



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE
LOJA**

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULACIÓN DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

Estudio de los sistemas de micro – hidrogenación

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTORES: Campoverde Ramírez, Christian Hernán
Muñoz Guayanay, Walter Paúl

DIRECTOR: Castro Mendieta, José Raúl, Ing.

LOJA – ECUADOR

2014

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Ingeniero.

José Raúl Castro Mendieta

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: Estudio de los sistemas de micro – hidrogenación realizado por Campoverde Ramírez Christian Hernán, Muñoz Guayanay Walter Paúl ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por se aprueba la presentación del mismo

Loja, septiembre 2014

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros Christian Hernán Campoverde Ramírez y Walter Paúl Muñoz Guayanay, declaramos ser autores del presente trabajo de fin de titulación: Estudio de los sistemas de micro – hidrogenación, de la Titulación de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, siendo el Ingeniero José Raúl Castro Mendieta director del presente trabajo; y eximamos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f.
 Autor
 Cédula

f.
 Autor
 Cédula

DEDICATORIA

Con justo orgullo y respeto dedico el presente trabajo de investigación:

A mis padres, hermanos, y de manera especial a mi esposa y mi pequeño hijo Mateo Alejandro; quienes han sido el motivo y la inspiración para salir adelante.

A mis amigos quienes durante toda la carrera estuvieron ahí para brindarme su apoyo.

Walter Paúl

El presente trabajo va dedicado a mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional en toda circunstancia han sido los responsables en mi cuidado y formación, personal y profesional, en tiempos buenos y en tiempos malos, a mis hermanos por el apoyo brindado en mis años de estudio, a mis compañeros de carrera y a todos quienes dedican su vida a la investigación en el campo de las energías alternativas y luchan por un planeta menos contaminado.

Christian Hernán

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA.....	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS.....	ix
RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO 1: ESTADO DEL ARTE DE LOS MICRO HIDROGENERADORES	4
1.1 Definiciones.	5
1.2 Generalidades.....	7
1.2.1 Máquinas miniaturizadas.....	7
1.2.2 Situación del mercado eléctrico.....	8
1.2.2.1 Mercado internacional.	8
1.2.2.2 Mercado regional.....	10
1.2.2.3 Mercado nacional.	11
1.2.2.3.1 Estructura del sector eléctrico en Ecuador.....	11
1.3 Beneficios de la microgeneración.....	13
1.3.1 Ventajas de la hidroenergía a pequeña escala.....	14
1.3.2 Desventajas de la hidroenergía a pequeña escala.....	15
1.4 Instalación hidroeléctrica.....	16
1.4.1 Clasificación de las centrales mini-hidráulicas.....	17
1.5 El generador.	17
1.5.1 Características de los generadores.....	18
1.5.2 Tipos de generados utilizados en la micro –hidrogeneración.	20
1.5.2.1 Generadores síncronos.	20
1.5.2.1.1 Generalidades.	20
1.5.2.1.2 Características.....	20
1.5.2.1.3 Principio de funcionamiento.....	21
1.5.2.1.4 Clasificación.....	21
1.5.2.1.4.1 Generadores síncronos multipolares.....	22
1.5.2.1.4.2 Generador síncrono multipolar excitado eléctricamente. ..	22

1.5.2.1.4.3	Generador síncrono de polos salientes.	22
1.5.2.1.4.4	Generador síncrono de rotor cilíndrico.....	22
1.5.2.1.5	Eficiencia en los generador síncronos.....	23
1.5.2.1.6	Ventajas de trabajar con generadores síncronos.	23
1.5.2.1.7	Inconvenientes de los generadores síncronos.	23
1.5.2.2	Generadores asíncronos.	24
1.5.2.2.1	Generalidades.	24
1.5.2.2.2	Características.....	24
1.5.2.2.3	Clasificación.....	25
1.5.2.2.3.1	Generador asíncrono con control de deslizamiento variable. 25	
1.5.2.2.3.2	Generador asíncrono con cascada hipersíncrona o subsíncrona.25	
1.5.2.2.3.3	Generador de corriente alterna asíncrono o de inducción. 26	
1.5.2.2.3.4	Generador asíncrono de jaula de ardilla.	26
1.5.2.2.3.5	Generación asíncrona autoexcitada en isla.	26
1.5.2.2.3.6	Generación asíncrona doblemente excitada.....	27
1.5.2.3	Comparación entre sistemas de generación.....	28
2	CAPITULO 2: TIPOS DE GENERADORES UTILIZADOS EN LA MICRO – HIDROGENERACIÓN.....	29
2.1	Generador de corriente alterna asíncrono o de inducción.	30
2.1.1	Características.	31
2.1.2	Sistemas de velocidad variable con generador de inducción.	31
2.2	El alternador [25].....	31
2.3	Generadores síncronos multipolares con imanes permanentes.	33
2.3.1	Análisis de los materiales de los alternadores trifásicos de imanes permanentes.	35
3	CAPITULO 3. SELECCIÓN DEL MICRO HIDROGENERADOR PARA UN CAUDAL NO CONSTANTE.	36
3.1	Estudio de los canales en la provincia de Loja.	37
3.1.1	Capacidad de generación de los canales de Loja según la pendiente. 37	
3.2	Hidrogenerador 1: alternador monofásico de imanes permanentes.....	38
3.2.1	Características.	38
3.2.1.1	Modelo mhg-200lh.....	38
3.2.1.2	Modelo mhg-500lh.....	40

3.2.2	Análisis del hidrogenerador.....	41
3.2.2.1	Rendimiento del generador con caudales no constantes.....	43
3.2.2.1.1	Rendimiento del modelo mgh-200lh.....	44
3.2.2.1.2	Rendimiento del modelo mgh-500lh.....	44
3.3	Hidrogenerador 2: alternador trifásico de imanes permanentes.	46
3.3.1	Principales características del alternador.	46
3.3.2	Análisis del alternador de imanes permanentes alxion.....	48
3.3.3	Rendimiento del modelo 145stk2m.	49
3.4	Hidrogenerador 3: generador síncrono de imanes permanentes.....	50
3.4.1	Características del generador.	51
3.4.2	Gráficas del generador gl-pmg-1000.....	52
3.4.3	Dimensiones del generador.	53
3.4.4	Análisis del generador ginlong gl-pmg-1000.....	54
3.4.5	Rendimiento del modelo gl-pmg-1000.....	54
3.5	Hidrogenerador 4: alternador trifásico de imanes permanentes (moog components group).....	55
3.5.1	Características del generador.	55
3.5.2	Análisis del generador moog components group.....	56
3.5.3	Rendimiento del modelo moog components group.....	56
3.6	Comparación entre los microgeneradores.....	58
CAPITULO 4. MICROGRIDS		61
4.1	Microgrids, la revolución de las pequeñas energías.	62
4.2	Ventajas y desventajas de los sistemas microgrid.....	63
4.2.1	Ventajas de los sistemas microgrid.	63
4.2.2	Desventajas de los sistemas microgrid.	64
4.3	Situación actual de las microgrids.	65
4.3.1	Microgrids en el mundo.....	65
4.3.2	Proyectos de microgrids en Sudamérica.	65
4.3.2.1	Proyecto Floreana	65
4.3.2.2	Proyecto Atahualpa	65
4.3.2.3	Proyecto Yumahual	65
4.3.2.4	Proyecto Pedro Ruiz.....	66
4.3.2.5	Proyecto Pucara	66
4.3.2.6	Proyecto Jujuy	66

4.4	Experiencias que se pueden aplicar en Ecuador en base a los proyectos de microgrid en Sudamérica.	61
4.5	Otros aspectos de las microgrids a tomar en cuenta.	62
	CONCLUSIONES	64
	RECOMENDACIONES	66
	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	67
	ANEXOS.....	71

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1	Estructura del sector eléctrico en Ecuador.....	13
Fig. 1.2	Instalación de un hidrogenerador en un canal	16
Fig. 1.3	Generador síncrono.....	20
Fig. 2.1	Generador de corriente alterna asíncrona o de inducción.....	30
Fig. 2.2	Alternadores según el devanado del rotor.	33
Fig. 2.3	Generador de imanes permanentes de flujo radial	34
Fig. 2.4	Familia de Curvas Voltaje-Corriente para distintas revoluciones en un generador trifásico de Imanes Permanentes	34
Fig. 3.1	Micro - Hidrogenerador Power Pal.....	40
Fig. 3.2	Potencia vs caudal (MGH-200LH)	44
Fig. 3.3	Potencia vs caudal (MGH-500LH)	45
Fig. 3.4	Alternador trifásico de imanes permanentes (ALXION).....	46
Fig. 3.5	Gráfica de potencia de Generador Alxion	47
Fig. 3.6	Gráfica de Voltaje de Generador Alxion.....	48
Fig. 3.7	Potencia vs caudal (145STK2M)	50
Fig. 3.8	Generador de imanes permanentes Ginlong	51
Fig. 3.9	Potencia vs velocidad de rotación	52
Fig. 3.10	Voltaje vs velocidad de rotación	52
Fig. 3.11	Torque vs velocidad de rotación.	53
Fig. 3.12	Partes y dimensiones del generador.....	53
Fig. 3.13	Potencia vs caudal (GL-PMG-1000)	54
Fig. 3.14	Parámetros eléctricos del generador	56
Fig. 3.15	Potencia vs caudal (M. C. G.)	57
Fig. 4.1	Esquema de un sistema microgrid.....	56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Comparación entre los distintos sistemas de generación	28
Tabla 2.1 Materiales utilizados en la fabricación de alternadores trifásicos de imanes permanentes.....	35
Tabla 3.1 Parámetros de los canales de la Provincia de Loja.....	37
Tabla 3.2 Capacidad de los canales en función de la pendiente	37
Tabla 3.3 Modelo de hidrogenerador aplicado.....	38
Tabla 3.4 Características técnicas del modelo MGH-200LH.....	39
Tabla 3.5 Características técnicas del modelo MGH-500LH.....	40
Tabla 3.6 Rendimiento para un mínimo de caudal y pendiente	43
Tabla 3.7 Rendimiento de potencia en función del caudal del modelo MGH-200LH	44
Tabla 3.8 Rendimiento de potencia en función del caudal del modelo MGH-500LH	45
Tabla 3.9 Modelo de Hidrogenerador 2 aplicado	46
Tabla 3.10 Características del Generador 145STK2M	47
Tabla 3.11 Rendimiento de potencia en función del caudal del modelo 145STK2M49	
Tabla 3.12 Modelo de hidrogenerador 3.....	50
Tabla 3.13 Rendimiento de potencia en función del caudal del modelo GL-PMG-1000.....	54
Tabla 3.14 Características de generador MOOG COMPONENTS GROUP	55
Tabla 3.15 Rendimiento de potencia en función del caudal del modelo MOOG COMPONENTS GROUP.....	56
Tabla 3.16 Tabla comparativa de los microgeneradores.	58
Tabla 3.17 Leyenda de la tabla comparativa	60
Tabla 4.1 Análisis comparativo de los proyectos microgrids en Sudamérica.....	60
Tabla 4.2 Leyenda de la tabla de análisis comparativo.....	61
Tabla 4.3 Información de los canales de riego de la provincia de Loja.....	62

RESUMEN

La idea principal de esta investigación es poder utilizar los microgeneradores en aplicaciones de producción de energía eléctrica utilizando el agua que baja por la tubería de edificios, quebradas, pequeñas vertientes de agua, etc., como fuente de energía primaria.

La manera en que se llevará a cabo este estudio involucra la recolección de información de varios tipos de microgeneradores de 1 KW de potencia.

El análisis de sus especificaciones técnicas de cada microgenerador nos permitirá observar de manera gráfica como es el comportamiento de cada microgenerador ante las diferentes prestaciones, las gráficas de mayor interés y utilidad serán las de potencia en función de la velocidad y voltaje de generación en función de la potencia.

Una vez realizado todo este análisis, se procederá a recrear una tabla comparativa que contendrá todos los datos técnicos recolectados para determinar qué tipo de microgenerador es el óptimo para nuestro fin.

PALABRAS CLAVES: microgeneración, alternadores, energías alternativas, hidrogenación

ABSTRACT

The main idea of this research is to use micro cogeneration applications of electricity production using the water down the pipe of buildings, streams, small watersheds, etc., as a source of primary energy.

The way they conducted this study involves collecting information from various types of micro-generators from 1KW.

The analysis of each micro-generator technical specifications allow us to observe graphically as is the behavior of each micro-generator to the various benefits, the graphs of interest and utility power will be a function of speed and voltage generation depending on potency.

Once done all this analysis, we will proceed to recreate a comparative table that will contain all technical data collected to determine what type of micro-generator is optimal for our purpose.

KEYWORDS: microgeneration, alternators, alternative energy, hydrogenation

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación está orientado a establecer el estado del arte de micro - hidrogeneradores eléctricos. El análisis se lo realizará a generadores menores de un 1 KW de potencia. De esta forma estableceremos los diferentes tipos de micro generadores, su uso, funcionamiento, aplicabilidad, rentabilidad, etc., que pueda mantener los parámetros eléctricos (voltaje y frecuencia) en el mayor rango posible con respecto a un caudal no constante.

Después de seleccionar el microgenerador, se procederá a estudiarlo detalladamente todas las especificaciones técnicas y se sugerirá este para trabajos de micro - hidrogenación en donde el caudal o energía primaria no sea constante.

La idea principal de esta investigación es poder utilizar los microgeneradores en aplicaciones de producción de energía eléctrica utilizando el agua que baja por la tubería de edificios, quebradas, pequeñas vertientes de agua, etc., como fuente de energía primaria.

La manera en que se llevará a cabo este estudio involucra la recolección de información de varios tipos de microgeneradores de 1 KW de potencia, poniendo especial interés, en los microgeneradores que se utilizan en los aerogeneradores ya que la energía primaria del viento no es constante, lo que nos permite usar este principio para solucionar nuestro problema. Se analizará también otros tipos de microgeneradores que cumplan este objetivo y puedan ser analizados en este estudio.

El análisis de sus especificaciones técnicas de cada microgenerador nos permitirán observar de manera gráfica como es el comportamiento de cada microgenerador ante las diferentes prestaciones, las gráficas de mayor interés y utilidad serán las de potencia en función de la velocidad y voltaje de generación en función de la potencia.

CAPITULO 1: ESTADO DEL ARTE DE LOS MICRO HIDROGENERADORES

1.1 Definiciones.

Micro hidrogenerador eléctrico.- Es un generador eléctrico acoplado a una pequeña turbina, capaz de transformar energía hidráulica en energía eléctrica, para ser aprovechada en aplicaciones concretas que requieran un gran rendimiento hidráulico y eléctrico con una altura y caudal acorde a las necesidades [1].

Generador eléctrico.- Un generador eléctrico es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes. Los generadores eléctricos son máquinas destinadas a transformar la energía mecánica en eléctrica [2].

Generador síncrono.- El generador síncrono es un tipo de máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía mecánica (en forma de rotación) en energía eléctrica, en el cual las velocidades del rotor y del estator tienden a igualarse, de ahí el nombre de Síncrono [3].

Rotor.- O parte giratoria, provista de electroimanes cuyos arrollamientos son alimentados por corriente continua a través de anillos de contacto y escobillas. Constituye el sistema inductor de la máquina [4].

Estator.- O parte fija de la máquina, que constituye el inducido o armadura y posee ranuras en donde se dispone el arrollamiento trifásico (también puede ser monofásico para unidades de reducida potencia) [4].

Inducción.- Corriente por uno de los devanados debida a la f.e.m. inducida por la acción del flujo del otro devanado [5].

Asíncrona.- Velocidad de giro del rotor distinta de la velocidad de sincronismo [5].

Velocidad de rotación.- Indica el número de vueltas por unidad de tiempo que produce el motor y depende por completo de la forma de construcción del mismo, de la tensión de alimentación, así como de la carga mecánica que se acople a su eje, aunque esto último no es aplicable a un tipo especial de motores denominados síncronos o sincrónicos. Las unidades empleadas son las revoluciones por minuto (r.p.m.) y las revoluciones por segundo (r.p.s.) [6].

Par motor.- Expresa la fuerza de actuación de éste y depende lógicamente de la potencia que sea capaz de desarrollar un motor, así como de la velocidad de rotación del mismo [6].

Generador asíncrono.- También conocido con el nombre de generador de inducción, basa su funcionamiento en el efecto que produce un campo magnético alterno aplicado a un inductor o estator sobre un rotor con una serie de espiras sin ninguna conexión externa sobre el que se inducen unas corrientes por el mismo efecto de un transformador [6].

Turbina hidráulica.- Componente que recibe a energía del agua y la transforma en energía mecánica, para luego entregarla al generador eléctrico [7].

Caudal.- Volumen de agua que atraviesa una sección en la unidad de tiempo; se mide en litros por segundo (l/s) o en metros cúbicos por segundo (m^3/s) [10].

Caudal máximo derivable.- Es el caudal máximo que las tomas y el transporte a la central pueden respectivamente captar y transportar [10].

Caudal medio utilizable.- Es el caudal que en media es utilizado por el sistema en un periodo de tiempo que suele ser un año [10].

Alternador.- Máquina eléctrica que transforma la energía mecánica en energía eléctrica a corriente alterna. Los alternadores constan de dos partes fundamentales, una fija –estator– y una rotante –rotor– en la que hay un bobinado de cables de cobre aislados que forman el inductor y el inducido [10].

Los alternadores síncronos.- Son máquinas reversibles (pueden funcionar también como motores), en los que generalmente el bobinado inducido está colocado sobre el estator y el inductor sobre el rotor. El inductor está formado por electroimanes excitados con fuentes de corriente continua (polos) o por imán permanente [10].

Los alternadores asíncronos.- Están formados por motores asíncronos que giran gracias a motores primos con velocidad ligeramente superior a la del sincronismo [10].

1.2 Generalidades.

Durante los próximos años, los fabricantes planean introducir varios nuevos sistemas generadores a escalas inimaginables hace sólo unos pocos años.

