

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD**



**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN  
DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN LA ZONA NORTE  
COSTERA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI.**

**REALIZADO POR:**

**ROMERO OBELMEJIAS ADRIANA CAROLINA**

**C.I: 17.223.296**

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO ANTE LA UNIVERSIDAD DE  
ORIENTE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Puerto La Cruz, Octubre de 2009.

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE.  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI.  
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS.  
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD.**



**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN  
DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN LA ZONA NORTE  
COSTERA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI.**

**ASESORES:**

---

***Ing. Luis Suárez.***  
**Asesor Académico**

---

***Ing. Armando Mago.***  
**Asesor Industrial**

Puerto La Cruz, Octubre de 2009.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE.  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI.  
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS.  
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD.



**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN  
DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN LA ZONA NORTE  
COSTERA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI.**

**JURADO:**

**El jurado hace constar que asignó a esta tesis la calificación de:**

---

***Ing. Luís Suárez.***

**Asesor Académico**

---

***Ing. Verena Mercado.***

**Jurado Principal**

---

***Ing. Santiago Escalante.***

**Jurado Principal**

Puerto La Cruz, Octubre de 2009

## **RESOLUCIÓN**

De acuerdo con el Artículo 44 del Reglamento de Trabajos de Grado:

“Los Trabajos son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

## DEDICATORIA

Llegar a cumplir una meta en la vida, requiere de mucho esfuerzo, dedicación y sacrificio. Pero solo se logra cuando la persona recibe el mejor de los ejemplos, de los apoyos, el amor, la paciencia y el cariño de quienes les rodea, y todo esto lo obtuve de Uds. Las personas que más amo en la vida.

*Este logro es para ti Mami y para ti Papi.*

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, le doy gracias a Dios y a Maria Francia, ya que son los seres en los que más fe tengo. En segundo lugar, a mis padres *OSIRIS OBELMEJIAS* y *REGULO ROMERO*, por hacerme sentir tan orgullosa de tenerlos y por brindarme amor, pero sobre todo por regalarme la dicha de tener los mejores hermanos del mundo Saraih, Erika, José Javier, Regulo y Oriana.

A Uds. Hermanas (Saraih y Erika), por sus buenos consejos, ejemplos, y por traer a este mundo a las personitas más hermosas y sorprendentes, mis sobrinos, Michelle, Leonardo y Osiris Kamila.

También le doy gracias a mi pareja y amigo Jorge L. Armas, por tu amor, respeto, comprensión, apoyo, honestidad y paciencia.

Este agradecimiento estaría incompleto si no mencionaré a mis grandes amigas y compañeras de estudio, Victoria Guerra y Yasither Muñoz. Amigas gracias por sus sinceras amistades.

A todos mis profesores, por sus enseñanzas y guías académicas. Y por ultimo, pero no menos importante, a mi tutor académico, *Ing. LUIS SUÁREZ*, a mi tutor industrial, *Ing. ARMANDO MAGO*, y a dos personas que me brindaron su colaboración y apoyo al *Ing. GABRIEL IOLI* y a la *Ing. SONIA MARIN*.

A todos Uds. Muchas Gracias.

*Adriana Carolina Romero Obelmejias.*

## **RESUMEN**

En el presente Trabajo, se describen y analizan los conceptos de Generación Distribuida, las causas de su uso, los esquemas de operación, beneficios, y desventajas. Adicionalmente, se exponen las características más relevantes y los costos de las tecnologías más comerciales, para la aplicación de la Generación Distribuida en la zona norte costera del estado Anzoátegui, como son las celdas de combustible, la energía eólica, la energía solar, los motores recíprocos y las microturbinas, siendo estas dos últimas las más convenientes para su aplicación. Finalmente, se presenta un estudio técnico-económico, para la implantación de Generación Distribuida en la zona anteriormente mencionada, con el objetivo de proveer una posible solución a los problemas de calidad del servicio eléctrico que vive la sociedad del estado Anzoátegui.

# CONTENIDO.

	Pág.
RESOLUCIÓN .....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
RESUMEN .....	VII
CONTENIDO.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	XIV
INDICE DE TABLAS .....	XVIII
CAPÍTULO I.....	22
EL PROBLEMA .....	22
1.1 GRUPO CINCO CONSULTORES C.A.....	22
1.2.1 Clasificación.....	22
1.2.2 Visión.....	23
1.2.3 Misión.....	23
1.2.4 Valores.....	24
1.2.5 Organización.....	24
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	25
1.5 OBJETIVOS.....	26
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	26
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	27
1.7 ALCANCE.....	28
1.8 LIMITACIONES.....	28
1.9 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
1.9.1 Nivel de la investigación.....	29
1.9.2 Diseño de investigación.....	29
1.9.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	29
1.9.4 Técnicas de análisis de datos.....	30



<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>31</b>
<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>31</b>
2.1 ANTECEDENTES.....	31
2.2 SISTEMA DE INTERCONEXIÓN NACIONAL.....	32
2.3 GENERACIÓN DISTRIBUIDA (GD).....	37
2.3.1 <i>Clasificación de la generación distribuida.....</i>	39
2.3.2 <i>Usos.....</i>	39
2.3.3 <i>Ventajas de la Generación Distribuida.....</i>	41
2.3.4 <i>Desventajas de la Generación Distribuida.....</i>	43
2.3.5 <i>Generación Distribuida en Venezuela.....</i>	44
2.3.6 <i>Cogeneración.....</i>	47
2.3.6.1 <i>Producción de frío en plantas cogeneradoras.....</i>	48
2.3.6.2 <i>Ventajas de los sistemas de cogeneración.....</i>	49
2.3.6.3 <i>Usuarios Potenciales.....</i>	50
2.4 TECNOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....	51
2.4.1 <i>Microturbinas.....</i>	51
2.4.1.1 <i>Microturbinas de un solo eje.....</i>	52
2.4.1.2 <i>Microturbinas de dos ejes.....</i>	54
2.4.1.2.1 <i>Ventajas de una microturbina de ejes dobles.....</i>	55
2.4.2 <i>Motores de combustión interna (reciprocantes).....</i>	57
2.4.2.1 <i>Tipos de motores de combustión interna.....</i>	57
2.4.2.1.1 <i>Motor de ciclo Otto.....</i>	57
2.4.2.1.1.1 <i>Clasificación del motor Otto.....</i>	58
2.4.2.1.1.2 <i>Sistemas que constituyen un motor de ciclo Otto.....</i>	58
2.4.2.1.1.3 <i>División del motor.....</i>	59
2.4.2.1.2 <i>Motor Diesel.....</i>	59
2.4.2.1.2.1 <i>Clasificación del Motor Diesel.....</i>	59
2.4.2.1.2.2 <i>Ciclos de trabajo.....</i>	60
2.4.2.1.2.3 <i>Sistemas que constituyen un motor.....</i>	60
2.4.2.1.3 <i>Motores de dos tiempos.....</i>	61
2.4.2.1.3.1 <i>Ciclos del motor.....</i>	61
2.4.2.1.3.2 <i>Clasificación del motor.....</i>	62
2.4.2.1.3.3 <i>Sistemas que constituyen un motor de dos tiempos.....</i>	63
2.4.2.1.3.4 <i>Características del motor de dos tiempos.....</i>	63
2.4.2.1.4 <i>Motores de cuatro tiempos.....</i>	64
2.4.2.1.4.1 <i>Ciclo de un motor de cuatro tiempos.....</i>	64

2.4.2.1.5 Motores rotativos o Wankel .....	65
2.4.2.1.5.1 Clasificación del motor rotativo .....	66
2.4.2.1.5.2 Ciclo de trabajo de un motor rotativo .....	66
2.4.3 <i>Energías alternativas</i> .....	68
2.4.3.1 Energía eólica .....	68
2.4.3.1.1 ¿Cómo trabajan los aerogeneradores? .....	69
2.4.3.1.2 Tipos de aerogeneradores.....	70
2.4.3.1.2.1 Aerogeneradores con rotor de eje horizontal.....	71
2.4.3.1.2.2 Aerogeneradores con rotor de eje vertical.....	73
2.4.3.2 Energía solar .....	75
2.4.3.2.1 Energía fotovoltaica.....	76
2.4.3.2.2 Energía térmica solar.....	79
2.4.3.2.2.1 Colectores de placa plana .....	80
2.4.3.2.2.2 Colectores de concentración .....	82
2.4.4 <i>Celdas de combustible</i> .....	83
2.4.4.1 Tipos de celdas de combustible .....	84
2.4.4.1.1 Celda de combustible de polímero sólido (PEM).....	85
2.4.4.1.1.1 Desempeño de las PEM .....	86
2.4.4.1.2 Celda de combustible de ácido fosfórico (PAFC).....	89
2.4.4.1.2.1 Desempeño de las PAFC .....	91
2.4.4.1.3 Celda de combustible de carbonato fundido (MCFC).....	92
2.4.4.1.3.1 Desempeño de las MCFC.....	94
2.4.4.1.3.2 Reformas internas.....	96
2.4.4.1.4 Celdas de combustible de oxido sólido (SOFC).....	97
2.4.4.1.4.1 Diseño tubular SOFC.....	98
2.4.4.1.4.2 Diseño plano de la SOFC .....	100
2.4.4.1.4.3 Desempeño de las SOFC .....	105
2.4.4.1.5 Celda de combustible de metanol directo (DMFC).....	106
2.4.4.1.5.1 Limitaciones cinéticas .....	107
2.4.4.1.5.2 Cinética del electrodo y la reacción del ánodo.....	108
2.4.4.1.6 Celda de combustible alcalinas (AFC).....	111
2.4.4.1.6.1 Desempeño de las AFC.....	114
2.5 CONFIGURACIÓN DE LAS INTERCONEXIONES ELÉCTRICAS DE LA GD.....	115
2.6 MARCO LEGAL QUE RIGE EL USO DE GD EN VENEZUELA .....	118
2.6.1 <i>Ley Orgánica del Servicio Eléctrico (L.O.S.E)</i> .....	118

<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>121</b>
<b>CONSUMIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA ZONA NORTE COSTERA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI. ....</b>	<b>121</b>
3.1 GRANDES CONSUMIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA ZONA NORTE COSTERA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI. ....	121
<b>CAPÍTULO IV. ....</b>	<b>126</b>
<b>ASPECTOS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS TECNOLOGÍAS PARA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....</b>	<b>126</b>
4.1 CARACTERISTICAS TÉCNICOS - ECONÓMICOS DE LAS MICROTURBINAS. ....	126
4.1.1 <i>Microturbinas de un eje.</i> .....	127
4.1.1.1 Combustible de una Microturbina de un solo eje.....	128
4.1.1.2 Aspectos de diseño de una microturbina de un solo eje. ....	129
4.1.1.3 Costos asociados a las microturbinas. ....	129
4.1.1.4 Eficiencia de la Microturbina. ....	130
4.1.1.4.1 Eficiencia- Costo.....	131
4.1.1.5 Ventajas de una Microturbina de un solo eje. ....	132
4.1.1.6 Desventajas de una Microturbina de un solo eje.....	133
4.1.2 <i>Microturbinas de dos ejes.</i> ....	133
4.1.2.1 Fabricantes de microturbinas de dos ejes. ....	133
4.2 MOTORES RECIPROCANTES. ....	135
4.2.1 <i>Clasificación de los motores reciprocantes.</i> .....	135
4.2.2 <i>Aplicaciones de los motores reciprocantes.</i> .....	136
4.2.3 <i>Combustibles para motores reciprocantes.</i> ....	136
4.2.4 <i>Eficiencia de los motores reciprocantes.</i> ....	137
4.2.5 <i>Emisiones contaminantes de los motores reciprocantes.</i> .....	137
4.2.6 <i>Características técnicas.</i> .....	138
4.2.7 <i>Costos.</i> .....	139
4.2.8 <i>Fabricantes.</i> .....	140
4.3 CARACTERISTICAS TÉCNICO – ECONOMICOS DE LA ENERGÍA EÓLICA. ....	141
4.3.1 <i>Especificaciones técnicas de los aerogeneradores.</i> .....	142
4.3.2 <i>Mercado de aerogeneradores en la industria eólica.</i> .....	144

4.3.3 Costos para la aplicación de energía eólica.....	144
4.3.3.1 Costos de operación y mantenimiento.....	147
4.4 CARACTERISTICAS TÉCNICO – ECONOMICAS DE LA ENERGIA SOLAR.....	149
4.4.1 Diseños de celdas fotovoltaicas.....	152
4.4.1.2 Eficiencia de los paneles fotovoltaicos.....	153
4.4.1.3. Costos de sistemas fotovoltaicos.....	153
4.4.1.4 Fortalezas de los sistemas fotovoltaicos.....	154
4.4.1.5 Debilidades de los sistemas fotovoltaicos.....	154
4.5 CARACTERISTICAS TÉCNICO – ECONOMICAS DE LAS CELDAS DE COMBUSTIBLE.....	155
4.5.1 Aspectos Técnicos.....	155
4.5.1.1. Celdas de combustible de ácido fosfórico (PAFC).....	155
4.5.1.2 Celdas de combustible de carbonato fundido (MCFC).....	156
4.5.1.3 Celdas de combustible de oxido solido (SOFC).....	157
4.5.1.4 Celdas de combustible de membrana de intercambio protónico (PEM).....	158
4.5.1.5 Celdas de combustible alcalinas (AFC).....	159
4.5.1.6 Celdas de combustible de metanol directo (DMFC).....	160
4.5.2 Aspectos económicos.....	161
4.6 RESUMEN DE LOS ASPECTOS TÉCNICOS Y ECONÓMICAS DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....	163
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>165</b>
<b>ESTUDIO FACTIBLE PARA LA APLICACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....</b>	<b>165</b>
5.1 GENERALIDADES.....	165
5.2 FACTIBILIDAD TÉCNICO–ECONÓMICA PARA LA IMPLANTACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL GRUPO A.....	166
5.2.1 Generación distribuida aplicada al Conjunto Residencial Sun Way Village, a través de un motor reciprocante.....	168
5.2.2 Generación distribuida aplicada al Conjunto Residencial Sun Way Village, a través de una microturbina.....	169
5.2.3 Costos de la red Vs. Costos de tecnologías aplicada al Conjunto Residencial Sun Way Village.....	170
5.2.4 Factibilidad técnico-económica para la implantación de generación distribuida en la Residencia Mochima.....	173

5.2.4.1 Generación distribuida aplicada al Edificio Residencial Mochima, a través de un motor recíprocante. ....	173
5.2.4.2 Generación distribuida aplicada al Edificio Residencial Mochima, a través de una microturbina.....	174
5.2.4.3 Costos de la red Vs. Costos de tecnologías aplicada al Edificio Residencial MOCHIMA. ....	175
5.3 FACTIBILIDAD TÉCNICO–ECONÓMICA PARA LA IMPLANTACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL GRUPO B.....	177
5.3.1 <i>Generación distribuida aplicada al comercio a través de un motor recíprocante.</i> .....	180
5.3.2 <i>Generación distribuida aplicada al comercio a través de una microturbina.</i> .....	182
5.4 FACTIBILIDAD TÉCNICO–ECONÓMICA PARA LA IMPLANTACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL GRUPO C.....	185
5.4.1 <i>Generación distribuida aplicada a la industria a través de un motor recíprocante.</i> .....	186
5.4.2 <i>Generación distribuida aplicada a la industria a través de una microturbina.</i> .....	189
<b>CONCLUSIONES.</b> .....	<b>193</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b> .....	<b>198</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>202</b>
<b>METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:</b> .....	<b>221</b>

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL.....	35
FUENTE: OPSIS.....	35
FIGURA 2. 1. EJEMPLO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA NO CONVENCIONAL, BASADA EN AEROGENERADORES (ENERGÍA EÓLICA). <sup>[5]</sup> .....	38
FIGURA 2.2. EJEMPLO DE COGENERACIÓN. <sup>[6]</sup> .....	47
FIGURA 2.3.FUNCIONAMIENTO DE UNA MICROTURBINA. <sup>[7]</sup> .....	51
FIGURA 2.4. ESQUEMA DE UNA MICROTURBINA. <sup>[8]</sup> .....	53
FIGURA 2.5. ARREGLO DE UNA MICROTURBINA. <sup>[8]</sup> .....	53
FIGURA 2.6. DIAGRAMA DE UNA MICROTURBINA DE EJE PARTIDO. <sup>[8]</sup> .....	55
FIGURA 2. 7. CICLOS DE UN MOTOR DE DOS TIEMPOS. <sup>[9]</sup> .....	62
FIGURA 2.8. CICLOS DE UN MOTOR DE CUATRO TIEMPOS. <sup>[9]</sup> .....	64
FIGURA 2.9. PARTES DE UN MOTOR ROTATIVO. <sup>[9]</sup> .....	67
FIGURA 2.10. AEROGENERADOR <sup>[3]</sup> .....	69
FIGURA 2.11. PARTES DE UN AEROGENERADOR. <sup>[3]</sup> .....	70
FIGURA 2.12. (A) AEROGENERADOR CON ROTOR DE EJE HORIZONTAL.....	71
(B) AEROGENERADOR CON ROTOR DE EJE VERTICAL. <sup>[3]</sup> .....	71
FIGURA 2.13. AEROGENERADOR TIPO DARRIEUS. <sup>[3]</sup> .....	74
FIGURA 2.14. AEROGENERADOR TIPO SAVONIUS. <sup>[3]</sup> .....	75
FIGURA 2.15. FUNCIONAMIENTO DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA. <sup>[12]</sup> .....	78
FIGURA 2.16. FUNCIONAMIENTO DE UNA PLACA COLECTORA. <sup>[14]</sup> .....	82
FIGURA 2.17. PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE. <sup>[15]</sup> .....	84
FIGURA 2.18. ESQUEMA DE UN ENSAMBLAJE ELECTRODO MEMBRANA (EEM), BASADO EN CAPAS DE CATALIZADOR, CAPA DE DIFUSIÓN DE GAS Y MEMBRANA DE INTERCAMBIO PROTÓNICO. <sup>[2]</sup> .....	86

<b>FIGURA 2.19. CURVA TÍPICA DE CORRIENTE/VOLTAJE DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE.</b> <sup>[2]</sup> .....	<b>88</b>
<b>FIGURA 2. 20. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE DE ÁCIDO FOSFÓRICO.</b> <sup>[2]</sup> .....	<b>91</b>
<b>FIGURA 2.21. CONFIGURACIÓN DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE DE CARBONATO FUNDIDO.</b> <sup>[2]</sup> .....	<b>93</b>
<b>FIGURA 2.22. EL EFECTO DE LA COMPOSICIÓN DEL GAS OXIDANTE EN LA ACTUACIÓN DEL CÁTODO DE LAS MCFC A 650°C, (CURVA 1; 12,6% DE O<sub>2</sub>, 18,4% DE CO<sub>2</sub> Y 69% DE N<sub>2</sub>; CURVA 2; 33% DE O<sub>2</sub>, 67% DE CO<sub>2</sub>).</b> <sup>[2]</sup> .....	<b>95</b>
<b>FIGURA 2.23. IIR/DIR CONCEPTO DE OPERACIÓN, DISEÑO DE LA CELDA DE COMBUSTIBLE DE CARBONATO FUNDIDO.</b> <sup>[2]</sup> .....	<b>97</b>
<b>FIGURA 2.24. ARREGLOS ESQUEMÁTICOS DE TUBOS EN UNA PLANTA DE ENERGÍA.</b> <sup>[2]</sup> .....	<b>99</b>
<b>FIGURA 2.25. SELLO DE TUBOS EN UNA CELDA DE COMBUSTIBLE SOFC (SIEMENS WESTINGHOUSE).</b> <sup>[2]</sup> .....	<b>99</b>
<b>FIGURA 2. 26. (A) CORTE TRANSVERSAL DE UNA SIEMENS-WESTINGHOUSE CON ELECTRODO DE AIRE SOPORTADO, TUBOS INTERCONECTADOS CON FILAMENTO DE NÍQUEL. (B) CORTE TRANSVERSAL DEL TUBO APLANADO SIEMENS-WESTINGHOUSE, NUEVO DISEÑO DE ALTA DENSIDAD DE PODER.</b> <sup>[2]</sup> .....	<b>100</b>
<b>FIGURA 2.27. CELDA ELECTROLITO SOPORTADO Y CELDA ÁNODO SOPORTADO.</b> <sup>[2]</sup> .....	<b>101</b>
<b>FIGURA 2.28. SOFC PLANA CON UNA CONFIGURACIÓN DE STACK DE FLUJOS CRUZADOS.</b> <sup>[2]</sup> .....	<b>103</b>
<b>FIGURA 2.29. STACK DE UNA SOFC PLANA.</b> <sup>[2]</sup> .....	<b>104</b>
<b>FIGURA 2.30. ESQUEMA DE UNA DMFC QUE EMPLEA UNA MEMBRANA ELECTROLITO DE POLÍMERO SÓLIDO ACIDO.</b> <sup>[2]</sup> .....	<b>106</b>
<b>FIGURA 2.31. ANÁLISIS DEL ÁNODO, CÁTODO Y PÉRDIDAS EN EL DESEMPEÑO RELACIONADAS CON EL ELECTROLITO DE UNA DMFC.</b> <sup>[2]</sup> .....	<b>108</b>
<b>FIGURA 2.32. MECANISMO DE ELECTROADSORCIÓN DEL METANOL EN H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> EN SUPERFICIES DE PT PURO.</b> <sup>[2]</sup> .....	<b>111</b>

<b>FIGURA 2.33. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE ALCALINA H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> DE ELECTROLITO ESTÁTICO. <sup>[2]</sup></b> .....	<b>114</b>
<b>FIGURA 2.34. CAMBIOS EVOLUTIVOS DEL DESEMPEÑO DE LAS AFC. <sup>[2]</sup></b> .....	<b>115</b>
<b>FIGURA 3.1 CONSUMO DE ENERGÍA EN EL MUNICIPIO BOLÍVAR. (SEGÚN PERSONAL DE CADAFE).</b> .....	<b>122</b>
<b>FIGURA 3.2. CONSUMO DE ENERGÍA EN EL MUNICIPIO SOTILLO. (SEGÚN PERSONAL DE CADAFE)</b> .....	<b>122</b>
<b>FIGURA 3.3. CONSUMO DE ENERGÍA EN EL MUNICIPIO URBANEJA. (SEGÚN PERSONAL DE CADAFE)</b> .....	<b>123</b>
<b>FIGURA 3.4. CONSUMO DE ENERGÍA EN EL MUNICIPIO GUANTA. (SEGÚN PERSONAL DE CADAFE)</b> .....	<b>123</b>
<b>FIGURA 3.5 PROYECCIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA ZONA NORTE COSTERA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI. (SEGÚN UN INCREMENTO INTERANUAL DEL 4,6%).FUENTE: REALIZACIÓN PROPIA.</b> .....	<b>125</b>
<b>FIGURA 4.1. CONFIGURACIÓN DE UNA MICROTURBINA DE UN SOLO EJE, FABRICADO POR LA EMPRESA CAPSTONE. <sup>[8]</sup></b> .....	<b>127</b>
<b>FIGURA 4.2. RENDIMIENTO DE LAS MICROTURBINAS A CORTO PLAZO, SEGÚN ANÁLISIS ADL. <sup>[19]</sup></b> .....	<b>134</b>
<b>FIGURA 4.3. COSTOS DE INSTALACIÓN DE LAS MICROTURBINAS A CORTO PLAZO, SEGÚN ANÁLISIS ADL. <sup>[19]</sup></b> .....	<b>134</b>
<b>FIGURA 4.4. COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS MICROTURBINAS A CORTO PLAZO, SEGÚN ANÁLISIS ADL. <sup>[19]</sup></b> .....	<b>134</b>
<b>FIGURA 4.5. MAPA EÓLICO DE VENEZUELA A 50 M DE ALTURAS. FUENTE: NASA SURFACE METEROLOGY AND SOLAR ENERGY. <sup>[21]</sup></b> .....	<b>142</b>
<b>FIGURA 4.6. COSTO TOTAL DE INVERSIÓN, INCLUYENDO FUNDACIÓN DEL AEROGENERADOR, CONEXIÓN A LA RED, ETC. <sup>[22]</sup></b> .....	<b>147</b>
<b>FIGURA 4.7. COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE AEROGENERADORES CON DISTINTAS CAPACIDADES DE GENERACIÓN. <sup>[22]</sup></b> .....	<b>148</b>
<b>FIGURA 4.8. COSTO DE ELECTRICIDAD VS. VELOCIDAD DEL VIENTO. <sup>[23]</sup></b> .....	<b>148</b>



