

2014

CARACTERIZACIÓN DE ACUMULADORES DE ENERGÍA EN EL ÁMBITO DE MICRO REDES INTELIGENTES

LEIDY JOHANNA CUCHIMAQUE LUGO

ANA MARÍA MONTAGUT GUEVARA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2014



CARACTERIZACIÓN DE ACUMULADORES DE ENERGÍA EN EL ÁMBITO DE MICRO REDES INTELIGENTES

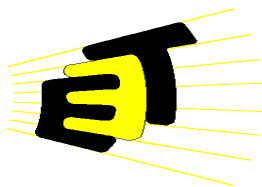
LEIDY JOHANNA CUCHIMAQUE LUGO

ANA MARÍA MONTAGUT GUEVARA

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA
ELECTRÓNICA Y ELECTRICISTA RESPECTIVAMENTE**

**DIRECTOR
MIE. MANUEL JOSÉ ORTIZ RANGEL**

**CODIRECTOR
PhD. GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2014**

DEDICATORIA

Primero que todo agradezco a Dios, por su protección y por todas las bendiciones que me ha enviado, también por haberme permitido llegar hasta este punto y gozar de buena salud ayudándome a cumplir mis objetivos y metas, con su infinita bondad y amor.

A mi madre Claudia Magally Guevara Bohórquez, por haberme apoyado incondicionalmente y en todo momento. Con su ejemplo me enseñó a crecer física, emocional y espiritualmente, te agradezco por todos y cada uno de tus invaluable consejos, tus valores, por la motivación constante, pero más que nada por tu amor desinteresado y siempre presente en mi vida. Gracias por ser la mujer integra, responsable, amorosa, independiente y valiente que amo y respeto mucho. Como modelo de perseverancia y constancia que te caracterizan, han infundado y son la base de mi desarrollo personal y profesional.

A mi hermana Diana Carolina Montagut Guevara por ser la más tierna, honesta, y generosa hermana menor que pudiera desear tener, de la y con la cual aprendí valiosas experiencias. Además de todas las aventuras que de pequeñas tuvimos que fortalecieron nuestra amistad y por el amor filial que siempre me brinda.

A mi nonita María Teresa Bohórquez de Guevara, que a pesar de estar descansando en otro mundo, me enseñó y ayudó de pequeña a sumar, restar, multiplicar y dividir, realizando y corrigiendo escalas durante mi época escolar en primaria.

A mi nonito Luis María Guevara Duarte por ser un hombre fuerte y luchador, que siempre estuvo pendiente de nosotras, por sus consejos, el cariño con el que siempre supe que contaba y cuento actualmente.

A mi familia de corazón y hermana de corazón, por el amor y la alegría que siempre tiene y contagian a todos.

A mis maestros. Por su paciencia y escucha, ayudándome y orientándome al resolver inquietudes, enriqueciendo y favoreciendo mi desarrollo profesional.

A mi amiguito del alma Álvaro Omar Durán, y al apoyo mutuo que hemos tenido durante nuestra formación profesional, y que espero que siempre, sigamos siendo amigos. A mi amiga y futura colega Leidy Cuchimaque Lugo por su trabajo, colaboración, amabilidad y amistad que me ofreció durante el desarrollo de nuestro proyecto de grado; espero que en el futuro sigamos en contacto y que todas nuestras metas sean cumplidas felizmente.

ANA MARÍA MONTAGUT GUEVARA

Dedicatoria

A Dios todopoderoso por darme la vida, todo lo que soy y lo que tengo.

A mis queridos Padres Eduardo y Leydi, quienes con su inmenso amor, Fe, paciencia, cariño, bondad, esfuerzo, comprensión y dedicación, me transmiten día a día todos aquellos valores vitales para ser una persona, lo más íntegra posible. Ellos, con su ejemplo, han hecho posible mi formación tanto moral como académica; me han enseñado la importancia del esfuerzo para lograr las metas propuestas, que sin importar los obstáculos en el camino para lograrlas, sólo con constancia, esfuerzo, dedicación y mucho amor, se pueden lograr y seguir siempre adelante.

A todos mis hermanitos que con su cariño y apoyo incondicional siempre, son mi inspiración para lograr esta meta y muchas más.

A mi compañera de proyecto Ana Montagut, por su paciencia y comprensión, las palabras de ánimo y su constante colaboración para que este trabajo se llevara a cabo lo mejor posible.

A todos y cada uno de mis amigos, compañeros y demás familiares que de alguna manera han estado presentes en mi vida y me motivan a salir adelante.

Leidy Johanna.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a nuestro Director de Proyecto MIE Manuel Ortiz por su interés y colaboración en la instrucción para el desarrollo de la presente investigación.

A nuestro Co-director PhD Gabriel Ordóñez Plata, quien siempre estuvo dispuesto a colaborarnos con su conocimiento cuando se requirió.

Gracias a nuestra alma máter, la Universidad Industrial de Santander, en la cual desarrollamos nuestra meta de llegar a ser profesionales, orgullosas de adquirir los conocimientos en el transcurso de nuestra carrera universitaria.

ACRÓNIMOS

AIE: Agencia Internacional de Energía.

BT: Sistemas de baja tensión comprendido de 11.5KV hacia abajo (230-120V).

CAES: Almacenamiento de energía con aire comprimido.

CREG: Comisión Reguladora de Energía y Gas.

DES: Indicador de Duración Equivalente de las Interrupciones del Servicio Eléctrico.

EPM: Empresas Públicas de Medellín.

FEDESARROLLO: Fundación para la educación y el desarrollo.

FES: Indicador de Frecuencia Equivalente de las Interrupciones del Servicio Eléctrico.

FNCE: Fuentes no Convencionales de Energía.

INTERAME: Asociación Interamericana de Grandes Consumidores de Energía.

MME: Ministerio de Minas y Energía.

MT: Sistemas de media tensión, comprendido entre los valores de 11.5KV a 230KV.

NTC: Norma Técnica Colombiana.

PROURE: Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás formas de Energía no Convencionales.

UNEP: *United Nations Environment Programme.*

URE: Uso racional y eficiente de la Energía.

UPME: Unidad de Planeación Nacional Minero Energética.

SMES: (*Superconducting Magnetic Energy Storage*). Acumulación de energía en bobinas electromagnéticas superconductoras.

SUI: Sistema único de información.

TES: Almacenamiento de Energía Térmica.

ISIS: Ingeniería de Sistemas Integrados.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	22
JUSTIFICACIÓN	24
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	26
1. OBJETIVOS	27
1.1. OBJETIVO PRINCIPAL	27
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
2. MARCO CONCEPTUAL	29
2.1. TÉRMINOS Y DEFINICIONES	29
3. ANTECEDENTES, MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL Y SITUACIÓN ACTUAL	31
3.1. ENERGÍA ELÉCTRICA NACIONAL	31
3.2. PRECIOS DE ENERGÍA	32
3.3. SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO: PERSPECTIVAS PARA EL 2014	34
3.4. PROCESO DE REGULACIÓN TARIFAS DE ENERGÍA	36
3.5. PARTICIPACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA	37
3.6. LA AUTOGENERACIÓN.....	38
3.7. CALIDAD Y COSTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA	41
4. ENERGÍA RENOVABLE	43
4.1. CLASIFICACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.....	44
4.2. ¿CUÁLES SON LAS PRINCIPALES VENTAJAS QUE OFRECEN HOY EN DÍA LAS ENERGÍAS RENOVABLES PARA COLOMBIA?50	
4.3. ENERGÍA SOLAR.....	52
4.4. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	55
4.5. CONVERSIÓN FOTOVOLTAICA	60
4.6. ENERGÍA EÓLICA	66
4.7. SISTEMAS EÓLICOS	69
4.8. SITUACIÓN ACTUAL EN COLOMBIA EN ENERGÍA EÓLICA	73
4.9. SISTEMAS DE GENERACIÓN HÍBRIDA	75
5. PAUTAS PARA LA EJECUCIÓN DE UN PROYECTO	78
5.1. CONCEPTO DE FACTIBILIDAD	78
5.2. ASPECTOS PARA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DE UN PROYECTO	79
5.3. ESTRUCTURA	80
5.4. FACTIBILIDAD SOCIO-OPERACIONAL	80
5.5. FACTIBILIDAD TÉCNICA	81
5.6. FACTIBILIDAD FINANCIERA	81
5.7. VIABILIDAD	82
6. SISTEMAS DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA	85

6.1.	CARACTERÍSTICAS DE ACUMULADORES ELÉCTRICOS	87
6.2.	GENERALIDADES DE LOS ACUMULADORES ELÉCTRICOS.....	89
6.3.	ALMACENAMIENTO DE LA ENERGÍA EN REDES INTELIGENTES	92
7.	IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE TECNOLOGÍAS EN ACUMULACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	98
7.1.	TIPOS DE ALMACENAMIENTO PARA ENERGÍA ELÉCTRICA	99
7.2.	LAS TÉCNICAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA PUEDEN SER CLASIFICADAS EN FUNCIÓN DE DIFERENTES CRITERIOS 100	
7.3.	CENTRALES DE BOMBEO	101
5.1.	AIRE COMPRIMIDO (CAES)	103
7.4.	VOLANTE DE INERCIA	108
7.5.	BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS	110
7.6.	ÁCIDO PLOMO	111
7.7.	METAL-AIRE	112
7.8.	SODIO- AZUFRE	113
7.9.	LITIO	115
7.10.	ION-LITIO	116
7.11.	SUPERCONDENSADORES	116
8.	MICRO-RED INTELIGENTE.....	119
8.1.	DOMÓTICA	124
8.2.	QUÉ ES UN HOGAR INTELIGENTE	126
8.3.	CONTADOR INTELIGENTE	129
9.	NORMATIVIDAD Y SOPORTE LEGAL	132
9.1.	NORMATIVIDAD PARA SISTEMAS ALTERNATIVOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	132
10.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	137
10.1.	CARACTERIZACIÓN Y RELACIÓN COSTO/BENEFICIO PARA TECNOLOGÍAS COMERCIALMENTE DISPONIBLES EN LA ACUMULACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	137
10.2.	VENTAJAS DEL USO DE COMPRESORES CAES	145
10.3.	CATÁLOGOS DE SISTEMAS DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA PARA EL SECTOR RESIDENCIAL	148
10.4.	SIMBOLOGÍA, CONEXIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CATÁLOGOS PARA ACUMULADORES DE ENERGÍA	154
10.5.	BASE DE DATOS DE PROVEEDORES INDICANDO LOS PRODUCTOS RELEVANTES DE SU OFERTA TECNOLÓGICA	156
10.6.	PROYECTOS DESTACADOS DONDE SE INDIQUEN LAS TECNOLOGÍAS UTILIZADAS Y PRESUPUESTOS DE INVERSIÓN. ...	159
10.7.	DESCRIPCIÓN DE ALMACENADORES DE ENERGÍA EMERGENTES EN LOS SISTEMAS DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	165
10.8.	CLASIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	170
10.9.	DESCRIPCIÓN, ESPECIFICACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS MÁS IMPORTANTES A TENER EN CUENTA PARA LA SELECCIÓN DE ACUMULADORES DE ENERGÍA EN UN ÁMBITO DE MICRO-RED INTELIGENTE.....	171
10.10.	RELACIONAR, RECOPIRAR Y CLASIFICAR LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN EL TRASCURSO DE LA INVESTIGACIÓN, RESALTANDO EN CADA UNO SUS PUNTOS RELEVANTES.	173
10.11.	DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN CONECTADA A UN SISTEMA HÍBRIDO Y LOS COMPONENTES INTERNOS DE LA MISMA.	175
10.12.	RECOPIACIÓN DE ARTÍCULOS TÉCNICOS O INDEXADOS	180
10.13.	USO FINAL DE LOS ACUMULADORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA	182

11. ANÁLISIS Y ESTUDIO GENERAL DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ACUMULACIÓN ENFOCADO AL SECTOR ELÉCTRICO RESIDENCIAL.....	187
12. CÁLCULOS PARA UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA Y EÓLICA.....	194
12.1. CÁLCULO DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO.....	197
12.2. CÁLCULO DE CAPACIDAD EN UNA BATERÍA	200
12.3. CANTIDAD DE PANELES SOLARES	201
12.4. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES EN UNA BATERÍA	206
12.5. CARACTERÍSTICAS DEL PANEL SOLAR	208
12.6. CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR.....	209
12.7. CARACTERÍSTICAS DEL REGULADOR	211
12.8. CARACTERÍSTICAS DEL AEROGENERADOR.....	212
12.9. TRANSFERENCIA MANUAL MEDIANTE INTERRUPTORES	216
12.10. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	217
13. CONCLUSIONES.....	222
14. SUGERENCIAS	228
BIBLIOGRAFÍA	231
ANEXOS.....	242

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Energías renovables _____	30
<i>Figura 2.</i> Esquema de transporte de energía eléctrica _____	31
<i>Figura 3.</i> Aumento anual en la demanda energética en Colombia _____	34
<i>Figura 4</i> Capacidad de Generación Proyectada _____	35
<i>Figura 5</i> Crecimiento promedio anual de capacidad instalada de diferentes fuentes renovables _____	38
<i>Figura 6</i> Evolución del número de agentes en las actividades de la cadena eléctrica 1995-2012 _____	41
<i>Figura 7</i> Precios de bolsa y contratos _____	42
<i>Figura 8</i> Esquema de fuentes renovables _____	44
<i>Figura 9</i> Características Principales Energías Renovables _____	46
<i>Figura 10.</i> Energías renovables, objetos de estudios _____	47
<i>Figura 11</i> Generación de energías en España para el año 2013 _____	48
<i>Figura 12</i> Energía solar _____	52
<i>Figura 13</i> Sistema Fotovoltaico para uso residencial. _____	55
<i>Figura 14</i> Instalación Fotovoltaica aislada a la red _____	57
<i>Figura 15</i> Componentes principales en un sistema conectado a la red. _____	58
<i>Figura 16.</i> Elementos de un sistema Fotovoltaico conectado a la red _____	59
<i>Figura 17</i> Conversión Fotovoltaica _____	61
<i>Figura 18</i> Efecto fotovoltaico en una célula solar. _____	63
<i>Figura 19</i> CURVA I-V (Intensidad de Corriente vs. Tensión de Voltaje) _____	65
<i>Figura 20</i> Intensidad de radiación dependiendo de la hora en el día. _____	66
<i>Figura 21.</i> Principales aplicaciones de la energía eólica. _____	67
<i>Figura 22</i> Partes de un aerogenerador. _____	70
<i>Figura 23.</i> Esquema interconectado híbrido _____	75
<i>Figura 24</i> Interconexión de dispositivos en un sistema híbrido. _____	77
<i>Figura 25.</i> Esquema de componentes típica de una batería. _____	88
<i>Figura 26</i> Curva de demanda energética. _____	95
<i>Figura 27.</i> Almacenamiento con Plantas de Bombeo. _____	101
<i>Figura 28.</i> Esquema de una central hidro-eólica con estación de bombeo _____	102
<i>Figura 29.</i> Esquema (vista superior y frontal) del funcionamiento en un sistema de almacenamiento por aire comprimido y alimentado con gas natural _____	104
<i>Figura 30.</i> Esquema de funcionamiento sistema CAES _____	106
<i>Figura 31</i> Disco rotatorio del cilindro de un volante de inercia _____	109
<i>Figura 32</i> Volante de inercia _____	110
<i>Figura 33</i> Batería para energía solar y eólica. _____	111
<i>Figura 34</i> Estructura interna-externa de una Batería Plomo- ácido. _____	112
<i>Figura 35</i> Batería metal-aire _____	113
<i>Figura 36.</i> Proceso dentro de una batería Sodio-Azufre _____	114
<i>Figura 37</i> Batería de Litio _____	115
<i>Figura 38</i> Batería Ión-litio _____	116
<i>Figura 39.</i> Módulo de Supercondensadores 42 V. _____	117
<i>Figura 40.</i> Componentes de una Micro-red inteligente en una residencia _____	119

<i>Figura 41. Esquema general de una micro-red inteligente a nivel residencial.</i>	120
<i>Figura 42 Conexión micro-red inteligente</i>	122
<i>Figura 43 Integración de algunos dispositivos en una casa domótica.</i>	124
<i>Figura 44 Modelo de un Hogar inteligente.</i>	127
<i>Figura 45 Contador inteligente</i>	130
<i>Figura 46. Relación tiempo de carga/descarga y la potencia.</i>	142
<i>Figura 47 Esquema de almacenamiento de energía solar y eólica en forma de aire comprimido</i>	145
<i>Figura 48. Principales características de los acumuladores CAES</i>	147
<i>Figura 49. Tomado del catálogo de acumuladores eléctricos de Hispana Solar</i>	155
<i>Figura 50. Proveedores de Acumuladores de energía.</i>	157
<i>Figura 51. Logotipos de proveedores de acumuladores de energía.</i>	158
<i>Figura 52 Diseño de un sistema de acumulación CAES</i>	160
<i>Figura: 53 Características generales en un sistema de acumulación eléctrico</i>	169
<i>Figura 54 Aspectos principales en la implementación de sistemas de acumulación de energía desde el punto de vista financiero.</i>	171
<i>Figura 55 Principales tópicos en los acumuladores de energía eléctrica.</i>	173
<i>Figura 56 Orden de ejecución del proyecto de grado⁹²</i>	173
<i>Figura 57 Partes para la construcción del plano eléctrico</i>	175
<i>Figura 58 Sistema de Conexión eléctrica interna en la vivienda.</i>	176
<i>Figura 59 Conexión de un sistema generación alternativa</i>	177
<i>Figura 60 Dispositivos necesarios en un sistema híbrido.</i>	180
<i>Figura 61 Compañías que realizan proceso de reciclaje de acumuladores de energía, y el proceso que éstas aplican para ello.</i>	183
<i>Figura 62. Tarifa vigente del consumo energético en un hogar residencial.</i>	188
<i>Figura 63 Factores medidos para el costo unitario variable.</i>	189
<i>Figura 64 Variación porcentual anual 2008-2012 en la demanda de energía en Colombia</i>	192
<i>Figura 65 Curvas de demanda energética en el día para diferentes estratos</i>	193
<i>Figura 66 Mapa radiación solar para Colombia</i>	203
<i>Figura 67. Modelo Batería para este tipo de instalaciones</i>	207
<i>Figura 68. Panel Solar</i>	208
<i>Figura 69 Inversor</i>	209
<i>Figura 70. Regulador</i>	211
<i>Figura 71 Aerogenerador Bornay 1500.</i>	213
<i>Figura 72. Kit Solar Híbrido Eólico 3000W 24V.</i>	216
<i>Figura 73. Sistema de transferencia y red local.</i>	217
<i>Figura 744 Colombia y sus zonas interconectada y no interconectadas. Cuadro resumen de inversiones entre el 2004-2010</i>	219

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Tarifas Residenciales de Energía en Países de la OCDE,</i>	36
<i>Tabla 2 Índice global de la calidad de la energía eléctrica</i>	41
<i>Tabla 3 Principales tecnologías para almacenamiento de energía eléctrica.</i>	100
<i>Tabla 4 Normas y leyes reglamentarias en Energías</i>	136
<i>Tabla 5. Resumen de tecnologías de almacenamiento de energía</i>	140
<i>Tabla 6 Tecnologías de Almacenamiento de Energía*</i>	141
<i>Tabla 7 Características adicionales en acumuladores de energía</i>	142
<i>Tabla 8 Costos de desarrollo y operación de tecnologías de acumulación de energía**</i>	143
<i>Tabla 9 Beneficios para diferentes acumuladores de energía.</i>	144
<i>Tabla 10. Características de baterías de Ciclo profundo (Plomo-Acido).</i>	148
<i>Tabla 11. Conexión de varios para acumuladores de energía eléctrica</i>	156
<i>Tabla 12. Comparación de tecnologías de acumulación de energía.</i>	167
<i>Tabla 13 Distribución fuentes de Electricidad en Colombia.</i>	189
<i>Tabla 14: Consumo de energía eléctrica por sectores en Colombia.</i>	191
<i>Tabla 15. Relación entre el estrato y el valor de consumo</i>	194
<i>Tabla 16 . Potencia de los Electrodomésticos</i>	195

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. CLASIFICACIÓN DE DISPOSITIVOS DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA ELECTROQUÍMICAS.....	244
Anexo B. TABLA DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN.....	284
Anexo C. ARTÍCULOS E INFORMACIÓN RECOPIADA.....	287
Anexo D. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS SELECCIONADOS PARA LA INSTALACIÓN ESTIMADA.....	289

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

Título:	Caracterización de acumuladores de energía en el ámbito de micro redes inteligentes.
Director	MIE. Manuel José Ortiz Rangel ¹ , majortiz@gmail.com
Codirector	DIE. Gabriel Ordóñez Plata ² , gaby.uis@gmail.com
Autor:	Ana Montagut Guevara ³ , anna.montaguth@gmail.com Leidy Cuchimaque Lugo ⁴ , ing.lady.uis@gmail.com
Modalidad:	Trabajo de Investigación.
Costo Total:	\$14.360.000.
Plazo	6 meses.
Línea Estratégica de Aporte al Desarrollo Regional:	Sistemas de Acumulación de Energía.
Programa Nacional de Ciencia y Tecnología:	Investigaciones en Energía y Minería.
Posibles Entidades Interesadas en los Resultados	<p>Aquellas entidades encargadas de la generación de energía eléctrica y sistemas de captación de energía, además de las empresas de comercialización, grandes consumidores y usuarios finales residenciales.</p> <p>Específicamente, en el caso colombiano estas entidades serían la CREG (Comisión Nacional de Regulación de Energía y Gas), la Compañía de Expertos en Mercados XM S.A. E.S.P. y empresas de generación como por ejemplo: EMGESA S.A. E.S.P., ISAGEN S.A. ESP., EPM S.A. E.S.P., entre otras.</p>

¹ Magíster en Potencia Eléctrica e Ingeniero Electricista de la Universidad Industrial de Santander (Colombia). Profesor Auxiliar adscrito a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander (Colombia).

² Doctor Ingeniero Industrial en el Área de Ingenierías Eléctrica de la Universidad Pontificia Comillas (España), Especialista en Técnicas de Investigación del Instituto de Investigación Tecnológica de la Universidad Pontificia Comillas (España), Ingeniero Electricista de la Universidad Industrial de Santander (Colombia). Profesor Titular Laureado adscrito a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander (Colombia).

³ Estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander. Código UIS 2071964.

⁴ Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad Industrial de Santander. Código UIS 2052126.

RESUMEN

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN DE ACUMULADORES DE ENERGÍA EN EL ÁMBITO DE UNA MICRO- RED INTELIGENTE*

AUTORAS: LEIDY JOHANNA CUCHIMAQUE LUGO, ANNA MARÍA MONTAGUT GUEVARA **

Palabras claves: Energías alternativas, micro-red inteligente, acumuladores eléctricos.

DESCRIPCIÓN

En este documento se analizan diferentes tecnologías disponibles en el área de la acumulación de energía eléctrica en el ámbito de una micro-red inteligente, que busquen mayor eficiencia energética, donde la generación y la acumulación de energía eléctrica son factores primordiales a nivel mundial en la continua demanda de energía. Esto es, estudiar nuevas tecnologías para mejorar el desempeño y el funcionamiento de fuentes alternativas.

Una vez indicadas las características que hacen de los acumuladores, dispositivos eléctricos con un gran aporte en el desarrollo energético, se recopila, clasifica y registra los datos necesarios más relevantes para establecer las variables del sistema concerniente al tema de acumulación energética teniendo en cuenta aspectos como: menores costos de inversión, durabilidad, aplicación, forma, tamaño, calidad, eficiencia, factibilidad, diseño, material, reacción o rapidez, fácil uso, viabilidad y seguridad, entre otros aspectos, e incluyendo los equipos y elementos que lo conforman.

En el desarrollo de la investigación se incluye la información acerca de las tecnologías en el ámbito de una micro-red inteligente para ampliar los métodos de selección e identificar proveedores de estas tecnologías, comercialmente disponibles, aplicando criterios como factibilidad, rendimiento, durabilidad, costo y cumplimiento de la normatividad colombiana. Se implementa teóricamente este tipo de tecnologías y sus aplicaciones con paneles solares y aerogeneradores, para la obtención de energía eléctrica a través de fuentes alternativas eficientes en las franjas horarias de mayor captación y demanda para clientes residenciales, tomando como principal criterio el potencial de acumulación de energía eléctrica para su reutilización.

A partir de la información recopilada se encontró que los sistemas de acumulación energéticos en un ámbito de micro-red inteligente, benefician el desarrollo del sector eléctrico nacional, presentando las ventajas que implicarían su implementación para que los usuarios cuenten con el apoyo y normativas requeridas que incentiven este tipo de proyectos.

* Proyecto de grado realizado en la modalidad Investigación

** Facultad de ingenierías físico – mecánicas. Escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones. Director: MIE. Manuel José Ortiz Rangel. Co-director: PhD. Gabriel Ordóñez Plata.

ABSTRACT

TITLE: CHARACTERIZATION OF ENERGY ACCUMULATORS IN THE CONTEXT OF A MICRO – SMART GRID*

AUTHORS: LEIDY JOHANNA CUCHIMAQUE LUGO, ANNA MARIA MONTAGUT GUEVARA**

KEYWORDS: Alternative energy, micro-smart grid, electric accumulators.

DESCRIPTION

This document outlines different technologies available in the area of the accumulation of electrical energy in the field of a smart micro-grid, for seeking greater energy efficiency, where the generation and accumulation of electrical energy are main factors globally in the continuous energy demand. This is, to study new technologies to improve the performance and the operation of alternative sources.

Once identified the characteristics that make batteries, electrical devices with a great contribution in energy development, it is collected, classified, and registered the necessary data more relevant to establish the variables of the system regarding the issue of accumulation of energy, taking into account aspects, such as: lower costs of investment, durability, application, shape, size, quality, efficiency, feasibility, design, material, reaction or speed, easy to use, viability and security, among other aspects, and including the equipment and elements that comprise it.

Into the development of this research it is included the information about the technologies in the field of a smart micro-grid to broaden the methods selection and identifying suppliers of these technologies, commercially available, by applying criteria as feasibility, performance, durability, cost and compliance with Colombian norms. Implementing theoretically this type of technologies and their applications with solar panels and wind turbines to obtain electrical energy through efficient alternative sources in the zones of increased uptake and demand for residential customers, taking the potential for accumulation of electrical energy for reuse as a main criterion.

Based on the collected information was found in a field of intelligent micro-grid energy accumulation systems, to benefit the development of the national electricity sector, presenting the advantages that would imply its implementation to ensure users with support and required regulations that encourage this type of project.

* Degree's Project developed with research purposes

** Faculty of Engineering Physical-Mechanical. School Of Electrical Engineering and Electronics And Telecommunications. Advisor: Msc. Manuel José Ortiz Rangel. Co-Advisor: PhD. Gabriel Ordóñez Plata.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas energéticos basados en fuentes renovables y tecnologías inteligentes para el análisis de cargas eléctricas, incluyen tópicos de gran expectativa y se fundamentan en razones de índole ambiental, social y económica, donde el propósito central es racionalizar los consumos energéticos para depender en menor medida de las fuentes tradicionales contaminantes y mitigar el daño causado al medio ambiente. Este objetivo se dificulta cuando se analiza la tendencia global del consumo de energía eléctrica, el crecimiento de la población, la industria y en general la dependencia que se tiene de la electricidad, para garantizar y satisfacer los requisitos de una sociedad de consumo con preferencias altamente tecnológicas.

En la actualidad, con el uso gradual de recursos renovables y fuentes alternativas de energía con menores costos financieros e impacto ambiental tolerable, y su desarrollo e implementación en el proceso de producción, acumulación y distribución de energía eléctrica, permite advertir en el mediano plazo una expectativa de demanda creciente en el campo de la industria. Es por esto, que se ha impulsado el desarrollo de estrategias de identificación y creación de tecnologías para mejorar u optimizar los procesos donde se aprovechen los excedentes de energía eléctrica, los cuales suscitan la importancia de estudiar nuevas tecnologías para mejorar el desempeño y el funcionamiento de las fuentes alternativas **[1]**.

Un aspecto clave que permite optimizar el uso de las fuentes de energía renovables es la capacidad de almacenamiento, en especial aquellos períodos o intervalos de tiempo cuando la demanda no excede la capacidad de generación,

dado el nivel de las inversiones asociadas a las tecnologías y los dispositivos que se integran para proveer sistemas funcionales y es importante garantizar el aprovechamiento nominal de la capacidad de generación de estos sistemas. Dada la naturaleza de la energía eléctrica, el almacenamiento ha significado retos importantes donde las alternativas disponibles nunca son de bajo costo e impacto ambiental, por ejemplo, una de las alternativas más difundidas es el conjunto de baterías, inversores y rectificadores que suponen costos importantes de inversión y mantenimiento, así como la necesidad de procesos adecuados del manejo y disposición final de residuos eléctricos y electrónicos como los acumuladores, paneles fotovoltaicos y componentes electrónicos.

Algunas de las dificultades inherentes en sistemas de acumulación de energía involucran altos costos de inversión, amplios espacios en la ubicación de una instalación con acumuladores eléctricos, por otro lado hay dispositivos que no garantizan una vida útil satisfactoria, es decir que la durabilidad del acumulador depende en gran parte de los continuos ciclos de carga y descarga de energía. Es posible mantener o mejorar la capacidad operativa de estos sistemas, manejando una rutina periódica que incluya los ciclos de trabajo y un mantenimiento preventivo que involucre desde la limpieza de los componentes expuestos a la radiación solar y demás condiciones atmosféricas, hasta las rutinas relacionadas en garantizar el óptimo desempeño en los componentes electrónicos sensibles.

Enfatizando la investigación en las alternativas más eficientes o de menor costo tanto en el funcionamiento, sus aplicaciones como en los procesos de reciclaje, recuperación de materias primas y elementos peligrosos para el medio ambiente, identificando nuevas aplicaciones para la acumulación de energía eléctrica por medio de compresores electrolíticos por aire comprimido. Se presenta este trabajo de grado, como una etapa exploratoria necesaria para sentar las bases de aplicaciones futuras y programas piloto que propicien la penetración de nuevas

opciones en un escenario donde las tecnologías no suponen barreras tecnológicamente importantes. [2].

Estas tecnologías, que generen ventajas y garanticen funcionalidades, destinadas principalmente al entorno residencial donde se tendrá a consideración de acuerdo al nivel de funcionalidad, algunos criterios a evaluar como lo son: la eficiencia, tamaño, capacidad de almacenamiento, vida útil, costos de inversión, calidad en su funcionamiento, tiempos de conversión, confiabilidad, durabilidad, seguridad y desempeño entre otros.

JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales ítems o estándares de la implementación de sistemas alternativos de generación de energía eléctrica en micro-redes de energía, permiten ampliar, controlar y automatizar la capacidad de obtención, abasteciendo las necesidades de una población asegurando la disponibilidad de servicio. Implementando diversos equipos y mecanismos tanto eléctricos como electrónicos, que trabajando simultáneamente permiten la producción y el uso final de la electricidad en los hogares, comercios e industrias.

El siglo XXI ha sido el pináculo del desarrollo tecnológico y centro de investigaciones del sector eléctrico a nivel mundial. En él han sobrevenido nuevos avances tecnológicos en cuanto a dispositivos de acumulación energética, éstos han ido evolucionando paulatinamente en épocas anteriores desde la invención de la primera batería, demostrando al paso de los años que su uso aporta grandes beneficios y garantías. Es por todo esto y gracias al aporte que realizan diariamente en el sector eléctrico, que incluirá en buena parte de este trabajo de grado la descripción de las propiedades inherentes al almacenamiento.

El punto central que se irá desglosando a medida que se avance en la presente investigación va dirigido y encaminado puntual, concreta y concisamente al conocimiento de las alternativas de acumulación energética, destinadas posiblemente tanto a aplicaciones residenciales como a las comerciales e industriales. Un aspecto importante a tratar, será el manejo de los sistemas acumulativos modernos, donde se vean resaltadas sus ventajas y las características para mejorar, innovar y ofrecer al público nuevas tendencias energéticas viables, enfocado únicamente al primer nivel de consumo, es decir al sector residencial.

Una vez indicadas las características y peculiaridades que hacen de los acumuladores dispositivos eléctricos de gran aporte y aliados en el desarrollo energético, se clasificarán y enumerarán de acuerdo a la cantidad, rango e importancia de ellos, es decir aquellos con mejores cualidades en cuanto acumulación, menor costos de inversión, durabilidad, aplicación, forma, tamaño, calidad, eficiencia, diseño, material a partir del cual está hecho o composición, reacción o rapidez, fácil uso, viabilidad y seguridad, entre otros aspectos.

La información recopilada se catalogará y será objeto de análisis para seleccionar la más relevante y consistente con el tema central. Una etapa posterior comprende la profundización de los componentes y las aplicaciones adoptadas en otros escenarios, para ampliar los criterios de selección e identificar proveedores de tecnologías comercialmente disponibles, considerando las características de uso de estas tecnologías y sus aplicaciones con paneles solares y aerogeneradores para micro- redes inteligentes.

Finalmente se presentará toda la información compilada a lo largo de la investigación, revistas, catálogos, artículos, entre otros portales que aporten datos sobre este proyecto. Posteriormente se clasificara toda la recopilación de "*papers*"

obtenidos, que aporten y sirvan con su contenido al propósito de este trabajo, dependiendo de las características más importantes y destacadas que cada uno presente. Una vez organizado el material extraído se analizará a través de una comparación con las tecnologías identificadas que faciliten la adopción y den soluciones con su aplicación en diferentes escenarios, de igual modo dar a conocer a personas o entidades interesadas en trabajar con energías renovables aplicadas a una micro-red inteligente, algunas bases o criterios de selección teniendo en cuenta aspectos como el económico, técnico y logístico.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El propósito de esta tesis de grado es la de proporcionar información precisa a través de los datos obtenidos, las ventajas, garantías e inconvenientes que se podría presentar durante la implementación de sistemas de acumulación en sistemas eólicos y fotovoltaicos de micro-redes inteligentes enfocándonos en el usuario final residencial. Presentando las conclusiones y resultados finales adquiridos durante toda la investigación ejecutada, incluyendo al análisis de viabilidad y factibilidad en su aplicación.

Con el fin de presentar toda la información recopilada ya clasificada, como una guía y al mismo tiempo proporcionando los posibles entornos o situaciones inherentes en la aplicación de acumuladores eléctricos a una micro-red de ámbito residencial específicamente. Ofreciendo este material como ayuda y orientación para futuras investigaciones y pruebas a pequeña, o de mayor escala en laboratorios que más adelante se deseen realizar.

A partir de esta investigación presentada se espera que sea la primera fase para que estas temáticas sean profundizadas y estudiadas en detalle a futuro,

brindándole al país mayores y mejores alternativas en el campo de la energía eléctrica y sus afines.

1. OBJETIVOS

Los objetivos trazados y ejecutados para este Trabajo de Grado se describen a continuación.

1.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Identificar y describir tecnologías relacionadas con la acumulación de energía eléctrica, aplicadas al ámbito de una micro-red interconectada cuyo propósito es aprovechar los excedentes de la energía eléctrica empleando fuentes alternativas de bajo costo para ser utilizadas en las franjas horarias de mayor demanda y tarifa.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar tecnologías comercialmente disponibles en la acumulación de energía eléctrica.
- Analizar la relación costo beneficio de las alternativas tecnológicas identificadas con énfasis en acumuladores electroquímicos y compresores CAES o de almacenamiento de energía por aire comprimido.
- Estudiar el rendimiento de los acumuladores de energía eléctrica y la viabilidad que tendría su uso en ámbitos residenciales.
- Comparar el rendimiento energético en los dispositivos de acumulación descritos, incluyendo la definición y evaluación de diversos parámetros

técnicos para estimar valores comparativos de rendimiento, eficiencia y las opciones de suministro en usuarios residenciales.

- Distinguir las tecnologías descritas, desde un punto de vista técnico y económico, incluyendo el análisis de los costos de las adecuaciones locativas y la disposición final de sus componentes, una vez se cumpla el ciclo de vida de los dispositivos de almacenamiento.
- Describir la aplicación de un sistema de acumulación enfocado al sector eléctrico residencial

2. MARCO CONCEPTUAL

A continuación se definen los conceptos claves que se utilizaron en el desarrollo de este documento.

2.1. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Definición de conceptos clave utilizados a lo largo del desarrollo de investigación y consignados en este documento con el fin de facilitar su comprensión de acuerdo al contexto del contenido del mismo.

Acumulador de energía: Batería eléctrica reversible que transforma y almacena como energía química la energía eléctrica que recibe, y que efectúa el proceso inverso durante la descarga. [3]

Celda solar: Una celda solar o celda fotovoltaica es un instrumento que genera electricidad directamente de la luz visible, debido al efecto fotovoltaico.

Eficiencia energética: Es la relación³ entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables

³ Proporción cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía.

Energía: Hace referencia a combustibles, vapor, calor, aire comprimido, electricidad.

Energía renovable: tipo de energía que se aprovecha directamente de recursos considerados como inagotables⁴.



Figura 1 Energías renovables⁵

Fotovoltaico: Material o dispositivo que convierte la energía luminosa en electricidad.

Renovable: Término utilizado para referirse a los recursos. Un recurso natural es renovable, si se considera que se repone por procesos naturales a un ritmo comparable o más rápido que su tasa de consumo por los seres humanos o de otros usuarios.

⁴ Para esta investigación se tendrá en cuenta básicamente la energía solar y la energía eólica como fuentes de generación de energía eléctrica en el ámbito de una micro-red inteligente.

⁵ Fuente: [En línea], vía web <http://www.monografias.com/trabajos61/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico/Image28021.jpg>, (8 de Febrero de 2013)

3. ANTECEDENTES, MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL Y SITUACIÓN ACTUAL

3.1. ENERGÍA ELÉCTRICA NACIONAL

El principal avance que ha tenido el modelo actual de energía eléctrica se orienta a partir de propuestas y/o proyectos de trabajo, innovación y desarrollo relacionado a investigaciones, diseños, ampliaciones, e inversiones encaminadas a impulsar, mejorar y fortalecer la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía en el sector eléctrico colombiano, beneficiando el sistema al atraer la atención e inversión privada al sector eléctrico nacional, como un sistema rentable, confiable y competitivo.

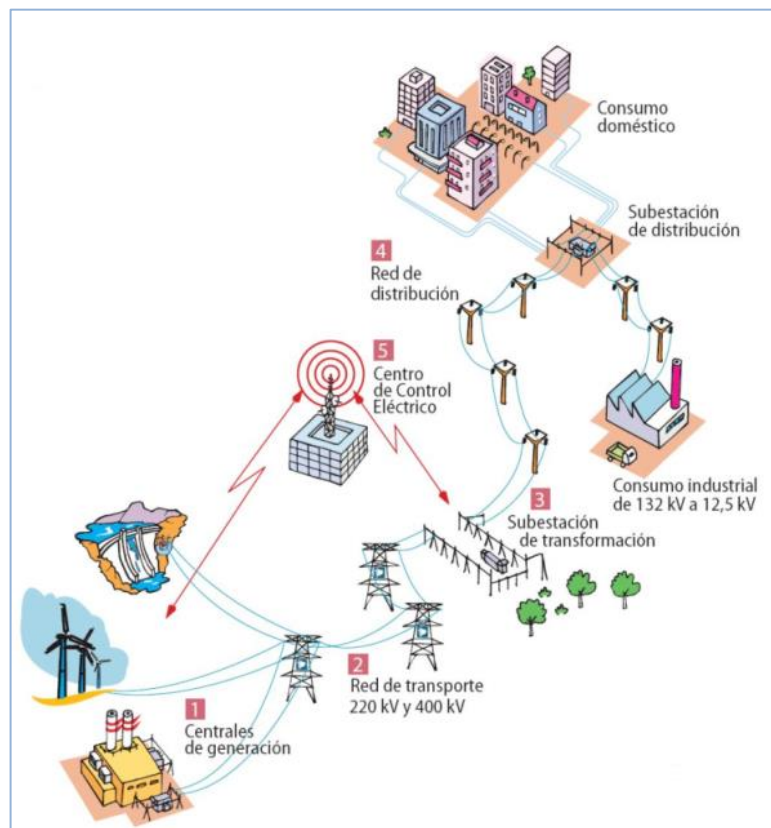


Figura 2. Esquema de transporte de energía eléctrica⁶

⁶ Fuente: <http://energeticafutura.com/blog/el-precio-de-la-electricidad-%C2%BFcomo-se-forma-su-coste/>

Al consultar y estudiar los principales logros, debilidades y propuestas del mejoramiento referente al modelo energético actual, se enfoca el análisis e investigación de adecuadas y factibles mejoras en la tarifación, con el objetivo de garantizar la capacidad y eficiencia del sistema eléctrico en Colombia, con la aplicación de mecanismos alternativos de generación, acumulación y suministro de energía, orientado finalmente a suplir las necesidades básicas del usuario residencial final.

En el cumplimiento de este trabajo, se utiliza la información que FEDESARROLLO proporciona a disponibilidad de todo público. El análisis que presenta incluye los costos de generación de energía, comparan los costos totales y la calidad en el proceso de elaboración y transmisión de electricidad. Adicionalmente se considera el costo del “Kw/h de energía” en diferentes países, como un producto diferenciador, enfatizando las diferencias entre los recursos energéticos, las distancias internas del sistema (entre las centrales y los centros de consumo), la regulación, la calidad exigida, las políticas de subsidios para la oferta y la demanda de energía, el régimen fiscal y la recuperación de los rezagos históricos en inversión. [4]

3.2. PRECIOS DE ENERGÍA

El costo de generación es establecido por el análisis efectuado en la bolsa de energía, que refleja en el comportamiento fundamental del mercado. Involucrando para su valoración los recursos hídricos disponibles, la demanda y oferta energética, además de estar involucrada la tasa de cambio en costos y la expectativa de generación, como los más importantes de mencionar.

En la determinación de los precios de producción y consumo, se considera como “eficiente” un sistema con rentabilidad satisfactoria y pérdidas mínimas, e acuerdo

al funcionamiento del mercado mayorista. Sin embargo, el precio establecido para el usuario final no es tan competitivo, por problemas asociados a la existencia de políticas y estatutos, incluidos los impuestos altos en el sector eléctrico, fueron tomadas ciertas disposiciones en la regulación de energía, que han afectado terceros componentes que se han vinculado pausadamente a la cadena energética del país y las micro-redes conectadas a está. Estas circunstancias están afectando y atrasando categóricamente, la aplicación y toma decisiones de futuras inversiones, a nivel nacional como extranjero, la intensa pero cerrada actividad productiva en Colombia sobre el uso y la producción de energía eléctrica, proporciona un impacto dañino a la competitividad de nuestro país. [4]

Es adecuado y propio indicar estas contrariedades en referencia al costo equitativo que debería tenerse entre grandes generadoras y pequeños puntos de generación mediante energías alternativas en el consumo de energía, esto propicia gran parte de proyectos e inversiones no se están desarrollando, convirtiendo imperiosamente excelentes propuestas o proyectos en trabajo no efectuado; por tanto es afecto directamente el crecimiento económico del país, con el estancamiento actual del sector productivo .

A medida que el tiempo avanza y la población crece rápidamente, se llegará a un punto en que se deban considerar y aplicar nuevas estrategias con la finalidad de abarcar toda la población, satisfaciendo la demanda creciente de energía, debido a la constante incertidumbre en precios de combustibles fósiles (limitados). El incremento en los costos, corresponde a estudios y proyectos anteriormente realizados, en épocas donde se estimó un margen de reserva más amplio y que los precios anuales estaban influenciados especialmente por las expectativas de crecimiento poblacional, antes de que la ola tecnológica llegara, abriendo un abanico con infinitas posibilidades de fácil acceso, fomentando la adquisición de dispositivos y herramientas novedosas de toda índole, allí es cuando resalta y es

notoria la incertidumbre e inadecuada preparación en la proyección de la disponibilidad energética del país, comprometiendo y afectando el continuo desarrollo, la producción y la modernización del país.

3.3. SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO: PERSPECTIVAS PARA EL 2014

Se espera que el 2014 sea más dinámico por los múltiples eventos que se observarán este año: 1) aceleración de la demanda de energía eléctrica por un repunte del consumo de los hogares y de sectores productivos como las empresas del sector industrial; 2) incremento en la capacidad de generación del SIN con la entrada de tres proyectos de generación en el 2014; 3) adjudicación de proyectos de transmisión de energía eléctrica; 4) mayores inversiones para la producción, extracción y transporte de Gas; 5) operaciones de fusión y compra de compañías en Colombia y, finalmente, 6) oportunidades de interconexiones internacionales.

A continuación se presenta un gráfico con la proyección del aumento anual energético en Colombia desde el 2009 hasta el año 2018 [4]

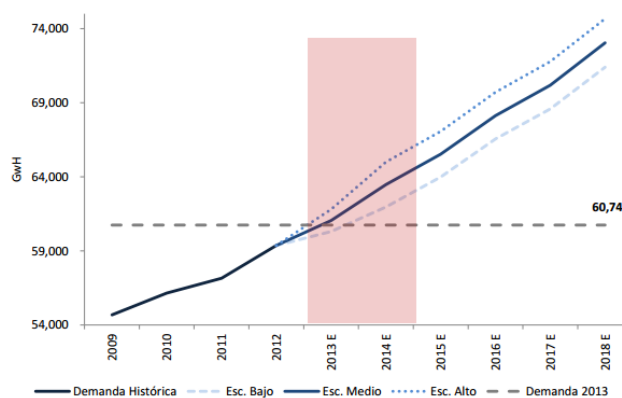


Figura 3. Aumento anual en la demanda energética en Colombia⁷

⁷ Fuente: Pronósticos UPME, Cálculos Ultrabursátiles

Para el 2014, se espera que la transmisión del estímulo monetario a la actividad económica se dé plenamente entre los últimos meses de 2013 y el primer semestre de 2014, lo cual se vería reflejado en un repunte del consumo de los hogares y de sectores productivos como las empresas del sector industrial, acelerando la demanda de energía eléctrica (Ver Gráfica 3).

Por su parte, en el negocio de transmisión de energía eléctrica, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y el Ministerio de Minas y Energía presentaron el plan de expansión de redes de transmisión de energía de alta tensión para los próximos 15 años con un portafolio de 16 proyectos por un valor de USD1.680MM, en los cuales están contempladas la construcción de más de 3.000 kilómetros de nuevas redes. El cronograma contempla que los proyectos serán adjudicados entre diciembre de 2013 y mayo de 2014, con el compromiso de entrar en operación entre el 2014 y el 2018. Por lo tanto, ISA y Empresa de Energía de Bogotá (EEB) anunciaron que participarán activamente en el proceso de convocatoria, convirtiéndose en un catalizador importante para estas empresas toda vez que obtengan las adjudicaciones para dichos proyectos. [4]

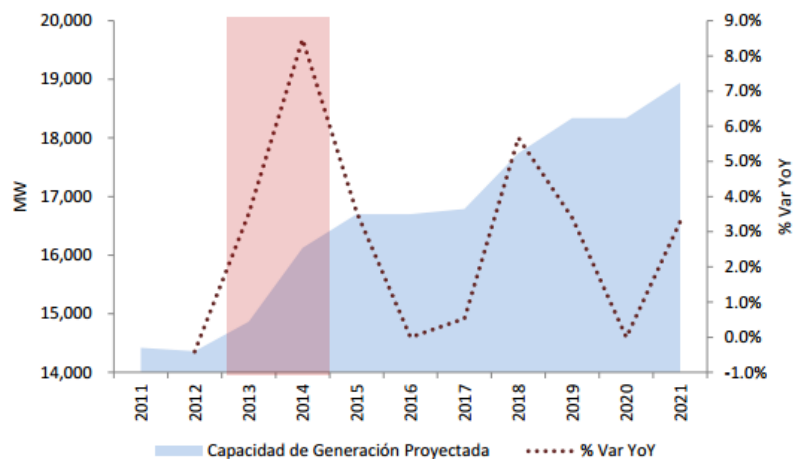


Figura 4 Capacidad de Generación Proyectada ⁸

⁸ Fuente: Fuente: UPME, XM, Compañías, Cálculos bursátiles

3.4. PROCESO DE REGULACIÓN TARIFAS DE ENERGÍA

Según el estudio desarrollado por el Programa de Transformación Productiva, en el 2012 las tarifas industriales y residenciales de Colombia estuvieron dentro del promedio de la muestra seleccionada (Ver Gráfica 7 y Tabla 4). Sin embargo, con el objeto de convertir el sector energético colombiano en uno más competitivo frente a otros mercados, el Ministerio de Minas y Energía y la ANDI crearon la Agencia de Eficiencia Energética, un camino para reducir los costos de producción y promover la competitividad del sector que ha estado a la baja en lo corrido del año. Consecuentemente, se espera que toda vez que dichas medidas no sean tomadas de forma arbitraria, existirán pocos riesgos asociados a las tarifas de energía de toda la cadena del sector. En caso contrario, dicho proceso podría perjudicar de forma importante varios agentes del mercado. [124]

País	Generación	Transmisión	Distribución	Otros	Impuestos	Cu con Tx	Cu sin Tx
Colombia	9.2	1.2	6.3	2.1	0.6	18.3	18.9
Brasil	9.0	0.8	7.0		6.9	23.7	16.8
Perú*	7.4	2.5	4.8			14.6	14.6
USA	5.5	1.1	3.1				9.6
Chile - SING	7.3		10.4			17.7	17.7
Chile - SIC	5.8		10.4			16.2	16.2
Dinamarca**	6.8	9.9			21.6	38.3	16.7
Noruega	5.7	10.7			6.6	22.9	16.3
Suecia	7.7	9.5			9.5	26.7	17.2
Finlandia	7.8	6.3			5.9	20.0	14.1

Tabla 1. Tarifas Residenciales de Energía en Países de la OCDE⁹,
Brasil, Perú y Chile en el 2012¹⁰

Da cabida el resaltar que en Colombia, el **SUI** administrado por la Superintendencia de Servicios Públicos, es aquel ente que regula la tarifa,

⁹OCDE: La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

¹⁰ Fuente: Programa de Transformación Productiva. Web : <http://www.ptp.com.co/categoria/energiaelectricabiensservicios.aspx>

indicando los costos a cobrar de acuerdo al nivel de tensión que maneje el cliente (usuario regulado o no regulado), con tarifas fijas dadas a conocer al público. **[5]**

3.5. PARTICIPACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA

Uno de los principales ítems relacionados al escaso desarrollo e implementación de modernas tecnologías de generación invertidas al sector eléctrico, es caudado inexorablemente por la misma industria colombiana, al indicar el monto y sobrecargos que debe asumir el usuario, consumidor y pequeño generador de electricidad no descontables.

De acuerdo con la información presentada, los precios totales de energía en Colombia solamente son superados por los precios obtenidos por la industria establecida en el Sistema Interconectado del Norte Grande en Chile, la cual tiene opciones como la autogeneración con venta de excedentes de energía. Los montos previstos y sugeridos para el consumo de energía son presentados por los miembros de la INTERAME¹¹. **[6]**

En cuanto a las fuentes de energía renovables no convencionales, es decir, excluyendo grandes centrales hidroeléctricas, se puede observar que en 1973 eran casi inexistentes, mientras que para 2010 contribuían con el 4% entre energía de la biomasa, geotérmica, solar y eólica, lo que, a pesar de su crecimiento, sigue siendo una participación secundaria. Sin embargo, en general todas las fuentes renovables han crecido durante los últimos años. La figura 5 muestra el comportamiento del crecimiento de la capacidad instalada de diferentes tecnologías de generación. **[125]**

¹¹ Asociación Interamericana de Grandes Consumidores de Energía

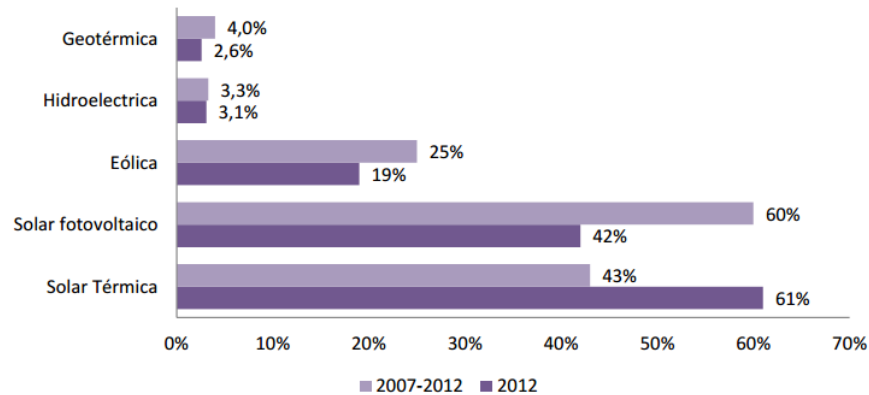


Figura 5 Crecimiento promedio anual de capacidad instalada de diferentes fuentes renovables ¹²

De acuerdo con el Renewable Energy Policy Network for the 21st Century ¹³ (REN21, 2013), las tecnologías que han presentado un mayor crecimiento tanto en 2012 como los últimos 5 años son las tecnologías de energía solar tanto fotovoltaica como solar térmica, impulsadas por un fuerte decrecimiento en los costos de las mismas. En tercer lugar se encuentra la energía eólica que a pesar de que ha presentado una reducción en su tasa de crecimiento, ha aumentado 25% su capacidad instalada en los últimos 5 años. Por otra parte, se observa que la generación hidroeléctrica tiene un crecimiento relativamente bajo, dado a que ya existe una gran capacidad instalada y por tanto aumentarla en porcentajes considerables requeriría grandes proyectos, mientras que la geotérmica no es una tecnología que tenga. [125]

3.6. LA AUTOGENERACIÓN

El estudio argumenta que en los países desarrollados, la autogeneración, la cogeneración y la generación distribuida (denominadas colectivamente autoproducción) buscan reducir la dependencia de las importaciones de una sola

¹² Fuente: www.interame.org, FEDESARROLLO y REN21 (2013)

¹³ REN21: Es una red de políticas de energía renovable global que provee liderazgo internacional para la rápida transición a la energía renovable

fuente energética primaria o de una región; impulsar el uso de energías renovables para disminuir la emisión de gases; o acomodar las preferencias del público sobre la forma de expandir el sistema de potencia. [6]

Sin embargo, considera que de manera realista, la autoproducción en países en desarrollo debería servir, ante todo, para aprovechar recursos y presionar el desempeño competitivo de la prestación existente, incluyendo los mecanismos de mercado. Por lo anterior muchas entidades y empresas de nuestro sector eléctrico han recomendado varias veces que la auto-producción de energía eléctrica se le debe aplicar una igualdad de condiciones en el mercado, y así permitir que la autogeneración pueda vender sus excedentes a la red (para que quede en pie de igualdad con la cogeneración), dar a los excedentes el mismo tratamiento que la producción dentro del mercado mayorista, eliminar las restricciones que impiden a toda forma de autoproducción transar con cualquier agente del mercado y usar métodos más simplificados de medición de los excedentes netos inyectados a la red. [8]

Posibilitando esto a su vez brindar un respaldo de la red, considerando que el mejor camino a seguir es que se posibilite a los usuarios regulados y no regulados tener sistemas de autogeneración energética y de inyectar a la red nacional energía si esta la necesitase o hayan producido un valor superior al que necesitan, pero que estos usuarios vendan la energía que han acumulado a precio de nodo (es decir al mismo valor actual nacional al que está el Kw/h. Las evidencias que se pueden considerar de ejemplo para un sistema de esta índole se puede observar considerando que puede analizarse la experiencia de otros países, en los cuales los pagos por respaldo se negocian bilateralmente [5].

