



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

SEDE LATACUNGA

**CARRERA DE INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PICO CENTRAL
HIDROELÉCTRICA UTILIZANDO UNA TURBINA
MICHELL BANKI PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN
EL SECTOR DE LAS CARMELITAS DEL CANTÓN
TENA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN ELECTROMECAÁNICA**

**FREDDY JAVIER LANDA QUIMBITA
LUIS EDUARDO LLANGANATE QUINATO A**

Latacunga, Febrero 2009

DEDICATORIA

Con todo cariño admiración y respeto dedico este trabajo a DIOS por ser mi amigo y apoyo incondicional durante toda mi vida, a la familia Landa Quimbita quienes me apoyaron incondicionalmente para su realización, a mi Padre en especial a Luis Landa que siempre espera la superación de su hijo, a todas aquellas personas que estuvieron conmigo en alguna etapa de mi vida y formaron mi carácter, experiencia y pensamiento.

Freddy.

Me gustaría dedicar esta Tesis a toda mi familia.

Para mis padres, por su comprensión y ayuda en momentos malos y buenos. Me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad, ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio.

Para mi esposa Liliana, a ella especialmente le dedico esta Tesis. Por su paciencia, por su comprensión, por su empeño, por su fuerza, por su amor, por ser tal y como es,... porque la quiero. Es la persona que más directamente ha sufrido las consecuencias del trabajo realizado. Realmente ella me llena por dentro para conseguir un equilibrio que me permita dar el máximo de mí. Nunca le podré estar suficientemente agradecido.

Para mis hijos Sebastián, Francisco Y Doménica. Ellos son lo mejor que me ha pasado, y han venido a este mundo para darme el último empujón para terminar el trabajo. Es sin duda mí referencia para el presente y para el futuro.

Luis

AGRADECIMIENTO

Primero el agradecimiento a Dios que me dio salud, vida y fortaleza para alcanzar mis metas, a mis padres quienes me apoyaron a lo largo de toda mi existencia y a todos quienes colaboraron y prestaron su atención desinteresadamente para llegar a culminar cada uno de mis pasos.

Freddy

Gracias a todas y cada una de las personas que participaron en la investigación realizada, ya que invirtieron su tiempo y conocimientos para ayudarme a completar mi proyecto de tesis.

Agradezco a Dios por llenar mi vida de dicha y bendiciones

Agradezco al apoyo incondicional de mi esposa y la comprensión de mis hijos.

Agradezco a mis Padres, a mis Hermanos, a mis Cuñados por la compañía que me brindan. Se que cuento con ellos siempre.

Por ultimo, quiero agradecer a todos aquellas personas que sin esperar nada a cambio compartieron pláticas, conocimientos y diversión. A todos aquellos que durante los últimos años que duró este sueño lograron convertirlo en una realidad.

Gracias,

Luis

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	- 1 -
2. ANTECEDENTES GENERALES.....	- 2 -
3. JUSTIFICACIÓN.....	- 3 -
4. OBJETIVOS	- 4 -
4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	- 4 -

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Energía potencial del agua	- 5 -
1.2. Importancia de las pequeñas centrales en el sector rural	- 6 -
1.3. ¿Qué es un sistema pico hidráulico?.....	- 8 -
1.3.1. Principios básicos de una pico hidro.....	- 10 -
1.3.2. Potencia.....	- 12 -
1.3.3. Eficiencia.....	- 13 -
1.4. Turbina michell banki	- 14 -
1.4.1. Introducción.....	- 14 -
1.4.2. Características Generales:	- 15 -
1.4.3. Campo de aplicación.....	- 16 -
1.4.4. Principio de funcionamiento	- 16 -
1.4.5. Descripción de una turbina Michell-Banki	- 17 -
1.4.6. Proceso de fabricación	- 20 -
1.4.7. Cálculos para la fabricación:	- 23 -
1.4.8. Instalación	- 24 -
1.5. El generador	- 25 -
1.5.1. Generación en Corriente Alterna.....	- 26 -
1.5.2. Generación en Corriente Continua	- 26 -
1.5.3. Motor utilizado como generador	- 27 -
1.6. Tipos de regulación.....	- 28 -
1.6.1. Regulación de velocidad por caudal.	- 29 -
1.6.2. Regulación por carga complementaria.....	- 29 -

1.6.3. Mediante la combinación del control por caudal y por carga complementaria.	- 29 -
--	--------

CAPITULO II
DISEÑO DE LA OBRA CIVIL

2.1. Datos técnicos.....	- 31 -
2.1.1. Bocatomas	- 31 -
2.1.2. Canal de Conducción	- 32 -
2.1.3. Desarenador y cámara de carga	- 32 -
2.1.4. Tubería de presión	- 33 -
2.1.4.1. Tuberías de acero comercial.....	- 34 -
2.1.5. Válvulas para tuberías de presión.....	- 34 -
2.1.5.1. Válvulas de compuerta.....	- 35 -
2.1.6. Casa de Máquinas	- 35 -

CAPITULO III
PARÁMETROS DE SELECCIÓN Y DISEÑO MECÁNICO

3.1. Datos técnicos.....	- 36 -
3.2. Diseño y cálculos hidráulicos.....	- 37 -
3.2.1. Diagramas de velocidad	- 40 -
3.2.2. Cálculo de la velocidad del agua a la salida del inyector.....	- 42 -
3.2.3. Geometría del Inyector.....	- 46 -
3.2.4. Geometría del Rodete	- 47 -
3.2.4.1. Diámetro interno	- 48 -
3.2.4.2. Radio de curvatura de los álabes	- 48 -
3.2.4.3. Ángulo de curvatura de los álabes	- 49 -
3.2.4.4. Carcasa y tapas laterales de la carcasa	- 50 -
3.3. Diseño de la tubería forzada.....	- 50 -
3.3.1. Selección de la tubería forzada.....	- 50 -
3.3.2. La presión nominal	- 51 -
3.3.3. Selección del diámetro óptimo	- 52 -
3.4. Diseño y cálculos mecánicos.....	- 54 -
3.4.1. Diseño y cálculos del rodete.....	- 55 -

3.4.1.1. Número de álabes del rotor	- 55 -
3.4.1.2. Cálculo y diseño del eje del rodete	- 62 -
3.4.1.3. Número óptimo de revoluciones en RPM.....	- 63 -
3.4.1.4 Selección de la chaveta	- 67 -
3.5. Diseño del soporte de rodamiento	- 69 -
3.5.1. Selección de rodamiento	- 70 -
3.5.2. Cálculo de la carga dinámica.....	- 70 -
3.5.2.1. Capacidad de carga dinámica	- 71 -
3.5.2.2. Capacidad de carga estática.....	- 71 -
3.6 Sistemas de transmisión de potencia mecánica.....	- 72 -
3.6.1 Elementos de un sistema de transmisión de potencia mecánica	- 72 -
3.6.1.1. Tipos de transmisiones.....	- 73 -
3.6.1.2. Criterios para el dimensionamiento de sistemas de transmisión -	74 -
3.6.1.3. Transmisión por engranajes.....	- 74 -
3.6.1.4. Multiplicadores de velocidad	- 75 -
3.6.2. Diseño del multiplicador	- 75 -
3.6.3. Engranajes	- 77 -
3.6.3.1. Sentido de giro	- 78 -
3.6.3.2. Relación de velocidades	- 78 -
3.6.3.3. Cálculo y diseño de los engranajes	- 79 -
3.6.3.4. Denominaciones y relaciones dentado del sistema de módulo .-	80 -

CAPITULO IV

SELECCIÓN TÉCNICA DEL EQUIPO ELÉCTRICO

4.1. Selección técnica de generadores	- 83 -
4.1.1 Generador de corriente continua.....	- 83 -
4.1.1.1 Ventajas.....	- 83 -
4.1.1.2 Desventajas.....	- 83 -
4.1.1.3 Mantenimiento.....	- 84 -
4.1.2 Generador Síncrono	- 85 -
4.1.2.1 Ventajas	- 85 -
4.1.2.2. Desventajas.....	- 86 -
4.1.2.3. Mantenimiento.....	- 87 -

4.1.3 Generador de Inducción o Asíncronos.....	- 87 -
4.1.3.1 Ventajas.....	- 87 -
4.1.3.2 Desventajas.....	- 87 -
4.1.3.3 Mantenimiento.....	- 88 -
4.1.4. Selección Práctica del Generador.....	- 88 -
Características del generador síncrono.....	- 89 -
4.2. Selección del sistema de regulación de frecuencia y voltaje.....	- 89 -
4.2.1. Importancia de controlar la frecuencia y voltaje del sistema.....	- 90 -
4.2.2 Regulación de velocidad por medio de caudal en la turbina.....	- 91 -
4.2.3 Regulación de la velocidad por regulación de carga.....	- 92 -
4.2.4 Criterios de selección.....	- 93 -
Reguladores de carga.....	- 93 -
Reguladores de caudal.....	- 93 -
4.2.5. Selección de regulador.....	- 93 -
4.2.5.1. Principio de funcionamiento.....	- 93 -
4.2.5.2 Características técnicas de reguladores electrónicos de carga ...	- 94 -
4.3. Diseño y selección del equipo de seccionamiento control.....	- 95 -
4.3.1 Protección Contra Sobrecarga.....	- 96 -
4.3.1.1. Cálculo de protecciones de la vivienda.....	- 98 -
4.3.2. Protección contra cortocircuitos.....	- 100 -
4.3.2.1 Fusibles o cortacircuitos.....	- 100 -
4.3.2.2 Selección de fusible.....	- 102 -

CAPITULO V

INSTALACIÓN DE LA PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA

5.1 Implementación.....	- 104 -
5.2 Bocatoma.....	- 104 -
5.3 Canal de conducción.....	- 105 -
5.4 Desarenador y tanque de presión.....	- 105 -
5.5 Tanque de presión.....	- 106 -
5.6 Tubería de presión.....	- 108 -
5.7 La casa de máquinas.....	- 109 -
5.7.1 Cimientos.....	- 109 -

5.7.2 Piso.....	- 110 -
5.7.3 Paredes	- 110 -
5.7.4 Canal de Desfogue	- 111 -
5.8 Cimentación de la turbina	- 111 -
5.9 Sistema de acoplamiento.....	- 112 -

CAPITULO VI

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

6.1. Análisis técnico económ. comparativo de la parte de generación..	- 114 -
6.2. Análisis técnico económico comparativo de la turbina	- 114 -
6.3. Justificación de la inversión económica del proyecto	- 115 -
6.3.1 Beneficios.....	- 117 -
6.3.2 Valor residual.	- 119 -
6.3.2.1 Valor residual de obra civil:	- 120 -
6.3.2.2. Valor residual de la maquinaria, equipo electromec.....	- 120 -
6.3.2.3 Otros valores residuales (instalación y montaje)	- 120 -
6.3.2.4 Valor residual total.....	- 121 -
6.3.3 Flujo de caja interno	- 121 -
6.3.4 Calculo Del Valor Actual Neto. (VAN).....	- 122 -
6.3.5 Tasa interna de retorno (TIR).....	- 123 -
6.3.6 Conclusión.....	- 125 -

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones	- 126 -
7.2 Recomendaciones.....	- 128 -
BIBLIOGRAFIA.....	- 130 -
ENLACES WEB.....	- 131 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Componentes de un sistema Pico Hidro	- 10 -
Figura 1.2. Pérdidas de potencia	- 12 -
Figura 1.3. Campos de aplicación	- 16 -
Figura 1.4. Etapas turbina	- 17 -
Figura 1.5. Descripción turbina.....	- 18 -
Figura 1.6. Entradas de agua a la turbina.....	- 19 -
Figura 1.7. Rodete de la turbina Banki.....	- 20 -
Figura 1.8. Preparación de los álabes	- 21 -
Figura 1.9 Tipos de instalación	- 24 -
Figura 1.10 Disposición de tubería cuando tenemos saltos elevados.....	- 25 -
Figura 3.1. Gráfico de velocidades.....	- 43 -
Figura 3.2. Presión a diferentes alturas.....	- 51 -
Figura 3.3. Segmento circular del álabe	- 57 -
Figura 3.4 Diagrama de fuerzas	- 62 -
Figura. 3.5 Diagrama de fuerza en el plano x - y.....	- 64 -
Figura. 3.6 Diagrama de fuerzas	- 65 -
Figura. 3.7 Diagrama de momentos	- 65 -
Figura. 3.8 Diagrama de fuerzas x - z.....	- 66 -
Figura. 3.9 Diagrama de momentos x - z.....	- 66-
Figura 3.10. Rueda y piñon.....	- 77 -
Figura 3.11. Sentido de giro.....	- 78 -
Figura. 4.1 Generador de corriente continua.	- 85 -
Figura 4.2: Esquema de regulación de velocidad por carga lastre.....	- 92 -
Figura. 4.3 Protecciones de un tablero de distribución eléctrica.....	- 96 -
Figura 4.4 Esquema del fusible	- 100 -
Figura 4.5 Tipos de fusibles.....	- 103 -
Figura 5.1 Instalación de la Bocatoma	- 105 -
Figura 5.2 Excavación de desarenador tipo horizontal.....	- 106 -
Figura 5.3 Tanque de presión.....	- 107 -
Figura 5.4 Colocación de acoples espiga tipo campana en la tubería	- 109 -
Figura 5.5 Cimentación de la turbina Michell Banki al piso	- 112 -

Figura 5.6 Acoples flexible con correas de caucho.....	- 113 -
Figura 6.1 Gráfica del VAN.....	- 124 -
Figura 6.2 Grafica del TIR.....	- 124 -

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Dimensiones del perfil del rodete	- 49 -
Tabla 3.2 Viscosidad del agua a diferentes temperaturas.....	- 53 -
Tabla 3.3 Parámetros característicos en turbinas ensayadas por diferentes investigaciones.....	- 56 -
Tabla 4.1 Efectos de operación con baja frecuencia	- 90 -
Tabla 4.2 Efectos de operación con alta frecuencia	- 90 -
Tabla 4.3 Tipo de cartuchos fusibles.....	- 90 -

1. INTRODUCCIÓN

La producción de energía eléctrica a través del aprovechamiento de la fuerza del agua forma parte de nuestra cultura como un medio normal, seguro y consolidado de producir energía (tanto mecánica como eléctrica).

Actualmente, el uso más común de la fuerza hidráulica es la producción de energía eléctrica, al menos en los países industrializados: casi un siglo y medio de aplicaciones industriales tienen en esta dirección, con la realización de obras y centrales de cierta importancia, incluso desde el punto de vista arquitectónico, han ayudado a consolidar en nuestra mente la idea de aprovechamiento de un recurso disponible de una forma limpia.

Sin embargo, algunas centrales hidroeléctricas, especialmente las de gran tamaño, con embalses de millones de metros cúbicos de agua, tienen impacto negativo sobre el medio ambiente. Actualmente se están escuchando voces en contra de las energías renovables, incluso provenientes de grupos ecologistas, que llaman la atención sobre el impacto ambiental que producen algunas tecnologías, en relación a su reducida productividad.

Por desgracia, a menudo no se produce un diálogo entre las partes interesadas, que permita contrastar el impacto real producido sobre el territorio, con el beneficio en términos de disminución de emisiones contaminantes: este clima puede perjudicar el desarrollo de las fuentes renovables, tales como la mini-hidráulica, que en otros países son fomentadas precisamente por las asociaciones ecologistas.

En este sentido, las Administraciones Públicas y los profesionales tienen un papel importante en el aprovechamiento de las oportunidades que ofrece el desarrollo de las fuentes de energías renovables: por una parte, los directivos responsables de la imposición de las directrices en los ámbitos de la energía, el medio ambiente y el territorio tienen la posibilidad de favorecer la implantación de pequeñas instalaciones de fuentes de energías renovables en nuestro país, a través de los instrumentos de la programación, de facilitar los trámites de autorización, la asignación de fondos, y de la adhesión a proyectos e iniciativas de programación local.

Por otra parte, los profesionales tienen la tarea de investigar sobre la potencialidad que ofrece el territorio particularmente en la zona oriental del Ecuador, estudiar cómo integrar estos sistemas en el medio local, diseñar proyectos-piloto que ayuden a definir y difundir unos estándares.

2. ANTECEDENTES GENERALES

La energía hidráulica tiene como fuente la energía potencial del agua que está a cierta altura. Esta se transforma en energía mecánica al pasar por una turbina y posteriormente en energía eléctrica por medio de un generador.

La energía hidráulica se ha usado durante años para la obtención tanto de energía mecánica, como para uso directo en energía eléctrica. Las ventajas que presenta este tipo de aprovechamiento energético son, su bajo costo de generación, bajo costo de mantenimiento, no requiere abastecimiento de combustibles, no presenta problemas de contaminación, puede compatibilizarse con el uso del agua para otros fines, y una larga vida útil. Tiene limitaciones en cuanto a la disponibilidad de los recursos hidráulicos, dependencia de factores meteorológicos y estacionales.

Todos estos factores al ser analizados para un proyecto en particular, determinan la factibilidad técnica y económica de la instalación de una pico-central.

Los picos centrales hidroeléctricos son pequeños sistemas energéticos que aprovechan la energía renovable de pequeños y medianos cursos de agua y la transforman en energía eléctrica.

Funcionan con desniveles de 2 a 200 metros y caudales de 0,5 a 3000 litros/seg. Proporcionan energía eléctrica en corriente continua o alterna en un rango de 0,5 hasta 150 Kw. de potencia.

Las picos centrales hidroeléctricos constituyen una alternativa energética viable, cohabitando en perfecta armonía con el hombre y el medio ambiente. No contaminan, producen "energía limpia" sin causar daños hidrológicos.

Son confiables, de construcción sencilla, larga vida útil y mínimo mantenimiento. Favorecen el asentamiento humano mejorando las condiciones de calidad de vida y promueven el desarrollo industrial, económico y social, logrando el equilibrio entre tecnología y naturaleza.

Están llamadas a cumplir un rol en la solución de los problemas energéticos en el ámbito rural, a donde arribar con una línea de corriente eléctrica implica costos muy altos.

Los lugares de aplicación más comunes son en zonas alejadas de la red de suministro eléctrico y centros de distribución; y en sitios donde se desea aprovechar un recurso hídrico disponible para generar energía a los efectos de iniciar alguna explotación agrícola / ganadera, forestal, industrial, minera o turística.

3. JUSTIFICACIÓN

Para la región Oriental del Ecuador, las tecnologías de energía renovable a pequeña escala presentan una alternativa económica y ambiental factible para la provisión de energía a comunidades rurales remotas y para la expansión de la capacidad eléctrica instalada, ya sea por medio de sistemas aislados o por proyectos conectados a la red eléctrica. La región cuenta con suficientes recursos para desarrollar sistemas hidráulicos.

Adicionalmente, estas tecnologías pueden disminuir la contaminación del medio ambiente causada por las emisiones de gases de los sistemas convencionales, que utilizan combustibles fósiles como el carbón y productos derivados del petróleo. Estos gases contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global de nuestro planeta.

Sin embargo, existen barreras que dificultan un mayor desarrollo de este tipo de energía: la falta de conocimiento de las tecnologías y las capacidades institucional y técnica aún incipientes.

Con el fin de remover la barrera de información existente en nuestro medio se ha elaborado esta tesis en donde se ve la importancia y beneficios de la Energía hidráulica a pequeña escala. Así como lo barato y sencillo que resulta el diseñar y construir una pequeña central hidráulica.

4. OBJETIVOS

Este proyecto tiene como meta Diseñar y construir una pico central para generación eléctrica, utilizando una turbina Michelle Banki para alumbrado y el funcionamiento de un pequeño taller industrial.

4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Presentar instrucciones claras acerca del diseño y la instalación de proyectos pico Hidro a nivel local.
- Enfatizar la sencillez, bajo requerimiento de mantenimiento y larga vida útil de los sistemas pico Hidro.
- Obtener la generación en Corriente alterna, visto que sistemas de bajo voltaje en Corriente directa no pueden fácilmente transmitir la electricidad a distancias mayores de unos pocos metros.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Energía potencial del agua¹

Toda forma de energía se divide en dos tipos grandes de energía; la primera clase de energía es la **energía cinética**, la energía del movimiento y acción.

La segunda mayor forma de energía es la **energía potencial**, energía que es almacenada y potencialmente disponible para ser usada. La energía potencial puede ser usada para transferirse en energía cinética. El agua, como muchas sustancias, contiene dos clases de energía. La primera clase de energía es llamada energía cinética.

Esta es la energía que es usada durante la ejecución de procesos, como es el movimiento. Debido a la energía cinética el agua puede fluir, pero el agua también puede contener energía potencial. Esta es la energía que está almacenada en el agua. Almacenada, pero no usada. Esta energía puede llegar a ser usada cuando el agua comienza a fluir. Será transferida a energía cinética y esta causará el movimiento.

¹ <http://www.lenntech.com/espanol/FAQ-energia-agua.htm>

Cuando el agua fluye o cae, se puede generar energía. La generación de energía a través del agua es usualmente llevada a cabo en plantas hidroeléctricas, con un número de pasos y el uso de varios aparatos, como son las turbinas y generadores. La energía del agua puede ser usada para producir electricidad.

La energía hidráulica se refiere al aprovechamiento de la energía potencial que tiene el agua (por diferencia de altura) que se obtiene buscando una caída de agua desde cierta altura a un nivel inferior, la que luego se transforma en energía mecánica (rotación de un eje), con el uso de una rueda hidráulica o turbina. Esta energía se puede utilizar directamente para mover un pequeño aserradero, un molino o maquinaria pequeña. También es posible conectar la turbina a un generador eléctrico y de esta manera transformar la energía mecánica en energía eléctrica, con la ventaja de trasladar con mayor facilidad la energía a los puntos de consumo y aplicarla a una gran variedad de equipos y usos productivos.

Por lo tanto, la cantidad de potencia y energía disponible en el agua de un río o una quebrada, está en relación directa a la altura o caída disponible, así como de la cantidad de agua que se trasiega (caudal).

Como estrategia inicial para escoger un posible aprovechamiento hidráulico se debe buscar la mayor caída o altura disponible y de esta manera usar la cantidad mínima de agua que se requiera para satisfacer las necesidades de energía y potencia.

1.2. Importancia de las pequeñas centrales en el sector rural

En la actualidad tiene especial importancia la explotación de pequeñas centrales hidroeléctricas, pico y mini hidroeléctricas, como alternativa de generación de energía eléctrica en zonas rurales montañosas donde no llega

una red electro energética mayor, debido además del posible beneficio económico, a su gran valor social y ecológico. No se descarta incluso, su conexión a sistemas mayores, cuando sea posible y favorable económicamente, como es el caso de las centrales a pie de presa para el aprovechamiento de la energía de las aguas de riego agrícola o empleadas en otros usos.

Los sistemas eléctricos interconectados han resuelto el abastecimiento de los centros urbanos y han penetrado parcialmente en las áreas rurales. Quedan aún grandes áreas geográficas sin servicio eléctrico y la población rural que los habita se encuentra mayoritariamente en situación precaria, con niveles de actividad económica de subsistencia y altos índices de necesidades sociales básicas insatisfechas. Estas áreas rurales con pobladores alejados de las redes de distribución, con requerimientos energéticos insatisfechos, constituyen el ámbito principal donde la hidrogenación eléctrica a pequeña escala encuentra su aplicación potencial, en tanto se cuente con recursos hídricos locales suficientes.

La demanda de energía eléctrica en áreas rurales se caracteriza por bajos niveles de consumo y grandes áreas de dispersión de la población (baja densidad de consumidores).

Los requerimientos de electricidad son básicamente domésticos y en menor escala productivos. Los usos domésticos atienden a iluminación, comunicación (radio, TV), conservación de alimentos, calentamiento de agua. Las aplicaciones productivas están orientadas al bombeo de agua para riego, accionamiento de motores, maquinaria y máquinas herramientas, etc.

Bajo estos criterios los requerimientos de energía para una familia rural se ubican entre 500W y 2.000Watts de potencia eléctrica. Esta demanda energética atiende en primer lugar a un concepto de calidad de vida; no cabe esperar que el poblador rural utilice la electricidad para fines productivos en escala significativa.

Deberá tomarse la decisión técnica de planificar el abastecimiento eléctrico de tales requerimientos de energía, incorporando las nuevas tecnologías

alternativas, y así finalizar con los niveles de subsistencia actuales en el ámbito rural y evitar los procesos migratorios hacia las ciudades que convierten a los pobladores rurales en habitantes urbanos marginales.

La ventaja más importante del pico central hidráulico sobre otras fuentes de energía renovables es que pueden generar las 24 horas del día, a menos que se trate de casos excepcionales de escasez de agua o competencia en el uso del agua. Las PCH se diseñan para la máxima demanda y generalmente con proyección a por lo menos 20 años, de modo que en estos sistemas la mayor parte del tiempo se genera mucha más energía que la demandada, esto sucede en especial en la electrificación de pequeños centros poblados, donde el uso normalmente es alumbrado doméstico, muy pocos artefactos eléctricos, muy pequeños servicios locales (molienda de granos, soldadura, carpintería, cargado de baterías y otros) y alumbrado público. Este tipo de demandas suele presentar un pico muy elevado durante muy pocas horas del día, mientras que las restantes horas el consumo es bajo, mientras que la planta sigue generando la misma potencia durante el día.

1.3. ¿Qué es un sistema pico hidráulico?

Pico hidro refiere a instalaciones hidroeléctricas con niveles de generación eléctrica menores de cinco kilovatios. Sistemas hidroeléctricos de este tamaño gozan de ventajas en términos de costos y simplicidad, comparados con sistemas hidroeléctricos de mayores capacidades, debido a distintos procedimientos que se aplican en los pasos de diseño, planificación e instalación del pico-sistema. Recientes innovaciones en la tecnología pico hidro han hechos que se convierta en una tecnología energética económicamente viable aún en partes del mundo muy pobres e inaccesibles. Además es una fuente de potencia versátil. Puede generar electricidad CA (corriente alterna) permitiendo el funcionamiento de equipos eléctricos estándares, y la distribución de la electricidad a toda una comunidad. Ejemplos comunes de los aparatos que funcionan en sistemas

pico hidros son: bujías para iluminación, radios, televisores, refrigeradoras, y equipos de procesamiento de alimentos. Con algunos diseños pico hidro es posible también sacar fuerza mecánica directamente del eje de la turbina, permitiendo el funcionamiento de maquinarias tales como herramientas para talleres, molinos de granos, y otros equipos de procesamiento de los productos agrícolas locales. Se considera el uso de pico hidro en países en vías de desarrollo. Existe un mercado sustancial para este tipo de sistemas debido a varios factores:

- A menudo en países que tengan amplias redes de distribución eléctrica, hay muchas comunidades pequeñas sin electrificarse. A pesar de la fuerte demanda por la electrificación, la conexión de estas comunidades a las redes no es rentable para las empresas eléctricas, debido a los bajos niveles de consumo de una comunidad pequeña.
- Para pico hidros se requieren caudales pequeños, por lo cual existen numerosas fuentes aprovechables de agua. Muchas veces un manantial o un arroyo pequeño provee suficiente agua para la instalación pico hidro.
- La maquinaria pico hidro es pequeña y compacta. Los componentes pueden ser fácilmente transportadas a sitios remotos y de difícil acceso.
- Es posible la fabricación local de los equipos. Los principios de diseño y procesos de fabricación son fáciles de aprender. Eso ayuda para que ciertos de los costos de los equipos estén acordes con los niveles económicos actuales.
- Instalaciones pico hidro cuidadosamente diseñadas tienen costos por Kilovatio menores que instalaciones fotovoltaicas solares o de viento. Sistema de generación diesel, aunque tengan un costo inicial menor, resultan más costosos sobre su vida útil debido al alto costo del combustible.