**FIGURA 4.9. COLECTOR PARABÓLICO. <sup>[24]</sup> ..... 149**

**FIGURA 4.10. TORRE SOLAR USADA EN EL PROYECTO SOLAR TWO, CALIFORNIA,  
ESTADOS UNIDOS. <sup>[24]</sup> ..... 151**

**FIGURA 4.11. PLANTA SOLAR TÉRMICA, CON DISCOS PARABÓLICOS. <sup>[24]</sup> ..... 151**

**FIGURA 4.12. COSTOS DE INSTALACIÓN. <sup>[19]</sup> ..... 162**

**FIGURA 4.13. COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. <sup>[19]</sup> ..... 162**

## INDICE DE TABLAS

TABLA 2.1. CONFIGURACIONES DE MICROTURBINAS. <sup>[8]</sup> .....	54
TABLA 2.2. CONFIGURACIONES TÍPICAS DE INTERCONEXIONES ELÉCTRICAS DE LA GD. <sup>[16]</sup> .....	116
TABLA 3.1. CONSUMO DE ENERGÍA EN LA ZONA NORTE COSTERA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI. FUENTE: PERSONAL DE CADAFE. ....	121
TABLA 3.2. TIPO DE CONSUMIDORES Y TOTAL DE ENERGÍA CONSUMIDA EN KWH/MES EN LA ZONA NORTE COSTERA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI. (SEGÚN PERSONAL DE CADAFE) .....	124
TABLA 4.1. CARACTERÍSTICAS DE MICROTURBINAS DE UN SOLO EJE FABRICADAS POR CAPSTONE, ELLIOT Y HONEYWELL. <sup>[8]</sup> .....	127
TABLA 4.2. COSTOS ANUALES ASOCIADOS A UNA MICROTURBINA. <sup>[8]</sup> .....	129
TABLA 4.3. DISTRIBUCIÓN DE COSTOS EN UNA MICROTURBINA. <sup>[8]</sup> .....	130
TABLA.4.4. EFICIENCIA DE LA MICROTURBINA. <sup>[8]</sup> .....	130
TABLA 4.5. EFICIENCIA DE LA MICROTURBINA, SEGÚN LAS EMPRESAS CAPSTONE, ELLIOT Y HONEYWELL. <sup>[8]</sup> .....	131
TABLA 4.6. CARACTERÍSTICAS DE RENDIMIENTO Y COSTOS DE SISTEMAS DE MICROTURBINAS. 1: CAPSTONE MODELO 330-30KW, 2: IR ENERGY SYSTEM 70LM-70KW (DOS EJES), 3: TURBEC T100-100KW, 4:DTE MODELO ACTUALMENTE EN DESARROLLO-350 KW. <sup>[8]</sup> .....	131
TABLA 4.7. NIVELES DE EMISIÓN CONTAMINANTES DE MOTORES RECIPROCANTES TÍPICOS- <sup>[20]</sup> .....	138
TABLA 4.8. DESCENSO DEL COSTO DE CAPITAL CON INCREMENTO EN LA VELOCIDAD DE LA MÁQUINA. <sup>[20]</sup> .....	139
TABLA 4.9. COSTO DE CAPITAL Y MANTENIMIENTO DE DIFERENTES TAMAÑOS Y COMBUSTIBLES. <sup>[20]</sup> .....	140
TABLA 4.10. CARACTERÍSTICAS DEL VIENTO Y ALTURA EN PROYECTOS DE PARQUES EÓLICOS EN VENEZUELA. <sup>[21]</sup> .....	141

<b>TABLA 4.11. PRINCIPALES CARACTERÍSTICA TÉCNICAS DE LOS AEROGENERADORES.</b> <sup>[3]</sup> .....	<b>143</b>
<b>TABLA 4.12. DISTRIBUCIÓN DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN DE UN PROYECTO DE GENERACIÓN EÓLICA.</b> <sup>[3]</sup> .....	<b>146</b>
<b>TABLA 4.13. TORRES SOLARES INSTALADAS EN EL MUNDO.</b> <sup>[24]</sup> .....	<b>150</b>
<b>TABLA 4.14. EFICIENCIA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.</b> <sup>[24]</sup> .....	<b>153</b>
<b>TABLA 4.15. ÍNDICE DE PRECIOS DE SISTEMAS COMERCIALES SOLARES FV.</b> <sup>[24]</sup> .....	<b>153</b>
<b>TABLA 4.16. RESUMEN TÉCNICO DE LAS PAFC.</b> <sup>[25]</sup> .....	<b>156</b>
<b>TABLA 4.17. RESUMEN TÉCNICO DE LAS MCFC.</b> <sup>[25]</sup> .....	<b>157</b>
<b>TABLA 4.18. RESUMEN TÉCNICO DE LAS SOFC.</b> <sup>[25]</sup> .....	<b>158</b>
<b>TABLA 4.19. RESUMEN TÉCNICO DE LAS PEM.</b> <sup>[25]</sup> .....	<b>159</b>
<b>TABLA 4.20. RESUMEN TÉCNICO DE LAS AFC.</b> <sup>[25]</sup> .....	<b>160</b>
<b>TABLA 4.21. RESUMEN TÉCNICO DE LAS DMFC.</b> <sup>[25]</sup> .....	<b>161</b>
<b>TABLA 4.22 RESUMEN DE LAS APLICACIONES Y ASPECTOS TÉCNICOS-ECONÓMICOS DE LAS TECNOLOGÍAS PARA GD. FUENTE: REALIZACIÓN PROPIA.</b> .....	<b>163</b>
<b>TABLA 5.1 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS TÉCNICO-ECONÓMICAS DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA APLICACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL GRUPO A.</b> .....	<b>167</b>
<b>TABLA 5.2. COSTOS DEL MOTOR CUMMINS, MODELO DFCC, USADO COMO SISTEMAS DE AUTOGENERACIÓN. FUENTE: REALIZACIÓN PROPIA.</b> .....	<b>169</b>
<b>TABLA 5.3 COSTO TOTAL CONJUNTO DE MICROTURBINAS CAPSTONE, MODELO C65 Y C200, USADOS COMO SISTEMAS DE AUTOGENERACIÓN. FUENTE: REALIZACIÓN PROPIA.</b> .....	<b>170</b>
<b>TABLA 5.4 COSTOS DE LA RED VS. COSTOS DE TECNOLOGÍAS. FUENTE: REALIZACIÓN PROPIA.</b> .....	<b>171</b>
<b>TABLA 5.5 VALOR PRESENTE NETO DE UN MOTOR RECIPROCANTE, APLICADO PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL CONJUNTO RESIDENCIAL SUN WAY VILLAGE. FUENTE: REALIZACIÓN PROPIA.</b> .....	<b>172</b>

<b>TABLA 5.6 VALOR PRESENTE NETO DE UNA MICROTURBINA, APLICADA PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL CONJUNTO RESIDENCIAL SUN WAY VILLAGE. FUENTE: REALIZACIÓN PROPIA.</b>	<b>172</b>
<b>TABLA 5.7. COSTOS DEL MOTOR CUMMINS, MODELO DGFA, USADO COMO SISTEMAS DE AUTOGENERACIÓN. FUENTE: REALIZACIÓN PROPIA.</b>	<b>174</b>
<b>TABLA 5.8 COSTO TOTAL DEL CONJUNTO DE MICROTURBINAS CAPSTONE, MODELO C65, USADOS COMO SISTEMAS DE AUTOGENERACIÓN. FUENTE: REALIZACIÓN PROPIA.</b>	<b>175</b>
<b>TABLA 5.9 COSTOS DE LA RED VS. COSTOS DE TECNOLOGÍAS. FUENTE: REALIZACIÓN PROPIA.</b>	<b>176</b>
<b>TABLA 5.10 VALOR PRESENTE NETO DE UN MOTOR RECIPROCANTE, APLICADO PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL EDIFICIO RESIDENCIAL MOCHIMA. FUENTE: REALIZACIÓN PROPIA.</b>	<b>177</b>
<b>TABLA 5.11 VALOR PRESENTE NETO DE UNA MICROTURBINA, APLICADA PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL EDIFICIO RESIDENCIAL MOCHIMA. FUENTE: REALIZACIÓN PROPIA.</b>	<b>177</b>
<b>TABLA 5.12 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PANADERÍA SERVICE PLAZA C.A, CON EL USO DE LA RED ELÉCTRICA NACIONAL. (INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL PERSONAL DEL COMERCIO). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.</b>	<b>179</b>
<b>TABLA 5.13 ESTUDIO ECONÓMICO APLICADO A LA PANADERÍA SERVICE PLAZA C.A CON EL USO DE MOTOR RECIPROCANTE PARA AUTOGENERAR ELECTRICIDAD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.</b>	<b>180</b>
<b>TABLA 5.14. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA CON EL USO DEL MOTOR RECIPROCANTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.</b>	<b>182</b>
<b>TABLA 5.15. ESTUDIO ECONÓMICO APLICADO A LA PANADERÍA SERVICE PLAZA C.A CON EL USO DE UNA MICROTURBINA PARA AUTOGENERAR ELECTRICIDAD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.</b>	<b>183</b>
<b>TABLA 5.16. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA CON EL USO DE LA MICROTURBINA C65. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.</b>	<b>184</b>

<b>TABLA 5.17 CUADRO COMPARATIVO ENTRE LOS RESULTADOS ECONÓMICOS DEL MOTOR PERKINS Y LA MICROTURBINA CAPSTONE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....</b>	<b>184</b>
<b>TABLA 5.18 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA FABRICA DE HIELO ORIENTE C.A, CON EL USO DE LA RED ELÉCTRICA NACIONAL. (INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL PERSONAL DEL COMERCIO). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....</b>	<b>186</b>
<b>TABLA 5.19. ESTUDIO ECONÓMICO APLICADO A LA FABRICA DE HIELO ORIENTE C.A CON EL USO DE MOTOR RECIPROCANTE PARA AUTOGENERAR ELECTRICIDAD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....</b>	<b>188</b>
<b>TABLA 5.20. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA CON EL USO DEL MOTOR RECIPROCANTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....</b>	<b>189</b>
<b>TABLA 5.21. ESTUDIO ECONÓMICO APLICADO A LA FABRICA DE HIELO ORIENTE C.A CON EL USO DE UNA MICROTURBINA PARA AUTOGENERAR ELECTRICIDAD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....</b>	<b>190</b>
<b>TABLA 5.22. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA CON EL USO DE LA MICROTURBINA C600. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....</b>	<b>191</b>
<b>TABLA 5.23, CUADRO COMPARATIVO ENTRE LOS RESULTADOS ECONÓMICOS DEL MOTOR GE JENBACHER Y LA MICROTURBINA CAPSTONE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....</b>	<b>192</b>

# **CAPÍTULO I.**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 GRUPO CINCO CONSULTORES C.A.**

GRUPO CINCO CONSULTORES C. A. es una pequeña empresa creada en febrero del 2005 con sede en Caracas, con actividades en Lecherías y Puerto La Cruz, dedicada a la ingeniería de consulta e inspección de obras, con énfasis en el área de la energía. Desde su creación ha desarrollado más de 20 proyectos de diversa naturaleza para los sectores público y privado. Entre sus principales clientes se encuentran consultoras de prestigio como VEPICA y GEOHIDRA, quienes subcontratan los servicios de Grupo Cinco Consultores para complementar su fuerza de trabajo en los periodos pico, confiados en la calidad de los productos elaborados y la eficiencia en el tiempo de respuesta, específicamente en proyectos de desarrollo de facilidades de transporte, almacenamiento y distribución de crudo y gas.

#### **1.2.1 Clasificación.**

De acuerdo al decreto N° 1547 del 09-11-2001 relativo a la Ley de Promoción y Desarrollo de la Pequeña y Mediana Industria (PYMI) (no existe definición para empresas de servicios profesionales), en su artículo 3 se define lo siguiente:

“En tal sentido, por analogía, la empresa de servicios profesionales GRUPO CINCO CONSULTORES C. A. se ubica dentro de la categoría de

“Pequeña Empresa”, al estar conformada actualmente por un plantel de empleados permanentes de 12 personas, entre profesionales y técnicos y un equipo de proveedores no permanentes de alrededor de 15 profesionales adicionales que nos realizan actividades especializadas a tiempo parcial. Adicionalmente nuestras ventas se ubicaron alrededor de las 29.000 UT en el año 2006”.

### **1.2.2 Visión.**

Hacer realidad la visión de sus clientes, mediante la participación proactiva de la gente y la integración de la cadena de suministros, generando valor en la ejecución de proyectos de inversión y la gerencia de activos.

### **1.2.3 Misión.**

Ser reconocida como:

La empresa líder en el país, ampliando nuestros mercados en la búsqueda de la globalización de nuestros servicios de ingeniería, procura, construcción, tecnología, operación y mantenimiento. Con una sólida capacidad financiera para aumentar la participación en proyectos de gran escala.

Una escuela tecnológica de clase mundial para que nuestra gente se forme y constituya a transformar a Venezuela en el nuevo centro prestador de servicios petroleros para el mundo.

Una empresa formada por un grupo de profesionales con cultura corporativa sustentada en la interdependencia, el sentido comercial, la

participación en la toma de decisiones y el compromiso con valores de conciencia comunitaria y el desarrollo del país.

#### **1.2.4 Valores.**

- ✧ Integridad. Nuestras tareas y responsabilidades con honorabilidad y honestidad, respetando los principios éticos del medio donde nos desenvolvemos.
- ✧ Interdependencia. Valoramos el esfuerzo en equipo para el logro de objetivos y metas comunes.
- ✧ Profesionalismo. Reconocemos en cada uno de nuestros colaboradores la excelencia y el valor agregado en el ejercicio de sus funciones.
- ✧ Creatividad e Innovación. Reconocemos y promovemos la capacidad creativa de nuestros colaboradores.

#### **1.2.5 Organización.**

Grupo Cinco Consultores es una empresa dedicada a la ingeniería de consulta, para lo cual posee una organización flexible que se adapta a los requerimientos de los proyectos en desarrollo en un determinado momento. La empresa está orientada al desarrollo de la ingeniería conceptual, básica y de detalles, así como a la inspección de obras en proyectos de energía, es decir, electricidad, petróleo y gas natural. Para ello está conformada por un equipo de profesionales multidisciplinario, con vasta experiencia en el desarrollo de este tipo de proyectos.



#### 1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El estado Anzoátegui se localiza en el oriente del país, entre las coordenadas 07°40`16", 10°15`36" de latitud Norte y 62°41`05", 65°43`09" de longitud Oeste, limita al Norte con el Mar Caribe, al Este con los Estados Sucre y Monagas, al Oeste con los Estados Guárico y Miranda y al Sur con el río Orinoco, que lo separa del Estado Bolívar. Ocupa una superficie de 43.300 km<sup>2</sup>; que representa el 4.7% del territorio nacional siendo el séptimo estado con mayor superficie del país. La localización del estado, le confiere una gran importancia estratégica para el desarrollo y defensa del país, como condiciones geopolíticas de primer orden. Ocupa una posición de cruce de caminos con el Oriente y Sur del país, teniendo como salidas expeditas, tanto el Orinoco como el Mar Caribe, por su condición única de limitar con ambos elementos hidrográficos.

La zona norte costera del estado Anzoátegui está conformada por los siguientes municipios: Municipio Bolívar, Municipio Urbaneja, Municipio Sotillo y el Municipio de Guanta. Los servicios eléctricos en dicha área son deficientes, en consecuencia arroja muchas pérdidas desde el punto de vista económico a diversos sectores de la comunidad, como por ejemplo comercios, industrias, agropecuarias, residentes, instituciones tanto educativas como de salud, por lo que urge buscar alternativas que contribuyan a la solución de la situación planteada. Una opción con un buen margen de confiabilidad para la solución a dicho problema, podría ser la generación distribuida.

La generación distribuida, consiste en la producción de energía eléctrica a pequeña escala (menor de 10 MW.), lo más cercano al centro de consumo, con la opción de interactuar con la red eléctrica o trabajar aisladamente.

Esto se puede lograr con el uso de tecnologías disponibles para tal fin, como son: microturbinas, motores reciprocantes, energías alternativas (eólica y solar) y celdas de combustible.

En definitiva, el alcance de este estudio es implementar sistemas de generación distribuida menores de 5 MW, y autogeneración hasta 2 MW en la zona norte costera del estado Anzoátegui, analizando la factibilidad técnico económico y evaluando los aspectos regulatorios que rigen el servicio eléctrico nacional.

## **1.5 OBJETIVOS.**

### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL.**

Estudiar la factibilidad para la implantación de la generación distribuida en la zona norte costera del estado Anzoátegui.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

1. Identificar los grandes consumidores de energía eléctrica en el área norte costera del estado Anzoátegui.
2. Definir las premisas de diseño de redes de autogeneración y generación distribuida, sobre la base de los aspectos regulatorios que las rigen en Venezuela.
3. Seleccionar las tecnologías y arquitecturas, para la generación distribuida, que más se adapten a las condiciones en el área norte costera del estado Anzoátegui.

4. Establecer la factibilidad técnico-económica para la puesta en práctica de la generación distribuida en la zona norte costera del estado Anzoátegui.

### **1.6 JUSTIFICACIÓN.**

El aumento poblacional, la ausencia de pagos de facturas por parte de algunos consumidores de la energía eléctrica, la falta de mantenimiento de los equipos que transmiten el servicio eléctrico, la carencia de una buena planificación para la distribución de la energía, la sobrecarga de los equipos suministradores de energía y el robo de la misma, entre otros, son algunas de las causas o motivos por el cual el servicio eléctrico ha decaído significativamente en la zona norte costera del estado Anzoátegui.

Los hechos anteriormente mencionados dan origen a un gran número de fallas en el servicio eléctrico, produciendo molestias en la sociedad, así como también pérdidas monetarias a comercios e industrias.

Para toda esta problemática, existe una posible solución y es la implantación de generación distribuida, bien sea como autogeneración o como un sistema interconectado a la red.

La aplicación de la generación distribuida sería de gran ayuda para la disminución de sobrecarga en el sistema eléctrico, además, ofrece calidad, confiabilidad, bajas emisiones contaminantes, y variedad a nivel tecnológico. Por todas estas razones, en esta investigación se evaluará la factibilidad técnico-económica para la implantación de generación distribuida en la zona norte costera del estado Anzoátegui.

## **1.7 ALCANCE.**

El objetivo principal de esta investigación es realizar el estudio de factibilidad técnico-económica para la implantación de generación distribuida en la zona norte costera del estado Anzoátegui. Para alcanzar dicho objetivo es necesario inicialmente saber lo que es la generación distribuida, como se usa, para que, las tecnologías disponibles para su aplicación, como interconectar estas tecnologías a la red, y las leyes que la rigen en Venezuela.

En este estudio se hará una selección del mercado de consumidores para los cuales estará orientada o dirigida la implantación de generación distribuida. Una vez realizada esta selección, se escogerán las tecnologías disponibles en el mercado para su uso, basándose en sus aspectos técnicos y económicos. Luego se realizará una breve comparación entre estas tecnologías, para lograr la elección de una de ellas con mayor facilidad. Y por último se analizará la rentabilidad económica de aplicar la generación distribuida (a través de la tecnología anteriormente elegida) en la zona norte costera del estado Anzoátegui.

## **1.8 LIMITACIONES.**

Entre las principales limitaciones que tiene este estudio, se encuentran las siguientes:

- \* La Ley Orgánica del Servicio Eléctrico (L.O.S.E) establece una limitación para el uso de la autogeneración, indicando que se puede implementar

sin una interconexión a la red hasta 2 MW. y hasta 5 MW para sistemas de generación distribuida.

- ✱ El acceso a la información de costos de las tecnologías para la implantación de generación distribuida, es otra limitante importante en este estudio.
- ✱ El difícil acceso a la información de consumo energético (en KWh/mes) en la zona norte costera del estado Anzoátegui.

## **1.9 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **1.9.1 Nivel de la investigación.**

El nivel de esta investigación es descriptivo, en la modalidad de proyecto factible, ya que se abordará una realidad problemática a la cual se le buscará solución desde el punto de vista técnico económico.

### **1.9.2 Diseño de investigación.**

En esta investigación el diseño será de campo, ya que toda la información para su realización se basará, en el costo y consumo actual de la energía eléctrica y de las tecnologías disponibles para la implantación de generación distribuida en la zona ya mencionada.

### **1.9.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

Las técnicas a usar en esta investigación serán de recopilación, encuestas y análisis bibliográficos. Así como también, la entrevista al gerente

del área de informática de la Compañía Anónima Electricidad de Oriente (ELEORIENTE).

#### **1.9.4 Técnicas de análisis de datos.**

Este trabajo investigativo será analizado, siguiendo los aspectos regulatorios del servicio eléctrico nacional y los datos se presentaran en gráficos circulares y tablas para su correspondiente análisis cualicuantitativo.

## **CAPÍTULO II.**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS.**

#### **2.1 ANTECEDENTES.**

En el año 2008 se presentó un trabajo de grado realizado por Salazar Villarroel José Francisco. En este trabajo se diseñó conceptualmente un parque eólico para la generación eléctrica en la península de Macanao. En dicha investigación se contempló la estimación y estudio del potencial eólico en el área, con la finalidad de cuantificar y certificar la capacidad energética de los vientos en la zona, evaluando variables como: velocidad del viento, variabilidad horaria, variabilidad en las épocas de sequía y lluvia, capacidad de producción de energía eléctrica, entre otros. <sup>[1]</sup>

En el año 2007 se presentó un trabajo de grado realizado por Facendo P. Alexander E. Dicha investigación estuvo orientada hacia la definición de un perfil formal de las principales características operativas de las celdas de combustible, a través de un análisis detallado del comportamiento tanto en régimen estacionario como en régimen transitorio. <sup>[2]</sup>

En el año 2006 se presentó un trabajo de grado realizado por Salazar Rojas Felixa Alejandra. En esta investigación se realizó un análisis del comportamiento del recurso eólico fundamentado en la aplicación de la distribución estadísticas Weibull a una serie de datos de velocidad y dirección del viento para tres períodos de estudio.

Se evaluó el sistema eléctrico del estado Sucre, con el propósito de definir las características básicas de los aerogeneradores que conformaran una planta de generación eólica instalada en Chacopata .<sup>[3]</sup>

En marzo de 2009, se presentó un trabajo de grado realizado por Acuña Linares Roseliano José. En esta investigación se describió y analizó los conceptos de generación distribuida, su clasificación, causas que estimulan su uso, esquemas de operación, beneficios, desventajas, y otros aspectos relevantes de esta tecnología. Adicionalmente, se expuso una metodología que fue desarrollada para evaluar técnica y económicamente el uso de la generación distribuida en los sistemas eléctricos de distribución, con el fin de determinar su mejor ubicación, magnitudes de los parámetros de operación, y esquemas de operación más adecuados, considerando las características y restricciones técnicas de la red eléctrica, las inversiones involucradas, los costos de operación y mantenimiento, las pérdidas en la red y los criterios de operación del sistema.<sup>[4]</sup>

## **2.2 SISTEMA DE INTERCONEXIÓN NACIONAL.**

Un sistema de transmisión de energía eléctrica es el medio de conexión entre los consumidores y los centros de generación, el cual permite el intercambio de energía entre ellos a todo lo largo de la geografía nacional.