En general, no solamente son oportunos los resultados del estudio, dada la situación energética que vive actualmente el país, sino que su realización

evidenció la posibilidad de trabajar simultáneamente entre los agentes suministradores de energía y los consumidores, con la condición primordial de aumentar y mejorar la competitividad del insumo eléctrico que recibe el país, dado que el mayor potencial de crecimiento del sector eléctrico está en el incremento de la demanda interna.

“Cuando se logren estos dos pilares (consolidar el sector y tener un insumo eléctrico competitivo a nivel nacional e internacional), realmente la energía eléctrica se va a constituir en el sector de clase mundial que se busca y a lo cual el Gobierno Nacional le está apostando¹⁴”

El sector eléctrico ha tenido una evolución muy importante en términos del número de agentes registrados y activos en el mercado. A diciembre 31 de 2010, participan 41 Generadores y 69 Comercializadores de energía eléctrica. Respecto a las actividades reguladas como Transmisión y Distribución, se encuentran activos en el mercado 9 Transmisores y 29 Operadores de Red o Distribuidores [7].

Como se puede ver en el Gráfico 9, este objetivo se ha cumplido pasando en el caso de la generación de 17 actores en 1995 a 44 en 2012, y en el caso de la comercialización pasando de 35 a 64 y teniendo un pico en 2008 con 73 comercializadores, este número ha decrecido debido al aumento de los requisitos y garantías para ejercer la actividad.

¹⁴ Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012

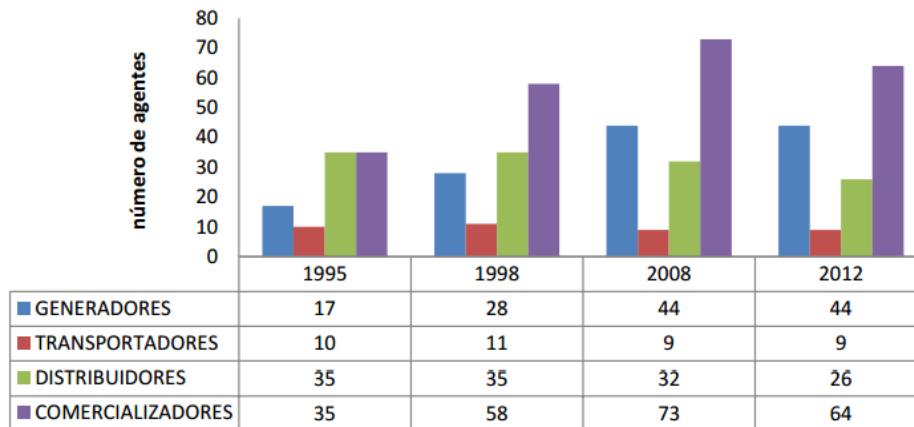


Figura 6 Evolución del número de agentes en las actividades de la cadena eléctrica 1995-2012
15

3.7. CALIDAD Y COSTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Los resultados y el estudio del Índice Global de Competitividad, del Foro Económico Mundial respecto a la calidad del insumo energético en 9 países, presenta los siguientes resultados, y con base en ellos comparar el comportamiento efectuado por diferentes países en el año 2008. [4]

País	cUS\$/kWh 2008	Posición Calidad (133 Países)	
Estados Unidos	6.88	17	Mejor precio y mejor calidad
Chile SIC	8.88	37	
Brasil	9.47	55	
Colombia	10.19	58	Mejor precio pero peor calidad
Perú	6.5	69	
México	8.78	88	
Ecuador	9.05	93	
Argentina	5.05	97	
Venezuela General	3.14	105	

Tabla 2 Índice global de la calidad de la energía eléctrica

¹⁵ Fuente: FEDESARROLLO y XM (2013)

Los resultados permiten concluir que Brasil, Chile SIC y Estados Unidos además de tener precios de energía inferiores a los de Colombia, tienen una mejor calidad en el insumo eléctrico. Mientras que Ecuador, México, Perú, Argentina y Venezuela a pesar de tener precios inferiores a Colombia, cuentan con una calidad igualmente inferior.

En el mercado de energía mayorista existen dos segmentos: mercado de contratos bilaterales (largo plazo) y la bolsa de energía (corto plazo). La energía puede ser transada en bolsa o mediante contratos bilaterales con otros generadores, comercializadores o directamente con los grandes consumidores o usuarios no regulados (aquellos cuya demanda es 100 kW o 55 MWh/mes). Adicionalmente los generadores pueden recibir un ingreso adicional por cargo por confiabilidad y por servicios auxiliares de generación. En el modelo empleado en Colombia, los contratos de compra-venta de energía entre agentes Generadores y Comercializadores son financieros y no intervienen en la formación del precio de bolsa ni en el despacho de los generadores.



Figura 7 Precios de bolsa y contratos¹⁶

¹⁶ Fuentes: FEDESARROLLO y XM 2013

4. ENERGÍA RENOVABLE

“Renovable”, término utilizado para referirse a los recursos. Un recurso natural es renovable, si se considera que se repone por procesos naturales a un ritmo comparable o más rápido que su tasa de consumo por los seres humanos o de otros usuarios. Otros sistemas que no son sólo renovables, sino también duraderos son aquellos que utilizan la radiación solar, mareas, vientos y la energía hidroeléctrica y están disponibles. **[10]**

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se tiene la eólica, la geotérmica, la hidroeléctrica, la mareomotriz, la solar, la undimotriz, la biomasa y los biocombustibles.**[11]**

La generación y consumo de energía son indicadores del progreso y bienestar de una sociedad. El concepto de "crisis energética" aparece cuando las fuentes de suministro de energía en una sociedad se agotan. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. La producción de energías renovables hoy por hoy, al mismo tiempo de ser tendencia encaminada por el fuerte y continuo avance tecnológico mundial, se puede ver también como resultado de un intento desesperado de reparar o disminuir el daño causado al medio ambiente, inculcando en la conciencia de la gente razones para proteger y preservar el ecosistema **[12]**.

4.1. CLASIFICACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Las fuentes renovables de energía pueden dividirse en dos categorías: no contaminantes o limpias y contaminantes. Entre las primeras se encuentran aquellas como las masas de agua dulce o salada (hidráulica o mareomotriz), la energía eólica, geotérmica, solar y undimotriz entre otras. [11]

El origen de todas las energías renovables son fuentes naturales como el sol, el agua, el viento y los residuos orgánicos, aunque es sin duda el sol el motor generador de todos los ciclos que dan origen a las demás fuentes. [12]

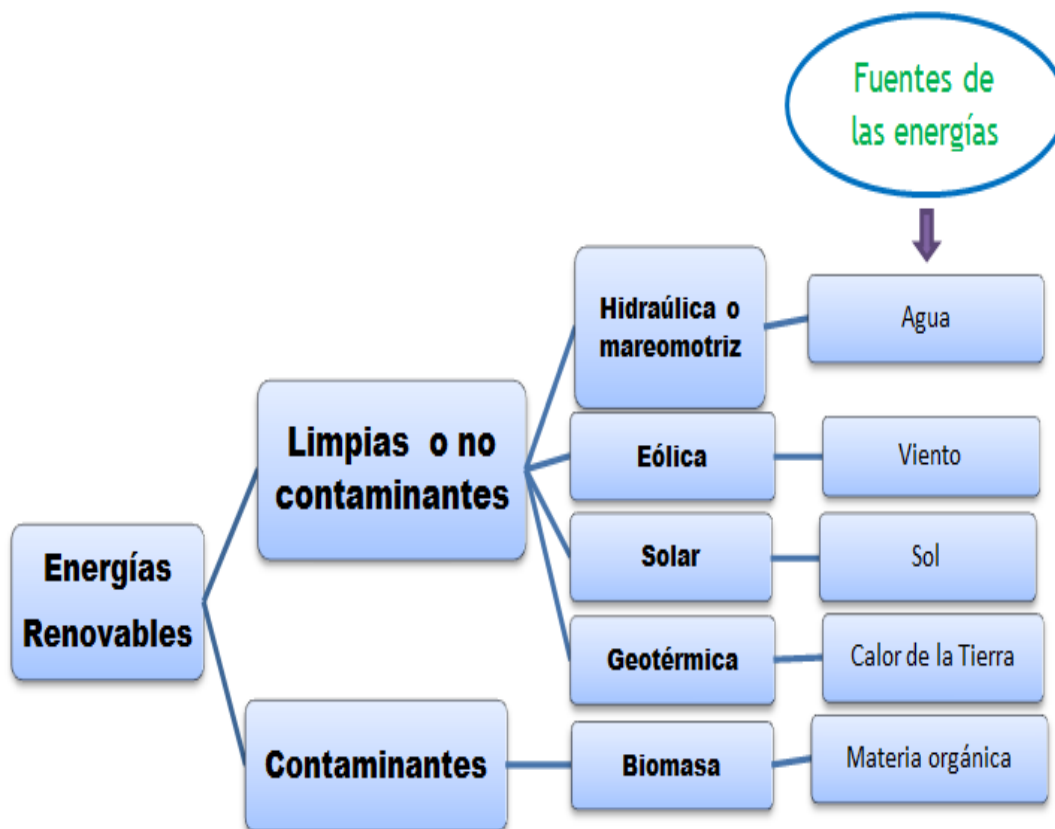


Figura 8 Esquema de fuentes renovables¹⁷

¹⁷ Fuente: Autoras

Las energías renovables se clasifican según la fuente natural de la que proceden en:

- **Energía Mini-hidráulica:** Aprovecha la energía cinética generada por las diferencias de nivel de los cursos de agua para transformarla en energía eléctrica. Este tipo de energía se considera renovable cuando su aprovechamiento se realiza con una potencia no superior a 10 MW. La energía hidráulica que supera este nivel de potencia no se considera renovable, debido al gran impacto ambiental de su emplazamiento para mayor producción.
- **Energía Eólica:** Es la que se produce a través de la energía cinética del viento transformándola en electricidad, todo ello mediante los denominados aerogeneradores cuya agrupación conforma las centrales eólicas.
- **Energía Solar:** Es una de las energías renovables por excelencia y se basa en el aprovechamiento de la radiación solar que llega a la superficie terrestre y que posteriormente es transformada en electricidad o calor.
- **Energía Geotérmica:** Aunque no se considera energía renovable en sí, es una energía procedente del calor interior de la tierra, utilizado para su conversión en electricidad y para aprovechamientos térmicos.
- **Biomasa:** Es un combustible formado por materia orgánica renovable de origen vegetal resultante de procesos de transformación natural o artificial en residuos biodegradables o cultivos energéticos¹⁸.

Las energías de fuentes renovables contaminantes tienen el mismo problema que la energía producida por combustibles fósiles, en la combustión se emite dióxido de carbono que a menudo son aún más contaminantes puesto que la combustión parcial produce gran emisión de hollín y de otras partículas sólidas tóxicas

¹⁸ Cultivos energéticos: serie de especies vegetales cuya cosecha se dedica a la producción de energía.

suspendidas en el aire. Se encuadran dentro de las energías renovables porque mientras puedan cultivarse los vegetales que las producen, no se agotarán [13].

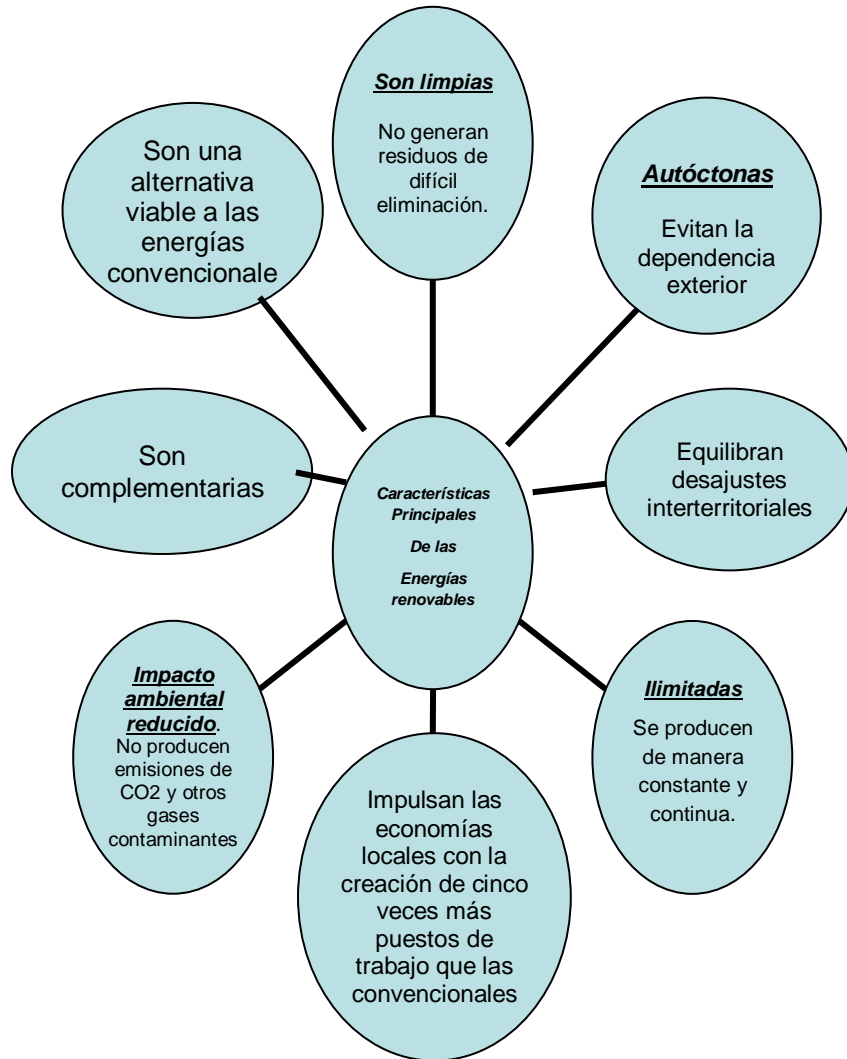


Figura 9 Características Principales Energías Renovables¹⁹

También se consideran más limpias que sus equivalentes fósiles, porque teóricamente el dióxido de carbono emitido en la combustión ha sido previamente absorbido al transformarse en materia orgánica mediante fotosíntesis. En realidad

¹⁹ Fuente: Autoras, basado en www.energiarenovables.com

no es equivalente la cantidad absorbida previamente con la emitida en la combustión, porque en los procesos de siembra, recolección, tratamiento y transformación, también se consume energía provocando pequeñas emisiones a la atmósfera [12]

A continuación se enfatizan el tipo de energías renovables a estudiar durante esta investigación:



Figura 10. Energías renovables, objetos de estudios²⁰

Desde hace varios años, en los países industrializados se esfuerzan por desarrollar tecnologías que faciliten el uso de energías renovables; estas son las naciones con mayores necesidades energéticas y también los principales productores de contaminación. Ahora los países en vía de desarrollo crecen sus intereses por estos tipos de energía, los cuales ofrecen pues una forma más económica de abastecer de electricidad a millones de personas de manera eficiente, segura y económica.

²⁰ Fuente: Autoras

Al utilizar energías renovables, estos países en vía de desarrollo son más autosuficientes, siendo además un factor importante en la disminución de los niveles de contaminación atmosférica. Por tanto es importante la implementación de los mecanismos necesarios para aprovechar los tipos de energía renovable. A nivel global, países como España, Panamá, Japón, China, EE.UU entre otros, son los principales actores en procesos relacionados con el avance creciente del uso de energías renovables para sustituir a las energías convencionales. Ejemplo de esto, para el año 2013 la política energética española ha fomentado de forma deliberada durante los últimos años el desarrollo de las energías renovables (Ver figura 12). [127]

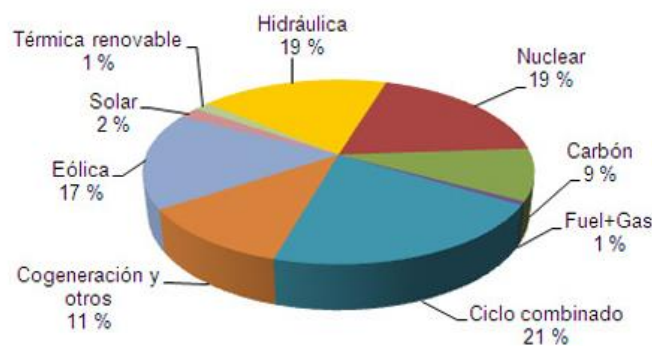


Figura 11 Generación de energías en España para el año 2013²¹

En el ámbito de micro-redes-inteligentes a nivel residencial, se pueden aprovechar las energías renovables mediante equipamientos específicos; Los más importantes son los paneles solares para aprovechar la energía solar y pequeños aerogeneradores para la energía eólica, con esto se contribuye a la eficiencia energética y al cuidado del medio ambiente. [14]

²¹ Fuente: Imagen Vía web <<https://lh6.ggpht.com/wSRaQRnmJgZQGoKZvwrT6Xt-GrH9Y6H1axHvXyK2EaGz8xjULWwK81aYtW4U7SRwePxqWA=s166>>

Durante los últimos años el impacto ambiental mundial ha provocado una reacción en cadena de los diferentes actores contribuyentes al aumento de temperatura. Es por esto que los países alrededor del mundo se han visto en la obligación de regular estas variaciones y ver en las energías renovables una alternativa para la lograr una mayor sostenibilidad.

Por lo tanto, las energías renovables se convierten en el camino para lograr que el consumo de energía se reduzca en el mundo. Entidades como la **Unep** (*United Nations Environment Programme*) prevé que en los próximos dos años, más de un 50% de la inversión de energía será en fuentes alternativas [15].

Colombia está incrementando su potencial renovable con proyectos en diferentes áreas del país, para posicionarse como líder en la materia en Sur América. Actualmente, la necesidad mundial es generar electricidad con fuentes no contaminantes, que preserven tanto los recursos secundarios (carbón, petróleo, madera, gas), como la capa de ozono, el medio ambiente y la naturaleza en general. Para esto se están buscando alternativas en la producción de energía eléctrica, para todos los procesos tanto industriales como domésticos. La AIE dice que la base de la vida moderna del mundo depende en un 80% del petróleo y que a medida que los países se industrializan y sus poblaciones aumentan, también crece el consumo de energía.

En Colombia la producción de energía primaria proviene de la hidroelectricidad, por la abundancia de agua en la mayoría de zonas del país, y en un segundo lugar de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), cuyas reservas ya se están agotando. Por eso el Gobierno Nacional en los últimos años ha invertido en el desarrollo y aplicación de tecnologías alternativas de producción de energía, que funcionen con recursos renovables, para solucionar el problema de la crisis energética mundial y contribuir a un medio ambiente más limpio. Según La Unidad

de Planeación Nacional Minero Energética (UPME), las energías renovables cubren actualmente cerca del 20% del consumo mundial de electricidad [16]

4.2. ¿CUÁLES SON LAS PRINCIPALES VENTAJAS QUE OFRECEN HOY EN DÍA LAS ENERGÍAS RENOVABLES PARA COLOMBIA?

Colombia ingresó recientemente a la **IRENA**²², de la cual hacen parte 50 países, ratificando su posición como país gestor de desarrollo de tecnologías de producción limpia y amigable con el ambiente. La agencia, fue creada con el objetivo de promover las energías renovables en todo el mundo y proporcionar asesoría y logística a los estados asociados.

Cabe destacar que la sostenibilidad ha sido el factor que ha marcado el desarrollo en los últimos años queriendo de alguna manera llevar proyectos innovadores marcando un nuevo modelo, orientado a una mejor calidad de vida para las personas en su entorno habitual, entonces, se aprecia que factores importantes como lo es la innovación, la tecnología, la protección medio-ambiental y el compromiso social son puntos clave en cada proyecto a realizar. [16]

En Colombia, de los diferentes tipos de energías renovables, la que se destaca más es la energía Eólica y su contribución a la disminución de emisiones de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles a cambio de Aerogeneradores a base de un recurso renovable como es el viento; También se destaca la energía solar que contribuye la posibilidad de tener el servicio de energía en zonas de difícil acceso sin generar emisiones contaminantes y de un costo medianamente accesible para los usuarios, además que es silenciosa.

²² Agencia Internacional de Energías Renovables

Además, teniendo en cuenta que Colombia posee fuentes ricas de agua y corrientes de aire, se facilita el uso de estas energías renovables que provienen de ciclos naturales del planeta haciendo posible que se disponga permanentemente de estos recursos. Actualmente, una de las principales empresas que trabajan con este tipo de energías renovables son Jepirachi que trabaja con energía eólica y Chec que trabaja con energía solar. Igualmente en la zona norte de Colombia existen mejores potencialidades para generar este recurso. Por ejemplo, en la Alta Guajira, Empresas Públicas de Medellín (**EPM**) puso en funcionamiento el primer parque eólico, el ya mencionado Jepirachí, el cual cuenta con 15 aerogeneradores que aportan 19.5 megavatios al Sistema Interconectado Nacional.

Como ya se mencionaba antes, Colombia tiene un gran potencial en energías primarias, una prueba de esto es que más del 70% de la producción eléctrica proviene de la hidroelectricidad, por la cantidad de agua que existe en el territorio nacional, privilegiado por la posición geográfica al estar ubicado en la zona ecuatorial, lo que permite contar con radiación solar constante en determinadas zonas del territorio, uno de los elementos claves para convertirse en generador de energía solar.

Este efecto puede durar las 12 horas al día, registrando incluso los índices más altos a nivel mundial, junto con el registrado en África. La radiación media es de 4.5 kWh/m², y el área con mejor recurso solar es la Península de la Guajira, con 6kWh/m² de radiación. De los 6 MW de energía solar instalados en Colombia (equivalente a aproximadamente 78,000 paneles solares), 57% está distribuido para aplicaciones rurales y 43 % para torres de comunicación y señalizaciones de tránsito [17].

Los paneles solares, íconos de la energía solar, se han convertido en una herramienta vital para el acceso a la energía que claramente tienen dos tipos de

aplicaciones: la producción en hogares y edificaciones y como segunda instancia la producción en masa o granjas solares. La primera modalidad permite la implementación de paneles para cubrir todas las necesidades energéticas de un hogar. Su comercialización se ha visto beneficiada por la disminución en los precios de las placas solares, que junto con las legislaciones de los países occidentales, han impulsado la utilización de este tipo de energía.

Una granja solar o sistema autónomo de electricidad en las instalaciones, es utilizado en hogares apartados del sistema de interconexión eléctrica, o simplemente para personas que deciden desconectarse de la red, y generar su propia electricidad en un sistema autónomo y sostenible. La granja permite tener en una misma área sus propias instalaciones de energía solar fotovoltaica compartiendo infraestructura y mantenimiento, lo cual reduce los costos [18].

4.3. ENERGÍA SOLAR

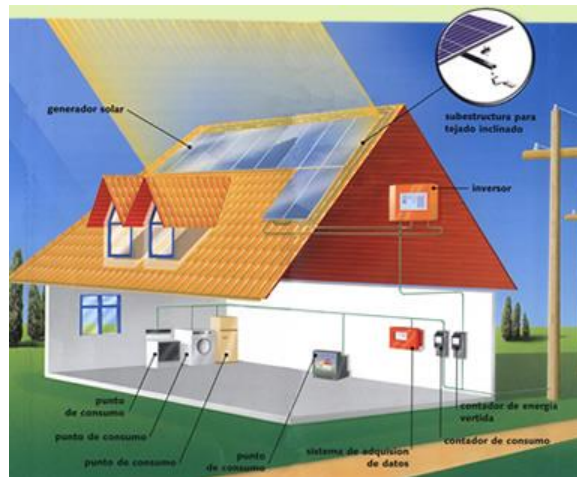


Figura 12 Energía solar²³

Fuente: [Web] <http://www.solanerosolarenergy.es/fotovoltaica.htm>

El Sol nos brinda una gran fuente de energía, la cual hace posible la vida en nuestro planeta, el movimiento y existencia de cada uno de los ciclos naturales. En esta enorme estrella, se producen reacciones nucleares liberando una sorprendente cantidad de potencia (aproximadamente 389×10^{24} W), la cual es generada por la fusión de dos átomos de hidrógeno. Dicha energía, es inagotable y viaja hasta llegar a la superficie terrestre en forma de radiación. Este tipo de energía es gratuita, no genera emisiones y es silenciosa. Además es una de las pocas tecnologías renovables que pueden ser integradas al paisaje urbano y es útil en zonas rurales de difícil acceso [19].

La luz solar está compuesta por partículas energéticas denominados fotones que poseen diferente energía y corresponden a su vez en las diferentes ondas del espectro de la radiación solar; los fotones absorbidos por una célula fotovoltaica transfieren su energía a un electrón de un átomo de la célula y con esta energía el electrón escapa de su ligazón al átomo para pasar a formar parte de la corriente de un circuito eléctrico. De lo anterior, la energía solar fotovoltaica es la resultante del proceso de transformación de energía solar a energía eléctrica, dicho proceso es producido mediante elementos semiconductores denominados células fotovoltaicas [20].

Utilizar la energía solar para generar electricidad es una alternativa interesante para lugares remotos o aislados, llamados "sistemas Fotovoltaicos Autónomos", estos pueden autoabastecer un lugar sin servicio de energía eléctrica convencional, eliminando la inversión en una conexión a la red, o un generador y los gastos en combustible y mantención recurrentes asociados a estos, haciendo que estos sistemas sean altamente fiables, de bajo nivel de mantención y pueden ser diseñados a medida para cubrir pequeñas o grandes necesidades eléctricas [21].

Disponer de un sistema solar interconectado, es una técnica moderna y eficiente de utilizar la energía solar en la ciudad, zonas rurales o en aquellos sitios aislados donde se presente difícil acceso al suministro de energía de la red local. La aplicación de estos sistemas como plantas generadoras, que convierten la radiación solar en electricidad, y al mismo tiempo inyectan directamente la corriente o el suministro de energía en la instalación eléctrica convencional (Red Pública), es decir proporciona la energía tomada del sol y de la velocidad del viento para transformarla en electricidad para su uso en equipos y aparatos eléctricos que desea alimentar en el hogar. **[22]**

Siendo la energía solar entonces aquella que se aprovecha directamente de la radiación solar, dependiendo directamente de:

- La incidencia del sol
- La hora del día
- La inclinación de la tierra respecto del sol, variable en el transcurso del año.

Es decir, la intensidad y eficacia de radiación solar que se puede aprovechar para la generación de energía mediante este sistema, que depende de las condiciones meteorológicas, al grado de contaminación. **[23]**

En general, es posible aprovechar la energía del sol y sus propiedades intrínsecas que presenta, en forma de calor (conversión térmica) y la luz (conversión fotovoltaica) **[24]**. Para la presente investigación se tiene en cuenta solo la conversión Fotovoltaica, siendo esta, una forma de transformación de energía solar a energía eléctrica, cuyo fin es utilizarla en el hogar y/o devolverla a la red para obtener un tipo de retribución económica por parte de la empresa prestadora del servicio.

4.4. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Conocer la disponibilidad y el aprovechamiento obtenible mediante la energía solar es importante, puesto que facilita el aprovechamiento adecuado de este recurso energético, mediante la aplicación de innovadores sistemas y tecnologías que lo transforman en diversas formas de energía útil. Los sistemas fotovoltaicos son usados en la producción de electricidad, donde la implementación de estos sistemas en el país, puesto que contribuye al mejoramiento y al progreso energético, elevando y ofreciendo mayores ventajas en calidad de vida y el costo económico al usuario final [25].

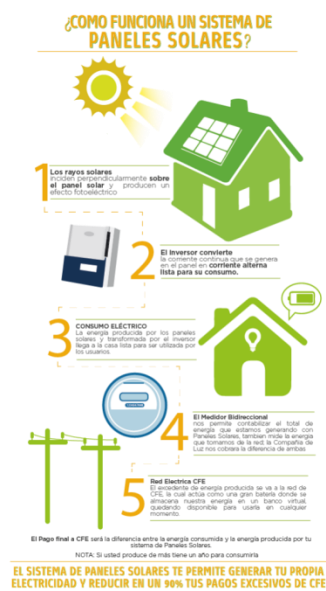


Figura 13 Sistema Fotovoltaico para uso residencial²⁴.

Para los sistemas de almacenamiento la energía solar captada, se distingue como sistema pasivo, es decir aquel sistema que no requiere de ningún dispositivo adicional para captar la energía solar. Introduciendo el concepto de arquitectura

²⁴Fuente: [En línea], vía web < <http://www.panelessolaresurbimet.com/como-funciona/>>. (Visitado el 6 de febrero de 2014).

bioclimática, con el diseño de edificaciones para aprovechar al máximo los recursos disponibles (sol, viento, entre otros.), con su implementación se busca abastecer el aumento constante y paulatino del consumo energético, reduciendo significativamente el impacto o daño ambiental en el proceso. [26].

En instalaciones fotovoltaicas existen dos tópicos básicos, dependiendo del tipo de conexión que se desea realizar, que independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden dividir en dos categorías: aquellas conectadas a la red nacional o una disposición aislada. [27]

- **Instalaciones aisladas de la red eléctrica:** Los sistemas aislados se utilizan normalmente para proporcionar electricidad a los usuarios con consumos de energía muy bajos. Este escenario no subsana solventar la inversión realizada en la conexión a la red, la ubicación poco accesible del usuario dificulta su conexión a un punto de suministro energético, en la red eléctrica. [36]

Por tanto, se utilizan cuando la red de distribución eléctrica está alejada de los puntos de consumo y son particularmente útiles para la electrificación de emplazamientos inaccesibles a la red como las viviendas rurales. Otras aplicaciones de las instalaciones fotovoltaicas aisladas son los sistemas de bombeo fotovoltaico, sistemas de comunicaciones remotas y alumbrado público.

Para este tipo de sistemas aislados es necesario instalar también un regulador de carga, este dispositivo sirve básicamente para preservar las baterías eléctricas de un exceso de carga del generador fotovoltaico y de un exceso de descarga debido a la utilización. Estas situaciones son nocivas para el correcto funcionamiento y la duración de los acumuladores. En los sistemas aislados es necesario que el generador fotovoltaico esté dimensionado correctamente, de acuerdo a la

frecuencia de los períodos de irradiación solar y por la cantidad necesaria de energía a sustentar. [11]

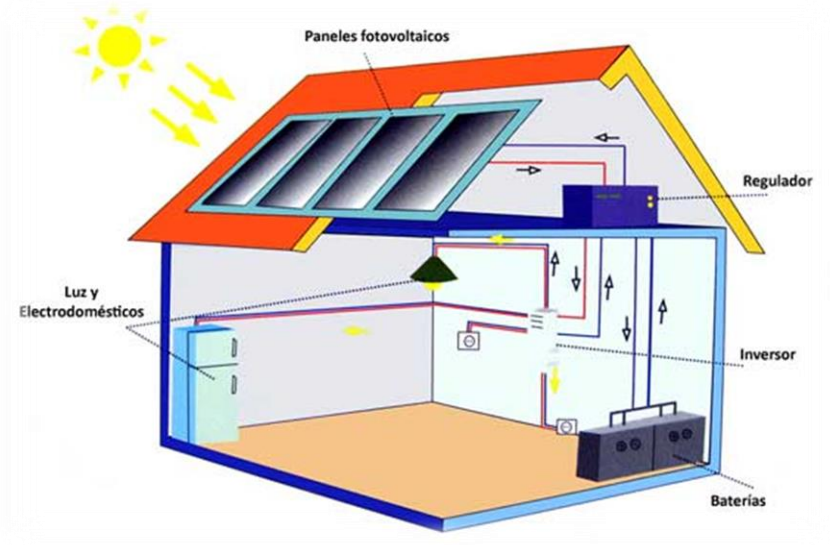


Figura 14 Instalación Fotovoltaica aislada a la red²⁵

También es necesario almacenar la energía eléctrica para garantizar la continuidad de la generación, incluso en los momentos en los que no es producida por el generador fotovoltaico. La energía se acumula en una serie de acumuladores recargables (baterías), dimensionados de la manera que garanticen una suficiente autonomía para los periodos en los que el sistema fotovoltaico no produce electricidad. [37]

➤ **Instalaciones conectadas a la red (*grid connected*):** Los sistemas conectados a la red están permanentemente conectados a la red eléctrica nacional. En las horas de irradiación solar escasa o nula, cuando el generador

²⁵ Fuente: Solar Fotovoltaico. Antusolar Ltda.

fotovoltaico no produce energía suficiente para cubrir la demanda de electricidad, es la red la que proporciona la energía necesaria o viceversa. [36]

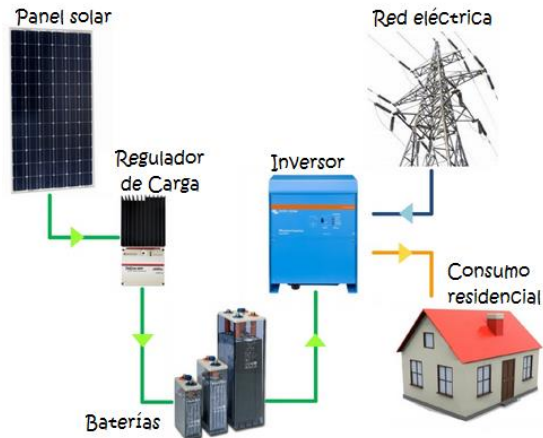


Figura 15 Componentes principales en un sistema conectado a la red.²⁶

Por medio de estas instalaciones, se genera energía eléctrica que inyectada a la red, vendiendo la electricidad producida a la compañía comercializadora de energía. Los componentes principales de una instalación fotovoltaica aislada son:

- **Módulo fotovoltaico o Panel solar** que transforma la radiación solar incidente en energía eléctrica.
- **Regulador de carga:** Administra o controla la energía que llega del panel solar a la batería y también controla la energía que sale o llega a la batería para sus diferentes consumos, evitando así, cortocircuitos, las sobrecargas y las descargas excesivas.

²⁶ Fuente: Adaptación de: http://www.rvdenergias.com/images/stories/esquema_autoconsumo.jpg

Por tanto, este dispositivo sirve como punto de acople para los elementos que conforman un sistema fotovoltaico, el cual realiza una supervisión del estado de carga de la batería mediante una captura constante del voltaje presente en los bornes de la misma, para de esta forma protegerla contra sobrecargas o descargas profundas que afectan su vida útil. Los valores bajo los cuales se consideran las baterías sobrecargadas o descargadas vienen establecidos en la memoria del regulador, los cuales dependen de cada fabricante.

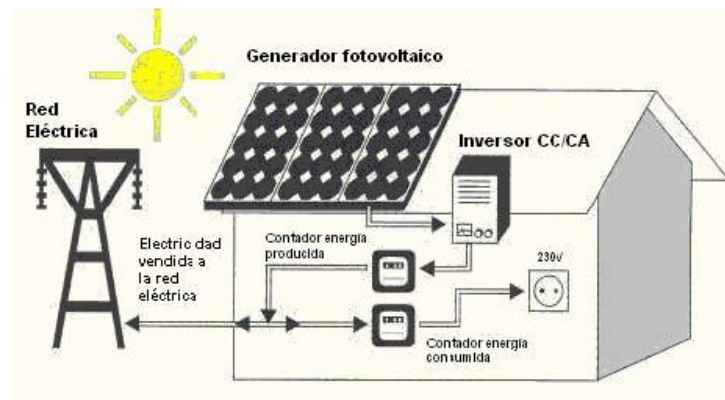


Figura 16. Elementos de un sistema Fotovoltaico conectado a la red²⁷

Si la batería está cargada, el regulador detecta el paso de corriente de las baterías, frenando o permitiendo el flujo de energía automáticamente hacia la salida de cargas, controlando que las baterías almacenen la energía generada por los paneles fotovoltaicos y aerogeneradores. Así mismo, cuando las baterías alcanzan su capacidad máxima de almacenamiento de energía, son desconectadas automáticamente de los módulos de generación y transformación de energía, evitando perjuicios a las mismas que acorten su vida útil. [29]

- **Baterías eléctricas:** dispositivos que almacenan la energía eléctrica suministrada por sistemas de generación alternativos, como los sistemas

²⁷ Fuente: <http://cleanpress.wordpress.com/2010/05/07/>

fotovoltaicos y eólicos; la energía acumulada será eventualmente utilizada por el usuario residencial en el periodo de consumo. Su análisis y funcionamiento se analiza detalladamente en el *capítulo 6*, de esta investigación.

- **Sistema de adaptación de corriente:** son convertidores para corriente continua o inversores para transformar a corriente alterna. [28]

Existen diversas marcas y tipos de reguladores. Es aconsejable adquirir siempre un regulador de carga de buena calidad y apropiado a las características de funcionamiento (actuales y futuras) de la instalación fotovoltaica. También, se recomienda adquirir controladores tipo serie con desconexión automática por bajo voltaje (LVD) y con indicadores luminosos del estado de carga. Estas opciones permiten la desconexión automática de la batería cuando el nivel de carga de ésta ha descendido a valores peligrosos. [30]

Un sistema fotovoltaico requiere un fuerte desembolso de capital inicial, pero luego los gastos de gestión y de mantenimiento son muy reducidos. El análisis de todos los aspectos económicos relativos a un sistema fotovoltaico es muy complejo. En especial, cada aplicación tiene que ser evaluada en su específico contexto, teniendo en cuenta sobre todo la energía eléctrica producida, la duración del sistema (se calcula alrededor de 13 a 25 años), las dificultades de conexión a la red eléctrica, los incentivos disponibles, etc. En algunos casos la inversión inicial se amortiza al principio, ya que el costo de la conexión a la red eléctrica sería superior al de la instalación de un sistema solar fotovoltaico. [29]

4.5. CONVERSIÓN FOTOVOLTAICA

La transformación de la energía solar, se fundamenta en torno al denominado "efecto fotovoltaico", o producción de una corriente eléctrica en un material semiconductor como consecuencia de la absorción de radiación luminosa.

¿Entonces, cómo se produce energía eléctrica a partir del Sol?

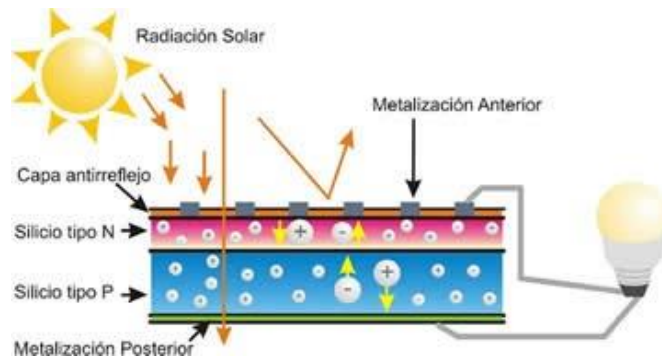


Figura 17 Conversión Fotovoltaica²⁸

La luz del Sol es transformada en energía eléctrica, mediante células solares o fotovoltaicas, constituidas por un material semiconductor, como por ejemplo, silicio. Al incidir la luz (fotones) sobre estas células se origina una corriente eléctrica (efecto fotovoltaico), aunque el rendimiento de este proceso es muy pequeño, pues en el mejor de los casos sólo un 25% de la energía luminosa se transforma en eléctrica. **[31]**

Para obtener el suficiente amperaje, se conectan varias de estas células en serie o también denominados módulos o paneles fotovoltaicos. Las células del panel están protegidas por un cristal y se construyen de forma que se pueden unir con otros paneles. Las instalaciones fotovoltaicas deben ir provistas de acumuladores, capaces de almacenar la energía eléctrica no utilizada en forma de energía química **[32]**. Los costos de inversión son los no competitivos, porque los de administración, operación y mantenimiento sí lo son.

La Ley 697/01, sobre Uso Racional de Energía, se ha definido con el propósito nacional avanzar hacia la utilización de fuentes renovables en pequeña escala y,

²⁸ Fuente: <<http://stmeu.wordpress.com/2010/01/03/como-se-obtiene-la-energia-elctrica-a-partir-del-sol/>> (Visitado el 2 Mayo del 2014).

particularmente, apoya la investigación básica y aplicada para que, con el tiempo, se reduzcan costos y se amplíe la capacidad de energías como la eólica, la solar, la geotérmica o la de biomasa [24].

Es más una temática de responsabilidad social y empresarial, que de beneficio a los usuarios. Las energías renovables en Colombia tienen un marco jurídico explícito para los combustibles líquidos, pero no para la generación de electricidad [33].

Según estudios e investigaciones realizadas previamente sobre esta temática y el impacto tanto positivo como negativo que se han venido investigando a lo largo de los años debido al exitoso crecimiento y resultados generados en sus aplicaciones en países Europeos y Asiáticos principalmente, han indicado como primeras conclusiones y dilemas que infieren y dan a entender sobre la implementación de energía solar:

“únicamente con gasto público podrían emprenderse programas para implantar estas energías, mientras los avances tecnológicos no logren hacerlos menos costosos”.

Antes de tomar decisiones se deben tener en cuenta no solo la priorización del gasto sino que estas energías son a pequeña escala. En el caso concreto de Colombia, la Constitución prohíbe los auxilios a empresas con ánimo de lucro, por lo que habría que diseñar los mecanismos de aporte oficial con sumo cuidado [34].

- **Celda Solar**

Las celdas solares son fabricadas a base de materiales que convierten directamente la luz solar en electricidad. Las células solares del módulo fotovoltaico constituyen un producto intermedio que proporcionan valores de tensión y corriente limitados, en comparación a la energía requerida normalmente por los usuarios, son extremadamente frágiles, eléctricamente no aisladas y sin un soporte mecánico. Se ensamblan de la manera adecuada para formar una única estructura: el módulo fotovoltaico, que es una estructura sólida y manejable [35].

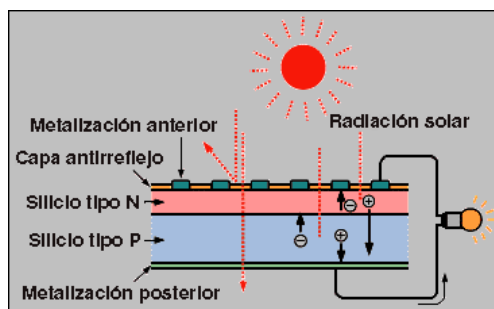


Figura 18 Efecto fotovoltaico en una célula solar²⁹.

Parte de la radiación incidente se pierde por reflexión (rebota) y otra parte por transmisión (atraviesa la célula). La radiación restante es capaz de hacer saltar electrones de una capa a la otra creando una corriente proporcional a la radiación incidente y se crea un campo eléctrico permanente, a través de una unión P-N, entre dos capas dopadas respectivamente, P y N. La capa antirreflejo aumenta la eficacia de la célula [39]

En resumen la conversión de la radiación solar en energía eléctrica tiene lugar en la célula fotovoltaica, como elemento principal en el proceso de transformación de la radiación solar en energía eléctrica. La luz está formada por partículas, los fotones, que transportan energía. Cuando un fotón con suficiente energía golpea la célula, es absorbido por los materiales semiconductores y libera un electrón. El

²⁹ Fuente: <http://www.solener.com>

electrón, una vez libre, deja detrás de sí una carga positiva llamada hueco. Por lo tanto, cuanto mayor será la cantidad de fotones que golpean la célula, tanto más numerosas serán las parejas electrón-hueco producidas por el efecto fotovoltaico y por lo tanto más elevada la cantidad de corriente producida.

- **Características y condiciones para paneles solares**

Un panel fotovoltaico está formado por un conjunto de células solares conectadas eléctricamente entre sí en serie y paralelo hasta conseguir el voltaje adecuado para su utilización, protegidos con los materiales adecuados para sobreponerse a las inclemencias del clima para poder así, tener una larga vida útil del orden de los 30 años y fiabilidad en su funcionamiento. Además si una de las células falla, esto no afecta al funcionamiento de las demás, la intensidad y voltaje producidos pueden ser fácilmente ajustados añadiendo o suprimiendo células.

- **¿Qué es la potencia pico de un panel solar?**

Es la potencia de salida, en Watios, que produce un panel fotovoltaico en condiciones de máxima iluminación solar, con una radiación de aproximadamente 1 kW/m^2 (la que se produce en un día soleado al mediodía solar).

La producción de electricidad varía linealmente a la luz que incide sobre el panel, el rendimiento de un panel fotovoltaico depende de los siguientes elementos:

- 1) La intensidad de la radiación luminosa a la que está sometido
- 2) El grado de temperatura de las células solares.
- 3) Del mayor ángulo (90°) de perpendicularidad al seguimiento del sol.

Uno de los parámetros para reconocer la calidad de un panel solar es por su "Potencia Nominal", cantidad expresada en Watts (W) o kilowatts (KW). Esta variación de intensidad y tensión se relacionan con la radiación y la temperatura

del panel solar; Todo panel solar fotovoltaico tiene una curva característica I-V como se aprecia en el siguiente gráfico independientemente del fabricante.

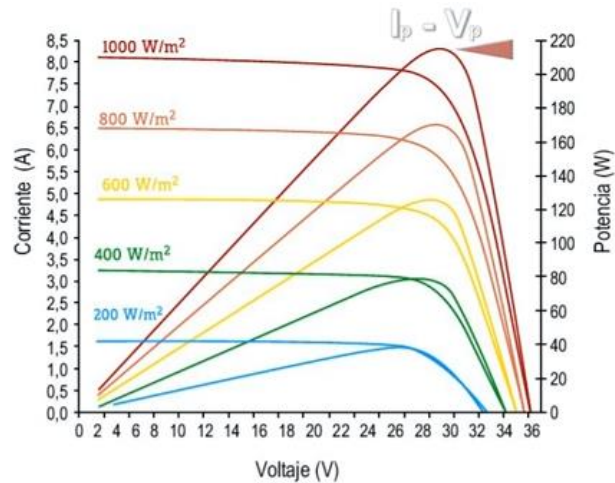


Figura 19 CURVA I-V (Intensidad de Corriente vs. Tensión de Voltaje)³⁰

La potencia de la radiación varía durante el transcurso del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es de aproximadamente 1000 W/m^2 en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiación.

La intensidad de corriente que genera el panel aumenta con la radiación, permaneciendo el voltaje aproximadamente constante. Teniendo gran importancia la posición de los paneles (su orientación e inclinación respecto a la horizontal), ya que los valores de la radiación varían a lo largo del día en función de la inclinación del sol respecto al horizonte. El aumento de temperatura en las células supone un incremento en la corriente, pero al mismo tiempo una disminución mucho mayor, en proporción, de la tensión.

³⁰ Fuente:[En línea] Disponible en: <http://eliseosebastian.com/efecto-negativo-de-la-temperatura-en-los-fotovoltaicos> (10 de febrero de 2014)

El efecto global es que la potencia del panel disminuye al aumentar la temperatura de trabajo del mismo. Por ello es importante colocar los paneles en un lugar en el que estén bien aireados.

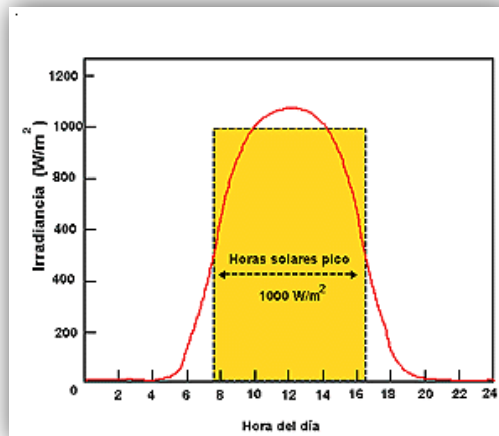


Figura 20 Intensidad de radiación dependiendo de la hora en el día³¹.

En la figura 21, se observa la relación de *Irradiación Vs horas del día*, y la disponibilidad de la radiación solar como fuente de energía renovable.

4.6. ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica es una fuente de energía renovable, que proviene en última instancia del sol o también se puede decir que es la energía obtenida de la fuerza del viento, es decir, la utilización de la energía cinética generada por el efecto de las corrientes de aire, que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas, como por ejemplo la electricidad; es limpia, inagotable y con grandes perspectivas de desarrollo. Actualmente se aprovecha la energía del viento para mover las placas de los aerogeneradores en los parques eólicos y producir energía eléctrica. [42]

³¹ Fuente: Atlas de Radiación solar de Colombia UPME.

Las principales aplicaciones de la energía eólica son:

- Venta de electricidad a la compañía Eléctrica.
- Electrificación de Viviendas aisladas
- Bombas Hidráulicas en zonas aisladas

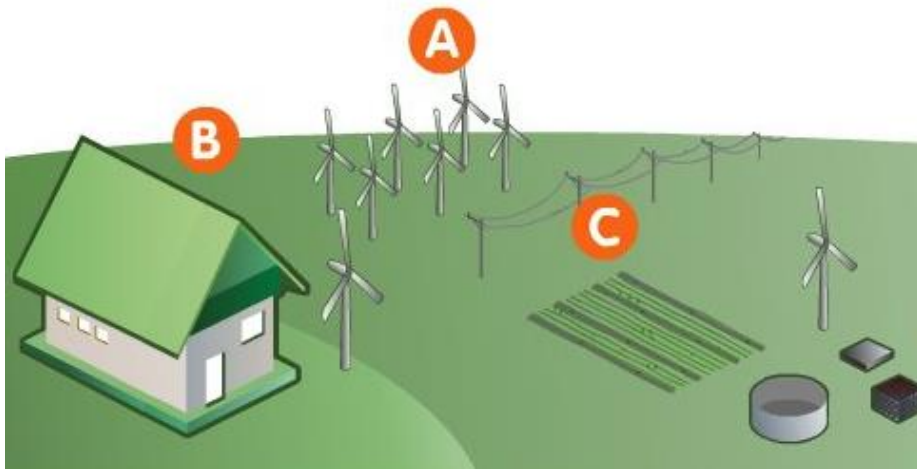


Figura 21. Principales aplicaciones de la energía eólica³².

Hay tres componentes del viento que determinan su energía disponible, entre ellos están:

- Densidad del aire
- Velocidad
- Dirección del viento

Teniendo en cuenta además, que la explotación del viento en las zonas donde se quiere instalar aerogeneradores, por lo menos, debe tener mediciones previas durante un año para verificar así, que la velocidad promedio del viento indique un buen potencial. Entonces, la energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de

³² Fuente: Energía eólica, basado en www.energiasrenovables.com

presión. Los vientos son generados a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por parte de la radiación solar; entre el 1 y 2% de la energía proveniente del sol se convierte en viento.

Para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer las variaciones diurnas, nocturnas y estacionales de los vientos, la variación de la velocidad con la altura sobre el suelo, las ráfagas en espacios de tiempos breves, y los valores máximos ocurridos en series históricas de datos con una duración mínima de 20 años, así como su velocidad máxima. Para poder utilizar la energía del viento, es necesario que este alcance una velocidad mínima de 12 km/h, y que no supere los 65 km/h. La energía eólica es un recurso abundante, renovable y limpio. Esto la convierte en un tipo de energía verde. Sin embargo, el principal inconveniente es su intermitencia.

Los beneficios ambientales de la energía eólica incluyen una reducción de gases de efecto invernadero al reemplazar centrales termoeléctricas a base de combustible fósil así como la reducción de las partículas de metales pesados que provienen de ellas y la disminución de lluvia ácida. **[42]**

El impacto ambiental de la energía eólica, es mínimo en comparación con el de los combustibles fósiles. El periodo "amortización" del dióxido de carbono producido en la fabricación e instalación de aerogeneradores se estima en de tan sólo nueve meses. Los inconvenientes asociados a la explotación de la energía eólica son limitados:

- Las turbinas pueden ser ruidosas, y son muy visibles.
- Las Aves pueden colisionar con los aerogeneradores.
- Los generadores eólicos producen campos eléctricos y magnéticos que podrían causar interferencias de en señales de radio.

