47.700,00 |
| Tubo PVC 2' | 12 tubos de 6 metros | \$ 23.000,00 | \$ 276.000,00 |
| Transporte materiales | VARIOS | \$ 2.000.000,00 | \$ 2.000.000,00 |
| Jornal instalación | 20 días | \$ 17.900,00 | \$ 358.000,00 |
| COSTO TOTAL | | | \$ 5.181.700 |

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 7. Costo de implementación de energía a partir de un generador DIESEL

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL \$ |
|----------------------------|------------|----------------|--------------------|
| Generador DIESEL de 6,6 KW | 1 | \$ 5.063.980 | \$ 5.063.980 |
| Cableado | 95 mts | \$ 4.200 | \$ 399.000 |
| Roseta bombillos | 8 unid | \$1.500 | \$ 12.000 |
| Toma corriente | 8 unid | \$ 4.500 | \$ 36.000 |
| Interruptor | 8 inid | \$ 2.000 | \$ 16.000 |
| Instalación | 5 jornales | \$ 17.900 | 89500 |
| Transporte | Una unidad | | 300.000 |
| COSTO TOTAL | | | \$5.916.480 |

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 8. Costo de implementación de la energía por redes eléctricas

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL \$ |
|--|----------|-----------------|--------------------------|
| Aisladores Pin | 268 | \$ 17.000,00 | \$ 4.556.000,00 |
| Crucetas 2 mts 3/6 x 2 1/2 | 134 | \$ 52.000,00 | \$ 6.968.000,00 |
| Diagonales 0.68 | 250 | \$ 9.500,00 | \$ 2.375.000,00 |
| Espárragos | 268 | \$ 3.800,00 | \$ 1.018.400,00 |
| Tornillos 1/2 x 1/2 | 536 | \$ 600,00 | \$ 321.600,00 |
| Poste 10 mts 1 cada 80 mts | 125 | \$ 420.000,00 | \$ 40.500.000,00 |
| Grapas de retención | 36 | \$ 60.000,00 | \$ 2.160.000,00 |
| Retenidos | 20 | \$ 120.000,00 | \$ 2.400.000,00 |
| Plano eléctrico | 1 | \$ 200.000,00 | \$ 200.000,00 |
| Transporte material | | \$ 5.000.000,00 | \$ 5.000.000,00 |
| Mano de obra por cada poste | 125 | \$ 200.000,00 | \$ 25.000.000,00 |
| Cable de aluminio trenzado por 200 mts | 100 | \$ 65.500,00 | \$ 6.550.000,00 |
| Transformador | 1 | \$12.000.000 | \$12.000.000 |
| Roseta bombillos | | | |
| Toma corriente | 8 unid | \$ 4.500 | \$ 36.000 |
| Interruptor | 8 inid | \$ 2.000 | \$ 16.000 |
| COSTO TOTAL | | | \$ 109.101.000,00 |

Fuente: Autor del proyecto

13. COSTO DE PRODUCCIÓN

Tabla 9. Costo de producción (generación de energía por paneles solares)

| | |
|---|---------------|
| Módulos Solares de última tecnología de 205W cada uno para conformar arreglos de 400W, 600W o 800W según el modelo del sistema elegido. | \$ 28.564.340 |
| Mantenimiento Anual | \$ 1.142.574 |
| Vida Útil del Módulo Solar | 30 años |
| Total mantenimiento durante vida útil | \$ 33.134.634 |
| Costo inicial + mantenimiento vida útil | \$ 61.698.974 |
| Costo KW/hr | \$ 234,78 |

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 10. Costo de producción (generación de energía a partir de agua en movimiento)

| | |
|--|--------------------|
| Costo del Generador de Energía | \$ 5.559.500,00 |
| Vida Útil | 30 años |
| Mantenimiento por año | \$ 240.000,00 años |
| Mantenimiento Vida Útil | \$ 7.200.000,00 |
| Costo mantenimiento + Implementación del generador | \$ 12.759.500,00 |
| Costo KW/h | \$ 91.03 |

Fuente: Autor del proyecto

NOTA: este costo de producción es para un uso de 16 horas diarias de trabajo del generador, produciendo una potencia de 800 watt/h