Las líneas de transmisión y las subestaciones representan los principales componentes de un sistema o red de transmisión. Una red se caracteriza por poseer diferentes niveles de voltaje de operación. Esta diversidad técnica necesaria permite que el intercambio se dé en condiciones que minimicen las pérdidas de energía, para de esta forma lograr el uso



eficiente de la energía por parte de todos los integrantes del sistema eléctrico (consumidores y generadores).

En 1968 se firmó el primer Contrato de Interconexión entre las empresas Cadafe, Electricidad de Caracas y Edelca con la finalidad de contar con un despacho y una planificación coordinada, creándose así la Oficina de Operación de Sistemas Interconectados (OPSIS), veinte años después se incorpora la empresa Enelven, lo que le asigna mayor solidez al Sistema Interconectado Nacional (S.I.N).

El Sistema Interconectado Nacional está conformado por los sistemas de transmisión de las empresas eléctricas Cadafe, Electricidad de Caracas, Enelven y Edelca, que operan a niveles de tensión igual o superior a 230 KV y dada su extensión posee un ámbito de carácter nacional.

La operación del S.I.N. es coordinada a través de la Oficina de Operación de Sistemas Interconectados (OPSIS) desde el Despacho Central de Carga, quien es la máxima autoridad en lo referente a este concepto y trabaja de manera conjunta con los Centros de Control y Despachos Regionales de cada una de las empresas que conforman el S.I.N.

La operación coordinada de estas empresas está destinada a cumplir objetivos de seguridad y economía mediante la realización de las siguientes funciones:

- \* Operación de la red troncal de transmisión a escala nacional ( 765, 400 y 230 KV).

- ✱ Coordinación de la operación de las unidades de generación y asignación de la reserva.
- ✱ Control de los niveles de voltaje.
- ✱ Coordinación de los trabajos de mantenimiento en la red troncal.
- ✱ Programación, control y facturación de los intercambios de potencia y energía entre las empresas.
- ✱ Realizar acciones correctivas en situaciones de emergencia.

Los desarrollos hidroeléctricos construidos por Edelca en la región de Guayana, satisfacen los requerimientos de energía de los grandes y medianos consumidores radicados en la zona, así como parte de los requerimientos del resto del país, los cuales son suministrados mediante un sistema de transmisión que opera a 765 KV, 400 KV y 230 KV. Esta red de transmisión se interconecta a su vez con los sistemas eléctricos propiedad de otras empresas como Cadafe, Electricidad de Caracas, Enelbar, Enelven y Enelco, las cuales finalmente llevan el servicio eléctrico a sus clientes a lo largo de la geografía nacional.

En el sistema interconectado, mostrado en la figura 1.1, existen redes a 400 KV y 230 KV propiedad de Cadafe, Electricidad de Caracas, Enelbar, Enelven y Enelco, cuya finalidad es enlazar las diferentes áreas de consumo entre sí y con los centros de generación termoeléctrica e hidroeléctrica del país.

400 KV que da suministro al sistema oriental parte desde el Sistema Regional de Edelca a 400 KV y llega hasta la subestación El Furrial 400/115

KV pasando por la subestación Palital 400/115 KV. El sistema de La Electricidad de Caracas se conecta al sistema interconectado mediante dos nexos de interconexión. Uno de estos nexos lo conforman dos circuitos a 230 KV que parten desde la subestación Santa Teresa 400/230 KV, y el otro nexo lo representa la conexión de los transformadores 765/230 KV de la subestación SUR.

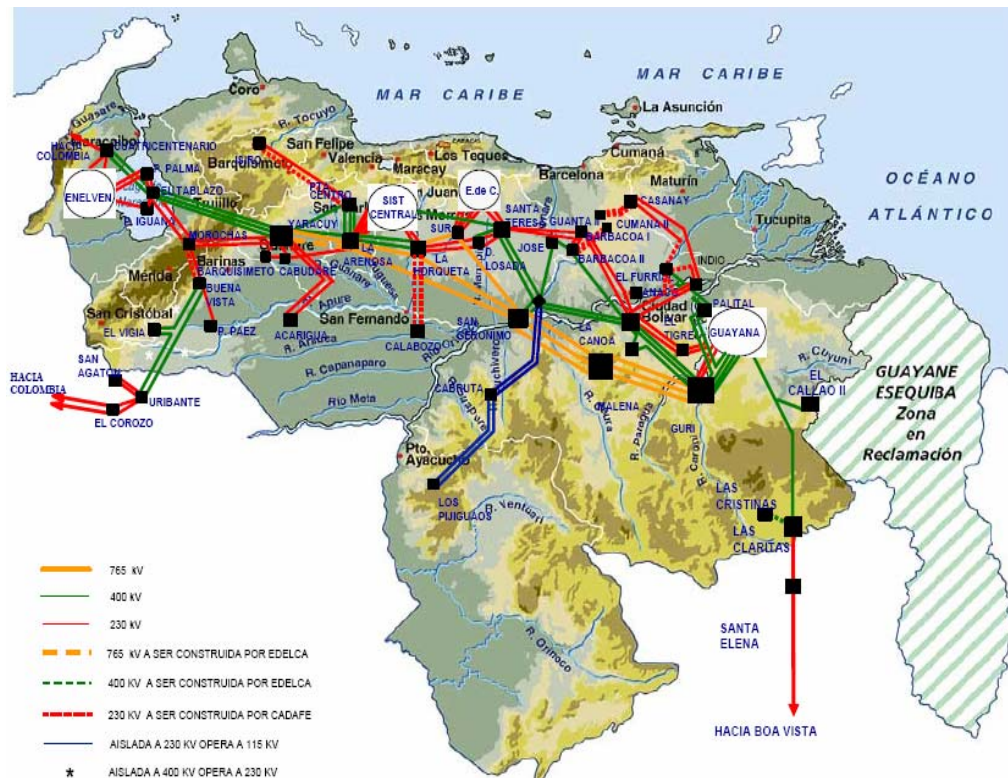


Figura 1.1 Sistema Interconectado Nacional.

Fuente: OPSIS.

En el sistema central se encuentran dos redes a 400 KV que no tienen interconexión entre sí. La primera red está representada por la interconexión a 400 KV entre las subestaciones San Gerónimo - Santa Teresa - Ciudad Lozada. La segunda red a 400 KV en el sistema central, está conformada por

las subestaciones La Horqueta, La Arenosa, Planta Centro y Yaracuy. Las dos primeras se encuentran interconectadas mediante dos líneas de transmisión, mientras que la subestación Planta Centro se interconecta con la subestación La Arenosa a través de tres líneas de transmisión a 400 KV. Desde la subestación Planta Centro se extiende otra línea hasta la subestación Yaracuy 400 KV, esta última subestación presenta un nexo adicional a 400 KV con la subestación La Arenosa.

La exportación de energía hacia la zona occidental se realiza desde la subestación Yaracuy 765/400/230 KV, por medio de tres líneas a 400 KV hasta la subestación El Tablazo; una línea doble terna a 230 KV hasta la subestación El Tablazo, pasando por la subestación Las Morochas II y dos líneas a 230 KV desde la subestación Yaracuy hasta las subestaciones Barquisimeto (Enelbar) y Cabudare.

Para el suministro de Enelven, la red troncal atraviesa el Lago de Maracaibo mediante tres cables a 230 KV desde la subestación El Tablazo hasta la zona occidental del Lago, así como la existencia de dos líneas a 400 KV que cruzan el Lago y permiten un nexo fuerte de interconexión entre la costa Oriental y la Occidental del lago de Maracaibo.

Adicionalmente en la red occidental se encuentra otro sistema a 230 KV que tiene como objetivo alimentar la región andina, esta acción se lleva a cabo mediante la línea Morochas II – Buena Vista, desde Buena Vista sale una línea aislada a 400 KV operando a 230 KV hacia la subestación Uribante pasando por la subestación El Vigía II, en Uribante se presentan adicionalmente dos líneas a 230 KV hacia la subestación El Corozo.

Existen cuatro puntos de suministro de energía eléctrica a Colombia desde el Sistema Eléctrico Nacional, dos de ellos en los estados Apure y Táchira en 13.8 y 115 KV respectivamente, y una a 230 KV por el estado Táchira, a través de una línea doble circuito entre las subestaciones El Corozo (Venezuela) y San Mateo (Colombia). Al norte, por el estado Zulia, a través de una línea a 230 KV entre las subestaciones Cuestecitas (Colombia) y cuatricentenario (Venezuela).

### **2.3 Generación Distribuida (GD).**

Es la generación o el almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala, lo más cercana al centro de carga, con la opción de interactuar (comprar o vender) con la red eléctrica, considerando la máxima eficiencia energética, ver figura 2.1. Los factores claves que caracterizan a la generación distribuida son: ubicación, tamaño, nivel de tensión, propiedad, propósito. <sup>[5]</sup>



Figura 2. 1. Ejemplo de generación distribuida no convencional, basada en aerogeneradores (energía eólica).<sup>[5]</sup>

### **2.3.1 Clasificación de la generación distribuida.**

- \* Convencional: Cogeneración, motores de combustión interna y microturbina.
- \* No convencional: Turbinas eólicas, celda fotovoltaica, y celdas de combustible.

### **2.3.2 Usos.**

- \* Carga Base: opera en forma paralela a la red utilizándola como complemento y/o respaldo (confiabilidad, calidad de servicio, ahorro).
- \* Carga Punta: disminución de costos de servicio (ahorro).
- \* Generación Remota: única opción.
- \* Soporte a la red de distribución: como alternativa a inversión en expansión de redes de transmisión y distribución.

La literatura y las regulaciones internacionales no son uniformes a la hora de caracterizar los rangos (tamaños) para clasificar a la generación distribuida, desde los escasos 5 KW. hasta los 20 MW.

La generación distribuida es hoy en día una alternativa más en la planificación de la expansión de las redes de transporte. Se convierte en una solución atractiva especialmente cuando confluyen factores como: incertidumbre en las tasas de crecimiento de la demanda y la existencia de redes saturadas o próximas a saturación.

Además del suministro de energía, la generación distribuida permite reducir las pérdidas de los sistemas de transporte, mejorar la confiabilidad del suministro, incrementar los niveles de calidad y suministrar potencia reactiva.

Los problemas causados por las emisiones contaminantes y el ruido deben ser considerados a la hora de seleccionar el tipo de generación, combustible, tamaño y ubicación. Son de especial atención los problemas que podría ocasionar la generación distribuida en aspectos como: efectos sobre la operación y mantenimiento de redes de distribución, regulación de voltaje en estado estacionario y transitorio, afectación de las protecciones del sistema de distribución y especialmente en la operación de los cambiadores de taps bajo carga con lazo de compensación por carga.

La consolidación de este tipo de generación está ampliamente ligada a una regulación eficiente y promotora de este tipo de inversiones y en la disminución de las incertidumbres en cuanto a precios de combustibles, disponibilidad, almacenamiento y especialmente en la retribución como actividad económica.

Según expertos latinoamericanos, la generación distribuida debería introducirse como un negocio. Los usuarios generadores tendrían la posibilidad de vender excedentes a los comercializadores de energía para incentivar su comportamiento como inversionistas.

Por otra parte, los operadores de redes podrían dirigir estas inversiones a objeto de reducir pérdidas en la red, y los comercializadores podrían vender a menor costo que los grandes generadores. <sup>[5]</sup>



### **2.3.3 Ventajas de la Generación Distribuida.**

En la década pasada, el concepto de muchas fuentes de energías dispersas en pequeña escala y conectadas a las redes, incrementó considerablemente el interés en ellas.

Algunos de los principales motivadores para tal interés, fueron; las innovaciones tecnológicas, los cambios económicos y las regulaciones medioambientales.

Los siguientes cuatro factores más importantes que han estado contribuyendo con esta evolución, son: El progreso en las tecnologías asociadas a la generación distribuida, las múltiples restricciones en la construcción de nuevas líneas de transmisión, las crecientes demandas de energía y la alta confiabilidad exigida por los clientes, y las preocupaciones por los cambios del clima. Muy especialmente en los dos últimos puntos, la GD parece ofrecer las ventajas más significativas, pues es inverosímil pensar que la GD sería capaz de evitar el desarrollo de las nuevas líneas de transmisión, ya que, en el peor de los casos, la red deberá estar disponible como fuente de reserva.

A pesar de que se ha descrito de una manera generalizada los beneficios de la GD, a continuación se presenta una lista de las ventajas que la caracterizan a la GD:

✱ Autonomía.

✱ Portabilidad.

- \* Ubicación, según sea el tipo de energía.
- \* Factibilidad de utilizar energía renovable.
- \* Incremento de la confiabilidad el sistema.
- \* Reducción de las pérdidas de transmisión.
- \* Suplir la demanda de un centro de carga aislado de la red.
- \* Rápido incremento de la capacidad instalada de generación.
- \* Diferir temporalmente las inversiones de expansión en los sistemas de transmisión y distribución.
- \* Reducción de niveles de sobrecarga de las líneas de transporte y los transformadores de potencia instalados en las subestaciones.

En general, los clientes buscan los servicios de la electricidad más adecuados para ellos, y la tecnología de la generación distribuida puede ayudar a comercializadores y distribuidores de la electricidad a proveer el tipo de servicio de la electricidad que ellos prefieren. Una de las características más interesantes es la flexibilidad de la GD, debido a sus pequeños tamaños y a los cortos tiempos de construcción comparados con la mayoría de los tipos de centrales eléctricas más grandes, estos aspectos podrían permitir que los accionistas del mercado respondan a los cambios del mercado de una manera inmediata.

### **2.3.4 Desventajas de la Generación Distribuida.**

Es importante tener en cuenta que la calidad de la energía eléctrica y la generación distribuida no son directamente proporcionales. La generación distribuida contribuye a mejorar la calidad de la energía en aquellas áreas donde resulta difícil mantener el nivel de tensión, ofreciendo ventajas significativas para la corrección del perfil de tensión. Sin embargo, introducir grandes bloques de energía descentralizada en una red puede conducir a la inestabilidad del perfil de tensiones en dicha red, ya que los flujos de energía bidireccionales y la generación de energía reactiva, pueden ser indeseables y conducir a fluctuaciones.

A la hora de emprender una iniciativa, como lo es la incorporación de la GD en la red con el fin de darle solución a algunos problemas de dicha red, es necesario evaluar algunos puntos de atención, que figuran como desventajas potenciales de la GD, entre los cuales se tienen los siguientes:

- ✧ Impacto en la tarifa.
- ✧ Contribución de flickers.
- ✧ La contaminación sónica.
- ✧ Modificación de la filosofía de operación.
- ✧ Emisión de vapores calientes al entorno.
- ✧ Modificación del flujo de potencia en la red.

- \* Modificación de los esquemas de protecciones.
- \* Altos costos de inversión, operación y mantenimiento.
- \* Sistemas de comunicación para la supervisión remota.
- \* Impacto en la estructura y procesos de la organización.
- \* Impacto en la seguridad del personal de mantenimiento.
- \* Impacto en la estabilidad de la tensión y el ángulo de la tensión.
- \* La GD es afectada por la entrada y salida de otra generación en el sistema.
- \* La GD usualmente no se equipa con un control de la carga Vs la frecuencia, y podrían afectar la frecuencia del sistema donde se encuentran conectadas.
- \* Modificación de los niveles de cortocircuito en las redes de distribución, promoviendo en algunos casos el reemplazo de los equipos de maniobras que no estén diseñados para dicho nivel de cortocircuito.

### **2.3.5 Generación Distribuida en Venezuela.**

Recientemente en Venezuela se han inaugurado plantas de generación distribuida en varios estados, a continuación se hará mención de algunas de estas:

- ✧ El Gobierno Nacional puso en funcionamiento el 12 de septiembre de 2008 la planta de generación distribuida en el municipio Achaguas, tras una inversión que se ubica en los 21 millones de dólares. Esta planta de generación está constituida por dos grandes sistemas; uno conformado por ocho grupos de generadores con sus respectivos transformadores-elevadores, los cuales generan alrededor de 1,8 megavatios cada uno para un total aproximado de 15 megavatios del grupo generador. Igualmente, contempla el centro de control de la unidad de generación distribuida, además del sistema de combustible, integrado por los tanques de combustible de operación y almacenamiento, así mismo el sistema de auxiliares de la planta.
  
- ✧ 21 de septiembre de 2008, Como parte de la Revolución Energética adelantada por el Gobierno Bolivariano, se puso en servicio la Planta de Generación Distribuida de Camatagua, en el estado Guárico, que aportará 15 megavatios de potencia. Este tipo de planta de generación eléctrica funciona con diesel y trabaja de manera autónoma, permitiendo además su conexión al sistema eléctrico nacional.
  
- ✧ La unidad de generación distribuida Cantarrana en el municipio Cristóbal Rojas del estado Miranda, se inauguró el 16 de octubre de 2008 como parte de la Misión Revolución Energética del Gobierno venezolano. Esta unidad, tiene una capacidad de 15 megavatios.
  
- ✧ El 05 de mayo de 2008, se instalaron en período de prueba, 15 MW de Generación Distribuida en la Planta Los Millanes, ubicada en el Estado Nueva Esparta.

- ✧ El 09 de mayo de 2008, se instalaron en período de prueba, 15 MW de Generación Distribuida en la Planta Luisa Cáceres II, ubicada en el Estado Nueva Esparta.
- ✧ El 01 de noviembre de 2008, fue sincronizada por primera vez, la planta de generación distribuida Cruz Peraza, ubicada en Maturín (Edo. Monagas), incorporando 8 MW al SEN.
- ✧ El 21 de noviembre de 2008, entró en servicio por primera vez, la planta de generación distribuida Tomoporo, ubicada en el Estado Zulia de 15 MW, la cual suministra energía eléctrica requerida por la planta para explotación petrolera.
- ✧ El 15 de enero de 2009, es sincronizada por primera vez la planta de generación distribuida Coloncito, ubicada en Coloncito Estado Táchira, aportando 15MW al SEN.
- ✧ El 15 de enero de 2009, es sincronizada por primera vez la planta de generación distribuida Caripito, ubicada en Caripito Estado Monagas, aportando 8 MW al SEN.
- ✧ El 15 de enero de 2009, es sincronizada por primera vez la planta de generación distribuida Caño Zancudo, ubicada en santa Elena de Arenales Estado Mérida, aportando 15 MW al SEN.
- ✧ El año 2008, se sincronizaron por primera vez las unidades de generación distribuida de la planta Rincón, El cuartel y Clarines ubicadas en el estado Anzoátegui aportando 15 MW a la capacidad nominal del sistema eléctrico. Y de 8 MW en Aragua de Barcelona.

### 2.3.6 Cogeneración.

Los sistemas de cogeneración son sistemas de producción conjunta de electricidad (o energía mecánica) y de energía térmica útil (calor) partiendo de un único combustible, ver figura 2.2. El gas natural es la energía primaria más utilizada para el funcionamiento de las centrales de cogeneración de electricidad calor, las cuales funcionan con turbinas o motores de gas. No obstante, también se pueden utilizar fuentes de energía renovables y residuos como biomasa o residuos que se incineran. <sup>[6]</sup>

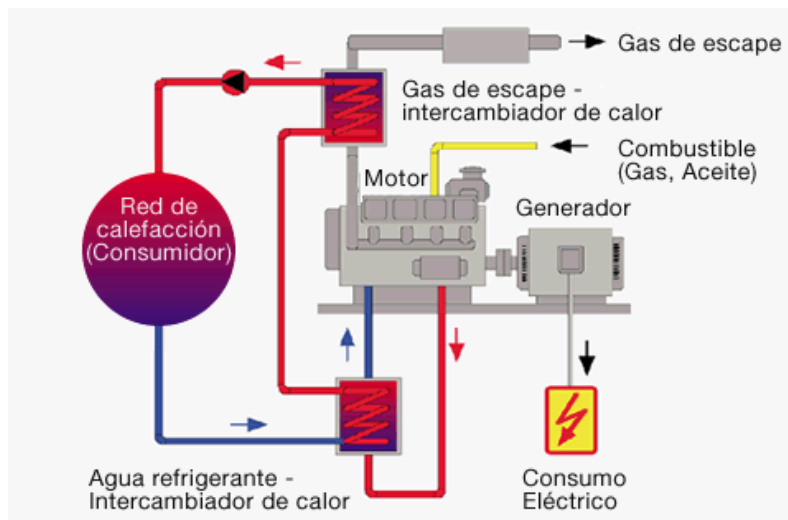


Figura 2.2. Ejemplo de Cogeneración. <sup>[6]</sup>

En un proceso de cogeneración, el calor se presenta en forma de vapor de agua a alta presión o en forma de agua caliente. Por ejemplo, se puede utilizar el vapor caliente que sale de una turbina de producción de energía eléctrica, para suministrar energía para otros usos. Hasta hace poco lo usual era dejar que el vapor se enfriara, pero con esta técnica, se usa el calor que le queda al vapor para calentar agua.

En el aprovechamiento del calor residual, los sistemas de cogeneración presentan rendimientos globales del orden del 85%, lo que implica que el aprovechamiento simultáneo de electricidad y calor favorezca la obtención de elevados índices de ahorro energético, así como una disminución importante de la factura energética, sin alterar el proceso productivo, ahorro energético que se incrementa notablemente si se utilizan energías residuales.

En una central eléctrica tradicional los humos salen directamente por la chimenea, mientras que en una planta de cogeneración los gases de escape se enfrían transmitiendo su energía a un circuito de agua caliente/vapor. Una vez enfriados los gases de escape pasan a la chimenea.

Las centrales de cogeneración de electricidad-calor pueden alcanzar un rendimiento energético del orden del 90%. El procedimiento es más ecológico, ya que durante la combustión el gas natural libera menos dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) que el petróleo o el carbón. Además, son cada vez más numerosas las aplicaciones que se le está dando a esta técnica, tanto en usos industriales, como en hospitales, hoteles, etc. <sup>[6]</sup>

#### **2.3.6.1 Producción de frío en plantas cogeneradoras.**

Una posibilidad muy interesante en instalaciones de cogeneración consiste en la producción de frío aprovechando el calor de la planta de cogeneración. Este calor se aprovecha en un tipo de equipo conocido como máquina de absorción que produce frío bien para un proceso industrial o para climatización de naves o edificios. <sup>[6]</sup>



### **2.3.6.2 Ventajas de los sistemas de cogeneración.**

Desde el punto de vista del usuario, la cogeneración permite la reducción en su factura energética global, debido al menor costo de producción del KW/h autogenerado, frente al adquirido de la compañía eléctrica.<sup>[6]</sup>

Además del ahorro producido por disminución en la factura energética global, en los casos en que el dimensionamiento de la instalación produzca un excedente de energía eléctrica, se produce un ingreso por esa venta de energía a la compañía eléctrica, que puede dar lugar a una factura energética negativa.

Pero la cogeneración no sólo ofrece ventajas al consumidor sino que también repercute de forma importante a nivel de la comunidad y del estado. Además de reducir drásticamente la factura energética de la empresa potencialmente cogeneradora, permite un importante ahorro en el consumo de energía primaria (combustible) a nivel nacional, impulsa la sustitución de combustibles contaminantes por gas natural y combustibles residuales y, por último, colabora en la conservación del medio ambiente.

En definitiva, la implantación de un sistema de cogeneración supone un ahorro a nivel nacional de un 34 % en el consumo de energía primaria. Este ahorro energético origina a su vez una reducción en las emisiones contaminantes debido por un lado al menor consumo y, por otro, a que los combustibles normalmente utilizados en las instalaciones de cogeneración son más limpios. Por estas razones, tradicionalmente los estados favorecen la construcción de este tipo de instalaciones.