Estos inconvenientes pueden ser mitigados por una cuidadosa ubicación de las instalaciones. Es más, éstas se pueden instalar en espacios no aptos para otros fines, por ejemplo en zonas desérticas, próximas a la costa, en laderas áridas y muy empinadas para ser cultivables, o hasta en los mares, lo que constituye una ventaja.

Debido a baja densidad energética de la energía eólica por unidad de superficie, se requiere por lo general de la instalación de cierto número de aerogeneradores, para el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles, agrupándose en concentraciones denominadas parques eólicos. A su vez, es necesaria la construcción de líneas de transmisión para conectar los parques eólicos con la red de distribución de energía eléctrica local o nacional. **[43]**

4.7. SISTEMAS EÓLICOS

La energía del viento ha sido usada desde las primeras civilizaciones, para moler grano, para bombear agua de pozos profundos y para suministrar energía a barcos pequeños. **[45]** En décadas recientes, la industria ha estado perfeccionando las turbinas de viento para convertir la energía del viento en electricidad, las cuales tienen ventajas que las hacen una fuente de energía atractiva, especialmente en aquellas partes del mundo en donde la infraestructura de los sistemas de transmisión no ha sido totalmente desarrollada. **[46]**

Este mecanismo de obtención de energía puede ser modular y se puede instalar en forma relativamente rápida, es fácil de ajustar el suministro de electricidad para suplir la demanda, su combustible es el viento y debe ser instalado en ciertos lugares con las características apropiadas, elimina o reduce la necesidad de comprar, embarcar y almacenar combustible costoso, al ser de acceso libre. La potencia generada se determina de acuerdo al consumo requerido en cada hogar,

para alimentar los equipos electrodomésticos, tales como refrigeradores, alumbrado, televisores y computadoras etc., Además este sistema de obtención también es aplicable en las escuelas con propósitos educativos. [47]

➤ AEROGENERADOR

Un aerogenerador es un dispositivo mecánico que convierte la energía del viento en electricidad. La energía eólica se origina a partir de los desplazamientos de masas de aire, producto de las diferencias de presión causadas por las alteraciones de temperatura o energía cinética del aire en movimiento, mueve la hélice y a través de un sistema mecánico de engranajes hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica. Los elementos principales de cualquier turbina de viento son el rotor, una caja de engranajes, un generador, equipo de control y monitoreo de la torre [50]. Estos elementos se encuentran localizados en la góndola, para su protección y la energía eléctrica generada por este mecanismo se puede almacenar en baterías, o utilizar directamente.

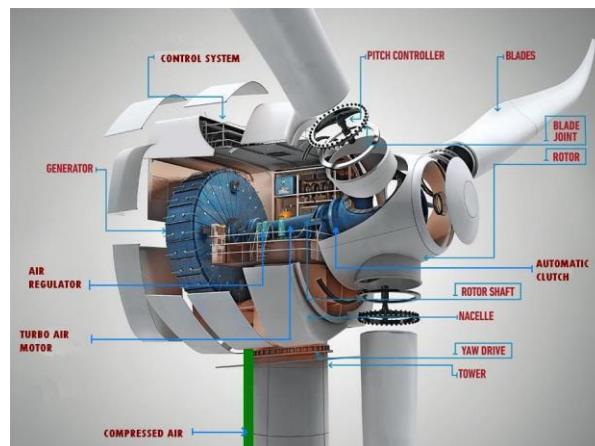


Figura 22 Partes de un aerogenerador³³.

33 Fuente: w <http://desenchufados.net/la-hibridacion-llega-a-los-aerogeneradores/>

Los aerogeneradores se agrupan generalmente en parques eólicos ubicados entre sí a cierta distancia, en función del impacto ambiental y de las turbulencias generadas por el movimiento de las palas. Para aportar energía a la red eléctrica, los aerogeneradores deben de estar dotados de un sofisticado sistema de sincronización para que la frecuencia de la corriente generada se mantenga perfectamente sincronizada con la frecuencia de la red. **[4]**

Las turbinas eólicas se diseñan para trabajar dentro de un rango de velocidad del viento. La velocidad más baja es llamada velocidad de corte inferior, que es generalmente de 4 a 5 m/s y por debajo de esta velocidad no hay suficiente energía como para superar las pérdidas del sistema. La velocidad de corte superior es determinada por la capacidad del aerogenerador en particular que pueda soportar fuertes vientos. **[47]**

Los aerogeneradores domésticos para generación de electricidad pueden contribuir significativamente a las necesidades de energía. Aunque tengan el nombre de domésticas, las turbinas eólicas son lo suficientemente grandes para proporcionar una parte importante de la energía requerida en los hogares principalmente en las áreas rurales, pequeñas fábricas, granjas.

Un aerogenerador domestico será útil si:

- El lugar de residencia hay suficiente viento.
- En la comunidad o área rural se permite la instalación de torres altas.
- Se cuenta con suficiente espacio.
- Se determina cuanta energía se necesita o se quiere generar.
- Es económicamente viable para el usuario. **[48]**

- **¿Cómo funcionan las turbinas eólicas o aerogeneradores?**

Un aerogenerador obtiene su potencia de entrada convirtiendo la fuerza del viento en un par (fuerza de giro) actuando sobre las palas del rotor. La cantidad de energía transferida al rotor por el viento depende de la densidad del aire, del área de barrido del rotor y de la velocidad del viento. [49]

- **Situación actual en Colombia**

Actualmente se encuentra disponible en el mercado Colombiano los aerogeneradores de eje vertical, estos son diferentes a los aerogeneradores tradicionales en que su eje principal es perpendicular al suelo. Su configuración los hace ideales para aplicaciones rurales y urbanas, ofreciéndole al dueño la oportunidad de compensar el precio ascendente de la electricidad y a la vez preservar el medio ambiente. Para uso doméstico en urbanizaciones, se emplean comúnmente los aerogeneradores de eje vertical, debido a que pueden maniobrar y producir energía con velocidades de viento bajas, además requieren de poco espacio y su tamaño es menor, a diferencia de los aerogeneradores de eje horizontal. [126]

- **¿Qué capacidad de generación en una turbina eólica se requiere para uso residencial?**

Las turbinas para aplicaciones residenciales pueden estar en el rango de 1kW hasta los 10 kW (para cargas muy grandes), dependiendo de la cantidad de electricidad que se desee generar.

Para aplicaciones residenciales, es recomendable definir las necesidades de energía para establecer el tamaño adecuado que se requiere. Debido a que la eficiencia energética es más barata que la producción de energía, aplicando estas prácticas en el hogar seguramente se obtendrá mejores resultados de costo /

beneficio y como consecuencia se necesitará una turbina de menor tamaño. Los fabricantes de turbinas eólicas pueden ayudar a dimensionar el tamaño de acuerdo al consumo de electricidad y al recurso eólico de cada localidad. Un hogar típico consume aproximadamente 9,400 kilowatt-horas al año (cerca de 780 kWh por mes).

Dependiendo de la velocidad promedio del viento en el área una turbina de potencia nominal de entre 5 y 10 kilowatts, podría hacer una contribución importante para esta demanda. Una turbina de 1.5 kilowatts podría cubrir las necesidades en un hogar que consuma alrededor de 300 kWh al mes en un sitio con una velocidad de 6,5 m/s de velocidad promedio anual. El fabricante puede proporcionar una estimación de la generación de energía en función de éste parámetro.

Asimismo, el fabricante brinda la información respecto a la máxima velocidad de viento a que la turbina puede trabajar en forma segura. Aunque la mayoría de ellas cuentan con sistemas de control para evitar que gire a altas velocidades cuando existen vientos muy intensos y sufrir algún desperfecto. Esta información, junto con la velocidad de viento del sitio y el consumo de energía ayuda a decidir cuál es el tamaño de turbina eólica más adecuado a las necesidades de electricidad en el hogar.

4.8. SITUACIÓN ACTUAL EN COLOMBIA EN ENERGÍA EÓLICA

En la Guajira, las Empresas Públicas de Medellín (EPM) instalaron generadoras eólicas que forman parte del Interconectado Nacional. Es un proyecto piloto de investigación, y por tanto, EPM ni busca ni obtiene utilidades, y asume riesgos sobre la sostenibilidad hacia el futuro. Es más un programa de responsabilidad social empresarial que de beneficio a los usuarios. Cuatro años después de su instalación, se ha profundizado en el conocimiento y se han entablado relaciones

interculturales con los indígenas de la zona. Desde el punto de vista energético, su impacto sobre la oferta total de electricidad es insignificante (0.1%) y en ningún año pudieron generarse los megavatios esperados. Hay algunas regiones apartadas y con baja densidad de población, denominadas Zonas No Interconectadas, cuyos habitantes han tenido un servicio de energía subsidiado por el Estado, pero aun así éste se presta en condiciones precarias. Por esta razón el gobierno nacional, está buscando concesionarios que utilicen energías no convencionales en dichos territorios³⁴.

➤ **¿Es la energía eólica práctica para las necesidades del hogar?**

Los aerogeneradores domésticos para generación de electricidad brindan una fuente práctica y económica de electricidad, siempre y cuando:

- Si la propiedad cuenta con un buen recurso eólico.
- La residencia está ubicada en una área rural o al menos que tenga una distancia considerable entre la instalación eólica y las viviendas de su alrededor.
- Las cláusulas o normas de la localidad permiten la instalación de turbinas eólicas.
- Su propiedad se encuentra en un área remota con dificultades para el acceso de la red de suministro de electricidad.
- Se quiere hacer una inversión a largo plazo.

➤ **Aspectos importantes para tener en cuenta en la zona de instalación**

³⁴ Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible en Colombia

Antes de invertir en un sistema de energía eólica, se deben considerar las eventualidades que pudiesen surgir. Por ejemplo, la ausencia de normas o de instancias legales que restrinjan o limiten la altura de estructuras en áreas residenciales. Hay que informarse en la normativa para este caso y saber si requiere obtener un permiso de construcción y proporcionar una lista de requerimientos.

4.9. SISTEMAS DE GENERACIÓN HÍBRIDA

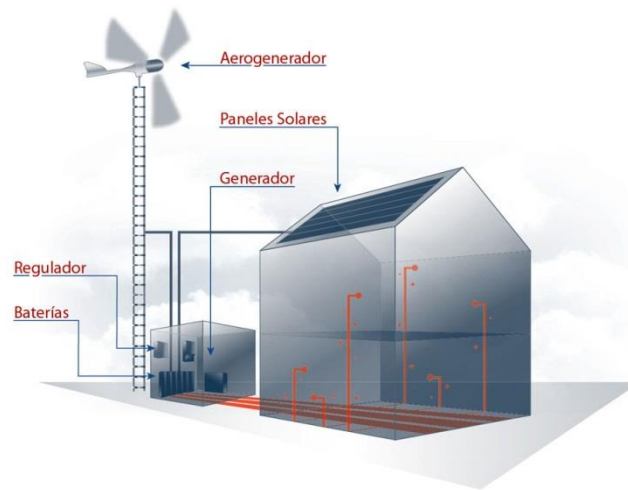


Figura 23. Esquema interconectado híbrido³⁵

De acuerdo a varios expertos en energías renovables, un sistema híbrido combina las tecnologías de un sistema eólico y un sistema fotovoltaico, ofrecen mejores ventajas que si se instalan en forma separada. Durante el verano el viento no sopla con tanta intensidad, pero es cuando el sol brilla en forma más intensa y durante más horas al día [51]. Los sistemas híbridos proporcionan de forma confiable la energía para hogares, granjas e inclusive comunidades enteras (por

³⁵ Sistemas híbridos. Energías renovables

ejemplo, un proyecto comunitario para varias casas) que estén alejadas de la red de distribución.

Bajo un escenario con ausencia de ambas fuentes de generación del sistema híbrido, la energía puede ser suministrada por baterías o mediante un motor de combustión interna, tal como un motor Diesel. Si las baterías están bajas de carga, el motor puede suministrar la energía faltante y cargar las baterías. Añadir el motor hace al sistema más complejo, pero los sistemas modernos de control pueden operar en forma automática estos equipos. En algunos casos su instalación puede disminuir el tamaño de los otros sistemas. Tome en cuenta que el sistema de almacenamiento debe ser lo suficientemente grande para satisfacer las necesidades de energía cuando existan periodos de no carga, por lo que típicamente se dimensionan para abastecer la energía de uno a tres días.

Un sistema híbrido es práctico si:

- Se vive en un área con una velocidad promedio anual de 6 m/s.
- No existe una conexión disponible a la red de suministro.
- Si se quiere independizar de la red de la compañía eléctrica.
- Como recurso para generar energía limpia [52].

➤ **Funcionamiento de un sistema híbrido**

Bajo consumo de energía: Por la noche el consumo normal de energía suele disminuir su cantidad, decreciendo la demanda de energético en el sector residencial y el banco de baterías es capaz de aportar la energía suficiente para esta situación. [53]

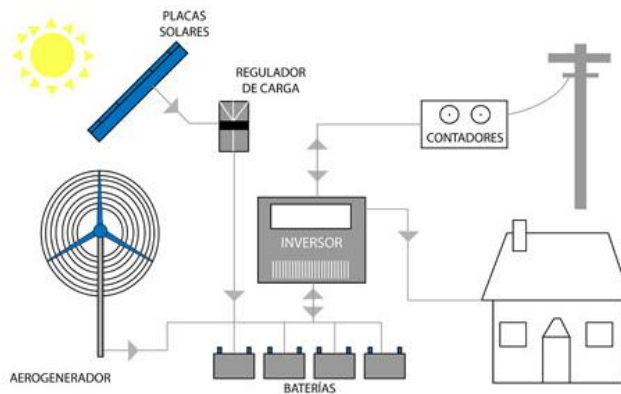


Figura 24 Interconexión de dispositivos en un sistema híbrido.³⁶

Alto consumo de energía: Cuando hay gran actividad en la vivienda y el consumo de energía eléctrica aumenta, el inversor hace arrancar el sistema, suministrando la energía demandada, a la vez que carga las baterías.

Baterías cargadas: Con las baterías cargadas, y el sistema de generación detenido, el inversor alimenta la casa con la energía acumulada en las baterías.

En el caso de utilizar un kit o un equipo de sistema Híbrido, se permite elegir con mayor libertad el tipo de turbina de viento. Los inversores de red para turbinas de viento suelen ser específicos para cada tipo de aerogenerador (para adaptarse bien a sus características)³⁷.

³⁶ Fuente: Sistema híbrido Fotovoltaico y Eólico.
http://www.tecsol24h.net/index.php?option=com_content&view=article&id=90:balance-neto-kits-fotovoltaicos&catid=17:energia-solar&Itemid=3

³⁷ Tomado de: [<http://www.teknosolar.com/kit-hibrido-solar-eolico-3000w.htm>]

5. PAUTAS PARA LA EJECUCIÓN DE UN PROYECTO

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se tiene en cuenta aspectos cruciales como la viabilidad y factibilidad en su ejecución, si es posible realizarlo en el contexto de una micro-red inteligente, encaminado hacia la sostenibilidad y rentabilidad económica en pro del beneficio para un usuario residencial.

La viabilidad de este proyecto, además de dar cumplimiento al alcance y los objetivos indicados anteriormente en el presente documento ([página 22](#)), el uso de numerosas herramientas tecnológicas ayuda a establecer una infraestructura especializada y a mejorar la capacidad técnica enfocada hacia la implantación de sistemas acumulativos de energía en micro-redes inteligentes y de algunas de sus principales características eléctricas, físicas y operativas, así mismo, presentar y estudiar los costos, beneficios y el grado de aceptación que la propuesta genera. En esta búsqueda es necesario tomar en cuenta los recursos disponibles en el mercado. [55]

5.1. CONCEPTO DE FACTIBILIDAD

El análisis de la factibilidad se observa inicialmente con los equipos, herramientas y dispositivos eléctricos empleados en la generación, captación y acumulación de energía eléctrica para una micro-red inteligente, de la que se espera satisfacer la demanda creciente y continua disponibilidad de energía para los usuarios finales, aunque sus costos iniciales sean un poco elevados.

Un punto clave en esta investigación es el estudio de los beneficios a largo plazo garantizarían una remuneración y reducción en la facturación mensual para los usuarios, además de otros factores como confiabilidad, disponibilidad 24 horas al

día, tranquilidad, eficacia, entre otros factores de importancia para los usuarios, en especial aquellos que están en sectores lejanos o aislados del anillo central de conexión a la red eléctrica nacional. Un proyecto de emprendimiento de esta índole debe primero ser factible, luego se debe demostrar que es viable, económicamente posible y atractivo para llevarse a cabo [53].

Contextualizando el término de factibilidad al presente proyecto de: caracterización de acumuladores de micro-redes inteligentes, se define este término:

- **Varela**, expresa: “se entiende por Factibilidad las posibilidades que tiene de lograrse un determinado proyecto”. El estudio de factibilidad es el análisis que realiza una empresa para determinar si el negocio que se propone obtendrá beneficios o no, y cuáles serán las estrategias que se deben desarrollar para que sea exitoso.
- **El Diccionario de la Real Academia Española**, enuncia: la Factibilidad es la “cualidad o condición de factible”. Factible: “que se puede hacer”.

5.2. ASPECTOS PARA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DE UN PROYECTO

- Integración de todas las áreas y subsistemas
- Actualización y mejoramiento de los servicios a clientes o usuarios.
- Aceleración en la recopilación de los datos.
- Reducción en el tiempo de procesamiento y ejecución de las tareas.
- Automatización óptima de procedimientos manuales.
- Disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo sus objetivos señalados.
- Presentar las expectativas de rentabilidad. [56]
- Estudio de expectativas y motivación del cliente hacia la inversión propuesta.

5.3. ESTRUCTURA

Un estudio de factibilidad tiene una estructura definida y el orden de los contenidos está orientado a:

- Presentar un resumen de proyecto.
- Elaborar cada parte por separado.
- Fundamentar cada parte en las anteriores.
- Elaborar conclusiones y recomendaciones.
- Es importante que sea resumido, con un lenguaje sencillo y que las partes sean coherentes. **[56]**

Una vez enfocado el marco teórico y toda la argumentación necesaria en el ámbito de este proyecto se analizarán cuatro puntos básicos, para determinar el nivel de factibilidad total, los cuales son:

- Evaluación Socio-operacional.
- Evaluación Técnica.
- Evaluación Financiera.
- Evaluación Ambiental.**[57]**

5.4. FACTIBILIDAD SOCIO-OPERACIONAL

Comprende la posibilidad de aplicar un nuevo sistema sujeto a la presencia de personal capacitado y requerido para llevar a cabo el proyecto, a su vez debe existir usuarios dispuestos a emplear el servicio generado por el proyecto y se ejecute según lo esperado. Teniendo en cuenta lo anterior en esta investigación se aprecian los siguientes aspectos:

- Capacitación a trabajadores u operadores a este tipo de instalaciones en el sector residencial.
- La posibilidad que el sistema conlleve al escepticismo en los usuarios, como consecuencia de los costos de implementación (equipos y mano de obra), inadecuada información, cambios bruscos que no permitan al público adaptarse y aceptarlo rápidamente, entre otras razones.

5.5. FACTIBILIDAD TÉCNICA

Permite evaluar si el equipo está disponible y cumple con las normas técnicas requeridas en el diseño que se está planificando, también se considera la adaptación entre el sistema convencional y no convencional, por parte de las empresas prestadoras de este tipo de servicios. [59]

5.6. FACTIBILIDAD FINANCIERA

Dentro de estos estudios se incluyen el análisis de costo y beneficio asociado, en el contexto de la presente investigación .De este análisis se evidencia los costos (económicos y operativos), los beneficios al aplicar este sistema de almacenamiento de energía renovable, para vivienda. Para este estudio se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- **Evaluación costo beneficio:** compara el costo del proyecto con los ahorros económicos o ingresos producidos.

El análisis elaborado de la relación costo/beneficio para este proyecto se ha descrito en el primer ítem del capítulo 10, con los datos consultados en el transcurso de esta investigación.

5.7. VIABILIDAD

Definiendo y contextualizando el término de viabilidad a este proyecto de caracterización de acumuladores de micro-redes inteligentes, se ha empleado de acuerdo a los siguientes términos.

- Viabilidad³⁸: “Cualidad de viable”, Viable: “Que, por sus circunstancias, tiene probabilidades de poderse llevar a cabo”.
- **Baca**³⁹, expresa: “Es la posibilidad que tiene un proyecto para ser ejecutado y operado de tal manera que cumpla con su objetivo”.

Este término está relacionado con principios de calidad, eficiencia y pertinencia de un proyecto en términos de los elementos conceptuales que lo componen, la información utilizada, la coherencia de los planteamientos y el mayor acercamiento a la realidad a la que se refiere el proyecto. [60]

➤ Tipos de viabilidad

La viabilidad está conformada por aspectos técnicos, socioeconómicos, ambientales e institucionales [59]. Para esta investigación se tendrá en cuenta factores como eficiencia, factibilidad, rendimiento, costo, cumplimiento de la normatividad colombiana, entre otros aspectos más para estimar que tan viable puede ser la implementación del proyecto a nivel nacional.

- **Viabilidad técnica**

Permite determinar la calidad y coherencia de la información relacionada con el objetivo mismo del proyecto, sus planteamientos básicos, la dimensión de las

³⁸ Según el diccionario de la Real Academia Española Viabilidad.

³⁹ Gabriel Baca Urbina. Consultor y escritor del libro Evaluación de Proyectos y de Fundamentos de Ingeniería Económica

variables que intervienen, soluciones y actividades. Cuando se realiza la evaluación se debe revisar [57]:

- ✓ **La identificación de la situación:** Sistemas híbrido (fotovoltaico y aerogeneradores) con sistemas de acumulación de energía, conectados a una microred inteligente, aplicado al sector residencial
- ✓ **Las alternativas técnicas propuestas:** Investigación de nuevas tecnologías, referente a dispositivos y mecanismos de acumulación de energía eléctrica disponible en el mercado
- ✓ **Las actividades:** Recopilación, identificación y clasificación de la oferta tecnológica disponible.
- ✓ **Los costos:** Análisis del estudio realizado de la relación costo-beneficio obtenidos durante la ejecución del proyecto.

- **Viabilidad socioeconómica**

Permite identificar y valorar los beneficios, con el fin de determinar si el proyecto los cumple y si su valoración se encuentra en un rango aceptable.

Los criterios socioeconómicos se refieren al impacto económico del proyecto a nivel residencial y a los efectos sociales sobre los grupos o comunidades afectadas. [57]

- **Viabilidad institucional**

Se refiere al análisis de los mecanismos de ejecución propuestos en el proyecto; la evaluación de la capacidad para su ejecución, operación y seguimiento. Es posible relacionarlo de igual manera con el análisis de impacto ambiental, como una medida planteada para su mitigación, prevención o compensación, según sea el caso. Estos criterios se aplican especialmente a los proyectos que involucran obras que tienen relación con infraestructuras y que pueden generar impactos en el ambiente tanto positivos como negativos.

A la aprobación de cada evaluación en el estudio del nivel de factibilidad, es posible llamarlo *viabilidad*; dichas viabilidades se deben dar al mismo tiempo para alcanzar la *factibilidad* de un proyecto (“*un proyecto puede ser viable técnicamente pero puede ser no viable financieramente o ambientalmente*”), son aspectos básicos determinantes para la factibilidad. **[58]**

En el desarrollando de este proyecto, de acuerdo a los tópicos de factibilidad y viabilidad indicados, se enuncian las siguientes etapas:

1. Identificación del tema a investigar y sus objetivos: El diagnóstico de las necesidades, el cual puede basarse en una investigación de campo o en una investigación documental.
2. Plan inicial de la investigación: El planteamiento y fundamentación teórica de la propuesta; el procedimiento metodológico.
3. Estudio y análisis de la temática del proyecto: Las actividades y recursos necesarios para su ejecución y el análisis de viabilidad o factibilidad del proyecto.

Para la continuidad y desarrollo de las etapas de este proyecto se realiza el informe, en el que se estudia su viabilidad y factibilidad, conformado por aspectos como: introducción, contexto de la situación, el planteamiento del problema y sus necesidades, los objetivos y la justificación del proyecto; el marco referencial, la metodología, el diagnóstico de las necesidades, la formulación de la propuesta, el análisis de factibilidad, las recomendaciones y la lista de referencias. Además, en caso de que el proyecto requiera la evaluación de las propuestas, es necesario incorporar la descripción de los procesos, los resultados, las conclusiones y recomendaciones. **[60]**

6. SISTEMAS DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA

El almacenamiento de electricidad como desarrollo tecnológico surge en respuesta a la necesidad de relacionar oferta y demanda de energía eléctrica, que sin los diferentes sistemas de acumulación, tendría que ser producida y consumida de forma instantánea. La tecnología implicada es diversa, tanto en su forma de almacenamiento energético, como en las características propias de cada sistema de almacenamiento (vida útil, potencia, energía, peso, tamaño, eficiencia, velocidad de carga y descarga, entre otros aspectos a tener en cuenta).

Se distinguen grandes y pequeños sistemas, tanto estacionarios y móviles. Para este trabajo de grado se tratan únicamente los sistemas estacionarios, puesto que estos son los que priman en el ámbito de las micro-redes inteligentes e influyen un mayor interés sobre el resto de tecnologías. De igual manera, los sistemas de acumulación se pueden distinguir en términos de la función a desempeñar.

La restricción en la implementación de sistemas de acumulación, esta dada principalmente por los costos de inversión y mantenimiento para la aplicación de estos sistemas en el ámbito de una micro-red inteligente clasificados en:

- Sistemas de mejora de potencia: solo operan en tiempos inferiores al segundo para asegurar la estabilidad de la potencia suministrada.
- Sistemas puente de potencia: operan en intervalos de segundos a minutos para asegurar la continuidad del servicio cuando se cambia de fuente de generación energética.
- Sistemas de gestión de la energía: se utilizan para desacoplar generación y consumo de energía eléctrica. Una aplicación típica es la nivelación de la carga, implica que la carga sea alimentada por el sistema de almacenamiento, cuando el costo de energía sube en la red eléctrica nacional, disminuyendo así los costos de facturación del domicilio.

Por tanto se presentan distintas aplicaciones dentro de los sistemas eléctricos en función de la potencia requerida y del tiempo de respuesta de la unidad de almacenamiento. Así, los sistemas con pequeña capacidad de almacenamiento y potencia se utilizan para mejorar la calidad de la potencia en la red, mientras que a potencias mayores se utilizan para garantizar la estabilidad del sistema de transporte de energía. A mayor capacidad de almacenamiento y de respuesta, están situados los sistemas que permiten una mayor incorporación de las fuentes renovables no gestionables⁴⁰ en la micro-red eléctrica, así como los que ayudan al control de la frecuencia y voltaje de la red. [65]

Para el sector residencial, un sistema solar-fotovoltaico en un ámbito de micro-redes, se convierte en la mejor solución para que un usuario ahorre dinero, pues se trabaja en conjunto con la red eléctrica existente en el sitio, con la característica especial que el sistema suministra de manera inmediata la energía generada por los paneles ubicados en la parte superior de la vivienda, a la red interna domiciliaria haciendo que un medidor inteligente, instalado en ese sistemas, gire con menor velocidad, disminuyendo así la facturación mensual del consumo de energía eléctrica.

- **¿Cómo se puede acumular la energía eléctrica?**

La energía eléctrica no se puede acumular. Para almacenarla es necesario transformarla en otros tipos de energía, como por ejemplo energía química. Cuando exista demanda por parte del usuario, un dispositivo deberá encargarse de “retransformar” la energía acumulada en electricidad. Para esto, existen diversas tecnologías de acumulación de energía, que pueden dividirse en grupos dependiendo de la función del tipo de energía en la que es transformada la

⁴⁰ No son gestionables ni la energía solar fotovoltaica ni la energía eólica puesto que producen cuando hay sol o viento independientemente de la existencia de demanda.

electricidad para su almacenamiento; estas tecnologías se describen en el capítulo 7 de esta investigación.

6.1. CARACTERÍSTICAS DE ACUMULADORES ELÉCTRICOS

En los sistemas solares fotovoltaicos off-grid (aislados de la red eléctrica), el almacenamiento de energía se efectúa mediante un banco de baterías conectadas, es otra alternativa de acumulación de energía. Las baterías son elementos frágiles y de una capacidad de almacenamiento fija dentro de una micro-red, independiente de ocurrir un aumento no programado en la demanda energética. **[67]**

Cuando la carga energética aumenta en un sistema, se produce una disminución de la energía almacenada en la batería, llegando a valores de capacidad residual críticos y perjudiciales para la vida útil de la batería, para seguridad y con el fin de garantizar su funcionamiento por largo tiempo, algunos tipos de acumuladores permiten una descarga máxima del 80% de la energía almacenada en la batería. **[68]**

En la figura 24, se describe la estructura física y sus componentes de una sencilla batería, formada principalmente por un conjunto de placas positivas y negativas y un separador entre ellas para evitar que entre las placas se produzca un corto circuito.

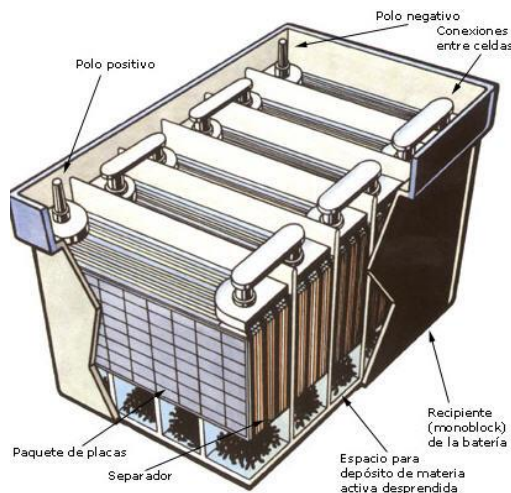


Figura 25. Esquema de componentes típica de una batería⁴¹.

En una situación donde se empleen baterías de diferente modelo, y que por alguna circunstancia no fuera posible mantener el mismo modelo de la batería, bien sea por ampliación de la instalación, mantenimiento de los equipos o que dicho equipo no se fabrique más y no sea posible su reparación, se dispondrá en esta situación un sistema de regulación de caudal de la corriente para los acumuladores, permitiendo a los nuevos modelos de baterías conectadas a la instalación, trabajen con el mismo caudal de corriente y al mismo ritmo que las baterías ya existentes, permitiendo que circule por el circuito primario un caudal o flujo de corriente óptimo.

Para aquellas baterías que sean de diferente modelo en una misma instalación se debe garantizar que siempre el flujo de corriente que circula por dicho captador fuera del rango $\pm 5\%$ respecto al caudal original de diseño. El sistema no puede tener una disminución del rendimiento térmico en la captación a condiciones

⁴¹ Fuente: Imagen tomada via web <http://blog.technosun.com/wp-content/uploads/2010/02/bateria_plomo.jpg>

habituales de operación y por estética o simetría normalmente se trabaja con modelos que sean similares. [69]

6.2. GENERALIDADES DE LOS ACUMULADORES ELÉCTRICOS

Todo acumulador lleva una placa de identificación situada en un lugar claramente visible y escrito con caracteres definitivos en la que aparecerán, entre otros, los siguientes datos: [70]

- Nombre y señas de identificación del fabricante.
- Marca y modelo.
- Año y número de fabricación.
- Volumen
- Presión máxima de trabajo (en bar)
- Temperatura máxima de trabajo en grados Celsius (°C).

Haciendo un estudio y recopilando información de los diversos acumuladores de energía eléctrica que existen en la actualidad, se encuentran disponibles varios modelos y referencias (Ver capítulo 7). [67]

i. Acumuladores bajo forma de energía potencial gravitatoria, que son conocidos popularmente como saltos o presas de agua

Consiste en un conjunto de bombas que hacen retornar agua a un reservorio aguas arriba de las turbinas. Una central hidroeléctrica genera electricidad de manera cuasi constante durante las 24 horas pero la demanda es irregular siendo generalmente la diurna mayor a la nocturna. Para no desperdiciar el excedente nocturno, idealmente se debería almacenar esta energía para el día siguiente. Si bien hacer subir un determinado volumen de agua, para que recircule por la

turbina requiere más energía de lo generado, porque de otra manera se hubiera desaprovechado la generación nocturna por completo⁴².

ii. Acumuladores de pilas y baterías electroquímicas

Este sistema es uno de los más utilizados en lo concerniente al almacenamiento de energía eléctrica, útiles para aplicaciones portátiles de baja demanda de energía, pero baja eficiencia energética y una vida útil restringida. Generalmente recomendada para uso a pequeña escala o por ejemplo en el ámbito de una microred- inteligente⁴³.

iii. Acumuladores mediante volante de inercia

Limitados por la resistencia del material del volante ante la fuerza centrífuga. Un volante es un disco con gran momento de inercia rotacional, un concepto similar al peso de un objeto pero aplicado a la rotación. Los volantes son cargados y descargados a través de un motor/generador, que toma la energía de la red eléctrica para hacer girar el rotor del volante.

Durante un corte de servicio o baja tensión el motor/generador brinda energía. La energía cinética almacenada en el rotor es transformada a corriente continua por el generador y luego a corriente alterna gracias a un inversor y un sistema de control. Los volantes más avanzados están fabricados de fibra de carbono y rulemanes o discos magnéticos. Estos pueden girar a velocidades de hasta 60.000 r.p.m. Ofrece adicionalmente la posibilidad de descargas sumamente rápidas comparadas con baterías basadas en reacciones químicas. Su principal inconveniente es poco tiempo de almacenamiento. **[31]**

⁴² Tomado de: [<http://www.lanacion.com.ar/1153502-alternativas-en-el-almacenamiento-de-energia>]

iv. Acumulación de energía en bobinas electromagnéticas superconductoras, o Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES).

Esta forma de acumulación ofrece una eficiencia energética próxima al 100% y un ciclo casi ilimitado y es utilizado frecuentemente para sistemas a pequeña escala, como es el caso para un ámbito residencial. *(Detalles en el capítulo 7)*

v. Almacenamiento por aire comprimido

Este sistema de almacenamiento es similar al de acumulación por bombeo de agua descrito anteriormente. Durante las horas de baja demanda se bombea aire dentro de unas cuevas subterráneas creando alta presión. Luego se aprovecha esta presión en los periodos de mayor demanda de energía, para hacer girar unas turbinas y generando electricidad⁴⁴. *(Detalles en el capítulo 7)*

Por tanto, con la incorporación de fuentes variables implica aumentar la flexibilidad de los sistemas eléctricos, para ello existen varias opciones, como lo es aumentar la capacidad de generación de centrales de gas e hidroeléctricas, realizar interconexiones, gestión de carga, sistemas de almacenamiento o una combinación entre ellos. Los sistemas de almacenamiento de energía son una opción viable y además aumentan las reservas de energía. En el ámbito de micro-red inteligente, los circuitos de una instalación solar fotovoltaica y eólica tienen unas condiciones de trabajo y características fijas de trabajo **[75]**.

Como todo equipo eléctrico, los sistemas de acumulación de energía dependen en su mayoría del cuidado y mantenimiento que se le den a los equipos, al inspeccionar con regularidad las partículas que obstaculicen su funcionamiento, es decir que estén libres de sulfatos y humedad, revisar los electrolitos del

⁴⁴ Adaptación de [<http://www.lanacion.com.ar/1153502-alternativas-en-el-almacenamiento-de-energia>]

acumulador y su limpieza para evitar fugas de corriente producidas por humedad o suciedad.

Procedimiento para cargar acumuladores

- En caso de tener una batería electroquímica, se debe revisar el nivel de ácido de cada celda antes de ponerlo a cargar y evitar la sobrecarga de la misma.
- Si el acumulador se calienta entre 49 °C a 60 °C durante la carga, hay que reducir el amperaje de carga o discontinuar la carga hasta que la temperatura del acumulador baje.
- Cuando un acumulador empieza a generar burbujas de gas, está indicando que ha llegado a su estado de carga completa. [76]

6.3. ALMACENAMIENTO DE LA ENERGÍA EN REDES INTELIGENTES

Según **David Lindley**⁴⁵ “*Las energías renovables no son una opción viable si no se consigue almacenar energía a pequeña y gran escala*”, ya que al implementar el uso de energías renovables hay ciertos factores externos que pudiesen afectar el suministro continuo y confiable de energía eléctrica al usuario final. Implementar sistemas de acumulación de energía, en caso de una emergencia en la red principal de suministro de energía, se cuenta con un recurso alternativo para el uso de energía.

La falta de mecanismos de almacenamiento rentable y eficiente, es tan problemático como inconveniente para las compañías energéticas desde años anteriores, obligadas a proporcionar un suministro continuo de electricidad y a dar solución a una demanda variable. Normalmente se recurre a utilizar un costoso e

45 David Lindley, Gerente de Finalización / reacondicionamiento en Argent Energy Trust

ineficiente método de ajustar la producción, con una central de carbón, por ejemplo encender una central de gas “de máxima potencia” durante períodos de gran demanda. [74]

“Si se quiere que una parte importante de nuestra energía proceda de fuentes renovables, es imprescindible poder almacenarla”, comenta **Ali Nourai**⁴⁶, responsable de almacenamiento de energía de **American Electric Power**, una compañía eléctrica de Columbus, *Ohio*, y Presidente de la asociación profesional *DC Electricity Storage Association*, con sede en *Washington*. [74]

Entre las diferentes tecnologías de almacenamiento de energía eléctrica, están los volantes de inercia de alta velocidad, capacitores electromecánicos, baterías de ácido tradicional, avanzadas baterías de carbón, baterías de sulfuro de sodio, baterías de iones de litio, baterías de bromuro de zinc, baterías de vanadio redox, almacenamiento de energía por compresión de aire (CAES), almacenamiento por hidro-bombeo, entre otras [78]. Para este trabajo de grado se profundizará lo respectivo a acumuladores en el siguiente capítulo.

Algunas ventajas significativas con la aplicación de estas tecnologías, señaladas por varios autores especializados en el tema (proveedores, diseñadores, comercializadores, entre otros), es la capacidad de los acumuladores para trabajar a diferentes niveles de potencia, largo ciclo de vida y alta densidad de energía. También presentan algunas desventajas como ciclo de vida limitado, elevados costos en algunos sistemas de acumulación de energía, requerimiento para arrancar en alta temperatura, necesidad de reforzar los circuitos de control y algunos de ellos requieren de sitios especiales para su instalación y funcionamiento.

⁴⁶ Dr. Ali Nourai, Gerente de Recursos Energéticos Distribuidos de la American Electric Power

Respecto a las aplicaciones de potencia y energía, algunas tecnologías son totalmente posibles y razonables, otras más viables en aplicaciones especiales, algunas factibles pero no muy prácticas y económicas, o viceversa. En cuanto a costos de la implementación de estas tecnologías en micro-redes inteligentes a nivel residencial, varía de acuerdo a las características de la instalación y del presupuesto destinado para la ejecución del proyecto. **[76]**

El almacenamiento energético, además de hacer posible el aumento en la incorporación de sistemas de energías renovables, permite balancear fluctuaciones abruptas (del orden de segundos o minutos) en la dupla generación-consumo y además satisfacer la demanda energética. Estas dos características implican una mayor confiabilidad de la red eléctrica, ya que se evitan interrupciones del suministro, y también un aumento de la capacidad, al disminuir la necesidad de centrales de punta⁴⁷ **[108]**.

Debido a las variaciones de consumo en el transcurso del día, la curva de demanda diaria de energía eléctrica tiene grandes diferencias entre los picos de demanda y las horas valle. Por tanto, la eficiencia de la infraestructura eléctrica no es óptima, es decir, se puede mejorar tanto más se aplane la curva. En la figura 27, se destaca las siguientes características propias de una curva diaria de consumo energético estándar.

⁴⁷ Estas centrales tiene como principal función cubrir la demanda de energía eléctrica cuando existen picos de consumo, o sea horas punta. Trabajan en espacios cortos de tiempo durante determinadas horas, su funcionamiento es periódico.

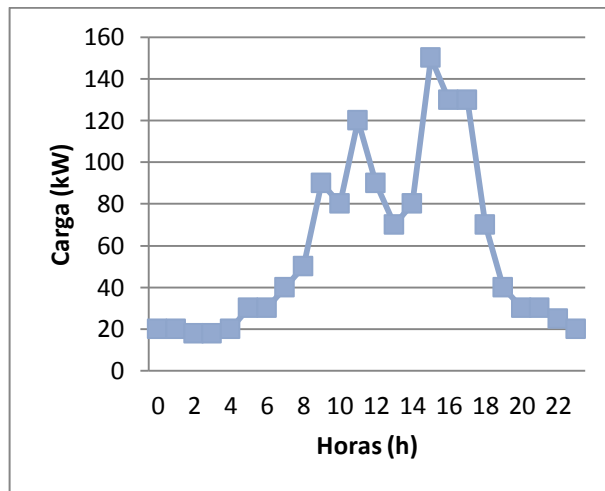


Figura 26 Curva de demanda energética.⁴⁸

Periodo de baja carga

El periodo de más baja carga va desde la medianoche hasta las 04:00 h y desde las 11:00 h hasta medianoche debido que sólo corresponde a iluminación de exteriores y de seguridad.

Ascenso y descenso

En la mañana la Curva asciende hasta alcanzar su pico máximo matutino igual a 120 kW, por aumento de la producción. A medio día decrece la utilización de la carga (hora de almuerzo) y vuelve a crecer a un pico máximo del día a las 15:00 h igual a 150 kW.

Picos y Valles

La curva de carga muestra una utilización muy desequilibrada de la carga instalada a través de las horas del día. Sería deseable, por propósitos de eficiencia en la producción, que el uso fuera más constante y más equilibrado. Los desequilibrios mencionados reciben el nombre de picos (las crestas) y valles (las

⁴⁸ Fuente: Autoras, en base a la curva de carga de una instalación sobre un periodo en un día típico.

depresiones). Es entonces aconsejable llevar a cabo un programa de optimización del uso de la carga con propósito de disminuir los picos y rellenar los valles.

Una forma de optimizar el uso de la carga y obtener consecuentemente beneficios económicos es desplazar los procesos productivos a nivel nacional mediante la implantación de nuevos horarios de trabajo o desplazamiento de los procesos productivos para los periodos de menor exigencia para el sistema eléctrico nacional. El encargado de la instalación debe efectuar un profundo análisis comparativo, si la inclinación es implementar un nuevo horario de trabajo, por ejemplo, después de las 21:00 h, con los beneficios asociados en materia de electricidad y la disminución de las tarifas energéticas al usuario si está asociado a la modalidad de medición de energía activa y demanda y/o el incremento a nivel salarial y prestaciones a los empleados en el ámbito industrial. [32]

La variabilidad temporal de las fuentes de energía renovable hace necesario la utilización de sistemas de almacenamiento que permitan disponer de energía en forma continua. Estos sistemas permiten colaborar en el seguimiento de la demanda por parte de la generación, evitando el arranque de grupos térmicos en emergencias breves, cubriendo las irregularidades de suministro y optimizando la planificación de los sistemas de generación. De igual manera, al utilizar eficientes sistemas de almacenamiento de energía, es posible reducir la demanda máxima y optimizar los consumos desplazándolos a horas en que el precio sea menor.

Al caracterizar un sistema de almacenamiento de energía eléctrica, se tiene en cuenta aspectos, como son:

- Capacidad de almacenamiento adecuada.
- Potencia aportada.
- Respuesta suficientemente rápida, modulada y controlada.
- Vida útil suficiente para reducir la amortización.
- Costos de mantenimiento.

- Bajo impacto ambiental.

El almacenamiento de energía es vital para aumentar la eficiencia y sustentabilidad de los sistemas energéticos al brindar respaldo de electricidad inmediato de ser necesario y de las especificaciones que posea la instalación o el usuario requiera, además permiten que las pérdidas por transmisión de energía disminuyan considerablemente, ya que la ubicación de los equipos de acumulación de energía es cercano o adyacente al punto donde está instalada la carga eléctrica a suplir. **[61]**

7. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE TECNOLOGÍAS EN ACUMULACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Los nuevos sistemas de producción de energía necesitan disponer de medios para almacenar la energía, siendo cada vez más fácil producir energía de múltiples formas. La producción de electricidad por medio de estas fuentes de energía no es costosa, contrario a su almacenamiento con los sistemas de baterías actuales, siendo que las baterías disponibles para el almacenamiento a nivel de red, o son de un costo apreciable y pueden durar los miles de ciclos necesarios para hacerlas competitivas financieramente, siendo esto motivo de nuevas investigaciones para examinar la viabilidad en sistemas de acumulación aplicado al ámbito residencial. [32]

El gran problema al que se enfrentan los sistemas de suministro energético es la dificultad (además del costo económico) de almacenar energía durante los periodos de bajo consumo y utilizarla durante los picos de demanda. Esto es relevante desde el punto de vista de las energías renovables, si se pretende que constituyan una alternativa realista a las energías consumibles. En efecto, es muy difícil que la producción de energía se adecue perfectamente a la necesidad o demanda por parte de los consumidores⁴⁹.

Como una de las soluciones a la imprevisibilidad de la energía generada por medios de unidades eólicas y fotovoltaicas, se presenta la utilización de medios de almacenamiento de energía o ESS (*Energy Storage Systems*). En el contexto del mercado eléctrico, los principales objetivos del almacenamiento de energía son:

- Aumentar la eficiencia en los sistemas eléctricos, al reducir la necesidad de centrales de generación auxiliar.

⁴⁹ <http://solucionrenovable.blogspot.com/2011/05/innovacion-capitulo-iii-almacenamiento.html>

- Aumentar la confiabilidad de los sistemas eléctricos, al evitar los costos en la interrupción del suministro.
 - Aumentar la disponibilidad de fuentes renovables (fotovoltaica, eólica).
 - Aumentar el factor de utilización en las plantas de generación renovables. **[64]**
- Estos factores son útiles para determinar la viabilidad del proyecto y, posteriormente, para realizar la planificación de la operación del sistema a largo plazo. Sin embargo, para la planificación de la operación a corto plazo, estos valores no pueden ser utilizados, dada una elevada tasa de variación del viento no garantiza tampoco la disponibilidad del recurso.

Así mismo, se presenta la problemática de la incapacidad de almacenar y transportar esta fuente de energía en las situaciones de desequilibrio entre oferta y demanda. En el siguiente capítulo se presenta un listado con los principales sistemas de acumulación de energía eléctrica y su correspondiente descripción:

7.1. TIPOS DE ALMACENAMIENTO PARA ENERGÍA ELÉCTRICA

Tradicionales:

- Combustibles fósiles
- Baterías convencionales
- Generación, por bombeo hidroeléctrico

Tecnologías en desarrollo:

- Almacenamiento de energía con aire comprimido (CAES)
- Volantes de Inercia (Flywheels)
- Baterías Electro-químicas
- Magnetos con Superconductores (SMES)
- Capacitores

A continuación se describe cada una de las tecnologías de almacenamiento enunciadas en la Tabla 2:

<u>ALMACENAMIENTO ELÉCTRICO</u>				
INDIRECTO			DIRECTO	
Energía Mecánica				
Energía Potencial		Energía Cinética		
Central de Bombeo	Aire Comprimido (CAES)	Volantes de Inercia	Baterías Electroquímicas	Bobinas Magnéticas Superconductoras (SMES) Capacitores

Tabla 3 Principales tecnologías para almacenamiento de energía eléctrica⁵⁰.

7.2. LAS TÉCNICAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA PUEDEN SER CLASIFICADAS EN FUNCIÓN DE DIFERENTES CRITERIOS

- Tipo de aplicación, permanente.
- Duración del almacenamiento, cortos o largos periodos.
- La potencia máxima demandada.

Es necesario analizar las características fundamentales de los sistemas de almacenamiento con el objeto de establecer criterios para seleccionar la mejor tecnología. La elección del tipo de almacenamiento se basa en los siguientes criterios: tiempo de almacenamiento, potencia disponible, capacidad de descarga,

⁵⁰ Tecnologías de acumulación de energía principales a estudiar en el ámbito de una micro-red inteligente.

tiempo de descarga, localización, ciclos de vida útil, rendimiento, autonomía, costos, densidad de energía volumétrica (kJ/m^3).

Para obtener un almacenamiento de energía eléctrica eficaz, ésta debe ser almacenada como otra forma de energía, y cuando sea requerida para el abastecimiento de la carga eléctrica, nuevamente se transformará en energía eléctrica.

7.3. CENTRALES DE BOMBEO

Dentro de los sistemas estacionarios dedicados al almacenamiento de energía eléctrica, los sistemas hidráulicos de bombeo suponen cerca del 100% del total, esto por la tecnología avanzada en este campo y al desarrollo de la energía hidráulica en el planeta (*En la figura 27, se presenta el aumento de la capacidad instalada de plantas de bombeo desde 1900 hasta una proyección para el año 2020*). La tendencia en capacidad de bombeo es ascendente, aunque las dificultades para encontrar nuevos emplazamientos en los países desarrollados hacen prever que el mayor desarrollo se producirá en un futuro de los países en vía de desarrollo. [65]

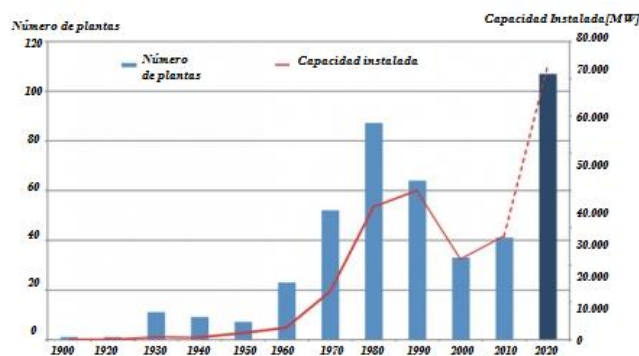


Figura 27. Almacenamiento con Plantas de Bombeo⁵¹.

⁵¹ Fuente: Autoras, datos basados de Energía renovable y medio ambiente, *Ecoprog*, empresa Alemana.

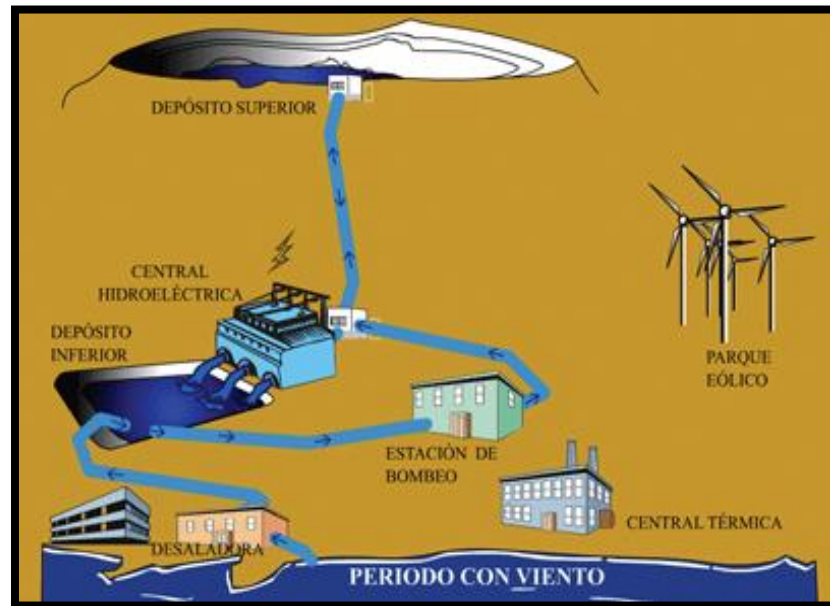


Figura 28. Esquema de una central hidro-eólica con estación de bombeo⁵²

La figura 28, despliega el esquema y la conexión de una central hidroeléctrica con estación de bombeo, el funcionamiento de esta planta de generación inicia en los periodos donde la demanda energética es baja, las centrales de bombeo utilizan la electricidad sobrante para bombear el agua desde el depósito inferior hacia el depósito superior. Cuando la demanda es muy elevada, el agua sale del depósito superior y activa las turbinas para generar energía eléctrica en horas pico. Las centrales de bombeo hidroeléctricas tienen un rango de eficiencia entre el 65% y el 80%.