Tabla 11. Costo de producción (generación de energía a partir de un generador DIESEL)

| | |
|---|--------------------|
| Especificaciones: Yamaha EF-6000 | |
| Máximo salida CA 6600 watts | |
| Tasados salida CA 6000 watts | |
| Nominal máxima corriente CA / 50,0 / 55,0 amperios @ 120V - 25,0 / 27,5 amperios @ 240V | |
| Capacidad del depósito de combustible 5,6 galones | |
| Operación continua cargada durante 8,3 hrs. | |
| Rendimiento | 0,67498 gl*hr |
| Costo Diesel | \$ 7.200,00 |
| Costo Rendimiento | \$ 4.859,86 |
| Costo mantenimiento por año | \$800.000 |
| Mantenimiento Vida Útil | 24.000.000 |
| Costo mantenimiento + Implementación del generador | 29.916.480 |
| Costo de producción (combustible + aceite): | 489.504.000 |
| Aceite | 48.000.000 |
| Combustible | 441.504.000 |
| Costo KW/hr | \$ 897,66 |

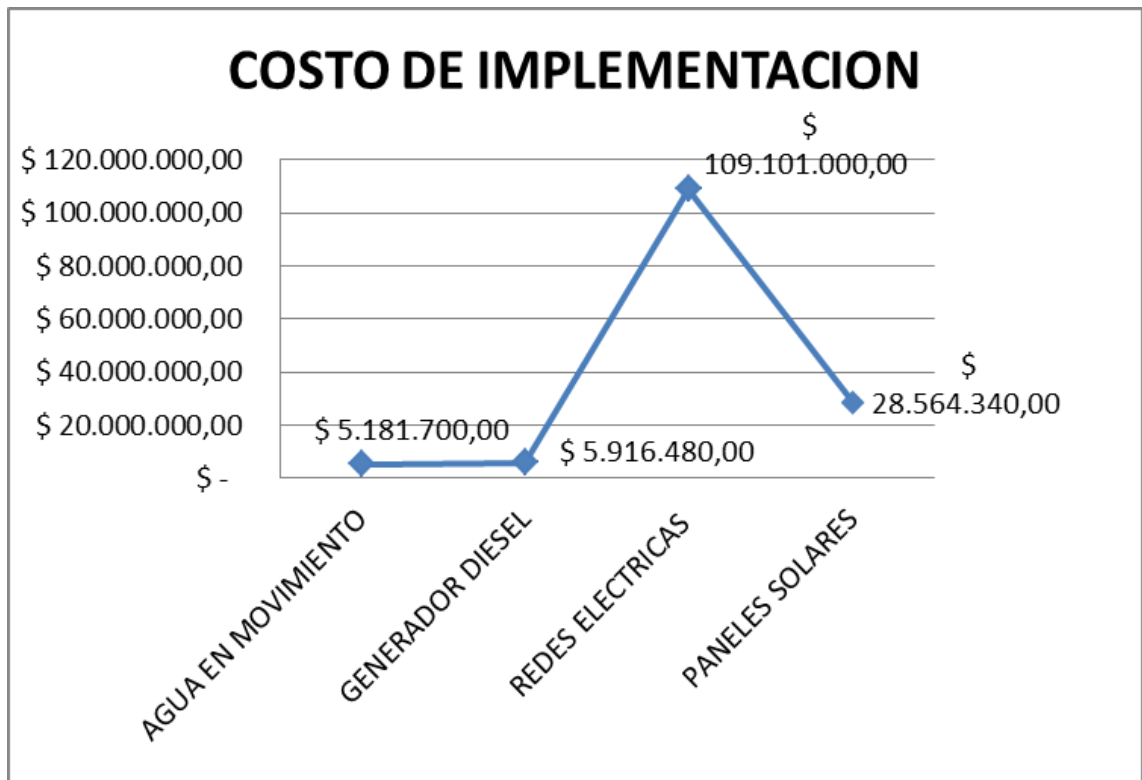
Fuente: Autor del proyecto

Tabla 12. Costo de producción (generación de energía a partir de líneas eléctricas)

| | | |
|---|-----------|------|
| Energía contratada | 4,6 | KW |
| Costo de Energía | \$ 390,04 | KW/h |
| ELECTRIFICADORA DE IBAGUÉ (ENERTOLIMA) | | |