Las medidas correctoras que generalmente se adoptan en las plantas de cogeneración, son las siguientes: Utilización de combustibles de bajo índice de azufre, como el gas natural, instalación de sistemas de tratamientos de gases y sistemas de combustión con baja emisión de NOx (quemadores de bajo NOx y sistemas de inyección agua-vapor).<sup>[6]</sup>

### **2.3.6.3 Usuarios Potenciales.**

Entre los usuarios potenciales de los sistemas de cogeneración se encuentran las industrias que presentan todas o algunas de las siguientes características:

- \* Tienen unas necesidades de calor y electricidad aproximadamente constantes a lo largo del año. La posibilidad de ceder los excedentes de energía eléctrica a la red hace que la necesidad de una demanda de energía continua sea menos crítica.
- \* Trabajan con funcionamiento continuo (más de 5.000 horas/año).
- \* Generan algún tipo de subproducto que puede ser empleado como combustible residual.

Así las industrias del sector papelerero, cerámico, textil y alimentación que trabajan a dos y tres turnos al día, los siete días a la semana, son sectores potencialmente cogeneradores. También se pueden incluir en este grupo la industria siderúrgica, la del automóvil, etc.

Otros tipos de industrias claramente cogeneradores son los sectores dedicados al refino, la industria petroquímica y la maderera, ya que producen

subproductos combustibles de baja calidad que, no obstante, pueden ser aprovechados en los sistemas de cogeneración.

Por último, también pueden adaptarse a este tipo de sistema instalaciones del sector terciario tales como hospitales, hoteles, residencias, centros comerciales, etc. <sup>[6]</sup>

## 2.4 TECNOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.

### 2.4.1 Microturbinas.

Una de las tecnologías que se proyectan en la actualidad para cubrir las necesidades de energía eléctrica son las microturbinas, que son unidades empacadas compuestas por un compresor, un combustor, una turbina de gas y un generador eléctrico. Como se muestra en la figura 2.3, las microturbinas emplean la combustión de un elemento (gaseoso o líquido) para producir un torque en el eje, el cual se emplea para hacer rotar un generador eléctrico y de este modo producir electricidad. <sup>[7]</sup>

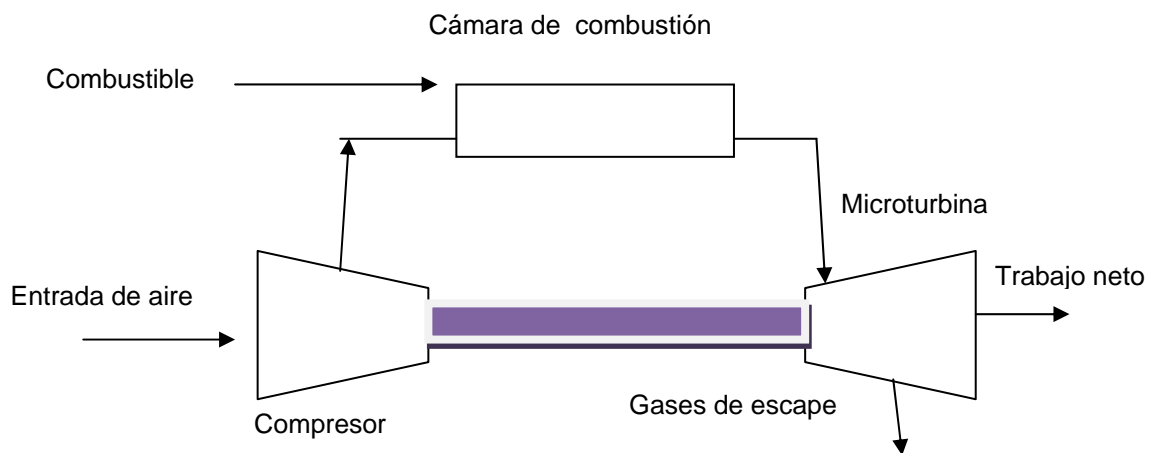


Figura 2.3. Funcionamiento de una Microturbina. <sup>[7]</sup>

Las microturbinas son turbinas extremadamente pequeñas, y tienen gran utilidad en la industria eléctrica y de transporte. Muchas compañías automovilísticas, ven las microturbinas como una llave para brindar un ligero peso y eficiente energía basada en combustible fósil para los vehículos eléctricos híbridos. Entre las compañías que participan en el desarrollo de las microturbinas se encuentran: Allied Signal, Capstone, Elliott Energy, y Northern Research. <sup>[7]</sup>

Las microturbinas tienen la capacidad de producir a pequeña escala electricidad y calor. La eficiencia para convertir el combustible en energía eléctrica de las microturbinas está en el orden de 28% a 30%. Esta eficiencia incluye el uso de un recuperador (dispositivo que captura el calor desperdiciado para mejorar la carga del compresor). Estos equipos generan electricidad en rangos comprendidos entre 10 y 500 KW, produciendo bajas emisiones de óxido de nitrógeno y otros contaminantes.

Hay, especialmente, dos tipos de microturbinas:

- \* Microturbinas de un solo eje.
  
- \* Microturbinas de dos ejes o de ejes partidos.

#### **2.4.1.1 Microturbinas de un solo eje.**

Las microturbinas de un solo eje evolucionaron de los turbogeneradores de los automóviles y camiones, unidades de potencia auxiliar de aviones, y de motores de pequeños aeroplanos. Constan de compresor, combustor, turbina, alternador, recuperador y generador.

El esquema de una microturbina de un solo eje se muestra en la figura 2.4 y en la figura 2.5. El combustible (gas natural, gasolina, kerosene) entra en la cámara de combustión, produciendo gases calientes que hacen girar la turbina, la cual está en un mismo eje. El escape transfiere calor al aire de entrada, el cual pasa a través de un compresor que es calentado por los gases de escape que entran a la cámara de combustión. [8]

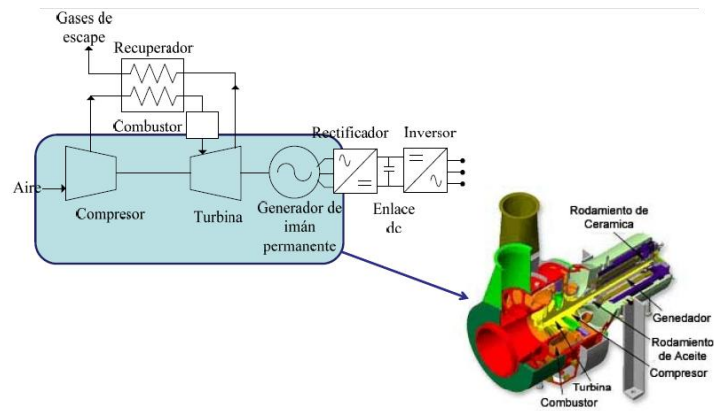


Figura 2.4. Esquema de una microturbina. [8]

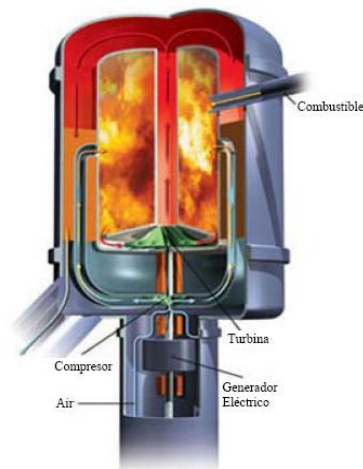


Figura 2.5. Arreglo de una microturbina. [8]

Las velocidades óptimas rotacionales de las microturbinas a potencia nominal están entre 60.000 y 100.000 rpm. El diámetro de la punta de los compresores es de algunas pulgadas, similar a los turbocargadores pero con un diseño aerodinámico.

Las microturbinas con ejes simples, están desarrollados por empresas como: Capstone, Elliott y Honeywell. Tienen potencias entre 20 y 50 KW. Y han sido diseñadas con varias configuraciones. Como se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Configuraciones de microturbinas. <sup>[8]</sup>

Fabricante	Velocidad [rpm]	Potencia [KW.]	Recuperada
Capstone	30.000	96	Si
Elliott	116.000	45	No
Honeywell	75.000	75	si

#### 2.4.1.2 Microturbinas de dos ejes.

Las microturbinas con dos ejes, mostrada en la figura 2.6, siguen la filosofía de diseño usada en calderas u hornos. Son diseñadas para aplicaciones industriales de calidad estacionaria.

Las microturbinas de dos ejes o de ejes partidos, como también son denominadas, emplean una turbina que gira a 3600 rpm y un generador convencional (usualmente un generador de inducción) unido a una caja de engranajes reductora, usan componentes metálicos radiales de turbo maquinaria, sistemas presurizados de lubricación; así como también,

emplean una etapa de compresión y dos etapas de turbina, operando con relaciones de presión relativamente bajas, por lo general 3:1.

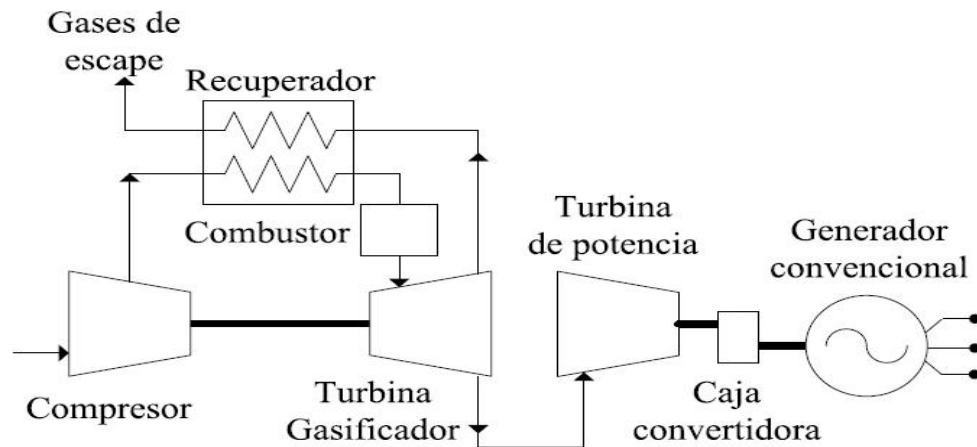


Figura 2.6. Diagrama de una microturbina de eje partido. <sup>[8]</sup>

#### 2.4.1.2.1 Ventajas de una microturbina de ejes dobles.

- \* Aumenta la vida útil del equipo, reduciendo el esfuerzo al dividir el trabajo de salida entre dos turbinas.
- \* Potencia mecánica de salida:
  - ✓ Cualquier componente mecánico puede ser impulsado por la turbina de potencia.
  - ✓ Se pueden incluir compresores refrigerantes.
  - ✓ Típicamente empleado en armonía en sistemas de ciclos de refrigeración.

✱ Diseño mecánico del eje:

- ✓ Son independiente los aspectos de diseños relacionados a la potencia de la turbina y los componentes de carga (compresor, generador, etc.).
- ✓ La complejidad de diseño de cada eje simple es mucho menor que la requerida en el diseño del eje de las turbinas de un solo eje.

✱ Complejidad de la configuración de componentes:

- ✓ Una turbina de potencia independiente provee el más grande grado de libertad en el esquema de los componentes giratorios.

✱ Aspecto de seguridad mecánica:

- ✓ La menor velocidad de giro de la turbina de potencia reduce el peligro de una falla catastrófica en el sistema giratorio.

✱ Características favorables de torque/velocidad:

- ✓ Debido a que el flujo másico que fluye por el motor no afecta la salida de la potencia de la turbina.
- ✓ La turbina realmente maneja más torque ya que es más lenta, comparada con la turbina de un solo eje.

El amplio rango de aplicaciones y beneficios de las microturbinas está generando un intenso programa de desarrollo de producto y pruebas de



campo entre los fabricantes. Se calcula que, comercialmente, sus costos son alrededor de 500 \$/KWh. <sup>[8]</sup>

## **2.4.2 Motores de combustión interna (reciprocantes).**

Un motor de combustión interna es básicamente una máquina que mezcla oxígeno con combustible gasificado. Una vez mezclados íntimamente y confinados en un espacio denominado cámara de combustión, los gases son encendidos para quemarse (combustión).

Debido a su diseño, el motor, utiliza el calor generado por la combustión, como energía para producir el movimiento giratorio que conocemos. <sup>[9]</sup>

### **2.4.2.1 Tipos de motores de combustión interna.**

- \* Motor Otto.
- \* Motor Diesel.
- \* Motor dos tiempos.
- \* Motor Wankel o rotativo.

#### **2.4.2.1.1 Motor de ciclo Otto.**

Es un transformador de energía química en mecánica. Se caracteriza porque trabaja en un ciclo termodinámico (ciclo Otto), en donde todo el calor es aportado a volumen constante.

Para lograr su funcionamiento, el motor aprovecha la fuerza expansiva de los gases que se hacen explotar en un cilindro, obteniendo así un giro con la ayuda del mecanismo biela-cigüeñal.

#### **2.4.2.1.1 Clasificación del motor Otto.**

- ✳ El tipo de mezcla: Aire-Combustible; 14.7 a 1.
- ✳ Por el encendido: Por chispa eléctrica.
- ✳ Por el modo de trabajo: 2 vueltas del cigüeñal y 4 carreras del pistón= 1 Ciclo.
- ✳ Por el tipo de refrigeración: Agua y Aire.
- ✳ Por la disposición de los cilindros: línea, V, Opuestos.
- ✳ Ciclos de trabajo: Admisión; Compresión; Explosión; Escape.

#### **2.4.2.1.1.2 Sistemas que constituyen un motor de ciclo Otto.**

- ✳ Sistema de distribución: es un conjunto de piezas que regulan la entrada y salida de los gases en el cilindro.
- ✳ Sistema de lubricación: la función de este sistema es reducir el rozamiento entre las piezas del motor gracias a la aplicación de un aceite lubricante.

- ✱ Sistema de alimentación: es el encargado de suministrar la cantidad de combustible requerido por el motor, de acuerdo a las exigencias del mismo.
- ✱ Sistema de enfriamiento: es el encargado de evacuar el calor que se produce en el motor, evitando así, que este se sobre caliente.
- ✱ Sistema de encendido: es el encargado de dar los primeros movimientos al motor con ayuda de un motor eléctrico.

#### **2.4.2.1.1.3 División del motor.**

- ✱ Parte fija: Culata, bloque, carter y tapas balancines.
- ✱ Parte móvil: Pistón, biela, cigüeñal, árbol de levas, válvulas y balancines.

#### **2.4.2.1.2 Motor Diesel.**

Es aquel motor en el cual el encendido se produce por una alta temperatura que posibilita la compresión del aire al interior del cilindro de este.

##### **2.4.2.1.2.1 Clasificación del Motor Diesel.**

- ✱ El tipo de mezcla: Aire precalentado y diesel “gasoil”.  
Por el encendido: Autoencendido.
- ✱ Por el modo de trabajo: 2 vueltas del cigüeñal y 4 carreras del pistón= 1 Ciclo.

- ✧ Por el tipo de refrigeración: Agua y Aire.
- ✧ Por la disposición de los cilindros: línea, V, pero estos motores son de 6 a 12 cilindros.

#### **2.4.2.1.2.2 Ciclos de trabajo.**

- ✧ Aspiración: aire puro entra en el cilindro por el movimiento descendente del pistón.
- ✧ Compresión: el pistón comprime el aire muy fuerte y éste alcanza una temperatura muy elevada.
- ✧ Carrera de trabajo: se inyecta el gasoil y éste se enciende inmediatamente por causa de la alta temperatura.
- ✧ Carrera de escape: el pistón empuja los gases de combustión hacia el tubo de escape.

#### **2.4.2.1.2.3 Sistemas que constituyen un motor.**

- ✧ Sistema de Distribución.
- ✧ Sistema de Lubricación.
- ✧ Sistema de Alimentación.
- ✧ Sistema de Enfriamiento.

- \* Sistema de Encendido.

#### **2.4.2.1.3 Motores de dos tiempos.**

Los motores de dos tiempos, son motores de pistón; las cuatro etapas del ciclo de trabajo se realizan en solo una vuelta del cigüeñal.

Estos motores pueden ser tanto diesel como de gasolina, siendo este último el más común. Los motores de dos tiempos de gasolina, generalmente son de cárter seco, y encuentran su mayor campo de aplicación en las pequeñas potencias: motocicletas, máquinas manuales a gasolina (sopladores, fumigadoras, moto sierras etc.), y en los pequeños motores de aeromodelismo y similares.

##### **2.4.2.1.3.1 Ciclos del motor.**

- \* Admisión – Compresión: Cuando el pistón alcanza el PMI (Punto Muerto Inferior) empieza a desplazarse hasta el PMS (Punto Muerto Superior), creando una diferencia de presión que aspira la mezcla de aire y gasolina por la lumbrera de admisión. Cuando el pistón tapa la lumbrera, deja de entrar mezcla, y durante el resto del recorrido el pistón la comprime.
- \* Expansión - Escape de Gases. Una vez que el pistón ha alcanzado el PMS y la mezcla está comprimida, se la enciende por una chispa entre los dos electrodos de la bujía, liberando energía y alcanzando altas presiones y temperaturas en el cilindro. El pistón se desplaza hacia abajo, realizando trabajo hasta que se descubre la lumbrera de escape. Al estar a altas presiones, los gases quemados salen por ese orificio. Éste ciclo se muestra en la figura 2. 7.<sup>[9]</sup>

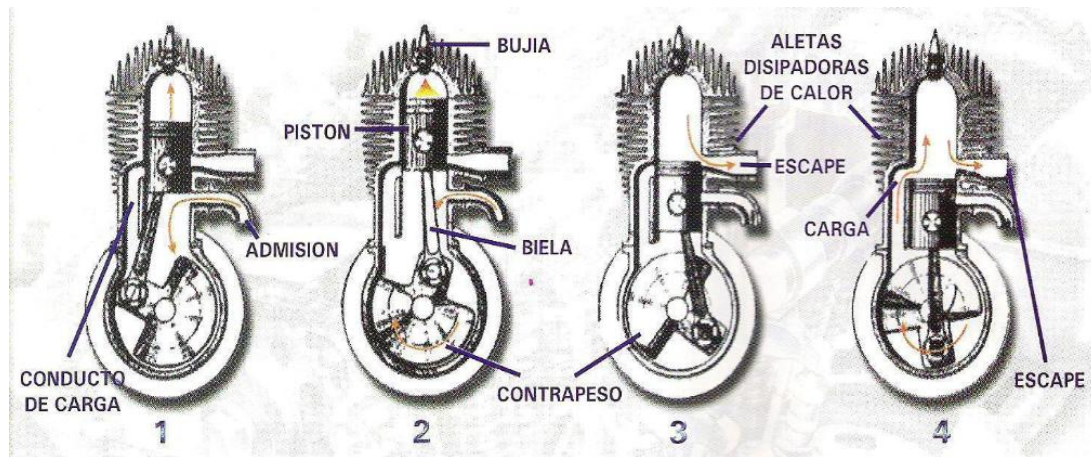


Figura 2. 7. Ciclos de un motor de dos tiempos.<sup>[9]</sup>

El rendimiento de este motor es inferior respecto al motor de 4 tiempos, ya que tiene un rendimiento volumétrico menor y el escape de gases es menos eficaz. También son más contaminantes. Por otro lado, suelen dar más potencia para la misma cilindrada, ya que este hace una explosión en cada revolución, mientras el motor de 4 tiempos hace una explosión por cada 2 revoluciones, y cuenta con más partes móviles.

#### 2.4.2.1.3.2 Clasificación del motor.

- ✱ El tipo de mezcla: Aire-Combustible y aceite.
- ✱ Por el encendido: Por chispa eléctrica.
- ✱ Por el modo de trabajo: 1 vueltas del cigüeñal y 2 carreras del pistón= 1 Ciclo.
- ✱ Por el tipo de refrigeración: Aire.

- \* Ciclos de trabajo: Admisión; Compresión; Explosión; Escape.

#### **2.4.2.1.3.3 Sistemas que constituyen un motor de dos tiempos.**

- \* Sistema de lubricación: es de cárter seco, pero todas las partes móviles están bañadas en lubricantes.
- \* Sistema de alimentación: aire combustible mezclado con aceite.
- \* Sistema de enfriamiento: por aire y todo el motor esta hecho de aluminio.

#### **2.4.2.1.3.4 Características del motor de dos tiempos.**

Ambas caras del pistón realizan una función simultáneamente, a diferencia del motor de cuatro tiempos en que únicamente es activa la cara superior.

La entrada y salida de gases al motor se realiza a través de las lumbreras (orificios situados en el cilindro). Este motor carece de las válvulas que abren y cierran el paso de los gases en los motores de cuatro tiempos. El pistón dependiendo de la posición que ocupa en el cilindro en cada momento abre o cierra el paso de gases a través de las lumbreras.

El cárter del cigüeñal debe estar sellado y cumple la función de cámara de pre compresión. En el motor de cuatro tiempos, por el contrario, el cárter sirve de depósito de lubricante.

La lubricación, que en el motor de cuatro tiempos se efectúa mediante el cárter, en el motor de dos tiempos se consigue mezclando aceite con

el combustible en una proporción que varía entre el 2 y el 5 por ciento. Dado que esta mezcla está en contacto con todas las partes móviles del motor se consigue la adecuada lubricación. <sup>[9]</sup>

#### 2.4.2.1.4 Motores de cuatro tiempos.

Se denomina motor de cuatro tiempos, al que precisa cuatro carreras del pistón o émbolo, dos vueltas completas del cigüeñal para completar el ciclo termodinámico de combustión. Los cuatro tiempos se muestran en la figura 2.8. <sup>[9]</sup>

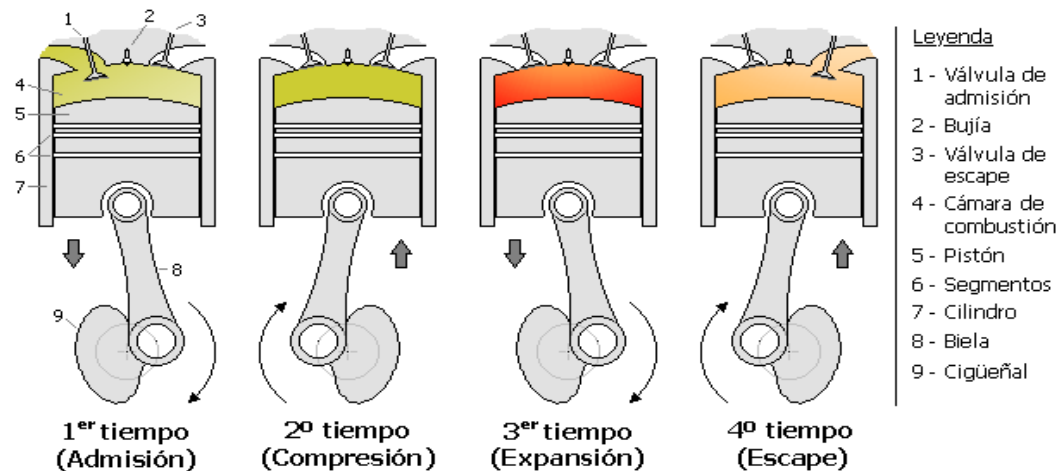


Figura 2.8. Ciclos de un motor de cuatro tiempos. <sup>[9]</sup>

##### 2.4.2.1.4.1 Ciclo de un motor de cuatro tiempos.

- \* Durante la primera fase el pistón se desplaza hasta el PMI y la válvula de admisión permanece abierta, permitiendo que se aspire la mezcla de combustible y aire hacia dentro del cilindro.