De aquí al año 2020 se construirán en el mundo más de 100 nuevas centrales hidroeléctricas de bombeo con una capacidad de 74 GW. Este sistema de

⁵² Fuente: Central de bombeo Eólica EL HIERRO. ESPAÑA

almacenamiento vive un boom en Europa, Asia y Norteamérica, estima la consultora alemana *Ecoprog* GMBH. [65]

5.1. AIRE COMPRIMIDO (CAES)

El almacenamiento de energía por aire comprimido es un método no sólo eficiente y limpio, sino económico. En 1973 se instaló en Alemania la primera planta con esta tecnología, haciendo uso de las cuevas naturales del subsuelo como almacén. Más tarde se han ido instalando posteriores plantas similares en Estados Unidos (Alabama y Ohio), las cuales están diseñadas para operar en un ciclo diario de carga durante la noche y la descarga durante el día. [79]

La tecnología de almacenamiento CAES (*compressed air energy storage*), consta de un sistema de almacenamiento y una turbina de gas que genera electricidad a partir de la expansión por aire comprimido, como se ilustra en la siguiente figura:

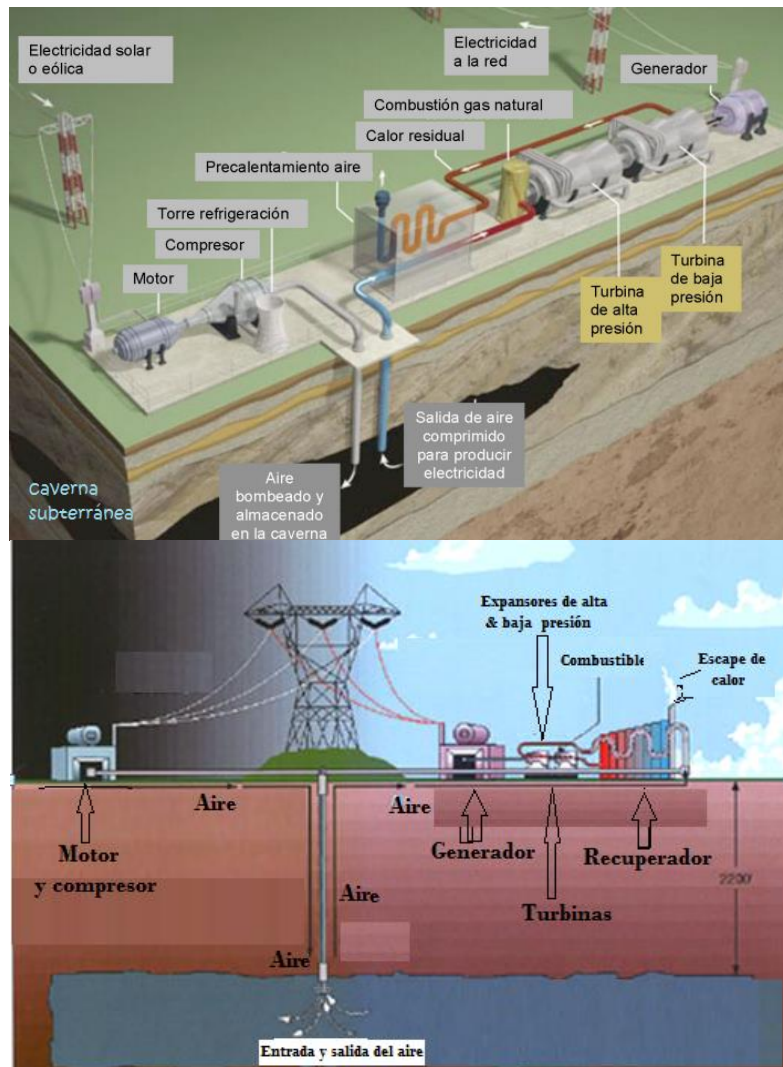


Figura 29. Esquema (vista superior y frontal) del funcionamiento en un sistema de almacenamiento por aire comprimido y alimentado con gas natural⁵³

Es novedoso el funcionamiento de este sistema, basado en el aprovechamiento de la energía eléctrica sobrante (de bajo costo) fuera de las horas punta, donde se comprime el aire en un almacenamiento subterráneo, para más adelante ser

⁵³ Fuente: [En línea] Vía web <https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTZG3ZLbEpZ9JYIZtE8UKCt2Pq0X03CPtvBouqLtiRf5SvUCu-fzA> (16 de febrero de 2014)

utilizado en la alimentación de una turbina generadora que entrega energía a la red eléctrica durante los periodos de alta demanda energética. **[80]**

Este sistema de almacenamiento se lleva a cabo a alta presión (entre 40-70 Bares) y a temperaturas cercanas a la ambiente, en tal situación es recomendable depósitos con menor volumen. Gran número de estudios realizados han concluido que el aire debe ser comprimido y almacenado en el subsuelo con tuberías altamente presurizadas (20-100 Bares).

Una planta de generación de energía con una turbina de gas utiliza dos tercios de la potencia disponible para comprimir el aire de la combustión. Mediante este sistema de almacenamiento, se consigue separar el proceso en varias fases para utilizar la energía eléctrica, al comprimir el aire durante las horas valles (las horas de almacenamiento) y posteriormente, durante las horas pico se produce tres veces la potencia para el mismo consumo de combustible, expandiendo el aire en una cámara de combustión antes de introducirse en las turbinas y el calor residual se recupera del humo y se usa para calentar el aire. La densidad de energía para este tipo de sistemas está alrededor de 15 kJ/m^3 y el rendimiento estimado se sitúa en torno al 70%. **[63]**

“CAES parece tener muchas de las características necesarias para transformar el viento en una fuente que sirva de apoyo a la producción de electricidad global. El uso de almacenamiento de la energía eléctrica en forma de aire comprimido, permite resolver parte de las necesidades de la electricidad en un mundo competitivo sujeto al consumo de energías fósiles como el petróleo o el carbón⁵⁴.”
[81]

⁵⁴ Estudio sobre CAES realizado conjuntamente con la Universidad de Princeton.

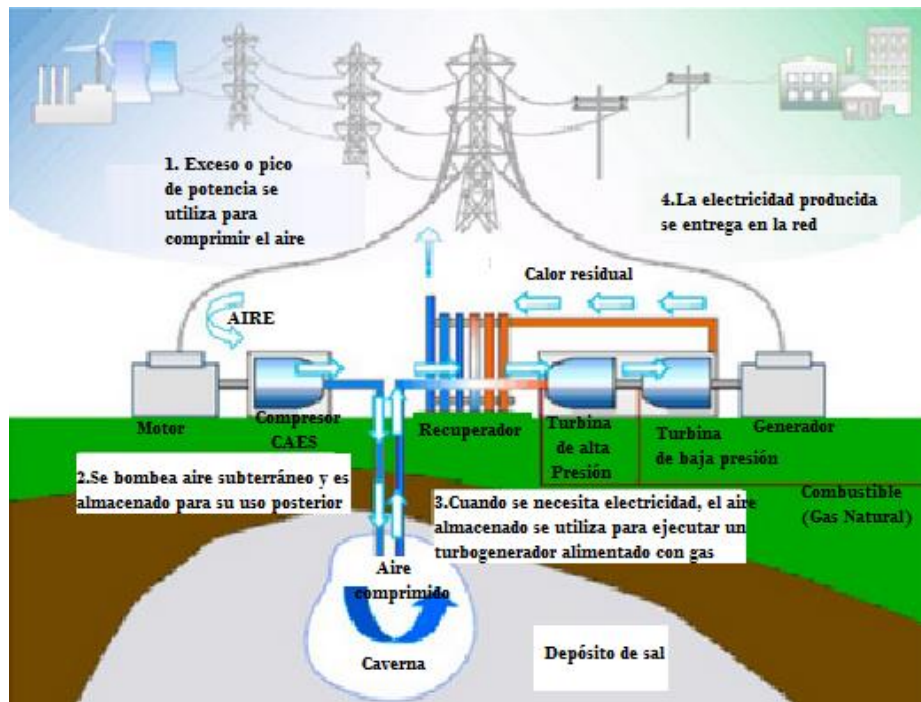


Figura 30. Esquema de funcionamiento sistema CAES55

En las figuras 29 y 30, se describe el ciclo de operación de una planta CAES para el almacenamiento de energía eléctrica. En esta tecnología, el tiempo de almacenamiento necesario puede ser de horas, días o incluso meses, además, es una tecnología madura y en la actualidad existen proyectos en marcha: *Huntorf* (Alemania) y *McIntosh* (EE UU) [90]. Otro proyecto innovador es el *Lowa Storage Energy Park* (Lowa, EE UU), además de un proyecto estadounidense en ejecución que tiene el respaldo tecnológico de *Sandia National Laboratories*. Con la energía proporcionada por los aerogeneradores, se comprimirá y guardará aire en un acuífero situado a 1.000 metros de profundidad en el centro del estado de *Lowa*, usado hasta ahora para atesorar gas natural. Este parque eólico, cuya

⁵⁵ Fuente: Autoras, tomando como base: [En línea] Vía web <http://www.intechopen.com/source/html/42268/media/image2_w.jpg>, (11 de febrero de 2014)

construcción costó unos 130 millones de euros, y suministra 270 MW 16 horas al día. [91].

Para ésta instalación, cuando no se necesita generar electricidad, el aire es almacenado en una formación geológica subterránea profunda para su uso posterior en la generación de la electricidad que se puede utilizar cuando sea necesario, especialmente durante las horas pico de alta demanda.

Por otro lado, los compresores de aire comprimido tienen algunos inconvenientes que hace su uso un poco limitado:

- Tiempo de **respuesta** tardío: se puede hablar de minutos, incluso horas, es decir, tienen poca flexibilidad ante una demanda.
- Problemas de fugas y fricción debido a la naturaleza gaseosa del aire.
- Moderado rendimiento (alrededor del 70%).
- Los ratios de presión y eficiencia en los sistemas de conversión neumáticos son bajas.

La mayoría de investigaciones están orientadas a superar estas limitantes. Para reducir el tamaño de estas instalaciones, en la actualidad se están realizando prototipos (pronto saldrán al mercado) que hibridan los sistemas de conversión neumático con los hidráulicos, dando lugar a los sistemas hidroneumáticos (se consiguen grandes ratios de presión con dispositivos de pequeño tamaño). De igual manera, para mejorar el rendimiento y disminuir el tiempo de respuesta, se ha conseguido unir los sistemas hidroneumáticos con los supercondensadores. Estos nuevos dispositivos van encaminados a integrarse en los sistemas de generación mini eólica en entornos residenciales formando parte de la generación distribuida. [66]

Es diversa la oferta tecnológica disponible para el almacenamiento de energía eólica y la utilización del aire comprimido en el sistema que mejor se adapta a su variabilidad y una de las grandes ventajas de esta tecnología es la posibilidad de almacenar el aire comprimido durante largos periodos de tiempo, a diferencia de las baterías de plomo o de litio, que necesitan en general realizar descargas diarias o semanales. [63]

En las instalaciones de almacenamiento de energía por aire comprimido **(CAES)** cuando se comprime el aire, el gas natural se calienta, lo que limita la cantidad de aire que puede bombearse bajo tierra sin que se caliente demasiado para poder almacenarse con seguridad. Además, cuanto más tiempo se deje el aire caliente en un sitio, aumenta la temperatura y una parte de la energía que entra se dispersa por las paredes de la cueva. Y cuando vuelve a liberarse, el aire que se expande se enfría. [71]

A corto plazo, este tipo de sistema híbrido “es muy razonable”, afirma *Haresh Kamath*, investigador del *Electric Power Research Institute (EPRI)* de Palo Alto, California, especialmente cuando se produce cada vez más electricidad de energías renovables que permite recargar el sistema por la noche. No obstante, al pensar en el futuro, el EPRI y otras Instituciones estudian mejoras para convertir el CAES en un sistema de almacenamiento de energía real sin necesidad de combustibles fósiles. [72]

7.4. VOLANTE DE INERCIA

El volante de inercia es un dispositivo compuesto por un cilindro rotatorio de masa elevada, confinado mediante levitación magnética dentro de un estator. El Volante de inercia opera en vacío para mejorar su eficiencia y se conecta a un generador

para producir electricidad. Las principales ventajas del volante de inercia son las pocas exigencias de mantenimiento, su larga vida útil y su comportamiento inerte a condiciones medioambientales. [65]

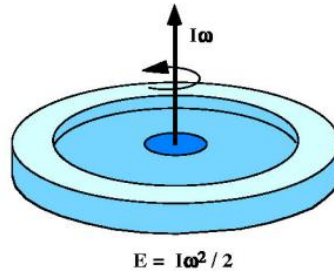


Figura 31 Disco rotatorio del cilindro de un volante de inercia⁵⁶

La conservación del momento angular permite acumular energía como energía cinética de rotación con una eficiencia >80%, donde las pérdidas por fricción pueden disminuirse manteniendo el volante de inercia al vacío y el límite de energía que puede almacenar está en la máxima velocidad que puede alcanzar sin desintegrarse, por ejemplo, para obtener 1MJ/kg con un radio de giro de 1m, hace falta que el disco gire con 15.000 r.p.m⁵⁷

Estos acumuladores aún son estudiados y están en etapas de desarrollo e innovación, con el propósito de mejorar su operación en amplios periodos de tiempo. La idea es poder avanzar en el estudio de esta tecnología para poder aplicarla en un ámbito de micro-redes inteligentes para uso residencial, pues cuenta con la característica de que tiene el paso de 0% a 100% de potencia entregada en un tiempo inferior a 5 ms. [65]

⁵⁶ Tomado de: <http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/fisica-y-tecnologia-energetica/recursos/20-almacenamiento.pdf>

⁵⁷ Fuente: Via web < <http://nosoloingenieria.com/almacenamiento-energia-volante-de-inercia/> >

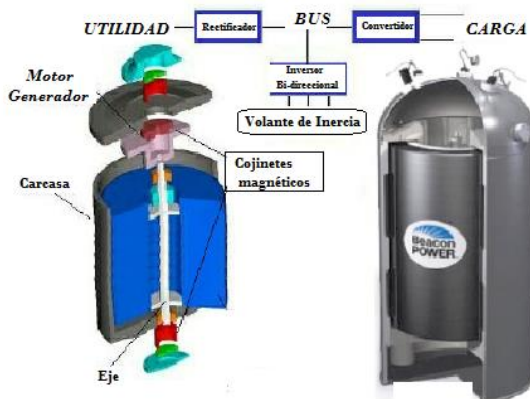


Figura 32 *Volante de inercia*⁵⁸

7.5. BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS

Estos sistemas de almacenamiento químico tienen la finalidad de almacenar y liberar electricidad alternando fases de carga y descarga. Estos acumuladores pueden transformar la energía química generada mediante reacciones electroquímicas en energía eléctrica y viceversa, sin emisiones contaminantes y ruidos, además que requieren poco mantenimiento. [62]

- Entre diferentes tipos de baterías se tienen:
 - Plomo-ácido.
 - Metal-aire.
 - Sodio Azufre.
 - Redox vanadio.
 - Ion Litio.
 - ZnBr

⁵⁸ Fuente: “flywheel” o volante de inercia, cortesía de *Beacon Power*.

A continuación, en la figura 33 se observa este tipo de baterías conectado a un panel solar.

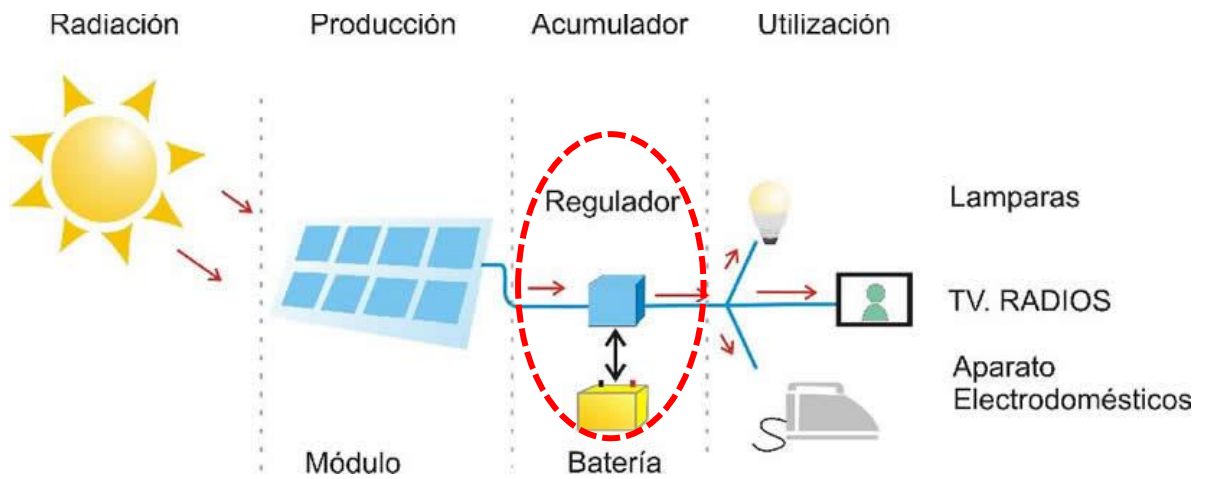


Figura 33 Batería para energía solar y eólica⁵⁹.

7.6. ÁCIDO PLOMO

Estos acumuladores son los más usados en sistemas con energía solar y eólica, parecidos a los que se usan en autos y camiones, pero optimizadas para una aplicación diferente. Infortunadamente, las baterías ácido-plomo tienen una baja densidad energética, son pesadas y voluminosas para la cantidad de energía que almacenan y no soportan bien ciclos repetidos de carga y descarga. A pesar de su bajo costo para la gestión energética no es muy utilizada debido a su baja durabilidad y a que el nivel de energía que puede almacenar no es fijo sino que depende de la velocidad de descarga. En la figura 34 se presentan los componentes externos e internos en una batería electroquímica. **[128]**

⁵⁹ Fuente: Online < <http://www.pesco.com.mx/pesco/eficiencia/> >. (Visitado el 25 Mayo del 2014)

Descarga

El Pb se convierte en sulfato, generando electricidad

Carga

El paso de la corriente eléctrica deshace el sulfato volviendo al estado inicial

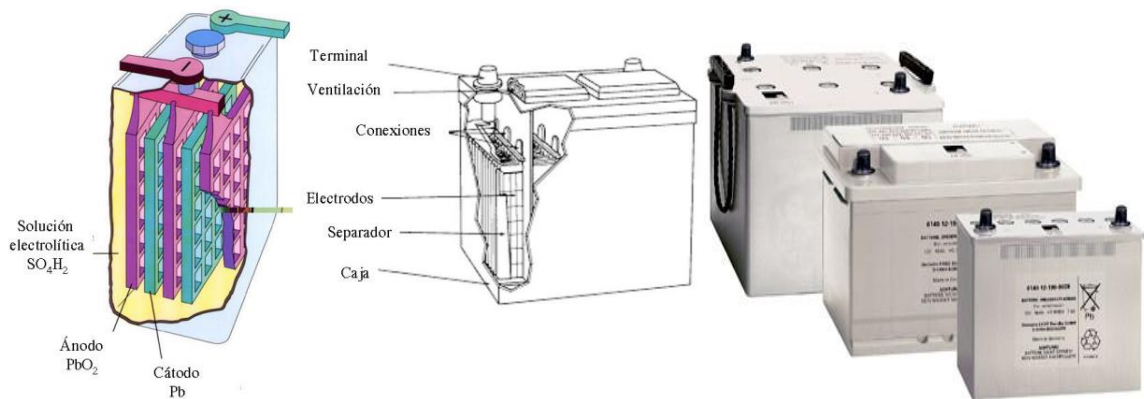
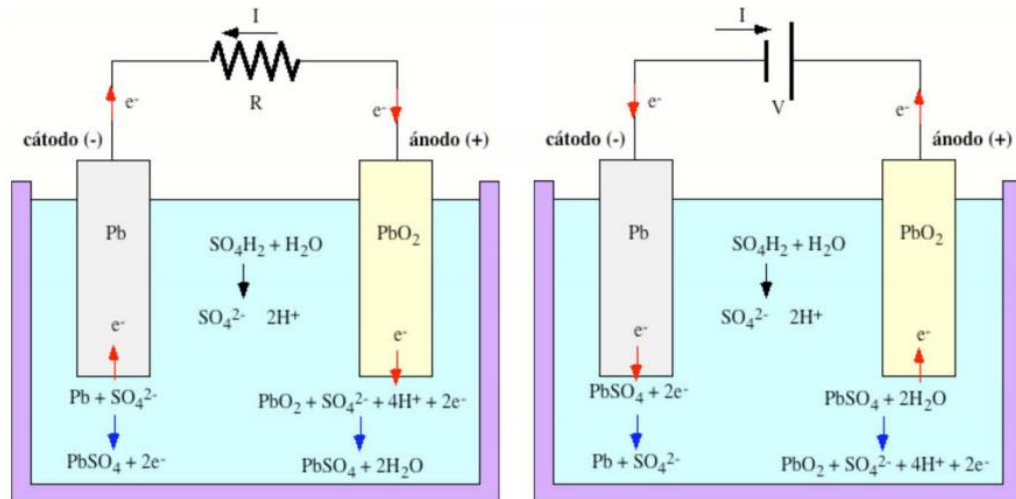


Figura 34 Estructura interna-externa de una Batería Plomo- ácido⁶⁰.

7.7. METAL-AIRE

Las baterías de metal-aire son las más compactas y, potencialmente las menos caras. Su densidad energética es alta, más sin embargo, la recarga de estas baterías es muy ineficiente (un 50%) y difícil. Se proponen más para cubrir

⁶⁰ Fuente: Vía web. Disponible en: < <http://ayudaelectronica.com/wp-content/uploads/2010/11/glosario-terminos-definiciones-baterias-plomo-acido.jpg> > (24 de febrero de 2014)

demandas de energía que de potencia. Los ánodos de estas baterías son metales comunes (Al o Zn) que generan electrones al ser oxidados. [65]

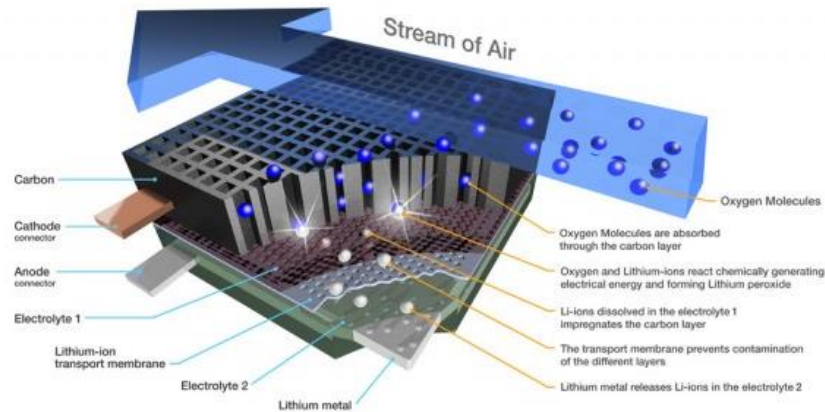


Figura 35 Batería metal-aire⁶¹

Las baterías de metal-aire son las más compactas y, potencialmente las menos caras. Su densidad energética es alta, más sin embargo, la recarga de estas baterías es muy ineficiente (un 50%) y difícil. Se proponen más para cubrir demandas de energía que de potencia. Los ánodos de estas baterías son metales comunes (Al o Zn) que generan electrones al ser oxidados. [65]

7.8. SODIO- AZUFRE

Entre las aplicaciones tecnológicas más distinguidas de los sulfuros, se destaca la utilización del sistema Na/S en la fabricación de baterías de alto rendimiento⁶⁰. Una mejor solución son las baterías de sodio-azufre (NaS), que almacenan la energía disociando químicamente el polisulfuro de sodio, en sodio y azufre. Aquí la energía puede liberarse permitiendo que los dos elementos vuelvan a reaccionar.

⁶¹ Fuente: Vía web. Disponible en: <http://www.extremetech.com/computing/126745-ibm-creates-breathing-high-density-light-weight-lithium-air-battery>

Las baterías de NaS tienen una mayor densidad energética y pueden durar miles de ciclos de carga-descarga. Su principal inconveniente es que el sodio y el azufre deben mantenerse en depósitos separados en estado fundido a unos 300 °C. Además, las baterías sufren daños irreparables si se descargan completamente y se enfrían [73].

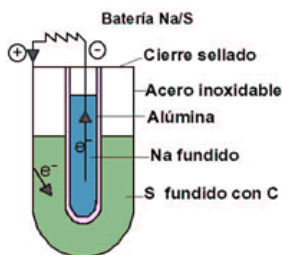


Figura 36. Proceso dentro de una batería Sodio-Azufre⁶²

El hecho de que estos tipos de baterías necesiten un receptáculo robusto y otros requisitos técnicos supone que las baterías de NaS cuesten unos 3.000 dólares por kilovatio (kW) de energía disponible, siendo esto una desventaja, al ser comparada con las centrales estándar de gas, que vienen a costar unos 1.000 dólares por kW [73].

El litio tiene dos propiedades únicas que lo hace un buen candidato para ser utilizado como electrodo negativo en la fabricación de acumuladores. La primera propiedad se debe a que es el elemento más ligero de la tabla periódica, lo que se traduce en acumuladores más livianos, mientras la segunda propiedad de este elemento es el alto potencial electroquímico de reducción, lo que se traduce en un elevado valor de tensión en la celda electroquímica si se combina con un electrodo positivo adecuado. [121]

⁶²Tomado de: <http://www.textoscientificos.com/quimica/inorganica/azufre/compuestos>

7.9. LITIO

El litio tiene dos propiedades únicas que lo hace un buen candidato para ser utilizado como electrodo negativo en la fabricación de acumuladores. La primera propiedad se debe a que es el elemento más ligero de la tabla periódica, lo que se traduce en acumuladores más livianos, mientras la segunda propiedad de este elemento es el alto potencial electroquímico de reducción, lo que se traduce en un elevado valor de tensión en la celda electroquímica si se combina con un electrodo positivo adecuado. [121]

La figura 37 describe la interacción entre los electrodos positivos y negativos, permitiendo un proceso de carga y descarga para este tipo de batería:

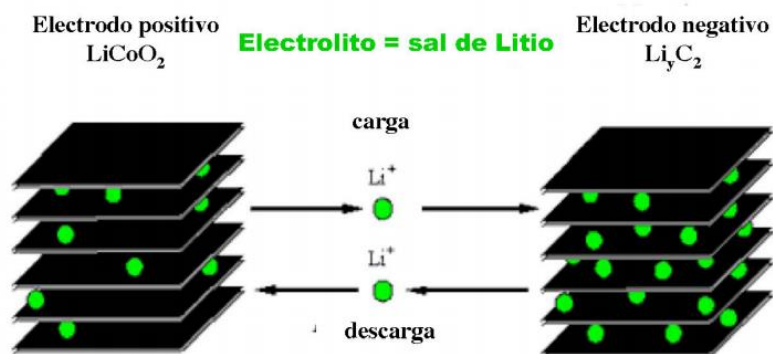


Figura 37 Batería de Litio⁶³

Además de ser el metal más ligero, el Litio no contiene líquidos. Este tipo de batería tiene una eficiencia carga-descarga aproximadamente de 100%, teniendo en cuenta que no se debe sobrecargar.⁶¹

⁶³ Tomado de: <http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/fisica-y-tecnologia-energetica/recursos/20-almacenamiento.pdf>

7.10. ION-LITIO



Figura 38 Batería Ión-litio⁶⁴

Este tipo de batería es una de la que más ventajas presenta para el desarrollo de nuevas tecnologías de almacenamiento en el ámbito de micro-redes inteligentes, por su densidad de energía, potencia específica y eficiencia en el almacenamiento con un 94%, mayor rendimiento en la descarga, adicionalmente con el inconveniente de su alto costo, alrededor de los 200 Euros lo equivalente en pesos Colombianos a \$278.862⁶⁵ por kWh. Las nuevas baterías ion-litio pueden reemplazar a las baterías de ácido, disponen de bornes totalmente aislados, permiten la instalación de un número ilimitado de baterías en paralelo y su conexión en serie.

7.11. SUPERCONDENSADORES

El almacenamiento de energía en supercondensadores se realiza en forma de campo eléctrico entre dos electrodos, tiene el mismo principio que los condensadores excepto que el material aislante es reemplazado por un electrolito conductor. La energía obtenida es alta (aproximadamente, en 15 Wh/kg).

⁶⁴ Tomado de: <http://www.masmar.net/esl/Equipamiento/Electr%C3%B3nica/Nuevas-bater%C3%ADas-ION-LITIO-de-Mastervolt.pdf>

⁶⁵ Tasa de cambio al día 5 de Mayo de 2014.



Figura 39. Módulo de Supercondensadores⁶⁶ 42 V.

A continuación se indican las características principales de estos dispositivos:

- Altas capacidades de almacenamiento: 1-5000 F
- Densidad de energía: 1-10 Wh/Kg
- Densidad de Potencia: 1-10 Kw/Kg
- Tiempos de carga y descarga: minutos, segundos
- Número de ciclos de carga y descarga: 10^6
- Tensión de trabajo limitado: 1-500 V
- Rendimiento eléctrico: 95-99%
- Muy baja auto descarga
- Precio relativamente alto
- No necesitan mantenimiento
- No poseen elementos tóxicos
- Resistencia a condiciones adversas de temperatura.

Por tanto, su costo es más elevado, pero tiene una mejor capacidad de descarga debido al lento desplazamiento de los iones en el electrolito. Estos supercondensadores puede llegar a tener capacidades del orden de miles de faradios y caracterizados por poder ser cargados y descargados en brevísimos

⁶⁶ Fuente: Autoalias California, Ultra capacitor.

períodos de tiempo, del orden de segundos o menos, lo cual los hace especialmente apropiados para responder ante necesidades de puntas de potencia o ante interrupciones de suministro de poca duración, características apropiadas en el ámbito residencial. **[122]**

8. MICRO-RED INTELIGENTE

La arquitectura fundamental en una red eléctrica convencional, vertical en su operación (Generación- Trasmisión- Distribución) con flujos de energía unidireccionales, y que con la introducción de nuevas tecnologías en el ámbito eléctrico que complementan a la infraestructura tradicional, se está cambiando como un resultado de la generación distribuida (GD) favoreciendo un flujo de energía bidireccional, principalmente proveniente de fuentes renovables.

Micro-red Inteligente: La Tecnología verde de hoy puede convertir una casa en una mini-planta de energía para utilizar lo que se necesite, vender el resto a la red y tomar el poder de la red cuando el usuario así lo requiera.

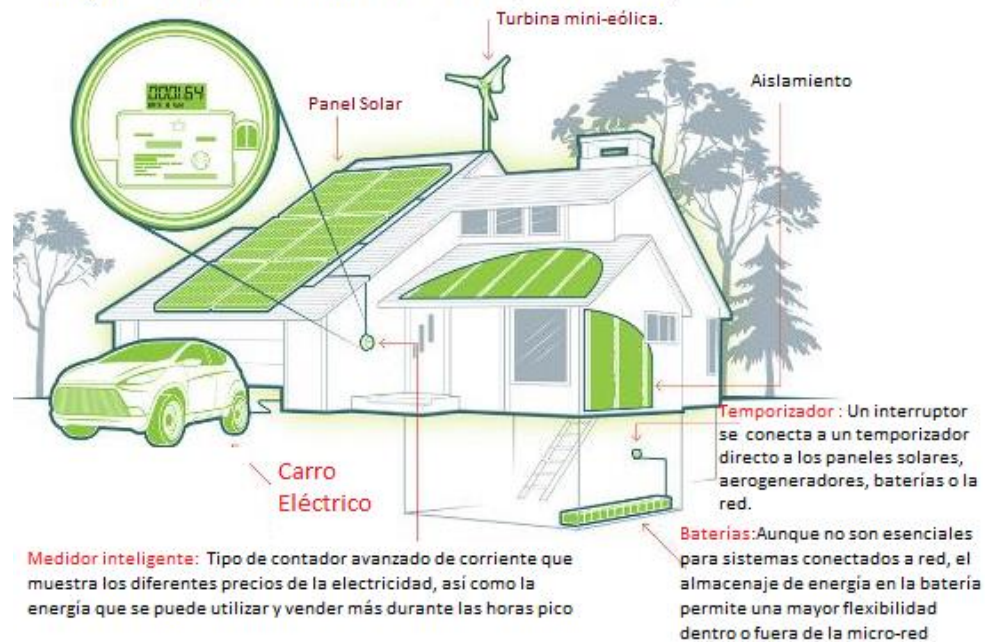


Figura 40. Componentes de una Micro-red inteligente en una residencia⁶⁷

⁶⁷ Fuente: Autoras, en base a la imagen vía web <http://4.bp.blogspot.com/_CFIUqKNp46M/S_qTVFbLHpl/AAAAAAAAAU/srGPYAO5o18/s1600/MicroGrid.jpg> (25 de febrero de 2014)

En conjunto los recursos de energía descentralizados que operan cooperativamente para proveer energía eléctrica de forma confiable, económica, eficiente y favorece al medio ambiente, presenta las siguientes características:

- Opera de forma interconectada o aislada (de la macro red SIN)
- Aplica para instalaciones residenciales, comerciales e industriales.
- Incluye fuentes convencionales y renovables. [94]

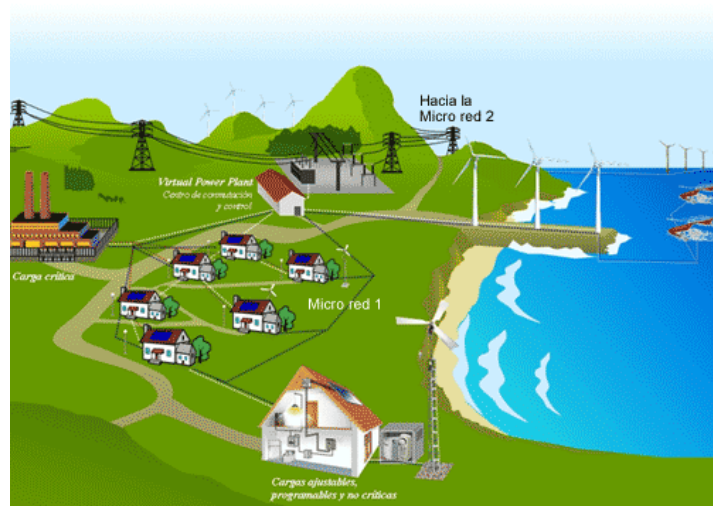


Figura 41. Esquema general de una micro-red inteligente a nivel residencial⁶⁸.

Las Micro-redes podrían suponer una pequeña revolución energética donde los consumidores y el medio ambiente serían los principales beneficiados. Consisten en pequeños sistemas inteligentes de distribución eléctrica y térmica auto gestionados localmente, con la posibilidad de funcionar tanto conectados a la red pública de distribución como aislados de la misma. [123]

⁶⁸ Fuente: Vía web. Disponible en: <http://4.bp.blogspot.com/_CFIUqKNp46M/S_qS7QISqkI/AAAAAAAAUA/3UZUvBTte13c/s1600/microred-global.gif> (25 de Febrero de 2014)

Aunque hay diversos proyectos en todo el mundo de esta temática, la ausencia de una normativa específica retarda la aplicación masiva de estos sistemas, además del costo comparado con sistemas convencionales. Los usuarios de una micro-red tienen a su disposición una red eléctrica cimentada en diversas fuentes renovables de generación energética y de almacenamiento (con alta eficiencia), que para el caso de esta investigación es con base a paneles solares y mini generadores eólicos, sistemas de generación y dispositivos de almacenamiento de energía como baterías electroquímicas, compresores CAES, volante de inercia, centrales de bombeo, entre otros.

Una micro-red implica también utilizar la energía de forma descentralizada, lo que reduce la dependencia hacia la red de distribución eléctrica convencional. En situaciones de fallo, los usuarios podrían desconectarse de la red pública, suministrando energía en esta demanda interna crítica. Por ello, la red pública se beneficiaría también con la aplicación de micro-redes, ya que apoyarían su operación. **[124]**

Por otra parte, los cambios en la regulación del mercado eléctrico y el avance tecnológico de los pequeños sistemas de generación eléctrica crearán nuevas oportunidades de negocio para las distribuidoras actuales o para nuevas iniciativas relacionadas con la implantación, gestión y mantenimiento de una micro-red. En referencia al medio ambiental, las micro-redes utilizan menos energía que los sistemas actuales de generación y distribución centralizada, por lo que reducirían las emisiones de gases de efecto invernadero, uno de los causantes del cambio climático. Asimismo, su uso potenciaría la implantación de sistemas alternativos basados en energías renovables, más respetuosas con la naturaleza. **[113]**

Sintetizando, una micro-red es una red de baja tensión, que interconecta un conjunto de recursos energéticos cercanos entre sí; abarcando la generación, el

almacenamiento y el consumo final. Las micro-redes funcionan generalmente en “modo isla”, es decir, independientemente de la red de transporte principal. Cuando la generación local no pueda abastecer la demanda en la zona, entonces se consume electricidad de la red de transporte; y viceversa, si la generación local es superior a la demanda, se verterá el exceso de energía eléctrica a la red principal. [8]

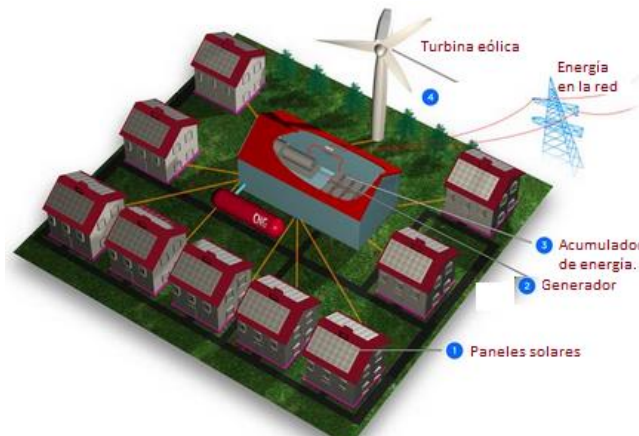


Figura 42 Conexión micro-red inteligente⁶⁹

Las Redes de Comunicación integradas a redes inteligentes, con una metodología de gestión apropiada, pueden aportar opciones que busquen ofertar servicios adicionales a los consumidores del suministro eléctrico, por ende, en el presente documento se recalca la importancia del consumidor (usuario) del suministro eléctrico, en el marco de una Red Eléctrica Inteligente. [97]

En un entorno residencial, utilizar contadores inteligentes evita la lectura manual y elimina los recibos por lecturas que garantiza permitir al usuario la capacidad de controlar el gasto energético cada hora, diario, semanal o mensualmente, siendo una oportunidad que brinda a la red inteligente optimizar el consumo de la energía. [95]

⁶⁹ Fuente: [En línea] Vía web. Disponible en <http://www.cleanskies.org/wp-content/uploads/2012/10/microgrid_web.jpg> (25 de febrero de 2014)

Se plantea que una red inteligente o Smart-Grid, brinde además al cliente el ahorro de energía, reducción de costos por el consumo del suministro eléctrico, y así el usuario verifique de forma transparente el incremento de la fiabilidad en la lectura del suministro de energía. **[2]**

Con el aporte de varios centros científicos y tecnológicos, la red eléctrica y el usuario final han formado una red de alta interconectividad, integrada por las tecnologías de la información, los sistemas inteligentes de medición, las fuentes de energía renovable y la generación distribuida. Una micro-red inteligente plantea que la carga también refleje la mejora y la eficiencia energética de sistema, similar al funcionamiento de la red descentralizada de comunicaciones (internet), debido a la continua actividad de doble vía, dado que circula la información de manera bidireccional y conformado por diferentes nodos dispersos que se gestionan de manera eficaz a lo largo de todo el sistema. **[96]**

El seguimiento en la interconexión del sistema se enfoca en mejorar su confiabilidad, al añadir un servicio que concientice al usuario a controlar su consumo energía, estar satisfecho con el servicio recibido, las ofertas, los incentivos por la generación de energía limpia, de acuerdo a la tecnología existente, con la visión general del modelo de red-inteligente o Smart Grid es obtener una red eléctrica auto gestionable y equilibrada. **[98]**

La aplicación de energía eólica y fotovoltaica, requiere de una inversión considerable, debido a los equipos necesarios y a la necesidad de instalaciones de respaldo **[99]**. Por tanto, la motivación del proyecto es ofrecer una alternativa a los inconvenientes de almacenamiento de energía existentes en el sistema eléctrico, describiendo tecnologías de acumulación y generación de energía en el ámbito de una micro-red inteligente y como sería una aplicación de esta índole en un ámbito residencial. Se plantea la integración de una micro-red con recursos locales y gestionables que aumente la eficiencia del sistema, reduzca los costos

operativos, optimice la generación distribuida, disminuya la dependencia a la red exterior y favorezca un futuro sostenible, haciendo hincapié en el empleo de recursos gestionables siendo una gran ventaja.

8.1. DOMÓTICA

La domótica es un concepto que se refiere a la integración de las distintas tecnologías en el hogar mediante el uso simultáneo de la electricidad, la electrónica, la informática y las telecomunicaciones. Su fin es mejorar la seguridad, el confort, la flexibilidad, las comunicaciones, el ahorro energético (Aspecto importante en este trabajo de grado), facilitar el control integral de los sistemas para los usuarios y ofrecer nuevos servicios. La domótica tiene como objetivo por tanto, dotar a las viviendas de una funcionalidad extra que mejore la calidad de vida de los usuarios de este tipo de tecnología.



Figura 43 Integración de algunos dispositivos en una casa domótica⁷⁰.

Mediante la instalación de sistemas domóticos se pueden gestionar

⁷⁰ Fuente: Vía web. Disponible en <<http://www.emeingenieria.com.co/noticias/leer/id/32>>, (23 de febrero de 2014)

inteligentemente todos los consumos energéticos, como por ejemplo iluminación, climatización, agua caliente sanitaria, riego, electrodomésticos, etc., aprovechando mejor los recursos naturales, utilizando las tarifas horarias de menor costo, y de esta manera reducir la factura energética mientras se gana en confort y seguridad. Permiten también la monitorización de consumos, mediante la cual el usuario podrá ser consciente del consumo energético de su vivienda, permitiendo la funcionalidad que aportará la información necesaria para modificar sus hábitos e incrementar su ahorro y eficiencia. [92]

En la actualidad, la domótica ofrecen una gran variedad de funcionalidades orientadas a monitorizar el consumo de agua, de combustibles y el consumo eléctrico de todos los sistemas de la vivienda: electrodomésticos, iluminación, sistemas de comunicaciones, refrigeración y/o calefacción, etc. Esto permite hacer una gestión personalizada del consumo (consumo por franjas horarias, diario, mensual, etc.), así como detectar mal funcionamiento de los equipos del hogar. La información obtenida permite optimizar el ahorro energético en el futuro y corregir las pautas de comportamiento.

Monitorizar la calidad del suministro eléctrico permite además, noticiar remotamente la información al suministrador de electricidad, mejorando así el funcionamiento global del sistema de distribución eléctrica para ajustar con más exactitud los patrones de producción a los hábitos de consumo. En aquellos inmuebles en los que se dispone de sistemas de generación de electricidad por energía solar fotovoltaica u otros sistemas (micro-generadores, aerogeneradores, etc.), se puede monitorizar y gestionar la producción de electricidad [93].

Además de incrementar el confort en el hogar, la domótica realiza procesos avanzados que permiten, de igual manera, ahorrar energía y mejorar la seguridad, permitiendo el control y monitoreo del mismo, tanto local como remotamente y,

ante el vertiginoso avance de los dispositivos móviles como tabletas y celulares, donde tener el control de espacios en una casa, está al alcance de la mano a muchos kilómetros de distancia. **[110]**

8.2. QUÉ ES UN HOGAR INTELIGENTE

Un hogar inteligente presenta variedad de funciones y aplicaciones, una de ellas es la de controlar la temperatura para ahorrar energía cuando se está ausente, o por ejemplo presenta las secuencias de iluminación de “buenos días”, “buenas noches”, donde la música que se está escuchando en el estudio lo acompaña por el pasillo y la cocina. Un hogar al que se puede acceder y controlar de manera segura desde cualquier parte, totalmente integrado que ofrece comodidad, conveniencia y seguridad. **[109]**

Además de incrementar el confort en el hogar, la domótica realiza procesos avanzados que permiten, de igual manera, ahorrar energía y mejorar la seguridad, permitiendo el control y monitoreo del mismo, tanto local como remotamente y, ante el vertiginoso avance de los dispositivos móviles como tabletas y celulares, tener el control de espacios en una casa, está al alcance de la mano a muchos kilómetros de distancia. **[110]**



Figura 44 Modelo de un Hogar inteligente⁷¹.

Los hogares inteligentes, un concepto que expuesto hace más de 10 años y que parecía de ciencia ficción, son realidad desde 2010 y su desarrollo ha ido avanzando enormemente, gracias a nuevos sistemas operativos que integran todos los electrodomésticos y dispositivos en casa para interconectarlos y hacer más eficiente su uso. [111]

En el contexto de una micro-red inteligente, se pretende que la operación en los sistemas tradicionales de producción, distribución, generación y consumo energético, reduzca las interrupciones en el servicio eléctrico, estas interrupciones al ser representadas en costos resultan significativos por las diferentes actividades que dependen de este insumo. De forma similar, este tipo de red aplicada al sector eléctrico, son los hogares inteligentes, ya que se manejan a partir de sistemas operativos interconectados con la implementación de programas y equipos tecnológicos modernos; un hogar inteligente está orientado al confort y satisfacción del usuario, automatizando tareas simples y cotidianas, con el fin de brindar al hogar confort y mejora de la calidad de vida para sus habitantes. Para

⁷¹ Fuente: Vía web. Disponible en: < <http://aicointegracion.files.wordpress.com/2012/07/domotica-1.jpg> > (25 de Febrero de 2014)

Gregory Schaller, gerente de Schaller Design Group, empresa que se encarga del acondicionamiento de este tipo de espacios, se debe perder el miedo hacia el tema y dar el salto a favor de la tecnología. “Una casa inteligente no es un cohete espacial donde te sientas y es como el Challenger. Es una casa amigable, que se adapta a ti y no tú a ella. Entre más simple, más fácil”. **[111]**

La concepción de vivienda se ha modificado acorde al avance de la tecnología; una en donde se pueda interactuar en la vida de todas las personas y se acople a la forma en que se vive. El crecimiento de este tipo de empresas en Colombia en los últimos cinco años es muestra de eso, y se debe a las exigencias del mercado que poco a poco piensa en automatizar los espacios en sus hogares y hacerlos amables con lo mejor de los avances multimedia y de seguridad. Algunas de las implementaciones a las que es posible acceder por medio de un hogar inteligente son:

- Control de iluminación, sonido y temperatura.
- Cortinas automatizadas.
- Seguridad en la vivienda, a través de sensores de movimiento, contactos magnéticos, discriminadores de audio, cámaras de acceso y monitoreo desde internet y por ultimo incluye sensores de humo, gas y humedad.
- Video portero.
- Gestión remota, permite tener acceso a todos los sistemas desde un teléfono móvil.

Aquellos hogares que presentan sistemas alternativos de generación de acumulación y de respaldo de energía, también son considerados hogares inteligentes, ya que están formados por equipos eléctricos y electrónicos conectados a una instalación eléctrica común, pero que ejecutan diversas tareas o cumplen cada uno un rol dentro de la misma, garantizando el adecuado suministro de energía en la residencia y a cada uno de los electrodomésticos y equipos que

ésta contiene.

Es decir, una residencia con una instalación eléctrica que posea paneles solares, turbinas eólicas, inversores, controladores y baterías eléctricas, es considerada como un hogar inteligente, ya que estos equipos y dispositivos trabajan automáticamente y están diseñados para operar y maniobrar fácilmente a partir de la señal de comando o indicación que el usuario requiera.

Si el usuario lo desea puede disponer el uso de energía eléctrica en su casa, directamente con la energía obtenida o si por el contrario precisa enviar esta energía a las baterías o sistemas de acumulación para su almacenamiento y posterior uso, como sistemas de respaldo energético. Además el usuario puede desconectarse de la red principal de suministro de energía y trabajar únicamente con el sistema de generación alternativo, el uso y empleo que se le puedan dar son muchos, y cada uno depende del usuario y de las necesidades que este requiera suplir. Gozando así de un hogar inteligente con una instalación conectada a sistemas renovables es considerada un hogar inteligente de acuerdo a su práctico manejo, opciones y operatividad indicada.

8.3. CONTADOR INTELIGENTE

Un contador inteligente es un equipo digital que permite medir el consumo energético de los clientes de las compañías eléctricas de manera mucho más eficiente y beneficiosa para ellos que los contadores tradicionales.

¿Qué ventajas tiene para el cliente un “Contador inteligente”? Entre otras ventajas el contador inteligente proporciona lecturas reales inmediatas y a distancia de ese consumo evitando de esta forma las lecturas y facturaciones estimadas y el

desplazamiento al domicilio del cliente. Además en el momento en que la red de contadores inteligentes esté en plena operación el cliente podrá hacer a distancia y con mucha más rapidez cualquier operación relacionada con su instalación tales como altas, bajas, cambios en la tarifa o potencia contratada o reconexiones del suministro.

¿El cambio de contador tradicional por un contador inteligente es una decisión tomada unilateralmente por las compañías eléctricas?

No. El cambio del contador tradicional por un contador inteligente no es una decisión de las compañías eléctricas sino una obligación legal que tanto estas empresas como los clientes deben cumplir, en cumplimiento de la nueva ley 1715 que incentiva el ahorro energético y eficiencia. La instalación de estos equipos no debería tener ningún costo por parte de la empresa encargada del suministro energético y la adquisición de los mismos sería por parte del usuario⁷².



Figura 45 Contador inteligente⁷³

⁷² Vía web < http://www.teinteresa.es/dinero/contador-inteligente_0_1083493126.html >

⁷³ Imagen tomada de: < http://www.teinteresa.es/dinero/contador-inteligente_0_1083493126.html >

En definitiva, el cliente tendrá mayor control sobre la energía que realmente consume favoreciendo así el ahorro y la eficiencia energética.

.

9. NORMATIVIDAD Y SOPORTE LEGAL

9.1. NORMATIVIDAD PARA SISTEMAS ALTERNATIVOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

De forma resumida se expone a continuación las principales normas reglamentarias relacionadas con energías renovables.

MARCO REGULATORIO EN COLOMBIA	
Ley 697/01 Uso Racional de Energía	Define como propósito nacional avanzar hacia la utilización de fuentes renovables en pequeña escala y, particularmente, apoya la investigación básica y aplicada para que, con el tiempo, se reduzcan costos y se amplíe la capacidad de energías como la eólica, la solar, la geotérmica o la de biomasa.
Ley 1450 de 2011: Plan Nacional de Desarrollo 2010-20142.5	Desarrollo minero y expansión energética.
Leyes 142 y 143 de 1994⁷⁴	Generación eléctrica en Colombia
Ley 142 de 1994. Artículo 105. Energías renovables.	El Gobierno Nacional diseñará e implementará una política nacional encargada de fomentar la investigación, el desarrollo y la innovación en las energías solar, eólica, geotérmica, mareomotriz, hidráulica, undimotriz y demás alternativas ambientalmente

⁷⁴ En 1991 Colombia adoptó una nueva constitución. En ella se incluyó todo un capítulo sobre servicios públicos domiciliarios. Se dispuso, entre otras cosas, que dichos servicios podían ser prestados por el estado o los particulares y que las tarifas debían fijarse con criterios de suficiencia financiera, eficiencia económica y solidaridad. Años más tarde, en 1994, se expidieron las leyes 142, de servicios públicos domiciliarios, y 143, o ley eléctrica, que desarrollaban los preceptos constitucionales.

	sostenibles
143 de 1994 Artículo 114. Servicio de energía eléctrica en zonas no interconectadas.	El Ministerio de Minas y Energía continuará diseñando esquemas sostenibles de gestión para la prestación del servicio de energía eléctrica en las Zonas No Interconectadas ² . Para este propósito, podrá establecer Áreas de Servicio Exclusivo para todas las actividades involucradas en el servicio de energía eléctrica.
Ley 508 de 1999 Artículo 4: Uso racional y eficiente de la energía	Lograr la eficiencia en el consumo energético en el país, sustituir las fuentes de energía eléctrica no adecuadas al uso final y optimizar la conversión de energéticos
Ley 788/02	Por medio de la cual se exime del impuesto a la renta las ventas de energía con fuentes renovables, durante 15 años, si se obtienen los certificados de reducción de emisiones de carbono previstos en el protocolo de Kioto, los cuales generan ingresos a los empresarios. El 50% de estos ingresos tiene que destinarse a programas de beneficio social para gozar de la exención del impuesto.
Ley 1215/08	Mediante esta ley se permite que empresas manufactureras que se abastecen de energía eléctrica puedan vender sus excedentes al mercado si su fuente es renovable. En Colombia hay posibilidad de hacer esa venta sin distinción sobre la tecnología utilizada.
NTC 5412 Aerogeneradores	Medida y evaluación de las características de la calidad de suministro de las turbinas eólicas

	conectadas a la micro-red eléctrica.
Ley 09 de 2012	Por medio de la cual se promueve e incentiva el uso de paneles solares y paneles fotovoltaicos.
Ley No 1715 de 2014⁷⁵	<p>Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.</p> <p>La finalidad de esta ley se resume en:</p> <p>a) Orientar las políticas públicas y definir los instrumentos tributarios, arancelarios, contables y de participación en el mercado energético colombiano.</p> <p>b) Incentivar la penetración de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable en el sistema energético colombiano, con criterios de sostenibilidad medioambiental, social y económica.</p> <p>c) Establecer mecanismos de cooperación y coordinación entre el sector público, el sector privado y los usuarios para el desarrollo de fuentes no convencionales y el fomento de la gestión eficiente de la energía.</p> <p>d) Establecer el deber del Estado a través de las entidades del orden nacional, departamental, municipal o de desarrollar programas y políticas para asegurar el impulso y uso de mecanismos de fomento de la gestión eficiente de la energía de la penetración</p>

⁷⁵ Fuente: Instituto de planificación y promoción de soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas, IPSE. Sitio Web:<<http://www.ipse.gov.co/ipse/comunicaciones-ipse/noticias-ipse/893-nueva-ley-1715-de-2014-promueve-el-aprovechamiento-de-las-fuentes-no-convencionales-de-energia>>.