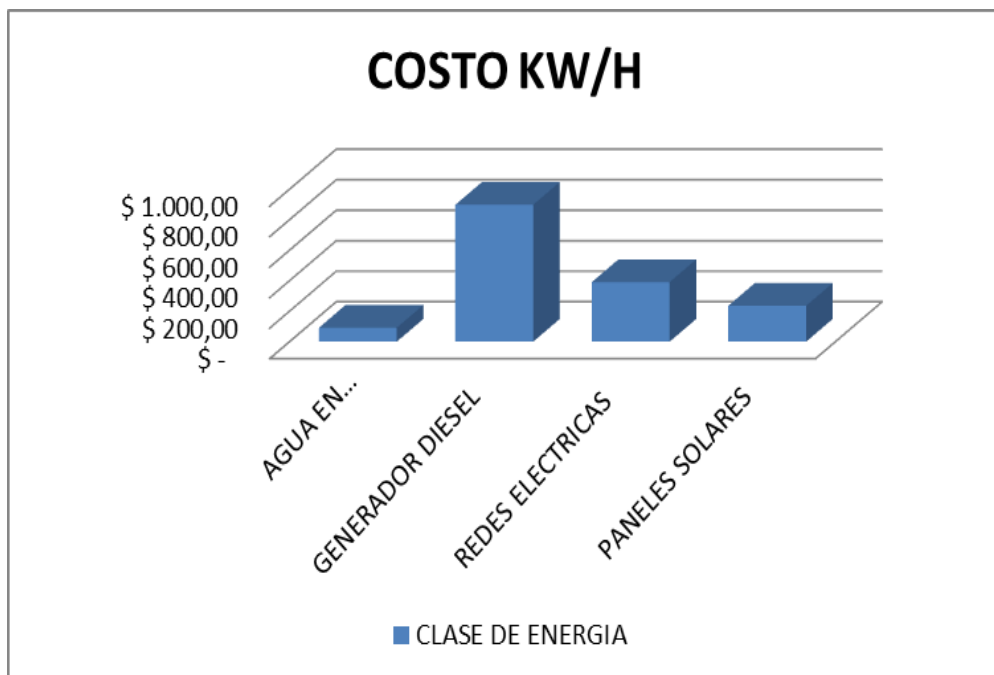
Fuente: Autor del proyecto

Grafico 23. Costo de implementación



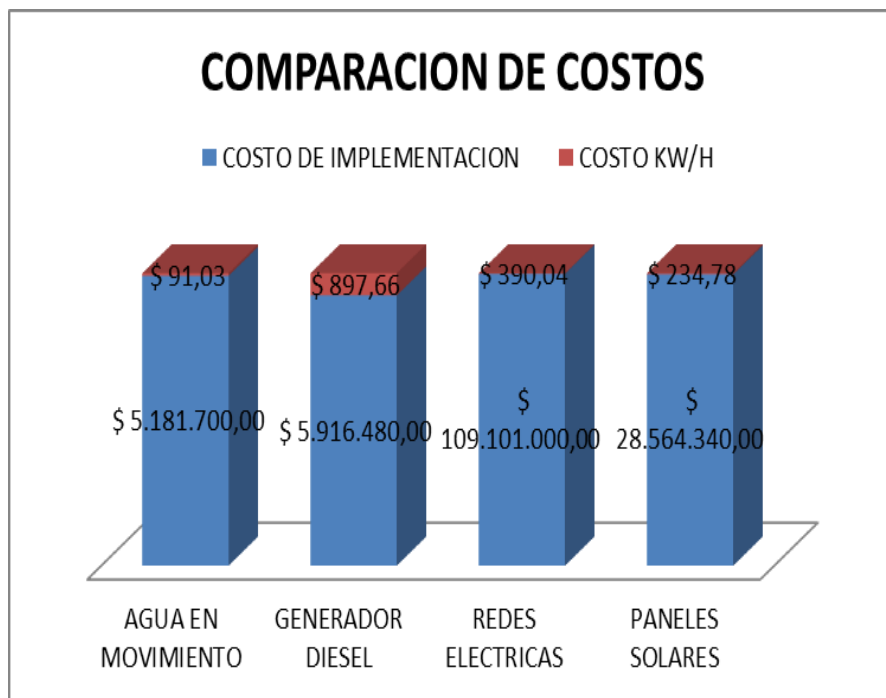
Fuente: Autor del proyecto

Grafico 24. Costo de Kw/h



Fuente: Autor del proyecto

Grafico 25. Comparación de costos



Fuente: Autor del proyecto

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La topografía montañosa del país nos brinda una gran oportunidad para dar cobertura energética a bajos costos con la ayuda de un poco de recurso hídrico.
- El abundante recurso hídrico en el país es una ventaja que se debe aprovechar para generar energía en las poblaciones aisladas a través de una baja inversión monetaria.
- Con la información recolectada se observó que el sistema es viable siempre y cuando se cuente con un buen caudal de agua, lo más constante en el tiempo posible. Adicionalmente, a través de los cálculos con los datos obtenidos, se dedujo que el sistema produce mejores resultados al instalarlo masivamente, utilizando subsidios que disminuyan el costo inicial para el usuario.
- El eje es un elemento indispensable en cuanto a la transmisión de potencias se trata y para ello es bueno tener en cuenta que la longitud debe ser lo más corta posible, el diámetro debe ser lo justo posible para evitar fallas, los apoyos deben estar cerca para evitar que se generen grandes momentos en el eje y una configuración adecuada para la visualización, interacción y entendimiento del módulo.
- El eje es un elemento esencial en las máquinas y para este caso hay que tener en cuenta un factor adicional, que es el medio al que está expuesto. Como debe estar en contacto directo con el agua, se selecciona un material que soporte además de las cargas estáticas y dinámicas un tiempo más prolongado de ataque por corrosión.

- Otro componente muy importante son los rodamientos seleccionados, que son además los que soportan el eje con sus cargas, también permiten el movimiento de rotación del eje sin mayores pérdidas. Este elemento viene en conjunto con el soporte y está debidamente protegido por unos anillos compactos a ambos lados, evitando alguna salpicadura de agua o mugre, que perjudique la vida del rodamiento.
- El diseño cuenta con elementos necesarios para la generación de energía eléctrica a partir de la energía hidráulica, sin embargo, se pueden adicionar algunos componentes como instrumentos de medición y una línea de derivación de la tubería de descarga que simule la caída del agua lluvia a un tanque que se puede ubicar en la parte posterior del sistema.