- ✱ Durante la segunda fase las válvulas permanecen cerradas y el pistón se mueve hacia el PMS, comprimiendo la mezcla de aire y combustible. Cuando el pistón llega al final de esta fase, la bujía se activa y enciende la mezcla.
  
- ✱ Durante la tercera fase se produce la combustión de la mezcla, liberando energía que provoca la expansión de los gases y el movimiento del pistón hacia el PMI. Se produce la transformación de la energía química contenida en el combustible energía mecánica transmitida al pistón. El la transmite a la biela, y la biela la transmite al cigüeñal de donde se toma para su utilización.
  
- ✱ En la cuarta fase se abre la válvula de escape y el pistón se mueve hacia el PMS, expulsando los gases producidos durante la combustión y quedando preparado para empezar un nuevo ciclo.

Para mejorar el llenado del cilindro, también se utilizan sistemas de sobrealimentación ya sea mediante turbocompresores (turbo o mediante compresores volumétricos o también llamados compresores de desplazamiento positivo).<sup>[9]</sup>

#### **2.4.2.1.5 Motores rotativos o Wankel.**

Fue inventado por Félix Wankel, este motor en vez de utilizar pistones utiliza rotores. Particularmente tiene un manera interesante de funcionamiento es de modo suave, silencioso y fiable, gracias a la simplicidad de su diseño.

#### **2.4.2.1.5.1 Clasificación del motor rotativo.**

- \* El tipo de mezcla: Aire-Combustible y aceite.
- \* Por el encendido: Por chispa eléctrica.
- \* Por el modo de trabajo.
- \* Por el tipo de refrigeración: Agua.
- \* Ciclos de trabajo: Admisión; Compresión; Explosión; Escape.

#### **2.4.2.1.5.2 Ciclo de trabajo de un motor rotativo.**

- \* Admisión: al rebasar un vertical de lumbrera de admisión, la mezcla entra en la cámara siguiente, cuyo volumen aumenta debido a la órbita excéntrica del rotor.
- \* Compresión: el rotor continúa girando y la cámara que contiene la mezcla, disminuye de volumen al tiempo que la comprime.
- \* Explosión: el encendido hace que la mezcla se quemé y expanda, impulsando al rotor en este tiempo de explosión, a la vez que aumenta el volumen de la cámara.
- \* Escape: el otro vértice del rotor pasa la lumbrera de escape y la descubre para que salgan los gases. El ciclo continúa de manera simultánea para las tres cámaras.

Las partes del motor rotativo se indicarán a continuación, y serán mostrados en la figura 2.9.<sup>[9]</sup>

- \* Rotor.
- \* Segmentos.
- \* Regletas.
- \* Árbol motriz.
- \* Sistema de refrigeración.
- \* Engrase.

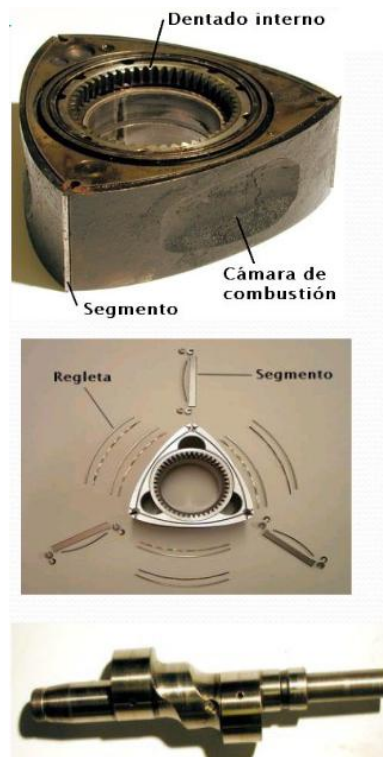


Figura 2.9. Partes de un motor rotativo.<sup>[9]</sup>

### **2.4.3 Energías alternativas.**

Una energía alternativa, o más precisamente una fuente de energía alternativa es aquella que puede suplir a las fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. El concepto de "crisis energética" aparece cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan.

Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía: éstas serían las energías alternativas.

En la actualidad se siguen buscando soluciones para resolver esta crisis inminente. Las energías renovables en las que se trabaja actualmente son: la energía eólica, energía hidráulica, energía mareomotriz, undimotriz, solar, geotérmica y biomasa. <sup>[10]</sup>

#### **2.4.3.1 Energía eólica.**

La energía eólica, es la energía obtenida del viento, o sea, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas.

En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores, mostrada en la figura 2.10. La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde. Sin embargo, el principal inconveniente es su intermitencia.<sup>[3]</sup>



Figura 2.10. Aerogenerador <sup>[3]</sup>

#### **2.4.3.1.1 ¿Cómo trabajan los aerogeneradores?**

Cuando la velocidad del viento que incide sobre un aerogenerador aumenta, lo hacen también las fuerzas que se producen sobre las palas o hélices. Estas fuerzas desarrollan par mecánico y esfuerzos sobre los elementos mecánicos del aerogenerador. El par mecánico desarrollado por éste cuando está girando a una determinada velocidad, produce una potencia mecánica que se transmite al generador y se convierte finalmente en energía eléctrica. En este proceso de conversión de energía intervienen fundamentalmente: el rotor eólico, que es el elemento que convierte la

energía cinética del viento en energía mecánica, el tren de potencia que transmite la potencia mecánica desarrollado por el aerogenerador al generador eléctrico mediante una caja de multiplicación de velocidad, y por último el generador eléctrico que es el dispositivo encargado de transformar la energía mecánica en eléctrica. Algunos sistemas disponen, entre el generador y la red eléctrica convertidores electrónicos, cuya función es por una parte controlar la velocidad de giro del generador y por otra acondicionar la energía eléctrica generada. Las partes de un aerogenerador se muestran en la figura 2.11.<sup>[3]</sup>

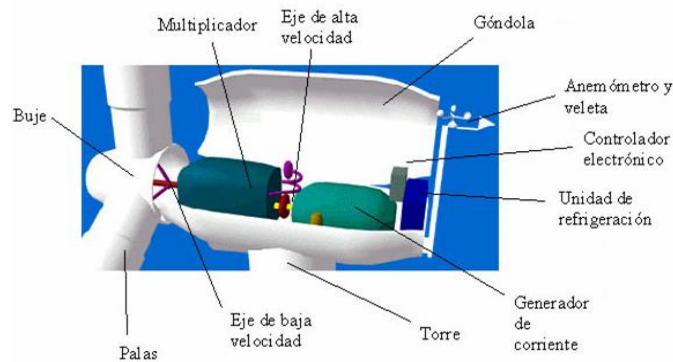


Figura 2.11. Partes de un aerogenerador.<sup>[3]</sup>

#### 2.4.3.1.2 Tipos de aerogeneradores.

Actualmente existen dos tipos de aerogeneradores: aerogeneradores con rotor de eje horizontal, y aerogeneradores con rotor de eje vertical, ambos mostrados en la figura 2.12 (a) y (b) respectivamente.

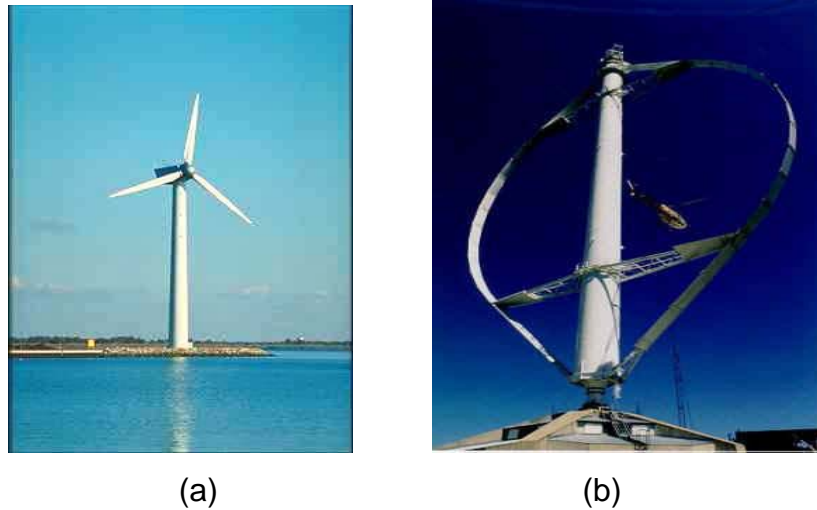


Figura 2.12. (a) Aerogenerador con rotor de eje horizontal.  
 (b) Aerogenerador con rotor de eje vertical. <sup>[3]</sup>

#### 2.4.3.1.2.1 Aerogeneradores con rotor de eje horizontal.

Se caracterizan porque hacen girar sus palas en dirección perpendicular a la velocidad del viento incidente. El espacio donde se encuentran protegidos los componentes claves del aerogenerador se denomina la góndola. Esta contiene la caja multiplicadora (que aumenta la velocidad que producen las aspas), y el generador eléctrico, entre otros componentes. La velocidad de giro de estos aerogeneradores siguen una relación inversa al número de sus palas, o de forma más precisa al parámetro denominado solidez que indica el cociente entre la superficie ocupada por las palas y la superficie barrida por ellas. Así, estos aerogeneradores se pueden clasificar en:

1. Rotores multipala: se caracterizan por tener un número de palas que pueden variar de 6 a 24 y por lo tanto tienen una solidez elevada. Presenta elevados pares de arranque y una reducida velocidad de giro.

La velocidad lineal en la punta de la pala de estas máquinas es del mismo orden que la velocidad del viento incidente.

2. Rotores tipo hélice: giran a una velocidad mayor que los rotores multipala. La velocidad lineal en la punta de las palas de esta máquina varían en un margen de 6 a 14 veces la velocidad del viento incidente en condiciones de diseño. Esta propiedad hace que los aerogeneradores rápidos sean muy apropiados para la generación de energía eléctrica, ya que el elemento mecánico que acondiciona la velocidad de giro de la turbina con la velocidad de giro del generador es menor en tamaño y costo. Presenta un par de arranque reducido que, en la mayoría de las aplicaciones, es suficiente para hacer girar el rotor durante el proceso de conexión.

Los rotores tipo hélices más usados son los de tres palas, debido fundamentalmente a su estabilidad estructural ya aerodinámica, menor emisión de ruido y mayor rendimiento energético frente a los rotores de una o dos palas. La ventaja principal de estos últimos, es que la velocidad de giro del diseño es superior y por lo tanto la relación de multiplicación de la caja de transmisión es más reducida. Además, presenta como ventaja adicional la reducción en el costo de la instalación, por emplear un menor número de palas y una fácil instalación; ya que pueden ser izados sin giros complicados tras su montaje en el suelo como pieza única. Sin embargo, los problemas estructurales que presentan, sobre todo durante los periodos de orientación, y los inconvenientes asociados a un control más complejo y a una mayor emisión de ruido han llevado a que estos sistemas no hayan pasado prácticamente de la fase prototipos.



Otra clasificación que se puede realizar con los aerogeneradores que utilizan rotores tipo hélice es su disposición frente a la velocidad del viento incidente. Así, los aerogeneradores pueden diseñarse para que funcionen en la configuración de barlovento o sotavento.

Las máquinas en posición de barlovento necesitan un sistema de orientación activo ya que la velocidad del viento inicialmente incide sobre el rotor eólico y posteriormente sobre la torre. Por el contrario, las máquinas orientadas a sotavento utilizan un sistema de orientación pasivo que se basa en inclinar ligeramente las palas, de modo que su movimiento de rotación describe un cono. Cuando el rotor no está orientado, las palas que se encuentran más a favor del viento reciben un empuje aerodinámico que tienden a variar la orientación del rotor hacia la posición de equilibrio.

A pesar de utilizar un sistema de orientación activo, la configuración a barlovento es la opción elegida por la inmensa mayoría de los fabricantes debido a las elevadas cargas aerodinámicas que aparecen sobre la máquina cuando la disposición es a sotavento. En esta configuración, cuando la pala pasa por la zona de influencia de la torre no recibe viento y por lo tanto no transmite par aerodinámico, lo que da lugar a fluctuaciones de potencia y fatiga en los materiales. Por otra parte, esta disposición hace que durante la orientación se generen esfuerzos transitorios elevados ya que el proceso de giro del rotor eólico no está controlado. <sup>[3]</sup>

#### **2.4.3.1.2.2 Aerogeneradores con rotor de eje vertical.**

Tienen la ventaja principal de que no precisan ningún sistema de orientación activa para captar la energía contenida en el viento. Presenta la ventaja añadida, con respecto a los aerogeneradores de eje horizontal, de

disponer el tren de potencia, el generador eléctrico y los sistemas de control a nivel de suelo. Los diseños más conocidos son los siguientes:

1. Rotores Darrieus: Consta de dos o más palas dispuesta como la forma que toma una cuerda sujeta por sus extremos y sometida a un movimiento giratorio. Su rendimiento y velocidad de giro son comparables a los aerogeneradores de eje horizontal, sin embargo presentan algunas desventajas como son: ausencia de par de arranque y empleo de tensores adicionales para garantizar la estabilidad estructural de la máquina, además, cada una de la palas de este tipo de máquinas está sometida a fluctuaciones de par elevadas debido al efecto de sombra de torre. En la figura 2.13 se muestra este tipo de aerogeneradores.



Figura 2.13. Aerogenerador tipo Darrieus.<sup>[3]</sup>

2. Rotores Savonius: se caracteriza por disponer de dos palas que son las mitades de un cilindro cortadas por una generatriz y desplazadas lateralmente. Tiene la ventaja de ofrecer par de arranque y se pueden construir fácilmente, pero su bajo rendimiento y su reducida velocidad de giro hacen que sus aplicaciones se limiten a bombeo de pistón. En la figura 2.14 se muestra este tipo de aerogenerador.



Figura 2.14. Aerogenerador tipo Savonius. <sup>[3]</sup>

#### 2.4.3.2 Energía solar.

La energía solar es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el sol.

La radiación que alcanza la tierra puede aprovecharse por medio del calor que produce, como también a través de la absorción de la radiación, por ejemplo en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es una de las llamadas energías renovables, particularmente del grupo no contaminante, conocido como energía limpia o energía verde.

La potencia de la radiación varía según el momento 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  $1000 \text{ W/m}^2$  en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia.

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones.

La irradiancia directa normal (o perpendicular a los rayos solares) fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor medio de  $1354 \text{ W/m}^2$  (que corresponde a un valor máximo en el perihelio de  $1395 \text{ W/m}^2$  y un valor mínimo en el afelio de  $1308 \text{ W/m}^2$ ). Según los informes de Greenpeace, la fotovoltaica podrá suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en 2030. <sup>[11]</sup>

#### **2.4.3.2.1 Energía fotovoltaica.**

La energía fotovoltaica es la conversión de la luz solar en electricidad a través de celdas fotovoltaicas, comúnmente llamadas celdas solares. Una celda fotovoltaica es un dispositivo no mecánico usualmente hecho de aleaciones de silicio.

La luz solar está compuesta por fotones, o partículas de energía solar. Estos fotones contienen gran cantidad de energía procedente de las distintas longitudes de ondas del espectro solar. Cuando los fotones golpean la celda fotovoltaica, estos quizás sean reflejados, absorbidos o atravesados. Solo los fotones que fueron absorbidos suministran energía para generar electricidad.

Cuando suficiente luz solar (energía) es absorbida por el material (un semiconductor), los electrones son desalojados de los átomos de los materiales. Un tratamiento especial en la fabricación de la superficie frontal de la celda la hace más receptiva para liberar electrones. Entonces los electrones migran hacia la superficie de la celda formándose hoyos o cavidades en los espacios dejados por éstos. Una celda solar se compone de 3 capas: la superior que recibe la luz es una película de metal delgadísima, la segunda es una capa de cobre y la tercera de plomo, protegidas con capas de cuarzo para que los rayos x y ultravioletas del sol no las destruyan.

Cuando muchos electrones transportan cargas negativas estos viajan a la superficie de la celda, creando un desbalance entre la zona frontal y la zona posterior de la celda, produciendo una diferencia de potencial, como en el caso de los terminales de una batería. Si las dos superficies son conectadas a una carga externa fluirá la electricidad. Este proceso se muestra en la figura 2.15.

Un sistema fotovoltaico está conformado por bloques de celdas solares. Las celdas individuales pueden variar en tamaño, desde 1 cm hasta 10 cm. Sin embargo, una celda produce solo 1 ó 2 vatios, lo cual no es suficiente potencia. Para incrementar esta potencia las celdas son eléctricamente conectadas dentro de un módulo. El modulo puede ser conectado para formar un arreglo; el término arreglo se refiere a una planta generadora completa.

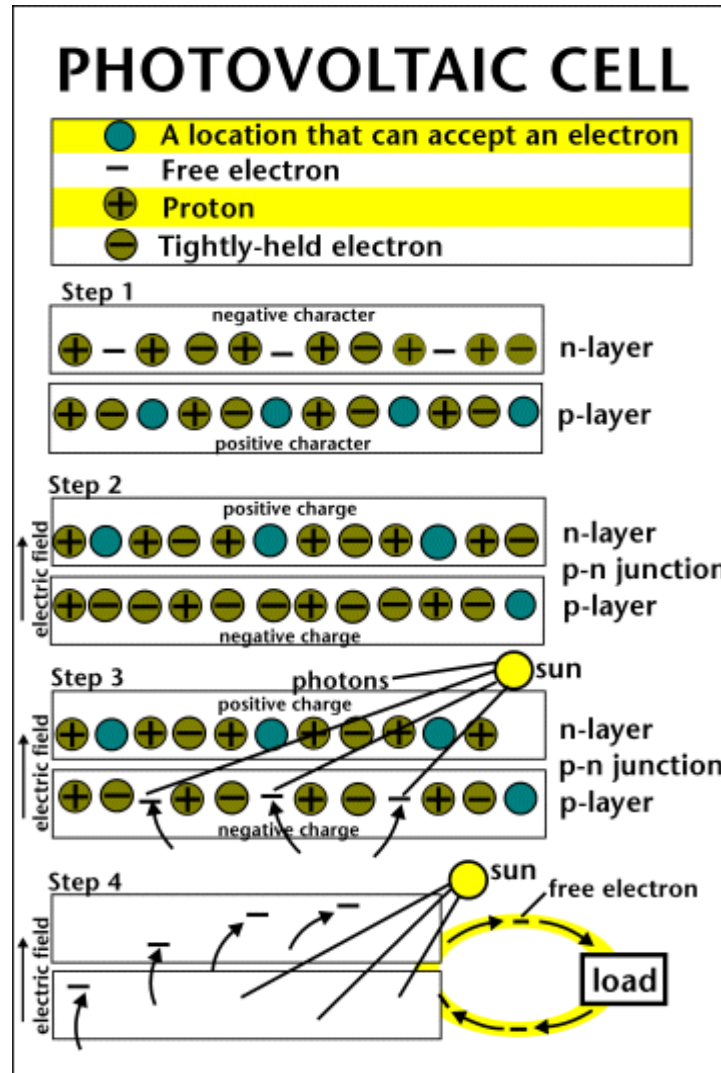


Figura 2.15. Funcionamiento de una celda fotovoltaica.<sup>[12]</sup>

El desempeño del arreglo fotovoltaico depende de la luz solar. Las condiciones climáticas tienen un efecto significativo en la cantidad de energía solar recibida por el arreglo fotovoltaico.

La conversión fotovoltaica es usada por muchas razones, la conversión de energía solar a eléctrica es directa, lo que significa que el uso de sistemas

de generadores mecánicos es innecesario, la instalación de las celdas fotovoltaicas es rápida y no requiere de un tamaño en específico.

También, es mínimo el impacto ambiental que produce las celdas solares, no requiere agua ni productos para el sistema de enfriamiento. Las celdas fotovoltaicas, al igual que las baterías, generan corriente directa, la cual es generalmente usada para pequeñas cargas (equipos electrónicos).

Cuando la corriente directa generada por las celdas fotovoltaicas es usada para aplicaciones comerciales o venta de electricidad, usando la red eléctrica, ésta debería ser convertida en corriente alterna, usando inversores.<sup>[12]</sup>

#### **2.4.3.2.2 Energía térmica solar.**

La energía térmica solar es una rama de la energía solar que consiste en el aprovechamiento de la energía calorífica del sol en la vida de los seres humanos.

Se puede usar a nivel domestico, como para cocinar alimentos (estufas solares), para generar agua caliente (calentadores solares de agua) o para calefacción. También se usa a nivel industrial, en donde se calienta agua hasta evaporarse y este vapor de agua mueve turbinas para generar electricidad (plantas de energía eléctrica solar).

El uso que más se conoce actualmente de la energía solar térmica es la de los calentadores solares de agua para uso domestico. Estos consisten de dos partes principales, el colector solar y el tanque de almacenamiento. El colector solar es un cuadro de aproximadamente 2 m<sup>2</sup> en el cual hay una

serie de tubos por donde pasa el agua, que al entrar en contacto con el sol es calentada; una vez caliente es almacenada en el tanque de almacenamiento (un tanque aislado, como un termo), en donde permanece caliente para cuando se necesite. Estos calentadores pueden generar hasta el 91% del agua caliente que consume una familia, dependiendo del uso y la cantidad de sol que haya en la ubicación del calentador.

Otro uso de la energía solar térmica que está tomando mucho impulso dentro de las casas son las estufas solares, ya que son muy económicas y fáciles de usar.

Dentro de las ramas de la energía solar, la energía solar térmica es más económica que la fotovoltaica, por lo que es la energía que más apoyo y crecimiento ha tenido en los últimos años.

Como ya se ha mencionado, la energía solar térmica también se puede usar para generar electricidad. Esto se hace construyendo una torre en cuya cima hay un gigantesco tanque de agua; alrededor de la torre se colocan miles de espejos que apuntan hacia el tanque, con lo que el agua se calienta y evapora; ese vapor es obligado a pasar por unas turbinas que generan la electricidad. En la noche el agua se condensa y rellena el tanque para que al día siguiente se vuelva a generar energía eléctrica limpia.<sup>[13]</sup>

#### **2.4.3.2.1 Colectores de placa plana.**

En los procesos térmicos los colectores de placa plana interceptan la radiación solar en una placa de absorción por la que pasa el llamado fluido portador. Éste, en estado líquido o gaseoso, se calienta al atravesar los canales por transferencia de calor desde la placa de absorción. La energía



transferida por el fluido portador, dividida entre la energía solar que incide sobre el colector y expresada en porcentaje, se llama eficiencia instantánea del colector. Los colectores de placa plana tienen, en general, una o más placas cobertoras transparentes para intentar minimizar las pérdidas de calor de la placa de absorción en un esfuerzo para maximizar la eficiencia. Son capaces de calentar fluidos portadores hasta 82 °C y obtener entre el 40 y el 80% de eficiencia.<sup>[14]</sup>

Los colectores de placa plana se han usado de forma eficaz para calentar agua y para calefacción. Los sistemas típicos para casa-habitación emplean colectores fijos, montados sobre el tejado. En el hemisferio norte se orientan hacia el Sur y en el hemisferio sur hacia el Norte. El ángulo de inclinación óptimo para montar los colectores depende de la latitud. En general, para sistemas que se usan durante todo el año, como los que producen agua caliente, los colectores se inclinan (respecto al plano horizontal) un ángulo igual a los 15° de latitud y se orientan unos 20° latitud S o 20° de latitud N.