	<p>de las fuentes no convencionales de energía, especialmente energías renovables.</p> <p>e) Estimular la inversión, la investigación y el desarrollo para la producción y utilización de energía a partir de fuentes no convencionales de energía, mediante el establecimiento de incentivos tributarios, arancelarios o contables y demás mecanismos que estimulen el desarrollo de tales fuentes en Colombia.</p> <p>f) Establecer los criterios y principios que complementen el marco jurídico actual, otorgando certidumbre y estabilidad al desarrollo sostenible de las fuentes no convencionales y renovables de energía, al fomentar la gestión eficiente de la energía. Superando gradualmente las barreras de tipo jurídico, económico y de mercado, creando así las condiciones propicias para el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, y el desarrollo de un mercado de eficiencia energética y respuesta de la demanda.</p> <p>g) Fijar las bases legales para establecer estrategias nacionales de cooperación que contribuyan al propósito de la presente ley.</p> <p>De lo anterior, esta ley 1715, además de incentivar el uso de energías renovables no convencionales y de minimizar los conflictos ambientales</p>
--	---

	<p>causados por la dependencia actual del país de las fuentes de energía a base carbón y petróleo, generará también incentivos arancelarios, contables y tributarios que abrirán la importación de nuevas tecnologías al país y fomentaran la investigación en este campo.</p> <p>El mayor desafío a corto y mediano plazo de esta ley es el impulso y promoción de las Fuentes No Convencionales de Energía con metas definidas en las políticas del Ministerio de Minas y Energía y en los Planes energéticos nacionales.</p>
--	---

Tabla 4 Normas y leyes reglamentarias en Energías ⁷⁶

²Zonas no Interconectadas, son regiones apartadas y con baja densidad de población, cuyos habitantes han tenido un servicio de energía subsidiado por el Estado, pero aun así éste se presta en condiciones precarias. Por esta razón el gobierno nacional, está buscando concesionarios que utilicen energías no convencionales en dichos territorios.

⁷⁶ Fuente: Breve descripción de cada ley.

10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El objetivo principal de este proyecto es proponer, orientar y brindar herramientas informativas sobre la aplicación de sistemas de acumulación de energía eléctrica en instalaciones eléctricas, conectados a sistemas de generación alternativos (eólico y fotovoltaico), en el ámbito de una micro-red inteligente, a partir de una amplia recopilación de información y con su respectivo análisis teórico dirigido al usuario residencial de energía eléctrica. Se examina el desarrollo e implementación para un sistema de gestión alternativo de energía como guía y proyecto piloto en la adopción de nuevos esquemas de producción de la energía, y además el análisis del costo energético, asociado al empleo y la caracterización de sistemas de almacenamiento de energía (tales como baterías o por acumulación de aire comprimido (CAES)), en el contexto residencial.

En los países en vía de desarrollo, el sector eléctrico presenta innovaciones tecnológicas enfocadas en la acumulación de la energía producida, como un mecanismo de protección y seguridad en caso de fallar la red eléctrica principal por un período considerable de tiempo, donde estos dispositivos o tecnologías de acumulación puedan suplir el servicio energético en una vivienda.

10.1. CARACTERIZACIÓN Y RELACIÓN COSTO/BENEFICIO PARA TECNOLOGÍAS COMERCIALMENTE DISPONIBLES EN LA ACUMULACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para la caracterización de los sistemas de acumulación de energía eléctrica descritos a lo largo de este proyecto de investigación, algunos de los términos de operación a tener en cuenta en su definición, como son:

- **Carga/descarga en baterías electro-químicas:** Conversión de energía eléctrica en química (carga) o de energía química en eléctrica (descarga), por el paso de corriente.
- **Capacidad:** Cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa de un acumulador plenamente cargado.
- **Medida Amperio-hora:** Capacidad nominal tiempo de descarga, para un tiempo determinado de descarga.
- **Capacidad nominal:** capacidad asignada por el fabricante a una batería nueva y bajo determinadas condiciones de operación.
- **Capacidad energética:** número total de Watios-hora (energía) que puede dar una batería plenamente cargada.
- **Ciclo:** secuencia de carga/descarga para una profundidad y régimen de descarga determinado.
- **Ciclo de vida:** número de ciclos que un acumulador puede soportar bajo determinadas condiciones de utilización.
- **Vida útil:** Tiempo durante el cual un acumulador de energía puede cooperar para determinadas condiciones de utilización y nivel de rendimiento.
- **Rendimiento energético:** Relación entre la energía extraída (Wh) de un acumulador durante la descarga y la energía total (Wh) requerida para restablecer el estado inicial de carga.
- **Densidad de energía:** Cantidad de energía eléctrica que puede almacenar por unidad de peso o de volumen, es decir, la relación entre la energía disponible (nominal) en el acumulador y su peso o volumen (Wh/kg.–Wh/m³). Esta densidad de energía depende de la densidad de corriente o de la velocidad a que se descarga el acumulador. La densidad máxima indica cuál es el sistema que se debe investigar al considerar el desarrollo de futuros acumuladores.

[113]

En las siguientes tablas se muestra un resumen sobre las tecnologías de almacenamiento de energía y sus características principales Con base a la información recopilada en esta investigación.

TECNOLOGÍA DE ALMACENAMIENTO	VENTAJA PRINCIPAL	DESVENTAJA PRINCIPAL	APLICACIÓN EN UN ÁMBITO RESIDENCIAL POR LA DENSIDAD DE POTENCIA	APLICACIÓN EN UN ÁMBITO RESIDENCIAL POR LA DENSIDAD DE ENERGÍA
Volante de inercia	Alta Potencia	Baja densidad de Potencia	* ₁	* ₄
Capacitores Electroquímicos (CE)	Ciclo de vida largo	Muy baja densidad de Potencia	* ₁	* ₄
Ácido de plomo tradicional	Bajo costo de Capital	Ciclo de vida limitado	* ₁	* ₃
Ácido de Plomo con electrodos de carbono mejorado (ALA-CEE)	Bajo costo de Capital	Baja densidad de Energía	* ₁	* ₁
Sulfuro de Sodio (NaS)	Alta potencia y densidad de energía	Costo y requisito para funcionar a altas temperaturas	* ₁	* ₁
Ion- Litio	Alta potencia y densidad de energía	Mayor Costo y necesidades de control al circuito.	* ₁	* ₂
Zinc- Bromo (ZnBr)	Independiente de potencia y energía	Densidad media de energía	* ₂	* ₁
Almacenamiento de energía por aire	Alta potencia	Requiere de un sitio especial	* ₄	* ₁

comprimido (CAES)		para ubicarlo.		
Central de Bombeo	Alta energía, bajo costo	Requiere de un sitio especial para ubicarlo.	* ₄	* ₁
<p>*1 COMPLETAMENTE CAPAZ Y RAZONABLE *2 RAZONABLE PARA ESTA APLICACIÓN *3 FACTIBLE PERO NO MUY PRÁCTICO O ECONÓMICO *4 NO FACTIBLE O ECONÓMICO</p>				

Tabla 5. Resumen de tecnologías de almacenamiento de energía⁷⁷

De acuerdo a la tabla 4, por la densidad de potencia y la densidad de energía, las baterías Ácido de Plomo con electrodos de carbono mejorado y sulfuro de Sodio, son las más razonables para los sistemas de acumulación de energía en un ámbito residencial.

A continuación se describen características como el tipo de energía, densidad de energía y sector de aplicación:

TECNOLOGÍA	TIPO DE ENERGÍA PRIMARIA	DENSIDAD DE ENERGÍA KJ/M ³	SECTOR DE APLICACIÓN PRINCIPAL
Central de Bombeo	Potencial	1-18.000	Eléctrico
Almacenamiento de energía por aire comprimido (CAES)	Potencial/ Entalpía	15000	Eléctrico
Volantes De inercia	Cinética	30-360	Transporte y Eléctrico
Baterías	Electroquímica	Plomo – 60-180 Níquel Metal hidruro – 370 Li-ion – 400-600	Transporte y Edificios Eléctricos

⁷⁷ Fuente: Autoras. Datos recopilados durante la investigación.

		Polímero ~ 1.400	
Superconductores de almacenamiento de energía magnética (SMES)	Electromagnética	100-10.000	Eléctrico
Supercapacitores	Electrostática	18-36	Transporte y Eléctrico

Tabla 6 Tecnologías de Almacenamiento de Energía*

Otras características como densidad de potencia, rendimiento, tiempo de carga y descarga, ciclo de vida, espacio para instalación y facilidad de traslado para la caracterización de los acumuladores de energía:

TECNOLOGÍA DE ACUMULACIÓN	Rango de Densidad de Potencia (W/m ³)	Rango de Rendimiento (%)	Tiempo De carga/ descarga	Ciclo de Vida (Horas)	Espacio Para Ubicación	Facilidad De traslado
Central de Bombeo	100-1000	64-80	Horas	>10000	Grande	Difícil
CAES	50-1000	60-70	Horas	>10000	Moderado bajo tierra	Moderado
Volante de Inercia	1-10	~90	Minutos	>10000	Pequeño	N/A
Baterías Electroquímicas	Plomo – 60-180 Níquel Metal hidruro – 370 Li-ion – 400-600	~75	Horas	<2000	Pequeño	N/A
SMES	10-1000	~95	Segundos o Minutos	10000	Grande	Desconocido

Capacitores	0.1-10	~90	Segundos	>100000	Pequeño	N/A
--------------------	--------	-----	----------	---------	---------	-----

Tabla 7 Características adicionales en acumuladores de energía

En la figura 46 se ubica los tipos de almacenamiento de energía descritos en el capítulo anterior, destacando el tiempo de descarga para cada sistema dependiendo de la potencia nominal para el uso de cada uno:

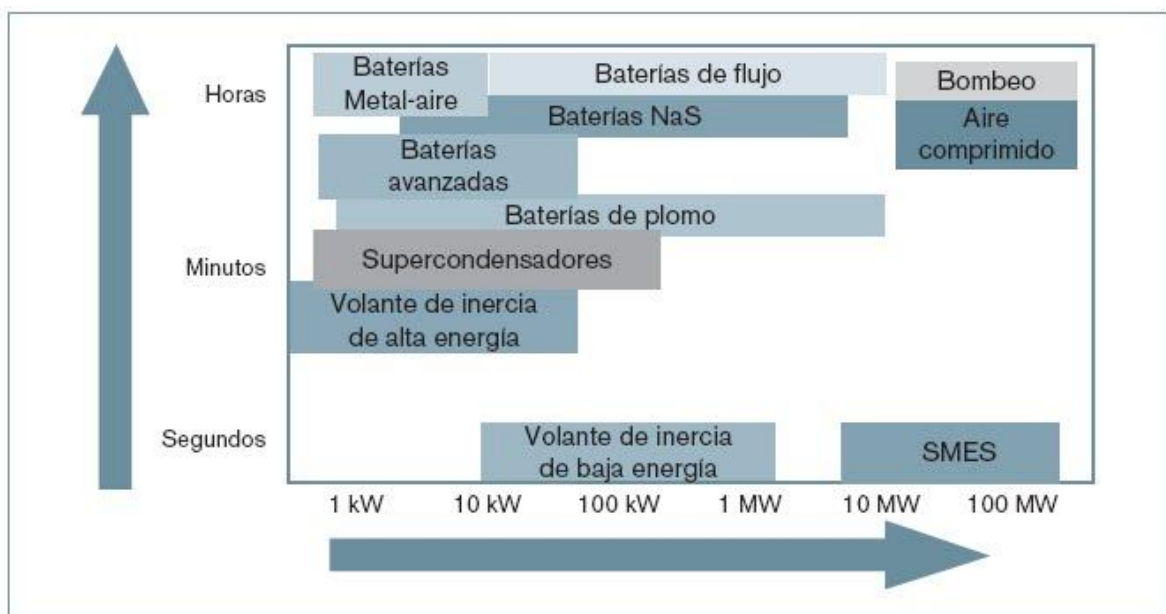


Figura 46. Relación tiempo de carga/descarga y la potencia⁷⁸.

TECNOLOGÍA	Tipo	COSTO DE INVERSIÓN (\$/KW)	COSTOS DE OPERACIÓN (\$/KW)
Hidroelectricidad Bombeada		1'400.000-3'000.000	160.000-600.000

⁷⁸ Extracto del artículo de Manuel Ramírez Velasco. [En línea] Disponible en: <http://solucionrenovable.blogspot.com/2011/05/innovacion-capitulo-iii-almacenamiento.html> (Visitado el 16 de Julio del 2014.

CAES		1'200.000-2'000.000	100.000-200.000
Baterías	Plomo-Ácido	800.000-2'800.000	800.000-2'000.000
	Níquel- Cadmio	1'600.000-2'800.000	1'000.000-2'000.000
	Azufre	2'000.000-5'800.000	840.000-2'000.000
	ión- Litio	2'400.000-10'000.000	1'600.000-10'000.000
Supercondensadores	Alta potencia	0-1'200.000	18'000.000-20'000.000
	Larga duración	400.000-1'400.000	200.000-1'000.000
Volante de Inercia	Alta potencia	5'000.000-1'300.000	10'000.000-18'000.000
	Larga duración	8'000.000-20'000.000	2'000.000-12'000.000

Tabla 8 Costos de desarrollo y operación de tecnologías de acumulación de energía⁷⁹

Para la relación costo beneficio, con base en los datos recopilados en tablas y figuras el desarrollo del mismo se presenta en el anexo 2. En cuanto a beneficios de las tecnologías de acumulación descritos e investigados, al tener en cuenta su caracterización presentada en las tablas 4,5,6 y 7 y cuya parte teórica se describe a lo largo del documento, se infiere que:

BENEFICIO	TECNOLOGÍA
Alta potencia	<ul style="list-style-type: none"> • Volante de Inercia • Ión - Litio • CAES • Central de Bombeo • SMES

⁷⁹ Fuente: Autoras, los costos mostrados fueron tomados en base al valor del euro actual (26 de febrero de 2014)

Ciclo de vida largo	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitores
Bajo costo	<ul style="list-style-type: none"> • Baterías • Central de Bombeo
Menor tiempo de respuesta para entregar la potencia nominal	<ul style="list-style-type: none"> • SMES • Capacitores
Alta densidad de energía	<ul style="list-style-type: none"> • Sulfuro de Litio • Ión- litio • Central de Bombeo • CAES
Capacidad y aplicación de Potencia	<ul style="list-style-type: none"> • Volante de Inercia • Capacitores • Baterías electro-químicas
Aplicación en energía	<ul style="list-style-type: none"> • Baterías • CAES • Central de bombeo
Factibilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Ácido – Plomo
Rendimiento	<ul style="list-style-type: none"> • SMES • Volante de Inercia
Reducido espacio para ubicación	<ul style="list-style-type: none"> • Volante de Inercia • Baterías • Capacitores
Menor costo de Inversión	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitores
Menor costo de operación	<ul style="list-style-type: none"> • CAES

Tabla 9 Beneficios para diferentes acumuladores de energía⁸⁰.

Con base a la Tabla 9, los sistemas con más beneficios dependiendo de sus características inherentes son:

- Baterías Electro-químicas: 6 beneficios
- Capacitores: 5 beneficios

⁸⁰ Fuente: Autoras

- Volante de Inercia: 4 beneficios
- CAES: 4 beneficios
- Central de Bombeo: 3 beneficios
- SMES: 3 beneficios

10.2. VENTAJAS DEL USO DE COMPRESORES CAES

En el siguiente esquema (figura 47), se representa e indica el proceso de operación en una instalación con sistema de almacenamiento por aire comprimido (CAES).

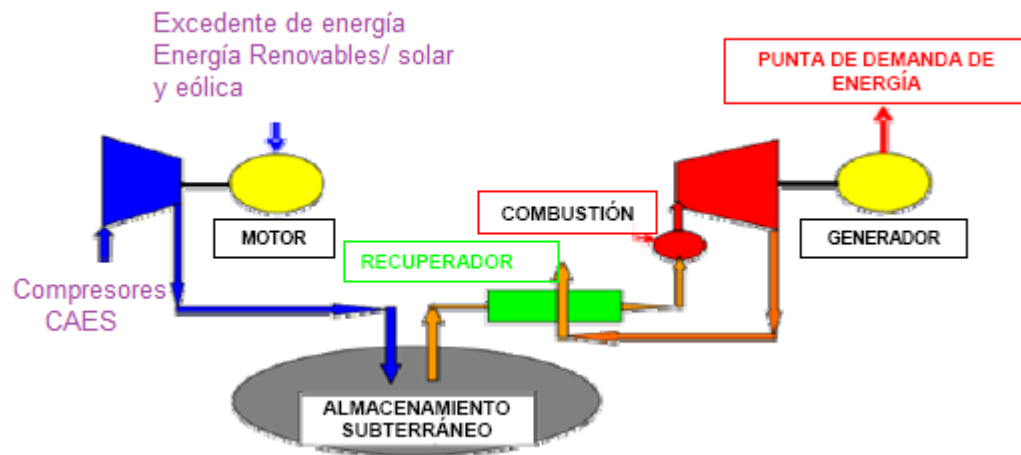


Figura 47 Esquema de almacenamiento de energía solar y eólica en forma de aire comprimido⁸¹

El aire comprimido está presente en algunos de los procesos de acumulación de energía eléctrica tanto a nivel residencial como industrial debido numerosas ventajas:

⁸¹ Energylab. Centro Tecnológico de eficiencia y sostenibilidad Energética. Disponible en: <www.energylab.es>

- El aire como parte de una fuente inagotable, es transportable incluso a grandes distancias, y puede almacenarse en depósitos fijos o móviles, además la temperatura no afecta su funcionamiento y es antideflagrante⁸²; a partir de esto se puede obtener una fuente de energía limpia, que no contamine y no requiera tuberías de retorno.
- Los elementos que precisa este sistema para su manejo son simples, económicos y robustos, su mantenimiento es sencillo y el riesgo de accidentes es mínimo.
- Es un sistema versátil, adaptable a diversos campos de aplicación y los elementos que lo integran ocupan poco espacio.
- De la tabla 6, se puede concluir que el sistema de almacenamiento por aire comprimido **CAES** se caracteriza por su alta densidad de energía volumétrica (15.000 kJ/m³) con respecto a los otros sistemas de acumulación.
- El costo de mantenimiento es asequible, además de su capacidad de alta potencia con un rango entre los 50-1000 (W/m³), rendimiento entre 60-70% y un ciclo de vida >10000 horas.
- Presenta además cierto tipo de inconvenientes como tener un tiempo de carga/descarga mayor (Horas) y un espacio considerable para su instalación.

⁸² Técnica de diseño o construcción destinada a evitar la iniciación o propagación de una combustión en atmósferas inflamables.

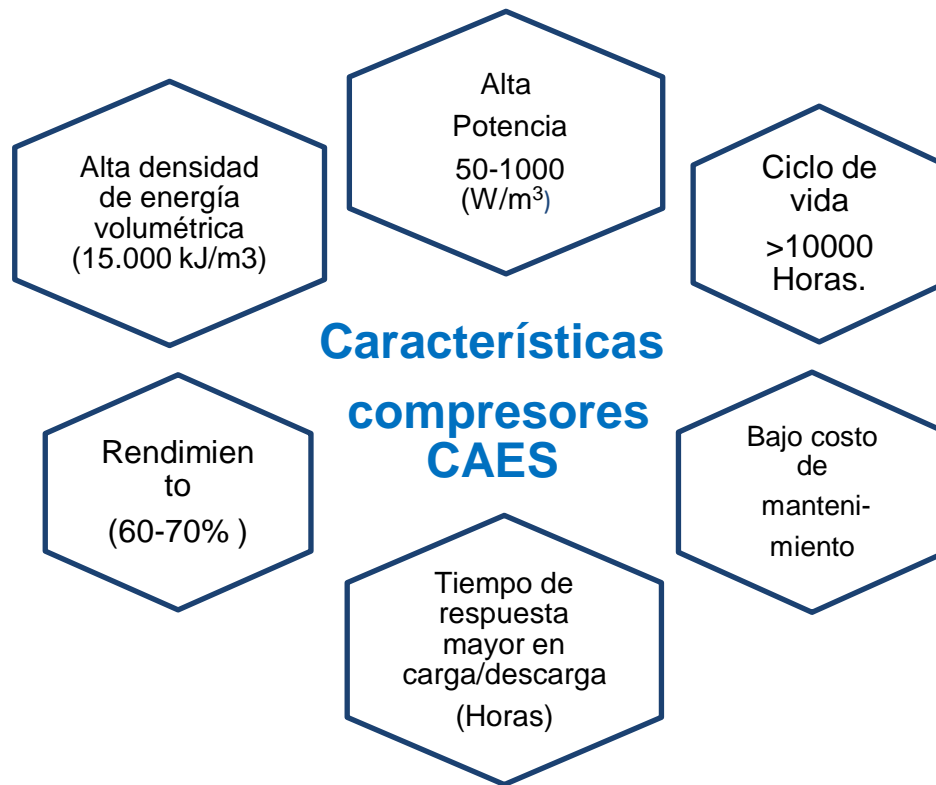


Figura 48. Principales características de los acumuladores CAES⁸³

En la muestra en la figura 48, se indica las principales características de este tipo de acumulación respecto a otras tecnologías o sistemas. Los elementos esenciales en una instalación con este sistema de acumulación de energía eléctrica en el ámbito de una micro-red inteligente, aplicada al sector residencial es poder aprovechar la energía proveniente de las energías renovables solar y eólica, para ser utilizada en horas pico o de alta demanda y la sobrante venderla a la red convencional, siendo esto un beneficio para el consumidor o usuario residencial, al retribuir de esta manera el costo de inversión en la instalación del sistema de acumulación, así como el ahorro económico mensual en el pago de este servicio a la compañía de energía eléctrica.

⁸³ Energylab. Centro Tecnológico de eficiencia y sostenibilidad Energética. Disponible en: <www.energylab.es>

10.3. CATÁLOGOS DE SISTEMAS DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA PARA EL SECTOR RESIDENCIAL

- **Instalación Solar**

En un sistema solar-fotovoltaico que incorpora la aplicación de dispositivos de acumulación de energía eléctrica en una micro-red son protagonistas dos tipos de baterías, aquellas que suelen ser usadas con mayor frecuencia, como la batería de plomo-ácido regulada por válvulas (PARV) y la de plomo-ácido húmeda (PAH). La tabla 9, se especifican las principales características de las baterías plomo-ácido, así como la capacidad de almacenamiento que posee de acuerdo a la temperatura de operación de la misma.

Diseños en Baterías de Ciclo Profundo, Plomo-Ácido				
	No. ciclos a 50%	Aplicación	Beneficios	Fabricante
líquido, plomo-ácido inundada	profundo	industrial, marina, vivienda remota	bajo costo, larga vida mejor garantía	IBE, Rolls
sellada, electrolito gelatinoso sellada, AGM absorbed glass mat- plomo-ácido	profundo	industrial, telecom, sistemas remotos, comercial y sistemas de iluminación	sin mantenimiento, transportable por aire, sin derrames o gases, colóquese en cualquier posición, menos riesgo de congelamiento, sin clasificación de riesgos	Deka
	profundo			Concorde, PowerSonic

% de Recarga	Voltaje a Circuito Abierto			Capacidad de Batería a Temp		Voltaje de Terminación de Crga Recomendado	
	Inundada	Gel	FSFV	Temp de Batería	% de Capacidad	Tipo	Voltaje (VCD)
100	12.6	13.0	12.8	50° F (10° C)	90	Inundada	14.5
75	12.4	12.8	12.6	59° F (15° C)	95	Gel	14.1
50	12.2	12.6	12.4	68° F (20° C)	100	AGM	14.2
25	12.0	12.4	12.2	77° F (25° C)	100		
0	11.8	12.2	12.0	86° F (30° C)	103		
				95° F (35° C)	103		

Tabla 10. Características de baterías de Ciclo profundo (Plomo-Acido).⁸⁴

⁸⁴ Catalogo de productos de Solartronic. Av. Morelos Sur No.90, Cuernavaca, Morelos, México • Tel/Fax:+52(777)318-9714. Disponible en: www.solartronic.com o través de mexico@solartronic.com.

Las baterías **PARV** incluyen baterías de electrolito gelatinoso y baterías de esponja de fibra de vidrio (EFV o AGM por sus siglas en inglés). Están exentas de tener un mantenimiento riguroso o continuo, no presentan derrames internos y tienen una larga vida de almacenamiento. Una batería 'gel' es una tipo **PARV** que ha sido sellada usando unas válvulas de presión especiales, es recomendable no abrirse nunca. Una batería **EFV** tiene las mismas características exceptuando que el electrolito está contenido en separadores de fibra de vidrio en esponja y da un mejor rendimiento. Las baterías **Gel** y **EFV** son menos susceptibles a congelamientos que las **PAH**.

Las baterías **PAH** son utilizadas en aplicaciones de mayor nivel, como viviendas remotas, donde se requieren mayores corrientes, son de menor costo de instalación y su ubicación debe ser accesible, para mantener y revisar periódicamente su nivel de electrolito. Sin embargo, no son adecuadas para localidades con climas fríos, también es preferible que tengan una ventilación adecuada, ya que aparecer corrosión en la batería, si está muy cercana de circuitos electrónicos. **[101]**

La oferta tecnología disponible es amplia y diversa en la investigación de sistemas de acumulación y respaldo energético. A continuación se presentan algunas de ellas, identificado y describiendo las características más destacadas e importantes de algunos fabricantes de baterías eléctricas, que fueron objeto de análisis y observaciones durante el desarrollo de esta investigación, presentando a continuación algunas de ellas⁸⁵.

⁸⁵ La descripción de cada tipo de batería mencionada fue tomada de los catálogos recopilados, que están disponibles en el anexo digital, junto al presente trabajo de grado.

- **Concorde® Sun-Xtender**

Las baterías *Sun-Xtender* son selladas de esponja de fibra de vidrio absorbente (EFV), libres de mantenimiento, reguladas por válvulas y aleación de plomo-calcio para aplicaciones FV de ciclo profundo. Con electrolito inmovilizado que previene derrames en separadores micro porosos de EFV.

- **PowerSonic® Tecnología EFV**

La tecnología EFV fue desarrollada originalmente en 1985 para aviones militares donde la energía, el peso, la seguridad, y la confiabilidad eran consideraciones de gran importancia. La tecnología de la batería EFV ha continuado desarrollándose y ofreciendo mejoras sobre otras tecnologías de baterías selladas, además se ha convertido en el paso siguiente en la evolución de baterías de arranque y baterías selladas de ciclo profundo para la marina, vehículos recreativos y los usos en la aviación. Debido al éxito obtenido con su aplicación en diferentes sectores y actividades anteriormente mencionados, hoy en día son utilizadas como equipos de almacenamiento de energía eléctrica en micro-redes inteligentes con sistemas de alternativos de generación (eólico-fotovoltaico).

- **Surrete® Rolls Serie 4000 y 5000 - Baterías Húmedas**

La línea de baterías *Rolls*, húmedas, de ciclo profundo, formada por placas positivas doblemente aisladas que eliminan la posibilidad de desalineación o grietas en los separadores, bifurcaciones o cortocircuitos en el fondo o lados. Cada celda tiene niveles incrementados de reserva de líquido, para menores intervalos de control de nivel. Sus resistentes placas permiten una larga vida de servicio, la serie 4000 tiene una vida promedio de 10 años y la serie 5000, 15 años de funcionamiento útil.

- **Deka MK® PARV-Gel**

Las baterías de la serie MK reguladas por válvulas y electrolito gelatinoso están diseñadas para dar energía confiable y sin mantenimiento en aplicaciones de energía renovable, donde se requieren ciclos frecuentes de descarga profunda y se desea un mínimo de mantenimiento.

- **CA-LE Solar®**

Baterías húmedas libres de mantenimiento para aplicaciones de ciclo profundo. Diseñadas específicamente para aplicaciones de almacenamiento de energía.

- **TROJAN BATTERY COMPANY (EEUU)**

Es el principal fabricante mundial de baterías de ciclo profundo, dispone de una amplia gama de soluciones de almacenamiento de energía para el mercado de las energías renovables. Pionero mundial en la tecnología de baterías de ciclo profundo. **[102]**

La gama cuenta con baterías de placa plana de 2V, 4V, 6V y 12V. Este tipo de batería presenta alta compatibilidad para ser aplicadas a cualquier instalación solar-fotovoltaica incluso en los entornos más radicales, algunas de sus características son:

- Baterías de ciclo profundo, tecnología plomo-ácido.
- Desde 94Ah a 1090Ah en C100.
- Larga vida útil.
- Mantenimiento mínimo.

Las baterías de gel con ciclo profundo de Trojan son baterías selladas, libres de mantenimiento, que proporcionan energía superior ante la demanda de aplicaciones de energía renovable. Diseñadas para una alta durabilidad, sobresaliente desempeño y larga vida de la batería, las baterías de gel de ciclo profundo de Trojan presentan un número importante de características de diseño

que proveen ventajas significativas sobre los productos de gel de los competidores. El electrolito gelificado es una fórmula patentada que ofrece un rendimiento constante y extiende radicalmente el ciclo de vida útil de la batería. Las rejillas de aleación de plomo proveen mayor vida útil y una resistencia superior a la corrosión, así como una energía más concentrada a los terminales.

La gama de equipos cuenta además con baterías de ciclo profundo de 12V. Son el complemento perfecto para cualquier instalación solar fotovoltaica incluso en las condiciones más extremas.

- Baterías de 12V para instalaciones solares fotovoltaicas.
- Baterías de ciclo profundo (tecnología AGM).
- Desde 84Ah a 254 en C100.
- Larga vida útil.
- Mantenimiento mínimo.
- Líder mundial en la fabricación de baterías de ciclo profundo.

- **ACUMULADORES OPzS**

Los acumuladores Tudor *Classic OPzS (Exide Technologies)* ofrecen una amplia gama de capacidades y tamaños disponibles ofreciendo una solución para cada necesidad, incluso en ambientes hostiles.

- Acumuladores plomo-ácido, tubulares, estándar DIN.
- Recipiente transparente de alta calidad para mantenimiento simple.
- Diseño de placa optimizado
- Capacidad incrementada comparada con estándar DIN OPzS.
- Placas tubulares en acumuladores de 2V
- Diseño más robusto.
- Excelente comportamiento cíclico y en reposo

- Vida más larga.
- Completamente reciclable
- Baja huella de CO2.
- Placa tubular positiva muy gruesa para las aplicaciones más exigentes.
- Hasta 2800 ciclos al 60 % de profundidad de descarga (C10) con ciclos de carga a 20°C.
- Más de 3000 ciclos al 60% de profundidad de descarga (carga IUI a 20°C).
- Diseñado acorde a los estándares IEC 61427 y IEC 60896-21/22.

- **ENERSOL T ACUMULADORES DE PLACA TUBULAR**

Las baterías *Classic EnerSol T (Exide Technologies)* proporcionan energía a aplicaciones solares de media potencia. Estas baterías de plomo ácido de electrolito líquido son conocidas por su seguridad y alto rendimiento.

Son típicas en pequeñas aplicaciones solares y eólicas en zonas no interconectadas.

- Acumuladores de plomo ácido y placa tubular para uso solar y eólico.
- Recipientes de plástico translúcido para facilitar el rellenado.
- Vida cíclica: 1500 ciclos según IEC 60896-11.

- **ACUMULADORES OPzV**

Sonnenschein A600 SOLAR es una batería de gel de alta gama, desarrollada especialmente para aplicaciones cíclicas. Dispone de extraordinarias funciones de ahorro de energía, en adición a una robustez extrema, demostrada durante décadas en instalaciones en todo el mundo, algunas de ellas son:

- Excelente rendimiento cíclico 3000 ciclos a 60% de profundidad de descarga.
- Tecnología Dry

- **TECNOLOGÍAS (EEUU)**

Dispone de una amplia gama de soluciones de almacenamiento de energía para todo tipo de sectores. *Exide* ha diseñado una gama específica de baterías para aplicaciones fotovoltaicas, las cuales proporcionan un gran rendimiento cíclico.

[103]

- **Exide Classic Solar OPzS**

Almacenamiento de energía para aplicaciones energéticas excepcionales. La gama *Classic OPzS Solar* ha sido utilizada durante décadas en requerimientos de energías estándar y elevadas. Este acumulador de energía es una batería de plomo-ácido de bajo mantenimiento con electrolito líquido. Debido a su robustez, larga vida de diseño y alta fiabilidad, estas baterías son ideales para el uso en estaciones solares y eólicas, telecomunicaciones, compañías de distribución de energía, ferrocarriles y muchos otros suministros de energía en equipos de seguridad.

Características generales de los acumuladores *Exide Classic Solar OPzS*:

- Placas tubulares.
- Capacidad nominal de hasta 4.600 Ah.
- Elementos de 2 Vcc.
- Densidad nominal (dn) de 1,24 kg/l.
- Vida útil mínima de 3.000 ciclos.
- Bajo mantenimiento.
- Reciclables

10.4. SIMBOLOGÍA, CONEXIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CATÁLOGOS PARA ACUMULADORES DE ENERGÍA

La mayoría de baterías presentan los siguientes esquemas según las características inherentes a cada una de ellas:

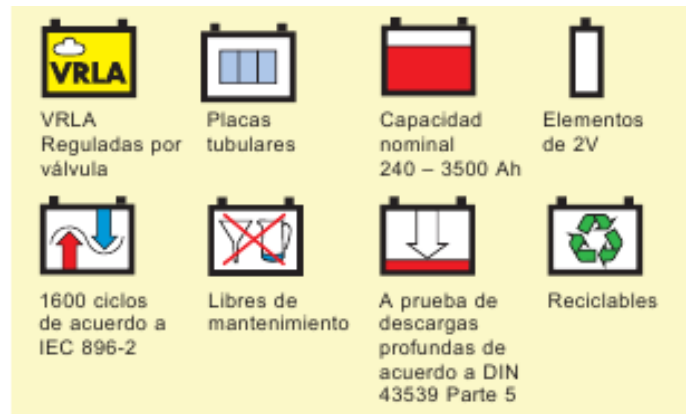
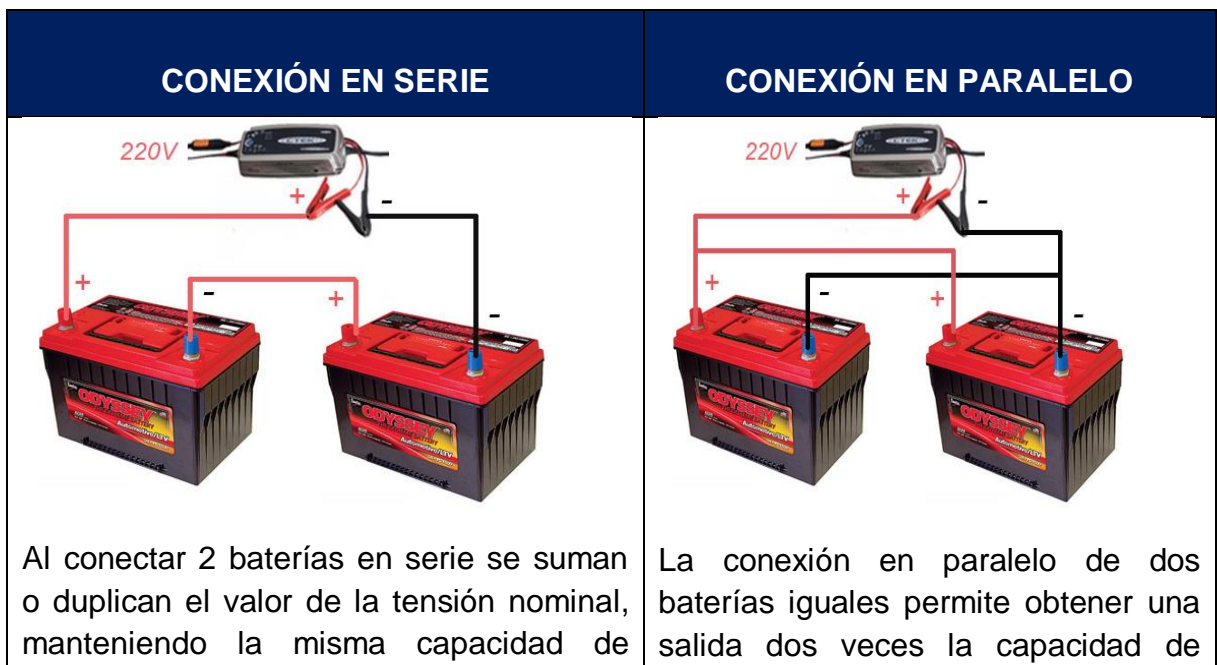


Figura 49. Tomado del catálogo de acumuladores eléctricos de Hispana Solar⁸⁶

Dependiendo del tipo de conexión que se desee y la demanda de energía eléctrica requerida por el usuario, las baterías se conectan en serie o en paralelo, como se indica a continuación:



⁸⁶ Fuente: Imagen tomada de la página de la empresa Española Hispana Solar

<p>almacenamiento. Para este tipo de conexión en turbinas eólicas y paneles solares, cuanto mayor sea la tensión en CC para cargar los acumuladores eléctricos, se presenta menores pérdidas de energía a lo largo del cableado eléctrico.</p>	<p>tensión nominal del acumulador manteniendo el mismo voltaje. Cuanto mayor sea la capacidad, mayor será la cantidad de carga que puede almacenarse. Ejemplo: dos baterías de 12v y capacidad de 200Ah conectadas en paralelo proporcionarán bornes de 12v con capacidad de 400Ah.</p> <p>La capacidad máxima de carga para almacenarse se duplica.</p>
<p>CONEXIÓN SERIE-PARALELO</p>	
<p>Esta conexión duplica la tensión nominal y la capacidad de almacenamiento de la batería. Para disminuir en gran medida las pérdidas de energía que se producen en el cableado, se sugiere disminuir la longitud de las conexiones entre baterías. Mientras menor sea el paso de la corriente a través del mismo presentará menos resistencia.</p>	

Tabla 11. Conexión de varios para acumuladores de energía eléctrica⁸⁷

10.5. BASE DE DATOS DE PROVEEDORES INDICANDO LOS PRODUCTOS RELEVANTES DE SU OFERTA TECNOLÓGICA

Con base a la información disponible de la oferta tecnológica del mercado mundial de acumuladores eléctricos y de compresores CAES, se resume lo siguiente:

⁸⁷ Fuente: [En línea]. Disponible en: <<http://www.hispaniasolar.es/pdf/Catalogos%202010/Hispania-BATERIAS.pdf>>. (24 De febrero de 2014)



Figura 50. Proveedores de Acumuladores de energía⁸⁸.

⁸⁸ Fuente Autores de este proyecto.

A continuación se presentan algunos de los proveedores, diseñadores y distribuidores más importantes de los sistemas de acumulación de energía eléctrica para un ámbito de micro-red inteligente, y su oferta tecnológica disponible al público, permitiendo recopilar y aprovechar la información que suministran de cada uno de sus productos como núcleo principal, vital y necesario para el desarrollo y el cumplimiento de este proyecto de grado. Dado que la cantidad de información y de catálogos estudiados es considerable, no se presenta cada uno de ellos, sino que se mencionan brevemente en la figura 51, las empresas y proveedores a partir de los cuales se obtuvo información referente al proyecto como evidencia del estudio realizado.



Figura 51. Logotipos de proveedores de acumuladores de energía.⁸⁹

Cada una de estas baterías presenta características técnicas y eléctricas de almacenamiento de energía. Si el cliente requiere información más detallada y específica del funcionamiento de algunas de las baterías, por medio de los *datasheet* del equipo las baterías *Trojan* proporcionan las curvas de capacidad, ciclo de trabajo, tiempos de descarga y temperaturas de operación de sus equipos, y con ello el usuario tiene en sus manos la información completa del dispositivo que sea de su elección.

⁸⁹ Los logotipos son de las empresas que diseñan y distribuyen diferente tipo de acumuladores de energía, encontrados en catálogos.

En este momento la oferta tecnológica disponibles es amplia, pero de todas ellas son comúnmente aplicadas las siguientes: las baterías líquidas, baterías de tipo VRLA (*Valve Regulated Lead Acid battery*), baterías de GEL, baterías AGM y las baterías tubulares.⁹⁰

10.6. PROYECTOS DESTACADOS DONDE SE INDIQUEN LAS TECNOLOGÍAS UTILIZADAS Y PRESUPUESTOS DE INVERSIÓN.

La idea básica de CAES es capturar y almacenar el aire comprimido en las estructuras geológicas adecuadas bajo tierra. El aire almacenado a alta presión se devuelve a la superficie y se utiliza para producir energía cuando se requiere la generación adicional, durante los períodos de alta demanda.

- El primer modelo de un sistema CAES fue ubicado en las colinas Columbia. El diseño de la planta ofrece 231 MW de carga durante el almacenamiento y 207 MW de generación. La capacidad de almacenamiento en este sitio se estima en aproximadamente 1,5 millones de toneladas métricas de aire, lo que representa el potencial de aproximadamente 40 días de inyección continua de capacidad de la planta y las simulaciones indican una capacidad de más de 400 horas de la generación siguiente sin más inyecciones. **[118]**
- Existen dos plantas de generación CAES de 110 MW en *Macintosh*, Alabama, desde el año 1991 y la otra planta de 290 MW en *Huntorf*, Alemania del año 1978. Ambas plantas almacenan bajo tierra el aire producido en cavernas de sal excavadas por la minería. **[115]**

⁹⁰ Algunas de ellas se presentan y clasifican de acuerdo a sus características eléctricas y físicas en los anexos del presente proyecto.

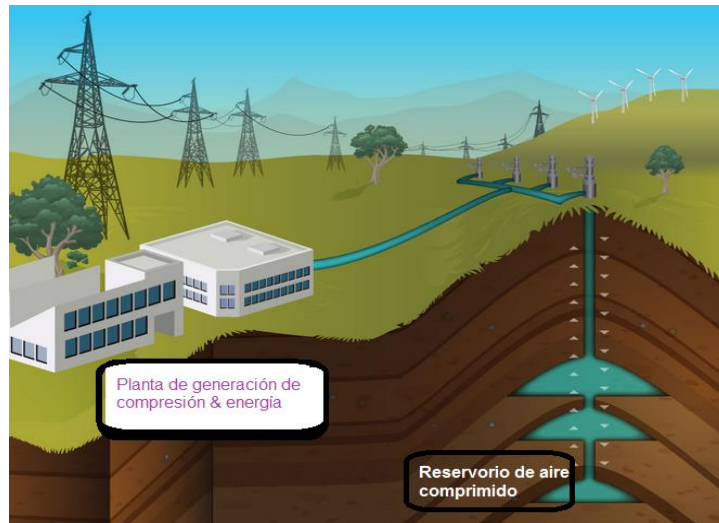


Figura 52 Diseño de un sistema de acumulación CAES⁹¹

- Entre el Este de Washington y Oregón, debido a su geografía y ubicación son territorios ricos y potencialmente adecuados para aplicaciones de un sistema CAES, donde se aplicaron los criterios de selección para identificar ubicaciones de los sitios más favorables e incluyeron restricciones sobre la distancia de ambos gasoductos y las líneas de transmisión (230 KV o más). La aplicación de los criterios de selección cedió cinco lugares candidatos, que se redujeron a dos áreas para la evaluación detallada de la capacidad de almacenamiento subterráneo, diseño de la planta de energía, interconexiones de transporte y la viabilidad económica. [117]
- Para un sitio ubicado cerca de *Yakima Canyon* al norte de *Selah (Yakima Minerals)*, se identificaron restricciones en el suministro de gas natural. Posteriormente fue seleccionado este sitio, que hizo necesario el desarrollo de una nueva configuración geotérmica híbrida de la planta CAES. El diseño de la planta en esta ubicación ofrece 150 MW de carga durante el almacenamiento y 83 MW de capacidad de generación. El depósito de almacenamiento en este

⁹¹ Fuente: Vía web: <http://caes.pnnl.gov/images/Base_v4-02.jpg> (15 de Febrero de 2014)

sitio es profundo, siendo más de 10.000 pies por debajo de la superficie del suelo. Las presiones en esas profundidades resultan en una mayor densidad del aire que se almacena y combina con una estructura de depósito muy grande para proporcionar una gran capacidad de almacenamiento de aire. La planta híbrida Yakima Minerales LCOE se estimó en 11,8 centavos de dólar por kWh, podría ser competitivo con una alta demanda de la región y la generación de energías renovables⁹². [119]

- **Proyecto ALIA2**

Almacenamiento de Li-Ion para aplicaciones avanzadas. El objetivo general del proyecto es desarrollar un sistema de almacenamiento, formado por la batería de Litio-Ion, el convertidor de electrónica de potencia y el sistema de control asociado.

Con este planteamiento general, en este proyecto se plantean las siguientes aplicaciones:

- Sistemas de redes de distribución eléctrica: estos sistemas de almacenamiento, junto con los convertidores de potencia, dispositivos de gestión y de comunicación asociados, podrían ofrecer prestaciones dirigidas a la mejora de la integración de sistemas de generación renovables instalados localmente así como a la gestión óptima de la generación, distribución y consumo de la energía. En la medida en que se instalen de forma masiva, estos dispositivos pueden convertirse en un auténtico sistema de almacenamiento virtual que preste sus servicios, tanto a la red como a su cliente/usuario.
- Aplicación Black-Start en centrales de generación: El desarrollo de un sistema de almacenamiento basado en baterías de Li-Ion está motivado por la

⁹² Ver Anexo 1, tomado de: Vía web < <http://caes.pnnl.gov/pdf/PNNL-22235-FL.pdf> > (15 de febrero de 2014)

búsqueda de alternativas al sistema Black-Start actual (grupos electrógenos diesel). Se requiere una mayor sencillez de la instalación, menor coste y mayores garantías del suministro necesario para el arranque de las centrales de generación, así como mayor sencillez y rapidez en esta operación, especialmente en situaciones críticas como un cero generalizado. [120]

- **Informe de innovación IBERDROLA (Área de almacenamiento de energía)**

Este sistema, entre otros beneficios, servirá para favorecer la integración de las energías renovables en la red. Inicialmente cubre la realización de la primera fase de la puesta en marcha, y para tareas de diseño e ingeniería, así como un completo estudio de viabilidad. [105]

Una nueva batería desarrollada por **Aquion Energy** en *Pittsburgh* usa un electrolito de química simple basado en materiales abundantes tales como sodio y manganeso y se espera que cueste unos \$ 300 por kWh, menos de un tercio de lo que cuesta usar las baterías de ión litio. Ensayos independientes han demostrado que *Aquion's battery* pueden durar alrededor de 5.000 ciclos de descarga y tiene una eficiencia de alrededor del 85 %. La compañía ha recibido \$ 30 millones en capital para emprender la fabricación de sus baterías de ión-sodio. La nueva tecnología puede ser la forma más barata de almacenar grandes cantidades de energía para almacenar energía en las redes eléctricas.

Aquion's battery usa un ánodo de carbón activado y un cátodo basado en sodio y manganeso. Un electrolito basado en agua transporta los iones de sodio entre los dos electrodos durante la carga y descarga. El principio es similar al ion-litio, pero los iones sodio son más abundantes y más baratos de usar. Comparado con los electrolitos basados en disolventes, el electrolito acuoso es más fácil de trabajar y es más barato. Además, los materiales no son tóxicos y la batería es reciclable en un 100 %. Las pruebas a escala de red de esta tecnología son la siguiente etapa.

Aquion ha comenzado la pre-producción para compañías de energía solar aislada[107]. Las distribuidoras usan energía almacenada para cubrir la demanda eléctrica durante los periodos de uso pico.

- **Otras investigaciones realizadas fueron las siguientes⁹³:**

1. REN21 (2009). Renewables Global Status Report 2009 Update, pág 32, disponible [121].

2. ICEX. El mercado de equipos para generación de energías renovables en Colombia. [122]

3. Héctor Domínguez González, “Diseño De Un Sistema Fotovoltaico Para La Generación De Energía Eléctrica En El Cobaev 35 Xalapa.” [123].

**PROYECTOS
INVESTIGADOS
QUE APLICAN
TECNOLOGÍAS
DE
ACUMULACIÓN
ELÉCTRICA**

4. JOHANN ALEXANDER HERNÁNDEZ MORA, “Metodología Para El Análisis Técnico De La Masificación De Sistemas Fotovoltaicos Como Opción De Generación Distribuida En Redes De Baja Tensión” (UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2012

5. Dr. Ulises Cano Castillo and M.E. Gerardo Arriaga Hurtado, Sistemas Híbridos Y Celdas de Combustible (Morelos. MEXICO, 2001), 00, 1–9
<[http%3A%2F%2Fproyectedeenergiarenovable.com](http://3A%2F%2Fproyectedeenergiarenovable.com)>.

6. Juan Pablo Uribe C and Alvaro Pinilla, Estudio Sobre La Viabilidad Técnica Y Económica de Uso de Sistemas Híbridos Para La Generación de Energía Eléctrica (Bogotá D.C, 200AD), pp. 1–9 <<https://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/rev8art2.pdf>>.

⁹³ Los proyectos descritos están disponibles en el anexo digital para la consulta de los mismos.

Como ejemplo adicional referente al tema de investigación, se tiene la experiencia de un usuario colombiano, que usa este tipo de tecnologías:

- “La energía solar sigue aumentando su aplicación energética entre los usuarios convencionales en las ciudades, como es el caso de la Familia Urieles en el municipio de Ciénaga, quién recurrió a la energía solar para bajar su consumo mensual. El proyecto fue iniciado con 4 paneles solares que fueron instalados en el techo de su vivienda y hoy tiene 16 paneles de 80 watt, lo que le da en total 1.280 watt instalados. Esta es una de las grandes ventajas de los sistemas solares que dada su versatilidad pueden ser ampliados en su cantidad y el usuario inicialmente puede instalar un panel solar e ir aumentando paulatinamente el número de módulos solares en la medida de sus posibilidades hasta tener todo su techo como una poderosa planta generadora de energía del sol caribeño. Sobre esto, es importante recalcar, que estas plantas fotovoltaicas son instaladas bajo condiciones de seguridad que le permite al usuario contar con un equipo confiable y le estará produciendo energía al menos por 25 años.

La familia Urieles inconformes con el servicio de electricidad, decidieron aplicar otra alternativa de generación y acumulación de energía eléctrica aplicada al sector residencial. Una vez asesorados e instalados los diferentes equipos de un sistema híbrido, fue notorio el cambio producido, con la disminución en la facturación y un adecuado suministro continuo de energía

Esta familia cancela actualmente mensualmente \$154,000 pesos y a la fecha está cancelando un valor de \$47,000 pesos, teniendo un ahorro del 69% en su consumo de energía, con la gran ventaja que cuando la energía es suspendida en ese municipio del norte del Magdalena, su planta solar SUNPOWER sigue

generándole energía verde y manteniéndole su ventilador “a toda” en el momento que más se necesita”⁹⁴

10.7. DESCRIPCIÓN DE ALMACENADORES DE ENERGÍA EMERGENTES EN LOS SISTEMAS DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Actualmente se presentan gran variedad de equipos de acumulación de energía eléctrica o baterías, algunas de estas se enuncian a continuación seguidamente de la descripción de funcionamiento y sus características.

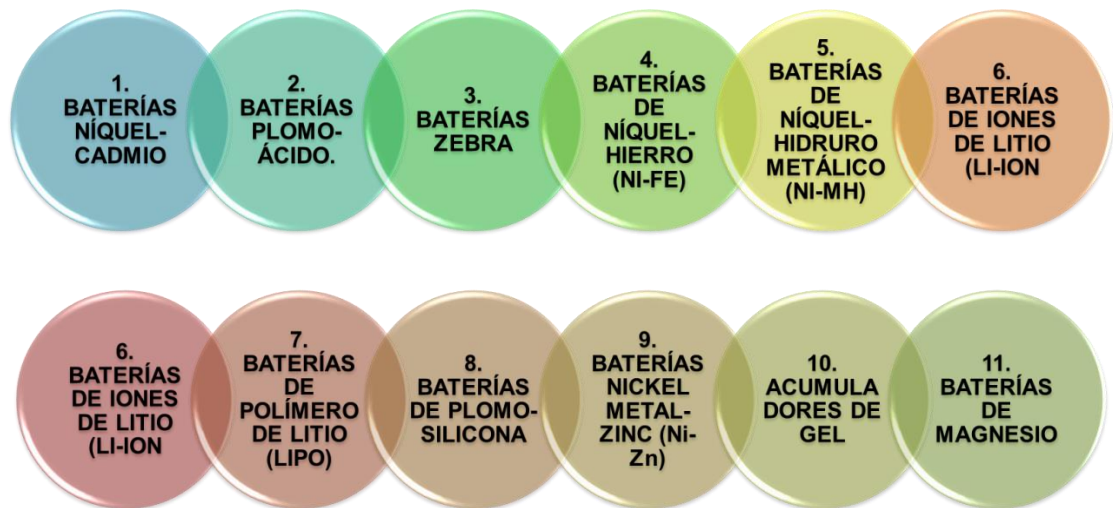


Figura 55. Tipos de acumuladores de energía.⁹⁵

En la siguiente figura se describen las principales características de las anteriores tipos de baterías previamente enumeradas.

⁹⁴ Texto tomado de: [<http://www.spwr.biz/es/la-energia-solar-le-ayudo-al-sr-jeremias-a-bajar-su-cuenton-de-luz.html>]

⁹⁵ Fuente: En base a *Ferve Technical support. The battery life*. Disponible en: www.ferve.com.
<http://deltavolt.pe/eolica> >

BATERÍAS NÍQUEL-CADMIO

1

- Esta clase de batería funciona a partir de un ánodo de cadmio y un cátodo compuesto por hidróxido de níquel. Por su parte, el electrolito se conforma de hidróxido de potasio. Pueden ser recargadas una vez gastadas, aunque disponen de poca capacidad.

BATERÍAS PLOMO-ÁCIDO.

2

- Son utilizadas sobre todo en los automóviles convencionales como baterías de arranque.

BATERÍAS ZEBRA (Cloruro de Sodio)

3

- Su temperatura interna de funcionamiento va desde los 270°C hasta 350°C haciendo de la batería Zebra una batería caliente. Pero no tiene efecto memoria y ofrece una capacidad energética de 120 Wh/kg. Se compone de materiales "renovables", sal (NaCl), Nickel (cuando la batería esta descargada) y hierro mantenidos al vacío en un contenedor sellado. Tiene la gran ventaja de ser 100 % reciclable.