1.3.1. Principios básicos de una pico hidro²

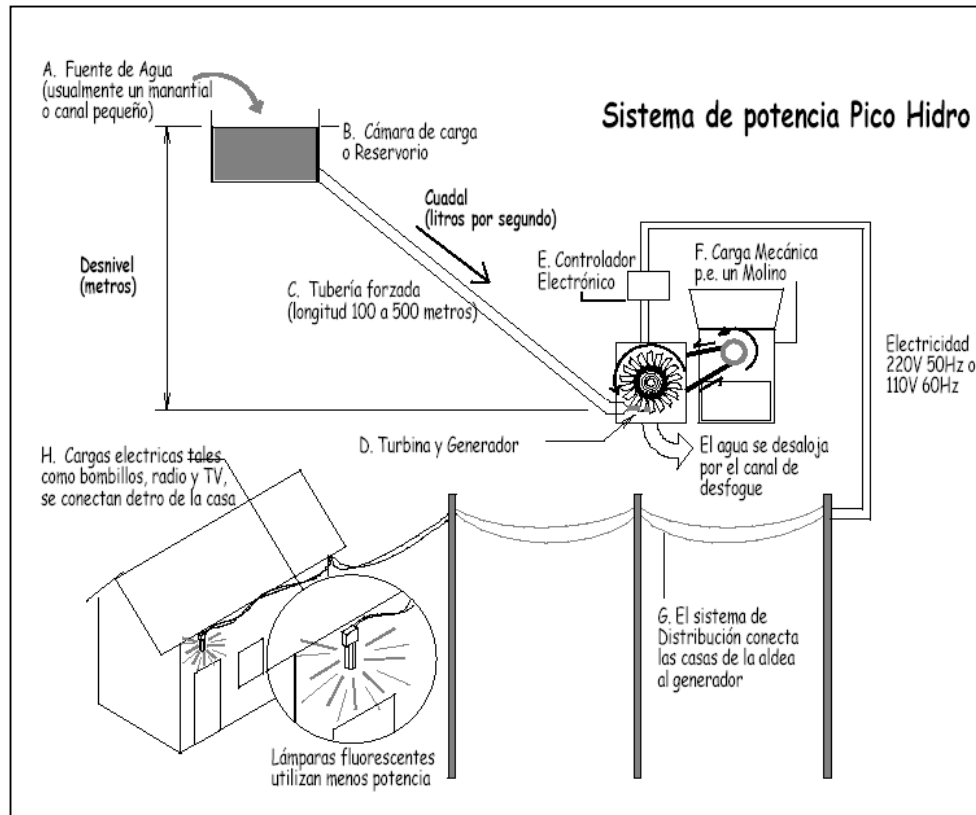


Figura 1.1 Componentes de un sistema Pico Hidro

Un sistema pico hidroeléctrico aprovecha la potencia de una caída de agua. La figura 1.1 demuestra el esquema de un sistema pico hidro. Cada uno de los componentes se describe en mayor detalle a continuación.

La **fuerce de agua** es un arroyo, o a veces un canal de irrigación. Pequeños caudales también pueden ser derivados de los caudales grandes de los ríos. Lo importante es que la fuente de agua sea confiable en cuanto al caudal, y que el agua no sea requerida por otras personas para otros propósitos. Los ojos de agua son excelentes fuentes, visto que se pueden contar con ellos

² **PICO HIDRO Potencia para Aldeas** Un Manual Práctico para Instalaciones de hasta 5 Kw. Phillip Maher y Nigel Smith. Pág. 2.1-2.3 (Página electrónica)

aún en la temporada de sequía, y usualmente su agua es limpia. Esto hace que la obra de toma sea menos propensa a atascarse con sedimentos y por ende no requiere frecuentes limpiezas.

- EL agua fluye desde la Fuente hacia la **Cámara de Carga**. Esta a veces se dimensiona para formar un pequeño reservorio. Un reservorio puede ser útil para almacenamiento de agua en caso que el caudal sea insuficiente en temporada seca.
- El agua fluye desde la Cámara de Carga o reservorio, cuesta abajo por una tubería larga a la cual se le llama **Tubería Forzada**. Al final de la Tubería Forzada el agua sale de una tobera, en forma de chorro a alta presión.
- La potencia del chorro de agua, a la cual se refiere como la “potencia hidráulica”, es transmitida al rodete de la turbina y el rodete transforma la potencia hidráulica en potencia mecánica. El rodete de la turbina tiene aspas o cucharas que lo hacen rotar cuando reciba el impacto del chorro de agua. Por la palabra **turbina** generalmente se entiende el conjunto de equipos que incluyen el rodete, la tobera, y la carcasa que los rodea y los protege. El rodete de una turbina Michell Banki estandarizada gira a 996 r.p.m. como velocidad máxima, la turbina es acoplada al **generador**. El propósito del generador es el de convertir la potencia mecánica giratoria de la turbina en potencia eléctrica.
- Se conecta un **controlador electrónico** al generador. El controlador hace que la potencia eléctrica generada corresponda con las cargas eléctricas que se conectan al sistema. Eso es necesario para evitar que el voltaje suba y baje. Sin el controlador de carga, el voltaje variaría cada vez que se prendieran y apagaran las luces y otros dispositivos eléctricos.

1.3.2. POTENCIA

La potencia se mide en **Vatios (W)** o **kilovatios (Kw.)** 1000 W equivalen a 1 Kw. Las instalaciones de potencia Pico Hidro producen potencias eléctricas máximas de 5 Kw. Cuando se habla de un proyecto hidroeléctrico es importante distinguir entre los tres tipos de potencia, visto que cada tipo de potencia tendrá un valor distinto. **La potencia del agua (potencia hidráulica) siempre será mayor que la potencia mecánica y que la potencia eléctrica.** Eso se debe al hecho que, al convertirse la potencia de una forma en otra, una parte de la potencia se pierde en cada etapa de la transformación, a como se ilustra en la Figura 1.2.

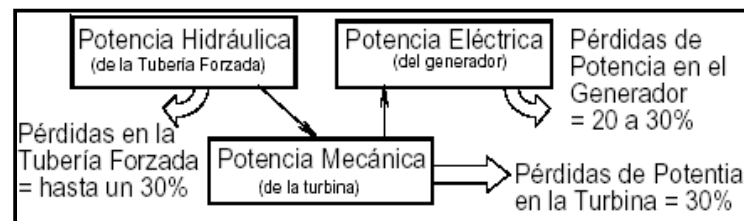


Figura 1.2. *Pérdidas de potencia*

La mayor pérdida usualmente ocurre en la conversión de la potencia hidráulica en potencia mecánica, cuando el chorro de agua impacta en el rodete de la turbina. En una instalación bien diseñada y bien construida, aproximadamente un tercio (30%) de la potencia del chorro de agua se perderá en esta transformación. Las pérdidas pueden ser aún mucho mayores en instalaciones mal-hechas. 20% a 30% adicionales se perderán en el generador en la transformación de la potencia mecánica en electricidad. Algo de potencia también se pierde en la Tubería Forzada. El agua en contacto con las paredes internas de la tubería se lenea y pierde fuerza debido al roce de la fricción. Esta pérdida de potencia se expresa en metros de columna de agua de pérdida de desnivel. Su valor típicamente es de entre 20% a 30% del desnivel total. Antes de tomar en cuenta estas pérdidas en la tubería, a la caída o el desnivel se le refiere como el desnivel bruto, después de restar las pérdidas se le llama desnivel neto.

1.3.3. EFICIENCIA

Eficiencia es la palabra que se utiliza para expresar qué tan buena o mala es la conversión de la potencia de un tipo a otro. Una turbina que tiene una eficiencia del 70% convertirá 70% de la potencia hidráulica en potencia mecánica (los restantes 30% se pierden). La eficiencia del sistema resulta de la combinación de las eficiencias de todos los procesos en conjunto.

La eficiencia del sistema para la generación de electricidad utilizando tecnología pico hidro típicamente es de entre 40% a 50%.

- La Carga **Mecánica** refiere a una máquina la cual se conecta el eje de la turbina, a menudo por medio de un sistema de poleas, de manera que se extrae potencia directamente de la turbina. La fuerza giratoria del rodete de la turbina puede utilizarse directamente para hacer girar maquinaria tales como molinos de granos, equipos de carpintería, etc. Aunque se pierda aproximadamente 10 % de la potencia mecánica en el sistema de poleas, aún así resulta una manera bastante eficiente de aprovechar la potencia disponible de la turbina. Con el uso de cargas mecánicas, se aprovecha más la potencia, visto que no se incurre en las pérdidas correspondientes a generadores ni a motores eléctricos.
- El **sistema de distribución** transmite la electricidad desde el generador hacia las casas de los usuarios. Esta es, en la mayoría de los casos, una de las partes más costosa del sistema pico hidro.
- Las **Cargas de los Usuarios** usualmente están conectadas adentro de las casas. “Carga Eléctrica” es un término general que se refiere a cualquier dispositivo que utiliza la electricidad generada. Los tipos de cargas eléctricas que se conectan a un sistema pico hidro dependen de la cantidad de potencia generada. Se prefieren las lámparas fluorescentes visto que consumen mucho menos potencia que las luminarias incandescentes (de filamento). Eso permite que se conecten más lámparas al mismo generador.

1.4. TURBINA MICHELL BANKI

1.4.1. Introducción³

La turbina Michell Banki es una turbina de acción de flujo transversal y de admisión parcial, que se utiliza en aquellos proyectos de Pequeñas centrales Hidroeléctricas donde se aprovecha un salto y un caudal medio para satisfacer la demanda de un sistema eléctrico, cuyo diagrama de carga diaria posee un factor de carga inferior a 0,5 su rango de aplicación esta comprendido dentro del rango de aplicación de la Turbina Francis, superándola en eficiencia cuando la turbina opera la mayor parte del tiempo a carga parcial.

El inventor de la turbina de flujo transversal también conocida como turbina Banki (o Michell- Banki) fue el ingeniero Australiano A.G.M. Michell, quien obtuvo una patente para esta máquina en 1903. La turbina fue basada en la teoría de Poncelet, ingeniero francés (1788-1867) quien desarrolló la clásica rueda hidráulica de eje horizontal. El profesor húngaro Donat Banki en la ex Alemania Occidental hizo un trabajo extensivo sobre esta máquina entre 1912 y 1918. A través de una serie de publicaciones especificó que, para obtener la máxima eficiencia, el ángulo con el cual el chorro golpea al álabe debe ser tan pequeño como sea posible. Basado en esta suposición calculó los ángulos de entrada y salida del rotor, ancho del mismo, la forma del flujo a través de éste, curvatura del álabe, etc.

Consideró todas las pérdidas posibles que ocurren en el inyector y el rotor y expresó el rendimiento máximo posible como:

³ UNIDAD 6: Facultad de Ingeniería - Laboratorio de Máquinas Hidráulicas. Curso: "PEQUEÑAS CENTRALES HIDRAULICAS" Pág. 1-3 (Página electrónica)

$$\eta_{\max} = 0.771 - 0.384 \frac{D}{H} \quad (1)$$

En el cual D es el diámetro de la turbina y H la altura total.

Sonnek (1923) modificó la teoría de Banki asumiendo un ángulo del álabe constante e igual a 30°, con lo que la expresión del rendimiento máximo resultó en:

$$\eta_{\max} = 0.863 - 0.264 \frac{D}{H} \quad (2)$$

Desde esa época fueron muchas las investigaciones realizadas sobre esta turbina a través del tiempo, las cuales han introducido mejoras sustanciales en la eficiencia de la misma.

1.4.2. Características Generales:

La turbina de Flujo Transversal o turbina Michell-Banki es una máquina utilizada principalmente para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos.

Basa sus ventajas fundamentalmente en un sencillo diseño y fácil construcción lo que la hace especialmente atractiva en el balance económico de un aprovechamiento en pequeña escala. No obstante esta turbina puede ser utilizada en grandes instalaciones.

Las principales características de esta máquina son las siguientes:

- La velocidad de giro puede ser seleccionada en un amplio rango.
- El diámetro de la turbina no depende del caudal.
- Se alcanza un aceptable nivel de rendimiento con pequeñas turbinas.
- Se puede regular el caudal y la potencia por medio de un álabe ajustable.

1.4.3. Campo de aplicación.

Fundamentalmente su aplicación se destina a la producción de energía en pequeña escala como se ve en la figura 1.3, en otros casos, su eje se acopla por correa a otros dispositivos mecánicos y la energía mecánica obtenida se utiliza directamente en trabajos de taller.

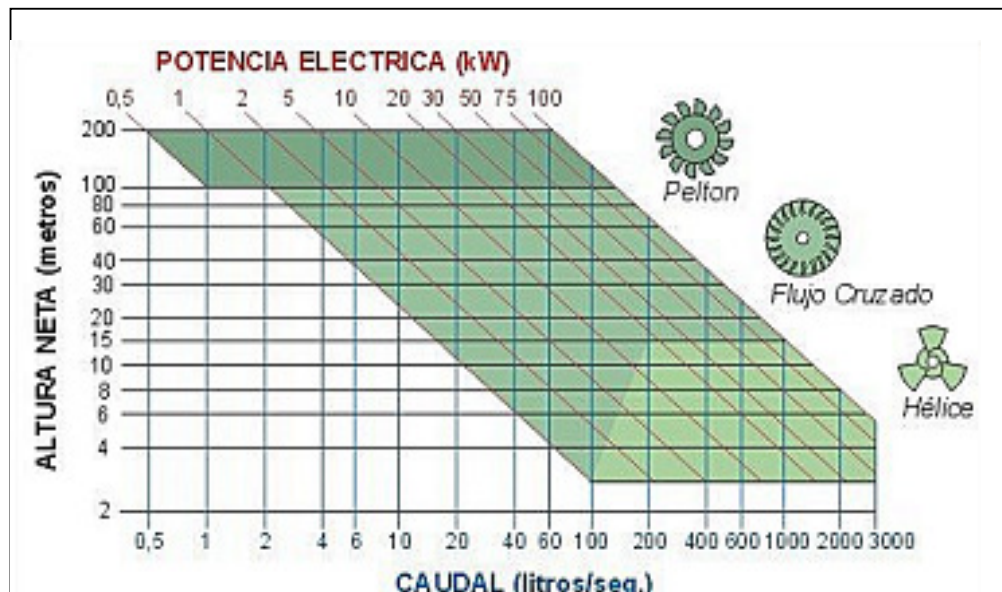


Figura 1.3. Campos de aplicación

Fuente: <http://www.savoiapower.com/hydrotabla.html>

1.4.4. Principio de funcionamiento

La turbina consta de dos elementos principales: un inyector y un rotor. El agua es restituida mediante una descarga a presión atmosférica.

El rotor está compuesto por dos discos paralelos a los cuales van unidos los álabes curvados en forma de sector circular.

El inyector posee una sección transversal rectangular que va unida a la tubería por una transición rectangular – circular. Este inyector es el que dirige el agua hacia el rotor a través de una sección que toma una

determinada cantidad de álabes del mismo, y guía el agua para que entre al rotor con un ángulo determinado obteniendo el mayor aprovechamiento.

La energía del agua es transferida al rotor en dos etapas (ver figura 1.4), lo que también da a esta máquina el nombre de turbina de doble efecto, y de las cuales la primera etapa entrega un promedio del 70% de la energía total transferida al rotor y la segunda alrededor del 30 % restante

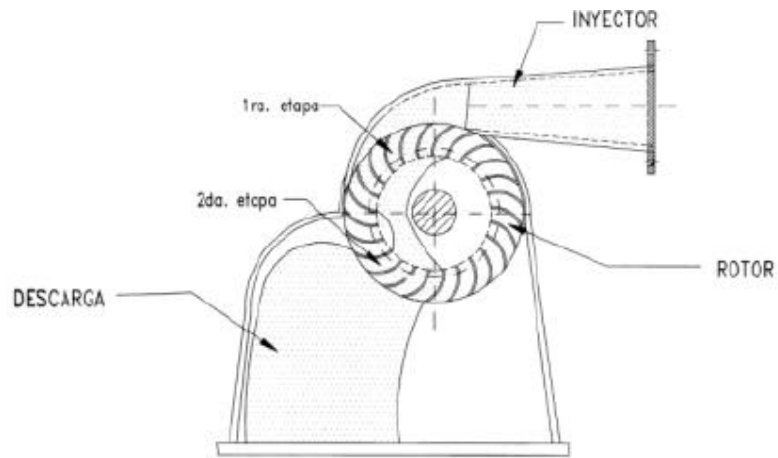


Figura 1.4. Etapas turbina

1.4.5. Descripción de una turbina Michell-Banki⁴

Una vez que el agua hace su entrada, la pala directriz móvil, o distribuidor, regula la cantidad de fluido que penetra en el interior, según gire sobre su eje, habilitando una entrada mayor o menor. Además se encarga de direccionar el flujo para el agua incida sobre el rodete, sobre los primeros álabes o “paletas” que encuentra en su camino, propiciando así el giro del

⁴ *Comité Ejecutivo de Desarrollo e Innovación Tecnológica.htm (Página electrónica)*

mismo. Una vez atravesados estos álabes, el fluido continúa su camino en el interior y reincide sobre los álabes inferiores, ayudando al giro.

El rodete consta de dos o más discos paralelos (figura 1.5), entre los que se montan, cerca del borde, unas laminas curvadas que hacen el papel de álabes, por lo que su construcción artesanal es factible, aunque naturalmente nunca alcanzarán los rendimientos de las unidades construidas con los medios técnicos adecuados.

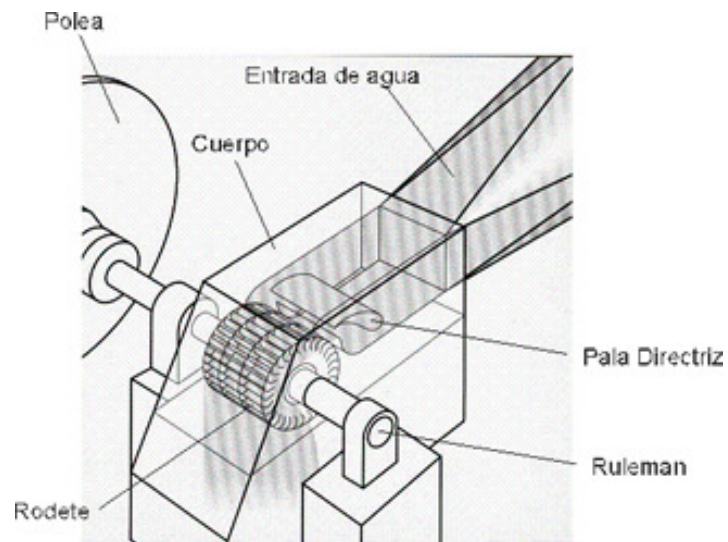


Figura 1.5. Descripción turbina

Un aspecto muy atractivo derivado de la constitución de la máquina y su forma de funcionamiento consiste en que el follaje, hierbas, lodos, etc. que durante la entrada del agua se quedan entre los álabes, vuelven a ser expulsados después de medio giro del rodete con el agua de salida por el efecto de la fuerza centrífuga. De este modo el rodete tiene un funcionamiento poco sensible a elementos no deseados, que es una de las ventajas que posee respecto a otras turbinas.

Es importante que a la hora de diseñar la carcasa se tenga muy en cuenta el aspecto de aislamiento de los rodamientos respecto al paso del agua. Por ello la carcasa está preparada con alojamientos y un sistema de prensaestopas que evita las fugas de forma eficiente.

Excepto el cambio anual de grasa, los cojinetes no requieren ningún trabajo de conservación. Obsérvese que la simplicidad de este diseño permite una realización apropiada del mismo. El elemento principal, el rodete, consta de un par (o más) de discos en los que se sueldan los álabes, que son de curvatura lineal.

Tanto el rodete como el ingreso de agua se pueden fabricar con láminas de acero soldadas requiriendo herramientas y técnicas de armado simples, con lo que cualquier taller podría hacer frente a su construcción.

La forma de instalación como se puede ver en la figura 1.6 puede adoptar dos disposiciones: Entrada horizontal de agua o entrada vertical del agua:

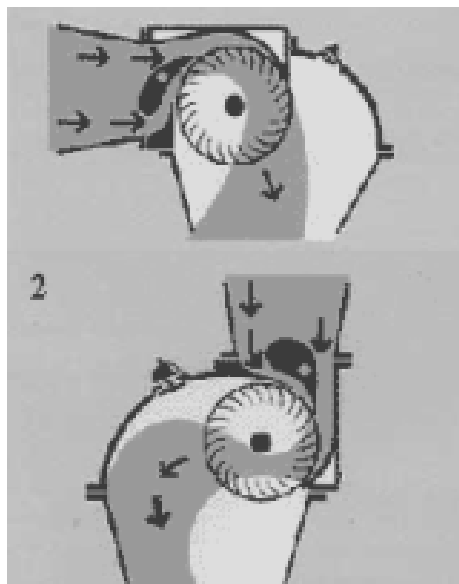


Figura 1.6. Entradas de agua a la turbina

Fuente: Comité Ejecutivo de Desarrollo e Innovación Tecnológica.htm

1.4.6. Proceso de fabricación⁵

La turbina Michell-Banki puede construirse con materiales de desecho, como planchas y tuberías de acero, y de una manera sencilla si se dispone de un taller suficientemente equipado. En cualquier caso se debe proceder según el material utilizado, la disponibilidad de un taller con más o menos medios, y la experiencia de los trabajadores.

A continuación se dará una guía de los procedimientos y métodos que se pueden emplear para la fabricación de la turbina.

El rodete de la turbina de flujo cruzado está compuesto de dos placas laterales circulares entre las que se intercalan el eje y los álabes, que suelen ser numerosos, generalmente 18. Vea figura 1.7

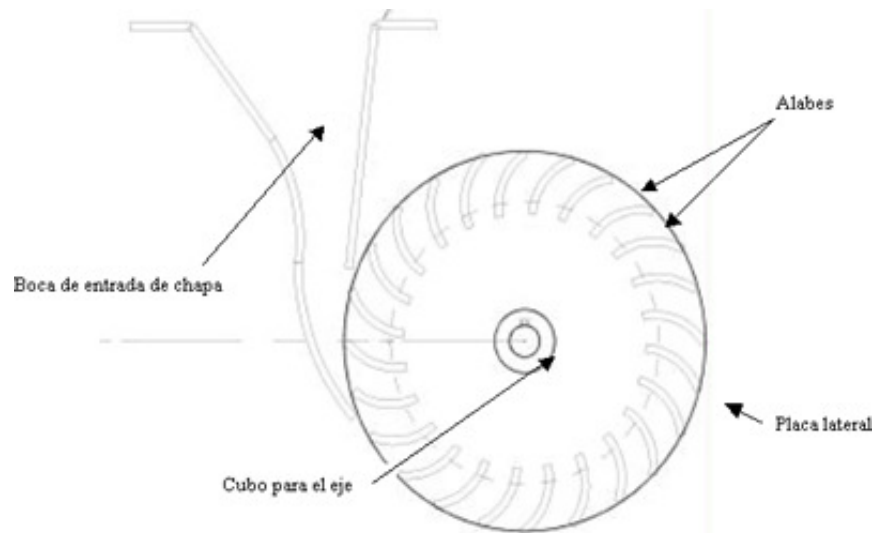


Figura 1.7. Rodete de la turbina Banki

Las placas laterales se cortan en forma circular. Si se utiliza el corte acetilénico manual, para conseguir dicha forma será necesaria la utilización

⁵ *Ccredit (Página electrónica)*

de pivotes y aparejos. Seguir la forma curva exterior manualmente es bastante complicado.

Los álabes se fabrican tomando secciones de tubos de acero (Figura 1.8). En primer lugar se hace un corte al tubo, creando tramos de tubo con la longitud deseada (el ancho de la turbina) y posteriormente se realiza el corte longitudinal de los álabes, de manera que se perfilen con una sección circular de un ángulo aproximado a 72° .

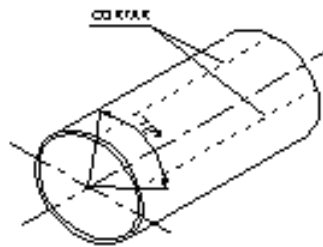


Figura 1.8. Preparación de los álabes

La entrada de la turbina, está hecha a base de placas (láminas) de acero. Allí se ha de instalar una válvula de entrada, que cumpliría en cierta medida la función de la pala directriz, ya que su fabricación puede ser complicada. Su misión es regular la cantidad de agua de entrada, y con ello la velocidad de rotación. Puede utilizarse algún tipo de válvula para tubería cerrada, mientras no sea una válvula de asiento, pues esta genera mucha pérdida de carga.

También se debe tener una válvula de vaciado de carcasa, con el fin de eliminar los restos de agua que puedan quedar antes de la realización de una operación de mantenimiento.

Una vez que se tienen las piezas se procede al montaje. En principio la unión de los álabes se puede realizar de dos formas diferentes.

Se puede optar por la soldadura directa de los álabes a la placa lateral. Ello lleva asociada la necesidad de plantillas para facilitar el correcto posicionamiento. A la vez, será necesario el uso de aparejos que

proporcionen la sujeción en forma alineada de las piezas durante la soldadura. Se puede reducir en gran medida esta dificultad de montaje realizando ranuras o bien muescas en las placas laterales en las que encajen los álabes. Ello lleva un mayor esfuerzo en la preparación y creación de dichas ranuras curvas, pero es compensado por facilitar los registros de las piezas durante el montaje y soldadura. En el caso de que se opte por realizar ranuras, la soldadura puede ser externa, facilitando mucho el montaje.

Antes de proceder a la soldadura se ha de comprobar que los álabes no estén deformados, y una vez encajados en las placas, comprobar la perpendicularidad mediante una escuadra.

Tras el montaje se debe proceder al equilibrado de la turbina. Se colocan los soportes de giro con los rodamientos y cojinetes, tal y como quedaría el montaje final y se procede a girar manualmente la turbina dejándola deslizar. Si existe un defecto en el equilibrado, se irá parando, y al final habrá un vaivén, un balanceo.

Con el fin de asegurar si realmente está desequilibrado, se ha de repetir varias veces la prueba, marcando el lugar final en el que queda estacionada la rueda.

La parte que queda inferior está más cargada que la superior. Para equilibrar se debe añadir masa en la placa lateral en la parte que quedó arriba. Por medio de imanes de diferentes tamaños se puede aproximar de forma muy cómoda la cantidad de masa a añadir. Posteriormente sólo será necesario pesar los imanes añadidos y soldar ese mismo peso a las placas.

Con esto se soluciona el equilibrado estático. El equilibrado dinámico, no se puede realizar sin equipamiento adecuado, por lo que se deberá trabajar en forma experimental.

1.4.7. Cálculos para la fabricación:⁶

Una vez presentado el método de fabricación, se deben determinar los tamaños de cada elemento con el fin de satisfacer una determinada demanda. De aquí en adelante se describe una propuesta concreta de realización con los s pertinentes de dimensiones.

Para el diseño se recomienda utilizar una turbina de 30 cm. de diámetro exterior ya que este diámetro resulta adecuado para la mayoría de saltos.

Si se expresa la altura del salto (H) y el diámetro exterior (De) en metros, la velocidad de rotación en r.p.m. de la turbina (n) viene dada por la siguiente expresión:

$$N = \frac{39,85 H^{1/2}}{De} \quad (3)$$

en donde:

N es el número óptimo de revoluciones en RPM

De es el diámetro exterior del rodete, en metros

H es el salto neto aprovechable

Cuando se diseña la turbina para que gire a una velocidad sincrónica, el diámetro exterior del rodete se determina despejándolo de la fórmula anterior. Cuando la transmisión entre la turbina y el generador es a través de un sistema de bandas o engranajes se supone el diámetro del rodete y se aplica la fórmula anterior.