El funcionamiento de la placa colectora, mostrado en la figura 2.16, se logra utilizando la energía del sol para calentar un fluido portador que, a su vez, proporciona calor utilizable en una casa. El fluido portador, agua en este caso, fluye a través de tuberías de cobre en el colector solar, durante el proceso absorbe algo de la energía solar. Después, se mueve hasta un intercambiador de calor donde calienta el agua que se utilizará en la casa. Por último, una bomba lleva de nuevo el fluido hacia el colector solar para repetir el ciclo.<sup>[14]</sup>

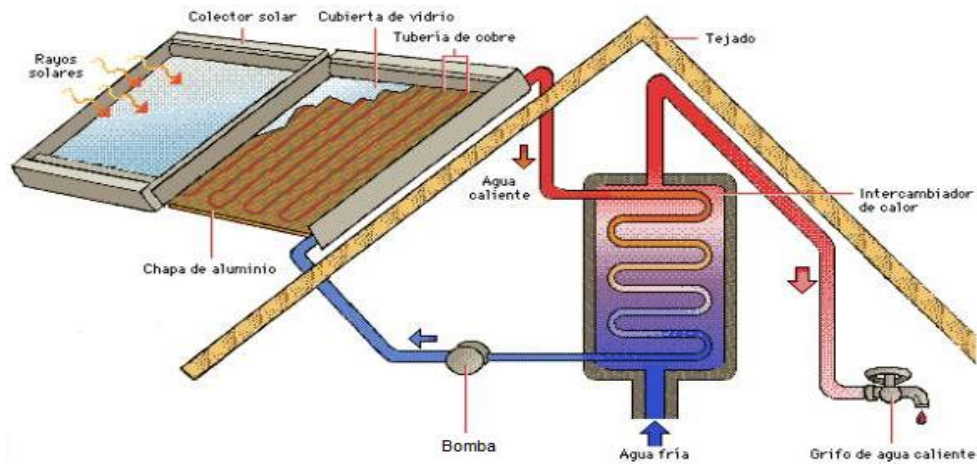


Figura 2.16. Funcionamiento de una placa colectora.<sup>[14]</sup>

#### 2.4.3.2.2 Colectores de concentración.

Para aplicaciones como el aire acondicionado y la generación central de energía y de calor para cubrir las grandes necesidades industriales, los colectores de placa plana no suministran, en términos generales, fluidos con temperaturas bastante elevadas como para ser eficaces. Se pueden usar en una primera fase, y después el fluido se trata con medios convencionales de calentamiento. Como alternativa, se pueden utilizar colectores de concentración más complejos y costosos. Son dispositivos que reflejan y concentran la energía solar incidente sobre una zona receptora pequeña. Como resultado de esta concentración, la intensidad de la energía solar se incrementa y las temperaturas del receptor (llamado blanco) pueden acercarse a varios cientos, o incluso miles, de grados Celsius. Los concentradores deben moverse para seguir al Sol si se quiere que actúen con eficacia; los dispositivos utilizados para ello se llaman heliostatos.<sup>[14]</sup>

#### **2.4.4 Celdas de combustible.**

Una celda de combustible es un dispositivo electroquímico que convierte la energía química de una reacción directamente en energía eléctrica. Por ejemplo, puede generar electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electroquímicamente sin ninguna combustión. Estas celdas no se agotan como lo haría una batería, ni precisan recarga, ya que producirán energía en forma de electricidad y calor en tanto se les provea de combustible. En la práctica, la corrosión y la degradación de materiales y componentes de la celda pueden limitar su vida útil.

La manera en que operan es mediante una celda electroquímica consistente en dos electrodos, un ánodo y un cátodo, separados por un electrólito. El oxígeno proveniente del aire pasa sobre un electrodo y el hidrógeno gas pasa sobre el otro. Cuando el hidrógeno es ionizado en el ánodo se oxida y pierde un electrón; al ocurrir esto, el hidrógeno oxidado (ahora en forma de protón) y el electrón toman diferentes caminos migrando hacia el segundo electrodo llamado cátodo. El hidrógeno lo hará a través del electrólito mientras que el electrón lo hace a través de un material conductor externo (carga). Al final de su camino ambos se vuelven a reunir en el cátodo donde ocurre la reacción de reducción o ganancia de electrones del oxígeno gas para formar agua junto con el hidrógeno oxidado. Así, este proceso produce agua 100% pura, corriente eléctrica y calor útil, por ejemplo, energía térmica, ver figura 2.17.

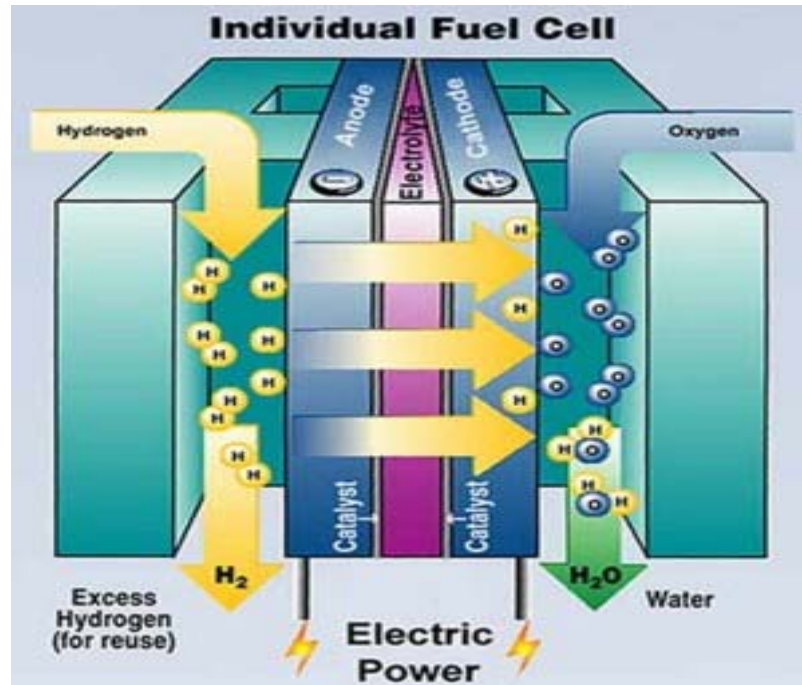


Figura 2.17. Principio de operación de una celda de combustible. <sup>[15]</sup>

#### 2.4.4.1 Tipos de celdas de combustible.

El electrolito define las propiedades de la celda de combustible, particularmente la temperatura de operación. En consecuencia las celdas de combustibles son clasificadas según el tipo de electrolito que usa, como son:

- \* Celda de polímero sólido (PEM).
- \* Celda de ácido fosfórico. (PAFC).
- \* Celda de carbonato fundido (MCFC).
- \* Celda de óxido sólido. (SOFC).

- \* Celda de combustible de metanol directo (DMFC).
  
- \* Celda de combustible alcalino (AFC).

Las celdas de combustible representan un desarrollo potencialmente revolucionario, ya que en lugar de utilizar combustión para generar electricidad utilizan la reacción electroquímica entre el hidrógeno del combustible y el oxígeno del aire para producir electricidad, agua y calor. <sup>[15]</sup>

#### **2.4.4.1.1 Celda de combustible de polímero sólido (PEM).**

Las celdas de combustible de membrana de intercambio protónico (PEM) debido a su simplicidad y a la alta densidad de poder son el único tipo de celda de combustible considerado actualmente para impulsar automóviles. Las PEM también están desarrollándose para la generación de energía estacionaria y portátil.

Las PEM, toma su nombre de la membrana plástica especial usada como electrolito. Las membranas robustas de intercambio cationico se desarrollaron originalmente para la industria del chloralcali por DuPont y en combinación con todas las partes importantes de una celda de combustible, ánodo, cátodo y electrolito, forman una unidad muy compacta. Este ensamblaje electrodo membrana (EEM), no es más que algunos cientos micrones, y es el corazón de un PEM, cuando se le proporciona combustible y aire genera energía eléctrica a voltajes de celdas que oscila alrededor de 0,7 V y densidades de potencia aproximadamente de  $1 \text{ Wcm}^2$ . Delgadas capas de electrodo de metal noble porosas al gas en ambos lados de la membrana contienen todo lo necesario para la electrocatalización, que conlleva el proceso de generación de energía electroquímica. La membrana

depende de la presencia de agua para poder dirigir los protones eficazmente, y esto limita la temperatura a que un PEM pueda ser operado. La figura 2.18 muestra el esquema de un EEM. <sup>[2]</sup>

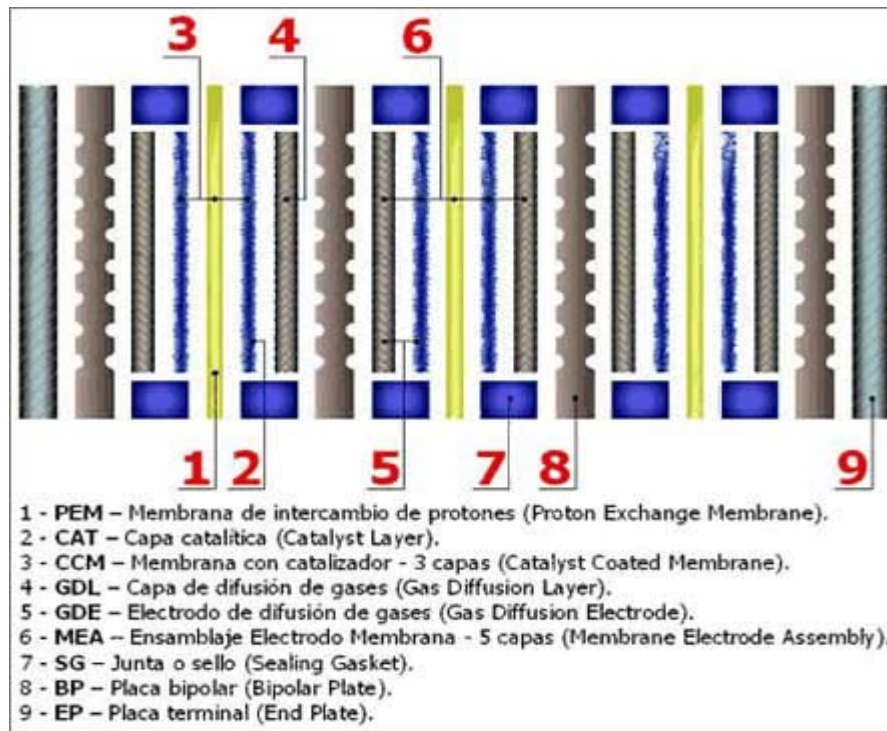


Figura 2.18. Esquema de un ensamblaje electrodo membrana (EEM), basado en capas de catalizador, capa de difusión de gas y membrana de intercambio protónico. <sup>[2]</sup>

#### 2.4.4.1.1 Desempeño de las PEM.

Los factores que controlan el desempeño de las celdas de combustible se visualizan de una forma clara una vez que se analiza la curva típica corriente/voltaje y sus contribuciones. Las ecuaciones (2.1 al 2.3)

representan la reacción del ánodo, la reacción del cátodo, y la reacción global de las PEM, respectivamente.



La capa de difusión de gas o sustrato del electrodo en el ánodo permite que el hidrogeno alcance la zona reactiva dentro del electrodo. Al reaccionar, los protones emigran a través de la membrana que conduce al ion, y los electrones se conducen a través de las capas de sustrato. El sustrato del ánodo tiene que ser poroso al gas, así como electrónicamente conductor.

Debido a que toda energía química proporcionada al EEM por los reactores es convertida en energía eléctrica, también se generará calor en alguna parte dentro del EEM. Por tanto, el sustrato poroso también actúa como un conductor de calor para eliminar el calor de las zonas reactivas del EEM. En el cátodo las funciones del sustrato llegan a ser más complejas. El agua que se forma como producto en el cátodo, según la ecuación (2.2), si sale en forma líquida (como ocurre normalmente si los reactantes son saturados con el vapor de agua), hay un riesgo de que el líquido bloquee los poros dentro del sustrato y, por consiguiente, acceso de gas a la zona reactiva. Esto plantea un problema de funcionamiento serio, debido a que por razones económicas el oxidante usados en la mayoría de los casos no es

oxígeno puro sin aire, por consiguiente el 80 % del gas presente dentro del cátodo es inerte.

La figura 2.19 muestra la típica de curva corriente/voltaje, analizadas las pérdidas respectivas al funcionamiento. El voltaje de celda a circuito abierto, normalmente no alcanza el valor teórico del potencial reversible del cátodo para la temperatura y presión dada (para condiciones estándar, éste sería 1,23 V). Alguna pérdida del voltaje de celda a circuito abierto se debe al cruce de una pequeña cantidad de hidrogeno a través del electrolito o membrana al cátodo donde causa un potencial mixto; es decir, alguna oxidación de hidrogeno electroquímica en el cátodo junto con la reducción del oxígeno. También los procesos de corrosión (posiblemente cierta corrosión debida al carbono) podrían tener lugar, dependiendo de la composición de los electrodos. [2]

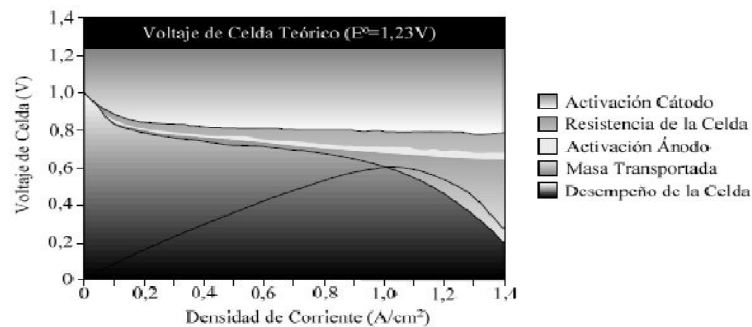


Figura 2.19. Curva típica de corriente/voltaje de una celda de combustible. [2]

La densidad de potencia eléctrica producida por el EEM simplemente es el producto del voltaje y la densidad de corriente en cada punto de la curva corriente/voltaje en la figura 19. La potencia aumenta, entonces con el incremento de la densidad de corriente a un máximo, que dependen del diseño y calidad del EEM empleado. Más allá del punto máximo, la caída de



voltaje en la celda es más grande aumentando con la densidad de corriente, por consiguiente, disminuirá rápido la potencia.

Debido al funcionamiento de menos de 100 °C y presión atmosférica, se produce agua en forma de líquido. Un requisito crítico es mantener alto contenido de agua en el electrolito para asegurar una alta conductibilidad iónica. Mantener el volumen de agua alto es particularmente crítico cuando se opera con altas densidades de corriente (aproximadamente 1 A/cm<sup>2</sup>) porque los problemas de transporte de masa asociado con la formación de agua y la distribución limitan el rendimiento de la celda. La conductibilidad iónica del electrolito es superior cuando la membrana está totalmente saturada; esto golpea la eficacia global de la celda de combustible. Sin el control adecuado de agua, un desequilibrio podría generarse entre la producción de agua y el retiro del agua de la celda. [2]

#### **2.4.4.1.2 Celda de combustible de ácido fosfórico (PAFC).**

La PAFC es una celda de combustible que emplea un concentrado líquido de ácido fosfórico, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, como electrolito. Normalmente se opera con hidrogeno y aire. Los electrodos, los catalizadores, y la construcción global, incluyendo los platos bipolares, son muy similares al de las PEM; de hecho, muchas de las características de diseño actuales de la PEM, como el carbono, los catalizadores de platino (Pt), se ha derivado de la tecnología PAFC.

Las PAFC fue la primera tecnología de celdas de combustibles en ser comercializada. El número de unidades construidas excede cualquier otro combustible de tecnología celular. La mayoría de estas plantas se encuentran en un rango de capacidad de 50 – 200KW, pero se han

construido plantas grande un 1 MW y 5 MW. La planta más grande que se ha logrado operar es de 11 MW. En los Estados Unidos se han concentrado los esfuerzos en las mejoras de las PAFC para plantas de energía estacionarias, dispersadas en los sitios de donde se encuentran las cargas.

Algunos participantes industriales de renombre son UTC Celdas de combustibles, en Estados Unidos, Fuji Electric Corporation, Toshiba Corporation, y Mitsubishi Electric Corporation en Japón. La figura 2.20 describe la configuración de operación de la celda de ácido fosfórico. Las reacciones electroquímicas que ocurren en las PAFC son:



En el ánodo, y



En el cátodo, la reacción global de la celda es:



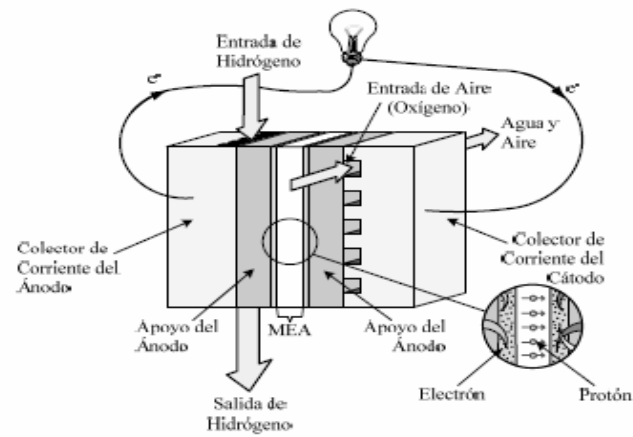


Figura 2. 20. Principio de funcionamiento de una celda de combustible de ácido fosfórico. [2]

#### 2.4.4.1.2.1 Desempeño de las PAFC.

Sólo cambios menores ha experimentado el desempeño de estas celdas debido principalmente a las condiciones de operación. El desempeño para cualquier celda de combustible es una función de la presión, la temperatura, de la composición del gas reactante, y el combustible utilizado. Además, el desempeño puede verse afectado adversamente por las impurezas en el combustible y en el gas oxidante.

El desempeño de las celdas de combustible de ácido fosfórico es inferior al desempeño de las PEM, la diferencia principal entre las dos celdas de combustible es el electrolito. En las PAFC, es distribuido en una capa porosa de carburo de silicio (SiC) que separa en ánodo y el cátodo. Este tipo de electrolito requiere de un buen control de líquido, en los depósitos de electrolito para evitar derrames.

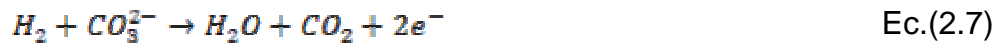
Las PAFC son operadas a temperaturas superiores a los 150 aproximadamente 200°C. Esto es una de las principales ventajas; las temperaturas de funcionamiento generalmente están asociadas a una buena cinética de CO en el ánodo, las hace tolerante a aproximadamente 1% CO en el combustible. El ambiente electroquímico dentro de las PAFC a esas temperaturas de funcionamiento es muy corrosivo. Por consiguiente, se requieren platos bipolares de carbono sólido, y los apoyos de catalizador de carbono pueden requerir el tratamiento térmico previo especial para mejorar su resistencia a la corrosión. Las PAFC generalmente padecen de degradación de desempeño a largo plazo (en el orden de los 5 mV por 1000 h), con la proporción más baja publicada igual a los 2mV por 1000 h durante 10,000 horas, con densidades de corriente alrededor de los 0,2 y 0,25 Acm<sup>2</sup>.

#### **2.4.4.1.3 Celda de combustible de carbonato fundido (MCFC).**

La célula de combustible de carbonato fundido opera aproximadamente a 650 °C (1200 °F). La alta temperatura de funcionamiento es necesaria para lograr la conductibilidad suficiente de su electrolito de carbonato. Un beneficio asociado con esta temperatura es que no se requiere de catalizadores de metal nobles, para la oxidación electroquímica de la celda o en el proceso de reducción. Están desarrollándose las celdas desarrollándose las celdas de combustible de carbonato fundido para gas natural y plantas de poder a base de carbón para utilidad industrial, eléctrica y aplicaciones militares. <sup>[2]</sup>

El electrolito en las MCFC es una mezcla de carbonatos alcalinos, típicamente Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Por consiguiente, el ion portador de carga no es más grande que un protón pero el ion de carbonato, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, se mueve desde

el cátodo hasta el ánodo. Una peculiaridad de las MCFC es el agotamiento de iones de carbonatos formados en el cátodo necesario para el reciclaje de  $\text{CO}_2$  del ánodo al cátodo o para proporcionar  $\text{CO}_2$  de alguna fuente alternativa. El gas del cátodo está compuesto típicamente de 12,6% de  $\text{O}_2$ , 18,4% de  $\text{CO}_2$  y 69% de  $\text{N}_2$ . Las reacciones del ánodo y del cátodo pueden expresarse como:



Y la reacción global de la celda es:



La figura 2.21 describe la configuración de una celda de combustible de carbonato fundido.

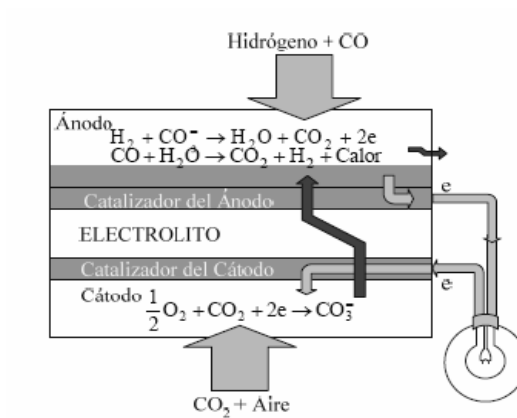


Figura 2.21. Configuración de una celda de combustible de carbonato fundido. <sup>[2]</sup>

Además de las reacciones que involucran el hidrogeno y al oxígeno para producir el agua, la ecuación 2.10 muestra una transferencia de CO<sub>2</sub> del cátodo hacia el ánodo a través del ion  $\text{CO}_3^{2-}$ . El potencial reversible de una MCFC, tomando en cuenta la transferencia de CO<sub>2</sub> está dada por:

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{2F} \ln \left( \frac{P_{\text{H}_2} P_{\text{O}_2}^{\frac{1}{2}}}{P_{\text{H}_2\text{O}}} \right) + \frac{RT}{2F} \ln \left( \frac{P_{\text{CO}_2,c}}{P_{\text{CO}_2,a}} \right) \quad \text{Ec.(2.10)}$$

Donde los subíndices a y c se refieren a los comportamientos de gas del ánodo y del cátodo, respectivamente. Cuando las presiones parciales de CO<sub>2</sub> son iguales en el ánodo y en el cátodo, y el electrolito es invariable, el potencial de la celda sólo depende de las presiones parciales de H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Típicamente las presiones parciales del CO<sub>2</sub>, son diferentes en los dos comportamientos de electrodo y el potencial de la celda es afectado de acuerdo con esto.

El manejo del electrolito, es decir, el sobre control de la optima distribución de electrolito de carbonato fundido en los diferentes componentes de la celda, es crítico para lograr un buen desempeño de las MCFC. Los diferentes procesos (consumo por las reacciones de corrosión, manejo del potencial migratorio, sal y la vaporización de la sal) que ocurren contribuyen con la redistribución del carbonato fundido en las MCFC. <sup>[2]</sup>

#### 2.4.4.1.3.1 Desempeño de las MCFC.

Los factores que afectan la selección de condiciones que opera son tamaño de stack, la velocidad de transferencia de calor, el nivel de voltaje,

los requerimientos de carga, y costo. La curva de desempeño está definida por la presión de la celda, temperatura composición del gas y utilización. Las MCFC generalmente operan en un rango de 100 a 200 mA/cm<sup>2</sup> a 750 a 900 mV/ cell .

Las curvas típicas de desempeño se obtienen a 650 °C con una composición del oxidante igual a: 12,6% de O<sub>2</sub> , 18,4% de CO<sub>2</sub> y 69% de N<sub>2</sub> (prevista para ser usada en una MCFC), y una composición básica común igual a: 33% de O<sub>2</sub> , 67% de CO<sub>2</sub> , se presentan en la figura 2.22. La composición básica contiene O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en la proporción estequiometrica que requiere la electroquímica del cátodo (ecuación 2.9). Con esta composición de gas, ocurre una pequeña o ninguna limitación en la difusión del gas en el cátodo debido a que los reactantes son proporcionados principalmente por volumen de flujo. La otra composición de gas que contiene un fragmente sustancial de N<sub>2</sub> produce un desempeño del cátodo donde la dilución está limitada por el gas inerte.