El cambio a pequeños sistemas de generación tiene múltiples ventajas. La electricidad producida localmente reduce la demanda de los sistemas de transmisión, y proporciona más fiabilidad cuando las líneas de distribución locales se cortan a causa del mal tiempo u otros problemas. La mayoría de las industrias y servicios vitales como bancos y hospitales están muy automatizados, y el corte de la electricidad incluso durante breves instantes puede causar grandes pérdidas económicas. La generación local también da a los consumidores que lo desean una sensación de independencia de las instituciones económicas distantes.

El advenimiento de los pequeños sistemas de producción de electricidad puede ser aún más importante para el mundo en desarrollo, donde las redes de distribución son más vulnerables a los cortes frecuentes, y en donde la construcción de costosas centrales y redes de distribución ha agravado la deuda externa, y aún hoy unos 2.000 millones de personas carecen de electricidad. La microenergía puede reducir el coste de proporcionar servicios básicos a la creciente población urbana. En las áreas rurales, las nuevas tecnologías pueden permitir el desarrollo de sistemas aislados de electricidad para las poblaciones, sin necesidad de extender las costosas redes de distribución.

1.2.1 Máquinas miniaturizadas.

La evolución de la tecnología sugiere que la reducción del tamaño apenas ha comenzado. En los últimos cinco años se ha producido la aparición de una nueva generación de minúsculas tecnologías energéticas que son muy inferiores en tamaño a los grandes generadores que hoy son el soporte principal de la industria eléctrica.

Las tecnologías micro son aquellas de menos de 50 KW. Estos tamaños son lo bastante pequeños como para ser conectados a los sistemas de distribución locales de baja tensión, sin requerir la conexión a la red de transmisión de alta tensión, y pueden instalarse en la mayoría de los edificios comerciales y residenciales [8].

La eficiencia de estos generadores productores de electricidad va del 20 al 45 por ciento, dependiendo del tamaño de las plantas que van de 5 a 10.000 KW. La mayoría de estos generadores tienen intercambiadores, que permiten aprovechar el calor

residual (lo que se conoce como cogeneración), para agua caliente, calefacción o calor de procesos industriales, aumentando la eficiencia total del sistema al 80 por ciento o más [8].

Las debilidades de los sistemas locales de distribución apuntan a la necesidad de gastar más en el mantenimiento de las redes y transformadores, pero también al valor potencial de los pequeños generadores. Al producir parte de la electricidad dentro del sistema local, los generadores pequeños pueden reducir cargas en los equipos de distribución. La otra gran ventaja de los pequeños sistemas es que su impacto ambiental es menor.

Investigaciones recientes demuestran que la instalación de pequeños generadores próximos en tamaño y localización a los clientes tiene ventajas importantes frente a las grandes centrales, aumentando el valor de la electricidad producida. La diferencia de costes es lo bastante grande como para que incluso las caras células fotovoltaicas sean competitivas en numerosas aplicaciones [8].

1.2.2 Situación del mercado eléctrico.

1.2.2.1 Mercado internacional.

La mayoría de los mercados eléctricos de hoy padecen todavía el legado de los monopolios garantizados por el Estado, un invento de principios del siglo XX de Samuel Insull convenció a los gobernantes de que tal monopolio era esencial para lograr extender la red de electricidad.

Como señala Walt Patterson, del Instituto Real para Asuntos Internacionales, “Demasiado a menudo las tecnologías inherentemente descentralizadas se encuentran jugando en campo ajeno, en el terreno de juego del sistema centralizado y de acuerdo a sus reglas” [9].

Para que la microenergía alcance su potencial, las leyes y normas que regulan el sector eléctrico deben reformarse, eliminando las barreras que actualmente limitan su penetración. Una de las medidas es garantizar a los pequeños generadores un precio que refleje el valor real de la electricidad que producen.

En mercados competitivos, deberían requerirse análisis de los costes de distribución en todas las ofertas de nueva potencia instalada. Esta estrategia, junto con el uso de tecnologías que reducen las emisiones y mejoran la eficiencia del suministro y consumo de electricidad, podría satisfacer las necesidades crecientes de energía reduciendo la contaminación atmosférica local y disminuyendo las emisiones de dióxido de carbono en un 42 por ciento en relación con las tendencias actuales [9].

Otra reforma clave es normalizar los requisitos para garantizar el acceso a la red de los microgeneradores. En muchas regiones, las empresas eléctricas acostumbradas a las grandes centrales imponen un amplio conjunto de requisitos complicados e innecesarios.

Igualmente son necesarias otras políticas para impedir que las compañías eléctricas frenen injustamente el desarrollo de la microgeneración. Hay que cambiar las reglas que impiden el acceso a la red, y debe exigirse a las empresas eléctricas que firmen contratos de “compra de electricidad” a los pequeños productores, en lugar de descorazarlos con documentos legales innecesariamente complicados.

Otros obstáculos a la microgeneración son las licencias de apertura, los permisos y autorizaciones, y las normas que regulan las emisiones, dictadas antes de que los pequeños sistemas de generación fuesen una opción real. La pequeña producción de electricidad no se tiene en cuenta en la mayoría de las normas constructivas, eléctricas y de seguridad, ni tampoco las autoridades locales están familiarizadas con estas nuevas tecnologías.

Los esfuerzos para reestructurar las leyes del sector eléctrico se enfrentan a los poderosos monopolios, que tratan de proteger las inversiones realizadas en grandes centrales. Los progresos en la reforma de esas leyes para posibilitar una nueva clase de pequeños generadores que apenas existen en el mercado actual, son muy lentos y no exentos de dificultades.

Sin embargo, al aumentar el número de empresas que invierten en estas tecnologías y crecer la implicación en el nuevo sector de las grandes compañías, así como de los millones de consumidores que desearían tener su propio sistema de producción de electricidad, los obstáculos irán desapareciendo.

Todavía muchos analistas son escépticos de que la producción en serie de pequeños generadores puede representar una alternativa viable a las grandes centrales.

Las tendencias en algunos países sugieren que los países en desarrollo pueden ser los primeros en adoptar los pequeños sistemas descentralizados de producción de electricidad al margen de la red, al igual que algunos han “saltado” a los teléfonos móviles sin pasar por los fijos [9].

La microgeneración puede moldear el modelo de desarrollo. Al descentralizar la producción de electricidad se puede facilitar también las tendencias descentralizadoras dentro de las sociedades, fortaleciendo a las comunidades y empresas locales.

1.2.2.2 Mercado regional.

Todos los países de la región andina poseen el insumo básico para la hidrogenación de electricidad: el agua. Y como el agua para riego es generalmente llevada por las partes altas de los valles, también disponen de potenciales caídas que permitirían la generación de energía.

Con el desarrollo de los sistemas interconectados, las pequeñas plantas de generación hidroeléctrica fueron quedando fuera del mercado porque el costo de su energía, básicamente la operación y el mantenimiento, era superior al costo de la energía adquirida en las redes.

Pero ahora, ante el alza del petróleo, y las crecientes dificultades para la construcción de futuras grandes centrales hidroeléctricas, vuelven a generar interés. Energía que fluye por los canales de riego: Generación eléctrica a pequeña escala es a lo que se apunta.

La mayoría de países andinos poseen importantes recursos hídricos. El aprovechamiento hidroeléctrico constituye cerca de un 40% de la capacidad instalada en plantas de generación de energía eléctrica en los sistemas eléctricos interconectados, en promedio [9].

Los grandes potenciales hidráulicos se aprovechan en un 19% del total. En los sistemas a pequeña escala el potencial aprovechado es mucho menor en proporción, pese a que la particularidad de la geografía de los países andinos, con grandes caídas de agua en cortas distancias, ofrece un enorme potencial para ellos [9].

Citamos el caso de Chile en el cual cerca de 350 micros y mini centrales hidroeléctricas se destinan principalmente a la electrificación de viviendas, sobre todo en localidades aisladas en la zona sur. Cerca de un 88% son construidas por fabricantes nacionales. Las empresas construyen generalmente turbinas medianas y pequeñas del tipo Pelton y Banki. Un gran auge han tenido los pequeños hidrocargadores para baterías. De ahí que una gran alternativa y que es apoyada por todos los países de la región es la construcción de turbinas en los propios países para minimizar costos y después apuntar a una interconexión regional a bajo costo [19].

1.2.2.3 Mercado nacional.

El sector eléctrico es uno de los más dinámicos de la economía ecuatoriana por la gran cantidad de cambios a los que está sometido, debido a la alta incidencia que este sector posee en el grado de competitividad del país.

El sector eléctrico, adquiere su importancia económica, debido a su alto grado de participación en la producción de la economía, aspecto que se observa en la relación entre el comportamiento del PIB y la demanda eléctrica, así como por su alto grado de penetración en la estructura del consumo intermedio de la economía, de la cual representa 3,8%, ubicándolo como la décima industria que más aporta a este indicador [18].

Para los próximos años, de acuerdo con plan nacional de electrificación 2002-2012, se espera que la demanda crezca en un promedio anual de 6,2%, lo cual implica inversiones cercanas a los US \$1,200 millones solo para atender el crecimiento de la demanda, que se podría ampliar a US \$2,500 millones considerando los segmentos de transmisión y distribución [18].

1.2.2.3.1 Estructura del sector eléctrico en Ecuador.

La Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE) segmentó el sistema eléctrico en entidades encargadas de una sola actividad, ya sea generación, transmisión o distribución, con la prohibición de ejercer dos actividades a la vez (para cumplir con esto, las empresas de distribución que poseyeran centrales de generación deberían escindirse en compañías de generación y de distribución).

La estructura es la siguiente:

1. Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC).

El CONELEC tiene como funciones principales la planificación para el desarrollo del sector eléctrico, así como también proveer información y ejercer todas las actividades de regulación y control definidas por la Ley de Régimen del Sector Eléctrico.

2. Centro Nacional de Control de Energía (CENACE).

El CENACE tiene la responsabilidad de realizar la administración técnica y financiera de la importación y exportación de electricidad.

3. Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC - EP).

La CELEC asumió, a partir del mes de marzo del 2009, los plenos derechos y obligaciones para operar en el Sector Eléctrico Nacional como empresa generadora de electricidad, luego de suscribir un contrato de licencia con el CONELEC. Uno de los objetivos fundamentales de la CELEC es concretar los proyectos de expansión y enfrentar el desafío de ejecutar la construcción de los nuevos proyectos de generación hidroeléctrica.

La CELEC está integrada por seis empresas estatales, cinco de generación (Hidropaute, Hidroagoyán, Electroguayas, Termoesmeraldas y Termopichincha, más la empresa transmisora de electricidad Transelectric S.A. Las seis empresas pasan a convertirse en Unidades de Negocio, cuya misión es, generar y transmitir energía eléctrica al menor costo, garantizando un suministro de calidad.

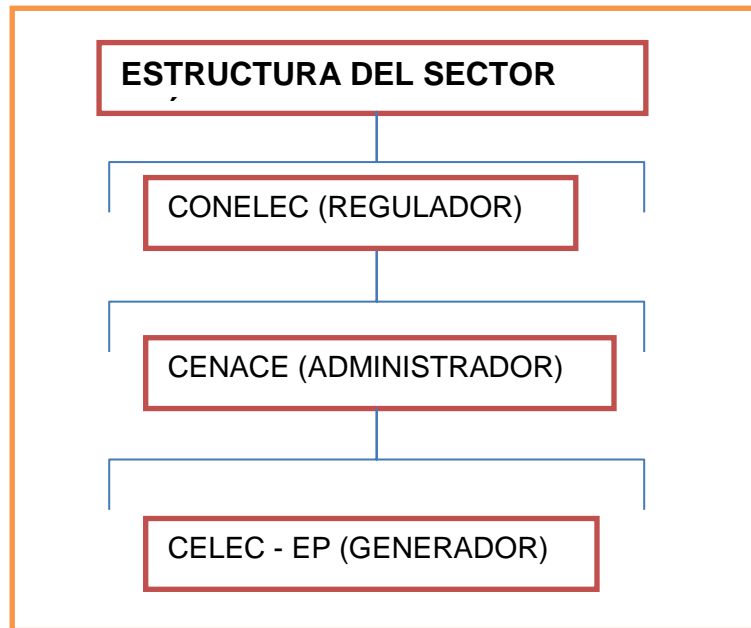


Fig. 1.1 Estructura del sector eléctrico en Ecuador [26].

En 2007, la producción de energía fue de 15578.12GWh, 8 943.46GWh generados con una estructura hidráulica, 5758.07GWh térmicos y 876.59GWh de importación a Colombia. Los porcentajes varían poco en función de si se analizan escenarios de carga máxima, media o mínima y épocas de estiaje o lluviosas.

En el 2010, según los informes diarios de la CENACE, la producción de energía hasta el 13 de diciembre del año en curso fue de 18200 GWh, de la cual el 39% corresponde a la generación hidroeléctrica, el 47 % a la generación térmica y el 14 % proviene de la compra a países como Perú y Colombia.

1.3 Beneficios de la microgeneración.

Los beneficios del aprovechamiento de la microgeneración son muchos:

- Los niveles de emisiones de contaminantes del aire—incluyendo dióxido de carbono—de las nuevas tecnologías son de 70 a 100 por ciento menores a las de sistemas convencionales, en parte porque son alimentadas con gas natural y en parte porque son más eficientes [9].
- Igualmente, como son instaladas donde se requiere la potencia, el calor de desecho de los microgeneradores puede ser aprovechado, llevando a eficiencias energéticas que pueden alcanzar de 80 a 90% [9].

- Otros beneficios:
 - a. Modularidad. Los sistemas basados en microgeneración pueden ser ajustados adicionando o quitando unidades, de manera que se emparejen con la demanda.
 - b. Tiempos cortos de instalación. Los sistemas pequeños pueden ser instalados en plazos más cortos que las plantas grandes, evitando que la capacidad supere a la demanda (al concluir la obra) y los costos de inversiones que tardan años en producir su primer KW/h.
 - c. Diversidad de combustibles y volatilidad de precios reducida. Puede estar basada en una variedad amplia de recursos energéticos y reducir la exposición a tener una sola fuente de energía en una planta mayor.
 - d. Confiabilidad y resiliencia. Un número grande de pequeñas plantas tiene menos probabilidades que fallar simultáneamente, tienen períodos de salida más cortos, son más fáciles de reparar, y están mejor distribuidas en la geografía.
 - e. Se evita la construcción y las pérdidas de plantas de generación y de las redes de transmisión y distribución.
 - f. Control local y de la comunidad. La energía distribuida permite usar energéticos disponibles localmente y empujar el desarrollo económico local.
 - g. Emisiones e impactos ambientales reducidos [9].

Además de los anteriores beneficios se cita otros importantes:

- Tecnología flexible y económica
- Bajo costo de Generación y Mantenimiento
- Energía limpia y segura
- Operación ambientalmente amigable
- Disponibilidad y confiabilidad

1.3.1 Ventajas de la hidroenergía a pequeña escala.

Entre las ventajas que tiene la hidroenergía a pequeña escala se citan:

- Fuente limpia y renovable de energía: no consume agua, sólo la utiliza. No emite gases de efecto invernadero y los impactos locales no son significativos. Además es un recurso inagotable, en tanto y cuando el ciclo del agua perdure y se conserve la cuenca.

- Disponibilidad del recurso: por las características climatológicas y topográficas, este recurso está disponible en muchos sitios de Ecuador.
- Bajos costos de operación: no se requiere de combustibles y las necesidades de mantenimiento son relativamente bajas por lo que los gastos de operación son bajos.
- Disponibilidad de energía: la generación de energía generalmente es continua y su disponibilidad es predecible.
- Funciona a la temperatura ambiente: no hay que emplear sistemas de refrigeración o calderas que consumen energía y, en muchos casos, contaminan.
- Eficiencia: la tecnología tiene una alta eficiencia en la conversión de la energía potencial en el agua a energía mecánica y eléctrica (entre 75% y 90%), mayor que la eficiencia de otras tecnologías.
- Solidez: la tecnología es robusta y tiene una vida útil larga. Los sistemas pueden funcionar 50 años o más sin requerir mayores inversiones que para reemplazar componentes [13].

1.3.2 Desventajas de la hidroenergía a pequeña escala.

A continuación se describen las principales desventajas asociadas a esta tecnología:

- Alto costo inicial: la inversión requerida está muy concentrada en el desarrollo inicial del proyecto, como por ejemplo en la ejecución de estudios, construcción de la obra civil (en el caso de la construcción del canal), y la compra del equipo electromecánico.
- Disponibilidad local: la tecnología depende de las condiciones topográficas e hidrológicas, entonces no está disponible en cualquier sitio.
- Potencia máxima: ésta 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 [13].

1.4 Instalación hidroeléctrica.

Las turbinas hidráulicas convencionales utilizan la energía potencial que tiene una masa de agua en una caída, llamado salto, existente entre las dos secciones de canal a cielo abierto, la superior (aguas arriba) y la inferior (aguas abajo) [10].

En el caso del presente trabajo son las turbinas de río o sumergibles las aplicables cuando no se considera una caída denominada cero, lo que se tiene en cuenta es la pendiente del canal (casi despreciable entre 1 y 2 metros aproximadamente), y por ello se puede ubicar en cualquier lugar del canal que tenga el caudal mínimo para activar la turbina y posteriormente el generador que constituye el componente indispensable de cualquier sistema de generación eléctrica y al que se le dedica este estudio [11] .

La transformación de la energía potencial del agua en energía mecánica se realiza a través de turbinas, que se activan gracias a la masa de agua que pasa por su interior. A su vez, la potencia mecánica en el eje de la turbina se puede utilizar directamente para realizar trabajo (como en los molinos de agua) o para producir energía eléctrica, conectando el eje de la turbina, a través de reductores adecuados, a un **alternador o generador**.