- El análisis detallado de cada uno de los elementos del sistema, nos lleva a elaborar una lista de materiales necesarios con especificaciones y costos favorables para su respectiva construcción.
- Se recomienda para futuras investigaciones, proponer nuevas formas para la turbina y un generador más eficientes.
- La ubicación de este dispositivo es primordial, debido a que se tendría que tomar en cuenta las condiciones del agua: su presión, su caudal, el diámetro de la tubería por donde viaja; debido a que estos son factores críticos a la hora de elegir un lugar propicio para su instalación.

BIBLIOGRAFÍA

COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA. Disponible en: www.conae.gob.mx. Fecha de consulta: Junio de 2012

GENERACIÓN DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Disponible en: www.gea.usm. Fecha de consulta: Junio de 2012

GREENE, RICHARD W, Válvulas. MC GRAW-HILL.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Disponible en: www.igac.gov.co. Fecha de consulta: Agosto de 2012.

LA ENERGÍA. Disponible en: www.consumer.es. Fecha de consulta: Julio de 2012

MANUAL SOBRE ENERGÍA RENOVABLE: hidráulica a pequeña escala/ BIOMASS USERS NETWORK (BUN-CA) 1 ed. – San José, C.R. BIOMASS USERS NETWORK (BUN-CA) 2002

OCAMPO GIL, LUIS HERNANDO. Diseño de accionamientos y transmisiones de máquina. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Organización DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACION, LA CIENCIA Y LA CULTURA. Programa mundial para la evaluación de recursos naturales hídricos para el desarrollo, el fortalecimiento de capacidades, y el medio ambiente. Disponible en: www.unesco.org. Fecha de consulta: Agosto de 2012

ORTIZ, Flórez Ramiro. Pequeñas centrales Hidroeléctricas. MC GRAW-HILL.

VEN TE CHOW. Hidráulica de canales abiertos. MC GRAW-HILL.

ANEXOS

ANEXO A. Registro fotográfico

Familia beneficiada por la generadoda de electricidad



Fuente: Autor del proyecto

Micro generador de energia impulsado por agua realizado en el presente proyecto



Fuente: Autor del proyecto

Quebrada que abastece la la tuveria para el micro generador de energia



Fuente: Autor del proyecto

Micro generador de energia que sirvio de ejerm,plo para el presente proyecto



Fuente: Autor del proyecto

Características del generador de energía utilizado en el proceso



Fuente: Autor del proyecto

Planta generadora de energía impulsada por agua realizada en el presente proyecto