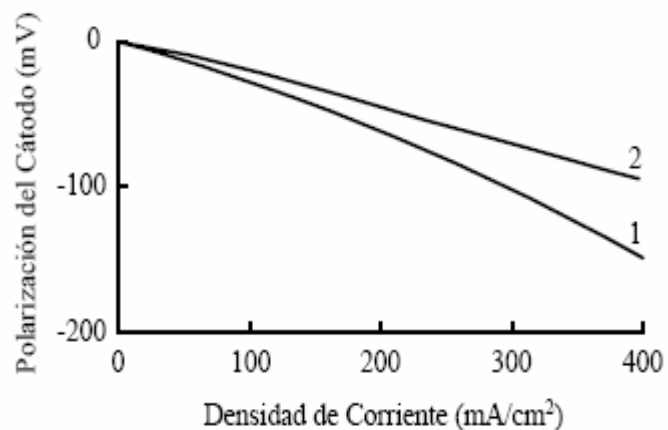


Figura 2.22. El efecto de la composición del gas oxidante en la actuación del cátodo de las MCFC a 650°C, (curva 1; 12,6% de O<sub>2</sub> , 18,4% de CO<sub>2</sub> y 69% de N<sub>2</sub> ; curva 2; 33% de O<sub>2</sub> , 67% de CO<sub>2</sub>). [2]

#### 2.4.4.1.3.2 Reformas internas.

En una celda de combustible convencional, un combustible carbonoso alimenta a un procesador de combustible donde se reforma el vapor para producir  $H_2$  (además de otros productos como  $CO$  y  $CO_2$ ) que se introducen en la celda de combustible junto con la oxidación electroquímica. Las reformas interiores de las celdas de combustible de carbonato fundido, sin embargo eliminan la necesidad, por un procesador de combustible separado por reformar el combustible carbonoso. Este concepto es práctico en una celda de combustible de alta temperatura donde las reacciones reformadas del vapor eran realizadas por catalizadores. La reforma interna de las MCFC elimina la necesidad de un procesador de combustible interno, proporciona una eficaz, simple y fiable alternativa al sistema de la MCFC convencional.

Existen dos alternativas viables para lograr la reforma interna en las celdas de carbonato fundido: el reformado interior indirecto (IIR) y el reformado interior directo (DIR). En el primer caso, la sección del reformador está separada, pero adyacente al ano de la celda de combustible. Estas celdas toman ventajas del beneficio térmico de la condición cerrada (sellada uniformemente) donde el calor exotérmico de la reacción puede usarse para la reacción reformadora endotérmica. En el caso de la DIR, el consumo de hidrogeno reduce su presión parcial, de esta manera controla la reacción que reforma el metano, ecuación 2.11, y la figura 2.23 describen un diseño donde se han combinado IIR y DIR.



Ec.(2.11)



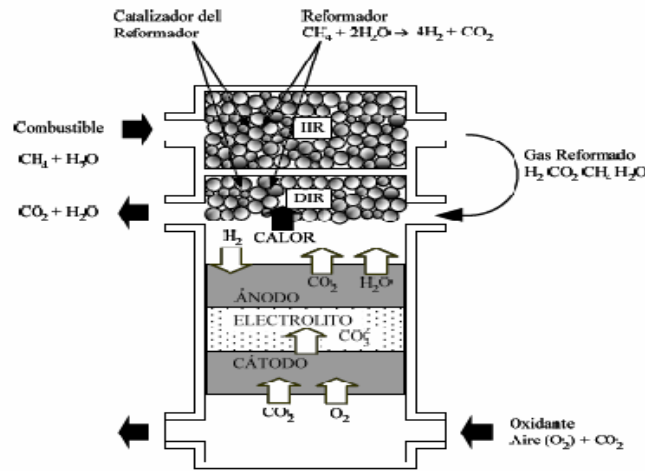


Figura 2.23. IIR/DIR Concepto de operación, diseño de la celda de combustible de carbonato fundido. [2]

En una MCFC con reformado interno, el calor requerido para la reacción de la ecuación 2.11 es proporcionado por el calor de la reacción de la celda de combustible, eliminando la necesidad de un intercambio de calor externo proporcionado por un procesador de combustible convencional. Además, el vapor producido por la reacción de la ecuación 7 puede usarse para reforzar la reacción de reformación y la reacción de cambio de vapor de agua para producir  $\text{H}_2$  adicional. La reacción de reformación (ecuación 2.11) se ve favorecida por la alta temperatura y la baja presión; así, una MCFC con reformado interior está mejor preparada para operar cerca de la presión atmosférica.

#### 2.4.4.1.4 Celdas de combustible de óxido sólido (SOFC).

Las celdas de combustible de óxido sólido son factibles para la generación de electricidad a partir de combustibles de hidrocarburo. Altas temperaturas de funcionamiento (600 – 1000°C) permite la reforma interna,

proporciona rápida cinética con materiales no-preciosos. Las ventajas inherentes de las SOFC son el diseño completamente transistorizado y en el contraste con las PEM, la ausencia de problemas de dirección de agua. Todavía los problemas de los materiales, particularmente relacionado al sellado y al recorrido térmico, es más severo que con la tecnología de las MCFC. De hecho, la búsqueda para el diseño de la stack correcta ha sido un enfoque de investigación y desarrollo durante décadas.

Adelantos de la tecnología de la cerámica moderna y la ciencia de los transistores han llevado al desarrollo de un grupo de dispositivos eficaces. En particular, muchas cerámicas con propiedades eléctricas inalcanzables con materiales metálicos o polímeros; estos materiales son conocidos como electro-cerámicas.

Un grupo de electro-cerámicas, conocidos como conductores seguros de ion, conductores rápidos de ion, y conductores superiónicos, puede sostener un alto flujo de iones en estado sólido. Materiales que rápidamente conducen los iones de oxígeno ( $O^{2-}$ ) puede ser usado como electrolitos sólidos en las SOFC tubular y SOFC planas (PSOFC).<sup>[2]</sup>

#### **2.4.4.1.4.1 Diseño tubular SOFC.**

El diseño tubular nace de los problemas para sellar las stack tipo planas de las SOFC. Su principio se muestra en la figura 2.24. Combustible y aire son proporcionados del exterior y del interior, respectivamente, a través de tubos extendidos del óxido sólido cerrados en un extremo.

En el electrodo aéreo compatible con esta tecnología, el propio tubo forma el cátodo de la celda (electrodo aire) como se ilustra en la figura 2.26(a). Los tubos están sellados y abiertos sólo por un extremo, ver figura 2.25. Los gases se proporcionan vía manifold y en el caso del aire, a través de tubos de descarga de alúmina que se diferencia de los tubos de la celda de combustible.

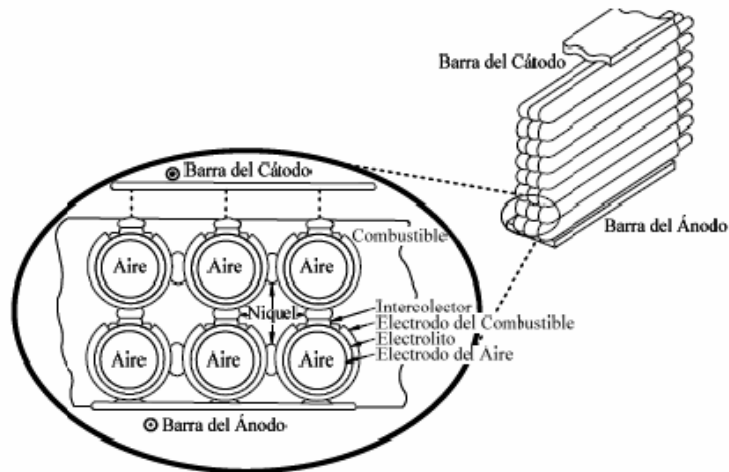


Figura 2.24. Arreglos esquemáticos de tubos en una planta de energía. <sup>[2]</sup>

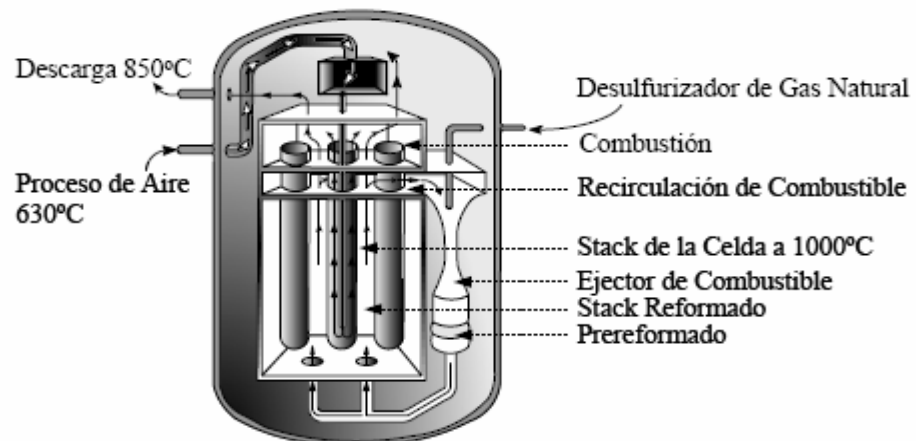


Figura 2.25. Sello de tubos en una celda de combustible SOFC (Siemens Westinghouse). <sup>[2]</sup>

Los tubos se conectan en serie o en paralelo interconectados a través de un filamento de níquel flexible que permite hacer un buen contacto en una línea a lo largo de la circunferencia, ver figura 26 (a). La mayoría de los flujos de corriente en los segmentos largos de tubos incurren en pérdidas óhmicas significativas. Por consiguiente, las celdas de combustible SOFC tubulares normalmente presentan densidades de corriente inferiores comparadas con las celdas tipo planas.

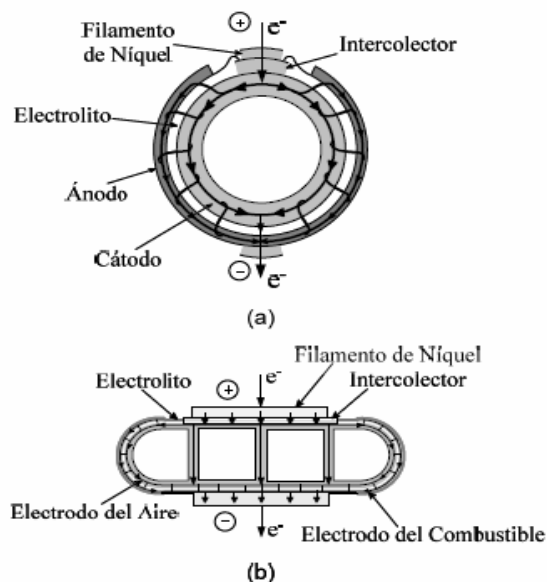


Figura 2. 26. (a) Corte transversal de una Siemens-Westmhouse con electrodo de aire soportado, tubos interconectados con filamento de Níquel. (b) Corte transversal del tubo aplanado Siemens- Westmhouse, nuevo diseño de alta densidad de poder. <sup>[2]</sup>

#### 2.4.4.1.4.2 Diseño plano de la SOFC.

Actualmente los esfuerzos en lo que respecta a los diseños de la SOFC plana se basa en los componentes que soportan las estructuras del cátodo, electrolito y ánodo.; dos avances en esta tecnología son las celdas electrodo soportado y las celdas de electrolitos soportado. La figura 2.27 muestra estas

dos configuraciones. Las celdas electrolito soportadas usan membranas  $> 100 \mu\text{m}$  de espesor de yttria estabilizada con zirconio (YSZ). La contribución óhmica, o resistencia específica del electrolito a  $800^\circ\text{C}$  es más de  $0,75 \Sigma - \text{cm}^2$ . Esto excede la cantidad deseada de  $0,2 \Sigma - \text{cm}^2$  para celdas enteras.

Las celdas de combustible como tal, electrolito soportadas son problemáticas funcionando a temperaturas por debajo de  $900^\circ\text{C}$  con desempeño razonable. El funcionamiento de estas celdas por encima de los  $900^\circ\text{C}$  hace necesario el uso de cerámica de alto costo o conexiones de cromo metálico.

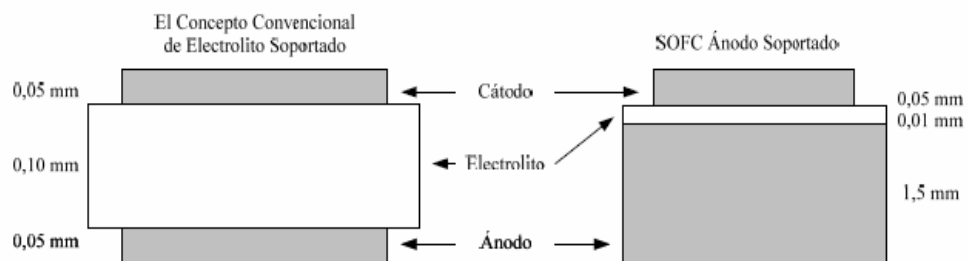


Figura 2.27. Celda electrolito soportado y Celda ánodo soportado. [2]

En las celdas de electrodo soportado, el componente soportado puede ser el ánodo o el cátodo. En estos diseños, el electrolito está típicamente entre  $5-30 \mu\text{m}$ , mientras el espesor del electrodo puede ser entre  $\sim 250 \mu\text{m}$  y  $\sim 2 \text{mm}$ .

En el diseño cátodo soportado, el electrolito es de YSZ y manganitas de lantano y estroncio, los coeficientes de dilatación térmica del cátodo iguala a

los casos donde no existe ninguna restricción en el espesor del electrolito. En las celdas de ánodo soportado, el coeficiente de dilatación térmica en el ánodo YSZ con níquel, es mayor que el electrolito de YSZ. Esto limita el espesor del electrolito que es típicamente 30  $\mu\text{m}$ . El diseño de celda ánodo soportado ofrece las siguientes ventajas con respecto a las de cátodo soportado:

La polarización de concentración es más baja puesto que la difusividad efectiva del gas del ánodo es típicamente 3 ó 4 veces mayor que la del aire.

La presencia de níquel metálico en el ánodo conduce a una buena resistencia al choque térmico, debido a su alta conductibilidad térmica y plasticidad.

Puesto que la porosidad requerida es creada fácilmente reduciendo NiO y Ni, a la micro-estructura deseada del electrodo se puede desarrollar fácilmente en las celdas ánodo soportadas.

Un adelanto significativo en el desarrollo de la temperatura intermedia ha sido el uso de interconexiones con un bipolar metálico. Una placa bipolar se muestra en la figura 2.28. La unidad mostrada tiene un diapasón de cinco celdas por la pulgada. El plato bipolar tiene varias funciones, proporcionar una barrera para los gases entre el ánodo y el cátodo, proporcionar una conexión eléctrica serie entre el ánodo y el cátodo, y la distribución de flujo del campo. Para ser funcional, la interconexión metálica debe satisfacer varios, requisitos incluyendo:

✱ Impermeabilidad.

- \* Fuerza mecánica.
- \* Flexibilidad de compensación para la diferencia en los coeficientes de dilatación térmica entre los componentes cerámicos.
- \* Tolerancia dimensional.
- \* Eléctrico.
- \* Conductibilidad a granel.
- \* Resistencia de contacto.
- \* Descenso de presión (diseño del flujo de campo).
- \* Manufacturabilidad.
- \* Costos.

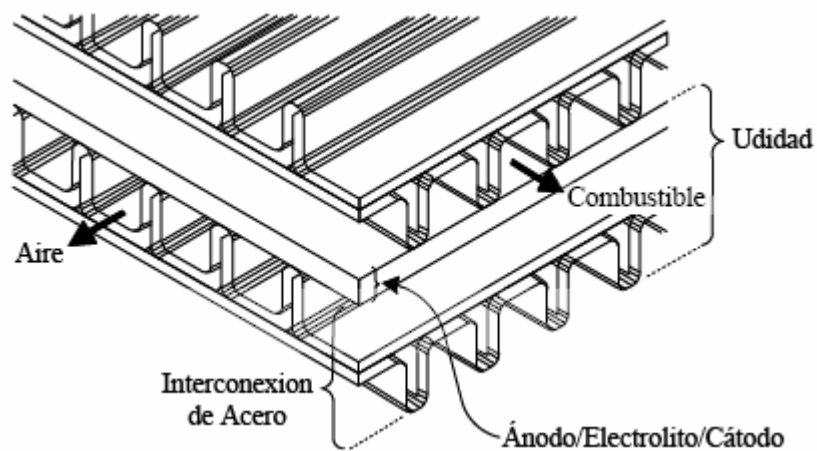


Figura 2.28. SOFC plana con una configuración de stack de flujos cruzados. <sup>[2]</sup>

La unión individual de celdas, incluyendo ánodo, electrolito y cátodo se apilan con el metal que interconecta las placas entre ellas. Las placas de metal se amoldan para permitir el flujo de combustible y aire hacia las membranas. La figura 2.29 muestra un stack de SOFC planas. El electrolito y las capas interconectadas están formadas por la cinta, como otras tecnologías de celdas de combustible. Las stack de las celdas de combustible están formadas por las capas de unidades de celda. Pruebas de una y dos stack de celdas de SOFC con configuración plana (5 cm diámetro) ha demostrado densidades de poder de  $0,12 \text{ W/cm}^2$ . Una dificultad técnica que presentan estas estructuras es su fragilidad a tensiones; la fuerza tensora es aproximadamente el 20% de su fuerza de compresión.



Figura 2.29. Stack de una SOFC Plana. [2]

Están desarrollándose dos configuraciones de diseño diferentes para celdas de combustible de óxido Sólido motivadas por 1) consideraciones de cómo sellar los comportamientos del ánodo y del cátodo, 2) la facilidad de fabricación, y 3) minimizar las pérdidas debido a la resistencia eléctrica. Los dos tipos principales son tubulares y planas. Operando entre  $800-1000^{\circ}\text{C}$ , los tubos largos tienen resistencia eléctrica relativamente alta pero son simples para sellar. Algunos diseños tubulares eliminan la necesidad de sellos y permiten la dilatación térmica. Varias unidades tubulares están operando actualmente en el campo, con miles de horas de funcionamiento



demostradas. En la configuración tubular los paquetes de tubos están cerrados en un extremo y se colocan en paralelo. El aire se introduce al interior de cada tubo mientras el combustible fluye sobre el exterior de las celdas. Los iones de oxígeno emigran a través del electrolito para reaccionar con el combustible; el flujo de iones produce electricidad.

Las SOFC planas se componen de placas de cerámica planas finas. Operan a 800°C o incluso menos. Las hojas ultra finas de electrodo/electrolito tienen baja resistencia eléctrica para lograr una alta eficacia. El funcionamiento a temperaturas más bajas que las SOFC tubular permite el uso de materiales menos exóticos de construcción, reduciendo los costos operativos. En la configuración plana, ánodo, electrolito y cátodo separadas por placas bipolares similares a otros diseños de celda de combustible. Muchos de las SOFC planas usan las placas bipolares metálicas y se operan a temperaturas más bajas que los diseños tubulares todos de cerámicas.<sup>[2]</sup>

#### **2.4.4.1.4.3 Desempeño de las SOFC.**

Esta sección proporciona información empírica que puede usarse para estimar la actuación de las SOFC basada en los varios parámetros de operación. Las SOFC desarrolladas, particularmente el tipo plana, tienen diseños únicos, se construyen de varios materiales, y se fabrican con diferentes técnicas. Este proceso de desarrollo dará lugar a la evolución adicional de las tendencias de desempeño resumidas aquí. Las ecuaciones (2.11) y (2.13) expresan las reacciones electroquímicas asociadas con el combustible:



En el ánodo, y



En el cátodo. La reacción global de la celda es:



#### 2.4.4.1.5 Celda de combustible de metanol directo (DMFC).

Un esquema de una DMFC que emplea una membrana electrolito de polímero sólido se presenta en la figura 2.30, metanol y agua reaccionan electroquímicamente (es decir, el metanol se electro-oxida) en el ánodo para producir dióxido de carbono, protones y electrones como la representa la ecuación 2.14. Un electrolito ácido es ventajoso para ayudar al rechazo de  $CO_2$  desde que se forman los carbonatos insolubles en los electrolitos alcalinos.

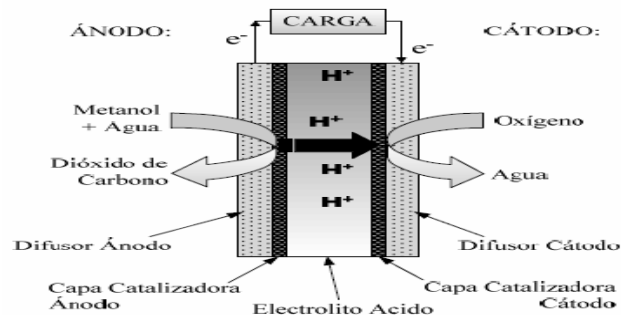
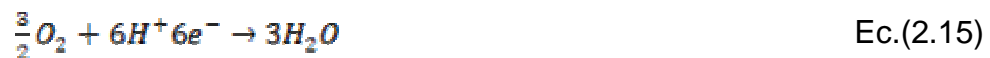


Figura 2.30. Esquema de una DMFC que emplea una membrana electrolito de polímero sólido ácido. <sup>[2]</sup>

Los protones producidos al ánodo emigran a través del electrolito de polímero al cátodo donde ellos reaccionan con el oxígeno (normalmente aire) y producir agua como se ilustra en la ecuación (Ec.2.15). Los electrones producidos en el ánodo transportan la energía libre de cambio de la reacción química que viaja a través del circuito externo donde ellos pueden hacer un trabajo útil, como impulsar un motor eléctrico. La ecuación 2.16 muestra la reacción global de la celda.



#### 2.4.4.1.5.1 Limitaciones cinéticas.

Las DMFC producirán un voltaje de celda igual a 1,8 V al 100% de la eficiencia del voltaje, e independiente de la demanda de corriente. En realidad, las reacciones mostradas en las ecuaciones (Ec.2.14) y (Ec.2.15) son sumamente activas, y la poca cinética de los electrodos (pérdidas cinéticas) causada por las reacciones desvían sus valores termodinámicos ideales de tal manera que provoca una disminución considerable en la eficiencia de una operacional DMFC. Esto se evidencia en la figura 2.31 que muestra varios efectos limitadores, incluso la cinética, resistencia, mezcla del metanol y transporte de masa. <sup>[2]</sup>

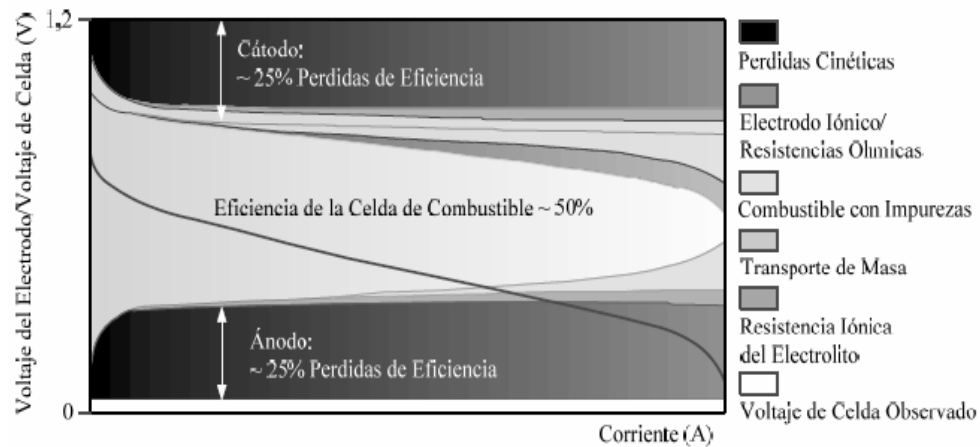


Figura 2.31. Análisis del ánodo, cátodo y pérdidas en el desempeño relacionadas con el electrolito de una DMFC. <sup>[2]</sup>

En el caso de la electro-oxidación de metanol en el ánodo de las DMFC, el cuadro es el menos claro. La electro-oxidación del metanol sólo ocurre en una proporción razonable con la presencia de platino o un electrocatalizador a base de platino. Esta reacción ha sido el enfoque de investigaciones. Sin embargo, existen muchas diferencias entre los resultados experimentales; esto puede ser debido a la amplia gama de condiciones experimentales empleada en los estudios. <sup>[2]</sup>

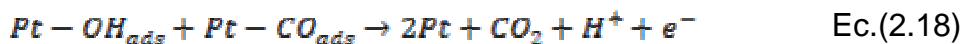
#### 2.4.4.1.5.2 Cinética del electrodo y la reacción del ánodo.