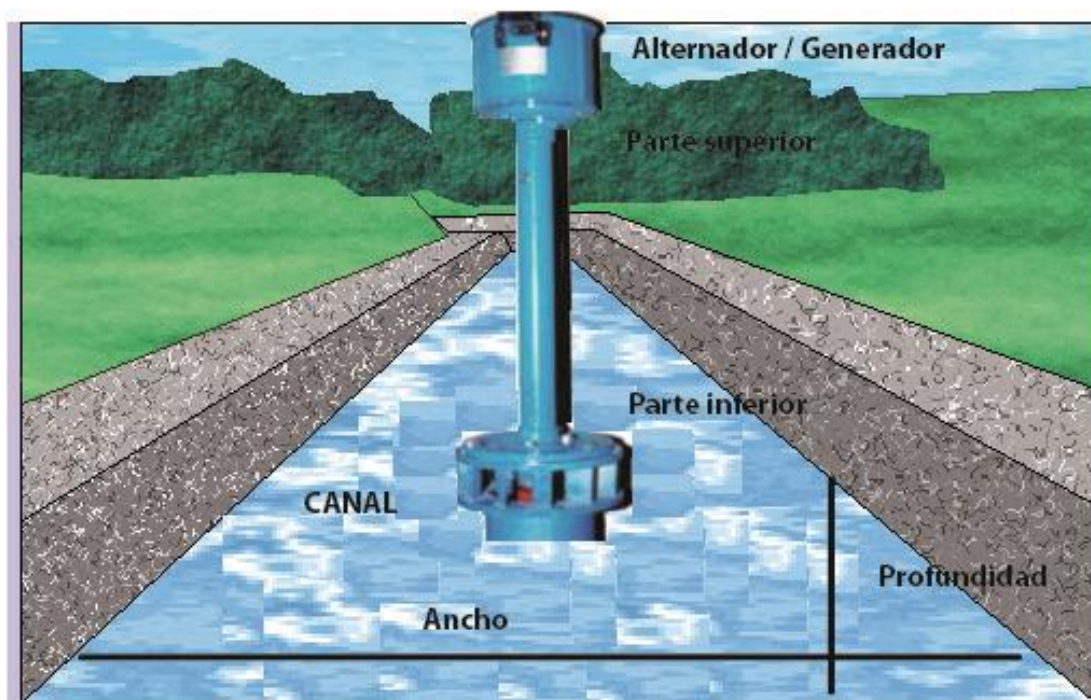


Fig. 1.2 Instalación de un hidrogenerador en un canal

1.4.1 Clasificación de las centrales mini-hidráulicas.

El CONELEC en la **REGULACIÓN No. CONELEC - 008/08**, referente al proyecto Fondo de Electrificación Rural y Urbano-Marginal (FERUM), da una clasificación de las centrales mini – hidráulicas:

Micro central hidroeléctrica: Central que genera electricidad utilizando como energía primaria los recursos hídricos y cuya potencia está en el rango de 5 a 50 KW.

Mini central hidroeléctrica: Central que genera electricidad utilizando como energía primaria los recursos hídricos y cuya potencia está en el rango de 50 hasta 500 KW.

Pico central hidroeléctrica: Central que genera electricidad utilizando como energía primaria los recursos hídricos y cuya potencia está en el rango de hasta 5 KW [12].

Otra forma de clasificar las centrales hidroeléctricas se basa en su funcionamiento en relación con la modalidad de toma y acumulación de las aguas:

- **Centrales de agua fluente:** son las que no están reguladas. El caudal varía durante el año en función del régimen hidrológico del curso de agua.
- **Centrales de flujo regulado,** son aquellas situadas aguas abajo de los embalses destinados a usos hidroeléctricos o a otros fines y en los que se pueden regular las aguas a través de un depósito de regulación diario, semanal o mensual. La entidad de la regulación está relacionada a la capacidad de acumulación del depósito [10].

1.5 El generador.

Es el componente productor de la energía eléctrica que se acopla directa o indirectamente al eje de la turbina. Es la parte encargada de transformar la energía mecánica recibida por el rotor en energía eléctrica útil, constituyendo el elemento más importante de todo proyecto hidroeléctrico [11].

Existen dos tipos de generadores, los sincrónicos y los asincrónicos o de inducción, ambos son empleados en micro centrales hidráulicas con un aceptable grado de confiabilidad y calidad de energía.

Los generadores de inducción no pueden suministrar energía reactiva por lo que, tanto el reactivo de la excitación propia como el reactivo de la carga, debe ser suministrado por capacitores, los cuales pasan a formar parte esencial de la instalación. La gran ventaja de este tipo de generador es que se encuentra en el mercado a un menor precio.

A continuación se presentan una lista de parámetros y componentes del equipo de generación al momento de elegir un generador:

- Continuidad de trabajo
- Características de frecuencia, voltaje y velocidad.
- Sobre velocidad relacionadas con la turbina.
- Numero de fases, si es monofásico o trifásico.
- El factor de potencia y su eficiencia.
- Temperatura ambiente, humedad, altitud.
- Equipo de monitoreo como medidores de frecuencia, de voltaje, de corriente, de potencia.
- Regulador automático de voltaje.
- Sistema de gobernador.
- Protecciones de sobre velocidad, baja velocidad, sobrecarga, cortocircuito.
- Dimensiones físicas y peso.
- Expectativas de vida de los componentes y posibilidad de remplazarlos.

1.5.1 Características de los generadores.

VOLTAJE NOMINAL.- En el mercado se puede encontrar generadores monofásicos con voltajes de salida de 12, 24, 120 y 240 V, y generadores trifásicos que utilizan 240/415 V. Cuando no se considera el uso de transformadores de voltaje, entonces los equipos y los aparatos que se conectaran al sistema deberán ser compatibles en voltaje.

FRECUENCIA.- El valor de la frecuencia en Ecuador está homologada en 60Hz, por ende debe elegirse un generador con el número correcto de polos que ofrezca estabilidad en la salida y nos permita trabajar adecuadamente.

NIVEL DE PROTECCIÓN CONTRA LA INFILTRACIÓN DE LÍQUIDOS O POLVOS.- Este valor viene dado por el valor del numero IP y varía dependiendo del hermetismo

del generador, los modelos IP 55 son resistentes a la entrada de líquidos y partículas siendo apropiados para el uso donde se generará bajas potencias.

AISLAMIENTO.- Para el uso en este trabajo es recomendable utilizar el que tenga mejor aislamiento, en el mercado los más comunes son el B y F, pero el clase F durará cuatro veces más que el clase B.

LA POTENCIA NOMINAL.- Este valor se puede obtener en función del cálculo previo de la potencia máxima que podrá ser generada, en el caso que se desconozca este dato se puede calcular con la potencia hidráulica de la fuente hídrica asumiendo una eficiencia del 50%, una vez conocido este dato se debe calcular la corriente máxima en función del voltaje nominal del generador mediante la fórmula,

$$I_{max} = 1.1 \times (P_{max} / V_{GEN}) \quad (1.1)$$

Esta corriente debe de ser igual o menor a la corriente nominal del motor.

PÉRDIDAS POR CONVERSIÓN DE ENERGÍA.- Esto se debe a que cada componente del sistema pierde energía en forma de fricción, calor, ruido, etc. La eficiencia de los generadores para producir energía útil varía entre 60% para pequeños generadores de corriente alterna, 80% para rangos entre 5 – 10 KW. y 90% para equipos mayores a 50 KW.

POTENCIA DE SALIDA.- Es la potencia que queda luego de haber considerado todas las pérdidas en el sistema, está en función de la eficiencia del equipo completo. Conociendo la eficiencia de los generadores, se puede predecir con aproximación la potencia de salida del generador que se desea utilizar. Sin embargo, estos datos deben ser suministrados por el proveedor de estos equipos al momento de su venta [11].

1.5.2 Tipos de generados utilizados en la micro –hidrogeneración.

1.5.2.1 Generadores síncronos.

1.5.2.1.1 Generalidades.

El generador síncrono es poco convencional y puede ser utilizado en grandes industrias para corrección de factor de potencia, en este caso, las velocidades del rotor y del estator tienden a igualarse, de ahí el nombre de síncrono.

El generador síncrono es un tipo de máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía mecánica (en forma de rotación) en energía eléctrica.

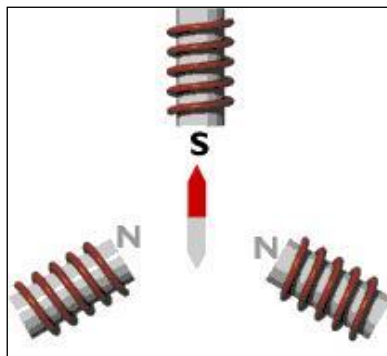


Fig. 1.3 Generador síncrono [3]

Para generar potencia eléctrica, el generador sincrónico es el más utilizado en los sistemas de potencia, los cuales constructivamente son de polos salientes o de polos cilíndricos.

1.5.2.1.2 Características.

- Un generador sincrónico puede operar de forma independiente (aislada) o sincronizado con el sistema de distribución
- Los generadores sincrónicos pueden operar con un factor de potencia en adelanto o en atraso y pueden operar en modo de control o de seguimiento de tensión
- La mayoría de los generadores sincrónicos operan en un modo de seguimiento de tensión (siguen la tensión del sistema de distribución)

- La mayoría de los generadores sincrónicos inyectan una cantidad constante de potencia activa y reactiva (factor de potencia constante)
- La mayoría de los generadores sincrónicos operan a factor de potencia unitario.

1.5.2.1.3 Principio de funcionamiento.

Una turbina acciona el rotor de la máquina sincrónica a la vez que se alimenta el devanado rotórico (devanado de campo) con corriente continua. El entrehierro variable (máquinas de polos salientes) o la distribución del devanado de campo (máquinas de rotor liso) contribuyen a crear un campo más o menos senoidal en el entrehierro, que hace aparecer en los bornes del devanado estatórico (devanado inducido) una tensión senoidal. Al conectar al devanado inducido una carga trifásica equilibrada aparece un sistema trifásico de corrientes y una fuerza magnetomotriz senoidal [24].

1.5.2.1.4 Clasificación.

Los generadores síncronos se pueden clasificar de distintas formas:

1. Forma de obtener excitación: Por imanes permanentes y por rotor bobinado.
2. Por el tipo de rotor: Polos lisos, o polos salientes
3. Por la forma de introducir corriente en el rotor: Anillos rozantes o generador auxiliar.

Las unidades de generación en el caso de energía descentralizada son normalmente mucho más pequeñas que las unidades de generación centralizada. No obstante, aún dentro de ese menor tamaño, cabe clasificar por el tamaño las unidades de generación distribuida, encontrándose desde grandes centros de generación en el rango desde unidades de MW hasta alguna centena de MW, como pueden ser sectores tan desarrollados hoy en día como los actuales parques eólicos, hasta los muy pequeños productores, típicamente de menos de 100 KW [14].

1.5.2.1.4.1 Generadores síncronos multipolares.

El inconveniente principal del uso de generadores de bajo número de polos (2, 4, 6 etc.), es la necesidad de implementar una caja multiplicadora, la cual incrementa el peso razonablemente, genera ruido, demanda un mantenimiento regular e incrementa las pérdidas [14].

1.5.2.1.4.2 Generador síncrono multipolar excitado eléctricamente.

Este tipo de generador evita el uso de caja multiplicadora debido a que al disponer de un gran número de polos, su velocidad de sincronismo es baja y perfectamente compatible con la velocidad del rotor.

Este tipo de generadores disponen de polos compuestos por electroimanes, lo cual hace que sean muy pesados y voluminosos, pero sean capaces de regular la tensión de salida mediante la variación de la corriente continua de excitación. Para inyectar la corriente de excitación disponen normalmente de escobillas que son uno de los puntos débiles desde el punto de vista de mantenimiento.

Se utilizan en sistemas de velocidad variable ya que la frecuencia de la señal de salida debe acoplarse mediante convertidores electrónicos a la señal de red.

1.5.2.1.4.3 Generador síncrono de polos salientes.

Accionados por motores de combustión interna, turbinas hidráulicas, etc. Generalmente tienen varios pares de polos y se utilizan para velocidades hasta 1000 rpm.

El generador sincrónico de polos salientes se caracteriza por trabajar a bajas velocidades.

1.5.2.1.4.4 Generador síncrono de rotor cilíndrico.

Este tipo de generador se utiliza en máquinas de alta velocidad con dos o cuatro polos. Se utilizan más en turbinas a gas o vapor empleadas en centrales térmicas.

Se caracteriza porque los devanados se encuentran uniformemente distribuidos.

1.5.2.1.5 Eficiencia en los generador síncronos.

La eficiencia del generador se define como la razón de la potencia de salida entre la potencia de entrada. Existen cinco principales causas de pérdidas asociadas con un generador eléctrico:

1. Fricción y resistencia aerodinámica.
2. Pérdidas en el núcleo.
3. Pérdidas en el cobre del devanado de campo.
4. Pérdidas en el cobre de la armadura
5. Pérdidas misceláneas (aproximadamente 1% de la potencia de entrada).

Los primeros tipos de pérdidas (1 y 2) son constantes, y no dependen de la carga. Las pérdidas por fricción y resistencia aerodinámica se ven afectadas por aspectos como el tamaño y la forma del rotor, también se pueden disminuir mediante un buen diseño del abanico de ventilación interna. Las pérdidas en el núcleo están relacionadas con la energía necesaria para magnetizar el núcleo del rotor y el estator. Las pérdidas en el cobre del devanado de campo se refieren a la pérdida a través de la resistencia DC en el mismo. De manera similar, las pérdidas en la armadura se calculan a partir de la resistencia DC de los devanados del estator. Las pérdidas misceláneas cubren todas aquellas pérdidas no contempladas anteriormente, como lo pueden ser las causadas por campos armónicos [3].

1.5.2.1.6 Ventajas de trabajar con generadores síncronos.

- Presentan mayor rendimiento
- Vierten potencia reactiva a la red
- Pueden funcionar de forma autónoma

1.5.2.1.7 Inconvenientes de los generadores síncronos.

- Complejo sistema de control
- Conexión a la red compleja.

La principal diferencia entre los diferentes tipos de generadores síncronos, se encuentra en su sistema de alimentación en continua para la fuente de excitación situada en el rotor [4].

1.5.2.2 Generadores asíncronos.

1.5.2.2.1 Generalidades.

Un generador asíncrono es un motor convencional y se utiliza el término asíncrono, por que teóricamente la velocidad del rotor nunca puede alcanzar a la velocidad del estator (Desplazamiento).



Figura 1.4: Generador Asíncrono [15].

1.5.2.2.2 Características.

El generador asíncrono presenta la ventaja de no necesitar excitatriz, lo que simplifica el equipo. Sin embargo presentan el fenómeno conocido como deslizamiento lo que provoca que la eficiencia de un GA sea de 2% a un 4% inferior al de los generadores síncronos. El generador asíncrono presenta la ventaja adicional de no necesitar excitatriz, lo que simplifica el equipo y facilita las maniobras secuenciales de arranque. Para ello se actúa sobre la admisión de la turbina, acelerándola hasta que el generador alcance el 90-95% de su velocidad de sincronismo, momento en el que un relé de velocidad da la orden de cierre del interruptor de línea. El generador pasa rápidamente a la velocidad de hipersincronismo, alcanzando la velocidad necesaria

para que se igualen los pares motor y resistente en la zona de funcionamiento estable [15].

1.5.2.2.3 Clasificación.

1.5.2.2.3.1 Generador asíncrono con control de deslizamiento variable.

Un generador asíncrono con control de deslizamiento variable es un nuevo desarrollo a partir del generador asíncrono normal con acoplamiento a la red a velocidad fija. El generador tiene los mismos componentes en el circuito principal. La diferencia estriba en que el rotor bobinado del generador se conecta en paralelo a una resistencia y a un módulo compuesto por un tiristor.

Los componentes pueden ser instalados en el eje, por ello no es necesario un contacto eléctrico-mecánico entre el rotor y el estator.

El resultado de esta resistencia controlable es una característica par-velocidad más suave. Para pequeñas fluctuaciones del viento la energía se almacena como velocidad de rotación, así la energía obtenida se presenta con variaciones suaves y las cargas en los componentes mecánicos son menores. El control normalmente se diseña para un rango de energía pequeño, ya que un deslizamiento mayor causa una pérdida de energía que se presenta como calor. Este calor se debe extraer del generador. Si el módulo del tiristor se diseña para grandes potencias, se deberá implementar también un filtro de armónicos.

1.5.2.2.3.2 Generador asíncrono con cascada hipersíncrona o subsíncrona.

La característica par-deslizamiento de una máquina asíncrona depende directamente del valor de la resistencia de su rotor. Mediante el incremento de esta resistencia la pendiente de la característica par-deslizamiento disminuye, por lo que si el par resistente del generador se mantiene constante, éste cederá más energía por su rotor y aumentará su velocidad de giro.

Utilizando un generador asíncrono de rotor bobinado y conectado a través de sus anillos rozantes una resistencia variable externa se podría realizar la generación a velocidad variable, pero se aumentarían las pérdidas, disminuyendo el rendimiento.

1.5.2.2.3.3 Generador de corriente alterna asíncrono o de inducción.

La utilización de la máquina asíncrona o de inducción en generación de energía eléctrica mediante hidrogeneradores es actualmente mayoritaria

En este tipo de máquina eléctrica, el campo magnético giratorio se crea a través del estator, cuyos devanados deberán estar conectados a una fuente exterior de tensión alterna. Esta es la razón básica por la que la máquina asíncrona es consumidora de energía reactiva, ya que al ser el bobinado una carga inductiva, para generar el campo magnético consumirá corriente desfasada de la tensión [17].

1.5.2.2.3.4 Generador asíncrono de jaula de ardilla.

Al producirse una falla en la red y bajar la tensión en los terminales de la misma, se produce una aceleración del rotor, que produce una elevación de la velocidad de la máquina, lo que provoca la actuación de las protecciones que desconectan el generador del sistema eléctrico.

Una vez despejada la falla, al recuperarse la tensión de la red, la máquina absorbe una gran cantidad de reactiva, que dificulta la recuperación de la tensión de la red en el punto de conexión.