⁶ *Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos centrales hidroeléctricos. Volumen 1. OLADE*

Podemos hacer la multiplicación hacia el generador, que debe girar a 1800 rpm (según se determine dependiendo del tipo de generador) por medio de correas trapezoidales, una caja de cambios de moto, etc.

El ancho de la turbina (b) se determinará en función de las rpm calculadas, el caudal Q en m³/seg. (1 m³ = 1000 litros) y la altura H en metros, según la siguiente fórmula:

$$b = \frac{0.036 \cdot n \cdot Q}{H} \quad (4)$$

Para casos de pequeña potencia (1 o 2 Kw.) el rotor se puede construir con placas laterales de 3 mm de espesor, con cubos de refuerzo para el eje unidos mediante soldadura. El rotor lleva de 18 a 24 álabes también de 3 mm de espesor.

Los álabes de esta turbina se pueden fabricar con tubos de acero de 10 cms de diámetro, teniendo cada uno una sección de 72° como fue indicado anteriormente.

1.4.8. Instalación

A continuación se presentan dos posibilidades de instalación para la toma de agua cuando se tiene una altura muy baja (Figura 1.9):



Figura 1.9 Tipos de instalación

En el caso de mayores alturas de salto, es conveniente derivar el agua mediante una tubería forzada.

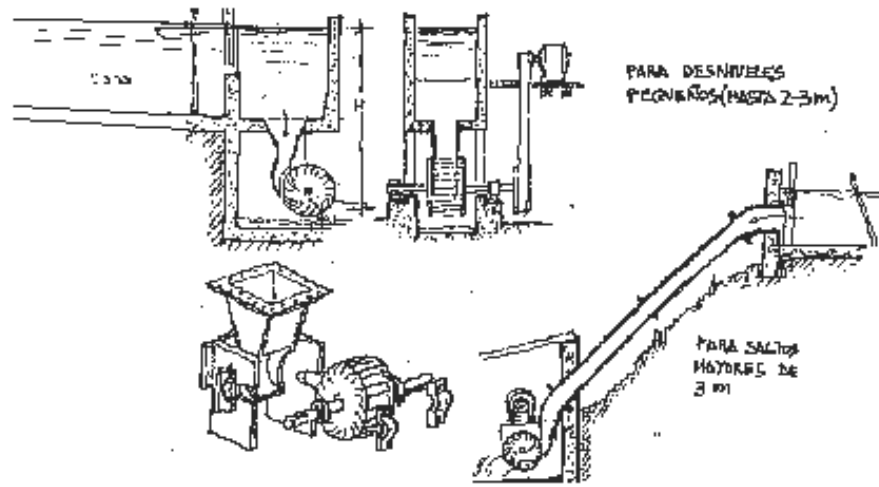


Figura 1.10 Disposición de tubería forzada cuando tenemos saltos elevados

1.5. EL GENERADOR

También llamado alternador o dínamo, es la parte del equipo que recibe el giro de la turbina y transforma la energía mecánica del eje de la turbina, energía eléctrica. Existen varios tipos de generadores, como:

- Generador síncrono. De mayor aplicación en sistemas pico hidros, puede ser de eje horizontal o vertical.
- Generador de inducción. Llamado también motor como generador. Se utiliza para pequeñas potencias, hasta 10 Kw. Es una alternativa interesante, por su bajo costo.
- Generador de imanes permanentes. Se utiliza en sistemas pequeños, pico generadores, menos de 1 Kw.
- Alternador automotriz. Es otra alternativa para la electrificación rural, especialmente para cargas de baterías.

1.5.1. Generación en Corriente Continua

El sistema más económico, por no requerir de elementos auxiliares ni ser muy complicada su instalación, puede ser utilizar un alternador de automóvil, generando en 12 Volts y cargar baterías para luego alimentar focos de auto instalados en lugares convenientes de la casa.

Si utilizamos esta opción deberemos asegurarnos que el alternador posea su regulador de voltaje y que gire a una velocidad suficiente para obtener la tensión adecuada. Una buena velocidad es 1500 rpm. Para lograr esta velocidad podemos trabajar con los diámetros de las poleas que conectan el eje de la turbina con el eje del alternador. Primero calculamos la velocidad de giro de la turbina según la fórmula escrita anteriormente. Supongamos que nos da 250 rpm, para que el alternador gire a 1500 rpm, la polea de la turbina debe ser 6 veces más grande en diámetro que la del alternador.

Se pueden agregar según la disponibilidad de recursos, medidores de voltaje, indicador de carga, etc.

1.5.2. Generación en Corriente Alterna

También se puede generar de manera simple en corriente alterna, pero solamente para iluminación, utilizando como generador un motor eléctrico monofásico o trifásico.

Para esto se deben utilizar los motores denominados de “jaula de ardilla” que son los motores que comúnmente se encuentran en los artefactos como lavarropas, bombas de agua, ventiladores, etc.

1.5.3. Motor utilizado como generador⁷

Los generadores síncronos son las máquinas más utilizadas en los sistemas de generación de electricidad. Sin embargo en los últimos años la utilización de los generadores de inducción o generadores asíncronos se ha incrementado especialmente en pequeños sistemas hidráulicos de generación de energía.

El uso de motores como generadores, permite reducir los costos en la implementación de los pequeños sistemas hidroenergéticos y así facilitar el acceso a la electricidad en comunidades aisladas.

Sus ventajas:

- Se encuentran fácilmente en el mercado local.
- Se puede adquirir en el mercado por un tercio de costo de su equivalente síncrono.
- Los motores de inducción son robustos y tienen una construcción simple, no tiene devanados, anillos deslizantes en su rotor.
- Las máquinas de inducción son completamente cerradas, de modo que aseguran la protección contra el polvo y el agua.

Sus desventajas:

- No siempre están disponibles con los rangos de voltaje adecuados para ser útiles como generadores, por lo que podría ser necesario hacer modificaciones en la conexión de los devanados o, en casos muy extremos, rebobinar.
- A diferencia del generador síncrono, que puede ser suministrado listo para su uso, la máquina de inducción no trabajará si no se le conecta un “banco”

⁷ *Manual de Mini y Micro centrales hidráulicas. pdf ITDG-LA*

de condensadores de un valor adecuado a calcular. Este permite darle la excitación necesaria para iniciar la generación de energía.

- Cuando se trata de potencias de generación limitadas, como es el presente caso, y cuando se requiere arrancar motores, resulta más fácil arrancarlos como generadores síncronos que con generadores de inducción.

Para utilizar un motor como generador no es necesario realizar ninguna modificación interna, solamente se realiza un conexionado exterior, conectando capacitores en “paralelo” con los bornes del motor.

1.6. TIPOS DE REGULACIÓN ⁽⁸⁾

La regulación de la unidad hidrogeneradora es necesaria en un sistema de potencia aislado para garantizar la continuidad y la calidad de los parámetros fundamentales, frecuencia y tensión, que deben mantenerse dentro de límites estrechos alrededor de valores nominales establecidos. En estos sistemas de pequeña potencia frecuentemente se producen variaciones de caudal y de carga importantes, que afectan la velocidad de rotación del grupo turbina-generador, ya que esta depende del equilibrio entre la potencia hidráulica que entra a la turbina y la potencia eléctrica producida por el generador. Las variaciones de velocidad se traducen en variaciones de la frecuencia la tensión a la salida del generador.

Por esta razón es importante la regulación automática de estos parámetros, mediante un sistema con respuesta rápida, confiable y de bajo costo.

Se distinguen tres tipos de regulación de velocidad.

1.6.1. Regulación de velocidad por caudal.

Cuando se varía la potencia hidráulica de entrada mediante la variación del caudal de agua suministrada a la turbina.

1.6.2. Regulación por carga complementaria.

Cuando se mantiene la generación de potencia constante manteniendo el caudal constante y se varía una carga secundaria en bancos de resistencias (carga lastre) de manera que la potencia consumida sea igual a la generada.

1.6.3. Mediante la combinación del control por caudal y por carga complementaria.

El método de regulación por caudal de agua es, en general, el método más empleado en la regulación de unidades hidroeléctricas. Tiene la ventaja de que el consumo de agua se ajusta al necesario en dependencia de la potencia demandada, lo que permite el ahorro de este recurso sobre todo cuando hay posibilidades de almacenamiento o en los ríos con poco caudal de agua. Tiene como desventaja, en comparación con la regulación por carga, que la respuesta dinámica del sistema de regulación ante una variación instantánea de la carga es más lenta.

El método de regulación de la frecuencia por carga complementaria tiene la ventaja, en comparación con la regulación por caudal, que la respuesta dinámica del sistema de regulación ante una variación instantánea de la carga es más rápida, toda vez que no interviene en el comportamiento del lazo el tiempo transitorio hidráulico. Esto hace innecesario la utilización de

un volante de inercia, el cual es un elemento fundamental cuando se utilizan reguladores para el control sobre el flujo. Pero tiene la gran desventaja del gasto innecesario de agua en la generación de la potencia disipada en la carga complementaria desperdiciando gran parte de la energía generada, por lo que se limita su utilización a instalaciones con suficiente agua disponible siempre y cuando no interese o no sea significativo el exceso de consumo de agua. También hay que tener en cuenta que los bancos de resistencias de carga complementaria resultan más costosos en instalaciones de gran potencia.

El control de la disipación de energía en la carga complementaria se puede lograr de diferentes formas, mediante la utilización de tiristores o triacs conectados en serie con las resistencias, o mediante la utilización de bancos de resistencias de conexión escalonada.

El método de regulación combinada de la frecuencia por gasto de agua y por carga complementaria, consiste en controlar la frecuencia por carga, de manera rápida manipulando una carga complementaria, limitada a un determinado por ciento de la carga máxima, mientras que de manera más lenta, mediante el caudal de agua se ajusta la potencia de entrada a la turbina en correspondencia con el nivel de potencia demandada al generador. Dada las particularidades de los consumidores, la carga complementaria puede implementarse de modo que represente entre el 20 y 30 % de la potencia nominal del generador. De esta manera se aprovechan las ventajas de ambos métodos, logrando una buena regulación sin demasiado gasto de agua, cuestión de suma importancia en el caso de los ríos de poco caudal, sobre todo en época de sequía, y además garantiza un menor impacto en el medio ambiente al disminuir el gasto excesivo de agua de su curso natural.

CAPITULO II

DISEÑO DE LA OBRA CIVIL

2.1. Datos técnicos

2.1.1. Bocatomas.- Son obras hidráulicas cuya función es regular y captar un determinado caudal de agua, estas bocatomas nos permiten tomar el agua de los ríos o de los arroyos y conducirla aprovechando la fuerza de gravedad.

- Sirven para desviar parte del caudal del río, arroyo o vertiente que será utilizado por el sistema pico Hidro.
- Garantizar la captación de una cantidad constante de agua
- Impedir, hasta donde sea posible, el ingreso de materiales sólidos y flotantes, haciendo que estos sigan el curso del río o facilitando la limpieza.
- Para su construcción se usa estructuras de cemento o una combinación de cemento más madera, también en zonas remotas se utilizan ramas, rocas y piedras.

El agua ha ser utilizada en este proyecto proviene de una vertiente natural, que la mayor parte del año mantiene su caudal. Por lo que lo único que se ha realizado es una pequeña bocatoma para guiar el agua hacia el canal de

conducción. Esta bocatoma esta realizada por su ubicación geográfica con tierra y rocas del mismo terreno, lo que permite obtener el máximo de provecho de todo el caudal disponible.

Adicionalmente a esta vertiente existen otras, que nos permitirán tener un caudal de agua apropiado a nuestras necesidades, de igual manera se le desviara hacia nuestro canal de conducción.

2.1.2. Canal de Conducción.- El canal de conducción es una estructura hidráulica artificialmente construida, que en razón de su pendiente puede conducir agua de un lugar a otro. En nuestro caso, especifico se trata de conductos abiertos de sección irregular propia del terreno.

- Sirve para la conducción del agua desde la bocatoma a la cámara de carga.
- Pueden ser de tierra, revestidos con cemento, tubo canal en PVC u otro material.

El canal de conducción del presente proyecto está constituido por un canal de tierra y rocas de aproximadamente 200 metros desde la toma de agua a ser utilizada. Dicho canal había sido utilizado para llevar el agua hacia la propiedad en donde existían piscinas para la crianza de truchas, por tal razón lo único que restaría hacer en este canal es la restitución de su cauce original ya que en estos momentos el agua se halla desviada hacia una quebrada.

2.1.3. Desarenador y cámara de carga.- En épocas lluviosas, los arroyos acarrear abundantes materiales sólidos, tanto de fondo como suspensión, debido a la erosión que provocan en todo su recorrido, Por ello es necesario contar con desarenadores o decantadores, particularmente en sistemas pico Hidro. Las partículas de diámetro superior a 0.2 mm. ocasionan daños en la turbina por lo que deberán ser retenidas y eliminadas al momento

- Evitan que las piedras o arenilla que trae el agua, ingrese a la tubería de presión y a la turbina.
- Aseguran que la tubería de presión este siempre llena, evitando el ingreso de aire

El desarenador, combinado con cámara de carga, es de hormigón armado con muros de 200 mm de espesor. Sus dimensiones son: largo 1.5 m, ancho 1,0 m, y profundidad máxima 1,3 m. La cámara de carga es 1,8 x 2 m, con 1 m de profundidad.

El Desarenador como la cámara de carga deben cumplir los siguientes principios:

- Deben tener una longitud y un ancho adecuados para que los sedimentos se depositen, sin ser demasiado voluminosos o caros
- Deben permitir una fácil eliminación de los depósitos.
- La eliminación de sedimentos a través de la compuerta debe hacerse cuidadosamente para evitar la erosión del suelo que rodea y soporta la base de la tubería y del depósito
- Se debe impedir la turbulencia del agua causada por cambios de área o recodos que harían que los sedimentos pasen hacia la tubería de presión.
- Tener capacidad suficiente para la acumulación de sedimentos

Los accesorios son: compuerta para alimentación de desarenador, compuerta de alimentación, vertedero y canal de demasías y reja de acero antiresiduos

2.1.4. Tubería de presión.- Son tuberías que transportan agua bajo presión, hasta la turbina. Debido a que el costo de esta tubería puede representar gran parte del presupuesto de toda la pico central, es prioritario, optimizar nuestro proyecto para reducir no sólo los costos de mantenimiento sino la inversión inicial. Para que dichos costos de mantenimiento sean bajos hay que colocar los soportes y los anclajes de la tubería en pendientes estables y encontrar buenos

cimientos. No deberá haber peligro de erosión por desprendimiento en las laderas, pero si haber acceso seguro para hacer los trabajos de mantenimiento y reparación.

- Transporta el agua desde la cámara de carga hasta la casa de máquinas.
- Puede ser construida en acero, PVC o polietileno.

2.1.4.1. Tuberías de acero comercial.- El acero comercial ha sido uno de los materiales más usados para tuberías de presión. Sus diámetros y espesores son variados. Tienen un factor de pérdida por fricción regular y si están protegidas por una capa de pintura u otra protección pueden durar hasta 20 años. Además, en resistencia a impactos son relativamente pesadas, pero en caso de ser necesario pueden ser fabricadas en longitudes adecuadas para su transporte e instalación. Se unen mediante bridas, soldadura o juntas mecánicas.

Hay tres consideraciones fundamentales cuando se escojan las tuberías a comprar para la tubería forzada:

- **El material**
- **El diámetro interior** – depende de la longitud total y el caudal.
- **La presión nominal** – depende del desnivel neto

Para el presente proyecto se utilizan tubos de acero, de los que se utilizan en las petroleras, lo que nos permitirá garantizar un buen desempeño en las condiciones que se proponen en este trabajo de tesis, más adelante se explica el diseño y calculo de la tubería forzada.

2.1.5. Válvulas para tuberías de presión.- Las válvulas controlan el paso de agua en la tubería de presión y las hay de diferentes tipos, para el

caso particular nuestro nos limitaremos tan solo a las válvulas de compuerta por que son las más usadas.

2.1.5.1. Válvula de compuerta.- Una válvula de compuerta consiste básicamente de un disco metálico que sube y baja a voluntad y que está ubicado en el cuerpo de la válvula

2.1.6. Casa de Máquinas

Es el ambiente donde se instalan todos los equipos de generación y control. Asimismo, se evacua el agua por el canal de descarga.

2.1.7. Redes de Transmisión.

Se encargan de transportar la energía eléctrica, desde la casa de máquinas hasta el usuario final. Cuando la casa de máquinas se encuentra lejos de la comunidad (más de 800 metros) es necesario la instalación de una red en media o alta tensión, en este caso se utilizan transformadores. La energía eléctrica se transmite mediante tendido aéreo con postes de madera, alambres y accesorios. El uso de los postes de madera contribuye a disminuir los costos para la instalación de pico centrales hidráulicas.

CAPITULO III

PARÁMETROS DE SELECCIÓN Y DISEÑO MECÁNICO

3.1. DATOS TÉCNICOS.

Para diseñar una turbina Michell Banki se requieren determinar los datos del salto neto aprovechable y el caudal máximo que fluirá por ella. En algunos proyectos este caudal corresponde al caudal mínimo que se dispone, obtenido del estudio hidrológico.

De acuerdo a las experiencias obtenidas con la turbina Michell Banki se deduce que puede operar con saltos máximos comprendidos entre 20 y 200 metros, con eficiencias máximas comprendidas entre 80 y 85 % y puede generar potencias máximas comprendidas entre 0.5 y 150 Kw.

3.2. DISEÑO Y CÁLCULOS HIDRÁULICOS⁸

Los cálculos hidráulicos de una turbina se realizan para determinar las dimensiones de sus elementos principales, en base al diseño que caracteriza a cada tipo de turbina.

El diseño de la turbina Michell Banki se basa en que el inyector acelera y regula el flujo de agua que ingresa a la turbina y orienta el chorro de sección rectangular hacia los álabes del rodete, dándole un primer impulso, para luego atravesar el interior del rodete, dar un segundo impulso a los álabes, antes de salir hacia la descarga de la turbina.

Esta máquina no depende del caudal, esta premisa facilita el diseño ya que otorga al diámetro el carácter de parámetro independiente.

Esto se afirma por el hecho de que esta turbina puede trabajar dentro de un amplio rango de velocidades de rotación. De acuerdo a esto el diámetro podrá ser seleccionado en primer término.

El diseño que se propone tiene 30 cms. de diámetro exterior ($De = 30$ cms.) y resulta adecuado para la mayoría de saltos, la velocidad de giro de este rodete oscilará entre 200 y 700 r.p.m.

Para diseñar la turbina para este proyecto una vez inspeccionado el sector se obtuvo como parámetros de diseño los siguientes datos:

Salto neto aprovechable	$H = 15$mts.
Caudal máximo diseño	$Q = 0.06$ m³ / seg.
Diámetro exterior rueda	$De = 0.3$ m
Aceleración gravedad	$g = 9.8$ m / seg²

⁸ *Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos centrales hidroeléctricos. OLADE (Pág. 11)*

Este sistema pico Hidro. requiere de un caudal de agua y una diferencia de altura (conocida como salto) para producir potencia útil. Se trata de un sistema de conversión de energía, es decir, se toma energía en la forma de caudal y salto y se entrega energía en forma de electricidad o energía mecánica en el eje. Ningún sistema de conversión puede entregar la misma cantidad de energía útil como la que absorbe, pues una parte de la energía se pierde en el sistema mismo en forma de fricción, calor, ruido, etc.

La ecuación de conversión es:

Potencia de entrada = potencia de salida + pérdidas

O también:

Potencia de salida = potencia de entrada x eficiencia de conversión.

La ecuación de arriba se expresa por lo general de una manera ligeramente diferente. La potencia de entrada, o potencia total disponible en el sistema hidráulico, es la potencia disponible, P_{disp} . La potencia útil entregada es la potencia neta, P_{neta} . La eficiencia total del sistema se representa por η_o

$$P_{neta} = P_{disp} \times \eta_o \quad \text{Kw}$$

La potencia disponible es igual al salto disponible (h_{disp}) multiplicado por el caudal (Q) y también multiplicado por un factor de 10, obteniéndose la ecuación fundamental de potencia hidráulica:⁹

$$P_{neta} = 10 \times h_{disp} \times Q \times \eta_o \quad \text{Kw} \quad (5)$$

Donde el salto está en metros y el caudal en metros cúbicos por segundo. Esta simple ecuación es la base de todo trabajo de diseño de sistemas hidroenergéticos, en donde es importante usar las unidades correctas.

La energía liberada por un cuerpo que cae es su peso multiplicado por la distancia vertical recorrida. La fuerza que ejerce el agua es el producto de su masa (m) y la aceleración (g). La distancia vertical es el salto (h_{disp}).

⁹ *Manual de mini y micro centrales hidráulicas. Pdf* (página electrónica)

$$\text{Energía liberada} = m \times g \times h_{\text{disp}} \quad \text{joules} \quad (6)$$

La masa de agua es su densidad (ρ) por su volumen (V), de modo que:

$$\text{Pot. Disponible (P}_{\text{disp}}) = \rho \times Q \times g \times h_{\text{disp}} \quad \text{Joules/seg o watts} \quad (7)$$

Se considera que el agua tiene una densidad de 1000 kg/m^3 y la aceleración de la gravedad constante de 9.8 m/s^2 . La potencia producida en la turbina será mucho menor que la potencia disponible debido a las pérdidas por fricción en la tubería y en la turbina. La potencia de salida del generador es menor nuevamente debido a la ineficiencia del sistema de transmisión y generador; más aún, las pérdidas en el transporte de la energía harán al final que el usuario reciba alrededor de la mitad de la potencia disponible del sistema. La eficiencia total del sistema (η_o) en realidad varía entre 0.4 y 0.6. la potencia recibida por el consumidor, o potencia neta, P_{neta} , es:

$$P_{\text{neta}} = \eta_o \times \rho \times Q \times g \times h_{\text{disp}} \quad \text{Watts}$$

$$P_{\text{neta}} = \eta_o \times 1000 \times Q \times 9.8 \times h_{\text{disp}} \quad \text{Watts}$$

$$P_{\text{neta}} = \eta_o \times Q \times 9.8 \times h_{\text{disp}} \quad \text{Kw} \quad (8)$$

La potencia neta se estima a menudo en una forma rápida asumiendo que η_o es 0.5 de modo que redondeando:

$$P_{\text{neta(estimada)}} = 5 \times Q \times h_{\text{disp}} \quad (9)$$

Una vez que sabemos como determinar la potencia calculamos con los valores ya conocidos:

$$P_{\text{neta(estimada)}} = 5 \times Q \times h_{\text{disp}}$$

$$P_{\text{neta(estimada)}} = 5 \times 0.06 \text{ lt/seg} \times 15$$

$$P_{\text{neta(estimada)}} = 4.5 \text{ Kw.}$$

Se observa que la potencia es de 4.5 Kw. Que esta dentro de un rango aceptable si consideramos que nuestra propuesta es la generación de 5 KW.

Con los datos que conocemos hallamos el número de revoluciones óptimas con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{39.85 H^{\frac{1}{2}}}{De} \quad (10)$$

Número óptimo de revoluciones en RPM

$$N = \frac{39.85 (15)^{\frac{1}{2}}}{0.30}$$

$$N = 514.40 \text{ rpm}$$

3.2.1. Diagramas de velocidad

Los perfiles de los álabes del rodete de una turbina, se determina en base a los diagramas de velocidad en cada punto del rodete. Ver figura 3.1. Para determinar estos diagramas, es necesario definir la velocidad de salida del agua del inyector, la que se determina en base a la ecuación de Bernoulli aplicada entre la superficie del reservorio, donde la velocidad del agua es aproximadamente cero, y a la salida del inyector.

$$\frac{P_o}{\gamma} + \frac{C_o^2}{2g} + z_o = \frac{P_i}{\gamma} + \frac{C_i^2}{2g} + z_i + \Delta H_t + \Delta H_i \quad (11)$$

En donde:

- Co y Ci, representan la velocidad de una partícula de agua en la superficie del reservorio y en la salida del inyector, respectivamente
- Po y Pi, representan las presiones en la superficie del reservorio y en la salida del inyector, respectivamente. En este caso ambas presiones se

pueden considerar iguales a la atmósfera cuando la descarga de la turbina se realiza sin tubo de succión.

- Z_o y z_i , representan los niveles topográficos, en la superficie del reservorio y la posición del inyector, respectivamente, y su diferencia es igual al salto bruto.
- γ y g , representan el peso específico del agua y la aceleración de la gravedad.
- ΔH_t , es la pérdida de presión por efecto de la fricción del agua con las paredes de la tubería de presión.
- ΔH_i , es la pérdida de presión por efecto de la fricción del agua con las paredes del inyector.

Con todas estas consideraciones se determina que la velocidad del agua a la salida del inyector es:

$$C_i = \sqrt{1 - \frac{\Delta H_i}{H}} \sqrt{2gh} \quad (12)$$

Donde H es el salto efectivo o neto de la central, obtenida de la diferencia entre el salto bruto y las pérdidas de presión en la tubería. Asimismo, se define **K_c** , como el coeficiente de velocidad del inyector representado por:

$$K_c = \sqrt{1 - \frac{\Delta H_i}{H}} \quad (13)$$

Con lo cual la velocidad de salida del agua del inyector queda expresada por:

$$C_i = K_c \sqrt{2gh} \quad (14)$$

Antes de continuar con el diseño hidráulico de esta turbina dedicaremos algunas palabras al coeficiente de velocidad del inyector.

Este coeficiente de velocidad K_c afecta a la velocidad absoluta de entrada y tiene en cuenta las pérdidas que se generan en el escurrimiento dentro del

inyector. De acuerdo a esto se puede decir que el coeficiente k_c afectará de manera directa al rendimiento hidráulico de la turbina.

Cuando k_c se aleja de la unidad decreciendo su valor (lo que equivale a un inyector ineficiente) se hace necesario un incremento en el ángulo de admisión de la turbina.

En forma práctica K_c posee valores comprendidos entre **0,97 y 0.98**.

3.2.2. De la Velocidad del agua a la salida del inyector

$$K_c = 0.98$$

$$C_i = 0.98 \sqrt{2 \times 9.8 \text{ m / seg}^2 \times 15 \text{ m}}$$

$$C_i = 16.8 \text{ m / seg}$$

La velocidad del agua a la salida del inyector es igual a la velocidad de ingreso del agua al rodete.

C_2 = velocidad de ingreso del agua al rodete.

Por lo tanto: **$C_i = C_2$**

Este chorro de agua a su vez se orienta hacia el rodete con un ángulo promedio denominado α_2 , el cual posee valores prácticos que se encuentran alrededor de los **16 grados**.¹⁰

También es conocido que en las turbinas de acción, la velocidad se expresa por:

$$U_2 = K_u C_2 \cos \alpha_2 \quad (15)$$

¹⁰ UNIDAD 6: Facultad de Ingeniería – Laboratorio de Máquinas Hidráulicas. Curso: “PEQUEÑAS CENTRALES HIDRAULICAS” Pág. 9 (Página electrónica)

En donde **Ku** es el coeficiente de velocidad tangencial que en el caso de las turbinas de acción poseen un valor aproximado a **0,5**.

$$U_2 = K_u C_2 \cos \alpha_2$$

$$U_2 = 0.5 \times 16.8 \text{ m/seg} \times \cos 16^\circ$$

$$U_2 = 8.07 \text{ m/seg}$$

Con las velocidades halladas se determina la velocidad relativa.

$$W_2 = C_2 \sqrt{1 - K_u (2 - K_u) \cos^2 \alpha_2} \quad (16)$$

$$W_2 = 16.8 \text{ m/seg} \sqrt{1 - 0.5 (2 - 0.5) \cos^2 16}$$

$$W_2 = 9.31 \text{ m/seg}$$

Una vez determinadas las velocidades se concluye la construcción del diagrama de velocidades hallando el valor de β_2 , como se muestra en la figura 3.1, en la entrada del rodete.