BATERÍAS DE NÍQUEL-HIERRO (NI-FE)

4

- Esta clase de baterías fue desarrollada por Edison a principios del siglo XX. Se conformaba por filas de tubos compuestos por acero niquelado, los cuales contenían hidróxido de níquel. El polo positivo contenía acero niquelado con polvo de óxido ferroso. Las baterías de níquel son de fabricación simple, bajo costo y pueden sobrecargarse o descargarse reiteradas veces sin por ello perder su capacidad.

BATERÍAS DE NÍQUEL-HIDRURO METÁLICO (NI-MH)

5

- Emplean un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo compuesto por una aleación de hidruro metálico. Son reacias al contacto con las bajas temperaturas, disminuyendo en gran parte su eficacia.

BATERÍAS DE IONES DE LITIO (LI-ION)

6

- Dispone de un ánodo de grafito, mientras que el cátodo funciona a partir de óxido de cobalto, óxido de manganeso. No permiten la descarga y son capaces de alcanzar potencias elevadas. Sin embargo se ven afectadas por los cambios de temperatura.

BATERÍAS DE POLÍMERO DE LITIO (LIPO)

7

- Cuentan con características análogas a las baterías de iones de litio, aunque su densidad es mayor. Son de tamaño reducido por lo que suelen utilizarse en pequeños equipos.

BATERÍAS DE PLOMO-SILICONA

8

- Comienzan a hacer su aparición en el mercado, ofrecen más resistencia que las baterías tradicionales

9

BATERÍAS NICKEL METAL-ZINC (Ni-Zn)

- Sus características no contaminantes hacen de la batería Nickel-Zinc un potencial competidor de las clásicas baterías de plomo e incluso las de Nickel Cadmio.
- Son dos veces más caras que las baterías de plomo pero también ofrece una densidad energética doble comparada a la batería de plomo (80 Wh/kg para Ni-ZN, 30 Wh/kg para el plomo).

10

ACUMULADORES DE GEL

- Las baterías de gel se recombina el oxígeno liberado por las placas positivas con el hidrógeno, a través del electrolito, y por reacción electroquímica se convierte en agua. De esta manera se hace innecesaria la adición de agua durante toda la vida de la batería.

11

BATERÍAS DE MAGNESIO

- Son similares a las pilas alcalinas, con la excepción de que están conformadas por hidróxido de potasio. Su envoltura es de acero y el zinc es polvo ubicado en el centro. Las baterías alcalinas de manganeso tienen un valor elevado y se emplean en máquinas de mayor consumo de energía como juguetes con motor.

CUADRO COMPARATIVO DE DISTINTAS TECNOLOGÍAS DE ACUMULACIÓN							
Densidad energética (Wh/kg)	Plomo 30 - 50	Ni-Cd 45 - 80	Ni-Mh 60 - 120	Ni-Zn 60 - 85	Zebra 100 - 140	Litio-Ion 110 - 160	Li-Po 100 - 130
Nº de ciclos de vida	400 - 1200	2000	1500	1000	> 1000	500 - 1000	N/A
Tº de funcionamiento (ºC)	-20º a 60º	-40º a 60º	-20º a 60º	-20º a 60º	270º - 350º	-20º a 60º	0º a 60º
Aplicación	Bicicletas eléctricas, cochecitos.	Algunos automóviles en Europa.	Vehículos híbridos.	Cámaras, bicicletas y vehículos eléctricos ligeros.	Vehículos eléctricos e híbridos.	Teléfonos Móviles, ordenadores portátiles., entre otros.	Prototipos

Tabla 12. Comparación de tecnologías de acumulación de energía.⁹⁶

I. Aspectos más significativos de un acumulador eléctrico.

⁹⁶ Fuente: Adaptado de: Tecnologías de Baterías
<http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/PresentacionBaterias.pdf>

Es conocido para todos que los acumuladores eléctricos son baterías de mayor tamaño. Al comprar equipos de almacenamiento de energía eléctrica, se debe en primera instancia tener claro el nivel de tensión en los bornes del equipo a adquirir, consecutivamente se manejan otros tópicos en el siguiente orden: capacidad de almacenamiento para los ciclos de carga y descarga del acumulador, el material o el componente del que está diseñado, el tamaño de la unidad de almacenaje de electricidad y finalmente otro criterio considerable es debido al peso del objeto; estos dos últimos factores permiten o dificultan el traslado y movimiento del módulo cuando la situación lo requiera.

También se tiene en cuenta la operatividad, es decir el manejo que se debe tener a la batería, ya que algunas presentan características o funciones adicionales, como funciones de inversor de tensión, un sensor del nivel de almacenamiento, regulador de carga, alarma indicadora de fallas o de llenado, entre otros aditamentos que actualmente presentan la oferta tecnológica disponible.

En la adquisición de elementos de acumulación y en todo negocio de “bienes materiales”, sean o no eléctricos/electrónicos, dependen del precio que al dispositivo le corresponda, dependiendo del nivel de satisfacción y cumplimiento de las características ya aludidas en este texto. El costo económico y el envío de un equipo no debe ser ninguna limitante en su compra, siendo esto un indicador de las diferentes gamas y modalidades a las que está diseñado el acumulador o compresor.

En consecuencia estas pautas mencionadas indican y encaminan al usuario hacia un modelo determinado de baterías, que han sido mejoradas para dar cumplimiento a ciertos requerimientos del usuario, haciendo factible su adquisición. Si la instalación que se tiene presenta ciertas características y la vivienda está ubicada en una zona con temperatura , humedad y polvo

determinados, estos son factores que permiten evidenciar parcialmente el tipo de batería que mejor conviene instalar. En este caso será la batería tipo gel, debido a las características internas y de trabajo que posee, que favorecen y permiten maniobrar en ambientes de mayor temperatura y contaminación.

El conocimiento, la comprensión y claridad de estas pautas, permiten resumir en un esquema aquellas principales características en los sistemas de acumulación de energía eléctrica, considerando cada tópico en la clasificación de las baterías estudiadas, a partir de los diversos catálogos de proveedores consultados.

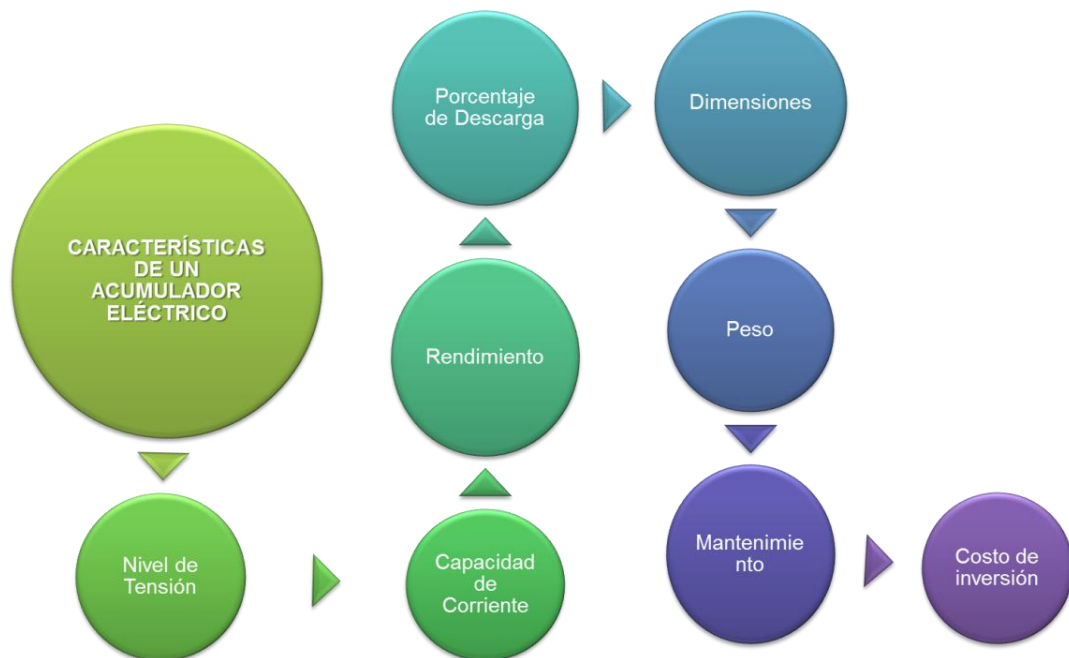


Figura: 53 Características generales en un sistema de acumulación eléctrico⁹⁷

Se considera principalmente aquellas características sobresalientes, observadas desde la óptica del usuario final residencial, permitiendo o en su defecto discrepando la implementación de un sistema de almacenamiento eléctrico.

⁹⁷ Fuente: Autoras

Dependiendo directamente de la clase y uso final al que vayan a ser sometidos los equipos de almacenamiento, uno de ellos es generado por el precio en los costos operativos y de mantenimiento proyectados a corto, mediano y a largo plazo.

10.8. CLASIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En el cumplimiento de las pautas y objetivos de esta investigación, se presenta a continuación la sistematización con las actuales tecnologías disponibles, asignada de menor a mayor nivel.

- Tablas resumiendo los equipos de acumulación investigados, clasificando cada uno de ellos de acuerdo a sus características, a partir del material recopilado mediante catálogos (disponible en una carpeta llamada anexos-proveedores del medio magnético que se entregará con toda la información y memorias concernientes a esta tesis de grado), y del análisis a los datos de cada equipo.
- Una vez clasificada la oferta tecnológica en el mercado y con base al análisis de cada uno de los atributos que destacan o permiten conocer al público los proveedores, se hizo evidente la gran variedad de modelos de baterías y la razón en la diversificación en los costos de adquisición inherentes, dependiendo del tipo de batería y la capacidad de almacenamiento.
- Tablas relacionadas con costos de acumuladores de energía para sistemas solar fotovoltaico y eólico (Ver Anexo 1).
- Capacidad de un acumulador de energía para sistemas solar fotovoltaico y eólico (Ver anexo 1, pág. 9).
- El nivel de tensión de un acumulador de energía para sistemas solares (Ver Anexo 1).
- Dimensiones de un acumulador de energía para sistemas solar fotovoltaico y eólico (Ver Anexo 1)

- Peso de un acumulador de energía para sistemas solar fotovoltaico y eólico (Ver Anexo 1).

10.9. DESCRIPCIÓN, ESPECIFICACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS MÁS IMPORTANTES A TENER EN CUENTA PARA LA SELECCIÓN DE ACUMULADORES DE ENERGÍA EN UN ÁMBITO DE MICRO-RED INTELIGENTE.

Favoreciendo aquellos criterios y características que afectan directamente al propósito de este trabajo, sujeto a dispositivos electrónicos diseñados para la acumulación de energía eléctrica, implementados en sistemas residenciales con micro-redes inteligentes, y mecanismos de autogeneración a través de un sistema híbrido de paneles solares y aerogeneradores; la puesta en marcha de un proyecto de esta índole y por investigaciones previamente realizadas mundialmente, teniendo presente para el análisis del proyecto, los siguientes criterios:

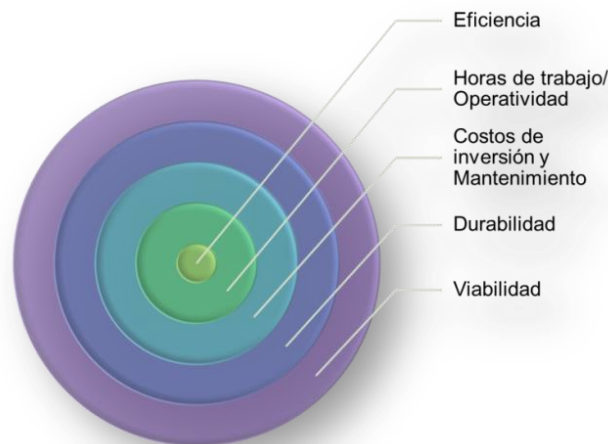


Figura 54 Aspectos principales en la implementación de sistemas de acumulación de energía desde el punto de vista financiero⁹⁸.

⁹⁸ Autoras, en base al estudio realizado.

Se estipula como primera disposición, aquella que en la implementación de un proyecto relacionado a energías renovables presenta numerosas y mejores alternativas energéticas de ahorro. Se considera significativo el costo de inversión inicial que deberá aportar el usuario, sin la ayuda del gobierno u otras entidades que incentiven y promuevan masivamente y a mayores escalas la autogeneración residencial. Por esto, el costo de inversión es el primer paso sujeto continuamente en la ejecución de un proyecto de esta índole, añadiendo como parte de este factor, la condición económica-familiar de un usuario normal, que deberá invertir y cancelar totalmente el monto una vez puesto en marcha.

A pesar de las enormes garantías y ventajas que respaldan la aplicación de alternativas energéticas renovables, con los antecedentes tanto prácticos como teóricos en la generación de energía eléctrica, además del almacenamiento y conversión de la misma, los costos de dispositivos necesarios para la aplicación de estas tecnologías algunas veces entorpecen el panorama, siendo importante una remuneración inherente después de un largo periodo de tiempo, el cual inicia a partir de la puesta en marcha del sistema de generación híbrida que incluye el almacenamiento de energía eléctrica en la vivienda, que ayude a cubrir parcialmente la demanda energética.

Otros aspectos importantes y que a su vez influyen en la decisión de implementar o no mecanismos alternativos en el campo de la electricidad, serían aquellos que se muestran en el siguiente esquema:

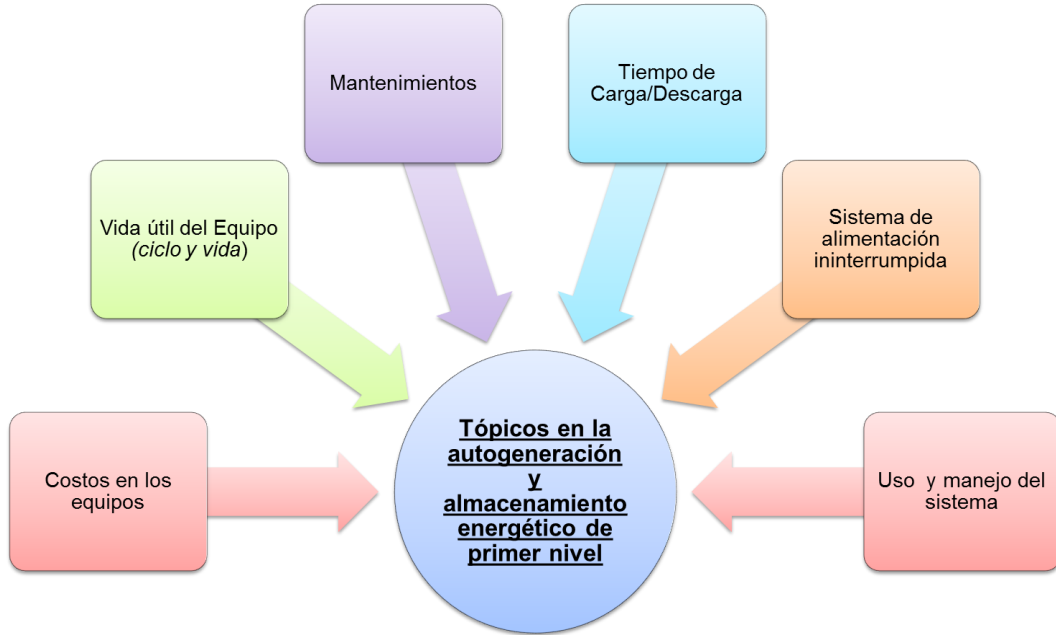


Figura 55 Principales tópicos en los acumuladores de energía eléctrica⁹⁹.

10.10. RELACIONAR, RECOPIRAR Y CLASIFICAR LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN EL TRASCURSO DE LA INVESTIGACIÓN, RESALTANDO EN CADA UNO SUS PUNTOS RELEVANTES.



Figura 56 Orden de ejecución del proyecto de grado⁹²

⁹⁹ Fuente: Autoras

La metodología desarrollada durante el desarrollo de esta investigación está dividida en tres partes, como se muestra en la anterior gráfica:

- I. **Relacionar:** Contextualizar la información que envía la temática de sistemas de acumulación de energía eléctrica, como lo son: generación distribuida, sistemas fotovoltaicos, sistemas eólicos, domótica, entre otros.
- II. **Recopilar:** Una vez relacionada la información en el ámbito de microredes inteligentes, esta será recopilada y almacenada en una base de datos, para eventuales referencias.
- III. **Clasificar la información:** A partir de la información obtenida y almacenada, esta se clasifica y describirá de acuerdo a las características inherentes de los sistemas de acumulación de energía en el ámbito de microredes inteligentes.

La compilación elaborada de la oferta disponible en el mercado ha sido ordenada en ejes centrales, sujetos a las características más significativas y aplicadas en la clasificación de la oferta tecnológica proporcionada por diversos proveedores, sin olvidar presentar en estas las unidades de acumulación de electricidad con un perfil ilustrativo adjunto a la clasificación efectuada anteriormente; facilitando de esta forma la plena identificación del equipo que se esté mencionando, además que permite observar las diferentes formas, precios de los equipos y tamaños en los diseños de acumuladores de energía actualmente.

A partir de la recopilación de catálogos y de la investigación en sitios web de proveedores, se diferencia la presentación de sus productos disponibles o en existencia. Cada empresa enseña los diversos modelos y clases de acumuladores eléctricos, que difieren de acuerdo al material del que está hecho la batería, la forma y el tamaño, a su vez tienen una semejanza en la descripción del producto aún en venta, esto indica al cliente los aspectos más representativos y las

particularidades el acumulador de energía eléctrica, en su búsqueda del equipo que se mejor se adapte a la instalación y al uso

Se han clasificado algunos equipos ofrecidos en el mercado tanto a nivel nacional como internacional, añadiendo la información que mejor lo describe; esta aplicación se ha llevado a cabo de acuerdo a los ítems enmarcados y recalcados en las baterías ofrecidas por los mismos diseñadores y proveedores de estos mecanismos, presentando valores claros de sus productos e indicando el modo de operación del mismo. La clasificación descrita anteriormente se detalla en el Anexo 1.

10.11. DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN CONECTADA A UN SISTEMA HIBRIDO Y LOS COMPONENTES INTERNOS DE LA MISMA.



Figura 57 Partes para la construcción del plano eléctrico

Con base a lo descrito en la figura 57, se realiza los planos con la herramienta de diseño **AutoCAD**¹⁰⁰, los cuales se muestran a continuación:

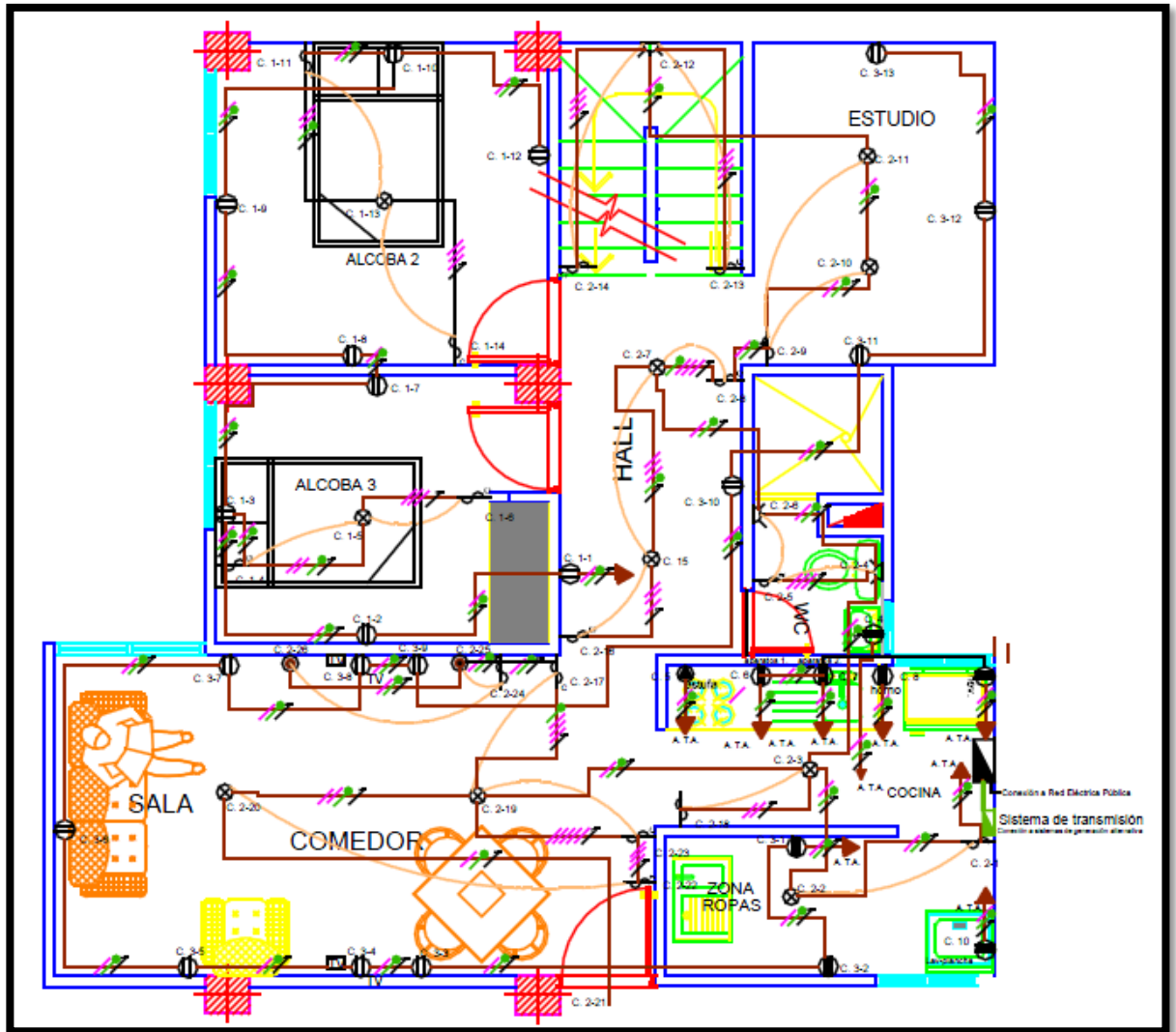


Figura 58 Sistema de Conexión eléctrica interna en la vivienda101.

En el diseño de una instalación eléctrica en general, se debe asegurar la suficiente energía para el equipamiento, es decir para alimentar toda o la mayor parte de la carga energética de la vivienda. La norma de la electrificadora de Santander

¹⁰⁰ AutoCAD se utilizó como versión de prueba estudiantil.

¹⁰¹ Fuente: Autoras.

estipula que los sistemas de respaldo de una instalación eléctrica deben satisfacer o mejor aún garantizar el continuo funcionamiento de ciertos equipos y zonas del lugar, con esto se busca disminuir el índice de daños, quejas, reclamos e inseguridad.

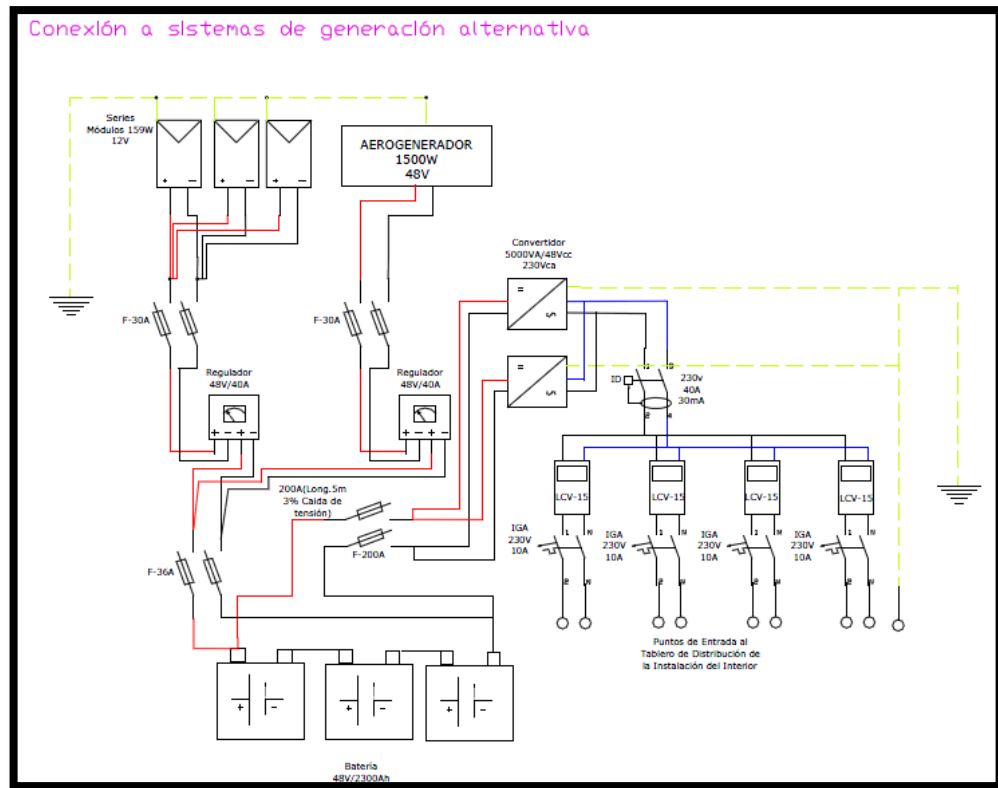


Figura 59 Conexión de un sistema generación alternativa¹⁰²

Un sistema de distribución de cargas debe contar con un diseño óptimo el cual permita mantener estándares de calidad y estar a la vanguardia de las posibilidades de crecimiento de una forma sostenible para cualquier tipo de

¹⁰² Autoras.

instalación eléctrica actual y pensada a su vez en futuras remodelaciones o mejoras concebidas al diseño.

El objetivo general del sistema de distribución es minimizar el costo en equipos y en materiales como lo son: alimentadores, transformadores, redes secundarias, pérdidas de potencia y energía, sometido a restricciones de valores permisibles de voltaje, caídas transitorias de voltaje y la continuidad en el servicio. Para el planeamiento, diseño, construcción, operación y mantenimiento de un sistema de distribución se debe cumplir con requisitos como la aplicación de las normas del Código Eléctrico Nacional (NTC 2050), simplicidad en la construcción, optimización de costos, localización de la alimentación para el sistema, conocimiento de las cargas, su ubicación y sus tasas de crecimiento, nivel socioeconómico, selección de los equipos de distribución incluyendo interruptores, líneas, transformadores y conductores, entre otros.

Previendo la cantidad de energía y de salidas que se necesitan por las sobrecargas o fallos de energía de la red eléctrica, como las causadas por relámpagos, los cuales ocasionan fallas en la red de energía y ocasionando pérdidas e inconformidades a los usuarios. Al contar con un sistema de suministro eléctrico alternativo se podría prever este tipo de situaciones, y no solo cuando halla ausencia de energía por parte de la red nacional, además de la posibilidad de permitir al usuario si así lo desea, de desconectarse de la red eléctrica para hacer uso del sistema de acumulación cuando esté cargado, teniendo en cuenta que los equipos de transformación y generación de electricidad continúan funcionando con normalidad sin ningún inconveniente en el suministro de energía a través de los sistemas híbridos de generación que disponga.

Se espera que este tipo de instalaciones eléctricas en el ámbito de una micro-red inteligente sean de fácil manejo y control a los usuarios inexpertos, y así estos elijan el tipo de conexión o fuente de la que pretenden trabajar, sin importar la hora

o el día que sea. El diseño y la maniobra de este tipo de instalaciones debe ser precisa, permitiendo al usuario involucrarse activamente en la ejecución y en la manipulación de los equipos que sean instalados, ya que el usuario será el encargado del manejo, cuidado y del uso final que le dé a la instalación eléctrica realizada en el hogar.

Toda instalación eléctrica que incluya sistemas híbridos presenta una gran y variada gama de equipos, que tienen diversas características y componentes dependiendo del tipo de instalación requerida y del manejo final. Algunos de los elementos básicos que se debe tener presente se señalan a continuación, indicando la función que ejercen dentro de la disposición eléctrica establecida.

[106]

La figura 60, describe e ilustra los diferentes equipos que forman parte de un sistema híbrido, interconectado a una micro-red inteligente en el ámbito residencial, y como se ha estipulado a lo largo de la presente investigación.



Figura 60 Dispositivos necesarios en un sistema híbrido.

10.12. RECOPIACIÓN DE ARTÍCULOS TÉCNICOS O INDEXADOS

Se encuentra contextualiza en el marco teórico de la presente investigación, y su respectiva referencia se ha ubicado en torno a la información utilizada para el desarrollo de este proyecto en cada una de las temáticas descritas, analizadas y estudiadas. Se ha referenciado apropiadamente la investigación efectuada, la cual se enuncia concisamente en la bibliografía, ubicada en la parte final de este trabajo de grado, a su vez el CD entregado junto a este proyecto de grado contiene toda la recopilación bibliográfica.(Ver anexo 3)

10.13. USO FINAL DE LOS ACUMULADORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La vida útil de la batería es el periodo de uso en el que esta se puede recargar y retiene la carga. Al final de su vida útil, la batería se clasifica como residuo peligroso por la Convención De Basilea y debería ser manejada apropiadamente para prevenir daños en la salud humana y en el medio ambiente (UNEP, 2003). La vida útil de una batería de plomo ácido depende mucho de su ritmo, condiciones y tipo de uso, se estima que sea entre 1 y 5 años.

El plomo es un metal muy tóxico, además que una vez que la batería ya no sea de utilidad, se espera en primera instancia que esta sea recolectada y reciclada adecuadamente. Para los problemas de las baterías de plomo-ácido con el flujo de residuos sólidos y sus beneficios al reciclarse, se debe y es importante conocer algunos aspectos técnicos de la batería de plomo ácido donde su inadecuado manejo acarrea problemas a la salud pública y peligros medioambientales, asociados a su eliminación, métodos de reciclaje, por esto se han desarrollado una legislación para minimizar los peligros en el uso y el reciclado de baterías.

Todas las baterías de plomo ácido para la continua carga y descarga de energía, opera mediante un proceso llamado electrolisis, produciendo hidrógeno y oxígeno (gas) en los electrodos. Estos gases pueden escapar de una celda inundada o mojada, pero las celdas selladas no dejan escapar los gases y los vuelven a combinar. Una red de estructura de plomo pura no es suficientemente fuerte y por ello se permiten otros metales como antimonio, calcio, estaño, y selenio en pequeñas cantidades para añadir fuerza y mejorar las propiedades eléctricas.

La *Accurec Recycling GmbH*, es pionera de las principales empresas dedicadas únicamente en el reciclado de baterías, además de ser miembro fundador de:

- EBRA (*European Battery Recycling Association*)
- RECHARGE (*International Association for Advanced Rechargeable Batteries*)
- ICdA (*International Cadmium Association*)

Abarcando diversos procedimientos y los pasos de la cadena del residuo se cuenta con las instalaciones de reciclado necesarias y de gran capacidad para el reciclado de baterías como se muestra a continuación:

Compañía	Localización	Proceso	Capacidad (TM/a)	Tecnología Específica	Comentarios
XSTRATA Nickel Corp.	Ontario (Canada)	Pirólisis y fusión con posterior hidrometalurgia	>5.000	No	Se reciclan conjuntamente con minerales y otros residuos Co/Ni
UMICORE S.A.	Hoboken (Bélgica)	Fusión y posterior hidrometalurgia.	< 500 Anunciada > 5.000	No	Fusión directa en horno de cuba, reciclado conjuntamente con otros residuos Co/Ni
BATREC Ind. AG	Wimmis (Suiza)	Pretratamiento mecánico: Granulación y tamizado	< 300	Si	Planta piloto para pretratamiento
RECUPYL, S.A.	Grenoble (Francia)	Pretratamiento mecánico: Granulación y tamizado	< 300	Si	Planta piloto para pretratamiento
TOXCO Inc.	Trail (Canada)	Granulación y tamizado, Neutralización	N/D	Si	Sin información disponible

Figura 61 Compañías que realizan proceso de reciclaje de acumuladores de energía, y el proceso que éstas aplican para ello.¹⁰³

A nivel internacional, la convención de Basilea es importante para todas las baterías de plomo ácido usadas. Más aún, el Secretariado de la Convención de Basilea ha establecido guías para un tratamiento seguro de éstas. En Marzo de 1989 se adoptó la convención de Basilea sobre el control de movimientos transfronterizos de residuos peligrosos y su eliminación. Como base de los principios de la gestión ambientalmente sana, la convención persigue la protección de la salud humana y el medio ambiente y de los peligros de los residuos peligrosos. Para conseguir esto, la convención establece una estrategia de tres pasos:

¹⁰³ Tomado de: www.cometalsa.com

1. Minimizar la generación de residuos.
2. Tratamiento de los residuos lo más cerca posible de donde fueron generados.
3. Minimizar traslados internacionales de residuos peligrosos.¹⁰⁴

Los usuarios de sistemas de almacenamiento deben contar con el conocimiento y las indicaciones que el proveedor proporciona, y al mismo tiempo el cliente puede informarse detalladamente sobre el proceso de reciclaje de baterías, a través de las guías de funcionamiento con técnicas para la gestión medioambiental racional de los residuos de baterías de plomo ácido. Estas guías ofrecen a los usuarios un conjunto de buenas prácticas y principios para establecer un sistema de reciclado de baterías.

Estas guías describen cómo recoger, transportar y almacenar las baterías usadas; dan especificaciones para las cámaras de almacenamiento y los medios de transporte, así como describir cómo las baterías llevadas a la planta de reciclado deberían ser drenadas de sus electrolitos, identificadas, separadas, y almacenadas; exponen cómo el plomo recuperado debe ser tratado para quitar los contaminantes no deseados; y abordar los temas médicos y la sensibilización pública. Las guías concluyen que la forma más efectiva de recolección es que se hagan cargo los productores, minoristas, mayoristas y las estaciones de servicio recogen las baterías viejas en el momento de darle al cliente una nueva.¹⁰⁵

- **Reciclaje**

Una vez utilizada una batería eléctrica y gracias a la compacidad de la batería, su alta proporción de plomo y los altos precios del metal, los consumidores han

¹⁰⁴ Fuente: www.basel.int

¹⁰⁵ Fuente: www.basel.int

venido retornando sus propias baterías de coche (o recolectadas) al mercado de la chatarra o a la fundición. Éste es además el caso de los países de bajos ingresos con tasas de recuperación de hasta el 80%, conseguidas normalmente a través de un sistema de recolecta informal de chatarreros, elaboradores de plomo y consumidores (Vest, 2002).

Los beneficios de su reciclaje son numerosos. A menos que reciclemos las baterías usadas, ciertos componentes tóxicos supondrán un peligro potencial para el medio ambiente y para la salud humana. Por otra parte, el recuperar baterías de desecho tiene la ventaja de que es más fácil y menos intensivo energéticamente que producir plomo nuevo de mineral (la producción de plomo reciclado requiere 35-40% de la energía necesaria para producir plomo de mineral). El Reciclaje, si se realiza de manera adecuada, reduce también la dispersión de plomo en el medio ambiente y conserva los recursos minerales para el futuro (Thornton, 2001).

106

Como las normas internacionales indican, el reciclaje de baterías de plomo ácido, no son un simple proceso que puede ser realizado por empresas a escala pequeña. Hay que tomar ciertas medidas para prevenir un impacto negativo en la gente y en el medio ambiente. Resumiendo a continuación los procesos involucrados en el reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas, según descripciones en las guías técnicas para el manejo ambientalmente sano de residuos de plomo ácido (UNEP, 2003) ¹⁰⁷

La construcción, puesta en marcha y el funcionamiento de una planta de reciclaje medio-ambientalmente sana es muy cara. No sólo porque la inversión inicial sea de varios millones de dólares, sino que además hay unos gastos generales

¹⁰⁶ Fuente: www.gravitaexim.com).

¹⁰⁷ Fuente: <http://www.basel.int/meetings/sbc/workdoc/techdocs.html>).

permanentes para cubrir sistemas de control medioambiental y de higiene. Cualquier planta de reciclaje moderna debe tener un caudal continuo y alto de baterías de plomo ácido. Los gobiernos locales deberían centrarse en una recolecta segura de los sistemas de acumulación de energía y de enviarlas a una fundición medioambientalmente sana, incluso si esto conlleva que las baterías usadas tengan que ser exportadas para alcanzar este objetivo.¹⁰⁸

- **Recolección**

Para evitar efectos adversos para la salud y la contaminación medioambiental, las baterías deben ser recolectadas, transportadas y almacenadas con mucho cuidado. En los puntos de recolección hay que tomar medidas especiales, las baterías NUNCA deberían ser drenadas en los puntos de recolección por la poca garantía que pueden ofrecer en el manejo seguro del ácido sulfúrico, y sus peligros para la salud y el medio ambiente.

La tecnología del reciclaje: El proceso de reciclaje se puede dividir en tres procesos principales:

- Ruptura de la batería:
- Reducción del plomo
- Refinación del plomo.

¹⁰⁸ Fuente: <http://practicalaction.org/recycling-used-lead-acid-batteries-reciclaje-de-bater%C3%ADas-de-plomo-%C3%A1cido-usadas>

11. ANÁLISIS Y ESTUDIO GENERAL DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ACUMULACIÓN ENFOCADO AL SECTOR ELÉCTRICO RESIDENCIAL

El Análisis Costo Beneficio (ACB) es una herramienta analítica que pone en una balanza los costos y beneficios de un proyecto. El ACB puede aplicarse a proyectos privados y a proyectos públicos. Para esta investigación, el análisis costo beneficio consiste en evaluar la rentabilidad financiera al aplicar tecnologías de acumulación en el ámbito de microredes inteligentes para usuarios residenciales, es decir, examinar las ganancias para el usuario al comparar el costo del proyecto con los ahorros económicos o ingresos producidos. Por tanto, el análisis de la relación costo/beneficio permite observar los factores que acarrearán la implementación de este proyecto en el sector residencial nacional, mediante la comparación que se observa entre el consumo normal de energía y el que se obtiene mediante el uso de alternativas de generación y de sistemas de acumulación. Inicialmente se presenta el consumo y el costo que esta conlleva, en una vivienda promedio del país (Estudio costo beneficio, ver anexo 2).

Desde una perspectiva social, el análisis de viabilidad de un proyecto no se limita a los costos y beneficios financieros o privados de un proyecto, sino que debe considerar los costos y beneficios sociales, esto implica cuantificar en términos monetarios el flujo de costos que incurrirá la sociedad por el desarrollo de un proyecto y de los beneficios que éste le generará. **[125]**

Las figuras 62 y 63 presentan un ejemplo de facturación del consumo mensual de energía de un usuario residencial¹⁰⁹, a partir del cual se puede detallar la cantidad

¹⁰⁹Fuente: Recibo de un usuario, pertenece al estrato socioeconómico 4 y fecha de facturación Enero de 2014. Empresa prestadora del servicio de energía eléctrica ESSA del Grupo EPM

de energía empleada y el costo del kWh actual, que para este caso se evidencia el consumo registrado de 149 kWh al mes y un promedio mensual de 142 kWh, siendo el valor del costo unitario variable **\$/kWh = \$372.74** (este valor depende de los costos de generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía, pérdidas y restricciones, ver Figura 63) y en la facturación incluye el monto total final a cancelar.

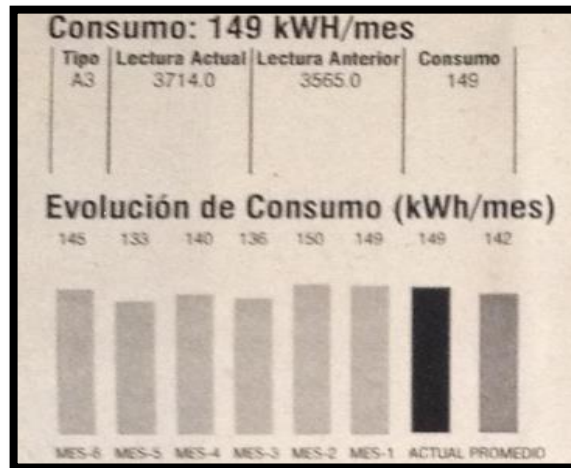


Figura 62. Tarifa vigente del consumo energético en un hogar residencial.

La figura 63, presenta la información básica que todo usuario debe conocer mensual, donde señalan el costo total por periodo consumido y las variables o factores que influyen y determinan cada 31 días, el costo mensual por la utilización del servicio.

Información de su tarifa			
El valor de su factura de energía está determinado por la fórmula tarifaria (Res. CREG 119 de 2007).			
Fórmula Tarifaria:			
Costo Unitario Variable (\$/kWh) CUv = G + T + D + Cv + PR + R	Generación (G):	138.21	Costo Unitario Fijo (\$/factura)
	Transmisión (T):	21.62	
	Distribución (D):	140.95	CuF = .00
	Comercialización (Cv):	39.82	
	Pérdidas (PR):	25.98	- Subsidio % + Contribución %
	Restricciones (R):	6.17	
	CUv (\$/kWh):	372.74	
Costo Total por kWh consumido en el periodo.			

Figura 63 Factores medidos para el costo unitario variable.

En la tabla 13, se indica la generación de energía en MW, de las diferentes fuentes de producción de electricidad para el año 2012 en Colombia:

TIPO DE RECURSO	MW
Hidráulica	8525.0
Térmica	4343.0
Gas	2757.0
Carbón	967.0
Menores	564.3
Hidráulica y térmica	545.8
Eólica	18.4
Cogeneradores	24.5
TOTAL	13456.8

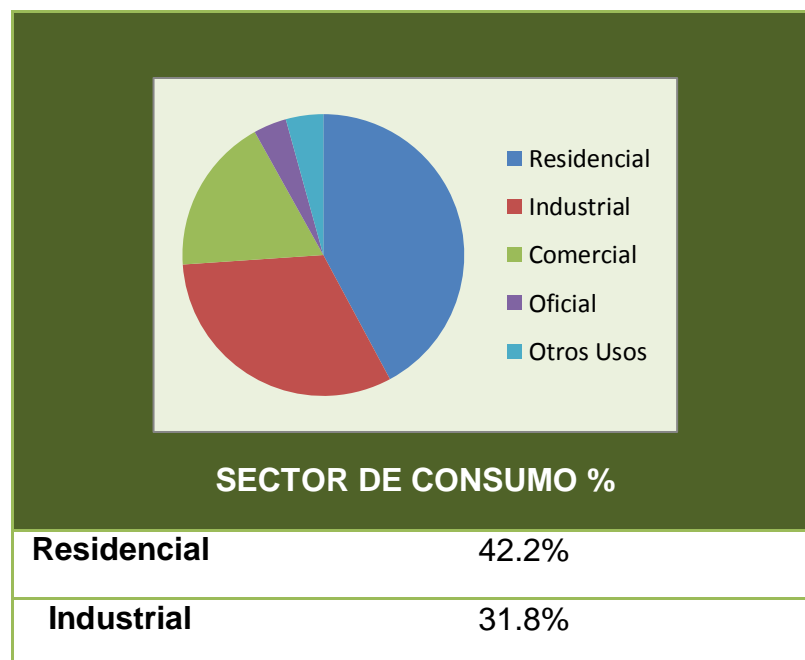
Tabla 13 Distribución fuentes de Electricidad en Colombia¹¹⁰.

¹¹⁰ Datos en base a los registros de la regulación del sector eléctrico (CIER) para el año 2012

Actualmente Colombia tiene un mercado energético liberalizado desde 1995, que se caracteriza por un marco que separa la generación, transmisión, distribución y comercialización en cuatro subsistemas principales. La estructura de dicho mercado se basa en la ley 142 y la 143 de 1994, en donde las principales instituciones presentes en dicho proceso son la UPME (Unidad de planeación minero-energética) y la CREG (Comisión de regulación de energía y gas), además tienen como finalidad la planeación y la regulación conjunta del sector eléctrico.

Colombia disfruta de una oferta de producción de electricidad, formada principalmente por centrales hidroeléctricas y térmicas (mediante gas y carbón). La capacidad de generación mediante el uso de represas representa el 63.4% del total de la capacidad efectiva del SIN, la térmica produce el 32.3% y las plantas menores y cogeneradores el 4.2% restante [1]. La siguiente señala los diferentes tipos de generación eléctrica en Colombia, el consumo interno que involucra los sectores comerciales, residenciales, oficiales e industriales, entre otros.

El porcentaje del consumo por sector presenta como sigue:



Comercial	18%
Oficial	3.8%
Otros Usos	4.3%
<u>TOTAL</u>	100%

Tabla 14: Consumo de energía eléctrica por sectores en Colombia.

- **Variación de la demanda en Colombia**

La demanda de energía eléctrica del 2012 en Colombia alcanzó los 59.370.0 GWh, registrando un crecimiento del 3,8% en relación al año 2011, convirtiéndose así, en el mayor crecimiento de demanda en los últimos cinco años. Por el tipo de día, la demanda energética de los domingos y festivos, fueron la que presentó un mayor crecimiento (4,3%), seguido por los sábados (3,9%) y los días ordinarios (3,6%). El crecimiento de 3,8% en la demanda 2011-2012 fue, entre otras razones, producto del incremento en un 6,8% de la demanda no regulada (industria y comercio) y de un 2,3% de la demanda regulada (consumo residencial y pequeños Negocios). [116]

El empleo de energía en Colombia, es analizado a través de datos del comportamiento de la demanda energética mensual del país, el siguiente gráfico presenta estos antecedentes:

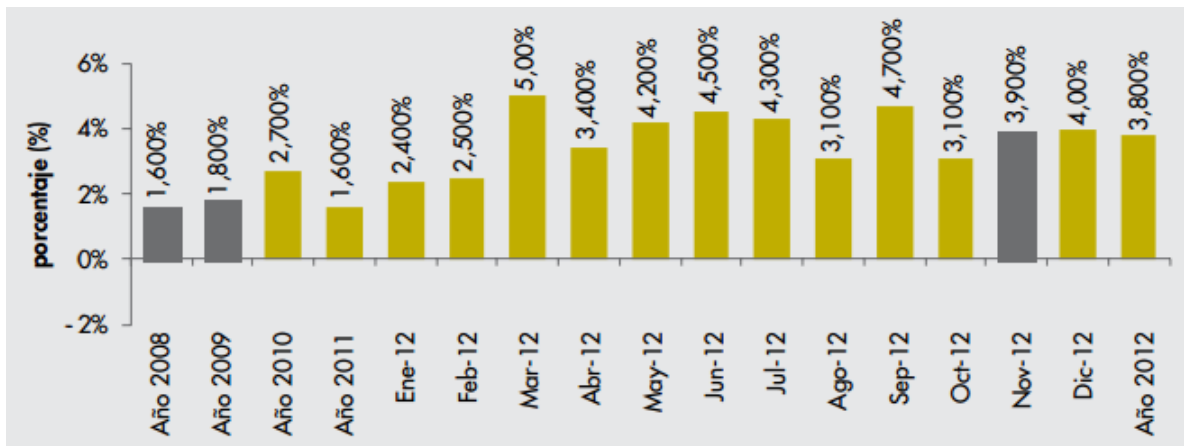


Figura 64 Variación porcentual anual 2008-2012 en la demanda de energía en Colombia¹¹¹

La demanda energética del país está sectorizada en seis diferentes estratos socio-económicos, donde cada estrato tiene una tarifa del consumo de energía diferente. A continuación se presenta el análisis y los datos obtenidos relacionados en gráficas comparativas, con base al consumo de los diferentes estratos de la ciudad, así como los cálculos realizados para el desarrollo de este proyecto.

Complementando la anterior información se muestran una serie de graficas (figura 65) que exhiben los diferentes consumos de energía por estrato, y la relación con el valor facturado.

¹¹¹ Fuente: XM Compañía de Expertos en Mercados S.A. ESP.

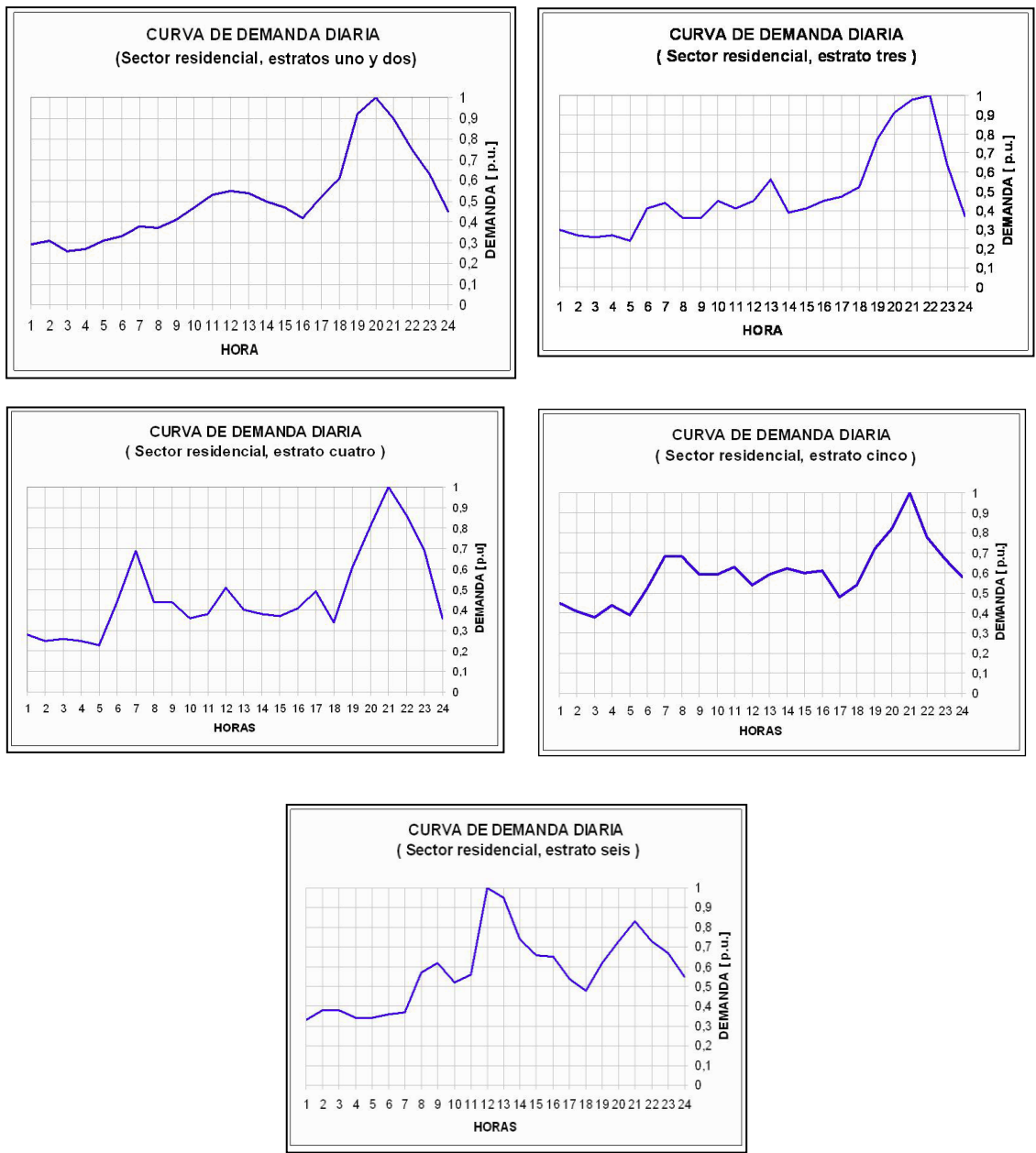


Figura 65 Curvas de demanda energética en el día para diferentes estratos¹¹²

Las curvas de demanda máxima diversificada, expresan el comportamiento de los usuarios conectados al sistema de distribución. Desconocer la utilidad de las

¹¹² Fuente: Autoras en base a datos de la UPME para el año 2013.

curvas adecuadas de demanda para un diseño que reflejan el comportamiento del sistema o la instalación, puede causar a la electrificadora y al diseñador de la instalación futuros problemas operativos, tales como sobrecargas en los alimentadores cuando su capacidad máxima es excedida, sobrecargas en los transformadores cuando su capacidad de potencia es excedida y sobredimensionamiento del mismo si el consumo es bastante inferior a la carga instalada, ocasionando un incremento en las pérdidas en los transformadores, lo que también se puede verse relegado en pérdidas económicas considerables, al no tener una optimización de los costos de los equipos. [114]

CONSUMO DE ENERGÍA(KWH)	VALOR DEL CONSUMO EN \$ (PESO COL)	ESTRATO
80	20.540	1
120	30.785	2
141	42.365	3
160	56.412	4
180	64.897	5
220	80.954	6

Tabla 15. Relación entre el estrato y el valor de consumo¹¹³

12. CÁLCULOS PARA UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA Y EÓLICA

Inicialmente para la estimación de los equipos y la capacidad de operación en una instalación eléctrica residencial, se implantan los elementos que deberán alimentar

¹¹³ Fuente: Facturas del servicio de energía consumido (Datos obtenidos de diferente recibos estudiados)

con suministro energético la vivienda, la estimación de cargas eléctricas a cubrir y el consumo que estas generan (Ver Tabla 16). Da cabida señalar que el consumo final total de potencia de energía, se estima cuando el sistema trabaja a plena carga o con todos los elementos conectados simultáneamente.

A continuación se mencionan las potencias en Watios¹¹⁴ de los elementos que serán conectados al sistema a calcular:

Consumos	Cantidad	Potencia (W)	Horas diarias	Consumo Diario
Alumbrado	11	10	2	220
TV	1	250	4	1000
Computador	2	180	6	2160
Nevera	1	180	4	720
Plancha	1	800	0,2857	228,56
Lavadora	1	750	0,5714	428,55
Pequeños artefactos	1	500	1	500
Consumos				5257,11

Tabla 16 . Potencia de los Electrodomésticos¹¹⁵

El consumo total se estima alrededor de los 5.257,11 W/día, que multiplicados por treinta (30) días al mes, da como resultado 157.713,3 KWh/mes o sea 157,713 KWh/mes. Este es un valor teórico que no tiene en cuenta pérdidas internas en el sistema, tales como: la suciedad de las placas, el desgaste de sus equipos, entre otros. Se debe entonces calcular el rendimiento global de la instalación fotovoltaica, para así poder darle un margen de tolerancia al diseño que se procederá a realizar.