1.5.2.2.3.5 Generación asíncrona autoexcitada en isla.

Cuando el generador asíncrono tiene que trabajar aislado de red, lo que se conoce como trabajo en isla, es preciso recurrir a la autoexcitación del mismo mediante la conexión de un banco de condensadores, para lo que existen diferentes soluciones técnicas. La autoexcitación es iniciada gracias al magnetismo remanente de la máquina eléctrica.

Uno de esos sistemas muy interesante para la generación asíncrona autoexcitada, consiste usar una combinación de condensadores con una reactancia saturable en paralelo, los condensadores se dimensionan para que su capacidad sea suficiente para la máxima demanda de potencia reactiva del conjunto del generador y la carga (mínimo coseno de ϕ , para la corriente nominal) y la reactancia se construye para que empiece a saturar a la tensión nominal. Si la carga disminuye, la tensión aumenta y

con la tensión también se incrementa la corriente de saturación en la reactancia, compensándose en ese momento el exceso de capacidad y regulando el sistema.

Con este dispositivo muy sencillo y estático se pueden conseguir tensiones de fase en el entorno de 220/240 V. Y si se añade un control de la carga se pueden obtener rangos de frecuencias de +/- 2 Hz [16].

1.5.2.2.3.6 Generación asíncrona doblemente excitada.

A partir de potencias de más de 30 KW, generalmente acopladas a red, el generador asíncrono podría ser de velocidad variable utilizando como generadores a motores asíncronos de rotor bobinado, esta generación, también denominada como de doble excitación, trabajando en cuatro cuadrantes con regeneración a red, que permite el control electrónico de la frecuencia y potencia tanto estáticas como rotóricas [16].

Controlando la frecuencia del rotor se complementa la frecuencia de la salida estática hasta alcanzar la frecuencia sincrónica, con la amplitud de tensión en el rotor se varía la excitación y se controla la relación entre las potencias activa y reactiva generadas.

En el caso de velocidad hipersincrónica se produce una doble generación estática (nominal) y rotórica. A velocidad sincrónica la corriente en el rotor sería corriente continua y la potencia sería la nominal, a velocidad subsíncrona seguiría generando ya que el rotor absorbería energía, actuando como motor y su campo giratorio se sumaría a la rotación mecánica, dando como resultante un vector giratorio correspondiente a una generación asíncrona, la potencia generada sería la nominal menos la absorbida por el rotor.

Por lo cual aunque varíe la velocidad mecánica de la turbina dentro de unos márgenes, la máquina sigue generando a la frecuencia nominal y aprovechando toda la potencia mecánica que recibe. Este sistema es empleado en máquinas eólicas de cierto tamaño, del orden de los 630 KW [16].

Este sistema propuesto es técnicamente muy flexible y permitiría extraer hasta el último KW posible del aprovechamiento hidráulico a diferencia de las instalaciones clásicas, como por ejemplo las que tienen instaladas turbinas Francis con generador sincrónico, que poseen el punto óptimo de trabajo en el entorno de unas condiciones

muy estrictas, por lo cual durante los periodos de estiaje y semi-estiaje, o se detienen, o apenas generan energía.

1.5.2.3 Comparación entre sistemas de generación.

Tabla 1.1 Comparación entre los distintos sistemas de generación

TIPO DE GENERADOR ELÉCTRICO	NIVEL DE APLICACIÓN
Generador asíncrono de rotor de jaula de ardilla	Aplicado en la mayoría de las máquinas antiguas.
Generador asíncrono (alternador trifásico de imanes permanentes)	Aplicado en la mayoría de las máquinas aerogeneradores actuales
Generador asíncrono con rotor bobinado y sistema de conversión electrónica.	Este concepto está utilizado en máquinas de velocidad variable, siendo mayoritario su uso a medida que se incrementa la potencia de las máquinas
Generador síncrono de bajo número de polos con control de excitación y sistema de conversión electrónica	Solo algunos prototipos
Generador síncrono multipolar con control de excitación y sistema de conversión electrónica	Este concepto está utilizado en máquinas de velocidad variable, siendo mayoritario su uso a medida que se incrementa la potencia de las máquinas
Generador síncrono multipolar de imanes permanentes y sistema de conversión electrónica	Utilizado para máquinas de pequeña potencia normalmente en aplicaciones aisladas.
Generador síncrono de reluctancia conmutada	Actualmente solo en prototipos.

**CAPITULO 2: TIPOS DE GENERADORES UTILIZADOS EN LA MICRO -
HIDROGENERACIÓN**

2.1 Generador de corriente alterna asíncrono o de inducción.

La utilización de la máquina asíncrona o de inducción en generación de energía eléctrica mediante hidrogeneradores es actualmente mayoritaria

En este tipo de máquina eléctrica, el campo magnético giratorio se crea a través del estator, cuyos devanados deberán estar conectados a una fuente exterior de tensión alterna. Esta es la razón básica por la que la máquina asíncrona es consumidora de energía reactiva, ya que al ser el bobinado una carga inductiva, para generar el campo magnético consumirá corriente desfasada de la tensión [17].

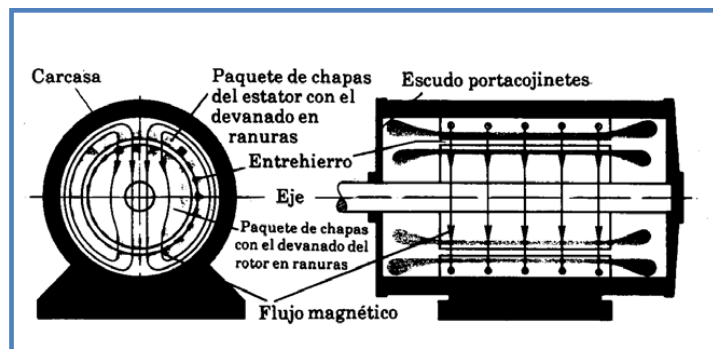


Fig. 2.1 Generador de corriente alterna asíncrona o de inducción [17]

Si partimos de una máquina asíncrona con el rotor en reposo, la acción del campo magnético giratorio sobre las bobinas de rotor induce una fuerza electromotriz en las mismas. Esta fuerza electromotriz inducida motiva el paso de corrientes por las bobinas del rotor, las cuales normalmente están cerradas en cortocircuito (máquina de jaula de ardilla) presentando apenas resistencia. El campo giratorio ejerce fuerzas sobre los conductores recorridos por una corriente eléctrica, originándose un par de giro que pone en movimiento al rotor en el mismo sentido que el campo magnético giratorio. El rotor irá girando cada vez más rápido reduciéndose la diferencia de velocidades de giro entre el campo magnético y el rotor. Al disminuir la diferencia de velocidad, las tensiones inducidas, al igual que las corrientes en el rotor decrecen llegando a ser nulas cuando el rotor alcanza casi la velocidad de rotación del campo giratorio, denominada velocidad de sincronismo.

2.1.1 Características.

Las principales características que deben tener los generadores de inducción para aplicaciones en hidrogeneradores son:

- Buen rendimiento a carga parcial.
- Buena relación potencia/peso.
- Gran capacidad de sobrecarga instantánea.
- Bajo consumo de potencia reactiva.
- Alta calidad de bobinado de los devanados especialmente en unidades de gran potencia.

2.1.2 Sistemas de velocidad variable con generador de inducción.

Un hidrogenerador con convertidor de potencia en el circuito principal puede operar de forma óptima en todo el rango de velocidades del agua.

Si el hidrogenerador opera con velocidad de rotación variable, la frecuencia eléctrica del generador varía y por lo tanto puede ser desacoplada de la frecuencia fijada por la red. Esto se realiza mediante un convertidor de frecuencia o ciclo convertidor compuesto por tres etapas.

En la primera etapa, la corriente alterna (c.a.) de frecuencia variable procedente del generador eléctrico es convertida en corriente continua (c.c.). La segunda etapa consiste en una etapa de filtrado que hace que la tercera etapa o inversor se comporte como una fuente de corriente, en la cual la corriente de salida se suaviza mediante una inductancia (bobina), o en el caso de comportarse como una fuente de tensión, las variaciones de la tensión de salida se verán suavizadas mediante una capacidad en paralelo (condensador) [17].

2.2 El alternador [25].

El alternador es un generador de corriente eléctrica que transforma la energía mecánica que recibe en su eje en energía eléctrica que sirve, en el caso de un automóvil, para cargar la batería y alimentar al sistema eléctrico del vehículo (sistema de alimentación del combustible, sistema de encendido, luces, radio, etc.).

Para el caso de interés del presente trabajo, se requiere utilizar un alternador como un generador en una pico central eléctrica, por lo tanto para escoger el tamaño del alternador se debe tomar en cuenta la carga a alimentar por el sistema. Si la demanda de energía es elevada, puede resultar conveniente sustituir el alternador por otro de mayor potencia.

Para la selección del alternador se utilizan distintos criterios, principalmente:

- La tensión del alternador
- La entrega de potencia posible en todo el margen de revoluciones.
- La corriente máxima

De acuerdo con estos datos se determinan el dimensionado eléctrico y el tamaño requerido por el alternador.

La clasificación más aplicable para los alternadores es según el número de devanados en el estator:

- Monofásicos: tienen un sólo devanado en el estator. Se utilizan en aplicaciones tanto en el hogar como en la industria (bombas, ventiladores, lavadoras, electrodomésticos en general, pequeñas máquinas-herramientas, etc.)
- Bifásicos: tienen dos devanados en el estator. Estos devanados están desfasados $\pi/(2P)$, siendo P el número de pares de polos de la máquina, en el espacio. Se suelen utilizar en aplicaciones de control de posición.
- Trifásicos: tienen tres devanados en el estator. Estos devanados están desfasados $2 \cdot \pi/(3P)$, siendo P el número de pares de polos de la máquina, en el espacio. Se suelen utilizar en aplicaciones industriales: máquinas-herramientas (tornos, cepilladoras, etc.), grúas, bombas, compresores, ventiladores, etc.

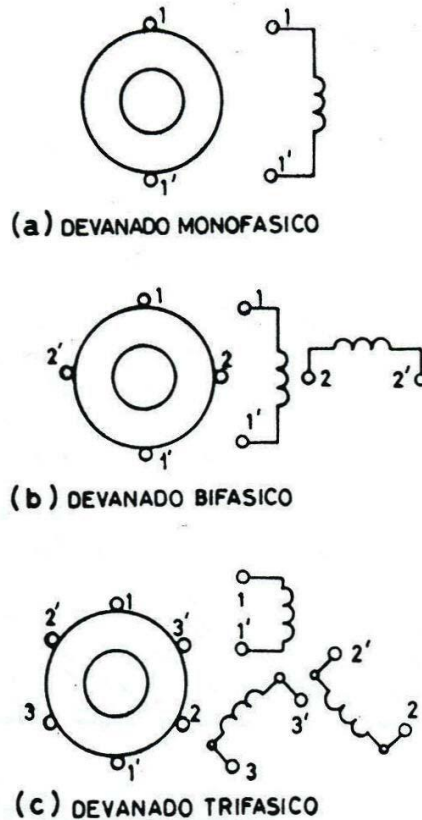


Fig. 2.2 Alternadores según el devanado del rotor [25].

2.3 Generadores síncronos multipolares con imanes permanentes.

En hidrogeneradores de pequeña potencia (hasta 12 KW) se utilizan mayormente generadores síncronos multipolares con imanes permanentes. Esto es debido principalmente a su robustez y su bajo mantenimiento, evitan el uso de cajas multiplicadoras, aunque su precio es algo mayor. Este tipo de generadores se está utilizando cada vez más en aerogeneradores de gran potencia debido a lo reducido de su peso y volumen al utilizar imanes de alto magnetismo.

Existen distintas topologías de generadores de imanes permanentes. La mayor diferencia estriba en el camino de flujo magnético. Este puede ser radial (normalmente en generadores de pequeña potencia) o axial.

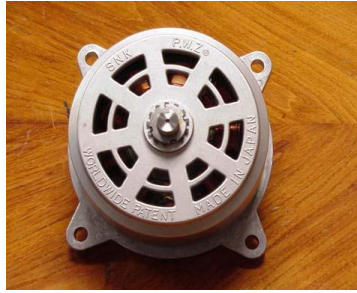


Fig. 2.3 Generador de imanes permanentes de flujo radial [17].

Los imanes giraran frente a las bobinas que componen los distintos polos e inducirán una fuerza electromotriz de frecuencia variable. El imán tenderá a alinearse con el polo, evitando cualquier variación de posición.

El cambio de alineación entre el polo y el imán provocara un par senoidal que dependerá de la geometría y de las propiedades del material. Este par, denominado de reluctancia no es deseado.

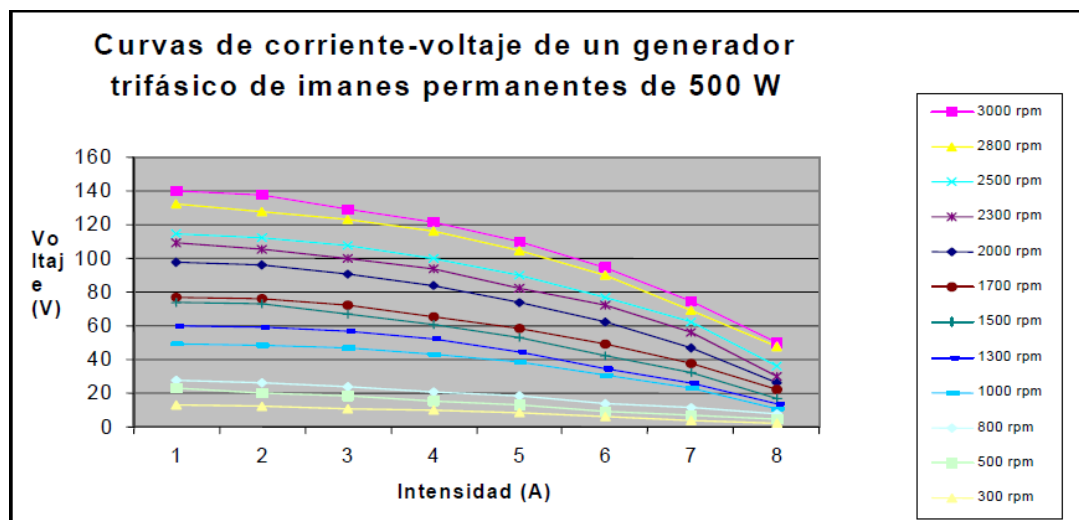


Fig. 2.4 Familia de Curvas Voltaje-Corriente para distintas revoluciones en un generador trifásico de Imanes Permanentes [17].

Es típico ver generadores de imanes permanentes de dos, de tres y de hasta seis o más fases. Sin embargo el número de imanes es mucho más flexible, desde 2 a 30 en generadores de pequeña potencia, debido a su geometría y de hasta 90 imanes en generadores de gran potencia. Hay que tener en cuenta que un mayor número de imanes ofrece un mayor par para el mismo nivel de corriente. Por otro lado, un mayor número de imanes implica un menor sitio para implementarlo. El número ideal de

imanes dependerá de la geometría del generador y de las propiedades de los materiales utilizados.

2.3.1 Análisis de los materiales de los alternadores trifásicos de imanes permanentes.

- Ferrita: Este tipo de imanes se obtienen sobre todo por sintetización. Son los más utilizados por su relación calidad/precio. Existen muchas calidades diferentes. Presentan buena resistencia a la desimantación.
- Alnico: Estos imanes están fabricados por fundición. Poseen el mejor comportamiento a temperaturas elevadas. Tienen una elevada remanencia, pero su coercitividad es bastante baja.
- Neodimio-Hierro-Boro: Son los imanes con las mejores características magnéticas existentes en la actualidad. Su comportamiento en función de la temperatura ha mejorado bastante. Se pueden utilizar para aplicaciones de hasta 150°C.
- Samario-Cobalto: Estos imanes están fabricados a partir de elementos de la familia de las tierras raras. Sus características magnéticas permiten reducir sus medidas. Su producto de energía es considerablemente elevado Tienen un comportamiento muy bueno a temperaturas elevadas.

Tabla 2.1 Materiales utilizados en la fabricación de alternadores trifásicos de imanes permanentes

Tipos de materiales	Símbolo	Remanencia (Gauss)	Pr. Energía BH max (MGOe)	Densidad (g/cm ³)	Tmax °C
Alnico	Al	6500-12500	5	7.3	425
Ferrita	Fe	2000-4000	3.7	5	250
Neodimio-Hierro-Boro	NdFeB	10500-11500	35	7.5	80-150
Samario-Cobalto	Sa-Co	9000-10500	28	8.3	250

CAPITULO 3. SELECCIÓN DEL MICRO HIDROGENERADOR PARA UN CAUDAL NO CONSTANTE.

3.1 Estudio de los canales en la provincia de Loja.

En base al estudio realizado en algunos canales de la provincia de Loja podemos determinar un caudal de referencia para la elección del microgenerador, según los datos recolectados el menor caudal que circula por un canal en la provincia de Loja es de 58 litros por segundo en época de verano. En época de invierno los canales tienden a duplicar el valor de su caudal.

Tabla 3.1 Parámetros de los canales de la Provincia de Loja

Ubicación	Ancho del Canal (cm)	Profundidad del Canal (cm)	Velocidad (m/s)	Caudal en Verano (litros/segundo)	Rugosidad del material
Sabanilla, Paltas	54	22	0,5580	66.3	0.017
Malacatos Loja (canal matriz)	220	34	0,8635	645,9	0.020
Guayabal, Catamayo	145	19	0,6447	177,6	0.017
Puente Playas Paltas	54	20	0.5384	58.2	0.017

3.1.1 Capacidad de generación de los canales de Loja según la pendiente.

La subsecretaria de riego determina que el promedio de pendiente para un canal es de 1,5 metros por mil para canales finales de riego; en el caso de canales matrices el valor depende del diseño hidráulico propuesto por el ingeniero consultor.