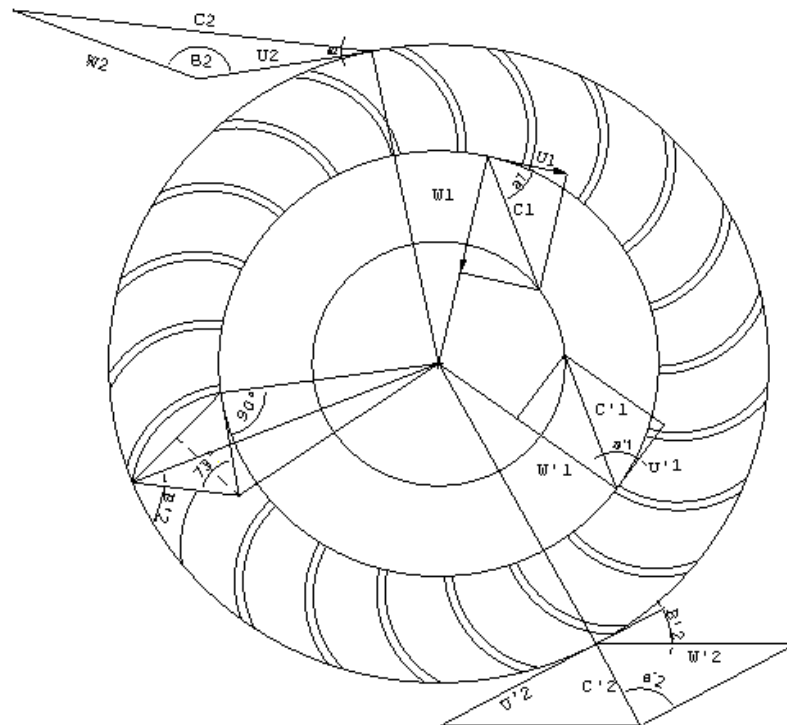


Figura 3.1. Gráfico de velocidades

En el interior del rodete, se cumple que los triángulos de velocidades son iguales debido a que:

$$U_1 = U'_1$$

$$C_1 = C'_1$$

$$\alpha_1 = \alpha'_1$$

$$\beta'_1 = 180 - \beta_1$$

Por lo tanto se llega a la conclusión de que:

$$\beta'_1 = \beta = 90^\circ$$

A la salida del agua del rodete, se forma un diagrama de velocidades en el que:

$$U'_2 = U_2 = K_u C_2 \cos \alpha_2$$

$$U'_2 = U_2 = 0.5 \times 16.8 \text{ m/seg} \times \cos 16^\circ$$

$$U'_2 = 8.07 \text{ m/seg}$$

$$\beta_2 = 180^\circ - \beta'_2$$

$$\beta'_2 = \arcsin \left[\frac{\text{Sen} \alpha_2}{(1 - K_u(2 - K_u) \text{Cos}^2 \alpha_2)^{1/2}} \right] \quad (17)$$

$$\beta'_2 = \arcsin \left[\frac{\text{Sen} 16}{(1 - 0.5(2 - 0.5) \text{Cos}^2 16)^{1/2}} \right]$$

$$\beta'_2 = \arcsin \left[\frac{0.28}{0.55} \right]$$

$$\beta'_2 = 30.6^\circ$$

La velocidad relativa estaría expresada por:

$$W'_2 = K_f \times W_2 \quad (18)$$

En donde **Kf** es el coeficiente de velocidad relativa que expresa la pérdida por fricción del agua con los álabes del rodete, y su valor quede aproximarse a **0,98**.

$$W'2 = 0.98 \times 9.31 \text{ m /seg}$$

$$W'2 = 9.1 \text{ m /seg}$$

Con estas velocidades se obtiene la velocidad absoluta del agua a la salida del rodete, expresada por:

$$C'2 = C2 \sqrt{Kf^2 (1 - Ku(2 - Ku) \cos^2 \alpha 2) + Ku \cos^2 \alpha 2 - 2Kf \cos^2 \alpha 2 (1 - Ku) Ku} \quad (19)$$

$$C'2 = 16.8 \sqrt{(0.98)^2 (1 - 0.5(2 - 0.5) \cos^2 16) + 0.5 \cos^2 16 - 2 \times 0.98 \cos^2 16 (1 - 0.5) 0.5}$$

$$C'2 = 16.8 \text{ m / seg} \sqrt{0.55}$$

$$C'2 = 9.26 \text{ m / seg}$$

El ángulo de salida con respecto a la tangente del rodete se obtiene con la siguiente expresión:

$$\alpha'2 = \text{arc sen} \left[\frac{Kf \text{ sen} \beta'2 \sqrt{1 - Ku(2 - Ku) \cos^2 \alpha 2}}{\sqrt{Kf^2 + Ku \cos^2 \alpha 2 (Ku - Kf^2 (2 - Ku) - Kf)}} \right] \quad (20)$$

$$\alpha'2 = \text{arc sen} \left[\frac{0.98 \text{ sen } 30 \sqrt{1 - 0.5(2 - 0.5) \cos^2 16}}{\sqrt{(0.98)^2 + 0.5 \cos^2 16 (0.5 - (0.98)^2 (2 - 0.5) - 0.98)}} \right]$$

$$\alpha'2 = 89^\circ$$

Todas estas velocidades se pueden expresar en forma práctica cuando se definen las constantes. Por ejemplo, si se supone un ángulo promedio $\alpha 2$ igual a 16° , un coeficiente de velocidad Kc igual a 0,98 un coeficiente de velocidad tangencial Ku igual a 0,5 y un coeficiente de velocidad relativa Kf igual a 0.98, se obtienen las siguientes expresiones practicas:

$$C2 = 4,34 \sqrt{H}$$

$$C2 = 4,34 \sqrt{15}$$

$$C2 = 16.8$$

$$U2 = 2,09 \sqrt{H}$$

$$U2 = 2,09 \sqrt{15}$$

$$U2 = 8.09$$

$$W2 = 2,40 \sqrt{H}$$

$$W2 = 2,40 \sqrt{15}$$

$$W2 = 9.29$$

$$W'2 = 2.35 \sqrt{H}$$

$$W'2 = 2.35 \sqrt{15}$$

$$W'2 = 9.10$$

$$\beta'2 = 29,83^\circ \approx 30^\circ$$

$$\beta 1 = 90^\circ$$

Como podemos observar los diagramas de velocidad solo dependen del salto y los ángulos son independientes de las condiciones de salto y caudal.

Podemos determinar la eficiencia hidráulica de la turbina η_h , aplicando la ecuación general de las turbinas:

$$\eta_h = 2 K_C^2 \cos^2 \alpha^2 K_u(1 - K_u) (1 + K_f) \quad (21)$$

Además de la eficiencia hidráulica, debemos determinar la eficiencia volumétrica, las pérdidas por choque y las pérdidas mecánicas.

En el caso de las turbinas Michell Banki su eficiencia puede alcanzar el 82 % cuando se obtienen buenos acabados en su fabricación.

3.2.3. Geometría del Inyector¹¹

Se conocen diferentes geometrías de inyector para Turbinas Michell Banki, varias de ellas se muestran en la figura No. Se puede observar que algunas poseen un álabe de compuerta, otras un álabe directriz con diferentes geometrías y en algunos casos se diseña el inyector sin álabe de regulación

Para definir la geometría del inyector es necesario considerar en el diseño una buena conducción y aceleración del flujo de agua, así como también una buena orientación y regulación de este flujo hacia los álabes del rodete. La única dimensión que varía en función del salto y caudal con que se diseña la turbina es el ancho del inyector, el cual se calcula con la fórmula:

$$B = \frac{Q}{p(\pi D_e - eZ) K_o K_c \sqrt{2gH} \operatorname{Sen} \alpha^2} \quad (22)$$

en donde:

¹¹ *Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos centrales hidroeléctricos. OLADE (Pág. 14)*

- B Ancho interno del inyector expresado en metros
- Q caudal máximo que fluirá por la turbina en m³/seg
- P factor de arco de admisión, normalmente vale 1
- e espesor de los álabes del rodete expresado en metros
- Z número de álabes
- Ko porcentaje de la circunferencia exterior del rodete por donde ingresa el agua.

Para determinar el ancho del inyector se utiliza la siguiente fórmula práctica:

$$B = \frac{0.96 Q}{De \sqrt{H}} \quad (23)$$

$$B = \frac{0.96 \times 0.06 \text{ m}^3 / \text{seg}}{0.3 \sqrt{8} \text{ m}}$$

$$B = 0.067 \text{ m}$$

$$B = 6.7 \text{ cm.}$$

3.2.4. Geometría del Rodete

La geometría del rodete se determina en base a los ángulos obtenidos de los diagramas obtenidos anteriormente, así tenemos que la relación del diámetro interno Di, con respecto al diámetro externo De, se expresa por:

$$\frac{Di}{De} = \sqrt{\frac{(2 Ku \cos^2 \alpha - 1) + \sqrt{1 - 4 \cos^2 \alpha (1 - Ku) Ku}}{2 Ku^2 \cos^2 \alpha}} \quad (24)$$

Considerando que α igual a 16° y Ku igual a 0,5, se obtiene el diámetro interno de la siguiente forma:

$$Di = 0.66 De \quad (24 a)$$

3.2.4.1. Diámetro interno:

El diámetro interno nos permitirá determinar los diferentes valores que necesitamos para el diseño del rodete en sí, para ello debemos observar el plano del rodete.

$$D_i = 0.66 D_e$$

$$D_i = 0.66 \times 0.3 \text{ mts.}$$

$$D_i = 0.20 \text{ mts.}$$

3.2.4.2. Radio de curvatura de los álabes.

El radio de curvatura r , de los álabes del rodete se expresa en función del diámetro del rodete y del ángulo del álabe llamado $\beta'2$. se tiene la siguiente ecuación:

$$r = \frac{D_e}{4 \cos \beta'2} \left| 1 - \left| \frac{D_i}{D_e} \right|^2 \right| \quad (25)$$

Sustituyendo los valores conocidos, podemos expresar en forma práctica:

$$r = 0.163 D_e \quad (25 \text{ a})$$

Entonces determinamos el **radio de curvatura de nuestros álabes:**

$$r = 0.163 \times 0.3 \text{ mts.}$$

$$r = 0.05 \text{ mts.}$$

3.2.4.3. Ángulo de curvatura de los álabes

El ángulo de curvatura de los álabes del rodete ϕ , se obtiene con la fórmula:

$$\phi = 2 \operatorname{arctg} \left| \frac{\cos \beta'2}{\frac{Di}{De} + \operatorname{sen} \beta'2} \right| \quad (26)$$

$$\beta'2 = 30^\circ$$

$$Di = 0.20 \text{ mts.}$$

$$De = 0.30 \text{ mts.}$$

$$\phi = 2 \operatorname{arctg} \left| \frac{\cos 30^\circ}{\frac{0.20}{0.30} + \operatorname{sen} 30^\circ} \right|$$

$$\phi = 2 \operatorname{arctg} \left| \frac{0.87}{1.17} \right|$$

$$\phi = 73.27^\circ$$

Por datos conocemos que cuando $\alpha 2$ es igual a 16° el ángulo ϕ tiene un valor de 73° .

Con estas dimensiones se define el perfil del rodete para un diámetro exterior supuesto o calculado.

A continuación presentamos una tabla con las dimensiones del perfil del rodete considerando diferentes diámetros:

COTA (mm.)	DIÁMETRO DEL RODETE - EN mm			
	300	400	500	600
Di	100	133	167	200
Rc	110	147	182	220
R	49	65	82	98

Tabla 3.1 Dimensiones del perfil del rodete

Fuente: *Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos centrales hidroeléctricos. OLADE*

3.2.4.4. Carcasa y tapas laterales de la carcasa

La carcasa y las tapas laterales son fabricados en planchas de acero estructural, las cuales irán soldadas o empernadas entre si según convenga, como se indican en los planos (Anexo **plano**). Se cortarán las planchas a las medidas indicadas y luego rectificadas con las medidas adecuadas al rodete. Estas tapas y carcasas no están sometidas directamente a la presión del agua debido a que el agua es dirigida hacia el rodete por el inyector, una vez que el agua para por las dos etapas de la turbina, es desalojada a la descarga, la misma que estará construida del mismo acero estructural

3.3. DISEÑO DE LA TUBERÍA FORZADA

La tubería forzada es simplemente un tubo largo que se llena de agua. El peso del agua en el tubo proporciona la presión en la tobera requerida para girar la turbina.

3.3.1. Selección de la tubería forzada

Muchas veces la tubería forzada es la parte mas cara del proyecto pico hidro por lo tanto se selecciona con cuidado.

Hay tres consideraciones fundamentales cuando se escogen las tuberías a comprar para la tubería forzada:

- el material
- el diámetro interior.- depende de la longitud total y el caudal
- la presión nominal.- depende del desnivel neto.

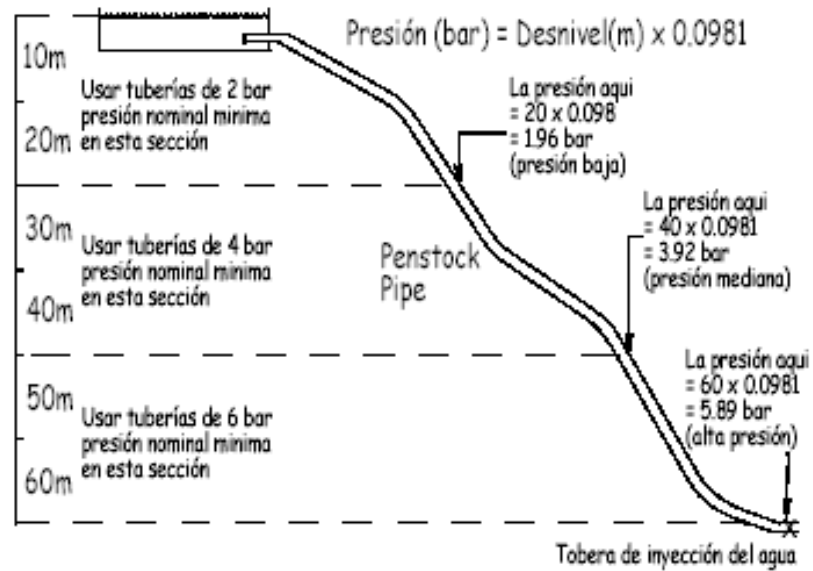


Figura 3.2. Presión a diferentes alturas

3.3.2. La presión nominal ¹²

Se diseña la tubería forzada para conducir el agua hacia la turbina de manera segura y eficiente. Entre mas alta la presión, se requiere tener la pared más gruesa.

Las presión que existe en cualquier punto de una tubería, puede ser fácilmente calculada si se conoce el nivel existente es ese mismo punto. Para ello podemos referirnos a la figura 3.2 para entender como la presión en la tubería varía como función del desnivel.

$$Pr esión (bar) = Desnivel (m) x 0.0981$$

$$Pr esión = 15 m x 0.0981$$

$$Pr esión = 1.962 bar$$

$$Pr esión = 28.5 psi \quad Pr esión \quad baja$$

¹² *Pico Hidro Potencia para Aldeas Un manual práctico para instalaciones de hasta 5 Kw. en terrenos de pendientes fuertes Pág. 11-1*

3.3.3. Selección del diámetro óptimo

Primero, hay que conocer el caudal requerido por la turbina. Esta información deberá ser la necesaria para la fabricación de la turbina.

También se necesitará conocer el largo total de la tubería requerida (la distancia de la ruta de la tubería desde la cámara de carga hasta la turbina) y el desnivel total disponible.

Datos:

$$Q = 0.06 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$L = 25 \text{ m}$$

$$H_a = 15 \text{ m}$$

$$V_b = 9.26 \text{ m / seg (} C^2 = \text{ velocidad absoluta del agua a la salida del rodete Ec. 14)}$$

$$\nu = 1.310 \times 10^{-6} \text{ (viscosidad del agua)}$$

$$K = \text{material tubos estirados (si soldadura)} = 0.015 \text{ mm}$$

Determinamos las pérdidas en el tubo aplicando Bernoulli

$$\frac{P_a}{\gamma} + H_a + \frac{V_a^2}{2g} - H_r = \frac{P_b}{\gamma} + H_b + \frac{V_b^2}{2g} \quad (27)$$

En donde:

P_a y P_b presión en la superficie del reservorio y en la salida del inyector. Ambas presiones son iguales a la atmósfera.

V_a^2 y V_b^2 Representan la velocidad de una partícula de agua en la superficie del reservorio y la velocidad en la salida del rodete respectivamente.

H_a y H_b Representan las alturas, en la superficie del reservorio y la posición del inyector

H_r Representa las pérdidas en metros en la tubería.

γ y g Representan el peso específico del agua y la aceleración de la gravedad

$$H_a - H_r = \frac{Vb^2}{2g}$$

$$H_r = H_a - \frac{Vb^2}{2g}$$

$$H_r = 15 \text{ m} - \frac{(9.26 \text{ m/seg})^2}{2(9.8 \text{ m/seg}^2)}$$

$$H_r = 10.62 \text{ m}$$

Una vez determinadas las pérdidas procedemos a encontrar el diámetro de la tubería que se utilizará en el presente proyecto.

Para ello debemos conocer la viscosidad del agua a 10 grados centígrados en la tabla a continuación detallada:

Temperatura °C	Viscosidad ν (m ² /seg)
4	1.568x 10 ⁻⁶
5	1.519x 10 ⁻⁶
10	1.310x 10 ⁻⁶
15	1.146x 10 ⁻⁶
20	1.011x 10 ⁻⁶
30	0.803x 10 ⁻⁶
40	0.659x 10 ⁻⁶
50	0.556x 10 ⁻⁶
60	0.478x 10 ⁻⁶
70	0.416x 10 ⁻⁶

Tabla 3.2. Viscosidad del agua a diferentes temperaturas
Fuente: http://www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema1.PDF

$$H_r = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (28)$$

$$Q = A \times V$$

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} V \quad \Rightarrow \quad V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad \Rightarrow \quad V^2 = \left(\frac{16 Q^2}{\pi^2 D^4}\right) \quad (29)$$

$$H_r = \lambda \frac{L}{D} \frac{16 Q^2}{\pi^2 D^4 2g} \quad (30)$$

Método de aproximación y error

Asumo λ' (0.02, 0.025, 0.03)

Asumo $\lambda' = 0.022$

$$10.62 = 0.022 \frac{25}{D} \frac{16 (0.06)^2}{\pi^2 D^4 2(9.8)}$$

$$D' = 0.109 \text{ m} \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 10.9 \text{ cm} \frac{1 \text{ plg}}{2.54 \text{ cm}} = 4.29 \text{ plg}$$

$$V' = \frac{4(0.06)}{\pi(0.109)^2} = 6.42 \text{ m/seg}$$

$$\text{Re}' = \frac{V' D'}{\nu} = \frac{6.42 \times 0.109}{1.31 \times 10^{-6}} = 5.34 \times 10^4 \quad (31)$$

$$\frac{k}{D'} = \frac{0.015}{109} = 1.38 \times 10^{-4}$$

Hallamos en el diagrama de Moody λ''

$$\lambda'' = 0.0125$$

$$D'' = 0.09739 \text{ m} = 97.39 \text{ mm}$$

$$V'' = 8.05 \text{ m / seg}$$

$$\text{Re}'' = 5.9 \times 10^5$$

$$\frac{k}{D''} = \frac{0.015}{97.39} = 1.54 \times 10^{-4}$$

Hallamos en el diagrama de Moody λ''

$$\lambda'' = 0.013$$

$$D'' = 0.09815 \text{ m} = 98.15 \text{ mm}$$

$$V'' = 7.93 \text{ m / seg}$$

$$\text{Re}'' = 5.94 \times 10^5$$

$$\frac{k}{D''} = \frac{0.015}{98.15} = 1.53 \times 10^{-4}$$

λ' comparamos λ''

$$|\lambda' - \lambda''| < 1 \times 10^{-3}$$

$$|0.012 - 0.013| < 1 \times 10^{-3}$$

$$-1 \times 10^{-3} < 1 \times 10^{-3} \Rightarrow \lambda \text{ es real}$$

Una vez realizados los s se determina que el diámetro de la tubería es de 4 pulgadas tomando en cuenta que se encuentran en el mercado de esta medida, material acero estirado.

3.4. DISEÑO Y CÁLCULOS MECÁNICOS

El diseño de una turbina se realiza para poder definir las dimensiones de cada una de las piezas, las mismas que una vez ensambladas darán forma a la turbina como máquina. Aquí se consideran sistemas adecuados de montaje, así como aspectos relacionados con el uso y mantenimiento adecuados.

Con los cálculos mecánicos lo que se pretende es comprobar si los materiales que se utilizan para la construcción de cada una de las piezas están dentro los límites de esfuerzos.

La carcasa en esta turbina esta diseñada para que el flujo del agua a la salida del rodete se oriente hacia la carcasa de descarga

3.4.1. DISEÑO Y CÁLCULOS DEL RODETE

3.4.1.1. Número de álabes del rotor¹³

La selección del número de álabes se realizará en base al diámetro y las condiciones de funcionamiento de la turbina, es decir, altura y caudal.

Se deberá tener en cuenta que un reducido número de álabes provocará pulsaciones en la generación de la potencia, y un número elevado producirá una aceleración de la vena fluida con el consiguiente aumento de las pérdidas y el efecto de reja.

Según las investigaciones de A. Ulku y H. Olgun existe un número óptimo de álabes. En la TABLA 3.3. se transcriben los resultados de diferentes investigaciones reflejadas en la literatura.

¹³ *UNIDAD 6: Facultad de Ingeniería – Laboratorio de Máquinas Hidráulicas. Curso: “PEQUEÑAS CENTRALES HIDRAULICAS” Pág. 12 (Página electrónica)*

REFERENCIA	D/d	D/B	z	η_h
YOKOHAMA, 1985, JAPÓN	0.66	4.25	26	80.60
VIGM, 1986, CCCP	0.63	3.00	24	78.00
GANZ, 1984, HUNGRÍA	0.66	1.00	30	75.00
ALABAMA, 1983, USA	0.66	0.25	20	75.00
RESITA, 1983, RUMANIA	0.66	1.28	24	73.00
KTU, 1987, TRAZBON, TURKIA	0.54	0.81	24	71.30
OREGON, 1949, USA	0.66	1.09	20	68.00
VDI, 1981, ETIOPIA	0.67	3.26	36	66.00
LOS ANDES, 1973, COLOMBIA	0.62	1.87	27	60.60
ODTU, 1985, ANKARA, TURKIA	0.83	1.44	30	55.50

Tabla 3.3: Parámetros característicos en turbinas ensayadas por diferentes investigaciones.

De esta tabla se desprende que el número óptimo de álabes está entre 24 y 30. Para nuestro caso trabajamos con 24 álabes.

El espesor de los álabes generalmente se asume y posteriormente se realiza un chequeo de esfuerzo, considerándolo como una viga empotrada en sus extremos, por efecto de la soldadura y cargada uniformemente. La fuerza que actúa sobre cada uno de ellos suponiendo en el peor de los casos, que se presenta cuando el rodete por algún motivo es frenado y la turbina se encuentra con apertura total.¹⁴

La fuerza que actúa sobre cada uno de los álabes se calcula utilizando la ecuación siguiente cuando $\alpha_2 = 16^\circ$ será:

¹⁴ *Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos centrales hidroeléctricos. OLADE (Pág. 22)*

$$F = 46,5Q\sqrt{H} \quad (32)$$

$$F = 46,5(0,06 \text{ m}^3 / \text{seg})\sqrt{15\text{m}}$$

$$F = 10,80 \text{ Kg} \vec{g}$$

Los álabes se fabrican tomando secciones de tubos, para esta práctica se realiza en tubos de presión con costura de material de acero AISI 1020 de espesor de $\frac{1}{4}$ de pulgada y con valores de: **(ANEXO I)**

$S_y = 30 \text{ K psi}$ (resistencia de fluencia)

$S_u = 55 \text{ K psi}$ (resistencia a la tracción)

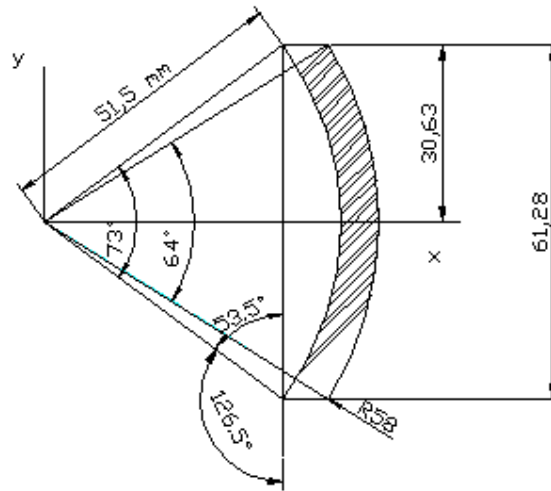


Figura 3.3. Segmento circular del álabe

Como se puede observar el álabe es un segmento circular por lo que ahora procedemos a calcular el área:

La fórmula general de una circunferencia es:¹⁵

$$x^2 + y^2 = r^2 \quad (\text{Si el centro es en el origen de coordenadas})(33)$$

¹⁵ *Geometría Analítica, Joseph H. Kindle, Serie Schaum. La circunferencia (Pág. 35)*

$$\text{Para R1 } x^2 + y^2 = (5,15 \text{ cm.})^2$$

$$\text{Donde: } x = \sqrt{5.15^2 - y^2}$$

$$\text{Para R2 } x^2 + y^2 = (5,8 \text{ cm.})^2$$

$$\text{Donde: } x = \sqrt{5.8^2 - y^2}$$

La integral del área es:

Para 1:

$$A_1 = 2 \int_0^{3.06} x^2 dy \quad (34)$$

$$A_1 = 2 \int_0^{3.06} \sqrt{5.15^2 - y^2} dy$$

$$A_1 = 2 \left[\frac{y}{2} \sqrt{r^2 - y^2} + \frac{r^2}{2} \text{sen}^{-1} \frac{y}{r} \right]_0^{3.06}$$

$$A_1 = 2 \left[\frac{3.06}{2} \sqrt{5.15^2 - 3.06^2} + \frac{5.15^2}{2} \text{sen}^{-1} \frac{3.06}{5.15} \right]$$

$$A_1 = 29,53 \text{ cm}^2$$

Para 2:

$$A_2 = 2 \int_0^{3.06} x^2 dy \quad (34a)$$

$$A_2 = 2 \int_0^{3.06} \sqrt{5.8^2 - y^2} dy$$

$$A_2 = 2 \left[\frac{y}{2} \sqrt{r^2 - y^2} + \frac{r^2}{2} \text{sen}^{-1} \frac{y}{r} \right]_0^{3.06}$$

$$A_2 = 2 \left[\frac{3.06}{2} \sqrt{5.8^2 - 3.06^2} + \frac{5.8^2}{2} \text{sen}^{-1} \frac{3.06}{5.8} \right]$$

$$A_2 = 33.75 \text{ cm}^2$$

Área neta es: $A_{\text{neta}} = A_2 - A_1$

$$A_{\text{neta}} = 33.75 - 29.53$$

$$A_{\text{neta}} = 4.22 \text{ cm}^2$$

El centro de gravedad de un segmento circular es:¹⁶

$$C_g = \frac{2r \text{sen}^3 \gamma}{3(\gamma - \text{sen} \gamma \cos \gamma)} \quad (35)$$

$$\gamma_2 = \frac{\phi_{1,2}}{2}$$

Para 1:

$$\bar{x}_1 = \frac{2r \text{sen}^3 \gamma_1}{3(\gamma_1 - \text{sen} \gamma_1 \cos \gamma_1)} \quad (36)$$

$$\gamma_1 = \phi / 2$$

$$\gamma_1 = \frac{73^\circ}{2} = 36.5^\circ$$

$$\gamma_1 = 0.63 \text{ rad}$$

$$\bar{x}_1 = \frac{2(5.15) \text{sen}^3 0.63}{3(0.63 - \text{sen} 0.63 \cos 0.63)}$$

$$\bar{x}_1 = 4.55 \text{ cm}$$

Para 2:

$$\bar{x}_2 = \frac{2r_1 \text{sen}^3 \gamma_2}{3(\gamma_2 - \text{sen} \gamma_2 \cos \gamma_2)} \quad (36a)$$

$$\gamma_2 = \phi_{1,2} / 2$$

$$\gamma_2 = \frac{64^\circ}{2} = 32^\circ$$

$$\gamma_2 = 0.55 \text{ rad}$$

$$r_1 = 5.8 \text{ cm}$$

¹⁶ Cálculo diferencial e integral, William Anthony Granville

$$\bar{x}_2 = \frac{2(5.8)\text{sen}^3 0.55}{3(0.55 - \text{sen}0.55 \cos 0.55)}$$

$$\bar{x}_2 = 5.26\text{cm}$$

El Radio de giro del álabe es:

$$\bar{x}_r = \bar{x}_2 - \bar{x}_1 \quad (37)$$

$$\bar{x}_r = 5.26 - 4.55$$

$$\bar{x}_r = 0.71\text{cm}$$

El momento de inercia del álabe es:¹⁷

$$I_{gx} = r^4 \left(\phi - \frac{\text{sen}2\theta_2 - \text{sen}2\theta_1}{2} \right) - (r + e)^4 \quad (38)$$

Donde:

e es el espesor del álabe en metros

r es el radio de curvatura del álabe en metros

$$\theta_1 = \frac{180 - \phi}{2} \quad (39)$$

$$\theta_2 = \phi + \theta_1 \quad (40)$$

ϕ es el ángulo de curvatura del álabe (expresado en radianes)

$$r + e = r_1$$

¹⁷ *Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos centrales hidroeléctricos. OLADE (Pág. 23)*

$$\theta_1 = \frac{180 - \phi}{2}$$

$$\theta_1 = \frac{180 - 73}{2} = 53.5$$

$$\theta_1 = 0.93 \text{ rad}$$

$$\theta_2 = \phi + \theta_1$$

$$\phi_1 = 0.93 + 1.27$$

$$\phi_1 = 2.2 \text{ rad}$$

$$I_{gx} = 5.15^4 \left(1.27 - \frac{\text{sen}2(2.2) - \text{sen}2(0.93)}{2} \right) - (5.8)^4$$

$$I_{gx} = 5.15^4 (1.27 + 0.95) - (5.8)^4$$

$$I_{gx} = 429.9 \text{ cm}^4$$

El esfuerzo Máximo que puede soportar un álabe es:

$$\delta_{\max} = \frac{FB_r \bar{x}_r}{12I_{gx}} \quad (41)$$

Siendo:

B_r es el ancho del rodete expresado en metros

$$B_r = 6.7 \text{ cm}$$

I_{gx} momento de inercia del álabe

F es la componente Y, de la fuerza del agua sobre cada álabe en Kg.