¹¹⁴ Los Watios o potencia equivalen a un valor aproximado, de acuerdo a las especificaciones de los fabricantes, por lo tanto son valores promedio.

¹¹⁵ Valores obtenidos a partir de datos de placa en equipos domésticos.

La Norma Técnica Colombiana **NTC2050**, presenta y orienta al lector con los pasos y los valores estándar, que se deben realizar para el cálculo de la carga instalada a cualquier tipo de instalación eléctrica que se desee desarrollar, por tal motivo a continuación se resume puntualmente los pasos a seguir estipulados por la norma en esta etapa inicial de análisis de cálculos.

- **NORMA NTC 2050**

En Colombia la norma básica para el diseño y la construcción de las instalaciones Eléctricas es el CÓDIGO ELÉCTRICO. Esta norma está basada en el "*National Electrical Code - NEC* " o Norma NFPA 70 de la "*National Fire Protection Association*" de los Estados Unidos de América.[6]

La normatividad Colombiana NTC-2050, indica textualmente varios aspectos de seguridad y estatutos para las instalaciones eléctricas en construcciones, basadas en parámetros aplicados y validados mundialmente, los cuales garantizan al usuario una utilización segura y confiable de las instalaciones eléctricas.

Al estimar costos en la implementación de dispositivos de acumulación de energía eléctrica, en primera medida se debe presentar una estimación aproximada de los valores o cálculos de la instalación residencial incluyen la elaboración de:

- **Cuadros de circuitos ramales, cargas conectadas, áreas servidas y equilibrio de fases:** Estimación real y puntual de la carga instalada en la vivienda, así como de la distribución que de esta se realizara; que del área del lugar y de su estrato.
- **Cálculo de la demanda:** Cálculo realizado a partir de la carga instalada y del nivel socio-económico del domicilio.

- **Cálculo de los conductores de la acometida:** Establecido un calibre mínimo normalizado por la NTC 2050 y se halla de acuerdo a la regulación y al nivel de corriente estimado para cada circuito ramal.
- **Selección del equipo de acometida:** Conductor que va desde el punto de nodo de amarre que brindara la energía a la vivienda hasta el tablero de distribución de la misma.

Para el cálculo de la demanda energética, la norma NTC 2050 plantea varias alternativas para una instalación residencial. La primera de ellas está basada principalmente por los Artículos 220-11, 220-15, 220-16, 220-18 y 220-19, que aplicados a este caso serían:

- Área de la vivienda medida según el Artículo 220-3 (b).
- Carga de iluminación según Tabla 220-3 (b).

En conjunto se pueden obtener los valores de demanda máxima para un número dado de electrodomésticos o circuitos de iluminación a partir de los factores de demanda establecidos en las diferentes tablas de la norma. Estos valores se obtienen a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Factor de Demanda} = \text{Demanda Máxima} / \text{Carga Instalada}$$

12.1. CÁLCULO DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO

Para el cálculo del rendimiento energético, se tiene en cuenta los diferentes elementos necesarios para la transformación de algún tipo de energía renovable

en energía eléctrica. Se inicia con el cálculo del rendimiento energético de una instalación fotovoltaica utilizando la siguiente ecuación:

$$\eta = (1 - K_b - K_c - K_v) * (1 - \frac{K_a N}{P_d}) \quad (1)$$

Dónde:

- η : Rendimiento energético
- K_b : pérdida por rendimiento de las baterías. Toma el valor, según sea:

0.1 >> valor aplicado para montajes que generan descargas profundas o para sistemas con baterías viejas.

0.05 >> valor para montajes que no demanden descargas profundas.

- K_c : pérdidas presentadas por el inversor, normalmente varía entre el 75% y el 95%, en caso que no se especifique. Toma valores de:

0.1 >> valor para trabajo en circunstancias no óptimas.

0.05 >> valor para inversores senoidales puros.

- K_v : hace referencia a las pérdidas presentadas por factores varios.

0.1 >> para aplicaciones en general, cuando no se conocen las potencias.

0.05 >> para aplicaciones que tienen en cuenta los rendimientos de cada carga instalada.

0.15 >> aplica cuando se conocen las potencias teóricas.

- K_a : hace referencia a la auto descarga diaria de las baterías y aumento de la temperatura.

0.002 >> este valor aplica para las baterías NiCd que presentan baja descarga o las que no requieren mantenimiento.

0.005 >> aplicado para las baterías Pb-ácido, estacionarias, las cuales son de uso normal en las instalaciones con aplicaciones solares.

- **N**: cantidad de días para los cuales la instalación es autónoma, por la escases de sol. Esta variable se toma entre 2 y 10 días, teniendo en cuenta que el sistema consumirá mayor cantidad de energía por la ausencia de este.
- **P_d** : hace referencia a la profundidad de descarga de la batería por día, teniendo en cuenta que tal descarga no debe exceder un 80%.

Desarrollando la ecuación (1), la expresión para calcular el rendimiento energético para cierto sistema de instalación, está dado por:

$$\eta = (1 - K_b - K_c - K_v) * \left(1 - \frac{K_a N}{P_d}\right)$$

De donde:

$$\eta = (1 - 0.05 - 0.05 - 0.1) * \left(1 - \frac{0.005 * 2}{0.8}\right)$$

$$\eta = 79 \%$$

En este cálculo para hallar el rendimiento energético de un sistema fotovoltaico se tiene en cuenta que $K_b = 0.05$, $K_c = 0.05$, $K_v = 0.1$, $K_a = 0.005$, $N = 2$ y $P_d = 80\%$, valores aplicados para calcular la potencia que será absorbida por los elementos conectados como cargas, cuando existe la presencia de convertidores de corriente continua a corriente alterna (Inversores).

Para realizar los cálculos de manera acertada, se continúa con el cálculo del consumo energético real determinado por la ecuación (2), cuyo resultado es necesario para cálculos posteriores, donde:

$$E = \frac{E_T}{R \text{ ó } \eta} \quad (2)$$

De la ecuación (2):

- **E** = es el consumo energético real (W-h)
- **E_T** = es el consumo energético teórico.
- **R o η** = es el rendimiento global de la instalación fotovoltaica.

Ahora el consumo energético real parte de tomar el valor de la potencia a utilizar de todos los electrodomésticos (Ver tabla 16) y dividirla por el valor hallado del factor de rendimiento, sería entonces:

$$E = \frac{5.257,11}{0.79}$$

$$E = 6654,569 \text{ Wh}$$

$$E \approx 6,654 \text{ KWh}$$

Definidas las ecuaciones (1) y (2), se procede a calcular la capacidad de la batería necesitada; en este aparte se presenta relación directa con los días antes mencionados de autonomía. Adicionalmente, se debe tener muy presente que la batería no deberá ser descargada a menos del 80% de su capacidad y además, no deberá superar el 15% de descarga diaria. Para este caso se escoge 75% como factor de descarga extrema, para prevenir pérdida o daño de la batería en caso de presentarse alguna situación adversa.

12.2. CÁLCULO DE CAPACIDAD EN UNA BATERÍA

$$C = \frac{EN}{VP_d} \quad (3)$$

Donde:

- **E:** Consumo real del sistema.
- **N:** Es la cantidad de días que estará el sistema sin energía solar, también conocido como tiempo de autonomía, para este caso se escogen 2 días, significando y suponiendo, que no habrá incidencia solar durante este tiempo.
- **V:** Voltaje DC de la batería. Para este cálculo se tiene en cuenta el voltaje (V) de la batería a usar igual a 12 Vdc. (con la finalidad de reducir costos en equipos).
- **Pd:** Relaciona el factor de rendimiento de carga y descarga de las baterías.

$$C_{\text{bat}} = \frac{6.654,569 * 2}{12 * 0.75}$$

$$C = 1478,79 \text{ Ah}$$

12.3. CANTIDAD DE PANELES SOLARES

Ahora se procede a calcular la cantidad de paneles solares necesarios, para este cálculo se debe tener en cuenta los datos de irradiación solar y la latitud donde está ubicada la vivienda a nivel nacional para el territorio Colombiano para los diferentes meses del año, teniendo en cuenta lo siguiente:

La región de mayor radiación solar en el país es la península de La Guajira y sus valores máximos se presentan en el mes de julio, con promedios superiores a 650 cal/cm²/día. Este valor desciende gradualmente hasta Diciembre, mes en que se presenta el valor mínimo de 530 cal/cm²/día.

Con el mismo comportamiento durante el año, le sigue la parte media del valle geográfico del río Cauca, el valle del río Magdalena hasta la costa Atlántica y la zona de Cúcuta. Los valores extremos se presentan en julio y diciembre con valores de 550 y 450 cal/cm² /día, respectivamente. En la Amazonía, por el contrario, el valor máximo se presenta en octubre, con 330 cal/cm²/día.

En la región Andina sobresale el altiplano Cundiboyacense, con valores máximos en febrero en los niveles de 480 cal/cm²/día, que luego descienden gradualmente hasta junio, mes de mínimos con 420 cal/cm²/día; nuevamente se incrementan poco a poco hasta septiembre, para descender hasta noviembre. El resto de la región Andina presenta el mismo comportamiento durante el año con menores valores, con extremos de 400 y 320 cal/cm²/día para febrero y junio.

Las zonas con niveles más bajos de radiación son la costa del Pacífico y el piedemonte Llanero en el área circundante de Villavicencio, con promedios menores de 300 cal/cm² /día; durante el año presentan poca variabilidad, siendo los meses de marzo y abril los de mayor radiación, mientras que noviembre y diciembre se caracterizan por ser los meses de menor radiación, con valores extremos de 320 y 280 cal/cm² /día¹¹⁶.

Además de lo anterior, según los datos de radiación solar en el país dados por la UPME (Unidad de planeación Minero Energetica) en el atlas de radiación del país, Colombia posee un potencial energético solar en todo el territorio, con un promedio diario multianual cercano a 4,5 kWh/m² (destacándose la península de La Guajira, con un valor promedio de 6,0 kWh/m² y la Orinoquia, con un valor un poco menor), propicio para un adecuado aprovechamiento.

¹¹⁶ Información obtenida de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

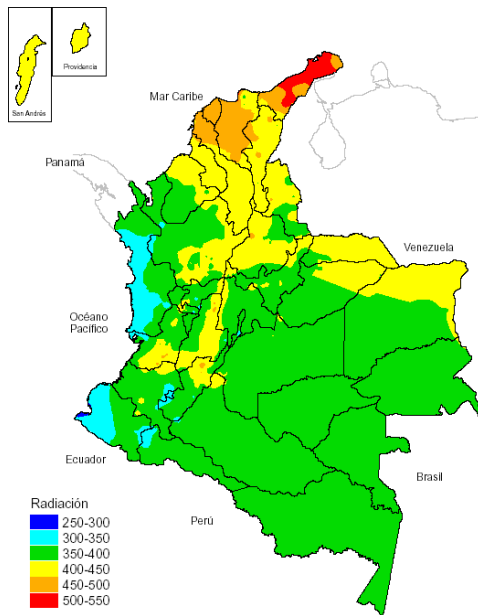


Figura 66 Mapa radiación solar para Colombia¹¹⁷

Con base a lo anterior, tomando en cuenta un valor promedio de radiación solar de 4.5KWh/m^2 , se aplica la siguiente fórmula:

$$N_p = \frac{E}{W_p * HPS * \eta}$$

η : es el rendimiento del panel solar.

W_p : es la potencia pico del panel.

HPS: son las horas de pico solar.

$$N_p = \frac{6654,569}{175W_p * 4.5 \frac{\text{KWh}}{\text{m}^2} * 90\%}$$

¹¹⁷

Fuente: [http://www.todacolombia.com/geografia/mapas/maparadiacionsolarcolombia.gif\(6/03/2014\)](http://www.todacolombia.com/geografia/mapas/maparadiacionsolarcolombia.gif(6/03/2014))

Las unidades de radiación son: $\text{cal/cm}^2/\text{día}$.

Disponible

$$N_p = \frac{6654,569}{708,75}$$

$$N_p = 9,38 \approx 10$$

Cada uno de los paneles a utilizar mide 1.610mm de largo por 810mm de ancho, según datos técnicos del fabricante. Conociendo estas medidas, se puede calcular cual es el espacio requerido para la ubicación de los paneles solares a usar, teniendo claro que la cantidad total de estos es 10, por apartamento, entonces se multiplican las medidas así:

$$1610mm * 810mm = 1'304.10mm \equiv 13041m^2 * 10 = 130410 m^2$$

Esto implica que se hace necesario disponer de 130 m² de área para la instalación solamente de los paneles solares, ahora multiplicando dicha área por la cantidad de apartamentos a conectar, se calcula el área total necesaria:

130 m² * (una vivienda) = 130 m² de área requerida para la instalación de los paneles solares para un apartamento o vivienda.

Como ejemplo, se calcula el número de paneles solares para la región de la Guajira, teniendo en cuenta una latitud de 71° para esta región y el grado de inclinación para la posición de los Paneles y Colectores Solares para un mejor aprovechamiento de la radiación solar, la cual está relacionada directamente con la posición del sol. Debido al cambio de posición del sol durante el año, la inclinación ideal de los Paneles y Colectores Solares colectores varía en función de la latitud en la cual se deseen instalar. Colombia es un país muy privilegiado, por lo que la inclinación para los sistemas solares es de 10° pero la inclinación puede variar en función de la aplicación, criterios de uso e integración arquitectónica, en ± 5 . Entonces se tiene que:

CÁLCULO DEL NUMERO DE PANELES	
MES	RAD.h
Enero	5430
Febrero	5400
Marzo	5420
Abril	5430
Mayo	5480
Junio	5640
Julio	6000
Agosto	5600
Septiembre	5560
Octubre	5450
Noviembre	5400
Diciembre	5300
latitud (°)	71
Reflectancia del suelo	0,4
Inclinación de paneles recomendada:	12°

Para esta inclinación del panel solar se consigue la máxima radiación. Al no tener ninguna restricción con respecto a la colocación de los paneles, este es el valor que se adopta para la región de la Guajira, Colombia. Entonces, continuando se tiene lo siguiente:

Inclinación. Paneles	12
----------------------	----

Horas de sol pico HSP=	1,512
------------------------	-------

Se pondrá un panel de referencia ATERSA A75 DE 75 Wp, dimensiones: 1200x526x30 y peso 8,2 Kg.

Potencia pico paneles (W)	75
---------------------------	----

Número de paneles en serie	0
----------------------------	---

Número de paneles en paralelo	10
-------------------------------	----

DISTANCIA ENTRE PANELES

Longitud del panel elegido (mm)	1200
---------------------------------	------

Distancia mínima para utilización sólo en verano (m)	2,56
--	------

Distancia mínima para utilización todo el año o invierno (m)	1,20
--	------

PRESUPUESTO ESTIMADO

Presupuesto de la instalación sin inversor (\$)	945.000
---	---------

Presupuesto de la instalación con inversor (\$)	1.350.000
---	-----------

➤ RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA

- El mapa de brillo solar para Colombia presenta un promedio anual de 2600 horas (Estación Nasaret, Guajira), dando aproximadamente un promedio diario anual de 7,1 horas.
- Los valores de radiación solar oscilan entre 5 y 6 kWh/m² día en el Norte del País y entre 3.5 y 5 kWh/m² en el resto del país.
- Más de 2MWp en Sistemas Fotovoltáicos instalados.
- En colectores solares la energía eléctrica ahorrada equivale a 705,000 kWh/mes.

12.4. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES EN UNA BATERÍA¹¹⁸

¹¹⁸ Información disponible en: https://autosolar.es/baterias/bateria-24v/bateria-rolls-24v-530ah-s530_precio

- **Batería TIPO: ROLLS 24V 530Ah S530**



Figura 67. Modelo Batería para este tipo de instalaciones

Ficha Técnica

- Voltaje 24V
- Amperios / Hora-: Entre 300Ah – 600Ah
- Capacidad medida de la Batería: C100
- Amperaje de la Batería: 530Ah
- Medidas de la Batería: 318 x 181 x 425 mm
- Peso de la Batería: 56 Kg cada unidad de 6V
- Terminales incluidos: Sí
- Garantía de la Batería: 2 años + 5 prorrogable (en el caso de que la batería sufra una caída en el año 5, se devolverá el dinero equivalente a los 3 años de vida) devolución parcial del importe.
- Información Adiciona: ICon los índices más altos en reciclaje de baterías, Rolls se centra en reducir los daños causados al medio ambiente, así como los de sus clientes. La batería Rolls 24V 530Ah S530 es uno de esos productos.
- Aplicaciones de Uso de la Batería: Energía Solar, aplicaciones solares fotovoltaicas, ferrocarril, marina.
- Porcentaje de Autodescarga: 2% mensual
- Posición de Trabajo de la Batería Vertical

- Información del Fabricante Rolls es uno de los líderes en Norteamérica en la fabricación de baterías de plomo ácido. Con base en Springhill (Nueva Escocia) proveen de baterías a diversos campos. Además, sus baterías son conocidas por su carácter reciclable.

12.5. CARACTERÍSTICAS DEL PANEL SOLAR¹¹⁹



Figura 68. Panel Solar

Características Técnicas del Producto

- Corriente en Cortocircuito: I_{sc8}
- Tensión Maxima potencia V_{mp} : 36
- Potencia Nominal: 300W
- Eficiencia del Módulo: 15
- Tipo de Célula del Panel: Policristalino
- Tensión Circuito Abierto V_{oc} : 44
- Potencia Panel Solar: Entre 250W - 300W
- Voltaje del Panel Solar: 24V
- Rigidez del Panel Solar: Rígido
- Color del Panel Solar: Blanco y Gris

¹¹⁹ Fuente: https://autosolar.es/panel-solar/panel-solar-300w_precio (27 de Febrero de 2014)

- Dimensiones Panel Solar: 1965 x 990 x 40 mm
- Peso del Panel Solar: 24 Kg
- Marco del Panel Solar: Aleación de Aluminio pintado en poliéster, preparado para ser anclado con las Grapas HOOK

12.6. CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR



Figura 69 Inversor¹²⁰

Ficha Técnica

- Potencia en wátios (w) entre 2000w – 4000w
- Voltaje: 24v
- Inversor cargador atersa quadro
- Potencia nominal del inversor cargador atersa quadro: 3000va - 2400w
- Tensión de salida del inversor cargador atersa quadro: 230vac
- Rango de frecuencia del inversor cargador atersa quadro 50hz / 60hz detección automática
- Ajuste de tensión de ca del inversor cargador: 230 vac \pm 15%
- Subidas máximas de potencia del inversor cargador: 3600 w
- Eficiencia (máxima) del inversor cargador: 93%

¹²⁰ Fuente: Disponible en: < https://autosolar.es/inversores/inversor-cargador-3000va-24v-atersa-quadro_precio >

- Tiempo de transferencia del inversor cargador 10 ms (para ordenadores) y 20 ms (para electrodomésticos)
- Forma de onda del inversor cargador onda senoidal pura
- Tensión de batería del inversor cargador atersa: 24 vdc
- Tensión de carga flotante del inversor cargador: 27 vdc
- Tensión de batería baja (alarma) del inversor cargador: 21 vdc
- Tensión de apagado del inversor cargador atersa: 20 vdc
- Protección contra sobrecargas del inversor cargador: 30 vdc
- Corriente de carga máxima del inversor cargador atersa: 20 a o 30 a
- Corriente de carga del inversor cargador: 50 a
- Tensión máxima de circuito abierto del conjunto fotovoltaico: 125 vdc
- Consumo de energía en estado de inactividad: 2 w
- Dimensiones, profundidad x ancho x altura (mm) 104 x 280 x 355
- Peso neto (kg) 4
- Humedad del inversor cargador de 5% a 95% humedad relativa (no condensada)
- Temperatura de funcionamiento del inversor cargador de 0 °c a 55 °c
- Temperatura de almacenamiento del inversor cargador de -15 °c a 60 °c

Cálculo para el inversor

Para este cálculo se tiene presente la potencia máxima demandada por la instalación directamente relacionada con los paneles solares, ya que cada panel estará en la capacidad de suministrar una potencia pico de 175 Wp¹²¹, y al multiplicar este valor por el número de paneles fotovoltaicos que la instalación requiere (número de paneles= 10), da como resultado 2.100 Wp instalados. Por lo tanto el inversor debe estar cercano a este valor ya que la potencia pico producida por los paneles nunca será superada por la total de los paneles solares instalados.

¹²¹ Wp: Unidad de potencia pico

$$P = CN_p * W_p = 10 * 175W_p = 1750 [W]$$

W_p = es la potencia de cada panel solar.

P= Potencia máxima demandada

12.7. CARACTERÍSTICAS DEL REGULADOR¹²²



Figura 70. Regulador¹²³

Características Técnicas del Producto

- Configuraciones de voltaje del Controlador de Carga Solar 60A 12 y 24 voltios
- Tensión máxima del conjunto en circuito abierto del Controlador de Carga Solar 60A: 55 VCC
- Corriente de carga del Controlador de Carga Solar 60A: 60 A
- Corriente Pico máximo: 85 A
- Peso del Controlador de Carga Solar 60A: 1,6 kilos
- Dimensiones del Controlador de Carga Solar 60A: 25,4 x 12,7 x 6,35 cm

¹²² Disponible en: https://autosolar.es/regulador-de-carga/controlador-de-carga-solar-60a_precio

¹²³ Fuente: [En línea] Disponible en: < https://autosolar.es/regulador-de-carga/controlador-de-carga-solar-60a_precio

- Garantía del Controlador de Carga Solar 60A: dos años
- Modo de control de carga del Controlador de Carga Solar 60A: reconexión de baja tensión, ajustable, ajustable desde el regulador de carga
- Voltaje 12V 24V y 48V
- Amperios / Hora Entre 50A y 60A

Cálculo para el regulador

Para este se debe tener en cuenta la corriente de cortocircuito (I_{sc}) de cada panel solar a utilizar, para el caso del panel escogido que es de la marca *Solarworld* SW 175W de máxima potencia; según las características del fabricante, la corriente de cortocircuito (I_{sc}) es de 5.4A, multiplicado por la cantidad de paneles a utilizar; se tiene entonces que la corriente máx. del regulador es:

$$I_{m\acute{a}x} = I_{SC} * N_P = 5,4 * 10 = 54 A$$

$I_{m\acute{a}x}$ = corriente máxima que deberá soportar el regulador.

N_p = número de paneles usados.

12.8. CARACTERÍSTICAS DEL AEROGENERADOR



Figura 71 Aerogenerador Bomay 1500¹²⁴.

Características Técnicas del Producto

- Potencia en Watios (W:)Entre 300W – 600W
- Voltaje: 12V
- Aerogenerador
- Velocidad de trabajo de : 3m/s a 49,2m/s
- Diámetro del rotor: 1,2m (47")
- Peso del Aerogenerador: 5,5Kg (12,3 lbs)
- Montaje del Aerogenerador tubo de 1,5" Schedule 40 (1,9" OD, 48mm)
- Material del Eje acero inoxidable
- Velocidad de arranque: 3,13 m/s (7mph)
- Palas compuestas de fibra de carbono
- Producción de energía: 38kWh/mes a 5,4m/s (12mph)
- Velocidad máxima del viento: 49,2m/s (110mph)
- Garantía del Aerogenerador: 3 años
- Banco de batería mínimo: 100Ah a 12V, 50Ah a 24V

¹²⁴ Fuente: [En línea] Disponible en: < https://autosolar.es/aerogeneradores/aerogeneradores-24v/aerogenerador-24v-400w-nemo_precio >

- Regulador del Aerogenerador: Regulador externo inteligente con el controlador MPPT

Elaborados los cálculos necesarios para el proyecto planteado, se relacionan las características de los elementos seleccionados y sus respectivos precios.

CONCEPTO	CANTIDAD
BATERIA ROLL de 530Ah en C100	4
MÓDULO POLIOCRISTALINO SOLARWORLD 300W, 24V	6
REGULADOR de carga integrado de 50A, con pantalla LCD para ver el estado de la instalación a tiempo real	1
INVERSOR de 3000VA de onda senoidal pura, con cargador de baterías de 20A	1
AEROGENERADOR de 400W 24V con su regulador de carga especial incluida	1
CABLEADO de diferentes secciones necesario para su instalación.	20 m
TOTAL EN EUROS:	5268,7 €

TOTAL EN PESOS:	\$13.442.817,66
------------------------	------------------------

Tabla 17. Características, cantidad y costos de los elementos a utilizar¹²⁵.

RESUMEN DE LOS EQUIPOS CALCULADOS, COMPONENTES DEL KIT SOLAR DE 3000W 24V¹²⁶

Este kit solar 3000W 24V de aislada para viviendas puede ser ampliado con cualquiera de nuestros productos de ampliación. Este kit solar está preparado para poder suministrar un consumo de 6300W al día, sólo con la instalación solar. La generación eólica no está incluida ya que dependerá de las condiciones climatológicas. En el anexo 4 del presente proyecto se presentan las especificaciones de cada equipo seleccionado para la instalación eléctrica calculada.

NOTA: El kit solar se denomina 3000W porque el inversor es capaz de generar 3000W de corriente para consumo, es decir, si conectamos cualquier aparato de 3500W no funcionaría, como máximo deberemos conectar 3000W al mismo tiempo aunque este kit, genera más de 3000W de energía al cabo de un día, alrededor de 6300W en invierno y 12600W en verano aproximadamente, cada día. Los 3000W sólo es una limitación de consumo continuado producida por el inversor.

- 20 - Bombillas de 20W durante 5 horas al día
- 1 - Ordenador PC durante 4 horas al día

¹²⁵Fuente: proveedores de KIT para Sistemas Híbridos: https://autosolar.es/kits-solares/kit-solar-aislada/kits-solares-eolicos-hibridos/kit-solar-hibrido-eolico-3000w-24v_precio

¹²⁶ Disponible en: https://autosolar.es/kits-solares/kit-solar-aislada/kits-solares-eolicos-hibridos/kit-solar-hibrido-eolico-3000w-24v_precio

- 1 - Vitrocerámica de Inducción 2 horas al día
- 1 - Televisor de 50W durante 4 horas al día
- 1 - Nevera con congelador A+++
- 1 - Lavadora 4 veces por semana A+++
- 2 - Días de Autonomía en caso de no haber sol.



Figura 72. Kit Solar Híbrido Eólico 3000W 24V.¹²⁷

12.9. TRANSFERENCIA MANUAL MEDIANTE INTERRUPTORES

Es un proceso manual que permite alimentar una carga mediante la operación mecánica manual, con la conmutación de las dos fuentes de energía. Normalmente el mecanismo de transferencia manual está compuesto por un par de interruptores enclavados mecánicamente, que solo permite la energización de un interruptor a la vez, para así evitar conexiones erradas y peligrosas que puedan conllevar a accidentes peligrosos entre dos fuentes diferentes.

¹²⁷ https://autosolar.es/kits-solares/kit-solar-aislada/kits-solares-eolicos-hibridos/kit-solar-hibrido-eolico-3000w-24v_precio

La gran diferencia entre la conmutación de transferencia automática y la transferencia manual, es que esta última no tiene elementos electrónicos que permitan el sensado de señales y el control de emergencia. Por medio de este mecanismo manual de transferencia, se pretende manipular el circuito eléctrico implementado en cada domicilio cada vez que sea necesaria la utilización del sistema de generación híbrida.

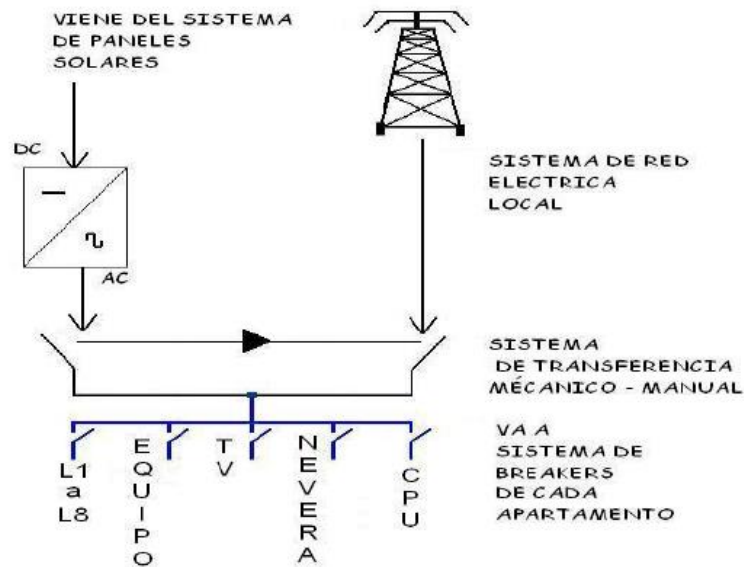


Figura 73. Sistema de transferencia y red local.

El plano de la figura 73, presenta la interconexión de la energía obtenida por medio del sistema de aerogeneradores, paneles solares y la alimentación de energía de la red eléctrica convencional. Este sistema de transferencia manual, facilita seleccionar que tipo de sistema de energía eléctrica se desea operar en un momento dado, uno a la vez para la alimentación de los equipos instalados en cada unidad familiar.

12.10. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la recopilación y depuración de los datos obtenidos, es necesario verificar que los cálculos y los datos obtenidos se hayan realizado teniendo en cuenta los parámetros escogidos para el estudio y que se realicen de acuerdo a la norma NTC 2050, ESSA epm y RETIE. Las estimaciones se deben realizar con los parámetros seleccionados en una muestra característica residencial urbana dividida en estratos socioeconómicos.

Para realizar esto se deben emplear los registros estadísticos de los picos de demanda presentados a lo largo de la semana y en horas específicas. Es recomendable entender y conocer los momentos donde se presentan estos picos de demanda, lo cual involucra a qué horas del día se realizan las mediciones y un día en particular de la semana se toma como característico. Se deben considerar los siguientes aspectos:

- El intervalo realizado debe ser siempre de 60 minutos.
- Los registros deben separarse según el día.
- Revisar que los transformadores seleccionados del sistema tengan disponibilidad de conectar carga residencial.
- Número de clientes conectados: con el fin de coordinar cuantos clientes nuevos se han conectado al circuito y cuantos clientes antiguos se han retirado o se encuentran suspendidos.
- Ubicación de los clientes: con el fin de verificar nuevamente que el estudio se realice solo a clientes residenciales.
- Facturación de un mes: tener un promedio de energía consumida por los clientes y asegurar que estén bien estratificados.

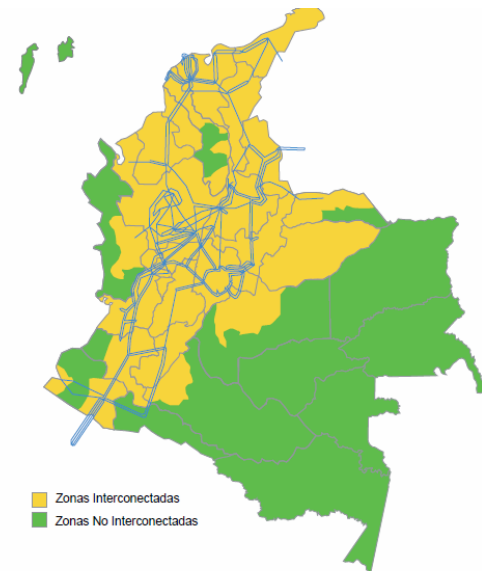
El proyecto está enfocado a su vez para ser aplicado en zonas aisladas (no interconectadas del sistema eléctrico nacional), es en estas zonas del país en donde las tecnologías renovables figuran como una solución viable a la ausencia o

frecuente corte de electricidad, no obstante son el resultado de un estudio técnico, como económico, social y ambiental detallado. Cumpliendo con el alcance de la presente investigación el análisis se enfocara en las zonas SIN¹²⁸ (del sector residencial), y su aplicación también puede ser realizada a las viviendas ubicadas lejos del SIN.

La figura 73 exhibe una amplia área del territorio Colombiano, y se observan las zonas no interconectadas a la red principal de energía (o anillo de 550KV), en estas zonas la aplicación de sistemas alternativos de generación y de equipos de acumulación de energía a través de batería o de compresores CAES, como una alternativa viable y factible ya que se disponen de los recursos ambientales, geográficos y logísticos.

Proyectos de inversión en Infraestructura energética	Valor total (Millones de \$)
Interconexiones Construidas (cabeceras municipales)	98.408
Interconexiones Menores (localidades y corregimientos menores)	18.268
Interconexiones con recursos aprobados	271.541
Subtotal Interconexiones	388.217
Otras Inversiones PCH (Mitú)	118.000
Otros Térmicas y Redes de MT y BT FAZNI	139.976
Otras Térmicas y Redes MT y BT FNR	21.198
Subtotal Otros	279.174
Preinversión	47.124
AOM y Operación Comercial	107.517
Subsidios por menores tarifas (girados) a Diciembre del 2009	265.779
Áreas de Servicio Exclusivo Nación	55.000
Áreas de Servicio Exclusivo Privado	140.000
Subtotal Áreas de Servicio Exclusivo (San Andrés, Amazonas)	195.000
	1.282.811
Total (Aproximadamente)	1,3 Billones
	US\$ 685*

TRM 1.872,46 pesos por dólar, www.banrep.gov.co. Enero de 2011.
Fuente: Subdirección de Planificación Energética y Subdirección de Contratos y Seguimiento, IPSE.



Fuente: IPSE, mayo de 2011.

Figura 744 Colombia y sus zonas interconectada y no interconectadas. Cuadro resumen de inversiones entre el 2004-2010

¹²⁸ SIN: Sistema Interconectado Nacional

En estas zonas por lo general no es viable, ni ambiental ni financieramente, la expansión del SIN para llevar el servicio de electricidad, dada la dispersión de su población, presencia de población vulnerable y con escasa capacidad de pago, así como la presencia de zonas protegidas, que tienen importancia ambiental. Es por esto que la estrategia de energización en estas zonas ha ampliado el enfoque inicial que de solo era llevar energía eléctrica para desarrollar esquemas integrales, que ahora incluyan una actividad productiva, asociada al uso de la energía con el fin de generar un valor agregado a las comunidades y garantizar la sostenibilidad de los esquemas desarrollados. **[125]**

Para este caso el costo financiero disminuye y de rápida ejecución, frente a su contraparte, la cual será llevar una línea de transmisión que conecte estas zonas con una de mayor tensión y a partir de esta distribuir el suministro de energía eléctrica. Esto conlleva la ejecución de un proyecto de mayor escala, aumento de personal y de materiales, transporte de equipos, ejecución de obra, pruebas a la red, entre otros factores que retardan un proyecto de gran escala como este. Al implementar paneles solares y sistemas eólicos, los costos de transporte y de mano de obra serían menores permitiendo y agilizando la entrega final del suministro de electricidad en la zona requerida.

Para la elaboración de la proyección de demanda de energía eléctrica y de potencia máxima a corto plazo, se desarrollan modelos de series de tiempo con resolución mensual con los que se calculan los próximos doce meses la evolución de estas variables. La serie de datos base está constituida por la demanda histórica de energía eléctrica nacional (Enero 1999-Febrero 2013) suministrada por el Centro Nacional de Despacho –CND. **[120]**

En lo referente al análisis de costos se tiene lo siguiente:

- El valor en el mercado de los componentes del sistema en la tabla 7, muestra precios.

La implementación total del sistema para una sola vivienda, asciende aproximadamente a \$19'463.344 para diez años de vida útil, que puede ser mayor de acuerdo a unas condiciones adecuadas de mantenimiento. Este valor comparado con \$16'600.00 correspondientes al acumulado por pago de consumo de energía mensual a las entidades prestadoras de servicios de energía durante el mismo periodo de tiempo, presenta un excedente negativo de \$2.863.344, que haría en la actualidad viable económicamente la aplicación del proyecto, ya que después de 7 años y medio de haber ejecutado la instalación, es allí cuando el usuario observa no solo los beneficios ambientales, sino además los económicos que el sistema híbrido acarrea.

A partir del análisis de los datos y su respectivo calculo anteriormente realizado se, concluye que la implementación de sistemas alternativos de generación, que incluyen equipos de acumulación de energía es un proyecto rentable, a pesar de que su remuneración no es visible rápidamente, se evidencia que a mediano plazo, es decir entre los 13 a 15 años después de la ejecución del proyecto, se comienza a recuperar la inversión realizada..

Con la aprobación de la ley 1715/2014 en Colombia, la aplicación de este tipo de sistemas de generación y de acumulación de energía, hace viable y factible su instalación en el ámbito de una micro-red inteligente en el sector residencial, debido a los parámetro jurídicos y políticos que esta ley abarca, relacionado al uso de energías renovables, que para el caso de la presente investigación son la energía eólica y fotovoltaica. Es por esto, que hoy en día vender energía a la red nacional es una opción de negocio rentable, se evidenciaría la disminución en la facturación y el aumento considerable en la rentabilidad del proyecto.

13. CONCLUSIONES

- Con el uso de micro-redes inteligentes integradas a la red eléctrica convencional se ofrece soluciones para que la red sea más eficiente, flexible, segura como una alternativa viable para afrontar la creciente demanda de electricidad en sectores urbanos y rurales, haciendo uso de las energías renovables solar y eólica en la generación de electricidad y tecnologías viables para la acumulación de la misma, todo un reto para las compañías eléctricas nacionales, teniendo en cuenta la regulación gubernamental, costos y demás limitaciones.
- Teniendo en cuenta las propiedades y características de los diferentes tipos de baterías disponibles para los sistemas de acumulación de energía eléctrica, se concluye que para la implementación de estos sistemas de almacenamiento en el ámbito de una micro-red inteligente, se tiene en cuenta aspectos como la cantidad de demanda y estrato socio-económico del usuario residencial
- Del análisis realizado en la investigación, para un consumo promedio de 4500 Wh en una vivienda estrato cuatro, que posea los electrodomésticos básicos (Televisor, computador, Nevera, Plancha, lavadora y otros pequeños artefactos) se requiere una batería de con una capacidad mayor o igual a 4000Ah en un tiempo de descarga de 100 horas, un rendimiento energético del 70 % como factor de descarga para evitar daños en las baterías y un factor de rendimiento de 7.2 KWh de energía producida en el hogar.
- El sistema de almacenamiento de energía por acumulación de aire comprimido CAES, es un novedoso y efectivo mecanismo que favorece enormemente a los

sistemas de generación, a través de la aplicación de energías renovables, ya que conserva y mantiene la energía almacenada en óptimas condiciones de eficiencia y rendimiento para su posterior utilización. De los sistemas de acumulación investigados, la tecnología CAES tiene ventajas en cuanto a los costos de operación, el ciclo de vida, la potencia nominal, el tiempo de descarga, la densidad de energía y un espacio reducido de instalación (Ver tabla 7).

- Al implementar un sistema de acumulación en el sector residencial a pequeña escala (individualmente) o a gran escala (cierto número de viviendas en conjunto-CAES), se observó que la evaluación que de ello se obtiene es favorable, enfocada en la parte técnica e innovadora de la implementación de los sistemas de acumulación de energía ya investigados, refiriéndose a disponibilidad, mayor/mejor calidad en el suministro de energía, por el avance tecnológico en los diferentes modelos de acumuladores, además de la adaptación de las mismas a un sistema conectado a un micro-red inteligente.
- En la parte medio-ambiental, con el uso de sistemas de acumulación, la necesidad o dependencia a los sistemas convencionales y contaminantes disminuye significativamente (minimizando la emisión de gases), donde los usuarios se concienticen aplicando alternativas de mejor calidad. En cuanto al sector socio-operacional, se abre y expande un nuevo mercado en el país, que atraerá más ofertas laborales, capacitaciones e investigaciones, generando un efecto social positivo al país. La evaluación financiera del proyecto corresponde a los beneficios económicos y operativos obtenidos con su ejecución, de acuerdo al costo inicial de la instalación de baterías y a la remuneración paulatina pero continua que se va generando al usar la energía producida y almacenada por cada usuario, sin necesidad de utilizar la electricidad proveniente de la red eléctrica nacional.

- Los acumuladores de energía magnética SMES permiten un almacenamiento y devolución de la energía en valores próximos al 100%. La alta capacidad de recuperación y almacenamiento permite almacenar la energía excedente de centrales eléctricas cuando la capacidad de generación supera la demanda.
- En Colombia existe un gran potencial para el desarrollo de energías renovables no convencionales, sin embargo, la estructura regulatoria actual hace que la diferencia en rentabilidad entre estas tecnologías y las convencionales se incremente, dificultando su entrada en el mercado.
- En general, de las diferentes tecnologías caracterizadas, las baterías electroquímicas presentan mayores beneficios que las otras tecnologías estudiadas como son los capacitores, volante de inercia, CAES, SMES, entre otras.
- La creciente demanda del consumo de energía se debe principalmente a los avances tecnológicos, producciones industriales, comercialización de productos, prestación de servicios, operación de empresas, funcionamiento de equipos y al desarrollo económico y social de un país, por esto los acumuladores de energía son grandes aliados del sector eléctrico ya que protegen, resguardan y aseguran una continua disponibilidad de servicio al consumidor residencial.
- La instalación de acumuladores eléctricos en una micro-red inteligente favorece la cobertura de la demanda de energía, disponiendo de esta las 24 horas al día para controlar y regular como se desee el consumo de energía requerido por un usuario residencial, conociendo la cantidad de almacenamiento diario de energía del dispositivo instalado.

- Con la implementación de sistemas de generación alternativos, se facilita la elaboración de seguimientos del consumo diario, semanal, mensual y hasta anual registrados del consumo de energía eléctrica, con el propósito de estimar el valor de potencial de energía demandado, las cantidades y los diferentes usos que provee dando finalidad detener y evitar el malgasto de la energía almacenada, elaborándose de este modo un pequeño plan de uso racional y adecuado de la electricidad en el sector doméstico.

- La oferta en cuanto a sistemas de almacenamiento de energía eléctrica es amplia y variada, donde algunos de ellos se utilizan con la finalidad de permitir y respaldar la operación de equipos de bombeo hidráulico, el almacenamiento por aire comprimido (CAES) o los volantes de inercia. Estos sistemas presentan un alto potencial para el almacenamiento masivo de energía, garantizando el rendimiento y la correcta operación de los equipos instalados.

- Con la implementación de sistemas eólico-fotovoltaicos, se contribuye a un ahorro energético y económico considerable, disminuyendo el valor generado en la factura de energía, comparado con el precio de energía de una red eléctrica convencional. En la investigación realizada se encontró que el costo o inversión inicial de un sistema solar-fotovoltaico es accesible y moderado, dependiendo y variando su valor de acuerdo a los equipos escogidos, como también por la demanda a satisfacer y de las dimensiones que la instalación requiere. Sin embargo el retorno de inversión para estos sistemas se estima obtener a mediano plazo, es decir entre tres a diez años de la ejecución la instalación, permitiendo no solo recuperar la inversión realizada al proyecto, sino además recibir y mejor aún disminuir el precio de energía convencional.

- Las aplicaciones de la energía solar-eólica, sin duda encaminan y favorecen el futuro desarrollo de energías alternativas, como un sistema de obtención

limpio, seguro y fácil de manejar, deteniendo el daño ambiental ocasionado por otros procesos y técnicas convencionales de generación de energía eléctrica.

- La idea de los sistemas de acumulación de energía por aire comprimido (CAES) es aprovechar los valles de la demanda energética (energía sobrante) para producir aire comprimido que se almacena en una pequeña caverna en el subsuelo diseñada para esta función. La aplicación de este novedoso sistema de almacenamiento puede efectuarse en zonas aisladas del sistema de interconexión nacional, en donde pueda abastecer con energía eléctrica un pequeño sector, formado por varias viviendas a las cuales se les proporcionaría la energía que requieran. En zonas remotas del país se favorece su instalación, por las dimensiones y de los requeridos para su operación.
- La factibilidad del proyecto se desarrolló de acuerdo a la caracterización de algunos acumuladores de energía en una micro-red inteligente, a partir de la oferta en el mercado con diferentes modelos y las características propias de cada modelo de baterías de energía (descritas en el capítulo 7) e indican los beneficios de su aplicación. A su vez la viabilidad implica la operación de las baterías, es decir las cualidades y ventajas físicas y tangibles que presenta la instalación con la conexión y el funcionamiento de la batería.
- La relación costo/ beneficio indica que la implementación de sistemas de acumulación de energía con fuentes renovables no convencionales es conveniente, debido a la reducción a la facturación del servicio eléctrico público. Al escogerse equipos que permiten generar la energía eléctrica suficiente para el consumo diario residencial, y a su vez la energía excedente producida se almacene en baterías eléctricas, para su posterior. Con la instalación de tecnologías en el ámbito de microredes inteligentes, se permite al usuario tener el control y la autonomía del consumo de electricidad en su

hogar mensualmente, recuperando la inversión inicial efectuada por la compra e instalación de los equipos, que se estima alrededor del quinto al décimo séptimo año, durante este tiempo el usuario podrá recuperar lo invertido (depende a su vez del estrato socio-económico del usuario y de las características de su instalación).

- Como resultado final se infiere que tecnología con más beneficios son las baterías electroquímicas, teniendo en cuenta los costos de inversión serían los capacitores la mejor opción, y si es por costo de mantenimiento los acumuladores por aire comprimido **CAES** sería una buena elección.

14. SUGERENCIAS

- Impulsar y dar a conocer en los espacios adecuados que proporciona el Gobierno, los centros educativos relacionados con el desarrollo de estas tecnologías, y por las entidades que forman parte del sector eléctrico Nacional la nueva ley 1715 de 2014 en Colombia, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, como alternativa en la generación y almacenamiento de energía eléctrica, a través de modelos que manejan información acerca del uso de fuentes no convencionales de energía, del programa URE y de los beneficios ambientales y económicos.

- Algunos de los factores que equilibrarían y/o compensarían la instalación de un sistema fotovoltaico, son las remuneraciones que de ellos se obtienen, con la disminución del pago mensual facturado. Estos factores en convenio con el Estado y compañías de generación y distribución de energía eléctrica se presentan con incentivos al usuario, la reducción de tarifas, inversiones de capital inicial, descuentos en la compra, instalación o mantenimiento de equipos necesarios, entre muchos otros que impulsen y fomenten al público general su aplicación.

- La información de implementaciones realizadas se obtuvo de casos y registros de maniobras realizadas al implementar sistemas de acumulación en una micro-red inteligente con generación eólica y fotovoltaica partiendo de indicadores técnicos, operativos y económicos. Para la obtención de datos con mayor grado de certeza y confiabilidad se sugiere llevar a cabo una implementación a pequeña escala de los diferentes sistemas de acumulación ya mencionados anteriormente

- La mayoría de empresas distribuidoras de sistemas de respaldo eléctrico informan a sus clientes del uso final que tendrán las baterías, e indican lo correspondiente a realizar una vez finalizado el ciclo operativo del equipo, lo correcto y apropiado en tal caso es realizar la pronta entrega del mismo, pudiendo llevarse al centro de compra que lo proporciona, esto permite a sus compradores un centro especializado para la recolecta y reciclaje de equipos de almacenamiento de energía. Algunas empresas facilitan este tópico, permitiendo a sus compradores la entrega de estos sistemas en sus instalaciones, para aplicarles o enviarlas a ejecutar el adecuado proceso de reciclaje para baterías, ayudando al medio ambiente y como ejemplo de manufactura de baterías.

- Brindar información completa sobre la implementación de sistemas alternativos de energía, como una herramienta encaminada al desarrollo y seguridad al implementarse en lugares y zonas distantes de difícil acceso para conectarse a la red eléctrica. Los tópicos y temáticas tratadas en esta investigación tiene como finalidad proporcionar la información necesaria a disposición de toda persona en temas referentes a sistemas de acumulación de energía eléctrica y compresores CAES en una micro-red inteligente, presentando los puntos más relevante anteriormente presentados en el cuerpo del proyecto, que se tienen en cuenta durante el estudio, aplicación y selección de equipos.

- A partir de los datos obtenidos se encontró que los sistemas de acumulación de energía eléctrica benefician las conexiones de los sistemas híbridos, aumentando la seguridad, flexibilidad, amplía la cobertura de la red eléctrica y descongestiona el SIN. Adicionalmente el costo de acumuladores de energía electroquímicos especialmente, ha disminuido paulatinamente a medida que se desarrollan avances científicos sobre estos equipos, y es de esperarse que continúe así mientras se instalan en todo el mundo. Impulsado por los

beneficios y escenarios que proporcionen la información precisa al usuario interesado, permitiendo incentivar la aplicación de nuevas tecnologías desarrollo eléctrico del país.

- Instalando sistemas híbridos interconectados en el hogar, el usuario sustituye parte de la energía eléctrica obtenida del sistema convencional (red eléctrica nacional) por energía proveniente de la radiación del sol y con la velocidad del viento, se promueve una reducción en los costos de transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica, además de incentivar la disminución de la contaminación ambiental.

- Presentar los sistemas de generación a pequeña escala como herramientas confiables y ahorrativas para el consumo de energía doméstico urbano y rural, permitiendo al usuario final, la obtención de energía para su hogar de forma rápida, continua y fiable. Se deberá motivar la aplicación de sistemas renovables a través de iniciativas económicas, que faciliten al usuario la estimación, adquisición de equipos y la instalación de los mismos, con descuentos, reembolsos en la tarifa de electricidad, préstamos o permitiendo la venta energía sobrante generada y almacenada en la vivienda (a precio de nodo actual o de bolsa).

BIBLIOGRAFÍA

- Aerogeneradores. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Sede de Las Palmas: Km 2 + 200 Vía al Aeropuerto José María Córdova Envigado, Colombia. Disponible [Vía online] en: <<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/jepirachi/page4.html>> (24/02/2014)
- Antonio Barrero, Artículo Industria podría sacar la cogeneración del régimen especial. F. Publicado en Jueves, 09 de mayo de 2013. Disponible [Vía online] en: [http://www.energias-renovables.com/articulo/industria-podria-sacar-la-cogeneracion-del-regimen-20130508\(20/03/2014\)](http://www.energias-renovables.com/articulo/industria-podria-sacar-la-cogeneracion-del-regimen-20130508(20/03/2014))
- Alberto Carbajo Josa, Las Nuevas Redes Inteligentes Y La Operación Del Sistema (España, 2012), pp. 1–39
- ALTA INGENIERIA XXI LTDA, 2013. Disponible en: < <http://altaingeneriaxxi.com/>>
- Ana Maria Sandoval, “Monografía Del Sector de Electricidad Y Gas Colombiano”, 2004, pp. 1–121.
- ANDI, Artículo FEDESARROLLO, “ENERGÍA PARA CRECER,” Estudio y análisis del sector eléctrico Colombiano, 2012, pp. 1–8. Disponible vía web en <<http://www.andi.com.co/>>.
- Andrés Celave, Redes Inteligentes. ¿Una Solución Para La Integración de La Generación Distribuida? (Madrid-Epaña, 2010), pp. 1–6 <www.eco.es>.
- Andrés Pantoja, Gestión de Generadores En Redes Inteligentes (Medellín-Colombia, 2013), pp. 1–29.
- Ángela Cadena and others, Retos Tecnológicos Para La Incorporación de Redes Inteligentes En Colombia (Bogotá, Colombia, 2011), pp. 1–95
- Ante El and others, FORMULACIÓN DE UN PLAN DE DESARROLLO PARA LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA EN COLOMBIA (PDFNCE) (Bogotá D.C, 2010), pp. 1–195.

- Arturo G. Peralta Sevilla and Ferney Amata Fernández, EVOLUTION OF THE ELECTRICITY NETWORKS TOWARDS SMART GRID, 2013, viii, 1–14.
- Año del hogar inteligente, 2013: EME Ingeniería. Hogares inteligentes, ideas brillantes. Lectura de noticias. Bucaramanga-Colombia. 2013. Disponible en la web:<http://www.emeingenieria.com.co/noticias/leer/id/32>
- BatteryPlex, Baterías Eléctrico - Información Y Historia de Baterías (Estados Unidos de America, 2002), pp. 1–7 Disponible via web <<http://www.batteryplex.com/sheets/Bateriaselctrico.pdfy-acumuladores.htm>>.
- Batory Company. US & Canada. Visitado en Mayo del 2014. Disponible [Vía online] en <http://www.trojanbattery.com/>
- Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. - San José, “Manuales Sobre Energía Renovable SOLAR FOTOVOLTAICA” (San José, Costa Rica, 2002), pp. 1–48.
- Carlos. Urdiales, J. Tellez y M. Fdez-Carmona / Grupo ISIS (ETSI Telecomunicación, Universidad de Málaga). Revista U Ciencia. Universidad de Málaga. El hogar Inteligente. Disponible en la web: http://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/4096/28_revistauciencia04.pdf?sequence=1
- Carlos Andrés Díaz Andrade and others, Smart Grid: Las TICs Y La Modernización de Las Redes de Energía Eléctrica – Estado Del Arte (Cali-Colombia, 2011), ix, 1–29.
- Carlos Gutiérrez Montenegro, Eficiencia Energética En Sistemas de Producción de Aire Comprimido Índice, 2012, pp. 1–25 <www.energylab.es>.
- Carlos Gutiérrez Montenegro. Campus Vigo (Lagos Marcosende), Universidad de Vigo. Centro Tecnológico de Eficiencia y Sostenibilidad Energética. Energylab. Eficiencia energética en sistemas de producción de

aire comprimido. Dirección general de industria y trabajo. Gobierno de España.