Tabla 3.2 Capacidad de los canales en función de la pendiente

Canal	Pendiente	Caudal
Sabanilla, Paltas	1,5 m / 1000m	66,3 litros/segundo
Malacatos, Loja (canal	1,8 m /1000m	645,9 litros/segundo

matriz)

Guayabal, Catamayo	1,5 m / 1000m	177,76 litros/segundo
Puente Playas, Paltas	1,5m / 1000m	58,2 litros/segundo

Según los valores obtenidos del caudal en los canales de la Provincia de Loja, nos permite establecer una media aproximada del caudal que circula durante todo el año.

Estableciendo en dos rangos los caudales obtenidos; el primer rango oscila entre 35 y 69 litros por segundo (caudales permanentes todo el año) y el segundo rango entre 70 y 170 litros por segundo (caudales en épocas invernales). Sin contar con caudales de canales matrices, que son muy superiores.

En base a estos valores podemos encontrar el microgenerador adecuado.

3.2 Hidrogenerador 1: alternador monofásico de imanes permanentes.

El factor crítico es el caudal de agua suficiente, El caudal es la cantidad de agua que pasa por el generador a cualquier instante, medido en litros por segundo (l / seg).

En base a los datos obtenidos podemos determinar que el siguiente micro-hidrogenerador se adapta a nuestros requerimientos.

Tabla 3.3 Modelo de hidrogenerador aplicado

NOMBRE	EMPRESA	MODELO
Low Head Micro-hydroelectric Generator	Power pal	MGH-200LH

3.2.1 Características.

3.2.1.1 Modelo mhg-200lh.

Caudal: mínimo de 35 litros por segundo; máximo 65 litros por segundo

Pendiente: 1.5 m

Tabla 3.4 Características técnicas del modelo MGH–200LH

Característica	Valor
Potencia nominal de salida	200W
Carga máxima permitida	250W
Tensión de salida	110 / 220 V~
Frecuencia de salida a potencia nominal	60 Hz
Frecuencia interna de trabajo	75 Hz
Peso	16kg
Altura	68cm
Diámetro	20cm
Generador	Alternador monofásico de imanes permanentes
Características del Rotor	NdFeB 3 pares de polos de los imanes permanentes
Tamaño del cable en el Estator	0.5mm
Controlador de carga del fusible	1.0A
Rodamientos de tamaño superior – engrasado Superior del rodamiento – sellado	2 x 6203 2
Cable Recomendado	0.50sq.mm/A
Temperatura de funcionamiento	5 to 50 ° C
Humedad de funcionamiento	0 to 90%

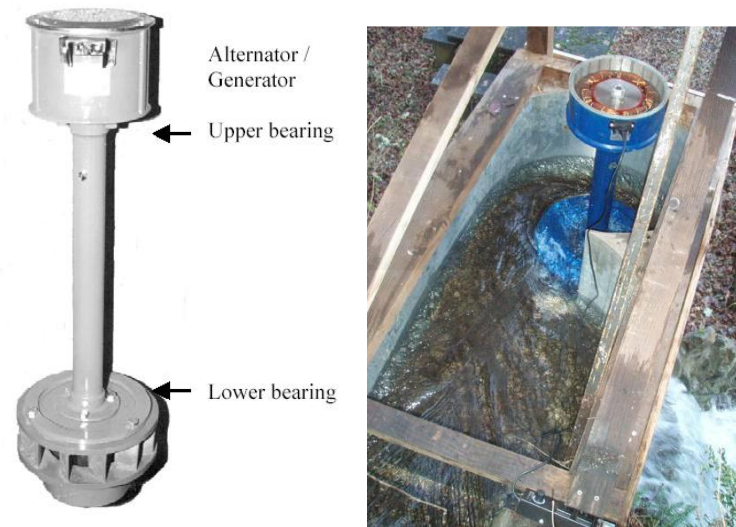


Fig. 3.1 Micro - Hidrogenerador Power Pal [20]

3.2.1.2 Modelo mhg-500lh.

Caudal: mínimo de 70 litros por segundo; máximo 100 litros por segundo

Pendiente: 1.5 m

Tabla 3.5 Características técnicas del modelo MGH-500LH

Característica	Valor
Potencia nominal de salida	500W
Carga máxima permitida	650W
Tensión de salida	110 / 220 V~
Frecuencia de salida a potencia nominal	60 Hz
Frecuencia interna de trabajo	75 Hz
Peso	32 kg
Altura	78 cm
Diámetro	30 cm

Generador	Alternador monofásico de imanes permanentes
Características del Rotor	NdFeB 3 pares de polos de los imanes permanentes
Tamaño del cable en el Estator	0.7 mm
Controlador de carga del fusible	2.5 A
Rodamientos de tamaño superior – engrasado Superior del rodamiento – sellado	2 x 6204
Cable Recomendado	0.75 sq.mm/A
Temperatura de funcionamiento	5 to 50 ° C
Humedad de funcionamiento	0 to 90%

3.2.2 Análisis del hidrogenerador.

La capacidad del caudal mínimo en un canal de la provincia de Loja según los datos recolectados es de 58 litros/ segundo lo que hace factible elegir un generador de estas características.

Calculo de Potencia y Fuerza con el caudal mínimo en la provincia de Loja

Potencia

$$P = \text{pendiente} \times \text{caudal} \times g \quad (3.1)$$

$$P = 1 \text{ m} \times 58,2 \frac{\text{litros}}{\text{seg}} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$$

$$P = 570,94 \text{ W}$$

Potencia Mecánica

$$P_m = P \times \text{Eficiencia de la turbina}^* \quad (3.2)$$

$$P_m = 570,94 \times 0,65$$

$$P_{\text{mecánica}} = 371,11 \text{ W}$$

* El valor de eficiencia citado es tomado de una turbina estándar utilizada en hidrogenación.

Potencia eléctrica

$$P_e = P_m \times \text{Eficiencia del generador} \quad (3.3)$$

$$P_e = 371,11 \times 0,67$$

$$P_{\text{eléctrica}} = 248,64 \text{ W}^*$$

* El valor de eficiencia citado es tomado de generador estándar utilizado en hidrogenación.

Presión

$$\text{Presión} = \frac{1}{2} d \times v^2 \quad (3.4)$$

$d = 1000 \text{ kg/m}^3$ (densidad a nivel del mar y 4°C de temperatura)

$v = 0,5384 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$ (velocidad del agua en el canal)

$$\text{Presión} = \frac{1}{2} 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (0,5384 \text{ m})^2$$

$$\text{Presión} = 145 \text{ Pa}$$

Fuerza

$$\text{Fuerza} = \text{Presión} \times \text{Área} \quad (3.5)$$

$$\text{Fuerza} = 110 \text{ Pa} \times 0,118 \text{ m}^2$$

$$\text{Fuerza} = 17,11 \text{ N}$$

Voltaje y frecuencia.- Dentro de los requerimientos que necesitamos en el proyecto está que el voltaje y la frecuencia mantengan valores constantes a lo largo del proceso de generación, con el valor mínimo y máximo de caudal en este caso tenemos que la salida de tensión es 110 o 220 V~, y la frecuencia 60 Hz que son los valores adecuados con los que podemos trabajar.

Potencia.- La potencia que entrega este microgenerador es de 200 W, inicialmente la propuesta fue encontrar microgeneradores de 1000 W pero con los caudales encontrados en la provincia de Loja es imposible generar dicha potencia con un solo microgenerador.

Este Micro – hidrogenerador está diseñado para funcionar sin tener en consideración caídas de agua. . El factor fundamental a tener en cuenta es el flujo de agua suficiente. El flujo de agua (caudal) es la cantidad del agua que pasa por el canal en cualquier instante, medido en litros por segundo (l/s). El segundo factor importante es la pendiente.

3.2.2.1 Rendimiento del generador con caudales no constantes.

La tabla siguiente muestra el rendimiento mínimo en caudal y pendiente para conseguir la salida de cada modelo de micro-generador

Tabla 3.6 Rendimiento para un mínimo de caudal y pendiente [20]

	MGH – 200 LH	MHG – 500 LH
Caudal (litros/segundo)	35	70
Pendiente (metros)	1.5	1.5
Potencia (Watts)	200	500

3.2.2.1.1 Rendimiento del modelo mgh-200lh.

Tabla 3.7 Rendimiento de potencia en función del caudal del modelo MGH-200LH

CAUDAL	POTENCIA	VOLTAJE	FRECUENCIA
35 litros / segundo	200 W	110 / 220	60 Hz
40 litros / segundo	208 W	110 / 220	60 Hz
45 litros / segundo	216 W	110 / 220	60 Hz
50 litros / segundo	224 W	110 / 220	60 Hz
55 litros / segundo	232 W	110 / 220	60 Hz
60 litros / segundo	240 W	110 / 220	60 Hz
65 litros /segundo	250 W	110 / 220	60 Hz
70 litros /segundo	250 W	110 / 220	60 Hz

Capacidad de generación mínimo 200 W y como máximo 250 W.

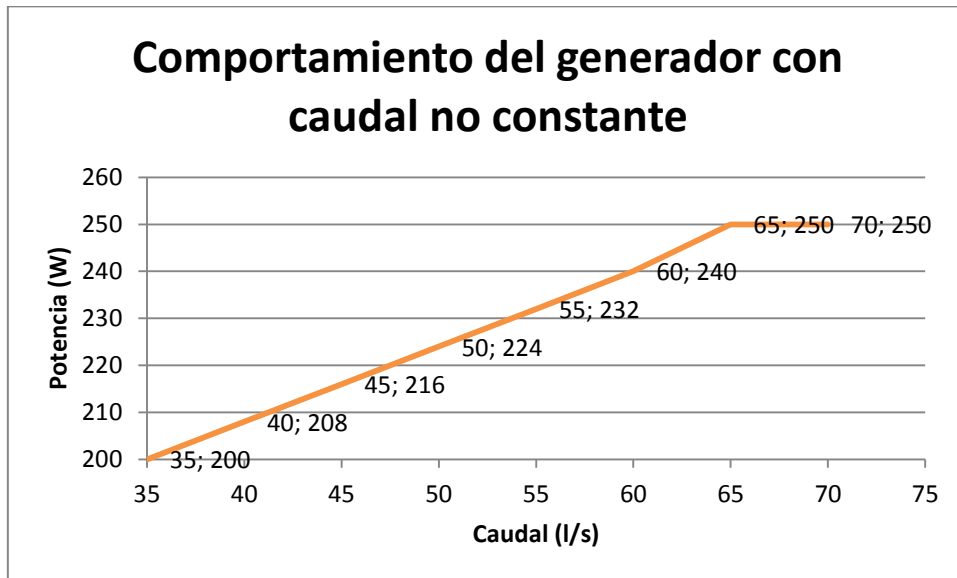


Fig. 3.2 Potencia vs caudal (MGH-200LH)

Para caudales que superen los 65 litros por segundo utilizando este generador, la potencia permanecerá constante en su valor máximo de 250 W.

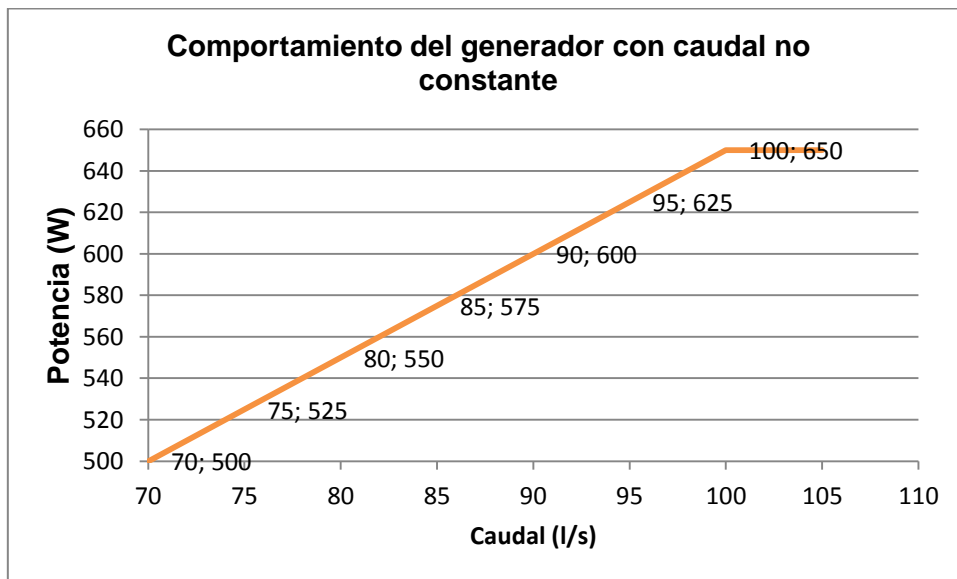
3.2.2.1.2 Rendimiento del modelo mgh-500lh.

En el caso de canales con un caudal entre 70 y 100 litros por segundo se recomienda utilizar el Modelo MHG-500LH.

Tabla 3.8 Rendimiento de potencia en función del caudal del modelo MGH-500LH

CAUDAL	POTENCIA	VOLTAJE	FRECUENCIA
70 litros / segundo	500 W	110 / 220	60 Hz
75 litros / segundo	525 W	110 / 220	60 Hz
80 litros / segundo	550 W	110 / 220	60 Hz
85 litros / segundo	575 W	110 / 220	60 Hz
90 litros / segundo	600 W	110 / 220	60 Hz
95 litros / segundo	625 W	110 / 220	60 Hz
100 litros /segundo	650 W	110 / 220	60 Hz
105 litros /segundo	650 W	110 / 220	60 Hz

Capacidad de generación mínimo 500 W y como máximo 650 W.

**Fig. 3.3** Potencia vs caudal (MGH-500LH)

Para caudales que superen los 100 litros por segundo utilizando este generador, la potencia permanecerá constante en su valor máximo de 650 W.

Medición de Flujo

El caudal puede ser calculado aproximadamente sabiendo la velocidad del agua. Esta velocidad, multiplicada por el área cruzada y seccional del canal nos dará una idea del rendimiento. Para mayor precisión se empleó el software "HCANALES", que necesita como datos la pendiente las dimensiones del canal y la rugosidad del material empleado en su construcción.

Las velocidades del agua mínimas para cada modelo son:

MHG-200LH: 0.54 m/segundos.

MHG-500LH: 0.50 m/segundos [20].

3.3 Hidrogenerador 2: alternador trifásico de imanes permanentes.

Tabla 3.9 Modelo de Hidrogenerador 2 aplicado

NOMBRE	EMPRESA	MODELO
Permanent magnet Alternator	Alxion	145STK2M

3.3.1 Principales características del alternador.

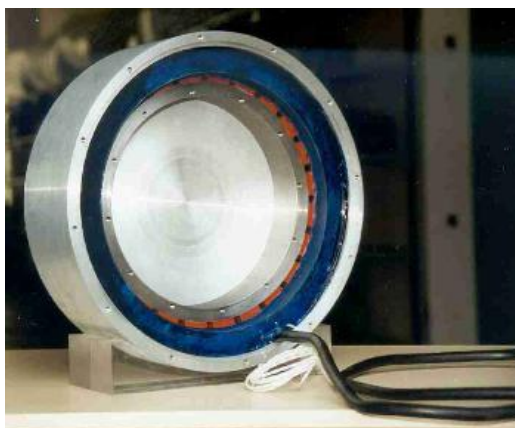
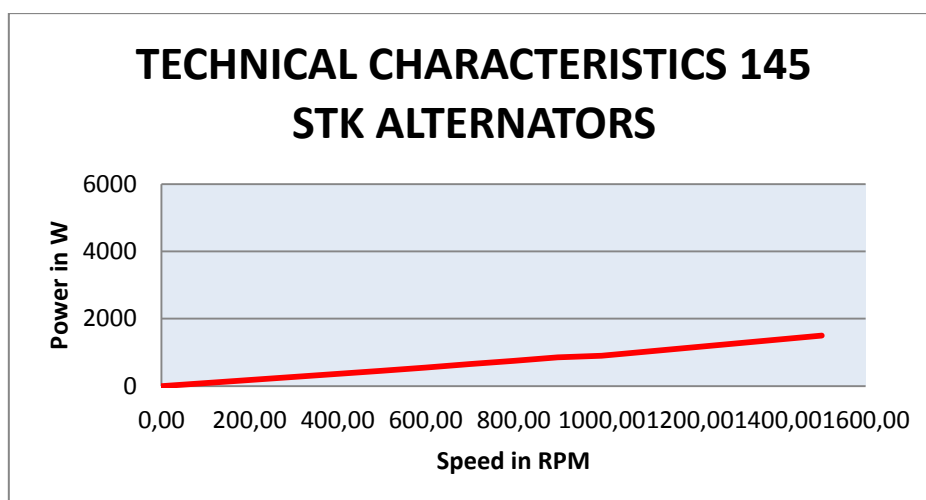


Fig. 3.4 Alternador trifásico de imanes permanentes (ALXION) [21].