X_r El Radio de giro del álabe

$$\delta_{\max} = \frac{(10.8)(6.7)(0.71)}{12(429.9)}$$

$$\delta_{\max} = 0.00995 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\delta_{\max} = 1.4 \times 10^{-4} \text{ kpsi}$$

$$\delta_{\max} \leq 0.66 S_y$$

$$1.4 \times 10^{-4} \leq (0.66)(30)$$

$$1.4 \times 10^{-4} \leq 19.8$$

Lo que quiere decir que la selección de material y espesor de álabe están correctos inclusive se puede reducir este último.

3.4.1.2. Cálculo y diseño del eje del rodete

$$d^3 = \frac{16}{\pi Sd} \sqrt{(Km M \max)^2 + (Kt T \max)^2} \quad (42)$$

$$M \max = \sqrt{Mx^2 + My^2}$$

Donde:

M máx. Momento flector máximo que se presenta en el eje en Kg.-m

Datos:

N = 590 rpm (medidas)

$$F = Fr = 1948 \frac{Pt (Kw)}{(N De)} \quad (43)$$

AISI (USA) VDEh
(Alemana)

Sut = 57 Kpsi (Material Acero Forjado) 4317 18% Cr Ni 8%

Sy = 23 Kpsi (Material Acero forjado) 4317

Ø = Diámetro del eje principal

Pr = Peso del rodete

Fr = Fuerza tangencial del rodete

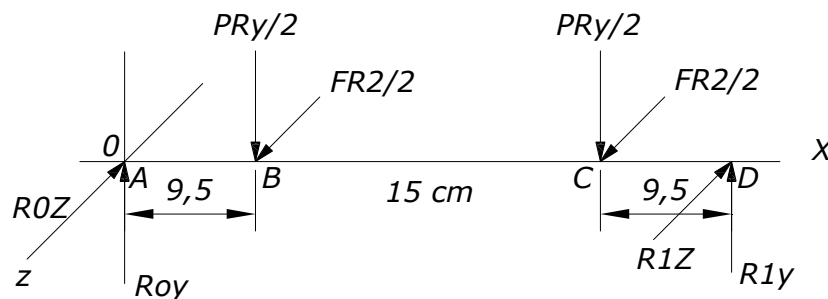


Figura 3.4 Diagrama de fuerzas

$$Fr = 1948 \frac{Pt}{(N De)} \quad (44)$$

$$Pt = \frac{Pg}{ng * ntr} \quad (45)$$

$$Pt = \frac{5 \text{ kw}}{(0.8 * 0.5)}$$

$$Pt = 7.8 \text{ Kw}$$

Pt Potencia al freno de la turbina en Kw

Pg es la potencia máxima que el generador entrega al sistema

ng es la eficiencia del generador

ntr es la eficiencia de la transmisión mecánica utilizada entre la turbina y el generador.

3.4.1.3. Número óptimo de revoluciones en RPM

$$N = \frac{39.85 H^{\frac{1}{2}}}{De} \quad \text{De la ecuación (5)}$$

$$N = \frac{39.85 (15m)^{\frac{1}{2}}}{0.30m}$$

$$N = 514.40 \text{ rpm}$$

$$Fr = 1948 \frac{Pt}{(N De)}$$

$$Fr = 1948 \frac{7.8}{(514 * 0.3)}$$

$$Fr = 157.9 \text{ Kg} \Rightarrow 348.79 \text{ lb}$$

$$Pr = 7.3 \text{ Kg} \Rightarrow 26.09 \text{ lb}$$

Plano x - y

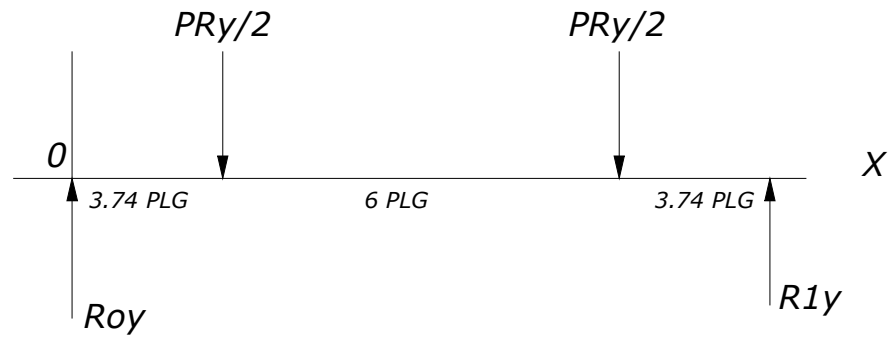


Figura 3.5 Diagrama de fuerza en el plano x - y

$$\frac{Pr}{2} = \frac{16.09}{2} = 8.045\text{lbs} \Rightarrow 3.65\text{Kg}$$

$$9.5\text{cm} \left| \frac{1\text{p lg}}{2.54\text{cm}} \right| = 3.74\text{p lg}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$R0y - 8.04\text{lb} - 8.45\text{lb} + R1y = 0$$

$$R0y = 8.04\text{lb} + 8.045\text{lb} - R1y$$

$$R0y = 16.09\text{lb} - 8.04\text{lb}$$

$$R0y = 8.05\text{lb}$$

$$\sum My = 0$$

$$(8.045)(3.74) + (9.74)(8.45) - R1y(13.48) = 0$$

$$R1y(13.48) = 30.08 + 78.35$$

$$R1y = \frac{108.43}{13.48}$$

$$R1y = 8.044\text{ Lb}$$

Diagrama de Fuerzas

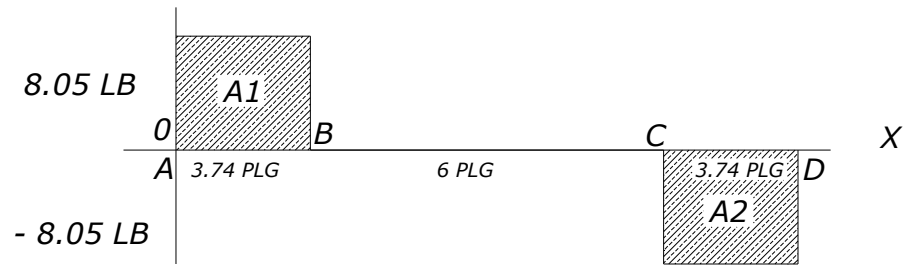


Figura. 3.6 Diagrama de fuerzas

Diagrama de Momentos

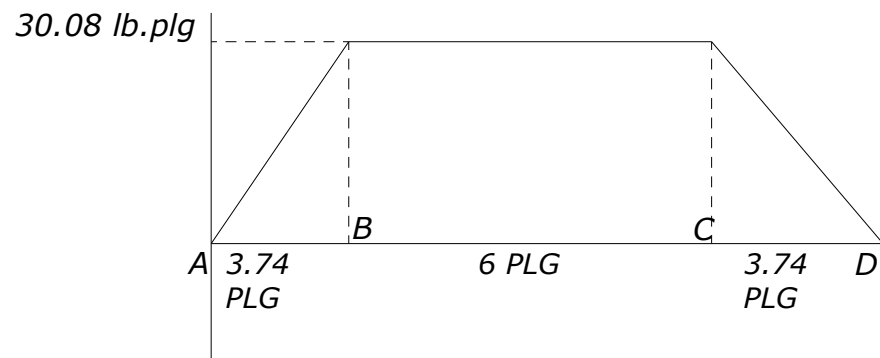


Figura. 3.7 Diagrama de momentos

$$A1 = (8.05)(3.74) = 30.08 \text{ lb plg}$$

$$A2 = (8.05)(3.74) = 30.08 \text{ lb plg}$$

Puntos críticos: (B,C)

$$\frac{Fr}{2} = \frac{157.9 \text{ Kg}}{2} = 78.95 \text{ Kg} \Rightarrow 174.09 \text{ Lb}$$

$$\sum F_z = 0$$

$$-R_{0z} + 174.09 + 174.09 - R_{1z} = 0$$

$$R_{0z} = 348.18 - 174.08$$

$$R_{0z} = 174.1 \text{ lb}$$

$$\sum M_{oz}$$

$$-(174.09)(3.74) - (174.09)(9.74) + R_{1z}(13.48) = 0$$

$$651.09 + 1695.63 = R_{1z}(13.48)$$

$$R_{1z} = 174.08 \text{ Lb}$$

Diagrama de fuerzas

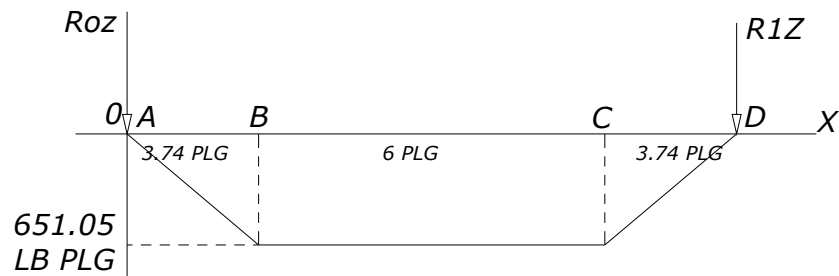


Figura. 3.8 Diagrama de fuerzas x - z

Diagrama de Momentos

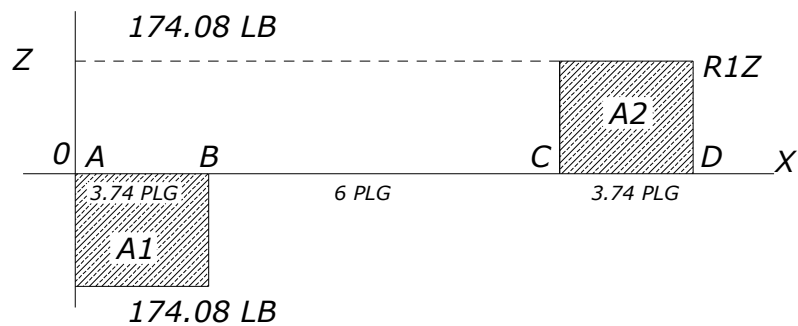


Figura. 3.9 Diagrama de momentos x - z

$$A1 = 174.08(3.74) = 651.05 \text{ lb p lg}$$

$$A2 = 174.08(3.74) = 651.05 \text{ lb p lg}$$

Puntos críticos (B, C)

$$dB = \left(\frac{32n}{\pi S_y} \sqrt{MB^2 + T^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (46)$$

$$MB = \sqrt{MB^2_{(x-y)} + MB^2_{(x-z)}} \quad (47)$$

$$MB = \sqrt{(30.08)^2 + (651.05)^2} = 651.74 \text{ lb p lg}$$

$$dB = \left(\frac{32(1.2)}{\pi (4,6 \times 10^3)} (651.74) \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$dB = (1.73)^{\frac{1}{3}} = 1.2 \text{ p lg}$$

$$dB = 1.2 \text{ p lg} \left| \frac{2.54 \text{ cm}}{\text{p lg}} \right| = 3.05 \text{ cm}$$

Diámetro Recomendado para el eje principal:¹⁸

$$dB = dC = 30 \text{ mm} = 3 \text{ cm.}$$

3.4.1.4 Selección de la chaveta:¹⁹

Para seleccionar la chaveta se dispone de los siguientes datos:

El material de la chaveta es de hierro MPIF F-0000-15

$$S_y = 18 \text{ Kpsi}$$

$$S_u = 25 \text{ Kpsi}$$

El diámetro del eje anteriormente determinado es 3cm ó 1.2 p lg

La potencia al freno de $P_t = 7,8 \text{ Kw}$

Un torque máximo de $T_{\max} = 1283.06 \text{ lb p lg}$

Donde:

$$F = \frac{T \max}{r} \quad (48)$$

¹⁸ Diseño en Ingeniería mecánica, Joseph E. Shigley; Charles R. Mischke, Pág.1144

¹⁹ Diseño de Componentes de Máquinas, William C. Orthwein, Pág. 486

$$F = \frac{1283.06lbplg}{(1.2/2)plg} \quad (49)$$

$$F = 2138.43plg$$

Sabemos que la chaveta actúa como un elemento de protección mecánica por lo que:

$$S_y, chaveta \leq S_y, eje$$

y comprobamos con nuestro S_y que:

$$18Kpsi \leq 23Kpsi$$

Por lo que podemos decir que la elección del material es correcta.

Aplicando la teoría del esfuerzo máximo

$$\tau = \frac{F}{hl} \quad (50)$$

$$\tau \leq \frac{S_y}{2n} \quad (51)$$

(49) = (50) y despejando hl nos queda

$$hl = \frac{2nF}{S_y} \quad (52)$$

Sabemos que la longitud para nuestra chaveta debe ser de la misma longitud del cubo del rodete y que es igual a 5cm = 1.96plg

El factor de seguridad (n) de chavetas y para este material es 2

$$hl = \frac{2(2)(2138.43)lb}{18 \times 10^3 \frac{lb}{plg^2}}$$

$$hl = 0.47plg^2$$

$$h = \frac{0.47plg^2}{1.96plg}$$

$$h = 0.23plg$$

$$h = 5.84mm$$

Entonces la chaveta tiene las siguientes dimensiones:

Longitud = $l = 50$ mm

Altura = $h = 6$ mm

Base = $b = 7$ mm

3.5. DISEÑO DEL SOPORTE DE RODAMIENTO²⁰

Se aconseja utilizar soportes de rodamientos externos existentes en el mercado; para el diseño del soporte del rodamiento se requiere realizar previamente una selección del rodamiento. Esta selección se realiza determinando la capacidad de base dinámica requerida.

Cada tipo de rodamiento presenta propiedades características que dependen de su diseño y que lo hacen más o menos adecuado para una aplicación determinada. Por ejemplo, los rodamientos rígidos de bolas pueden soportar cargas radiales medias, así como cargas axiales. Tienen un bajo rozamiento y pueden producirse con una alta precisión y en variantes de trabajo silencioso. Este tipo de rodamiento es preferido por consiguiente, para motores eléctricos de tamaño pequeño y medio.

Hay muchos casos que al menos una de las dimensiones principales del rodamiento, generalmente el diámetro del agujero, viene determinado por las características de diseño de la máquina a la que va destinado. Para ejes de pequeño diámetro, se pueden utilizar cualquier tipo de rodamiento de bolas siendo los rodamientos rígidos de bolas los más comúnmente utilizados.

²⁰ www.skf.com/skf/productcatalogue

3.5.1. Selección de rodamiento

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

$$L_{h_{10}} = 40.000 \dots 50.000 \text{ horas (por tablas) (ANEXO II)}$$

$$K = 3 \quad (\text{cuando se trata de rodamientos de bola o esférico})$$

Determinamos la fuerza radial, conociendo las reacciones:

$$R_{oy} = 8.05 \text{ lb.}$$

$$R_{oz} = 174.1 \text{ lb.}$$

$$Fr = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (53)$$

$$Fr = \sqrt{(8.05)^2 + (174.1)^2}$$

$$Fr = 174.28 \vec{lb}$$

$$Fr = 775.54 \text{ N}$$

Fr fuerza radial sobre el eje

3.5.2. Cálculo de la carga dinámica

$$P = V \times Fr \quad (54)$$

Donde:

$$V = 1 \text{ (factor de rotación cuando gira la pista interior)}$$

$$P = 1 * 775.54 \text{ N}$$

$$P = 775.54 \text{ N}$$

3.5.2.1. Capacidad de carga dinámica

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^K \quad (55)$$

$$45000 = \left(\frac{C}{775.5 \text{ N}} \right)^3$$

$$C = 27585.13 \text{ N}$$

$$C = 27.5 \text{ KN}$$

Siendo:

L_{10} Vida nominal (millones de revoluciones)

C capacidad de carga dinámica

P carga dinámica equivalente

3.5.2.2. Capacidad de carga estática

$$L_{H10} = \left(\frac{Co}{P} \right)^K \times \frac{10^6}{60 \text{ N}} \quad (56)$$

$$45000 = \left(\frac{Co}{775.54 \text{ N}} \right)^3 \times \frac{10^6}{60 \times 1800 \text{ rpm}}$$

$$Co = 13136 \text{ N}$$

$$Co = 13.1 \text{ KN}$$

Con los datos obtenidos se busca en tablas y se determina que el rodamiento a elegir es el rodamiento en acero SKF serie 6306.²¹ **(ANEXO III)**

²¹ www.skf.com/skf/productcatalogue/jsp/viewers/producttable

Rodamientos rígidos de bolas, de una hilera

3.6 SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA MECÁNICA

En una pico central hidroeléctrica se produce una continua conversión de energía hidráulica en energía mecánica en la turbina y de energía mecánica en energía eléctrica en el generador.

En el caso de sistemas eléctricos con corriente eléctrica, a una frecuencia de 60 hz, se dispone de generadores con velocidades de $3600 / p$ (rpm.), siendo “p” el número de polos del generador. De esta manera se puede contar con velocidades de 3600, 1800, 1200, 900 rpm y menos.

La velocidad de giro de la turbina está relacionada con la caída neta, el caudal y las dimensiones del rodete. En el caso de las grandes centrales hidroeléctricas se justifica construir los rodetes de las turbinas con dimensiones que permitan garantizar una velocidad de giro igual a la del generador y permitir así su acoplamiento directo. En cambio en el caso de pico centrales hidroeléctricas solo se puede emplear los rodetes con dimensiones estándares de los fabricantes; en consecuencia, la velocidad de operación, para las condiciones de caída neta y caudal disponible, rara vez coincide con la de los generadores; por esta razón en las pequeñas centrales debe emplearse sistemas de transmisión de movimiento y potencia mecánica entre la turbina y el generador.

3.6.1 Elementos de un sistema de transmisión de potencia mecánica.

En todo sistema de transmisión de movimiento y potencia se pueden distinguir fundamentalmente dos tipos de elementos:

- Elemento conductor o motriz
- Elemento conducido

De una manera más específica los elementos mecánicos involucrados en una transmisión serán:

- Una rueda impulsora
- Una rueda conducida
- Ejes que soportan las ruedas y giran con ellas.
- Soportes de los ejes (cojinetes de rodamientos o deslizamiento)
- Acoplamientos

3.6.1.1 TIPOS DE TRANSMISIONES

Existen varios tipos de transmisiones mecánicas, indicaremos las más importantes:

- **Transmisiones flexibles por fajas**, que pueden ser:
 - Planas
 - Trapezoidales o en v
 - Dentadas
- **Transmisiones flexibles por cadenas de rodillos**, que pueden ser:
 - Simples
 - Múltiples
- **Transmisiones por ruedas de fricción**, que pueden ser:
 - cilíndricas de ejes paralelos
 - Cilíndricas de ejes transversales
 - Cónicas
- **Transmisión por engranajes**, las que pueden ser:

- Cilíndricas de dientes rectos
- Cilíndricas de dientes helicoidales
- Cónicas de dientes rectos
- Cónicas de dientes espirales
- Tornillos sin fin con rueda dentada

3.6.1.2 Criterios para el dimensionamiento de sistemas de transmisión

Para poder dimensionar un sistema de transmisión debe contarse con la siguiente información:

- Potencia a transmitir
- Velocidades de entrada y salida
- Condiciones de servicio

Las condiciones de servicio están relacionadas con el tipo de máquina motriz y tipo de máquina conducida, en cuanto a las vibraciones que ellas originen en la transmisión; también dependen de las horas de servicio, condiciones ambientales, etc. Estas condiciones de servicio han sido evaluadas experimentalmente para los diferentes sistemas de transmisión, considerándose en la forma de un “factor de servicio”.

3.6.1.3 Transmisión por engranajes

Las cajas multiplicadoras de engranajes, pueden significar una opción para la transmisión del movimiento entre el eje de la turbina y el generador, con las ventajas de ocupar poco espacio, originar menores pérdidas por fricción y evitar cargas fuertes en los cojinetes del generador. Los engranajes tiene la ventaja de poder adaptarse adecuadamente tanto a transmisiones de bajas

velocidades como de altas. Su principal inconveniente es su costo más elevado que las transmisiones por fajas como cadenas; asimismo, los trabajos de mantenimiento, relacionados mayormente con cambios de rodamientos de las cajas, requieren más cuidado.

3.6.1.4. Multiplicadores de velocidad

Cuando turbina y generador trabajan a la misma velocidad y pueden montarse coaxialmente, se recomienda el acoplamiento directo, que evita pérdidas mecánicas y minimiza el mantenimiento ulterior. El fabricante de la turbina recomendará el tipo de acoplamiento a utilizar aun cuando un acoplamiento flexible, que tolera pequeños errores de alineación, es en general preferible.

En general, sobre todo en turbinas de baja potencia, los rodets giran a menos de 500 rpm, lo que obliga al empleo de un multiplicador para alcanzar las 1.800-3.600 rpm de los alternadores Standard, solución siempre más económica que la de utilizar un alternador especial, que tendrá que ser construido bajo pedido

3.6.2. Diseño del multiplicador

La caja se diseña para garantizar, aún bajo sollicitaciones extremas, la correcta alineación de los componentes. En general se construyen de acero soldado, fuertemente rigidizado para que pueda resistir, sin deformarse, el empuje de la turbina y el par transmitido por el generador.

El multiplicador tiene que soportar esfuerzos excepcionales, causados por situaciones excepcionales, tales como un defecto de sincronismo, un

cortocircuito o un empalamiento de la turbina, que generan esfuerzos puntuales que pueden llegar a romper los engranajes. Para proteger los engranajes contra estos esfuerzos puntuales, se recomienda utilizar limitadores de par que al presentarse una sobrecarga excesiva originan la rotura de la pieza que hace de acoplamiento.

Es importante que el volumen, calidad, temperatura y viscosidad del aceite se mantengan siempre dentro de especificaciones.

Los multiplicadores se diseñan con arreglo a normas estandarizadas pero utilizando criterios conservadores en la evaluación de los esfuerzos. Estos criterios entran en conflicto con la necesidad de reducir costos pero, para encontrar el equilibrio entre fiabilidad y precio, hay que tener muy claras las ideas sobre como se dimensionan los componentes. Un buen conocimiento de las cargas de fatiga y una gran precisión en el tallado de engranajes, son condiciones indispensables para garantizar la durabilidad de un multiplicador.

Los factores metalúrgicos juegan también un papel importante. En cada caso hay que estudiar las ventajas respectivas de la nitruración y de la cementación, muy en particular en lo que respecta a los esfuerzos permisibles en el contacto de los dientes.

La elección de los cojinetes es crucial para el diseño del multiplicador. Por debajo de 1 Mw. pueden utilizarse rodamientos de rodillos. Sin embargo, para mayores potencias resulta difícil encontrar rodamientos con una garantía de vida aceptable, por lo que a partir de esa potencia se utilizan cojinetes hidrodinámicos. Efectivamente, la vida de los rodillos esta limitada por el fenómeno de fatiga, mientras que los cojinetes hidrodinámicos tiene una vida prácticamente ilimitada. Los cojinetes hidrodinámicos, por otra parte, admiten una cierta contaminación del aceite, cosa que no es tolerada por los rodillos.

3.6.3. Engranajes²²

Permiten transmitir movimientos giratorios entre dos ejes, pudiendo modificar las características de velocidad y sentido de giro. Los ejes pueden ser paralelos, coincidentes o cruzados.

Este mecanismo se emplea como reductor de velocidad en la industria (máquinas herramientas, robótica, grúas...), en la mayoría de los electrodomésticos (vídeos, cassetes, tocadiscos, programadores de lavadora, máquinas de coser, batidoras, exprimidores...), en automoción (cajas de cambio de marchas, cuentakilómetros, regulación de inclinación de los asientos...), etc.

El sistema de engranajes es similar al de ruedas de fricción. La diferencia estriba en que la **transmisión simple por engranajes** consta de una rueda motriz con dientes en su periferia exterior, que engrana sobre otra similar, lo que evita el deslizamiento entre las ruedas. Al engranaje de mayor tamaño se le denomina **rueda** y al de menor **piñón**.

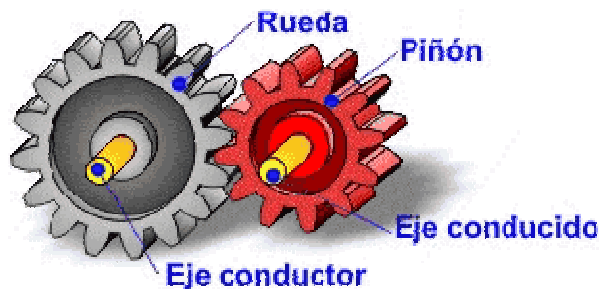


Figura 3.10. Rueda y piñón

A diferencia de los sistemas de correa-polea y cadena-piñón, este no necesita ningún operador (cadena o correa) que sirva de enlace entre las dos ruedas .