- Carlos Humberto Galeano Urueña Juan Miguel Mantilla González Carlos Alberto Duque Daza, “Análisis Del Esquema de Generación Distribuida Como Una Opción Para El Sistema Eléctrico Colombiano,” Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, 2008), pp. 1–14.
- Centro La Dehesa. Ubicado en Gabriel y Galán 17 Torrejón el Rubio Cáceres. España. Disponible [Vía online] en: http://www.centroladehesa.info/descargas/manual_energia_ahorro.pdf
- Cesar Fabián Rojas. Estudiante Ingeniería Mecánica. Código. 234464_G12NL23, “ENERGIA FOTOVOLTAICA: COMPRESION,” Facultad de Ciencias., 2010, 1–4
- Claudia Magaly Monroy Rincon, Luis Alejandro Urazan Gomez And Danica Alexandra Barros Weeber, Factibilidad Y Viabilidad De La Creacion De Una Empresa De Servicios Temporales E.S.T. (Bogotá D.C, 2012)
- Construmática. Disponible en [Vía online]: http://www.construmatica.com/construpedia/Energ%C3%ADas_Renovables
- Comisión de Regulacion de Energía y Gas., Aspectos Medioambientales de La Energia Energias Renovables Y Biocombustibles Cartagena, 2009, pp. 1–47
- Comparación de Tecnologías de Almacenamiento Energético provenientes de Energías Renovables. Academia Correspondiente de la Sección de Ciencias Experimentales de la Real Academia de Doctores de España. Departamento de Ingeniería Química y Combustibles. ETS Ingenieros de Minas. Universidad Politécnica de Madrid. Manuel Montes Ponce de León. Carlos Fúnez Guerra de la Real Academia de Doctores de España. Volumen 16 (2012).
- Cristóbal de Monroy, “Los Acumuladores”, pp. 1–7.

- Claudio A. Estrada Gasca y Camilo A. Arancibia Bulnes, “Las Energías Renovables: La Energía Solar Y Sus Aplicaciones,” Revista Digital Universitaria, October 2010, pp. 1–27 Disponible via web <<http://www.revista.unam.mx/vol.11/num10/art96/index.html%E2%80%9D>>.
- Deltavolt energía renovable. 2010-2013 - Delta Volt SAC. Perú. Disponible en web < <http://deltavolt.pe/baterias>>
- Director de UPME Jose Camilo Manzur, Director Ejecutivo de ASOCODIS y Oscar Imitola, “Informe Sectorial Sobre La Evolución de La Distribución Y Comercialización de Energía Eléctrica En Colombia” (Bogotá, 2010), pp. 1–137 <<http://asocodis.org.co/cms/Default.asp?Page=148>>.
- Diseño De Un Sistema Fotovoltaico Para La Generación De Energía Eléctrica En El Cobaev 35 Xalapa; Héctor Domínguez González; UNIVERSIDAD VERACRUZANA, FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, MAESTRÍA EN INGENIERÍA ENERGÉTICA; 22 DE NOVIEMBRE DEL 2012 . Disponible via web< <http://cdigital.uv.mx/>>
- Domótica e inmótica, viviendas y edificios inteligentes. Cristóbal Romero Morales, Francisco Vásquez Serrano, Carlos de Casto Lozano. Editorial Alfa omega (2007). Segunda edición. Capítulo 1, pagina 3.
- Domótica Mi Hogar Inteligente- 2009. Bogotá D.C. Colombia. Disponible [Vía online] en: <<http://www.mihogarinteligente.com>>
- Domótica e inmótica, viviendas y edificios inteligentes. Cristóbal Romero Morales, Francisco Vásquez Serrano, Carlos de Casto Lozano. Editorial Alfa omega (2007). Segunda edición. Capítulo 1, página 3.
- Dr. Héctor G. Sarmiento, Dr Raúl Velázquez Sánchez. Instituto de investigaciones eléctricas. Cuernavaca. Reforma N° 113. Col. Palmira, Cuernavaca Mor. 2013 SlideShare Inc. Todos los derechos reservados. Disponible en web: <<http://es.slideshare.net/FiiDEM/5-microredes-enambitorei>>

- El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos, Enrique Harper. Primera Edición. 2011 Editorial Limusa S.A. Capitulo 2 La energía solar fotovoltaica, pagina 83.
- El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos, Enrique Harper. Primera Edición. Editorial Limusa S.A (2011). Capítulo 4- Aplicacion de la energía del viento, pagina 193.
- El Proyecto Factible: una modalidad de investigación, Redalyc (Venezuela, 2002), iii, 1–19 <Sapiens. Revista Universitaria de Investigación,>.
- Emo Alexis Ibarra, Cómo Prepararse Para Cortes de Energía Eléctrica, 2011, pp. 1–3 Disponible via web <www.sigweb.cl>.
- Energía limpia. Visitado en 23 Febrero del 2014. Disponible en: <<http://www.cleanergysolar.com/2011/06/29/guia-practica-de-la-energia-consumo-eficiente-y-responsable-pdf/>>
- ENERGIA RENOVABLE SOLARTRONIC. Av. Morelos Sur No.90
- 62070 Col. Chipitlán. Cuernavaca, Morelos. Méxic. 2013. Disponible [Vía online] en: <www.solartronic.com >
- Energías eléctricas y renovables, turbinas y plantas generadoras. Viejo Zubicary. Editorial Limusa S.A (2010). Cuarta edición México.
- Energía eléctrica. Evolución del mercado eléctrico 2012-2013, Ministerio de Minas y Energía. Disponible vía web<http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Memorias/Memorias_2013/4-Energia.pdf> (4/03/2014)
- Energías eléctricas y renovables, turbinas y plantas generadoras. Viejo Zubicary. Editorial Limusa S.A (2010). Cuarta edición México.
- Energías Renovables. Disponible en [Vía onlie]: <http://www.energias-renovables.com/>
- Energía limpia. Disponible [vía online] en: <<http://www.cleanergysolar.com/2011/06/09/tutorial-normativa-regimen->

[especial-energias-renovables-y-cogeneracion/.>](#) (Sitio visitado en Febrero 2014)

- Ernesto Fidel Cantillo-guerrero and Fernando Conde-danies, “Diagnóstico Técnico Y Comercial Del Sector Solar Fotovoltaico En La Región Caribe Colombiana,” 9 (2011), 81–88 <ecantillo@uac.edu.co, fconde@uac.edu.co>.
- Ernesto Cantillo Guerrero, Julio Daza Escorcía. ICEX. El Sector Solar Fotovoltaico En El Caribe Colombiano: Análisis Técnico Y De Mercado; Ingeniería Industrial, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Colombia 2012. Disponible en: < Renewable Energy Policy Network for the 21st Century>
- Exide Technologies. Oficina principal internacional Milton, Estados Unidos. Disponible [Vía online] en <<http://www.exide.com/co/es>>
- Farley Calvo Bohórquez, Análisis de viabilidad para la implementación de sistemas de generación eléctrica usando energía solar para uso residencial.
- Francisco De Borja García Barrios, “Sistemas Auxiliares De Energía: Acumuladores Y Generadores De Electricidad”, 2010, Pp. 1–16
- FEDESARROLLO, Centro de investigación Tecnológica y Social. Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia. Documento preparado para WWF. Helena García, Alejandra Corredor, Laura Calderón, Miguel Gómez. Octubre 2013
- FERVE Technical Support, “Technical Support”, 2011, pp. 1–13 Disponible vía web <www.fergve.com>.
- Guía del instalador de energías renovables. Energía Fotovoltaica, Energía Térmica, Energía Eólica. Tomás Perales Benito. Segunda Edición (2007). Creaciones COPYRIGHT. Pág.69
- Gildardo Guadalupe Arriola Mairén, el estudio de viabilidad de un proyecto (México, 2010), pp. 1–8

- Grudilec profesional y revista Grudiella, pilas, acumuladores y baterías, 2005, pp. 1–50 Disponible vía web<www.grudilec.com>.
- History Timeline of the Battery. Publicada el Lunes, 15-Jul-2013 17:23:55. Disponible en <http://inventors.about.com/od/bstartinventions/a/History-Of-The-Battery.htm>
- Humberto Rodríguez M, “La Energía Solar: Desarrollo Actual Y Perspectivas de Estudio Científico.,” in REV. ACAD. COLOMB. CIENC: VOL XVII, Número 66 (Bogotá, 2000), pp. 1–5.
- IBERDOLA. Informe de Innovación 2009-2010. Madrid España. Disponible [Vía http://www.iberdrola.es/webibd/gc/prod/es/doc/innovacion_informe.pdf online] en: http://www.iberdrola.es/webibd/gc/prod/es/doc/innovacion_informe.pdf.
Página 92
- Informe Especial. Sector Energético. Departamento de Investigaciones Económicas de Ultrabursátiles S.A. 2014
- Introducción al concepto de microrredes. Tendencias tecnológicas. Raúl Velázquez Sánchez, Héctor G. Sarmiento Uruchurtu, José L.Silva Farias, Gilberto Vidrio López y Rolando Nieva Gómez.Disponible en web: <<http://www.iie.org.mx/boletin032010/tenden.pdf>>
- Instalaciones eléctricas domésticas convencionales y solares fotovoltaicas. Enrique Harper. Segunda Edición.Editorial Limusa S.A (2010). Grupo Noriega Editorial México DF.
- J Rocabert Delgado, S Busquets Monge and J Bordonau, Sistema Autónomo de Generación de Energía Renovable, 2012, pp. 73–78 <rocabert@eel.upc.edu, sergio.busquets@upc.edu, josep.bordonau@upc.edu>.
- Jan Kleyn, Artículo Viabilidad Económica de La Generación Distribuida En Colombia, pp. 1–9.
- Janett Barbosa Urbano and others, “Estudio Para El Uso de La Tecnología Solar Fotovoltaica,” Universidad Cooperativa de Colombia., 6 (2010), 1–13.

- Jose Camilo Manzur, Director Ejecutivo de ASOCODIS y Oscar Imitola.
- Jose G3erman L3opez Quintero, Julio Cesar Montero Rend3on and Ana Mar3a Mej3a Jim3enez, PRIMER CONGRESO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVABLES PRIMERA MUESTRA NACIONAL DE ENERG3A SOLAR., pp. 1–4.
- Jos3 Ignacio Linares, An3lisis de Viabilidad Econ3mica de Proyectos, 2013, pp. 1–74 [58] ESTUDIO DE FACTIBILIDAD (ESQUEMA APLICABLE PARA NUEVOS PRODUCTOS) (Venezuela, 2009), pp. 1–6 <<http://proyectos.aragua.gob.ve/descargas/ESTUDIOFACTIBILIDADECON%C3%93MICA.pdf>>.
- Johanna Marcela Rivero Garc3a y Andrea Juliana Zarate Galvis, Estudio De Factibilidad Y Viabilidad De La Empresa De Transporte (Bucaramanga-Colombia, 2009), pp. 1–117.
- John O´M Bockris, Amulya Reddy, Electroqu3mica moderna el3ctrica. Vol3men II, (p3g.1488).
- Laboratorio de Pruebas de Calidad de PROFECO, Calidad de Acumuladores, 2000, pp. 1–14.
- Las Fuentes renovables de energ3a y el uso eficiente. Primera Edici3n Octubre 2002
- Luis Ignacio Betancur, “Energ3as Renovables: Marco Jur3dico En Colombia,” Perpectiva, 2009, pp. 1–3
- Lu3s Fernando Roman3 Mart3nez y Gerardo Domarco 3lvarez. Universidad de Vigo. Acumulador de energ3a mediante discos magn3ticos Superconductores. Espa3a. Disponible [V3a online] en: http://www.uvigo.es/opencms/export/sites/uvigo/sites/default/uvigo/DOCUMENTOS/investigacion/Escaparate_Patentes_ROMANI.pdf
- Martina Kr3tk3, “Uso de Los Sistemas Solares Fotovoltaicos En La Selva” (Universidad de Bohemia Occidental en Pilsen, Facultad de ingenier3a el3ctrica – especializaci3n Ecol3gica t3cnica, 2007), pp. 1–24.

- Ministerio de Mina y Medio Ambiente. Bogotá DC. Colombia. Disponible [Vía online] Disponible en:< <http://www.minambiente.gov.co/web/index.html>
- MK Poweredd, Acumuladores de Plomo-Ácido Sellados , Regulados Por Válvula (SVR) Y Electrolito Gelado, 2009, pp. 1–16 <%0Asales@mkbattery.com; >.
- Nature Publishing Group. Madrid España. Las Fuentes renovables de energía y el uso eficiente. Primera Edición Octubre 2002. Editorial Sara Larraín; Caroline Stevens; M. Paz Aedo
- Nueva tecnología de almacenamiento. Disponible [Vía online] en: <http://todoproductividad.blogspot.com/2011/10/nueva-bateria-para-almacenamiento-de.html> (10 de febrero de 2014).
- Oscar JAIMOVICH, Acumulación de Energía. Universidad de Buenos Aires, Argentina. Disponible [Vía online] en: <http://materias.fi.uba.ar/6723/pdf/Cap21.pdf>
- Pablo Grech. Artículo Introducción a la ingeniería “Un enfoque a través del diseño” Editorial Prentice Hall. Pág. 258.
- Pedro Estévez Irizar and others, De Energía Eléctrica Embarcados En Los Trenes, pp. 1–43.
- Pedro Valverde - Secvitel, Inc., PMIE, Seattle, WA and Huancayo. Ing. Percy Cueva Ríos - UNCP, Diseño E Instalación de Redes Inteligentes de Potencia Eléctrica Para Uso Domiciliar , (HAN). 2010, pp. 1–9 <pedrov@uw.edu>.
- PER CARIBE, Energías Renvables, Nuevas Alternativas Para El Desarrollo Del Caribe (Cartagena de Indias, 2013), pp. 1–13.
- Prepárese: usted puede tener un hogar inteligente. El Herald. Lunes 05 de Noviembre de 2012 - 7:03pm. Disponible [Vía online] en: <http://www.elheraldo.co/noticias/tecnologia/preparesse-usted-puede-tener-un-hogar-inteligente-88270>

- Presidencia y Oficina de Planeamiento y Presupuesto, “Contenidos Mínimos Del Estudio de Factibilidad de Un Proyecto de Inversión Pública En Fase de Pre- Inversión” (Uruguay, 2012), pp. 1–11 <http://www.mef.gub.uy/ppp/documentos/factibilidad_contenido_minimo.pdf>.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente medio ambiente para el desarrollo. United Nations Environment Programme United Nations Avenue, Gigiri. Nairobi, Kenya Disponible [Vía online] en: <http://www.unep.fr/shared/docs/publications/RE_GSR_2009_Update.pdf> (visitado en Junio del 2014)
- Proyectos acumulación energía eléctrica. Disponible en:<http://www.iberdrola.es/webibd/gc/prod/es/doc/innovacion_informe.pdf , **pág 92**>
- Redes inteligentes: El problema del almacenamiento de la energía. Disponible [Vía online] en: <http://www.npgiberoamerica.com/uniofenosa/redes-inteligentes-el-problema-del-almacenamiento-de-la-en.html>
- RENAC, “Energía Solar Fotovoltaica Como Fuente de Energía Renovable Global” (Puebla, México D.F., 2011), pp. 1–15 <http://www.renacmexico.com/fileadmin/user_upload/Download/RENAC_Mexico/Introduccion_fotovoltaica.pdf>.
- REPOWERING SOLUTIONS. Ronda de Atocha, 37 28012. Madrid – Spain. Disponible via web: <http://www.repoweringsolutions.com/productos/aerogeneradores_domesticos/>
- Richard Widman y Omar Linares. 2009 Widman International S.R.L. Boletín #56. Boletines Informativos mensuales. Compresores – Su Funcionamiento y Mantenimiento. Publicado el 1 de abril del 2008.
- Rodríguez, H. (2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. Revista de Ingeniería, 28:83-89. Universidad de los Andes

- Salvador Escoda S.A, “Energía Solar Térmica: Manual Técnico de Energía Solar” (Barcelona-España).
- Sustentator. Fundada por Daniel Nofal. Dponible [en línea]: <http://sustentator.com/blog-es/por-donde-empiezo/diccionario/>. (Visitado el 21 Febrero 2014)
- SumSol, Energía Fotovoltaica. Paseo Imperial, Madrid España. Contacto: info@sumsol.es. Disponible [Vía online] en: www.sumsol.es
- Tecnologías de almacenamiento de la energía. Disponible en: <http://jmirez.wordpress.com/2011/12/12/j379-un-resumen-sobre-tecnologias-de-almacenamiento-de-energia/>
- Tecnologías de generación de energía eléctrica. Enrique Harper. Editorial Limusa S.A (2009). Primera edición. México D.F. Capítulo 6, plantas eólicas.
- TECSOL24h Productos Lumínicos con energía solar, Noticias, Energía Solar, Balance neto en KITS fotovoltaicos.2011 Tecsol24h - C/ Mossèn Jacint Verdaguer, 15 08241 Manresa (Barcelona) - Disponible en la web: http://www.tecsol24h.net/index.php?option=com_content&view=article&id=90:balance-neto-kits-fotovoltaicos&catid=17:energia-solar&Itemid=3
- Tesis titulada DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA TÉCNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS DE DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA Para Empresas Del Sector Eléctrico Colombiano. Realizado Por Luisa Fernanda Guzmán Gómez].
- Zapata, H. (2011). Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE) en Colombia, presentación al, Taller Regional para la Transformación y Fortalecimiento del Mercado de los Paneles Solares Térmicos para el Calentamiento de Agua en América Latina y el Caribe, Santiago, Chile, Junio 22-23. NB Zapata represento el Grupo de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales de Energía, Subdirección de Planeación Energética- UPME.

ANEXOS

ANEXO A

CLASIFICACIÓN DE DISPOSITIVOS DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA ELECTROQUÍMICAS



A continuación se presenta la clasificación de diferentes modelos de baterías disponibles en el mercado, ordenados y separados de acuerdo a las características generales de un sistema de acumulación de energía, los diferentes modelos de baterías eléctricas se obtuvieron a partir de la oferta presentada en catálogos de proveedores en el mercado.

COSTOS DE ACUMULADORES DE ENERGÍA PARA SISTEMAS SOLAR FOTOVOLTAICO Y EÓLICO	
	<p>Las baterías Solares <i>Deka Promaster</i> son ideales para aplicaciones solares y de semi-tracción, paneles solares, auto-caravanas, barredoras industriales, carros de golf, vehículos eléctricos, plataformas elevadoras, etc.</p> <p>Marca: Deka Serie: Promaster</p> <p style="text-align: right;"><u>144,00 € IVA incluido</u></p>
	<p>Las <i>baterías Trojan</i> proporcionan, durabilidad robusta, una larga vida y rendimiento constante día tras día.</p> <p>Marca: Trojan Serie: 24TMX</p> <p style="text-align: right;"><u>150,04 € IVA incluido</u></p>
	<p>La trojan T-105 es la batería de ciclo profundo más pequeña de la gama. Su bajo coste y su duración 3-5 años de vida útil, es la mejor</p>

	<p>opción para aplicaciones de energías renovables, náuticas y de tracción como, carros de golf, plataformas elevadoras, equipos de telefonía, etc.</p> <p>Marca: Trojan Serie: T-105</p> <p style="text-align: center;"><u>162,87 € IVA incluido</u></p>
	<p style="text-align: center;">BATERÍA SOLAR TROJAN 27TMX 12V.</p> <p>Con más de 85 años de experiencia, Trojan Battery Company es el líder mundial en la fabricación de baterías de ciclo profundo de 2V, 6V, 8V Y 12V.</p> <p>Marca: Trojan Serie: 27TMX</p> <p style="text-align: center;"><u>163,35 € IVA incluido</u></p>
	<p style="text-align: center;">BATERIA VICTRON GEL 12V 60 AMPERIOS</p> <p>La gama GEL de victron ofrece la mejor durabilidad en ciclo profundo y la mayor vida útil.</p> <p>Marca: Victron Serie: Deep Cycle AGM Serie2: Deep Cycle GEL</p>

	<u>164,00 € IVA incluido</u>
	<p style="text-align: center;">DEKA PROMASTER GC25</p> <p>Marca: Deka Serie: Promaster Modelo: GC25</p>
	<u>165,10 € IVA incluido</u>
	<p style="text-align: center;">BATERIA TROJAN MONOBLOCK T-875</p> <p>Marca: Trojan Modelo: T875</p>
	<u>165,77 € IVA incluido</u>
	<p>La batería US Battery US 8VGC “Capacidad extrema” está fabricada con una alta concentración de sulfato de plomo tetra básico sintético (TTBLS). Esta estructura sintética TTBLS produce un fuerte material para alcanzar un ciclo de vida largo, necesario en aplicaciones de baterías de ciclo profundo.</p> <p>Marca: US Battery Modelo: US 8VGC</p>
	<u>185,00 € IVA incluido</u>

	<p align="center"><u>BATERÍA SOLAR TROJAN T125</u></p> <p>Marca: Trojan Modelo: T125</p> <p align="center"><u>194,81 € IVA incluido</u></p>
	<p>La serie 4000 de baterías Rolls, están fabricadas específicamente para energías renovables, solar fotovoltaica, eólica y otras aplicaciones en el suministro o almacenamiento de energías renovables.</p> <p>Marca: Rolls Modelo: 24HT-80</p> <p align="center"><u>174,20 € IVA incluido</u></p>
	<p>Las baterías selladas de ciclo profundo Trojan GEL sin mantenimiento proporcionan una potencia superior en aplicaciones de energías renovables a otras marcas de baterías.</p> <p>Marca: Trojan Modelo: 27-GEL</p> <p align="center"><u>258,94 € IVA incluido</u></p>

	<p><u>BATERIA SOLAR TROJAN J305P-AC 6V.</u></p> <p>Marca: Trojan Modelo: J305P</p> <p><u>309,76 € IVA incluido</u></p>
	<p><u>BATERIA US BATTERY L 16 XC</u></p> <p>Marca: <u>US Battery</u> Modelo: L 16 XC</p> <p><u>322,00 € IVA incluido</u></p>
	<p><u>BATERIA TROJAN MONOBLOCK</u> <u>27-TMH</u></p> <p>Marca: Trojan Modelo: 27-TMH</p> <p><u>197,23 € IVA incluido</u></p>
	<p><u>BATERIA SOLAR TROJAN 30XHS</u></p> <p>Marca: Trojan Modelo: 30XHS</p> <p><u>202,07 € IVA incluido</u></p>

	<p align="center"><u>TROJAN 24-AGM 12V 76AH-20HR BATERIA AGM</u></p> <p>Marca: Trojan Modelo: AGM-24</p> <p align="center"><u>209,33 € IVA incluido</u></p>
	<p align="center"><u>BATERÍA SOLAR ROLLS 30H-125</u></p> <p>Marca: Rolls Modelo: 30H 125 Tecnología: Plomo ácido</p> <p align="center"><u>283,18 € IVA incluido</u></p>
	<p align="center"><u>DEKA PROMASTER 9C12</u></p> <p>Marca: Deka Serie: Promaster Modelo: 9C12</p> <p align="center"><u>338,80 € IVA incluido</u></p>
	<p align="center"><u>BATERÍA ROLLS T12-136</u></p>


	<p>Marca: Rolls Modelo: T12-136 Tecnología: Plomo ácido</p> <p style="text-align: center;"><u>364,11 € IVA incluido</u></p>
	<p style="text-align: center;"><u>BATERÍA 4TOPZS353 TAB ESTACIONARIA</u> <u>2V. 198X101X472</u></p> <p>6 Elementos batería solar de 2V. 458Ah.C100</p> <p>Los elementos de 2 voltios TAB, destacan por la alta capacidad, larga duración, bajo nivel de auto-descarga, fácil control del nivel de ácido, dimensiones, peso reducidos y muy bajo mantenimiento</p> <p>Fabricate: TAB Modelo: 4OPzS</p> <p style="text-align: center;"><u>878,90 € IVA incluido</u></p>
	<p style="text-align: center;"><u>GNB ENERSOL-T</u></p> <p>Las baterías Classic Enersol T son elementos de bajo mantenimiento adecuados para el uso en sistemas solares industriales de tipo medio. Estas baterías de plomo-acido con electrolito liquido son famosas por su seguridad y fiabilidad gracias a su alto rendimiento.</p>






	<p>Fabricate: Enersol T Modelo: 370</p> <p style="text-align: center;"><u>963,90 € IVA incluido</u></p>
	<p style="text-align: center;"><u>TROJAN IND-9</u></p> <p>6voltios, 545ah-C100. La línea industrial de Trojan, está específicamente diseñada para ofrecer sistemas de energía renovable para grandes cargas diarias, en aquellos casos en que las baterías son cargadas y descargadas regularmente.</p> <p>Marca: Trojan Modelo: IND-9</p> <p style="text-align: center;"><u>828,90 € IVA incluido</u></p>
	<p style="text-align: center;"><u>TROJAN 8D-AGM</u></p> <p>En los últimos años y debido al incremento en el precio de los combustibles fósiles y los problemas medioambientales que trae aparejado su uso, estamos asistiendo a un renacer de las energías renovables.</p>

	<p>Marca: Trojan Modelo: 8D-AGM</p> <p style="text-align: center;"><u>569,91 € IVA incluido</u></p>
	<p style="text-align: center;"><u>TVS-4 BATERIA MODULO HAWKER ENERSYS</u></p> <p>2 voltios, 460-C120 La gama de baterías solares EnerSys de HAWKER ofrece una solución de alto rendimiento y larga duración para instalaciones fotovoltaicas y aplicaciones de energías renovables</p> <p>Marca: Hawker Modelo: EnerSys TVS-4</p> <p style="text-align: center;"><u>977,68 € IVA incluido</u></p>
	<p style="text-align: center;"><u>BATERÍA 5TOPZS442 TAB ESTACIONARIA</u></p> <p>Fabricate: TAB Modelo: 5OPzS</p> <p style="text-align: center;"><u>1 060,00 € IVA incluido</u></p>
	<p style="text-align: center;"><u>TUDOR 5 OPZS CLASSIC 350</u></p> <p>Gama Classic OPzS SOLAR de eficacia</p>

	<p>demostrada durante décadas en aplicaciones con media y gran demanda de energía. Alta capacidad cíclica. Tapones de cerámica, llama retardantes de acuerdo a norma DIN 40 740 disponibles bajo pedido</p> <p>Fabricate: CLASSIC Modelo: 4 OPzS 200 LA <u>1 065,00 € IVA incluido</u></p>
	<p><u>TZS-16 BATERIA MODULO HAWKER 16 OPZS 2000</u></p> <p>Fabricante: Hawker Modelo: Enersys TZS-16 Referencia OPzS: 16 OPzS 2000 <u>4 335,43 € IVA incluido</u></p>

CAPACIDAD DE UN ACUMULADOR DE ENERGÍA PARA SISTEMAS SOLAR FOTOVOLTAICO Y EÓLICO

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: GC100 Capacidad 20Ah a 100 a 299ah • Modelo: GC06 Capacidad 20Ah a 156 • Modelo: GC20 Capacidad 20Ah a 190
---	---

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 24TMX 5 horas: 70Ah 20 horas: 85Ah 100 horas: 94Ah <p>Amperios C100 0 a 99ah</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: T-105 Plus 5 horas: 185Ah 20 horas 225Ah 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 27TMX 5 horas: 85Ah 20 horas: 105Ah 100 horas: 117 	
	<p>Deep Cycle AGM</p> <p>8, 14, 22, 38, 60, 6, 90, 110, 130, 165, 220, 240 Ah (cu)</p>	<p>Deep Cycle GEL</p> <p>60, 66, 90, 110, 130, 165, 220.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: GC25 <p>Capacidad 20Ah C6: 195 Capacidad 20Ah C20: 235 Capacidad 20Ah C100: 294</p>	

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: T875 <p>5 horas:145Ah 20 horas:170Ah 100 horas:189</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: US 8VGC <p>Capacidad 20Ah C5: 138 Capacidad 20Ah C20: 170 Capacidad 20Ah C100: 189</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: T125 <p>5 horas:195Ah 20 horas:240Ah 100 horas:266</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 24HT-80 6 celdas <p>C10: 68 Ah C20: 80 Ah C100: 106 Ah</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 27-GEL <p>5 horas: 76Ah 20 horas: 91Ah 100 horas: 100</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: J305P <p>5 horas:271Ah 20 horas:330Ah 100 horas:367</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: L 16 XC <p>C5: 296 C20: 380 C100: 433</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 27-THM <p>5 horas:95Ah 20 horas:115Ah 100 horas:128</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 30XHS <p>5 horas: 105Ah 20 horas: 130Ah 100 horas: 144 Ah</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: AGM-24 5 horas: 67Ah 20 horas: 76Ah 100 horas: 84Ah
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 30H 125 C10: 106 Ah C20: 125 Ah C100: 166 Ah
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 9C12 Capacidad 20Ah C6: 180 Capacidad 20Ah C20: 228 Capacidad 20Ah C100: 285
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: T12-136 C10: 116 C20: 136 C100: 181

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 40PzS <p>Amperios C10(1.8V/C): 353 Ah Amperios C100(1.85V/C): 458 Ah</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 370 <p>Amperios C10: 376 Ah</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: IND-9 <p>• Capacidad C20: 445 ah Capacidad C100: 545 ah</p> <p>Autodescarga: 4% semanal 1500 ciclos 80% 4000 ciclos 30%</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 8D-AGM <p>5 horas:179Ah 20 horas:230Ah 100 horas:254</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: EnerSYS TVS-4 <p>Capacidad en Ah 10h (1,80V): 340 Capacidad en Ah 120h (1,85V): 460 Capacidad en Ah 240h (1,85V): 481</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 50PzS <p>Amperios C10(1.8V/C): 442 Amperios C100(1.85V/C): 575</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 4 OPzS 200 LA <p>Amperios C10: 200 Ah</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: EnerSYS TZS-16 • Referencia OPzS: 16 OPzS 2000 <p>Capacidad en Ah 10h (1,80V): 2240 Capacidad en Ah 120h (1,85V): 3050 Capacidad en Ah 240h (1,85V): 3187</p>

NIVEL DE TENSIÓN UN ACUMULADOR DE ENERGÍA PARA SISTEMAS SOLAR

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: GC10 Voltios: 6 V 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 24TMX Voltios: 12 V 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: T-105 Plus Voltios: 6 V 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 27TMX Voltios: 12 V 	
	<p style="text-align: center;">Deep Cycle AGM</p> <p style="text-align: center;">6 y 12 V</p>	<p style="text-align: center;">Deep Cycle GEL</p> <p style="text-align: center;">12 V</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: GC25 Voltios: 6 V
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: T875 Voltios: 8 V
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: US 8VGC Voltios: 8 V
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: T125 Voltios: 6 V
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 24HT-80 Voltios 12V

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 27-GEL Voltios: 12 <p>Intensidad de arranque: -18°C 395 0° 545</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: J305P Voltios: 6V y 12V
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: L 16 XC Voltios: 6 V
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 27-TMH Voltios: 12 V

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 30XHS Voltios: 12 V
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: AGM-24 Voltios: 12 V
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 30H 125 Voltios: 12 <p>Celdas: 6</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 9C12 Voltios: 12
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: T12-136 Voltios: 12 Celdas: 6

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 4OPzS Voltios: 2
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 370 Voltios: 2
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: IND-9 Voltios: 6 V
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 8D-AGM Voltios: 12



- **Modelo: EnerSys TVS-4**
Voltios: 2



- **Modelo: 50PzS**
Voltios: 2



- **Modelo: 4 OPzS 200 LA**
Voltios: 6



- **Modelo: EnerSys TZS-16**
- **Referencia OPzS: 16 OPzS 2000**

Voltios: 2
Conjunto de 6 baterías de 2V.

DIMENSIONES DE UN ACUMULADOR DE ENERGÍA PARA SISTEMAS SOLAR FOTOVOLTAICO Y EÓLICO

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: GC10 260x181x276mm 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 24TMX 286X171X248 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: T-105 Plus 264X181X272mm 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 27TMX 324X171X248 	
	<p style="text-align: center;">Deep Cycle AGM</p> <p style="text-align: center;">151-485 65-238 101-247</p>	<p style="text-align: center;">Deep Cycle GEL</p> <p style="text-align: center;">229-522 138-238 183-240</p>

	<p>Modelo: GC25 260x181x283mm</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: T875 264X181X276mm
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: US 8VGC 124X81X76mm
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: T125 264X181X276mm
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 24HT-80 279x171X241mm

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 27-GEL 324X171X234mm.
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: J305P 295X178X365
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: L 16 XC 285X158X315
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 27-THM 324X171X248
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 30XHS 355X171X256

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: AGM-24 274X174X220
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 30H 125 345x171X248mm.
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 9C12 394x178x362mm
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: T12-136 345x171X286mm.
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 40PzS 198x101x472mm

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 370 83x199x445mm
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: IND-9 390x260x610 mm (largo x ancho x alto)
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 8D-AGM 521X269X233
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: Enersys TVS-4 124x206x505mm



- **Modelo: 5OPzS**
198x119x472mm.



- **Modelo: 4 OPzS 200 LA**
273x204x358mm.



- **Modelo: EnerSys TZS-16**
- **Referencia OPzS: 16 OPzS 2000**

399x214x813mm

PESO DE UN ACUMULADOR DE ENERGÍA PARA SISTEMAS SOLAR FOTOVOLTAICO Y EÓLICO

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: GC10 26.8 Kg 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 24TMX 21 Kg. 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: T-105 Plus 28 Kg. 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 27TMX 25 Kg. 	
	<p style="text-align: center;">Deep Cycle AGM</p> <p style="text-align: center;">2.5-65 Kg</p>	<p style="text-align: center;">Deep Cycle GEL</p> <p style="text-align: center;">20-66 Kg</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: GC25 Peso: 30,4 Kg.
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: T875 29 Kg
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: US 8VGC 22 Kg
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: T125 30 Kg
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 24HT-80 Peso en seco: 17 Kg. Peso con ácido: 23 Kg. <p>Garantía: 2 años y 5 años decreciente (Total 7 años)</p> <p>Vida media: 10 años</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 27-GEL 29 Kg.
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: J305P 44 Kg.
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: L 16 XC 40Kg
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 27-THM 28 Kg
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 30XHS 30 Kg

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: AGM-24 34 Kg
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo 30H 125 Peso en seco: 27 Kg. Peso con ácido: 34 Kg. <p>Garantía: 2 años y 5 años decreciente (Total 7 años)</p> <p>Vida media: 10 años</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 9C12 57,6 Kg. <p>Garantía: 12 meses</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: T12-136 Peso en seco: 33 Kg. Peso con ácido: 41 Kg. <p>Garantía: 2 años y 5 años decreciente (Total 7 años)</p> <p>Vida media: 10 años</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 40PzS 23,3Kg. <p>Tipo de placa: Tubular Densidad del electrolito: 1.24Kg/L</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 370 Peso en seco: 5.1 Kg. Peso con ácido: 17.3 Kg.
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: IND-9 100 Kg. <p>2 años de garantía</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: 8D-AGM 76 Kg. <p>12 meses de garantía</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: Enersys TVS-4 Peso en seco:18,5Kg



Peso llenado: 27Kg

Volumen acido: 6,9L.

Garantía: 2 años + 1 año decreciente

El precio corresponde a 6 baterías de 2V.
Los elementos se entregan cargados húmedos con protecciones
y conexiones



- **Modelo: 50PzS**
29 Kg.



- **Modelo: 4 OPzS 200 LA**

Peso en seco:13 Kg

Peso llenado: 41 Kg



- **Modelo: Enersys TZS-16**
- **Referencia OPzS: 16 OPzS 2000**

Peso en seco:118,3 Kg

Peso llenado: 161 Kg




Volumen acido: 38,9 L.


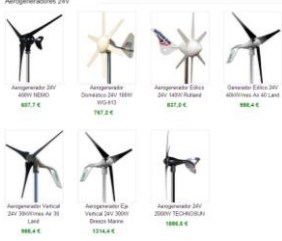


Garantía: 2 años + 1 año decreciente

Se encontrado que la venta del kit completo, que incluya los equipos como: el inversor, regulador, aerogenerador, paneles solares y baterías de energía están disponibles en el mercado, presentando un costo menor comprando estos elementos en conjunto en lugar de hacerlo de forma individual, algunos proveedores tiene esta opción de compra facilitando la elección del usuario de acuerdo al nivel de potencia deseada para la instalación. A continuación se despliegan algunos kit's o paquetes de dispositivos de generación y acumulación híbrida disponibles en el mercado.



KIT HIBRIDOS DISPONIBLES	NOMBRE	EQUIPOS	POTENCIA GENERADA KW	COSTOS EUROS	COSTOS PESO COLOMBIANO (\$) ¹²⁹
 <p>Ficha técnica en: https://autosolar.es/kits-solares/kit-solar-aislada/kit-solares-gel/kit-solar-fotovoltaico-aislada-4500w-24v_precio</p>	Kit Solar Fotovoltaico Aislada	Aerogenerador Inversor Batería Paneles Solares	4500 W 24V GEL	7996,3 €	20.239.115,08

¹²⁹ Tasa de Cambio de Moneda. Disponible en: http://www.colombia.com/cambio_moneda/
Fecha de cambio del 31 de Julio/2014

 <p>Ficha técnica en: https://autosolar.es/kits-solares/kit-solar-aislada/kits-solares-eolicos-hibridos/kit-solar-hibrido-eolico-3000w-24v_precio</p>	<p>Kit Solar Híbrido Eólico</p>	<p>Aerogenerador Inversor Batería Paneles Solares</p>	<p>3000 W 24V</p>	<p>5268,7 €</p>	<p>13.335.395,82</p>
 <p>Ficha técnica en: https://autosolar.es/kits-solares/kit-autoconsumo-bateria/kit-autoconsumo-80-kwh-mes-inversor-1500w_precio</p>	<p>Kit Autoconsumo</p>	<p>Inversor Batería Paneles Solares</p>	<p>39 kWh/mes Inversor 1500 W</p>	<p>2478,0 €</p>	<p>6.271.966,68</p>
 <p>Ficha técnica en: https://autosolar.es/kits-solares/kit-autoconsumo-bateria/kit-autoconsumo-39-kwh-mes-inversor-1500w_precio</p>	<p>Kit Autoconsumo</p>	<p>Inversor Batería Paneles Solares</p>	<p>80 kWh/mes Inversor 1500 W</p>	<p>2994,6 €</p>	<p>7.579.512,28</p>

 <p>Ficha técnica en: http://www.teknosolar.com/kit-hibrido-solar-eolico-3000w.html</p>	<p>Kit Híbrido Solar Eólico</p>	<p>Inversor Batería Paneles Solares</p>	<p>3000 W</p>	<p>€ 2.899 ,00</p>	<p>7.337. 542,94</p>
 <p>Ficha técnica en: https://autosolar.es/aerogeneradores/aerogeneradores-24v</p>	<p>Aerogeneradores 24V</p>	<p>Aerogenerador</p>		<p>607,7 - 1886, 6 €</p>	<p>1.538. 125,16 - 4.775. 097,8</p>
 <p>Ficha técnica en: http://www.merkasol.com/Kits-Solares-y-Eolicos/Coneccion-Aislada/Kit-Hibrido-Fotovoltaico-y-Aerogenerador</p>	<p>Kit Super Economico Eolico Fin de semana</p>	<p>Aerogenerador Inversor Batería Paneles Solares</p>	<p>19 kWh</p>	<p>1.391 ,50 €</p>	<p>3.521. 969,99</p>
 <p>Ficha técnica en: http://www.cambioenergetico.com/kit-energia-solar-</p>	<p>kit autoinstala ble solar eólico con aerogenerador</p>	<p>Aerogenerador Inversor Batería Paneles Solares</p>	<p>4260 W/DÍ A</p>	<p>3487, 69 €</p>	<p>8.827. 552,65</p>

autoinstalables/1211-kit-autoinstalable-solar-eolico-con-aerogenerador-de-4260-w-dia.html					
 <p>Ficha técnica en: http://www.cambioenergetico.com/kit-energia-solar-autoinstalables/459-kit-energia-solar-850-w-dia-vivienda-aislada.html</p>	<p>kit energía solar fotovoltaica autoinstalable</p>	<p>Aerogenerador Inversor Batería Paneles Solares</p>	<p>850 W/DÍA</p>	<p>895,99 €</p>	<p>2.267.804,45</p>
 <p>Ficha técnica en: http://www.merkasol.com/epages/62387086.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/62387086/Categories/22Kits%20Solares%20y%20Eolicos%22/Conexion+a+Red+Electrica</p>	<p>Kit Soladin</p>	<p>Aerogenerador Inversor Batería Paneles Solares</p>	<p>600+600W p en paneles</p>	<p>1.200,00 €</p>	<p>3.037.272,00</p>
	<p>Kits Solares Conexión Aislada</p>	<p>Aerogenerador Inversor Batería Paneles Solares</p>	<p>KIT 600W híbrido solar eólico</p>	<p>2.117,50 €</p>	<p>5.359.519,55</p>

<p>Ficha técnica en: http://www.merkasol.com/epages/62387086.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/62387086/Products/aisla019/SubProducts/aisla019-0006</p>					
 <p>Ficha técnica en: http://www.tutiendasolar.es/Catalogo-Kits-Hibridos-</p>	<p>Kit híbrido solar fotovoltaica y eólica</p>	<p>Aerogenerador Inversor Batería Paneles Solares</p>	<p>2kW diarios</p>	<p>1500.00 €</p>	<p>3.796.590,00</p>
 <p>Ficha técnica en: http://www.inovesolar.com/tienda/producto/kit-hibrido-solar-eolico-5-6-kwdia</p>	<p>Kit Híbrido Solar - Eólico Ico-Ge</p>	<p>Aerogenerador Inversor Batería Paneles Solares</p>	<p>5-6 Kw/día</p>	<p>2,972.70€</p>	<p>7.524.082,06</p>

ANEXO B

TABLA DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN



La etapa de la relación y el análisis costo-beneficio permitirá observar los factores que acarrearán la implementación de este proyecto en el sector residencial, mediante la comparación que se observa entre el consumo normal de energía y el que se efectúa mediante el uso de alternativas de generación y de sistemas de acumulación

RESUMEN EN PASOS DEL ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO		
I. Reunir datos provenientes de factores importantes relacionados con cada una de sus decisiones.	Recopilación de tecnologías disponibles de acumuladores de energía	
II. Requerimientos para implantar el proyecto y los beneficios que traerá el nuevo sistema	Requerimientos	Beneficios
	la vivienda que implante un sistema de generación no convencional y renovable, debe estar ubicada en un lugar donde la velocidad del viento sea tal que el aerogenerador opere (arranque) y a su vez debe tener un nivel de irradiación adecuado que facilite la expectativa de generación diaria y el almacenamiento continuo de energía	Económicos y ambientales, el primero debido a la reducción en la tarifa mensual del consumo de energía pública y ambiental evitando la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera
III. Costos relacionados con cada factor. Algunos costos como la mano de obra, serán exactos mientras que otros deberán ser estimados.	Ocasionados por la implementación del proyecto, en donde se incluye diseño, instalación, mano de obra y mantenimiento	
IV. Costos totales para cada	Varia dependiendo de la instalación eléctrica que se	

<p>decisión propuesta.</p>	<p>tenga y de los equipos en la misma que se quieran alimentar, puede estar entre \$2.500.000 hasta \$8.200.000</p>		
<p>V. Determinar los beneficios en alguna unidad económica para cada decisión.</p>	<p>Disminuye la tarifa a cancelar en la facturación mensual, al disminuir el consumo de energía proporcionada por la red. Permitiendo suplir la inversión inicial efectuada en la instalación eléctrica en poco tiempo.</p> <p>Ejemplo: Consumo mensual normal para un hogar estrato 4, es de 149KWh, a esta instalación se le añade sistema de generación eólica-fotovoltaica con acumuladores de energía, que diariamente generan 200Wh en un mes el sistema alternativo habrá generado aproximadamente 144KWh.</p>		
<p>VI. Cifras de los costos y beneficios totales en una forma de relación donde los beneficios son el numerador y los costos son el denominador.</p>	$BTotales = \frac{Beneficios}{Costos}$ $BTotales = \frac{144 KWh}{149 KWh} = 0,9664$		
<p>VII. Comparar las relaciones Beneficios a costos para las diferentes decisiones propuestas.</p>	<p>COSTO DE EQUIPOS</p>		
	<p>\$5.359.519,55</p> <p>Recupera la inversión en aproximadamente 6,5 años</p>	<p>\$3.796.590,00</p> <p>Recupera la inversión en aproximadamente 5 años</p>	<p>\$2.267.804,45</p> <p>Recupera la inversión en aproximadamente 3,5 a 4,5 años</p>
<p>VIII. Mejor solución, en términos financieros, es aquella con la relación más alta.</p>	<p>Para garantizar la suplencia a la inversión realizada es adecuado escoger los equipos del sistema de acuerdo a los elementos más importantes de la vivienda, a los cuales se les desee proporcionar directamente la energía generada o almacenada en las baterías. Esto con el fin de dimensionar adecuadamente la instalación y disminuir el tiempo de recuperación del costo inicial efectuado</p>		

ANEXO C

ARTÍCULOS E INFORMACIÓN RECOPIlada



El anexo D incluye la información que ha sido seleccionada, organizada y almacenada en un CD (agregado a la entrega en biblioteca de este proyecto), el cual presenta todo el material bibliográfico, de referencia y los catálogos acumulados, donde se han dividido en secciones de fácil localización, algunas de ellas independientes y otras que están vinculadas entre sí, formalizando y respaldando la presente de la investigación, como una ayuda que permite comprender en detalle aspectos específicos, que debido a su extensión y desenvolvimiento no ha sido conviene profundizar o mencionar entre contexto del proyecto. El material base o de referencia se ha incluido en la entrega de este proyecto de grado, como fundamento y respaldo al mismo, complementando los temas tratados.

Con esto se busca resaltar que para el proyecto de investigación desarrollado los anexos nunca deben ser relegados, ni agregados o referenciados de manera ambigua, como si no importasen; y por el contrario ellos son, muchas veces, un elemento enriquecedor de la temática fundamental de este texto, haciendo que la tesis de grado cobre mayor mérito y sea comprendido a profundidad, permitiendo más adelante ser objeto de sucesivas investigaciones.

El anexo 4 recopila y almacena en un CD, toda la información extra de textos y memorias sobre la temática de este proyecto. Debido al peso y a la cantidad de archivos encontrados durante el desarrollo del proyecto, se ha determinado el presentarla únicamente en el CD adjunto al trabajo (información adicional que debe entregarse a la Biblioteca de la Universidad Industrial de Santander), donde se contendrá todo este material, en carpetas claramente enumeradas y nombradas, que permitan un fácil y claro acceso de la información que estas dominan. En las cuales estarán presentes catálogos de proveedores, equipos e información apreciable a disponibilidad de aquel de así lo desee, a su vez en las referencias del proyecto se añade el nombre y sitio web, al que pueden acceder a los archivos sobre cada temática tratada y descrita.

ANEXO D

DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS SELECCIONADOS PARA LA INSTALACIÓN ESTIMADA



- **Panel Solar 300W a 24 Voltios marca Atersa:** Panel Solar marca Atersa, con 25 años de garantía, fabricado en silicio policristalino ofrece una gran fiabilidad en nuestro sistema fotovoltaico. Fabricado en España, este panel solar es capaz de proporcionar alrededor de 900W al día en invierno a nuestra instalación solar y prácticamente el doble en el verano. Tiene incluido un metro de cableado por cada polo (tanto el polo positivo como el negativo). Incorpora caja de conexiones por la parte trasera del panel solar. Este módulo fotovoltaico viene con un marco ensamblado de aluminio preparado para poder adaptar las grapas Hook que también incluidos en el kit.
-
- **1x Inversor Cargador + Regulador de Carga ATERSA QUADRO :** El inversor cargador de ATERSA QUADRO ofrece una solución muy útil para sistemas fotovoltaicos aislados, ya que permite integrar todos los componentes del sistema en un mismo aparato, que además incorpora una pantalla LCD que permitirá ver el estado de carga de las baterías, la tensión de las baterías, los amperios de carga a tiempo real de los paneles solares, los amperios de salida de las baterías a tiempo real, además de tener un pequeño dibujo en la misma pantalla que permitirá ver de qué manera está la energía saliendo, si directamente de las batería o si por defecto sañe de un generador de apoyo que podamos tener en la instalación solar. El inversor es senoidal de onda pura, el cargador de baterías tiene una carga máxima de 20A ade más de tener un Regulador de Carga de 50A
- **4x Baterías Estacionarias ROLLS de 530A:** La batería estacionaria ROLLS de 6V de 530Ah en C100 tienen una garantía de 2 años más 5 años de garantía prorrogable, especiales para energía solar, lo que quiere decir que aguantan muy bien descargas lentas pero profundas todos los días. Tienen una vida media de unos 1500 ciclos, entendiendo por un ciclo un

proceso de carga y descarga completa de la batería. Es muy recomendable que la batería no se descargue habitualmente más de un 30% de su capacidad total. De esta forma prolongaremos la vida útil de la batería y tendremos que cambiarlas más tarde. Los puentes de conexión de las baterías van incluidos con las mismas. Para conectar de manera correcta la batería estacionaria de 12V es uniendo las diferentes baterías unos con otros tal y como os adjuntaremos en el manual de instalación.

- **1xRegulador de Carga 60A Solar C60 Schneider:** El Regulador de Carga 60A de Schneider es un regulador muy fiable, con grandes aplicaciones en energía solar, hidroeléctrica y eólica, con opciones de ponerlos en paralelo o en serie varios de ellos, además de llevar protecciones contra la polaridad invertida, cortocircuitos o excesos de corriente. El regulador es configurable, a través de una llave que tiene en su interior, podemos configurar a qué voltaje queremos cortar la carga cuando las baterías estén bajas, también se puede configurar para cortar la carga cuando las baterías estén al 100%. Tiene una garantía de 2 años.
- **Display Regulador de carga Schneider Xantrex C60:** El display del regulador de carga de Schneider xantrex es muy recomendable para saber el estado actual de la instalación solar. Con él, se pueden verificar datos de gran importancia como la tensión a la que se encuentra la batería, los amperios que están entrando a tiempo real desde los paneles solares o por ejemplo el estado de la batería (batería baja, batería cargando a medio nivel, o batería cargada). Tan sólo debemos conectar la carátula del regulador sin display e instalar el display en el lugar más cómodo para su visualización. Tiene un alcance de 15 metros. Incorpora también un botón para resetear los valores de la instalación y volver a realizar los chequeos necesarios en caso de que esté dando valores poco habituales.

- **Aerogenerador 400W 24V:** El aerogenerador que lleva incluido el kit, presenta una potencia máxima de 400W 24V, perfecto para usarse como acompañamiento a un sistema solar fotovoltaico como éste. Tiene una garantía de 2 años y para poder instalarlo, sólo necesitamos conectarlo a las baterías, ya que viene con un regulador de carga incluido especial para el aerogenerador. Está fabricado en acero inoxidable y en aleaciones de fibra de carbono (las palas) para obtener la mayor eficiencia posible en casos de poco viento. Un aerogenerador tiene la ventaja de que puede cargar por la noche y así ayudar en la medida de lo posible a la instalación solar en las peores horas para los paneles solares (la noche).
- **4X Cables de Interconexión de las baterías:** Los cables de interconexión de las baterías son imprescindibles para poder realizar las conexiones entre las mismas en serie o en paralelo y así poder duplicar el amperaje de la batería o bien duplicar la tensión de las mismas. Son unos cables de 35mm de sección con recubrimiento de PVC que en los extremos llevan unos bornes de batería universales. Además contienen un franja de color diferenciado al del otro extremo para así poder saber a simple vista cuál es el polo correcto.
- **10 metros de cableado 6mm:** Incluidos en el kit solar 10 metros de cableado de 6mm para poder unir los paneles solares al regulador de carga. Se trata de cable unifilar de 6mm de sección con recubrimiento de PVC. Ver producto **10 metros de cableado 10mm:** Incluye en el kit solar 10 metros de cableado de 10mm para poder unir el regulador de carga con la batería. Se trata de cable unifilar de 10mm de sección con recubrimiento de PVC. Ver producto **5 metros de cableado 50mm:** Incluye en el kit solar 10 metros de cableado de 35mm para poder unir las baterías y el inversor. Se trata de cable unifilar de 50mm de sección con recubrimiento de PVC. Ver producto

- **Repartidor de Corriente LEGRAND 40A:** El repartidor de corriente LEGRAND de 40A es muy útil para evitar manejar una cantidad de cableado grande. Este repartidor de corriente, se instalará entre los paneles solares y el regulador de carga para unificar los cableados que vienen de los paneles mismos. Este repartidor de corriente es el encargado de agrupar los cables, consiguiendo así que tan sólo haya un cable para el polo + y otro cable para el polo -. Es muy importante que este repartidor de corriente esté cubierto del exterior para evitar daños ocasionados por el agua. El cable que salga del repartidor de corriente hasta el regulador de carga, será de 10mm de sección e irá directo al regulador de carga o MPPT. También incorpora la caja estanca para cubrir del exterior el repartidor.
- **Estructura para 6 paneles solares de 24V con inclinación a 30°:** Versión Disponible para 6 unidades de 280W-315W a 24V de la marca Atersa. Estructura para paneles solares tipo "V" 30°, hecho de acero galvanizado en caliente diseñado para soportar los cambios de temperatura. Entendemos que hay multitud de lugares donde instalar los paneles solares, es por ello, que si no es la estructura que buscan pueden ponerse en contacto con nosotros o buscar una solución más apropiada para su caso en la sección de estructuras para paneles solares. Su instalación es sobre suelo o terraza plana.