Tabla 3.10 Características del Generador 145STK2M

MODELO 145STK2M	
Velocidad máxima	650 RPM
Potencia nominal	571 W
Entrada par a velocidad nominal	11 N.m
Rendimiento a potencia nominal	76 %
Voltaje nominal constante	133 V
Corriente máxima	1,4 A
Potencia a velocidad media	204 W
De entrada del par motor en la velocidad media	10 N.m
Rendimiento a velocidad media	58 %
Torque	0.2 N.m
Resistencia de fase a 20 ° C	20,7 Ohm
inductancia de fase	106,55 Mh
Fase de tensión en vacío (EMF) a 20 ° C (4)	210.5 V
Inercia del Rotor	$1,28 \cdot 10^{-3} \text{ Kg.m}^2$
Peso	6.2 kg
Cable de alimentación sección cuadrada	$4 \times 1.5 \text{ mm}^2$
Diámetro del cable de alimentación	$\varnothing 10.2 \text{ mm}$

**Fig. 3.5** Gráfica de potencia de Generador Alxion [21]

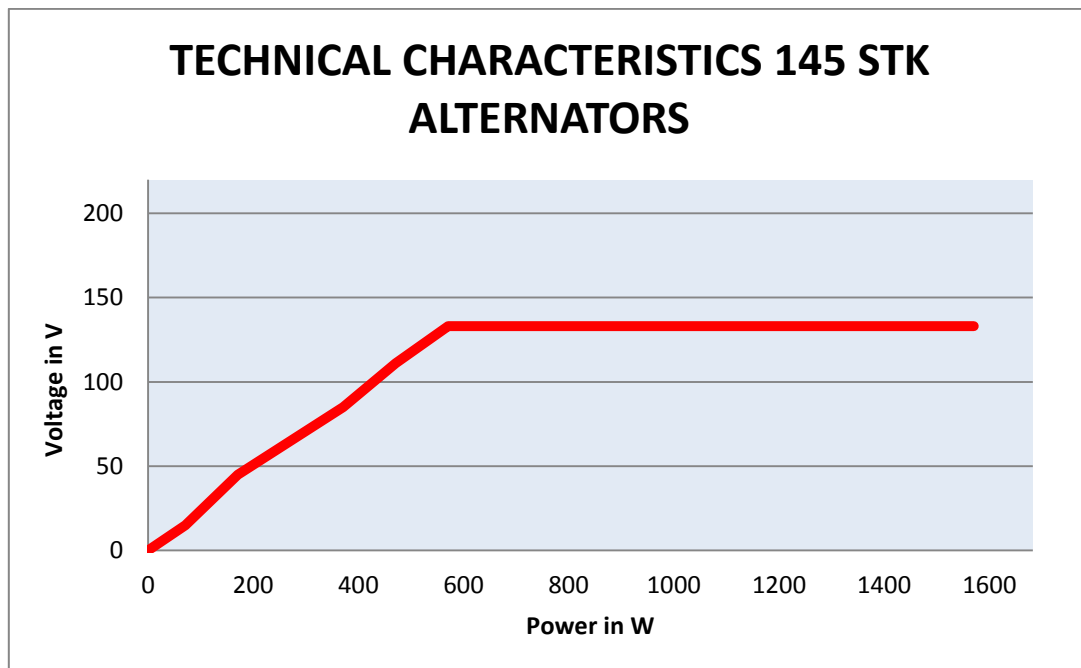


Fig. 3.6 Gráfica de Voltaje de Generador Alxion [21]

3.3.2 Análisis del alternador de imanes permanentes alxion.

Calculo de Fuerza y presión del Canal Guayabal - Catamayo

Presión

$$Presión = \frac{1}{2} d x v^2$$

$d = 1000 \text{ kg/m}^3$ (densidad a nivel del mar y 4°C de temperatura)

$h = 19 \text{ cm}$ (altura del canal)

$$Presión = \frac{1}{2} 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} x \left(0,6447 \frac{\text{m}}{\text{seg}}\right)^2$$

$$Presión = 207,81 \text{ Pa}$$

Fuerza

$$Fuerza = Presión x Área$$

$$Fuerza = 207,81 \text{ Pa} x 0,2755 \text{ m}^2$$

$$Fuerza = 57,25 N$$

Según el parámetro

Entrada del par motor a velocidad nominal	25 N.m
--	---------------

El primer paso es determinar la fuerza de avance del agua dentro del canal; el valor obtenido es de 57,25 Newton lo que es adecuado, ya que el proyecto consiste en colocar en serie microgeneradores y la fuerza es la correcta para iniciar con el proceso de microgeneración.

Potencia

La potencia de este generador es de 571 W en su estado normal de funcionamiento, la potencia puede variar aproximadamente hasta los 1000 W dependiendo de la fuerza que tenga el agua en ese instante, sin que varíen el voltaje y la frecuencia.

Voltaje

La salida del voltaje en cualquier instante es 133 V AC, es constante sin importar si la velocidad del rotor suba o baje; dicha velocidad depende de la fuerza que se le aplique a las aspas del generador, por lo tanto del caudal de agua que tengamos.

Este alternador funciona también a la mitad de la velocidad del rotor, es decir que puede existir un caudal bajo y el alternador seguirá funcionando obviamente la potencia se verá disminuida.

Los demás datos que constan en la tabla son características intrínsecas del alternador en este caso el parámetro fundamental es la fuerza que se le aplica al alternador para que empiece a funcionar.

3.3.3 Rendimiento del modelo 145stk2m.

Tabla 3.11 Rendimiento de potencia en función del caudal del modelo 145STK2M

CAUDAL	POTENCIA	VOLTAJE	FRECUENCIA
150 litros / segundo	571 W	133	60 Hz
166 litros / segundo	632 W	133	60 Hz
182 litros / segundo	693 W	133	60 Hz
198 litros / segundo	755 W	133	60 Hz

214 litros / segundo	817 W	133	60 Hz
230 litros / segundo	879 W	133	60 Hz
246 litros /segundo	941 W	133	60 Hz
262,7 litros /segundo	1000 W	133	60 Hz

Capacidad de generación mínimo 571 W y como máximo 1000 W.

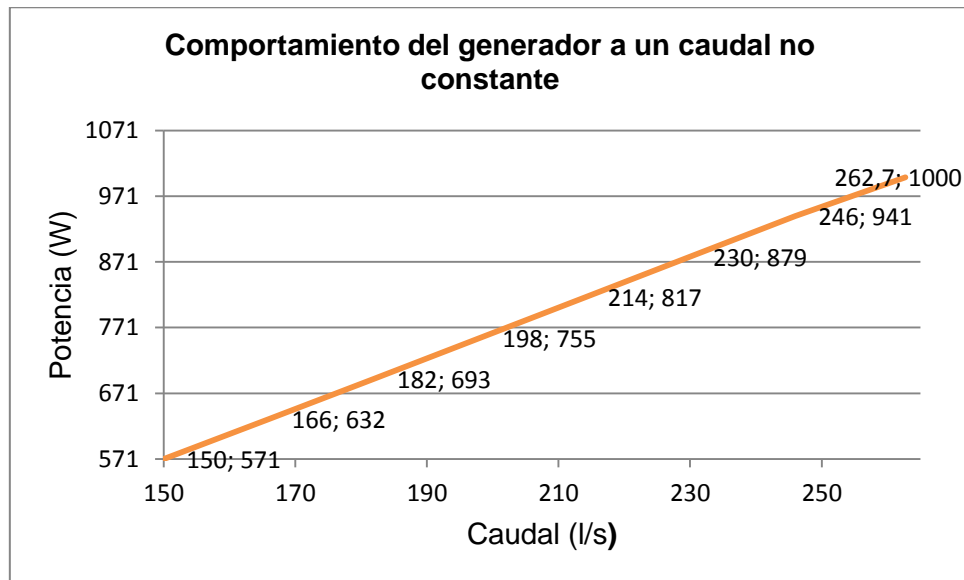


Fig. 3.7 Potencia vs caudal (145STK2M)

Para caudales que superen 265 litros / segundo se sugiere utilizar el siguiente modelo de generador, debido a que el máximo permitido es dicho valor para este generador, si supera este caudal el comportamiento del generador puede respecto a las características obtenidas en la hoja de datos.

3.4 Hidrogenerador 3: generador síncrono de imanes permanentes.

Tabla 3.12 Modelo de hidrogenerador 3

NOMBRE	EMPRESA	MODELO
Permanent magnet Generator	Ginlong Technologies	GL-PMG-1000



Fig. 3.8 Generador de imanes permanentes Ginlong

3.4.1 Características del generador.

- Potencia de salida nominal (W): 1000
- Velocidad de rotación final (RPM): 450
- Corriente continua a la salida nominal (A): 6
- Requiere Par a Potencia nominal (N.m): 31,5
- Resistencia de Fase (ohmios): 5,0
- Salida de la Plaza de la Sección cable (mm²): 600
- Longitud del cable de salida (mm): 4
- Protección: Clase H
- Generador de configuración: 3 estrellas fase de salida de CA conectado
- Peso (Kg): 15,7
- Par de arranque (NM): <0,5
- Inercia del rotor (kg.m) 2: 0,010
- Mango: Estándar
- Eje: Acero inoxidable

3.4.2 Gráficas del generador gl-pmg-1000.

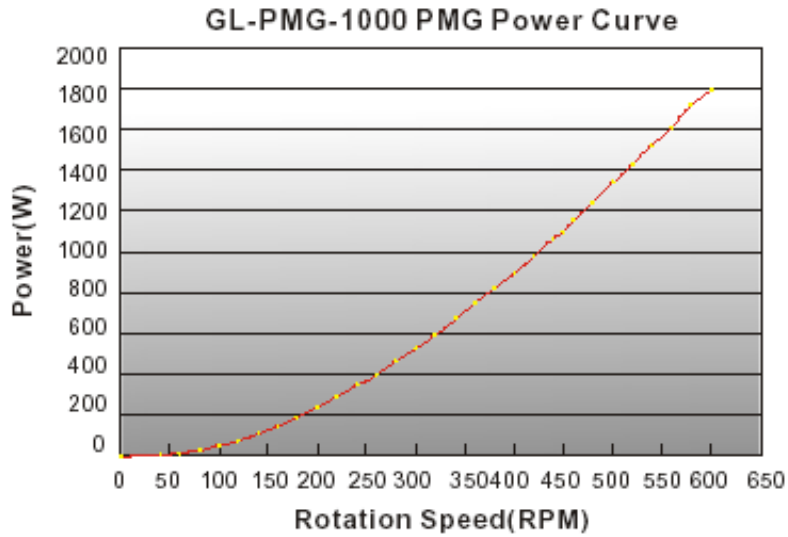


Fig. 3.9 Potencia vs velocidad de rotación [23]

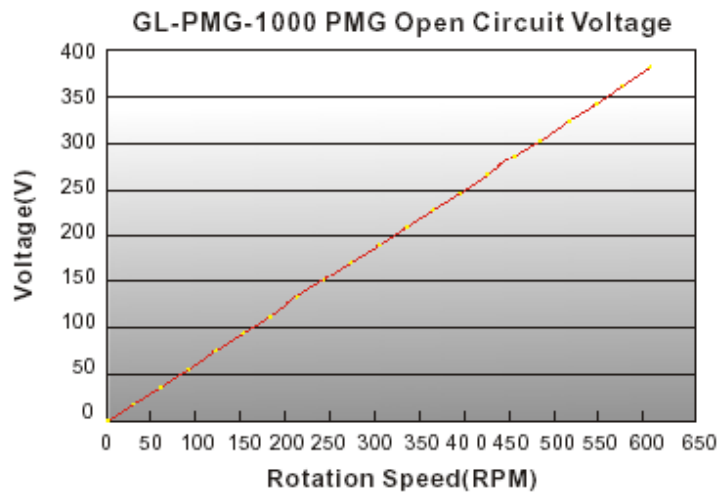


Fig. 3.10 Voltaje vs velocidad de rotación [23]

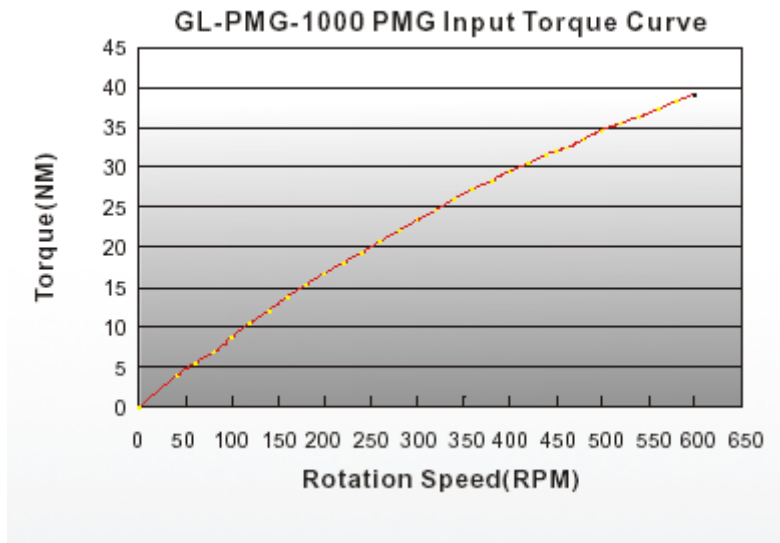


Fig. 3.11 Torque vs velocidad de rotación [23].

3.4.3 Dimensiones del generador.

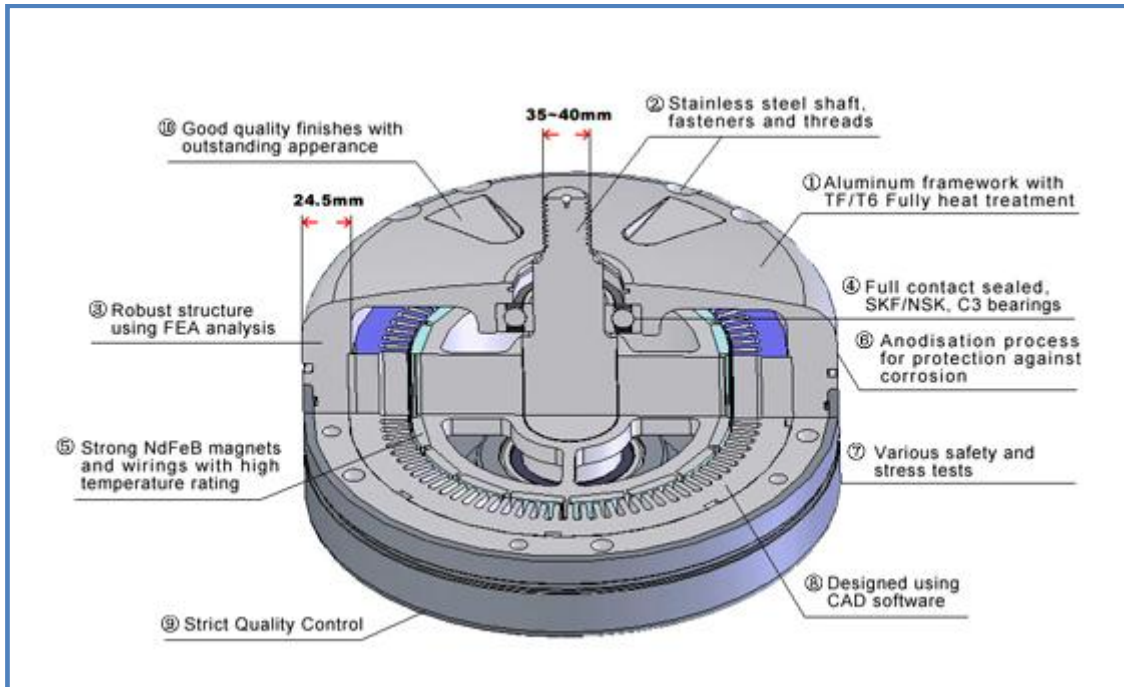


Fig. 3.12 Partes y dimensiones del generador [23]

3.4.4 Análisis del generador ginlong gl-pmg-1000.

Este generador nos presenta múltiples ventajas en casi todos los parámetros mecánicos y físicos, pero presenta deficiencias en los parámetros eléctricos, primero el voltaje no es constante y aumenta según la velocidad del rotor lo que no es conveniente para nuestro proyecto de microgeneración, este generador no trabaja a 60 Hz que es la frecuencia que estamos buscando en el microgenerador, el análisis de este generador está en función de poder comparar los datos con los generadores mencionados en este capítulo mas no es el elegido para nuestro proyecto ya que no cumple con las características que nos interesan.

3.4.5 Rendimiento del modelo gl-pmg-1000.

Tabla 3.13 Rendimiento de potencia en función del caudal del modelo GL-PMG-1000

CAUDAL	POTENCIA	VOLTAJE	FRECUENCIA
76 litros / segundo	150 W	50	Variable
103 litros / segundo	271 W	83	Variable
130 litros / segundo	393 W	116	Variable
157 litros / segundo	515 W	149	Variable
184 litros / segundo	637 W	182	Variable
211 litros / segundo	759 W	215	Variable
238 litros /segundo	881 W	248	Variable
266 litros /segundo	1000 W	280	Variable

Capacidad de generación mínimo 150 W y como máximo 1000 W.

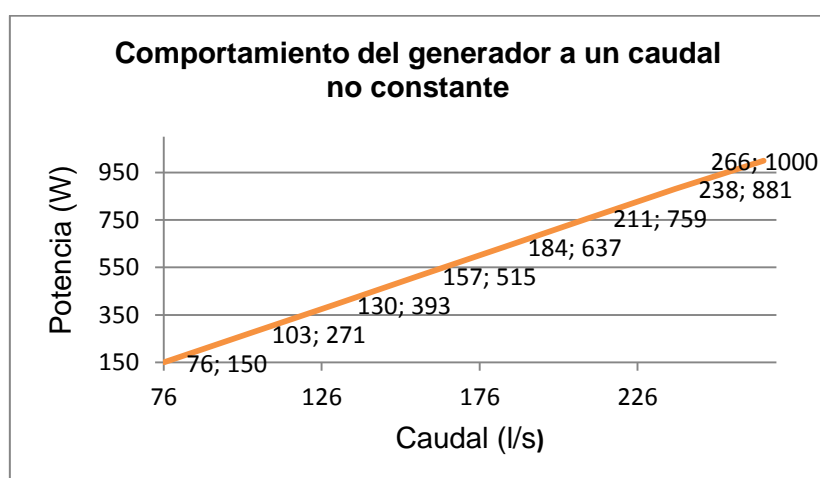


Fig. 3.13 Potencia vs caudal (GL-PMG-1000)

Las características eléctricas de este generador son variables, lo que difiere con los parámetros que se está buscando, donde dichos valores deben permanecer constantes. Debido a esto no interesa su comportamiento respecto al caudal y la potencia.