²²http://www.iesmarenostrum.com/Departamentos/Tecnologia/mecanico/mecanica_basica/mecanismos/mec_eng_multiplicador.htm

Los dientes de los engranajes son diseñados para permitir la rotación uniforme (sin saltos) del eje conducido.

3.6.3.1. Sentido de giro

Este sistema de transmisión (como el de *ruedas de fricción*) invierte el sentido de giro de dos ejes contiguos, cosa que podemos solucionar fácilmente introduciendo una *rueda loca* o *engranaje loco* que gira en un eje intermedio.

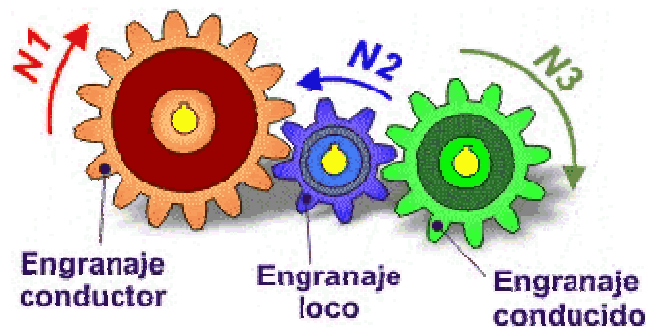


Figura 3.11. Sentido de giro

3.6.3.2. Relación de velocidades

Las velocidades de entrada (eje conductor) y salida (eje conducido) están inversamente relacionadas con el número de dientes de las ruedas a las que están conectados (igual que en la transmisión por cadena-piñón) cumpliéndose que:

$$N1 \cdot Z1 = N2 \cdot Z2 \quad 57$$

Con lo que la velocidad del eje conducido será: $N2 = N1 \cdot (Z1/Z2)$

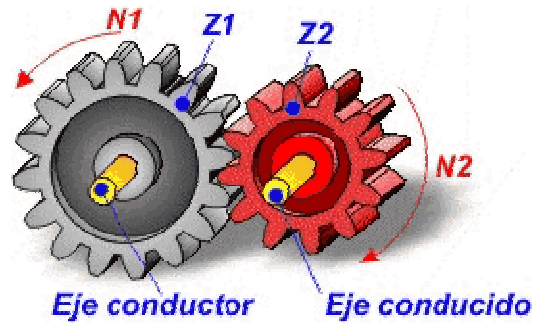


Figura 3.12. *Relación de velocidades*

donde:

$N1$ Velocidad de giro del eje conductor

$N2$ Velocidad de giro del eje conducido

$Z1$ Número de dientes de la rueda

$Z2$ Número de dientes del piñón

La relación de transmisión del sistema es:

$$i = \frac{\text{N}^\circ \text{ de dientes de la rueda conducida}}{\text{N}^\circ \text{ de dientes de la rueda conductora}} = \frac{Z2}{Z1} \quad (58)$$

3.6.3.3 Cálculo y diseño de los engranajes

De acuerdo a las consideraciones anteriores vamos a realizar los cálculos necesarios para el diseño de los engranajes para la caja multiplicadora que se conectara a la turbina y al generador.

Los datos que tenemos son los siguientes: **(ANEXO IV)**

N1 de la turbina: 600 rpm

N2 = rpm al generador

Z1 = 116 dientes

Z2 = 16 dientes

M = 2 (módulo)

De $N1 \cdot Z1 = N2 \cdot Z2$

$N2 = N1 \cdot (Z1/Z2)$

N2 = 600. (116/16)

N2 = 4350 rpm

3.6.3.4. Denominaciones y relaciones en el dentado del sistema de módulo

- o **Distancia entre centros**

$$C = m \cdot \left(\frac{Z1 + Z2}{2} \right)$$
$$C = 2 \cdot \left(\frac{116 + 16}{2} \right) \quad (59)$$
$$C = 132mm$$

○ **Diámetro primitivo**

$$d = m.Z$$

$$d_1 = 2 . 116$$

$$d_1 = 232 \text{ mm} \quad (60)$$

$$d_2 = 2 . 16$$

$$d_1 = 32 \text{ mm}$$

Addendum (Cabeza del diente)

$$a = 1 . m \quad (61)$$

$$a = 1 . 2$$

$$a = 2 \text{ mm}$$

Dedendum (pie del diente)

$$b = 1,25 m \quad (62)$$

$$b = 1,25 . 2$$

$$b = 2,5 \text{ mm}$$

Espacio libre del fondo

$$c = 0,25 . m \quad (63)$$

$$c = 0,25 . 2$$

$$c = 0.5 \text{ mm}$$

Profundidad del diente

$$h = 2,25 . m \quad (64)$$

$$h = 2,25 . 2$$

$$h = 4,5 \text{ mm}$$

Paso circular del diente

$$p = \pi \cdot M \quad (65)$$

$$p = \pi \cdot 2$$

$$p = 6,28$$

Espesor del diente

$$e = (\pi \cdot m) / 2 \quad (66)$$

$$e = (\pi \cdot 2) / 2$$

$$e = 3,14 \text{ mm}$$

Diámetro exterior

$$De = m \cdot (Z1 + 2) \quad (67)$$

$$De = 2 \cdot (116 + 2)$$

$$De = 236 \text{ mm}$$

$$De = m \cdot (Z2 + 2)$$

$$De = 2 \cdot (16 + 2)$$

$$De = 36$$

Longitud del diente

$$B = 8 \text{ a } 10 \cdot m \quad (68)$$

$$B = 8 \cdot 2$$

$$B = 16 \text{ mm}$$

CAPITULO IV

SELECCIÓN TÉCNICA DEL EQUIPO ELÉCTRICO

4.1. SELECCIÓN TÉCNICA DE GENERADORES²³.

Los generadores eléctricos para estas aplicaciones son máquinas rotativas que se acoplan directamente o indirectamente a los rodets de las turbinas y así, conjuntamente, producen energía eléctrica o electricidad.

Para una buena selección del generador adecuado para el proyecto se debe tener en consideración los siguientes aspectos:

4.1.1 Generador de corriente continúa.

4.1.1.1 Ventajas.

- Suministros de corriente sin rizado u ondulaciones de la onda de salida.

²³ *Manual de minicentrales y micro centrales hidráulicas ITDG PERÚ Pág. 189...209*

- Excelente respuesta que permite ser una fuente precisa para elementos de control.

4.1.1.2 Desventajas.

- Para evitar pérdidas excesivas por transporte (este tipo de corriente no puede elevarse o reducirse con elementos económicos como los transformadores), el centro de consumo debe hacerse lo mas cerca posible al centro de generación, lo que en un aprovechamiento hidráulico es difícil de lograr.
- Los dispositivos y aparatos que conforman las cargas domésticas, industriales y de iluminación utilizan corriente alterna.
- El uso esta limitado a generación de pequeñas potencias para carga de acumuladores y baterías.

4.1.1.3 Mantenimiento.

A pesar de ser una máquina de construcción robusta el dínamo es un dispositivo delicado, las pruebas en fábrica para conseguir las características de placa y de conmutación son largas y costosas, lo que determina que su operación sea de constante vigilancia, excepto por el conmutador y las escobillas, el mantenimiento de la máquina de continua difiere poco del resto de máquinas eléctricas rotativas.

Para obtener una buena conmutación, las escobillas deben verificarse periódicamente, observando la libertad de movimiento en los porta carbones, así como la presión y longitud suficientes.

El cuello del conmutador no es aislado y recibe toda la tensión generada, por lo que debe limpiarse del polvo de carbón gastado y del aire de ventilación pues ocasionan de fuga a la masa.

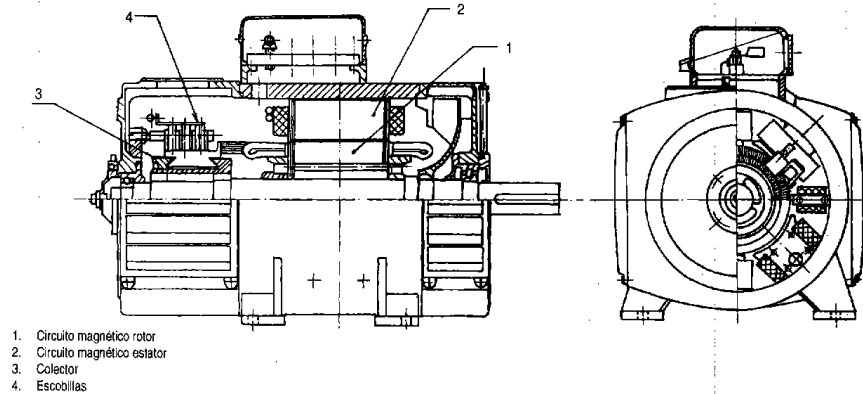


Fig. 4.1 *Generador de corriente continua.*

4.1.2 Generador Síncrono.

4.1.2.1 Ventajas.

- Es la velocidad de giro de la máquina en rpm. (revoluciones por minuto), que permanece invariable y origina en la corriente en la corriente alterna la frecuencia síncrona normalizada .La velocidad rotativa es dada por la máquina, en este caso la turbina hidráulica.
- Frecuencias sincrónicas normalizadas: 50 y 60 Hz.
- Velocidades sincrónicas deducibles de la frecuencia F y el número de polos P de la máquina.
$$n_{s(RPM)}=120 \cdot \frac{f(Hz)}{p}$$
- El generador síncrono tiene el bobinado de campo excitado por corriente continua y la tensión generada en la armadura es alterna, de ahí el se denomina alternador.
- El generador monofásico tiene una sola fase.
- Los generadores síncronos monofásicos se usan para tres razones.

- En aplicaciones de potencia relativamente baja (usualmente no mayor a 30 KVA).
 - Provisionalmente cuando se espera el crecimiento futuro de la demanda.
 - Cuando el alternador debe funcionar en paralelo con otro existente de sistema monofásico.
- El alternador síncrono, desde hace mucho tiempo, es el más importante dispositivo de conversión de potencia electromecánica y es pieza clave en la producción de electricidad.
 - El alternador puede soportar altas corrientes instantáneas de carga o bajos factores de potencia lo que es típico en el arranque de un motor de inducción.
 - Los alternadores normales permiten el desbalance de las corrientes de carga de hasta un 25% sin superar la corriente nominal, a cargas parciales el valor de desbalance puede ser mayor, pero sin superar el 40% para evitar el desequilibrio de tensiones y hasta sobre tensiones.

4.1.2.2 Desventajas.

- Los alternadores de fabricación actual son de un solo cojinete, por lo que para uso con turbinas, se debe solicitar un alternador especial con dos cojinetes.
- La regulación debe ser mantenida en rangos estrechos de regulación, comúnmente aceptan una caída de rango 5% de la velocidad, de lo contrario presenta exceso de calentamiento por sobre excitación y disminución de aire de enfriamiento.

4.1.2.3 Mantenimiento.

- Los elementos de regulación deben estar en buen estado y operando normalmente.
- La regulación del regulador de velocidad y tensión deben estar correctas.
- El mal funcionamiento se debe exclusivamente en la turbina o en el regulador de velocidad y tensión.

4.1.3 Generador de Inducción o Asíncronos.

4.1.3.1 Ventajas.

- Son de construcción simple, robusta y confiable.
- Son de fácil adquisición, a bajo costo, como motores.
- Prácticamente no requieren mantenimiento no hay escobillas
- Soportan sobre velocidades del orden del 200%
- La tensión generada depende de la magnitud de los condensadores, la velocidad de giro, la corriente y factor de potencia.

4.1.3.2 Desventajas.

- Pérdida de potencia por menor llenado de ranuras con conductor de cobre, cuando el bobinado no es realizado en fábrica.
- Requiere protección por sobre tensiones que se presenta durante un embalamiento, falla del controlador de velocidad y regulación o resistencias de regulación, el modo mas económico es colocar fusibles a los condensadores.

- El uso de un controlador de carga máxima para regular la tensión, requiere de un flujo de agua permanente.
- Como toda máquina de inducción, el desbalance de corrientes de carga va a provocar exceso de carga por lo que deben ser limitadas a un máximo de 10%.

4.1.3.3 Mantenimiento.

- Se aplica el programa de mantenimiento común de las demás máquinas rotativas, en este caso se reduce a la lubricación de cojinetes.
- Los condensadores de excitación, se debe revisar su estado y si mantienen su capacidad y corriente de fuga.
- Respecto a los controladores de regulación por cargas lastre (resistencias) seguir las mismos procedimientos de mantenimiento de los reguladores de carga.

4.1.4 Selección Práctica del Generador.

Una vez apreciado las ventajas y desventajas de cada tipo de generador y revisando la necesidad presentada en el sector para este proyecto se aclara las siguientes razones para seleccionar un generador síncrono monofásico;

- **La distancia de traslado de energía;** como ya se analizó el generador síncrono se puede acoplar a un elevador de voltaje con facilidad (transformador) y la distancia de generación hasta el punto de consumo se encuentra a 200mts de distancia.
- **Fácil de encontrar en el mercado;** este tipo de generador se puede extraer fácilmente de los generadores de combustión interna.
- **Generadores monofásicos** son utilizados en aplicaciones de potencia relativamente pequeñas.

- **Autoprotección de sobre corriente incorporada;** los generadores monofásicos actualmente vienen previstos de termo magnéticos de sobre corrientes lo que es un ahorro considerable para el equipo de protección.
- **Alternador soporta corrientes de carga instantánea;** estos generadores soportan corrientes de carga instantánea, lo que generalmente producen los motores de inducción, en la zona la utilización de motores es inevitable.

- **Características del generador síncrono.**

Marca:

Voltaje: 110 V AC.

Potencia: 3.5 Kw.

Frecuencia: 60 Hz

Polos: 2

Revoluciones: 3600 rpm

Autoprotegido contra sobre corrientes. (ANEXO V)

4.2 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE REGULACIÓN DE FRECUENCIA Y VOLTAJE.

Una vez elegido el generador utilizado en el proyecto ahora es conveniente elegir el sistema de regulación del voltaje y frecuencia.

Para lo cual explicaremos el sistema que se ha elegido para el proyecto el cual es detallado a continuación.

4.2.1 Importancia de controlar la frecuencia y voltaje del sistema.

Es importante controlar el voltaje y frecuencia para no dañar al generador eléctrico ni los equipos y máquinas que utilizan esta energía.

Dado que la frecuencia es directamente proporcional a la velocidad del alternador, una variación de velocidad de giro se traduce en una variación en la frecuencia del sistema eléctrico que debe tener un valor de 50 ,60 Hertz según el país.

Para lo cual indicamos la importancia de controlar la frecuencia en la tabla 4.1 y 4.2.

EQUIPO O DISPOSITIVO	EFFECTOS DEBIDO A UN OPERACIÓN CON BAJA FRECUENCIA
Motor eléctrico	El motor no arranca
Lámpara fluorescente	No enciende.
Lámpara incandescente	Menor iluminación
Alternador	Sobrecalentamiento.

Tabla 4.1 Efectos de operación con baja frecuencia.

EQUIPO O DISPOSITIVO	EFFECTOS DEBIDO A UN OPERACIÓN CON ALTA FRECUENCIA
Motor	Se reduce su vida útil o pueden quemarse
Lámpara incandescente	Reduce su vida útil.
Alternador	Daños provocados por sobre velocidad.

Tabla 4.2 Efectos de operación con alta frecuencia.

Una vez visto la necesidad de regular la velocidad explicaremos las dos maneras existentes para regular la velocidad que son:

- Por regulación de caudal en la turbina.
- Por regulación de carga.

4.2.2 Regulación de velocidad por medio de caudal de agua en la turbina.

Para obtener una velocidad constante del grupo generador, existiendo una demanda variable, es necesario que en todo momento la potencia disponible al ingreso del grupo generador, deba ser igual a la potencia eléctrica a la salida de este, más las pérdidas internas del grupo.

Este equilibrio se logra regulando la cantidad de agua que ingresa a la turbina de tal manera que si se produjera un aumento de la demanda se abrirá una válvula que permite el mayor ingreso de agua a la turbina ocasionando que la potencia generada sea igual a la demanda.

Existen dos maneras de realizar esta regulación:

Manual o automática

La regulación manual se ha utilizado principalmente en pico centrales de potencia pequeñas ya que su costo inicial es bajo, este tipo de regulación se emplea en aquellos sistemas donde no existen grandes fluctuaciones en la demanda de energía.

La variación del caudal se realiza por medio de la válvula de aguja o álabes directrices, según el tipo de turbina utilizada.

La regulación automática utiliza los reguladores óleo mecánicos y sus variaciones tales como taquimétricas, electromecánicas y electro hidráulicas, por su elevado costo en el sistema resulta poco apropiado en pico centrales y es utilizado en centrales mayores a 100KW.

4.2.3 Regulación de la velocidad por regulación de carga.

A diferencia de la regulación por el caudal de agua en la que en todo momento la turbina regula el paso de agua con el fin de igualar la potencia generada con la demanda, para mantener la velocidad de giro constantemente, en los sistemas de regulación de carga el grupo generador entrega una potencia constantemente, esto es no hay regulación del caudal de agua.

No obstante debe cuidarse que el grupo genere una potencia mayor o igual a la máxima demanda, el exceso de potencia generada se dispara en forma de calor a través de resistencias sumergida en agua o al aire.

Esta regulación también se puede realizar de manera manual y automática.

La forma manual es poco utilizada se requiere básicamente tener un banco de resistencias calefactores que el operador ira conectando o desconectando según aumente o disminuya la frecuencia en la red eléctrica.

La regulación automática se logra con el fin de lograr soluciones más económicas y sencillas en el mantenimiento y operación de los reguladores de velocidad ,este utiliza unas válvulas electrónicas conocidas como tiristores que deriva la energía consumida por la demanda a un sistema de disipación de energía (resistencias calefactores).

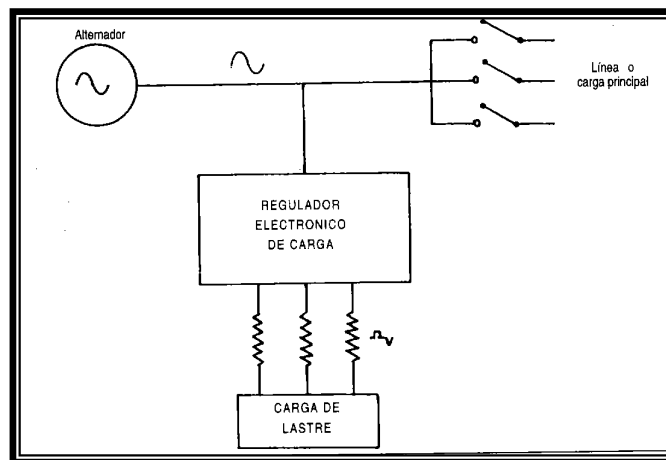


Figura 4.2: Esquema de regulación de velocidad por carga lastre

- Una vez revisado los tipos de control podremos escoger el más apropiado para el proyecto.

4.2.4 Criterios de selección.

- **Reguladores de caudal.**

- **Desventajas.**

Costo elevado de instalación.

No son muy apropiados para pico centrales de baja potencia.

- **Ventajas.**

Apropiados donde el caudal de agua no es constante.

- **Reguladores de carga.**

- **Desventajas.**

El generador permanece siempre entregando carga constante y cercana o igual a la máxima por lo que el mantenimiento debe ser más continuo que con un regulador de caudal.

- **Ventajas.**

Menor costo de instalación.

Apropiado para pequeñas centrales hidroeléctricas.

Operación y mantenimiento sencillos

No produce sobre presiones en las tuberías de presión.

4.2.5 Selección de regulador.

Como ya pudimos observar el más apropiado para el proyecto es el **regulador de frecuencia por regulación de carga con resistencias calefactores.**

A continuación explicaremos como es el funcionamiento del regulador escalonado digital de carga.

4.2.5.1 Principio de funcionamiento.

Esta regulación se logra mediante el uso de tiristores o rectificadores de control de silicón (**SCR**) los cuales permiten el paso de corriente hacia la carga secundaria (resistencias calefactores) solo cuando recibe una pulsación de pase proveniente del circuito de control de disparo. (**ANEXO**) El proceso de control de frecuencia se realiza comparando la frecuencia del alternador con una señal de referencia preestablecida, se compara estos dos valores y se emite una señal de diferencial que van al circuito de disparo donde emite al señal de disparo haciendo que se conecten o desconecten pequeñas cargas (en las cargas resistivas) ,estas cargas tienen valores diferentes con la finalidad de que el regulador tenga un amplio margen para realizar las combinaciones mas adecuadas para el cambio de carga que se ha producido.

Una ventaja se atribuye a este sistema sobre el de regulación continua es que al no cortar las ondas de corriente y realizar una regulación por pasos o escalones, no se producen interferencias en las ondas de radio.

4.2.5.2 Características técnicas de los reguladores electrónicos de carga.

- Respuesta a la aplicación o retiro del 100% de la carga, desviación transitoria de la frecuencia menos de 0.25 s.
- Estatismo de 0% a 3% (regulación digital)
- Temperatura máxima de operación 55° C
- Tipo de demanda indiferente (inductiva, capacitiva, resistiva)
- Factor de potencia de la demanda mayor de 0.7 (**ANEXO VI**)

4.3 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE SECCIONAMIENTO CONTROL Y PROTECCIÓN.²⁴

Para el proceso de selección de protección de generador y del seccionamiento eléctrico, consideramos el siguiente aspecto, como ya se explico en la sección 3.1 el generador que se seleccionó viene previsto de protección interna es decir autoprotegido de sobre corriente y voltaje, para lo cual nuestra misión se concentra en la selección del elemento apropiado para la protección del sistema de control de frecuencia y el sistema de distribución energía del generador hacia los elementos de consumo.

Toda instalación eléctrica tiene que estar dotada de una serie de protecciones que la hagan segura, tanto desde el punto de vista de los conductores y los aparatos a ellos conectados, como de las personas que han de trabajar con ella.

Existen muchos tipos de protecciones, que pueden hacer a una instalación eléctrica completamente segura ante cualquier contingencia, pero hay **tres** que deben usarse en todo tipo de instalación: de alumbrado, domésticas, de fuerza, redes de distribución, circuitos auxiliares, etc., ya sea de baja o alta tensión. Estas tres protecciones eléctricas, que describiremos con detalle a continuación son:

- a) **Protección contra cortocircuitos.**
- b) **Protección contra sobrecargas.**
- c) **Protección contra electrocución.**

²⁴ <http://www.geocities.com/SiliconValley/Program/7735/TECNOL16.html>
Pág.225

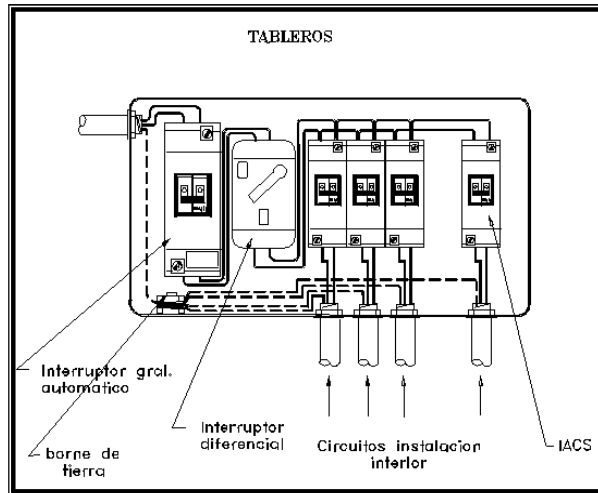


Fig. 4.3 Protecciones de un tablero de distribución eléctrica

4.3.1 Protección Contra Sobrecarga.

Selección de Interruptores termo magnéticos de la distribución (VIVIENDA)

a) Interruptor general automático

Tendrá accionamiento manual y dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

Será el encargado de proteger la derivación individual contra sobrecargas. Se utilizará como desconectador general de la instalación interior y será de corte omnipolar.

Tendrá capacidad de corte suficiente para la intensidad de cortocircuito que pueda producirse en el punto de su instalación.

b) Interruptor diferencial

Es el encargado de proteger a personas y cosas contra los contactos directos e indirectos.

Su intensidad nominal deberá estar por encima de la máxima prevista a demandar por los circuitos que se derivan de él.

Deberá resistir las corrientes de cortocircuito que puedan presentarse en el punto de su instalación.

La elección de la sensibilidad en cada caso viene determinada por la condición de que el valor de la resistencia a tierra de las masas, medida en cada punto de conexión de las mismas, debe cumplir la relación:

R_e = Resistencia de tierra en Ω .

U_b = Potencial de toque en V.

I_f = Corriente nominal de fuga en A.

$U_b = 50$ V en locales o emplazamientos secos.

$U_b = 24$ V en locales o emplazamientos húmedos o mojados.

I_f podrá variar, siendo los valores habituales hasta 30 mA, protección para contactos directos e indirectos más de 30 mA serán aptos solo para proteger contra contactos indirectos.

En el caso de instalaciones interiores o receptoras de gran complejidad o extensión se recomienda utilizar interruptores diferenciales ubicados en distintos lugares (en cascada); de modo que puedan actuar selectivamente

c) Interruptores automáticos

El tablero general estará compuesto también por varios I.A.C. (Interruptor automático de circuitos) magneto térmicos, para proteger cada uno de los circuitos independientes contra sobrecargas y cortocircuitos.

Dispondrá de uno por circuito y sus características de interrupción estarán de acuerdo con las corrientes admisibles en los conductores del circuito que protegen.

El número mínimo de circuitos y por tanto de I.A.C.S., dependerá del grado de electrificación de la vivienda.

Estos interruptores deberán coordinarse en su operación con los otros dispositivos de protección generales de modo de actuar selectivamente.

d) Borne de protección

El tablero general dispondrá también de un borne de conexión para los conductores de protección o tierra donde llega el conductor general de tierra y de donde salen las tierras de cada circuito, y en el caso de tableros metálicos estarán conectados además a la cubierta de dichos tableros.

4.3.1.1 Cálculo de protecciones de la vivienda.

Ahora calculamos los Interruptores termo magnéticos que se utiliza en la vivienda.

Datos.

$$CTI = \text{carga total instalada} \quad CTI = 2769w \quad (69)$$

Un interruptor termo magnético que distribuye a:

Cocina lámpara de 100W tomacorriente 150 W
Dormitorios (3) lámparas 300W Tomacorriente (3) 450 W
Pasillo (2) lámparas 200W
Pasillo 100 W
P1= 1300 W

Un interruptor termo magnético que distribuye a:

Baño luminaria 100W Tomacorriente. 150 W
Dormitorio 4, luminaria 100 W Tomacorriente 150 W
Dormitorio 5, luminaria 100W Tomacorriente 150 W
Taller (2) Motores ½ Hp 746 W

$$P2= 1469 W$$

Factor de coincidencia $F_{co} = 067$

$$P_{1.1} = P1 \times F_{co} \quad (70)$$

$$P_{1.1} = 1300 \times 0.67$$

$$P_{1.1} = 871 \text{ w}$$

$$P_{2.2} = P_2 \times Fco$$

$$P_{2.2} = 1469 \times 0.67$$

$$P_{2.2} = 984.23 \text{ w}$$

$$I_{1.1} = \frac{P_{1.1}}{V} \quad (71)$$

$$I_{1.1} = \frac{871}{110} = 7.91 \text{ A}$$

$$I_{2.2} = \frac{P_{2.2}}{V} \quad (71a)$$

$$I_{2.2} = \frac{984.23}{110} = 8.94 \text{ A}$$

$$PT = P_{1.1} + P_{2.2} = 871 + 984.23 \text{ W} = 1855.23 \text{ w} \quad (72)$$

$$It = \frac{Pt}{V} = \frac{1855.23}{110} = 16.87 \text{ A} \quad (73)$$

Entonces:

El primer Interruptor termo magnético debe ser según la normalización local

Soportar corriente normalizada en SQUARDIN 16 A

De una fase (Monofásico) para cable número 12 AWG

El segundo Interruptor termo magnético debe ser según la normalización local.