Fuente: Autor del proyecto

Etapas del proceso



Fuente: Autor del proyecto

Agua que abastece la planta generadora de energía



Fuente: Autor del proyecto

Captacion



Fuente: Autor del proyecto

Poso de recoleccion



Fuente: Autor del proyecto

Impacto del agua en la pelton



Fuente: Autor del proyecto

Impacto del agua en la pelton



Fuente: Autor del proyecto

Impacto del agua en la pelton



Fuente: Autor del proyecto

Impacto del chorro de agua en la pelton



Fuente: Autor del proyecto

Rueda volante en funcionamiento



Fuente: Autor del proyecto

Generador de energía



Fuente: Autor del proyecto

Agua que sale de el generador de energia despues del proceso



Fuente: Autor del proyecto

Eje de la rueda pelton y rueda volante



Fuente: Autor del proyecto

Polea



Fuente: Autor del proyecto

Cables electricos que distribuyen la energia a la casa



Fuente: Autor del proyecto

Chumacera



Fuente: Autor del proyecto

Distribucion de energia en la casa beneficiada por el proyecto



Fuente: Autor del proyecto

Rueda volante



Fuente: Autor del proyecto

Rueda pelton



Fuente: Autor del proyecto

Perfil del generador de energía realizado en el proyecto



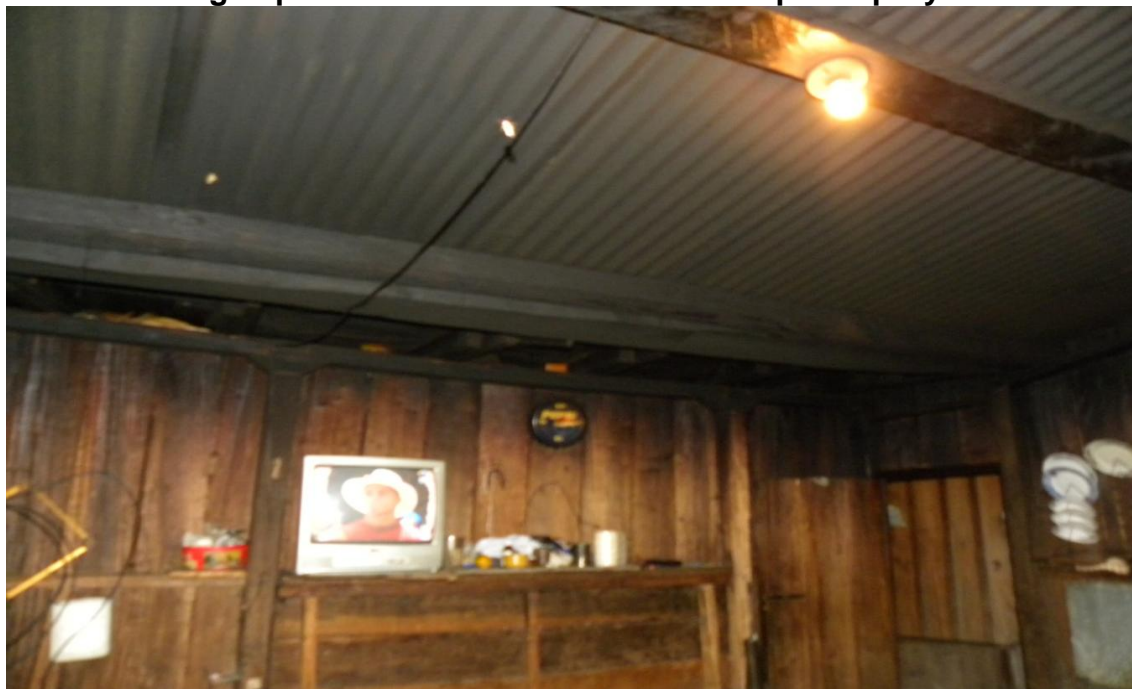
Fuente: Autor del proyecto

Frente del generador de energía realizado en el proyecto



Fuente: Autor del proyecto

Energía que abastece la casa beneficiada por el proyecto



Fuente: Autor del proyecto

Energía que abastece la casa beneficiada por el proyecto



Fuente: Autor del proyecto

Planta generadora de energía



Fuente: Autor del proyecto

Planta generadora de energía



Fuente: Autor del proyecto

Planta generadora de energía



Fuente: Autor del proyecto

Planta generadora de energía



Fuente: Autor del proyecto

Planta generadora de energía

ALGUNAS FOTOS DE PLANTAS GENERADORAS DE ENERGÍA UTILIZADAS EN LA REGIÓN





















Fuente: Autor del proyecto