3.5 Hidrogenerador 4: alternador trifásico de imanes permanentes (moog components group).

3.5.1 Características del generador.

Tabla 3.14 Características de generador MOOG COMPONENTS GROUP

Potencia Total	1550 W
Máxima potencia Continua	945 W
Entrada del torque	6.67 N.m
Polos	22
Fricción Estática	0.0071 N.m
Numero de Fases	3
Conexión	Y
Temperatura	33 C/W
Temperatura Máxima	155
Inercia del Rotor	3.57E-04 N.m.s ²
Velocidad de Rotación	157 rad/seg
Peso	1.7 Kg
Máxima velocidad	209 rad/seg
Resistencia en DC	8.25 ohms
Corriente de rotación	6.12 amp
Corriente continua	2.30 amp
Voltaje AC	231 V
Sensibilidad del Voltaje	2.54 V
Inductancia	13 Mh

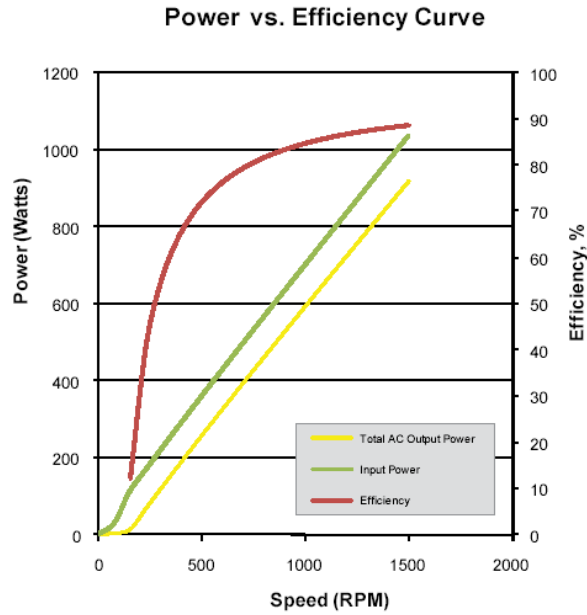


Fig. 3.14 Parámetros eléctricos del generador [22]

3.5.2 Análisis del generador moog components group.

Al igual que el generador Ginlong nos presenta múltiples ventajas casi todos los parámetros mecánicos y físicos, pero presenta las mismas deficiencias en los parámetros eléctricos, el voltaje no es constante y la frecuencia tampoco por lo tanto este generador también está descartado para nuestra aplicación.

3.5.3 Rendimiento del modelo moog components group.

Tabla 3.15 Rendimiento de potencia en función del caudal del modelo MOOG COMPONENTS GROUP

CAUDAL	POTENCIA	VOLTAJE	FRECUENCIA
42 litros / segundo	200 W	231	Variable
50 litros / segundo	306 W	231	Variable
58 litros / segundo	412 W	231	Variable
65 litros / segundo	518 W	231	Variable
73 litros / segundo	624 W	231	Variable
81 litros / segundo	730 W	231	Variable
89 litros /segundo	836 W	231	Variable
94 litros /segundo	945 W	231	Variable

Capacidad de generación mínimo 200 W y como máximo 945 W.

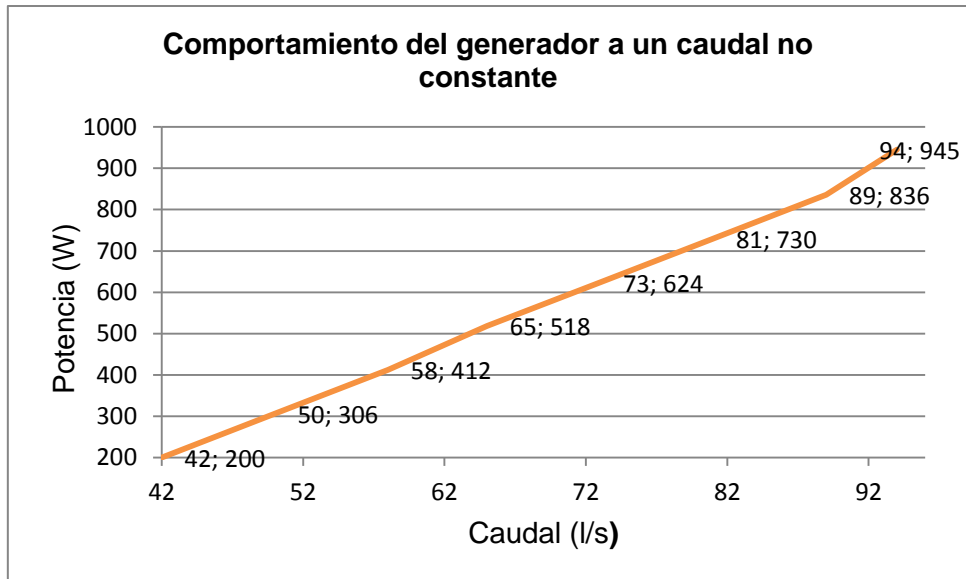















































Fig. 3.15 Potencia vs caudal (M. C. G.)

Las frecuencia este generador es variable, lo que difiere con el parámetro que se está buscando, donde este valor debe ser constante, pese a que los requerimientos respecto al caudal son adecuados no es apropiado seleccionar este generador.

3.6 Comparación entre los microgeneradores.




Tabla 3.16 Tabla comparativa de los microgeneradores.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	LOW HEAD MICRO- HYDROELECTRIC GENERATOR Modelo MGH-200LH (monofásico)	ALTERNADOR TRIFÁSICO DE IMANES PERMANENTES Alxion	GENERADOR DE IMANES PERMANENTES Ginlong	ALTERNADOR IMANES PERMANENTES Moog Components
				
Potencia nominal de salida	200 W 	571 W 	1000 W 	945 W 
Caudal (rango de 35 – 69 l/s)				
Caudal (rango de 70 – 170 l/s)				
	Modelo MGH-500LH *			
Caudal mínimo necesario	35 l/s	150 l/s	266 l/s	94 l/s
Tensión de salida	110 / 220 V~ 	133 V~ 	Variable 	231 V 
Frecuencia de salida a	60 Hz	60 Hz	Variable	Variable

potencia nominal				
Peso	16kg 	6.2 kg 	15,7 Kg 	1.7 Kg 
Controlador de carga del fusible	1.0A 	1,4 A 	6 A 	2.30 A 
Velocidad máxima	---	650 RPM 	450 RPM 	1500 RPM 
Entrada par a velocidad nominal	---	11 N.m 	5,0 Nm 	6.67 N.m 
Inercia del Rotor	---	1,28 10^{-3} Kg.m ² 	0,010 kg.m 	3.57E-04 N.m.s ² 
Resistencia de fase a 20 ° C	---	20,7 Ohm 	31,5 Ohm 	8.25 ohms 
Eficiencia	---	76%	77%	85%
Mantenimiento	Limpieza de aspas si el agua lleva residuos(hojas, palos)	15 años de vida útil	20 años de vida útil 	---

Aislamiento	---	Clase H	Clase H	---
Precio				

Tabla 3.17 Leyenda de la tabla comparativa

OBJETO	SIGNIFICADO
	Óptimo
	Regular
	Deficiente
*	Hidrogenerador para 500 Watts

CAPITULO 4. MICROGRIDS

4.1 Microgrids, la revolución de las pequeñas energías.

Las microgrids podrían suponer una pequeña revolución energética en la que, los consumidores y el medio ambiente serían los principales beneficiarios. Se trata de pequeños sistemas inteligentes de distribución eléctrica y térmica, autogestionados localmente de forma que, podrían funcionar tanto conectados a la red pública de distribución como aislados de la misma. En situaciones de fallo, los usuarios de una microgrid podrían desconectarse de la red pública, alimentando la demanda interna crítica [27].

La falta de una normativa específica, impide la generalización de las microgrids, a pesar del gran número de proyectos existentes. Se espera que cambios en la regulación del mercado eléctrico, y, el avance tecnológico de los pequeños sistemas de generación eléctrica, abran nuevas oportunidades de negocio para las distribuidoras actuales o para nuevas iniciativas relacionadas con la implantación, gestión, y, mantenimiento de microgrids [27].

En el aspecto medioambiental, las microgrids contaminan menos que los sistemas actuales de generación y distribución centralizada [27]. El uso de microgrids potenciaría la implantación de sistemas alternativos basados en energías renovables, más respetuosas con la naturaleza; pero para lograr una operación estable y segura, varios son los problemas de tipo económico, regulatorio, y, técnicos que tendrán que ser resueltos. Son especialmente sensibles la intermitencia, y, la naturaleza de dependencia climática de la generación en una microgrid.



Fig. 4.1 Esquema de un sistema microgrid

4.2 Ventajas y desventajas de los sistemas microgrid.

4.2.1 Ventajas de los sistemas microgrid.

- **Eficiencia energética.** Una adecuada planificación y operación de los elementos de generación y almacenamiento, facilitan conjugar la generación eléctrica y térmica, incrementando el rendimiento energético [28].
- **Incremento de la utilización de energías renovables.** Las microgrids facilitan la penetración de energías renovables, al controlar agregaciones de diferentes fuentes y sistemas de almacenamiento, para allanar la irregularidad temporal inherente [28].
- **Reducción de las emisiones de gas de efecto invernadero.** La elección de las tecnologías de generación y almacenamiento eléctrico y térmico más idóneas, así como, una operación que priorice los criterios de sostenibilidad, contribuyen a reducir ese tipo de emisiones [28].
- **Reducción del costo energético.** Una microgrid puede tomar parte del mercado eléctrico y proporcionar rendimiento económico, adquiriendo o suministrando energía a la red. Además, la agregación de recursos le permite participar en la provisión de servicios auxiliares a la red, como el control de frecuencia y el control de tensión [28].

- **Incremento en la seguridad del suministro.** En el caso de perturbaciones producidas en la red eléctrica de distribución, la microgrid puede desconectarse de la misma y operar de modo autónomo hasta que el problema en la red de distribución se solucione [28].
- **Minimización de las pérdidas eléctricas.** Las fuentes de generación y almacenamiento operan cerca de los puntos de consumo, de tal manera que se evitan las pérdidas de transporte y distribución de electricidad [28].

4.2.2 Desventajas de los sistemas microgrid.

- **Alto costo inicial.** La inversión requerida está muy concentrada en la fase inicial del proyecto [29].
- **Disponibilidad local.** La tecnología depende de las condiciones topográficas, hidrológicas, eólicas, solares, etc., por lo que no está disponible en cualquier sitio [29].
- **Potencia máxima.** Ésta es limitada y definida por el recurso natural disponible en un sitio, lo que reduce las posibilidades de expansión a largo plazo, para atender al crecimiento de la demanda [29].
- **Leyes y regulaciones.** A pesar de los proyectos y sus posibilidades, el concepto de microgrid no se ha generalizado y está desde hace tiempo limitado a localizaciones remotas donde la electrificación convencional no es posible. No hay barreras técnicas para la implantación de las microgrids, sino vacíos regulatorios, legislativos, y, económicos [29].

4.3 Situación actual de las microgrids.

4.3.1 Microgrids en el mundo.

Cada vez son más los países con proyectos de investigación y desarrollo en microgrids. En el mundo entero operan proyectos y consorcios ('microgrids' y 'more microgrids') que investigan, desarrollan, y, demuestran la operabilidad, control, protección, seguridad, e, infraestructura de las microgrids. Estos proyectos buscan desarrollar estrategias para que los sistemas de energía sean menos vulnerables a interrupciones costosas. Aún se deben realizar fuertes inversiones para promover las descentralizaciones, las investigaciones en estas tecnologías, y, las capacitaciones necesarias para el desarrollo de estas redes [30].

4.3.2 Proyectos de microgrids en Sudamérica.

Existen varios proyectos microgrids implementados y en operación en Sudamérica. En este apartado, se describen algunos de ellos desde la perspectiva de su réplica en la provincia de Loja.

4.3.2.1 Proyecto Floreana

La Isla Floreana (Galápagos) ha sido la primera isla de Sudamérica en implementar una microgrid eléctrica de generación solar híbrida (MGS), que permite suministrar electricidad a 200 personas, con una potencia de 21.6 KW. El voltaje generado es de 48 VDC y el de alimentación a los usuarios de 120 VAC monofásico a 60 Hz [31].

4.3.2.2 Proyecto Atahualpa

Ubicado en Cajamarca, Perú, es un proyecto comunitario de micro-hidrogenación, de 35 KW de capacidad, aprovechando un caudal de 1190,47 l/s. El voltaje entregado es de 110/220 VAC con una frecuencia 50/60 Hz [33].

4.3.2.3 Proyecto Yumahual

El proyecto de micro-hidrogenación Yumahual se encuentra ubicado al norte de Perú,

con una capacidad de 10 KW aprovechando un caudal de 340,47 litros/segundo. El voltaje entregado a los beneficiarios es de 220 VAC con una frecuencia de 60 Hz [33].

4.3.2.4 Proyecto Pedro Ruiz

El proyecto se encuentra ubicado en Perú, y, cuenta con una capacidad de 185 KW, aprovechando un caudal de 6292,51 litros/segundo. El voltaje entregado es de 220 VAC con una frecuencia de 60 Hz [33].

4.3.2.5 Proyecto Pucara

Central Pucará tiene como objetivo aprovechar los recursos hídricos de los ríos Irubamba, Sallca, y, Acco en Perú. Alberga dos unidades de generación eléctrica, con una capacidad de 200 KW, aprovechando un caudal de 6802 litros/segundo. El voltaje suministrado a los beneficiarios de proyecto es de 220 VAC con una frecuencia de 60 Hz [33].

4.3.2.6 Proyecto Jujuy

Este proyecto se desarrolla en Argentina, con el objetivo de beneficiar a los habitantes de áreas rurales muy aisladas a los que no llegan las redes de distribución de electricidad. En este proyecto se instaló 1500 paneles solares de 100 W de potencia cada uno, para generación de energía eléctrica. El proyecto Jujuy beneficia a 1900 viviendas de la localidad [34].

La Tabla 4.1, resume el análisis de la potencialidad de replicar los proyectos descritos en la provincia de Loja.

Tabla 4.1 Análisis comparativo de los proyectos microgrids en Sudamérica













































Proyecto	Atahualpa	Yumahual	Pedro Ruiz	Pucará	Floreana	Jujuy
Caudal						
Altura						
Potencia						
Voltaje						
Frecuencia						
Disponibilidad						
Mantenimiento						
Costos						

Tabla 4.2 Leyenda de la tabla de análisis comparativo

OBJETO	SIGNIFICADO
	Óptimo
	Regular
	Deficiente

4.4 Experiencias que se pueden aplicar en Ecuador en base a los proyectos de microgrid en Sudamérica.

Los proyectos de microgrid descritos en el apartado anterior, son una fuente importante de información para analizar la gestión y distribución de energía en este tipo de proyectos. Con el fin de obtener datos comparables, y, establecer la potencialidad de réplica en las condiciones técnicas y ambientales de Ecuador, se realizaron algunos cálculos complementarios con ayuda de las expresiones (1), (2), y, (3):

$$Caudal = \frac{Potencia}{pendiente \times g} \quad (1)$$

$$Presión = \frac{1}{2} d \times v^2 \quad (2)$$

$$Fuerza = Pr \times A \quad (3)$$

Por cuanto el objetivo de este trabajo es indagar sobre las potencialidades de generación de energía eléctrica a pequeña escala, sobre la base de los caudales no constantes de los canales de riego de la provincia de Loja (ver Tabla 4.2), la comparación muestra que en canal Malacatos se cumplen con las características técnicas y físicas para la implementación de un proyecto como el Yumahual.

Tabla 4.3 Información de los canales de riego de la provincia de Loja

Canal	Pendiente	Caudal
Sabanilla, Paltas	1,5 m / 1000m	66,3 litros/segundo
Malacatos, Loja (canal matriz)	1,8 m /1000m	645,9 litros/segundo
Guayabal, Catamayo	1,5 m / 1000m	177,76 litros/segundo
Puente Playas, Paltas	1,5m / 1000m	58,2 litros/segundo

Al igual que en Ecuador, en Perú también se presentan problemas en la estacionalidad de las lluvias, y, en la falta de recursos para financiar las obras civiles y mecánicas de inicio del proyecto.

El mayor aporte de la experiencia peruana, no se restringe al campo técnico, sino a la gestión social para comprometer a las comunidades en la gestión de este tipo de proyectos.

4.5 Otros aspectos de las microgrids a tomar en cuenta.

A menudo, el tamaño de una instalación de suministro eléctrico hidráulica, de viento, o, solar no es, por sí mismo, bastante para satisfacer demandas de electricidad a través del año. Por esto, o, por razones económicas, es posible considerar crear un sistema microgrid que una todas estas tecnologías. Si otra fuente de producción eléctrica está presente, esa fuente puede convertirse en un complemento de la energía del sistema microgrid [32].

Incluso en caso de que el tamaño de la central sea el correcto, es posible que exista un déficit para satisfacer la demanda estimada (largo periodo de sequía o de disminución del viento por largos periodos). Por cuanto el suministro de energía debe ser asegurado, es recomendable tener un sistema de generación que permita que la seguridad adicional haga frente a estas situaciones. Para asegurar un estado aceptable de la carga de baterías, y una extensión de su vida, una fuente de energía convencional se considera a menudo como sistema auxiliar.

La energía eólica, como la energía hidráulica, es un producto indirecto de la energía solar; por lo tanto, ambos varían extensamente con el año, teniendo elevados valores durante los meses de invierno y los valores bajos durante los meses del verano. Esta es la razón por la cual los apremios estacionales son importantes: el agua disponible se puede almacenar durante el invierno, que es perfectamente complementario a las energías eólicas que tienen su disponibilidad mínima en verano [32].

Los sistemas micro-hidroelectricidad no necesitan estar situados cerca de un río caudaloso: un pequeño flujo de agua es suficiente, a condición de que haya una corriente conveniente o una caída de agua conveniente, esto ha sido muy favorable para poder incorporar los sistemas hidroeléctricos a las microgrids especialmente en áreas rurales en donde se cuenta con canales de riego muy convenientes como para estas aplicaciones [32].