Para corriente normalizada de 16 A

Monofásico

El interruptor termo magnético general debe:

Soportar la corriente de 25 A

De tipo Monofásico.

4.3.2 Protección contra cortocircuitos.

Estos para proteger al circuito electrónico de control de frecuencia mediante el control de carga

4.3.2.1 Fusibles o cortacircuitos.

Los fusibles o cortacircuitos, según se ve en la figura , no son más que una sección de hilo más fino que los conductores normales, colocado en la entrada del circuito a proteger, para que al aumentar la corriente, debido a un cortocircuito, sea la parte que más se caliente, y por tanto la primera en fundirse. Una vez interrumpida la corriente, el resto del circuito ya no sufre daño alguno.

Antiguamente los fusibles eran finos hilos de cobre o plomo, colocados al aire, lo cual tenía el inconveniente de que al fundirse saltaban pequeñas partículas incandescentes, dando lugar a otras averías en el circuito.

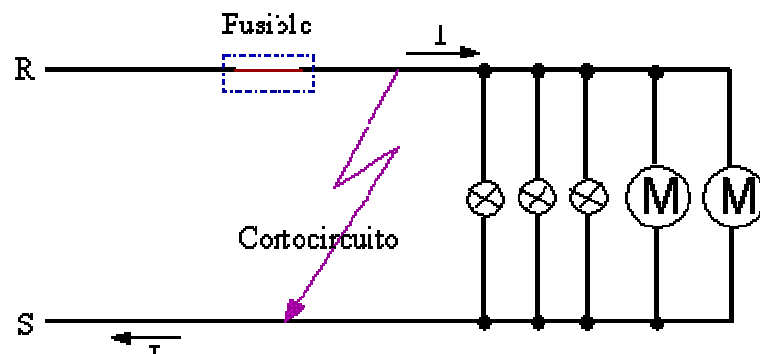


Fig. 4.4 Esquema del fusible

Actualmente la parte o elemento fusible suele ser un fino hilo de cobre o aleación de plata, o bien una lámina del mismo metal para fusibles de gran intensidad, colocados dentro de unos cartuchos cerámicos llenos de arena de cuarzo, con lo cual se evita la dispersión del material fundido; por tal motivo también se denominan cartuchos fusibles. Los cartuchos fusibles son protecciones desechables, cuando uno se funde se sustituye por otro en buen estado.

Los cartuchos fusibles también pueden mejorarse aplicándole técnicas de enfriamiento o rapidez de fusión, para la mejor protección de los diferentes tipos de circuitos que puede haber en una instalación, por lo cual y dentro de una misma intensidad, atendiendo a la rapidez de fusión, los cartuchos fusibles se clasifican según la tabla.

Tipo	Según norma UNE	Otras denominaciones
FUSIBLES RÁPIDOS	gF	gl, gI, F, FN, Instanfus
FUSIBLES LENTOS	gT	T, FT, Tardofus
FUSIBLES DE ACOMPañAMIENTO	Am	A, FA, Contanfus

Tabla 4.3 Tipos de cartuchos fusibles.

Si llamamos **If** a la intensidad a la cual ha de fundir un fusible, los tres tipos antes mencionados, se diferencian en la intensidad que ha de atravesarlos para que fundan en un segundo.

Los **fusibles lentos** funden en **un segundo** para **$I = 5 I_f$**

Los **fusibles rápidos** funden en **un segundo** para **$I = 2,5 I_f$**

Los **de acompañamiento** funden en **un segundo** para **$I = 8 I_f$**

- **Los fusibles de acompañamiento** (aM) se fabrican especialmente para la **protección de motores**, debido a que aguanten sin fundirse las puntas de intensidad que estos absorben en el arranque. Su nombre proviene que han de ir acompañados de otros elementos de protección, como son generalmente los relés térmicos.

Cada cartucho fusible tiene en realidad unas curvas de fusión, que pueden diferir algo de las definiciones anteriores, dadas por los

fabricantes. En la figura, vemos algunos tipos de cartuchos fusibles, así como unas curvas de fusión orientativas, de los tres tipos existentes.

- Los **fusibles lentos (gT)** son los menos utilizados, empleándose para la protección de redes aéreas de distribución generalmente, debido a los cortocircuitos momentáneos que los árboles o el viento pueden hacer entre los conductores.
- Los **fusibles rápidos (gF)** se emplean para la protección de redes de distribución con cables aislados y para los circuitos de alumbrado generalmente.
- Los **fusibles de acompañamiento (aM)**, como ya hemos dicho, son un tipo especial de cortacircuitos, diseñado para la protección de motores eléctricos.

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

4.3.2.2 Selección de fusible.

Cartucho fusible, tipo GF (10x 38 mm) ya que su utilización es para el tipo de alumbrado, y su actuación debe ser inmediata para que evitar averías en los elementos electrónicos, su intensidad de ruptura es de acuerdo a la normalización local y la intensidad máxima que debe soportar el controlador es de 25 A.

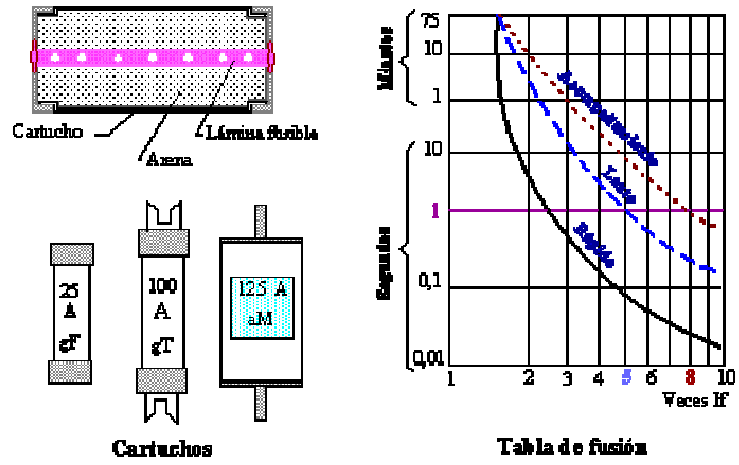


Fig. 4.5 Tipos de fusibles.

CAPITULO V

INSTALACIÓN DE LA PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA

5.1 Implementación

El esquema básico de los aprovechamientos hidroeléctricos comprende una bocatoma sencilla, desarenador rectangular, cámara de carga, tubería de presión, casa de máquinas, y equipo turbo-generador. Adicionalmente podrá ser necesario instalar una red de baja o media tensión para interconexión eléctrica con el centro de consumo.

5.2 Bocatoma.

Las aguas se derivan de la vertiente a través de una bocatoma sencilla, como se trata de una central muy pequeña, según recomendación y buen criterio del los moradores del sector se utilizó piedra, barro y pedazos de quicuyo como las que se construyen comúnmente para el riego.

La bocatoma se encuentra aproximadamente a 600 metros del tanque de presión.



Fig. 5.1 *Instalación de la Bocatoma*

5.3 Canal de conducción.

Sirve para la conducción del agua desde la bocatoma al desarenador , el canal del proyecto en todo su trayecto es de tierra, a excepción de un pequeño tramo en el cual se colocó tubo en PVC debido a que en esta zona existió un pequeño deslave que provoco que el agua se desvíe de su cause original.

5.4 Desarenador y tanque de presión.

El desarenador es una estructura hidráulica que tiene como función remover las partículas de cierto tamaño que la captación de una fuente superficial permite pasar. Es decir evitan que las piedras o arenilla que trae el agua, ingrese a la tubería de presión y a la turbina.

El desarenador del proyecto es de flujo horizontal, el más utilizado en el medio, es de forma rectangular y alargado.



Fig. 5.2 *Excavación de desarenador tipo horizontal*

5.5 Tanque de presión.

La cámara de carga (o cámara de presión) del proyecto, proporciona suficiente profundidad para garantizar que la boca de la tubería forzada esté siempre cubierta de agua. Se requiere de la cámara de carga por cuanto se utiliza un canal y por que además recoge agua de otra vertiente.

Sin embargo, se recomienda que cualquier diseño incluya provisiones para el rebose de agua y para la limpieza de sedimentos del fondo del tanque.

La profundidad del agua en la cámara de carga del proyecto es suficiente como para cubrir la boca de la tubería forzada hasta en cuatro veces su diámetro, para evitar que se introduzca aire a la tubería forzada.

Sistemas hidráulicos más grandes a menudo tienen lagunas de sedimentación para eliminar los sedimentos. Eso no es necesario en este sistema pico hidro, ya que se incluye una compuerta de limpieza en el diseño de la cámara de carga para facilitar la limpieza del lodo del fondo del tanque.

En caso de llenarse la cámara de carga, es importante que el agua pueda derramarse sin causar daños. El rebose existente en el proyecto lo constituyen dos tubos de hierro de 6 de pulgadas de diámetro ubicados en la pared más baja de la cámara de carga.

La construcción de la pequeña cámara de carga se la efectuó en el terreno que esta conformado de piedras y arcilla y que no resulta ser cara. Es más fácil anclar la boca de la tubería forzada cuando se utilicen piedras en la construcción de las paredes.

La capacidad aproximada del tanque es de 30 metros cúbicos se estima así debido a la irregularidad del contorno del tanque.



Fig. 5.3 Tanque de presión

5.6 Tubería de presión.

La tubería de presión constituye en muchas veces, el rubro más caro del presupuesto total del proyecto hidroeléctrico.

Esta tubería conduce directamente desde la cámara de presión hasta la turbina, en el extremo donde la turbina, se instala una válvula para abrir y cerrar el pase de agua. Aguas abajo de la válvula hay una tobera que concentra el agua en un chorro a alta presión.

La tubería seleccionada de acuerdo a los cálculos realizados en el capítulo III sección 3.3.3 tiene las siguientes características

Se determinó que el material de la tubería más adecuado para el proyecto es de tubería en hierro estirado sin soldadura de los que se utilizan en la transportación de petróleo. Cuyo diámetro interior es de 4 pulgadas, la longitud total de la tubería de presión del proyecto es de 26 m.

La tubería se encuentra unida mediante acoples espiga campana que fueron adaptadas en el taller mecánico y que se encuentran debidamente anclados.

La válvula de regulación de caudal seleccionada es una válvula tipo compuerta, que consiste básicamente de un disco metálico que sube y baja a voluntad.



Fig. 5.4 Colocación de acoples espiga tipo campana en la tubería de presión.

5.7 La casa de máquinas.

Una casa de máquinas bien diseñada protegerá a la turbina, el generador y demás equipos sobre su vida útil que deberá ser un mínimo de 15 años. El tipo de construcción de la casa de máquinas variará de acuerdo a la disponibilidad de materiales locales, las preferencias locales, y el clima.

Por otro lado, una casa de máquinas demasiado elaborada resultaría en gastos innecesarios.

5.7.1 Cimientos.

Una zanja para la cimentación del edificio deberá excavarse hasta alcanzar roca sólida o hasta la profundidad de un metro. La cimentación (cadena) tendrá un ancho que será el doble del espesor de las paredes a construir.

Áreas suaves que se encuentran en el fondo de la zanja deberán ser cobadas y rellenados con piedra o con concreto. Se deberá emparejar y nivelar el fondo de la zanja hasta donde sea posible. No se utiliza la tierra sacada de la zanja para el propósito de rellenos.

Se procede a hacer la cimentación sobre la cual se construirán las paredes. La cimentación tendrá un ancho que sea el doble del de las paredes a construir, y tendrá forma de una grada a como se ve en la Figura 12-2. Materiales apropiados para la cimentación son el concreto, ladrillos, o piedra, dependiendo del material que se va a utilizar para la construcción de las paredes.

5.7.2 Piso.

Se hace el piso por encima del nivel del terreno para evitar inundaciones del piso durante lluvias fuertes.

Se embaldosa con concreto para asegurar cimientos seguros para la turbina y el generador.

Se le da una leve pendiente hacia abajo hacia el canal de desfogue para drenar aguas que pueden fugar de la turbina o las tuberías.

Se hace el piso con dimensiones adecuadas para permitir cómodo acceso alrededor de la turbina, el generador, y el controlador, y los equipos de transmisión mecánica tales como molinos, etc., previstos de instalar

5.7.3 Paredes.

Deberán ser de un mínimo de 2m de alto, y construidas para permitir instalar un techo inclinado.

Las paredes tendrán un espesor adecuado para garantizar buena protección de las tormentas.

En la construcción de las paredes se prevén los montajes de la caja del controlador, equipo de lastre, caja de los capacitores etc. Se pueden instalar paneles de madera o estantes.

5.7.4 Canal de Desfogue.

El canal de desfogue se reviste de concreto hasta una profundidad de 100mm adentro de la casa de máquinas

El revestimiento de concreto debe de extender un mínimo de un metro afuera de la casa de máquinas y ser impermeable para proteger los cimientos de la casa de máquinas.

5.8 Cimentación de la turbina.

Se denomina cimentación a la parte de la estructura cuya misión es transmitir las cargas de la máquina al suelo. Debido a que la resistencia del suelo es, generalmente, menor que los elementos que soportará, el área de contacto entre el suelo y la cimentación será proporcionalmente más grande que los elementos soportados.

La cimentación de la turbina al piso se la hizo mediante la ayuda de varilla de construcción que fue soldada a la base de la turbina y anclada al piso con pernos de 3/4 por 2 pulgadas.



Fig. 5.5 *Cimentación de la turbina Michell Banki al piso.*

5.9 Sistema de acoplamiento.

Los acoplamientos o acoples flexibles son elementos mecánicos que sirven para hacer conexiones semipermanentes entre dos ejes o árboles.

Para nuestro caso se han seleccionado los acoplamientos flexibles que se han ideado para unir árboles de transmisión que están desalineados, bien por desplazamiento transversal o por algún defecto de construcción, el beneficio secundario que nos proporciona es la absorción de choques debidos a la fluctuación del momento de par que actúa sobre el árbol o de la velocidad angular de este.

El acoplamiento flexible rápido seleccionado rápido consta de dos placas de hierro unido por medio de eslabones de caucho firmemente sujetos por pernos, recomendado para cargas ligeras y para ejes de hasta 90 mm de diámetro.

Este acoplamiento consiste en dos platos de hierro, el miembro conductor transmite el movimiento al conducido por medios de tiras o eslabones de caucho cortados de la medida adecuada

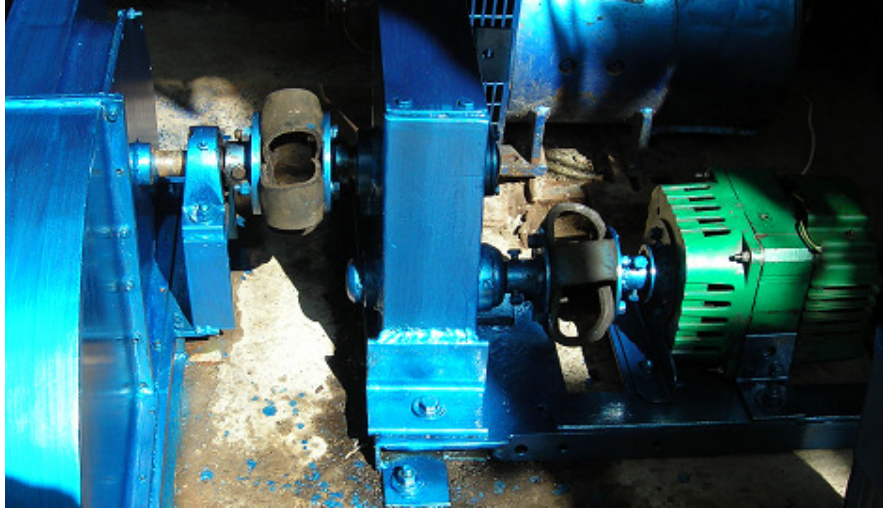


Fig. 5.6 *Acoples flexible con correas de caucho.*

CAPITULO VI

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.

6.1 Análisis técnico económico comparativo de la turbina.

En el mercado la realización de un proyecto de hidrogenación resulta alrededor de diez mil dólares a doce mil dólares para nuestra potencia propuesta esto debido a que las compañías tienen que beneficiarse de ciertas ganancias, ahora nuestro proyecto la reducción del costo es notable debido a que nuestros materiales propuestos son de buena calidad encontrados en cierta proporción en el reciclaje.

6.2 Análisis técnico económico comparativo de la parte de generación.

Los generadores síncronos en nuestro medio para 5 Kw. no son muy comunes por lo que son en casos necesarios la traída de afuera del país y eso eleva el costo del proyecto, para resolver este problema se vio necesario el conseguir el generador síncrono a bajo costo por lo que se pudo extraer solo

el generador de un equipo de generación de combustión interna relativamente usado que cumple con las mismas exigencias que se impuso en el proyecto.

6.3 Justificación de la inversión económica del proyecto.

Económicamente un proyecto es una fuente de costos y beneficios que ocurren en diferentes períodos de tiempo. El reto de alguien que toma decisiones en torno a la pertinencia de ejecutar o no determinado proyecto es identificar los costos y beneficios atribuidos al mismo, y medirlos (valorarlos) con el objetivo de señalar si es conveniente o no su ejecución. A este enfoque se le denomina evaluación económica de proyectos, para el presente proyecto determinaremos el flujo real de dinero, enfatizado en el sentido empresarial de la misma, de esta forma, es posible prever si se recuperará o no las inversiones realizadas y se pueden pagar los costos de operación y mantenimiento, con el fin de garantizar la continuidad de funcionamiento de la pico central hidráulica.

Como se mencionó anteriormente se realizaran el método Beneficio vs. Costo, para lo cual se requiere cuantificarles con mayor cuidado, en el presente proyecto no se considera los préstamos por que el mismo fue financiado por inversión propia.

COSTOS DE INVERSIÓN**ACTIVO FIJO.****OBRAS CIVILES.**

Costo final.

216,27 \$ dólares americanos.

MÁQUINARIA Y EQUIPO ELECTROMECAÁNICO.

Costo final.

2363,7 \$ dólares americanos.

Montaje e instalación de maquinaria.

Costo final.

200 \$ dólares americanos.

ACTIVO INTANGIBLE.

Intereses durante la construcción

0 \$ dólares americanos.

2779,97 \$ dólares americanos.

invertidos en el año 1**TOTAL:****COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.****COSTO DE OPERACIÓN**

Costo final.

0 \$ dólares americanos.

Costo de Mantenimiento

Costo final

14,97 \$ dólares americanos.

TOTAL:**14,97\$ dólares americanos.**

6.3.1 Beneficios.

Son los ingresos por **venta de energía y el valor residual**.

El consumo del Kw.-h en el sector según la evaluación determinada en el capítulo IV. nos da que para nuestro proyecto y en el lugar de distribución es de:

4,2	Kw.-h	para el año 2 hasta el año 5
4,5	Kw.-h	para el año 5 hasta el año 10
5	Kw.-h	para el año 11 hasta el año 15

Costo de Energía para el sector residencial según el Cenase es de 0,0914 dólares americanos el Kw.-h

Para el año 2009 los impuestos a la venta de energía son:

Comercialización		1,41	\$dólares americanos.
IVA de 12% de acuerdo al consumo mensual		1,38	año 2 hasta 5
		1,48	año 6 hasta 10
		1,64	año 11 hasta 15

Subsidio ecuatoriano para nuestro caso es un costo adicional ya que nuestro pico central no obtiene este beneficio.

0,35

\$dólares americanos.

Alumbrado público 1,75 \$dólares americanos.

Total de impuestos mensuales 4,89 \$ para el año 2 hasta el 5

Total impuestos anuales =total de impuestos mensual x 12

Total impuestos anuales =4,89x12

Total impuestos anuales =58,68

AÑOS	VENTA ANUAL DE ENERGÍA (Consumo mensual x 12)	
Dos -hasta -cinco	1512	Kw.-h
Seis-hasta-diez	1620	Kw.-h
Once-hasta-quince	1800	Kw.-h

Consumo mensual= consumo diario x 30
 Consumo mensual= 4,2*30 = 126 Kw.-h
 Consumo mensual= 4,5*30= 135 Kw.-h
 Consumo mensual= 5*30= 150 Kw.-h

Consumo anual= Consumo mensual x 12
 Consumo anual= 126*12= **1512 Kw.-h**
 Consumo anual= 135*12= **1620 Kw.-h**
 Consumo anual= 150*12= **1800 Kw.-h**

AÑOS	INGRESOS POR VENTA DE ENERGÍA A \$ 0,0914 DÓLARES		
	Kw.-h	Impuestos	Ingreso por venta \$
Dos -hasta -cinco	1512 Kw.-h	58,68	196,8768
Seis-hasta-diez	1620 Kw.-h	59,88	207,948
Once-hasta-quince	1800 Kw.-h	61,8	226,32

6.3.2 Valor residual.

Es el valor de los bienes, en el último año de la vida útil del proyecto.

Para calcular este valor se debe tener en cuenta la depreciación o pérdida de valor del bien la cual se determina teniendo en cuenta el criterio de tiempo de vida útil, como por ejemplo para nuestro caso se tiene:

Obra civil:	50 años
Maquinaria y equipo electromecánico:	30 años

Pero nosotros hemos determinado que nuestro proyecto al usar diferentes tipos de materiales que no son los convencionales por ser de elevados costos, pero que cumplen con nuestras exigencias se ha llegado a la conclusión de que su vida útil es:

Obra civil:	20 años
Maquinaria y equipo electromecánico:	20 años

Así que el valor residual se puede calcular con la siguiente expresión:

$$VR_n = V_i - V_i \left(\frac{n}{N} \right) \quad (74)$$

Donde :

VR _n =	Valor residual en el año n ,(en \$)
V _i =	Valor inicial del bien ,en año de su instalación ,(en \$)
N =	Vida útil del bien ,(en años)
n =	Año en que se calcula el valor residual ,(en años)

Para nuestro proyecto:

6.3.2.1 Valor residual de obra civil:

Valor inicial:	Vi =	216,27	\$ dólares americanos.
Vida útil	N =	20	años
Tiempo de uso de proyecto	n =	15	años

$$V_{r15c} = 216,27 (1-(15/20))$$
$$V_{r15c} = 54,0675 \text{ \$ dólares americanos.}$$

6.3.2.2 Valor residual de la maquinaria, equipo electromecánico y otros.

Valor inicial:	Vi =	2363,7	\$ dólares americanos.
Vida útil	N =	20	años
Tiempo de uso de proyecto	n =	15	años

$$V_{r15e} = 2363,7 (1-(15/20))$$
$$V_{r15e} = 590,925 \text{ \$ dólares americanos.}$$

6.3.2.3 Otros valores residuales (instalación y montaje)

En este caso solo se considera la recuperación del capital de trabajo, que asciende a 14 meses

Valor inicial:	Vi =	200	\$ dólares americanos.
Vida útil	N =	24	meses
Tiempo de recuperación	n =	14	meses

$$V_{r15o} = 200 (1-(14/24))$$
$$V_{r15o} = 83,3333333 \text{ \$ dólares americanos.}$$

6.3.2.4 Valor residual total.

El valor residual total se obtiene sumando todos los valores residuales anteriormente hallados.

$$Vrt15 = Vr15c + Vr15e + Vr15o \quad (75)$$

$$\begin{array}{l} Vrt15= \quad 54,0675+590,925+83,33 \\ Vrt15= \quad 728,325833 \quad \text{\$ dólares americanos.} \end{array}$$

6.3.3 Flujo de caja interno.

Este cuadro se elabora considerando los siguientes rubros:

Ingresos:

- Venta de energía.
- Valor residual

Egresos.

- Inversiones.
- Costos de operación y mantenimiento.

Año	Flujo de caja interno.						
	S dólares americanos.						
	Beneficios.			Costos			Flujo de caja
Valor Energía	Valor residual	Ben. Total.	Inversiones	Operac. Y Mant.	Costo total.		
1	-----		-----	2779,97		2779,97	-2779,97
2	196,876		196,876		14,97	14,97	181,906
3	196,876		196,876		14,97	14,97	181,906
4	196,876		196,876		14,97	14,97	181,906
5	196,876		196,876		14,97	14,97	181,906
6	207,948		207,948		14,97	14,97	192,978
7	207,948		207,948		14,97	14,97	192,978
8	207,948		207,948		14,97	14,97	192,978
9	207,948		207,948		14,97	14,97	192,978
10	207,948		207,948		14,97	14,97	192,978
11	226,32		226,32		14,97	14,97	211,35
12	226,32		226,32		14,97	14,97	211,35
13	226,32		226,32		14,97	14,97	211,35
14	226,32		226,32		14,97	14,97	211,35
15	226,32	728,3258	954,6458		14,97	14,97	939,6758

6.3.4 Calculo Del Valor Actual Neto. (VAN)

Se realiza el procedimiento de actualizar el flujo de caja interno a las diversas tasas de descuento la tasa de descuento para nuestro proyecto en la Maquinaria es 10% y para Obra Civil 5%, y concluimos con la tasa del 1% para el gráfico de la TIR .

Los factores del Valor actual a 1 dólar se encuentran en las tablas (ANEXO VII), provenientes de la siguiente ecuación.

$$P = F \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right) \quad (76)$$

Es el valor actual de monto de dinero futuro; es decir, es el monto que debemos colocar hoy, a una tasa de interés i , durante n años para obtener después de esos años el monto F .

Año	Flujo de Caja	VAN					
		TASA 10%		TASA 5%		TASA 1%	
		Factor del valor actual	VANE 10%	Factor del Valor actual	VANE 5%	Factor del valor actual	VANE 1%
1	-2779,97	0,9091	-2527,27073	0,9524	-2647,64343	0,9901	-2752,4483
2	181,906	0,8265	150,345309	0,907	164,988742	0,9803	178,322452
3	181,906	0,7513	136,665978	0,8638	157,130403	0,9706	176,557964
4	181,906	0,683	124,241798	0,8227	149,654066	0,961	174,811666
5	181,906	0,6209	112,945435	0,7835	142,523351	0,9515	173,083559
6	192,978	0,5646	108,955379	0,7462	144,000184	0,9421	181,804574
7	192,978	0,5132	99,0363096	0,7267	140,237113	0,9327	179,990581
8	192,978	0,4665	90,024237	0,6768	130,60751	0,9235	178,215183
9	192,978	0,4241	81,8419698	0,6446	124,393619	0,9143	176,439785
10	192,978	0,3856	74,4123168	0,6139	118,469194	0,9053	174,702983
11	211,35	0,3505	74,078175	0,5847	123,576345	0,8963	189,433005
12	211,35	0,3186	67,33611	0,5568	117,67968	0,8875	187,573125
13	211,35	0,2897	61,228095	0,5303	112,078905	0,8787	185,713245
14	211,35	0,2633	55,648455	0,5051	106,752885	0,87	183,8745
15	939,675	0,2394	224,958195	0,481	451,983675	0,8614	809,436045
		VANE	1461,71776		2184,07567		3149,95867
			-1065,55296		-463,567756		397,51037

6.3.5 Tasa interna de retorno (TIR)

La TIR es la tasa de descuento que se hace al VAN igual a cero, se determina mediante la ayuda de un gráfico donde se representan los VANE para las tasas de descuento 10% y 1% ,entonces la TIR se determina uniendo estos puntos ,justamente en el lugar en el que la recta corta al eje de las tasas de descuento el VANE es cero ,una recta nos da un valor aproximado ,si deseamos mayor precisión tendremos que tomar un mayor número de puntos a diferentes valores del VANE cercanos a cero y luego trazar la recta de interpolación.