CONCLUSIONES

- El estudio realizado a los canales de la provincia de Loja nos permite establecer un máximo y mínimo caudal de agua que circula por dichos canales siendo la media aproximada de 35 a 69 litros/segundo durante todo el año y un caudal entre 70 y 170 litros/segundo sólo en invierno, en base a este promedio se procedió a establecer los microgeneradores destinados a cumplir con el objetivo de esta investigación.
- La potencia máxima que pueden generar los canales de la provincia de Loja es de aproximadamente 200 W, en un principio se estableció 1 KW pero debido a la escases de agua en los canales no se puede alcanzar esta potencia, en épocas lluviosas se podrá obtener mayor potencia pero la característica principal del clima en la provincia de Loja es de pocas precipitaciones.
- Tomando en cuenta que la energía primaria no es constante en pequeñas caídas de agua fue necesario recurrir al estudio de los microgeneradores empleados en aerogeneradores de velocidad variable por sus características técnicas bajo estas circunstancias de trabajo, obteniendo así resultados muy adecuados en comparación con lo planteado al comienzo de esta investigación.
- Los cálculos de fuerza del agua nos permitieron elegir un alternador que se emplea en los aerogeneradores ya que en los parámetros de los alternadores expresa que se requiere cierta fuerza para mover los alabes o aspas que se le ponga a generador y con ello iniciar el proceso de generación
- En base a los datos recolectados podemos aseverar que los alternadores de imanes permanentes son los idóneos para trabajar bajo circunstancias en las que la energía primaria no es constante, pudiendo determinar que los parámetros eléctricos (voltaje y frecuencia) se mantienen invariables en un intervalo bastante considerable de velocidad (en RPM) y de potencia, estos dos últimos varían respecto al caudal que se está proporcionando

- Los generadores de inducción y generadores de imanes permanentes nos proporcionan voltajes variables respecto a la velocidad de rotación del generador, al disponer de una fuente primaria de energía no constante el resultado no sería el esperado debido a que los parámetros eléctricos (voltaje y frecuencia) no permanecen constantes y dependen de la velocidad de rotación del generador.
- La mayor parte de los microgeneradores estudiados cumplen los requisitos solicitados con los parámetros físicos y mecánicos pero no cumplen con los parámetros eléctricos que son los más importantes, por lo que fueron descartados los microgeneradores que no tengan estabilidad en voltaje y frecuencia que son los parámetros eléctricos a los que se les prestó mayor interés por el objetivo de esta investigación
- En algunos casos los microgeneradores utilizan multiplicadores para disminuir el número de revoluciones por minuto y con ello obtener el punto óptimo de operación del generador, sin embargo no hemos optado por este tipo de microgeneradores debido a que la etapas multiplicadoras necesitan de mayor fuerza para accionar al rotor y los canales estudiados no disponen de suficiente fuerza para realizar este trabajo bajo estos parámetros.
- Siendo imprescindible acatar las normas expuestas por el CONELEC los microgeneradores elegidos en esta investigación cumplen con todas las características técnicas que exigen las leyes de nuestro país en lo que respecta a autogeneración y distribución de energía eléctrica.
- La elección de estos microgeneradores está ligada también a costos de mantenimiento, peso del microgenerador y su tamaño, siendo estos parámetros físicos muy importantes a la hora de elegir el microgenerador adecuado para nuestro fin.

RECOMENDACIONES

- Se debe tener en cuenta los requerimientos que el CONELEC aborda acerca de la autogeneración de energía eléctrica para pequeñas centrales hidroeléctricas, lo que servirá como guía para la elección o no de un micro – hidrogenerador que nos ayude a solucionar la problemática de un caudal no contante.
- Realizar un estudio de impacto ambiental de acuerdo a lo estipulado por el Ministerio de Ambiente en lo que respecta a autogeneración y distribución de energía eléctrica a baja escala en el caso de una futura implementación.
- Para el análisis de cada uno de los micro - hidrogeneradores se debe tomar en consideración los valores de velocidad de arranque con el fin de asegurar que con un bajo caudal se obtenga un óptimo funcionamiento del micro - hidrogenerador.
- Los fabricantes de microgeneradores no se encuentran en el país, por lo cual se recomienda tener en cuenta la información de su ubicación, costos de envío, y contactos para la adquisición de los micro – hidrogeneradores.
- Se recomienda poner énfasis en el comportamiento de los micro – hidrogeneradores en lo que respecta a las gráficas de voltaje en función de la velocidad y voltaje en función de la potencia.
- Se debe tener en cuenta las seguridades en lo que se refiere a conexiones eléctricas en la instalación del equipo, en función de los parámetros expresados en las tablas de datos de cada micro – hidrogenerador.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] Patentesonline.com. "Hidrogenerador eléctrico".
<http://www.patentesonline.com/hidrogenerador-electrico-29358ar.html>
- [2] Genergy. Generadores eléctricos.
<http://www.generadoresymaquinaria.com/catalogo.php?idca=29>
- [3] OPEXenergy Operación y Mantenimiento S.L. Generadores Síncronos y Asíncronos. Madrid - España.
http://www.opex-energy.com/eolica/generador_sincrono_y_asincrono.html
- [4] Universidad Nacional de Cuyo. Electrotecnia y máquinas eléctricas. Generador Síncrono.
www.fing.uncu.edu.ar/catedras/archivos/TPL10A_GenSincrParal.pdf
- [5] F. Milano. Máquina asíncrona o de inducción. Curso 2009/2010. Universidad de Castilla. España. www.minas.upm.es/dep/Sistemas-Energeticos/TEMA3-1.PDF
- [6] Electrónica.com Motores eléctricos. Septiembre de 2001.
http://www.oni.escuelas.edu.ar/2001/cordoba/electronica/motores_el%C3%A9ctricos.htm
- [7] 3HC centrales hidroeléctricas. Grupo hidroeléctrico, componentes. 2000.
<http://www.turbinas3hc.com/ComponentesGrupoH.html>
- [8] L. Brown, C. Flavin. "La Situación del Mundo 2000". Informe anual del worldwatch institute. Impreso en España. Mayo 2000.
- [9] ENTE. "¿Estamos cansados con los monopolios eléctricos? Una perspectiva sobre la generación distribuida."
www.localpower.org/documents/reporto_rte_perssobredg.pdf
- [10] E. Guarmoné, A. Brusa. "Energía minihidráulica. Proyecto RES & RUE Dissemination". España. 2005.

- [11] F. Maldonado. "Diseño de una turbina de río para la generación de electricidad en el distrito de Mazán – Región Loreto". Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima – Perú. 2005.
- [12] Regulación No. CONELEC - 001/08. FERUM_001_08REFOR17_07_08.
www.conelec.gov.ec
- [13] Manuales sobre energía renovable: Hidráulica a pequeña escala / Biomass Users Network (BUN-CA). 1 ed. - San José, C.R.: Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.
- [14] M. Rodríguez." Máquinas Síncronas: Potencias activa y reactiva. Pares. Estabilidad estática". Universidad de Cantabria. España.
Potencia_Estabilidad%20sincronas.pdf
- [15] R. Fernández, J. Fonseca. "Generadores y sistemas de control en micro y mini centrales hidroeléctricas de 1KW a 1MW. Universidad de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Costa Rica. 2006
- [16] R. Leidhold; G. García. "Uso de Generadores Asíncronos en Micro Centrales". Argentina.
- [17] Curso RED RIGE-UTE. "Sistemas de generación eléctrica para aerogeneradores."
http://www.ute.com.uy/empresa/entorno/Energias_Renovables/eolica/Actividad_2002/Eolica_Generadores.pdf
- [18] D. Dorado, consultor senior Proexport Colombia. "Estudio de Mercado: Consultoría para el Sector Eléctrico en Ecuador". Bogotá – Colombia 2003.
- [19] Hidrogeneración: Energía que fluye por los canales de riego. Chile, 6 de agosto de 2008. <http://www.redagricola.com>
- [20] Empresa Power Pal. <http://www.powerpal.com/lowheadmanual.pdf>

[21] Empresa Alxion. Alternador de imanes permanentes 200w a 1,5 KW
<http://www.alxion.com/products>

[22] Empresa MOOG COMPONENTS GROUP, alternadores de imán permanente
www.moog.com/components

[23] Empresa Ginnlog. Generador de imán permanente. www.ginlong.com

[24] Maquinas asincronas. Principio de funcionamiento.
http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_s%C3%ADncrona

[25] Alternator Secrets [en línea]: 1st Connect [Consulta: Octubre 2010]
<http://www.1stconnect.com/anozira/SiteTops/energy/Alternator/alternator.htm>.

[26] P. Guerrero. “Análisis de la situación actual de la gestión del sector eléctrico”.
Senplades. Mayo 2008.
http://www.senplades.gov.ec/c/document_library/get_file?uuid=ad4cb4a1-5bf8-4110-a53f-ebf3e74164e4&groupId=18607

[27] Domótica y Contadores Inteligentes (Smart Meters). 2012.
<http://fernandez-ladrondequevara-apivitoria.blogspot.com/p/microgrids.html>

[28] Energías renovables, la eólica sortea la crisis revista 545. 2008
<http://www.energias-renovables.com/ficheroenergias/productos/pdf/ConPago/Revista545.pdf>

[29] Manuales sobre energía renovable: Hidráulica a pequeña escala / Biomass Users Network (BUN-CA). 1 ed. - San José, C.R.: Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.

[30] energyspain.com Microrredes, Sistemas Energéticos del Futuro. Abril 2010.
<http://www.energy-spain.com/blog/noticias/microrredes>

[31] sites.google.com Proyecto Floreana Ecuador 2004
<https://sites.google.com/site/referenciasmicrorredes/>

[32] cie.unam.mx Integración de micro, mini y pequeños sistemas hidráulicos
septiembre 2012

http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/CursoSENER_SEP_2012/Presentacion_17_SEP_2012_VF.ppt

[33] Best Practices For Sustainable Development Of Micro Hydro Power In
Developing Countries marzo 2000

<http://www.afghaneic.org/renewable/2%20bestpractsynthe.pdf>

[34] Estudio de factibilidad para la Implementación de una pequeña central de
Hidrogenación Noviembre 2003

http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACX099.pdf

[35] Las energías renovables y su impacto social Noviembre 2008

http://www.juntadeandalucia.es/empleo/www/ces/actividades/jornadas/2008-11_jornadas_energias_alternativas_andalucia_archivos/08-11-26_jornadas_energias_alternativas_andalucia-conferencia-juan_manuel_kindelan.pdf

[36] Modelo de gestión energética para el sector productivo nacional julio 2008

http://www.uac.edu.co/images/stories/publicaciones/revistas_cientificas/prospectiva/volumen-6-no-1/4-modelo-de-gestion-v6-1.pdf

ANEXOS

ANEXO 1

Imágenes del software que determina el caudal de los canales en la provincia de Loja.

1. CANAL SABANILLA PALTAS

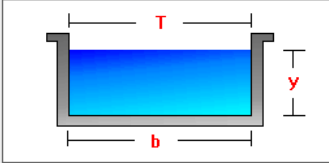
Cálculo del Caudal, sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular

Lugar: Proyecto:
 Tramo: Revestimiento:

Calculadora

Datos:

Tirante (y) : m
 Ancho de solera (b) : m
 Talud (Z) :
 Coeficiente de rugosidad (n) :
 Pendiente (S) : m/m



Resultados:

Caudal (Q) : m³/s Velocidad (v) : m/s
 Area hidráulica (A) : m² Perímetro (p) : m
 Radio hidráulico (R) : m Espejo de agua (T) : m
 Número de Froude (F) : Energía específica (E) : m-Kg/Kg
 Tipo de flujo :

Ejecutar Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal

Ingresar el nombre del Proyecto



Imágenes del Canal Sabanilla – Paltas.

2. CANAL MALACATOS, LOJA

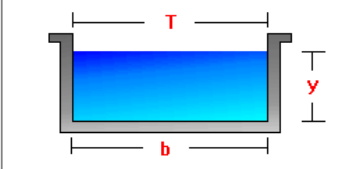
Cálculo del Caudal, sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular

Lugar: Proyecto:
 Tramo: Revestimiento:

Calculadora

Datos:

Tirante (y) : m
 Ancho de solera (b) : m
 Talud (Z) :
 Coeficiente de rugosidad (n) :
 Pendiente (S) : m/m



Resultados:

Caudal (Q) : m³/s Velocidad (v) : m/s
 Área hidráulica (A) : m² Perímetro (p) : m
 Radio hidráulico (R) : m Espejo de agua (T) : m
 Número de Froude (F) : Energía específica (E) : m-Kg/Kg
 Tipo de flujo :

Ejecutar Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal


Ejecuta las operaciones



Imágenes del Canal Malacatos – Loja.

3. CANAL PUENTE PLAYAS, PALTAS

Cálculo del Caudal, sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular

Lugar: **Puente Playas, Paltas** Proyecto: **Sistemas de Microgeneración**  Calculadora

Tramo: Revestimiento:

Datos:

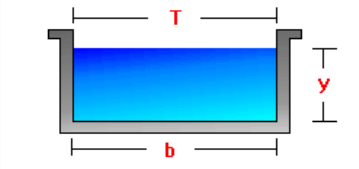
Tirante (y) : m

Ancho de solera (b) : m

Talud (Z) :

Coefficiente de rugosidad (n) :

Pendiente (S) : m/m



Resultados:





Caudal (Q) : m³/s Velocidad (v) : m/s

Area hidráulica (A) : m² Perímetro (p) : m

Radio hidráulico (R) : m Espejo de agua (T) : m

Número de Froude (F) : Energía específica (E) : m-Kg/Kg

Tipo de flujo :

 Ejecutar  Limpiar Pantalla  Imprimir  Menú Principal

Ingresar el nombre del Proyecto



Imágenes del Canal Puente-Playas, Paltas.

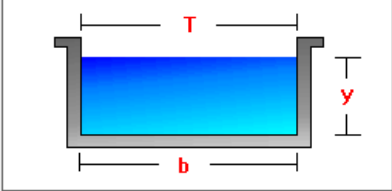
4. CANAL GUAYABAL, CATAMAYO

Cálculo del Caudal, sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular

Lugar: Guayabal, Catamayo **Proyecto:** Sistemas de Microgeneración
Tramo: ----- **Revestimiento:** -----

Datos:

Tirante (y) :	0.19	m
Ancho de solera (b) :	1.45	m
Talud (Z) :	0	
Coefficiente de rugosidad (n) :	0.017	
Pendiente (S) :	0.0015	m/m

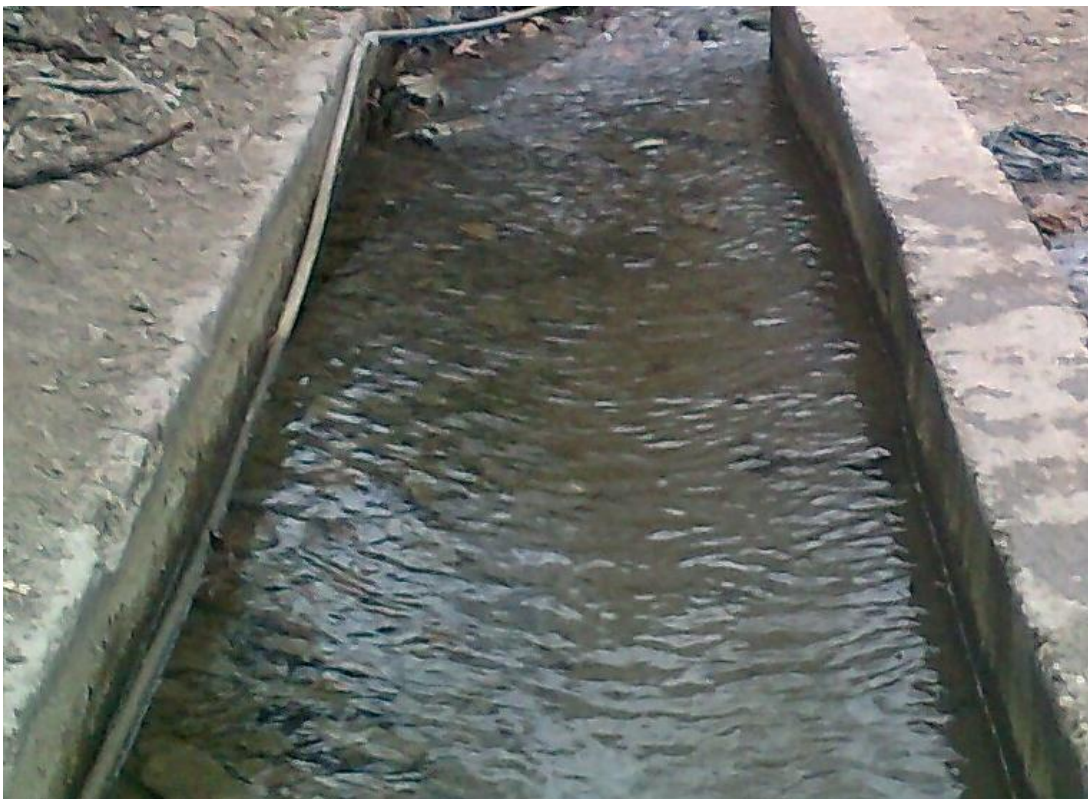


Resultados:

Caudal (Q) :	0.1776	m ³ /s	Velocidad (v) :	0.6447	m/s
Área hidráulica (A) :	0.2755	m ²	Perímetro (p) :	1.8300	m
Radio hidráulico (R) :	0.1505	m	Espejo de agua (T) :	1.4500	m
Número de Froude (F) :	0.4722		Energía específica (E) :	0.2112	m-Kg/Kg
Tipo de flujo :	Subcrítico				

Ejecutar Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal

Ingresar el Tirante (profundidad del agua en el canal)



Imágenes del canal de Catamayo.

ANEXO 2**REQUERIMIENTOS DE PLANEAMIENTO PROPUESTOS POR EL CONELEC
PUESTA EN OPERACIÓN DE INSTALACIONES DE GENERACIÓN**

En forma previa a la operación de los nuevos generadores o centrales con capacidad menor a 1 MW, se requiere la siguiente información:

- Potencia nominal del generador (MVA),
- Potencia activa nominal (MW),
- Factor de potencia nominal,
- Voltaje nominal (kV),
- Tipo: síncrono o asíncrono,
- Rango de voltaje de operación, y
- Frecuencia nominal