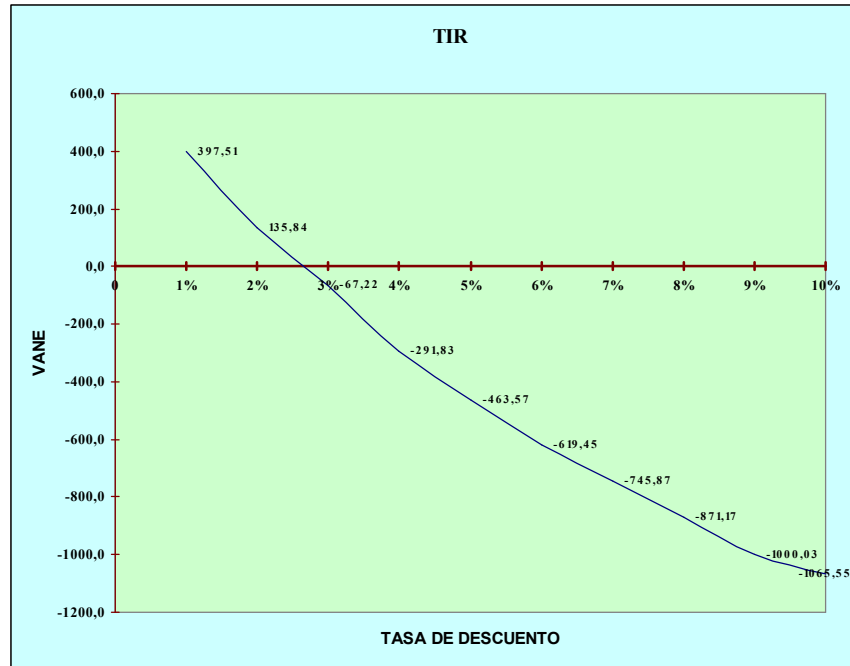


Fig. 6.1 Gráfica del VAN

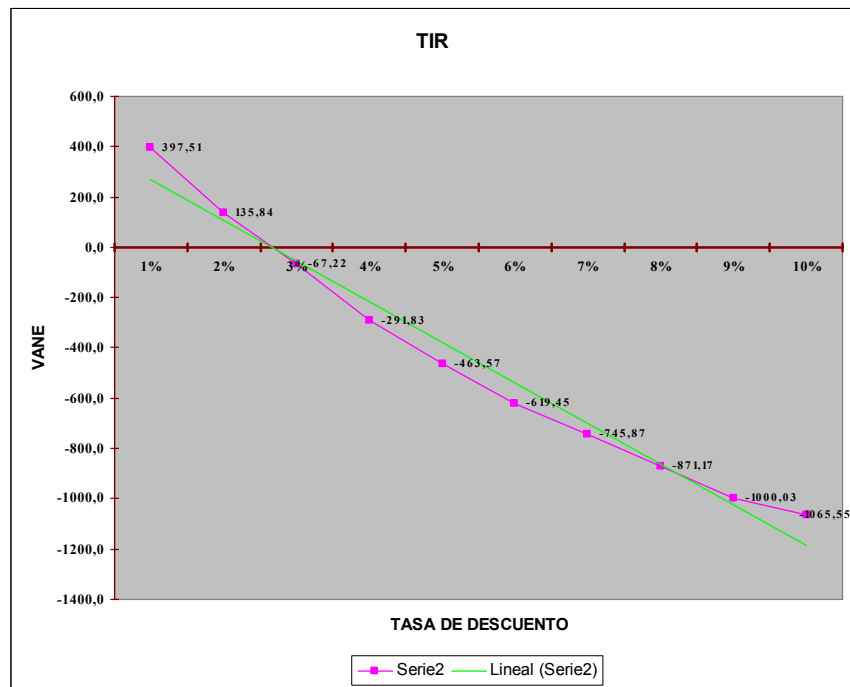


Fig. 6.2 Gráfica del TIR

Cuando se hace la determinación de la TIR con FNE constantes, de hecho se considera una tasa de inflación de cero y si se trata de un proyecto de inversión social ya que se pretende lucrar del proyecto, por lo que la TIR así solo equivale al premio al riesgo ganado, los resultados indican lo siguiente: tomando en cuenta el criterio de aceptación que se emplea en la evaluación el método de la TIR, el proyecto debe aceptarse si TIR es mayor o igual que la TMAR.

Si $TIR \geq TMAR$, acepta la inversión

Con FNE constantes, $TMAR = \text{inflación} + \text{premio al riesgo}$. Como la inflación es cero la $TMAR = 0 + \text{premio al riesgo}$

EL premio al riesgo depende de la empresa en la que se evalúe, en el caso de proyectos gubernamentales y de proyectos de inversión social van desde 0 a 3%.

Tomando como el porcentaje máximo de premio al riesgo para nuestro proyecto diríamos que nuestro $TMAR = 0 + 3\%$ $TMAR = 3\%$

Entonces:

$$TIR = 3,44\% \geq TMAR = 3\%$$

6.3.6 Conclusión.

Con este criterio diríamos que nuestro proyecto no tiene una gran rentabilidad como para lucrar del mismo, pero podremos decir que nuestro dinero invertido será reembolsado y recuperado teóricamente, y eso es suficiente para nuestros fines del proyecto ya que fue realizado para beneficio social.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- La realización de cursos internacionales ha permitido que la tecnología se replique más fácilmente en otras zonas del país. Los avances técnicos más importantes y ello ha despertado el interés de diversos actores en seguir desarrollando investigación para poder hacer más eficiente el sistema y reducir los costos.

- Las publicaciones también han permitido difundir los conocimientos y llevar la discusión respecto a la cobertura energética en zonas rurales a ámbitos académicos, desde los que se puede promover es escalamiento.

- Las limitaciones técnicas y económicas existentes en las zonas rurales, son generalmente un determinante para la elección de la localización de una Pico central hidráulica. Por lo general, el bajo nivel educativo limita

el aprendizaje en materia de operación y mantenimiento del sistema. Por ello, es elemental realizar todo un proceso de capacitación integral con las personas que se encargarán de dichas labores.

- La formación de una politécnica local, ESPEL, responsable de la gestión de la PCH, permite reducir costos y le da credibilidad al sistema de gestión de la PCH. Además el grado de desarrollo del tejido social en el momento en que se instaló la PCH facilita la aparición de la ESPEL. Los niveles de asociatividad, el establecimiento y funcionamiento sostenible de la misma fortalece el capital social, tan necesario para el desarrollo económico y social de las comunidades. Sentar estas bases contribuirá al desarrollo del sistema.

- Se puede aprender muchas lecciones del proyecto, y se ha establecido que en términos comerciales, se puede hacer mejoras en la segmentación del mercado y el diseño de productos más afines con las necesidades de cada una de las zonas rurales donde se trabaja. Aspectos como: monto, modalidad, plazo, moneda, perfil de riesgo del cliente, estructura de costos del prestamista, calidad de garantías y muchos otros criterios técnicos, como tamaño de la central, tecnología, grado de avance del proyecto, demandante de energía u ofertante de energía, han sido identificados como factores claves a ir adecuando, de acuerdo a las particularidades locales, con la visión de propiciar un desarrollo verdaderamente sostenible.

7.2 Recomendaciones

- Se debería evaluar el impacto real en la mejora de calidad de vida, que ha tenido el acceso a la energía eléctrica en las poblaciones rurales. Con ello, se podría identificar qué capacidades sociales se han puesto en riesgo con el ingreso de esta innovación, cuáles son los usos más frecuentes de la energía, si ha contribuido o no a mejorar los niveles educativos, si el acceso a la información es suficiente o ha planteado nuevas necesidades, si genera cohesión social o divergencia, etc. Conociendo este marco, se podría plantear estrategias para reducir los impactos negativos, y dirigir las dinámicas sociales hacia una optimización de la oportunidad.

- Es necesario también actuar en el empoderamiento de los beneficiarios capacitándolos en torno a los siguientes temas:
 - Cultura del ahorro de energía.
 - Cultura ciudadana y desarrollo de mecanismos de fiscalización en el marco de trabajo de los Medios de Vida Sostenibles.

- Los manuales y guías para hacer las reparaciones en los equipos en caso de avería podrían estar en el idioma nativo local y con mucha ayuda gráfica, para facilitar el aprendizaje de los encargados del manejo de la central, o de quienes los sucederán en el futuro haciendo dichas labores.

- Alto costo inicial: la inversión requerida está muy concentrada en el desarrollo inicial del proyecto, como por ejemplo, construcción de la obra civil, y la realización del equipo electromecánico.

- Disponibilidad local: la tecnología depende de las condiciones topográficas e hidrológicas, entonces no está disponible en cualquier sitio. Las posibilidades de transmisión de la energía a largas distancias son limitadas por los costos de éste.

- Potencia máxima: esta es limitada y definida por el recurso natural en un sitio. Limita las posibilidades de expansión a largo plazo para atender al crecimiento de la demanda.

- Variabilidad del caudal: los caudales de agua pueden variar considerablemente durante las diferentes temporadas, lo que tiene impacto en la generación de energía.

BIBLIOGRAFÍA

- **C. Mataix. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.** ed castillo, Madrid, 1970, 465-471.
- **Mecánica de fluidos de Mott,** cuarta edición México – editorial Prentice Hall, 1996
- **Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos centrales hidroeléctricos.** Volumen 1. OLADE
- **Manual de Mini y Micro centrales hidráulicas.** pdf ITDG-LA
- **Geometría Analítica, Joseph H. Kindle,** Serie Schaum. La circunferencia (Pág. 35)
- **Cálculo diferencial e integral, William Anthony Granville**
- **Máquinas Prontuario Técnicas, Máquinas, herramientas.** N Larburu Arrizabalaga, Madrid 1991

PÁGINAS ELECTRÓNICAS.

- www.altertec.s.a.com
- **UNIDAD 6: Facultad de Ingeniería – Laboratorio de Máquinas Hidráulicas. Curso: “PEQUEÑAS CENTRALES HIDRÁULICAS”. Pdf**
- http://www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema1.PDF
- <http://www.savoiapower.com/hydrotabla.html>
- www.skf.com/skf/productcatalogue
- **Comité Ejecutivo de Desarrollo e Innovación Tecnológica.htm**
- **Ccredit (Página electrónica)**
- **Manual de mini y micro centrales hidráulicas. Pdf**
- **Pico Hidro Potencia para Aldeas Un manual práctico para instalaciones de hasta 5 Kw en terrenos de pendientes fuertes. Pdf**
- http://www.iesmarenostrum.com/Departamentos/Tecnologia/mecanismo/mecanica_basica/mecanismos/mec_eng_multiplicador.ht

- <http://www.lenntech.com/espanol/FAO-energia-agua.htm>
- **PICO HIDRO Potencia para Aldeas** Un Manual Práctico para Instalaciones de hasta 5 Kw. **Phillip Maher** y **Nigel Smith**. Pdf
- http://www.dahujori.com/energias/manual/microturbina_hidraulicas/centrales.pdf (CENTRALES)
- http://fing.uncu.edu.ar/catedras/archivos/electrotecnia/apuntes/máquinas_sincronas/maq_sincronas1.pdf (GENERADORES)
- [http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m200018/doc1.pdf\(central es1\)](http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m200018/doc1.pdf(central es1))
- http://www.ute.com.uy/servicios_cliente/docs/C%20I-F.pdf
(PROTECCIONES ELÉCTRICAS)
- http://www.alipso.com/monografias/2547_proteccion/
(PROTECCIÓN DE MOTORES)
- <http://www.geocities.com/SiliconValley/Program/7735/TECNOL16.html> (PROTECCIONES DE FUSIBLES)
- http://www.conatel.com.uy/archivos_notas/043_Cap%20XIX_Motor es%20generadores%20y%20convertidores.pdf (REGLAMENTO DE PROTECCIÓN DE MOTORES Y GENERADORES)
- <http://guia.mercadolibre.com.ar/criterios-construccion-transformadores-monofasicos-14836-VGP> (CONSTRUCCIÓN DE TRANSFORMADORES)
- http://taita.com.ar/esp/tmat_66_500/tmat_vau.htm
(CONSTRUCCION DE LA CARCASA)
- <http://sas.editorialcep.com/muestra/electricistas.pdf>
(PROTECCIONES DE CASAS)
- http://operandina.net/c_op1300.htm (CONSTRUCCION DE CARCASAS)
- <http://turnkey.taiwantrade.com.tw/showpage.asp?subid=150&fdname=CHEMICAL+PRODUCTS&pagename=Planta+de+produccion+de+aceites+para+transformadores> (ACEITE DE TRANSFORMADORES)

ANEXOS

ANEXO I

Tabla de propiedades de los materiales ferrosos: Extractada de Referencia[2]

Material	Densidad kg/m ³	Módulo de elasticidad [Gpa]	Resistencia a fluencia [Mpa]	Resistencia a la rotura [Mpa]	Ductilidad % alarg. en 2 pulgadas	coeficiente de Poisson	Conduct. Térmica [W/m-°C]	Coef. de dilatación (°C) ⁻¹ 10 ⁻⁶
Fundición	7870	207	130	260	45	0.29	80	11.8
fundición gris	7150	variable	---	125	--	variable	46	10.8
fundición nodular	7120	165	275	415	18	0.28	33	11.8
fundición maleable	7200	172	220	345	10	0.26	51	11.9
Acero AISI 1020	7860	207	295	395	37	0.30	52	11.7
Acero AISI 1040	7850	207	350	520	30	0.30	52	11.3
Acero AISI 1080	7840	207	380	615	25	0.30	48	11.0
Acero AISI 446	7500	200	345	552	20	0.30	21	10.4
Acero AISI 316	800	193	207	552	60	0.30	16	16.0
Acero AISI 410	7800	200	275	483	30	0.30	25	9.9

Tabla de propiedades de los materiales No ferrosos: Extractada de Referencia[2]

Material	Densidad kg/m ³	Módulo de elasticidad [Gpa]	Resistencia a fluencia [Mpa]	Resistencia a la rotura [Mpa]	Ductilidad % alarg. en 2 pulgadas	coeficiente de Poisson	Conduct. Térmica [W/m-°C]	Coef. de dilatación (°C) ⁻¹ 10 ⁻⁶
Aluminio puro	2710	69	17	55	25	0.33	231	23.6
Aluminio (aleación)	2800	72	97	186	18	0.33	192	22.5
Cobre puro	8940	110	69	220	45	0.35	398	16.5
Latón (70Cu-30Zn)	8530	110	75	303	68	0.35	120	20.0
Bronce (90Cu-8Sn)	8800	110	152	380	70	0.35	62	18.2
Magnesio puro	1740	45	41	165	14	0.29	122	27.0
Molibdeno puro	10220	324	565	655	35	--	142	4.9
Níquel	8900	207	138	483	40	0.31	80	13.3
Plata	10490	76	55	125	48	0.37	418	19.0
Titanio	4510	107	240	330	30	0.34	17	9.0

ANEXO II

Guía de valores requeridos de vida nominal L10h para diferentes clases de máquinas	
Clases de máquinas	L10h horas de servicio
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, aparatos para uso médico.	300 a 3 000
Máquinas usadas intermitente o por cortos períodos : Máquinas-herramienta portátiles, aparatos elevadores para talleres, máquinas para la construcción.	3 000 a 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos períodos o intermitentemente: Ascensores, grúas para mercancías embaladas.	8 000 a 1 2000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario no totalmente utilizadas: Transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos para uso industrial, machacadoras giratorias.	10 000 a 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas: Máquinas-herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria mecánica general, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipo de imprenta, separadores y centrífugas.	20 000 a 30 000
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día: Cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil.	40 000 a 50 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria de propulsión para trasatlánticos.	60 000 a 100 000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, ventiladores y bombas para minas, rodamientos para la línea de eje de trasatlánticos.	≈ 100 000

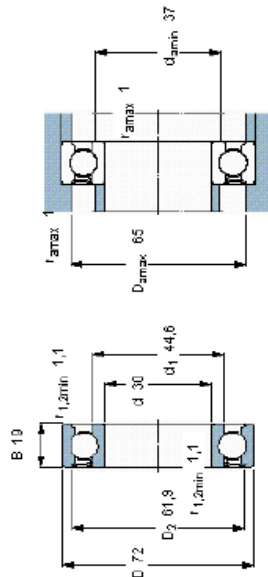
Fuente: Catálogo General SKF

ANEXO III

SKF

Deep groove ball bearings, single row, seal on one side

Principal dimensions		Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings	Mass	Designation
d	D	B	C	C_0	Reference speed	Limiting speed	
mm	mm	mm	kN	kN	r/min	r/min	
30	72	19	29,6	16	20000	13000	6308-RZ *
			0,67	0,67			kg
							0,35
							* - SKF Explorer bearing



ANEXO IV

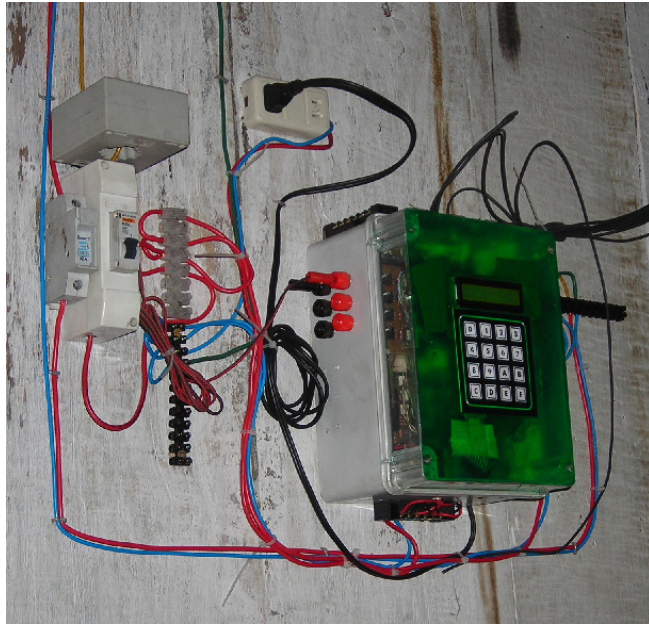
Engranajes cilíndricos	DENOMINACIONES Y RELACIONES EN EL DENTADO DEL SISTEMA DE MÓDULO	TABLA 18 . 9
Especificación		
<p>C Distancia entre centros c_p Circunferencia primitiva d Diámetro primitivo d_e Diámetro exterior d_b Diámetro base d_f Diámetro de fondo O Punto principal l_a Línea de acción α Angulo de presión p Paso circular p_b Paso base Subíndice 1, piñón; subíndice 2, rueda</p>	<p>m Módulo a Addendum (cabeza del diente) b Dedendum (pie del diente) c Espacio libre h Profundidad del diente e Espesor circular del diente e_c Espesor cordal del diente h_f Profundidad de trabajo e_b Espesor-base j Juego entre dientes B Longitud del diente z Número de dientes</p>	
Distancia entre centros	$C = \frac{d_1 + d_2}{2} = m \cdot \left(\frac{z_1 + z_2}{2} \right)$	
Diámetro primitivo	$d = m \cdot z$ ($d_1 = m \cdot z_1$; $d_2 = m \cdot z_2$)	
Módulo	$m = \frac{d}{z}$ ($m = \frac{d_1}{z_1} = \frac{d_2}{z_2}$)	
Addendum (cabeza del diente)	$a = 1 \cdot m$ ($a = 0,75 \cdot m$, en diente corto)	
Dedendum (pie del diente)	$b = 1,25 \cdot m$ ($b = 1 \cdot m$, en diente corto)	
Espacio libre del fondo	$c = 0,25 \cdot m$ ($c = 0,25 \cdot m$, en diente corto)	
Profundidad del diente	$h = 2,25 \cdot m$ ($h = 1,75 \cdot m$, en diente corto)	
Paso circular del diente	$p = \pi \cdot m = \frac{\pi \cdot d}{z}$	
Espesor del diente	$e = \frac{\pi \cdot m}{2} = \frac{p}{2}$	
Número de dientes	$z = \frac{d}{m}$ ($z_1 = \frac{d_1}{m}$; $z_2 = \frac{d_2}{m}$)	
Diámetro exterior	$d_e = m \cdot (z + 2) = d + 2 \cdot m$	
Diámetro base	$d_b = d \cos \alpha = m \cdot z \cdot \cos \alpha$	
Paso base	$p_b = \frac{\pi \cdot d_b}{z} = p \cdot \cos \alpha = \pi \cdot m \cdot \cos \alpha$	
Diámetro del fondo	$d_f = m \cdot (z - 2,5) = d - 2,5 \cdot m$	
Longitud del diente	$B = 8 \text{ a } 10 \cdot m$. Según cálculo del diente, B puede llegar a 15 · m, y más	

Fuente. Máquinas Prontuario N Larburu

ANEXO V



ANEXO VI



Circuito de control electrónico



Banco de resistencias calefactores

ANEXO VII

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

n	Hallar "P" dado "F" (P/R, i, n)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30
1	0.9901	0.9804	0.9615	0.9426	0.9254	0.9434	0.9346	0.9259	0.9174	0.9091	0.8929	0.8696	0.8333	0.8000	0.7692
2	0.9903	0.9612	0.9426	0.9246	0.9070	0.8900	0.8734	0.8573	0.8417	0.8265	0.7972	0.7562	0.6945	0.6400	0.5917
3	0.9706	0.9423	0.9152	0.8890	0.8636	0.8396	0.8163	0.7938	0.7722	0.7513	0.7118	0.6575	0.5787	0.5120	0.4552
4	0.9610	0.9239	0.8855	0.8548	0.8227	0.7921	0.7629	0.7350	0.7084	0.6830	0.6335	0.5718	0.4823	0.4096	0.3501
5	0.9515	0.9057	0.8626	0.8219	0.7835	0.7473	0.7130	0.6806	0.6499	0.6209	0.5674	0.4972	0.4029	0.3277	0.2693
6	0.9421	0.8880	0.8375	0.7903	0.7462	0.7050	0.6664	0.6302	0.5963	0.5646	0.5066	0.4323	0.3349	0.2622	0.2072
7	0.9327	0.8706	0.8114	0.7599	0.7267	0.6651	0.6228	0.5835	0.5470	0.5132	0.4524	0.3759	0.3291	0.2097	0.1594
8	0.9235	0.8535	0.7894	0.7307	0.6768	0.6274	0.5820	0.5403	0.5019	0.4665	0.4039	0.3269	0.2326	0.1678	0.1226
9	0.9143	0.8368	0.7664	0.7026	0.6446	0.5919	0.5439	0.5003	0.4604	0.4241	0.3606	0.2843	0.1938	0.1342	0.0943
10	0.9053	0.8204	0.7441	0.6756	0.6139	0.5584	0.5084	0.4632	0.4224	0.3856	0.3220	0.2472	0.1615	0.1074	0.0725
11	0.8963	0.8043	0.7224	0.6496	0.5847	0.5268	0.4751	0.4289	0.3875	0.3505	0.2875	0.2150	0.1346	0.0859	0.0558
12	0.8875	0.7885	0.7014	0.6246	0.5568	0.4970	0.4440	0.3971	0.3555	0.3186	0.2567	0.1869	0.1122	0.0687	0.0429
13	0.8787	0.7730	0.6810	0.6006	0.5303	0.4688	0.4150	0.3677	0.3262	0.2897	0.2292	0.1625	0.0935	0.0550	0.0330
14	0.8700	0.7579	0.6611	0.5775	0.5051	0.4423	0.3878	0.3405	0.2983	0.2633	0.2046	0.1413	0.0779	0.0440	0.0254
15	0.8614	0.7430	0.6419	0.5553	0.4810	0.4173	0.3625	0.3153	0.2745	0.2394	0.1827	0.1229	0.0649	0.0352	0.0195
16	0.8528	0.7285	0.6232	0.5339	0.4581	0.3937	0.3387	0.2919	0.2519	0.2176	0.1631	0.1069	0.0541	0.0282	0.0150
17	0.8444	0.7142	0.6050	0.5134	0.4363	0.3714	0.3166	0.2703	0.2311	0.1979	0.1457	0.0929	0.0451	0.0225	0.0116
18	0.8360	0.7002	0.5874	0.4936	0.4155	0.3504	0.2959	0.2503	0.2120	0.1799	0.1300	0.0808	0.0376	0.0180	0.0089
19	0.8277	0.6864	0.5703	0.4747	0.3957	0.3305	0.2765	0.2317	0.1945	0.1635	0.1161	0.0703	0.0313	0.0144	0.0069
20	0.8196	0.6730	0.5537	0.4564	0.3769	0.3118	0.2584	0.2146	0.1784	0.1487	0.1037	0.0611	0.0261	0.0115	0.0053
21	0.8114	0.6598	0.5376	0.4388	0.3590	0.2942	0.2415	0.1987	0.1637	0.1351	0.0926	0.0531	0.0217	0.0092	0.0041
22	0.8034	0.6468	0.5219	0.4220	0.3419	0.2775	0.2257	0.1840	0.1502	0.1229	0.0829	0.0462	0.0181	0.0074	0.0031
23	0.7955	0.6342	0.5067	0.4057	0.3256	0.2618	0.2110	0.1703	0.1378	0.1117	0.0738	0.0402	0.0151	0.0059	0.0024
24	0.7876	0.6217	0.4919	0.3901	0.3101	0.2470	0.1972	0.1577	0.1264	0.1015	0.0659	0.0349	0.0126	0.0047	0.0019
25	0.7798	0.6095	0.4776	0.3751	0.2953	0.2330	0.1843	0.1460	0.1160	0.0923	0.0588	0.0304	0.0105	0.0038	0.0014
26	0.7721	0.5976	0.4637	0.3607	0.2813	0.2198	0.1722	0.1352	0.1064	0.0839	0.0525	0.0264	0.0087	0.0030	0.0011
27	0.7644	0.5859	0.4502	0.3468	0.2679	0.2074	0.1609	0.1252	0.0976	0.0763	0.0469	0.0230	0.0073	0.0024	0.0008
28	0.7568	0.5744	0.4371	0.3335	0.2551	0.1956	0.1491	0.1159	0.0896	0.0694	0.0419	0.0200	0.0061	0.0019	0.0007
29	0.7484	0.5631	0.4244	0.3207	0.2430	0.1846	0.1406	0.1073	0.0822	0.0680	0.0374	0.0174	0.0051	0.0016	0.0005
30	0.7419	0.5521	0.4120	0.3083	0.2314	0.1741	0.1314	0.0994	0.0754	0.0573	0.0334	0.0151	0.0042	0.0012	0.0004
31	0.7346	0.5413	0.4000	0.2965	0.2204	0.1653	0.1228	0.0920	0.0692	0.0521	0.0298	0.0131	0.0035	0.0010	0.0003
32	0.7273	0.5306	0.3683	0.2851	0.2089	0.1550	0.1148	0.0852	0.0634	0.0474	0.0266	0.0114	0.0029	0.0008	0.0002
33	0.7201	0.5202	0.3770	0.2741	0.1999	0.1462	0.1072	0.0789	0.0582	0.0431	0.0238	0.0099	0.0024	0.0006	0.0002
34	0.7130	0.5100	0.3661	0.2636	0.1904	0.1379	0.1002	0.0731	0.0534	0.0392	0.0212	0.0086	0.0020	0.0005	0.0001
35	0.7059	0.5000	0.3554	0.2534	0.1813	0.1301	0.0937	0.0676	0.0490	0.0356	0.0189	0.0075	0.0017	0.0004	0.0001

ANEXO VIII



ELABORADO POR

FREDDY JAVIER LANDA QUIMBITA

LUIS EDUARDO LLANGANATE QUINATO

**EL DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERIA
ELECTROMECHANICA**

ING. MARIO JIMENEZ

EL SECRETARIO DE LA ESPE LATACUNGA

AB. EDUARDO VASQUEZ ALCAZAR