La electro-oxidación de metal a dióxido de carbónico involucra seis electrones, y es muy improbable que estos electrones se transferirán simultáneamente. Claramente, especies de superficie absorbentes deben estar presentes en la superficie del catalizador de platino a lo largo de su rango útil de voltaje, y estas especies deben ser responsables de la baja actividad catalizadora del platino hacia la electro-oxidación del metanol.

Los mecanismos postulados para la electro-oxidación del metanol pueden resumirse de la siguiente manera:

1. Electro absorción del metanol sobre la superficie del catalizador para formar contenido de carbonos intermedios.
2. La adición de oxígeno (del agua) a la electro absorción del contenido de carbono intermedios para generar CO<sub>2</sub>.

Esto corresponde a las siguientes reacciones electroquímicas:



Con respecto al primer paso (paso 1), muy pocos materiales son capaces de electroabsorber el metanol. En los electrolitos ácidos, sólo electrocatalizadores a base de platino han mostrado la actividad y estabilidad química requerida. Se cree que el mecanismo de adsorción tiene lugar a través de la sucesión de pasos mostrados en la figura 2.32. El mecanismo muestra la electroadsorción del metanol sobre la superficie de platino con la secuencia el protón y separación del electrón, llevando a la contaminación del catalizador, linealmente relacionado con el monóxido de carbono garantizado (Pt-CO) y producir CO<sub>2</sub>.

En potenciales por debajo de aproximadamente 450 mV, la superficie del platino puro se contamina por una capa de CO<sub>ads</sub> ampliamente comprobada. La electroadsorción adicional del metanol no puede ocurrir

hasta que la superficie límite de  $\text{CO}_{\text{ads}}$  se oxide de  $\text{CO}_2$ , que se absorba la superficie del platino. En potenciales por debajo de o cerca de 450 mV, este proceso ocurre una proporción significativa. Esto ha llevado a una búsqueda intensiva de materiales alternativos que pueden electro-oxidar el metanol a potenciales más bajos, y en particular materiales que podrían ser combinados con platino para causar los procesos anteriores. Un número de posibles explicaciones pueden responder sobre las acciones mejoradas considerada para algunos de estos materiales avanzados. Sin embargo los más probables son:

1. El elemento metal binario (por ejemplo, rutenio) modifica las propiedades electrónicas del catalizador, debilitando el vínculo químico entre el platino y la superficie (efecto intrínseco).
2. El elemento binario (por ejemplo, rutenio, estaño, plomo o rodio) es inestable. Esto lleva a un número más alto de sitios que extiende el paso, asociado con la electroabsorción del metanol. Además, estos sitios de baja coordinación pueden ser electro-oxidados muy fácilmente, dando lugar a la especie  $\text{Pt-OH}_{\text{ads}}$ .
3. El elemento de metal binario (por ejemplo, rutenio, estaño o tungsteno) puede proporcionar un sitio adyacente de platino- $\text{OH}_{\text{ads}}$  a través de un proceso desbordado. Por tanto, la actividad catalizadora es gobernada por el potencial en el que el metal binario se electro-oxida y entrega  $\text{OH}_{\text{ads}}$  a los sitios adyacentes de platino. Para los materiales como Ru, esto ocurre a potenciales muy bajos ( $< 250\text{mV}$ ) que es posible en una superficie de platino. En virtud de este proceso, los catalizadores más

activos de la electro-oxidación del metanol se basan en aleaciones de Pt-Ru.

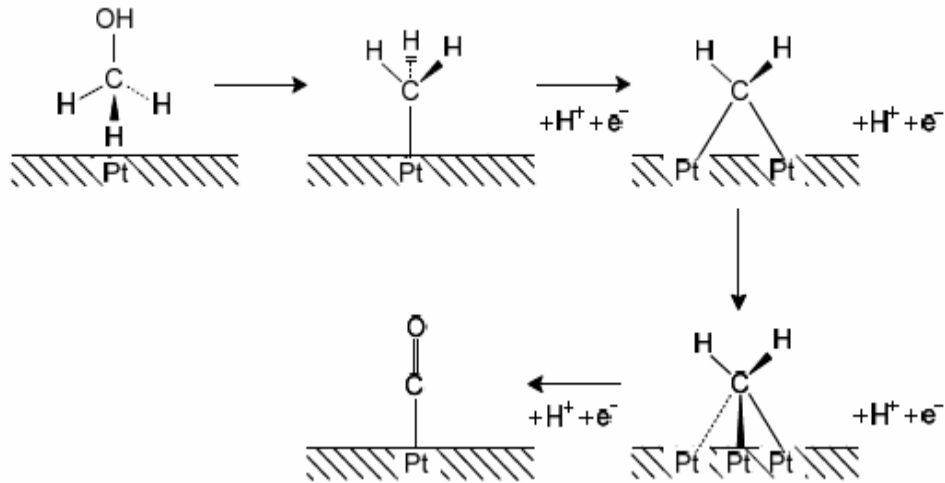


Figura 2.32. Mecanismo de electroadsorción del metanol en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en superficies de Pt puro. <sup>[2]</sup>

#### 2.4.4.1.6 Celda de combustible alcalinas (AFC).

La celda de combustible alcalina (AFC) fue una de las primeras celdas de combustible modernas en ser desarrollada, su desarrollo comenzó en 1960. La aplicación para ese entonces era proveer de energía eléctrica al vehículo espacial Apolo. Las características especiales que hacen atractivas las AFC tienen que ver directamente con su excelente comportamiento con el hidrogeno ( $\text{H}_2$ ) y el oxigeno ( $\text{O}_2$ ), comparado con otras celdas de combustible, debido a su flexibilidad para usar una amplia gama de electrocatalizadores.

Las celdas de combustibles alcalinas se distinguen por cambiar bajas temperaturas de trabajo con una alta eficiencia. Ellas resultan favorables

para aplicaciones en la industria espacial y el sector marítimo. La demanda de este tipo de celdas en el mercado se ha visto afectada debido a los requerimientos de pureza en el hidrogeno y oxigeno, lo que las hace poco prácticas. La temperatura de operación de estas celdas oscila en un rango de 50-250 °C. El electrolito empleado generalmente es hidróxido de potasio (KOH). Se pueden emplear varios tipos de catalizadores en esta celda, atributo que las hace muy flexibles.

El electrolito consiste en una solución acuosa contenido en una matriz la cual es atravesada por el hidrogeno, impidiendo únicamente el paso de los electrones. Las ecuaciones (2.19 y 2.20) representan la reacción del ánodo y la reacción del cátodo respectivamente.



Los iones hidroxilos son conducidos por el electrolito y la reacción total de la celda de combustible es entonces, ver ecuación 2.21:



Debido a que el electrolito es acuoso, la temperatura de funcionamiento está limitada por la presión atmosférica, por debajo de los 100 °C. El funcionamiento a baja temperatura tiene la ventaja de permitir el uso de materiales de bajo costo, como el teflón-carbono o níquel en los electrodos, y



polímeros en otras partes que constituyen el stack de las celdas de combustible.

En las celdas alcalinas la reacción del cátodo está limitada respecto a la reacción del ánodo, debido a que la reacción del cátodo tarda más tiempo en reaccionar que el ánodo. Para corregir este problema se emplean catalizadores a base de metales nobles para acelerar la reacción en el cátodo, mientras que para el ánodo se emplean a menudo catalizadores a base de níquel. La mayor desventaja que poseen las celdas alcalinas es que son susceptibles al dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y al monóxido de carbono (CO), por lo que el uso de combustibles reformados y aire libre del ambiente se ve limitado.

Debido a que el electrolito posee afinidad para reaccionar con el anhídrido carbónico causando la precipitación del carbonato. Los reactantes con que alimentan estas celdas de combustible no deben contener  $\text{CO}_2$ , por lo que no puede usar el oxígeno que se encuentra presente en el aire libre, por lo que necesitan emplear un sistema que retire el anhídrido carbónico de los fluidos de aire con que son alimentados.

Una manera de solventar este problema es recirculando el electrolito, esto permite remover el carbonato formado, además el sistema de circulación permite el enfriamiento del stack de la celda. En muchos proyectos de celdas alcalinas, se hace circular el electrolito para reducir el calor y evitar la evaporación del agua. Ya que el KOH posee una alta conductancia entre los hidróxidos alcalinos, es el más seleccionado como electrolito para este tipo de celda de combustible. Además permite que el agua que se forma en el ánodo emigre a través del electrolito hacia el cátodo y sea expulsado como desecho, ver figura 2.33.

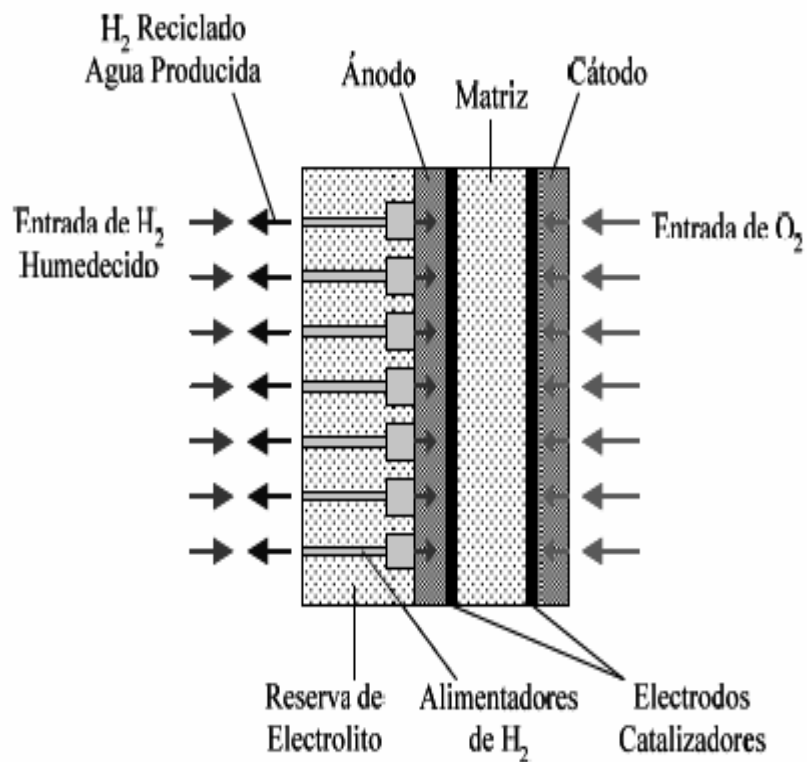


Figura 2.33. Principio de funcionamiento de una celda de combustible alcalina  $H_2/O_2$  de electrolito estático.<sup>[2]</sup>

#### 2.4.4.1.6.1 Desempeño de las AFC.

El desempeño de las AFC desde que en 1960 hicieron su aparición, ha sufrido muchos cambios, como lo refleja las gráficas de la figura 2.34. La actuación de las celdas  $H_2$ /aire se presenta como las líneas sólidas, y la actuación de las celdas  $H_2/O_2$  se muestra como líneas punteadas. Las primeras AFC a temperaturas y precisiones relativamente alta para reunir los requisitos necesarios para las aplicaciones requeridas. Recientemente, un mayor enfoque de tecnologías para las aplicaciones en lo referente a los bajos costos de operación, ambientalmente amigables, y temperatura y

presión adecuadas para trabajar con el oxígeno contenido en el aire las hace deseables. <sup>[2]</sup>

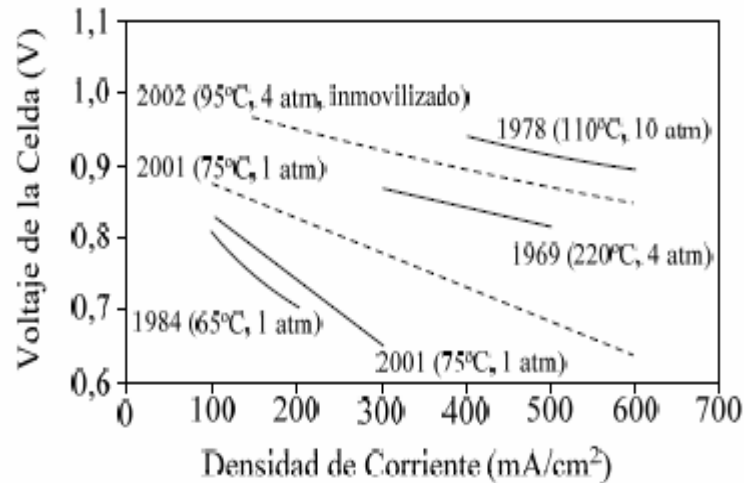


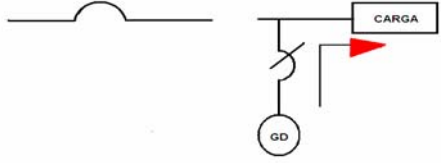
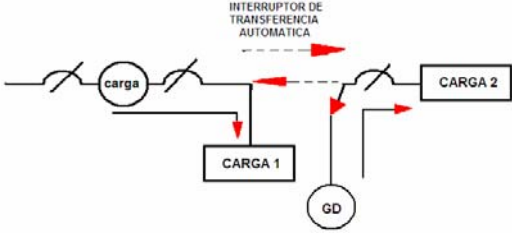
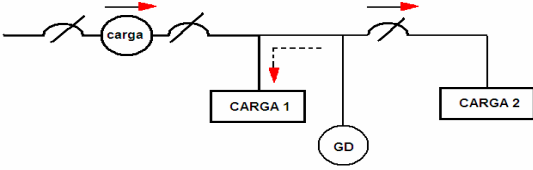
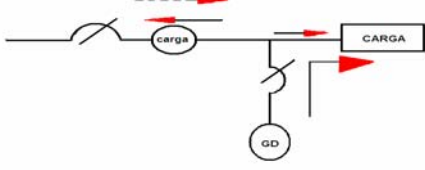
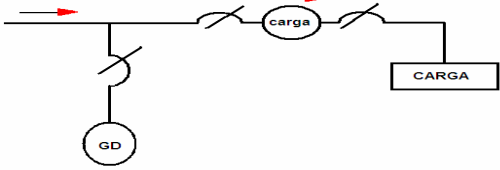
Figura 2.34. Cambios evolutivos del desempeño de las AFC. <sup>[2]</sup>

## 2.5 CONFIGURACIÓN DE LAS INTERCONEXIONES ELÉCTRICAS DE LA GD.

La configuración de la interconexión eléctrica de la GD es uno de los principales problemas que enfrentan las empresas distribuidoras de electricidad al momento de evaluar la inserción de GD en la red, ya que, según sea el esquema seleccionado, varía el grado de complejidad considerablemente, tales como; cantidad y dimensionamiento del equipamiento y condiciones de operación, lo cual se traduce en costos de inversión, operación y mantenimiento de la GD.

En la tabla 2.2, se muestra las configuraciones típicas de interconexión eléctrica de la GD, las cuales se clasifican en 5 tipos de configuraciones. <sup>[16]</sup>

Tabla 2.2. Configuraciones típicas de interconexiones eléctricas de la GD.<sup>[16]</sup>

Configuración	Tipo	Complejidad.
	1	Baja
	2	Baja
	3	Media
	4	Alta
	5	Alta

El tipo 1 se define como una configuración sencilla aislada o modo isla, donde la GD no se conecta a la red, teniendo la GD que satisfacer completamente la demanda de la carga sin el respaldo de la red.

El tipo 2 se define como una configuración sencilla aislada o modo isla, con transferencia automática a la red, donde la GD suministra energía a la carga 2, en condiciones de carga pico, carga base o respaldo. En este caso la red suministra energía a la carga 1 en condiciones normales y ocasionalmente supe la carga 2.

El tipo 3 se define como una configuración medianamente compleja, con la GD interconectada a la red, donde la GD opera en paralelo con la red supliendo energía a una carga pico o una carga base sin exportación de energía a la red, ya que la red provee la demanda excedentes o de respaldo exigida por de la carga.

El tipo 4 se define como una configuración compleja, con la GD interconectada a la red y al lado del cliente, donde la GD opera en paralelo con la red supliendo energía a una carga pico o una carga base con exportación de energía a la red. La red podrá provee la demanda excedentes o de respaldo exigida por de la carga.

El tipo 5 se define como una configuración muy compleja, con la GD interconectada a la red y al lado de la red, donde la GD opera en paralelo con la red supliendo energía a una carga pico o una carga base con exportación de energía a la red.

## **2.6 MARCO LEGAL QUE RIGE EL USO DE GD EN VENEZUELA.**

### **2.6.1 Ley Orgánica del Servicio Eléctrico (L.O.S.E).**

#### **TÍTULO III. DE LAS ACTIVIDADES DEL SERVICIO ELÉCTRICO**

##### **Capítulo I. De la Generación.**

**Artículo 24.** El ejercicio de la actividad de generación de energía eléctrica está abierto a la competencia, previa autorización de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica y de conformidad con esta Ley y demás normas que regulen la materia.

**Parágrafo Único:** La autogeneración, entendida como la actividad de generación eléctrica destinada al uso exclusivo de la persona natural o jurídica que la realiza, está exenta de esta regulación, con las excepciones establecidas en esta Ley.

#### **TÍTULO VI . DE LAS AUTORIZACIONES Y CONCESIONES.**

##### **Capítulo I. Disposiciones Generales.**

**Artículo 43.** Las empresas que ejerzan la actividad de generación, incluyendo la autogeneración y la cogeneración, así como la de comercialización especializada, requerirán de autorización previa de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Dicha autorización se emitirá a los fines de garantizar el cumplimiento de las normas técnicas de instalación y operación, en el caso de centrales de

generación, y de las normas que regulan la actividad, en el caso de comercialización especializada.

La autorización se requerirá para el establecimiento de cada una de las centrales de generación, así como para la ampliación o modificación de la capacidad de las instalaciones existentes y para la conexión al Sistema Eléctrico Nacional de instalaciones de generación de sistemas independientes.

Las autorizaciones serán otorgadas sin perjuicio de las habilitaciones y demás autorizaciones necesarias de acuerdo con otras disposiciones legales aplicables.

**Parágrafo Único:** La Comisión Nacional de Energía Eléctrica podrá exceptuar de la obligación de obtener la autorización establecida en este Artículo, a los propietarios de instalaciones de generación de electricidad que, en atención a sus características, no la requieran.

## **TÍTULO X. DISPOSICIONES TRANSITORIAS Y FINALES.**

**Artículo 119.** Hasta tanto la Comisión Nacional de Energía Eléctrica establezca otros valores, no estarán sujetas a autorización y estarán exentas de la obligación establecida en el Artículo 43 de esta Ley, las instalaciones de autogeneración de hasta dos megavatios (2MW) y las centrales de generación en sistemas independientes de hasta cinco megavatios (5MW).

A continuación se mencionan las principales normas internacionales que se deben tomar en cuenta para realizar la interconexión eléctrica de la GD con el sistema eléctrico de potencia.

- ✧ IEEE 1547 Standard for interconnecting Distributed resources with electric power systems.
- ✧ IEEE 1547.1 Draft Standard for Conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems.
- ✧ IEEE 1547.2 Application Guide for IEEE Std.1547 Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems.
- ✧ IEEE 1547.3 Guide for monitoring, information exchange and control of distributed resources interconnected with electric power systems.
- ✧ IEEE 1547.4 Guide for design, operation, and integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power Systems



## CAPÍTULO III.

### CONSUMIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA ZONA NORTE COSTERA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI.

#### 3.1 GRANDES CONSUMIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA ZONA NORTE COSTERA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI.

Según información suministrada por el personal de CADAPE, el consumo actual de energía eléctrica en la zona costera del estado Anzoátegui se muestra en la tabla 3.1. En dicha tabla se muestra el consumo en KWh/mes de cada municipio.

Tabla 3.1. Consumo de Energía en la zona Norte Costera del Estado Anzoátegui.

Fuente: Personal de CADAPE.

Municipio.	KWh/mes
Bolívar.	38.136.538
Urbaneja	27.112.830
Sotillo	22.629.534
Guanta	3.057.272

Estos a su vez, se clasifican de la siguiente manera: consumidores residenciales, comerciales, industriales, agropecuaria, administración descentralizada, gobierno regional y municipal y en condominios. El Municipio Bolívar posee 42000 clientes, cuyo porcentaje de consumo (clasificado de la forma explicada anteriormente) se muestra en la figura 3.1

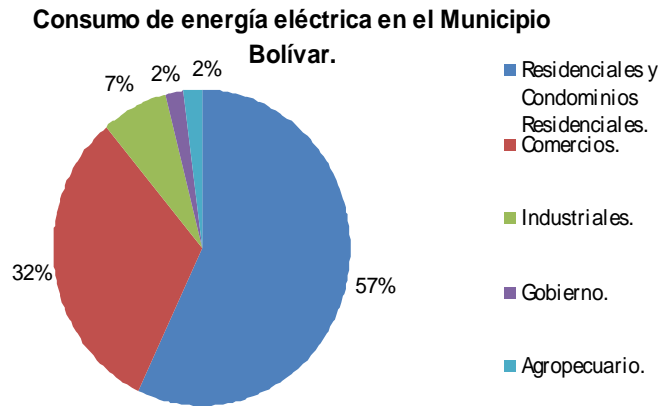


Figura 3.1 Consumo de energía en el Municipio Bolívar. (Según personal de CADAFE).

El municipio Sotillo posee 40.870 clientes, y el porcentaje de consumo se muestra en la figura 3.2.

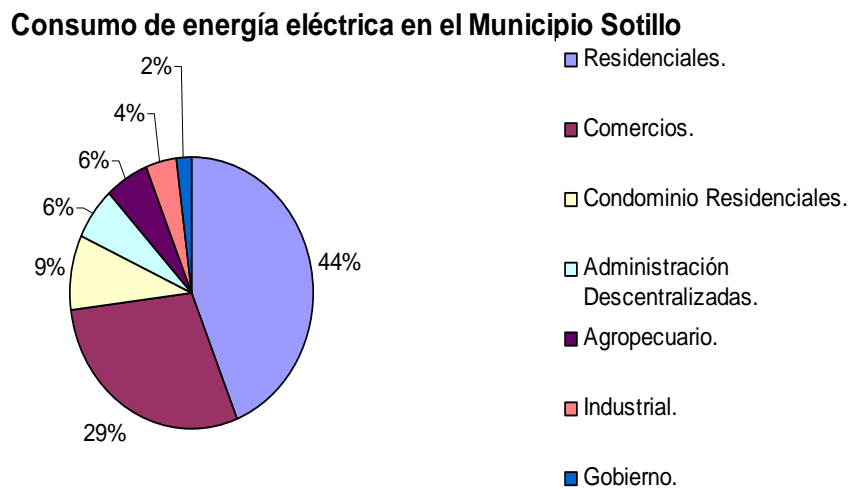


Figura 3.2. Consumo de energía en el Municipio Sotillo. (Según personal de CADAFE).

El municipio Urbaneja tiene 20.358 clientes, y el consumo de estos se distribuye según la figura 3.3.

#### Consumo de energía eléctrica en el Municipio Urbaneja.

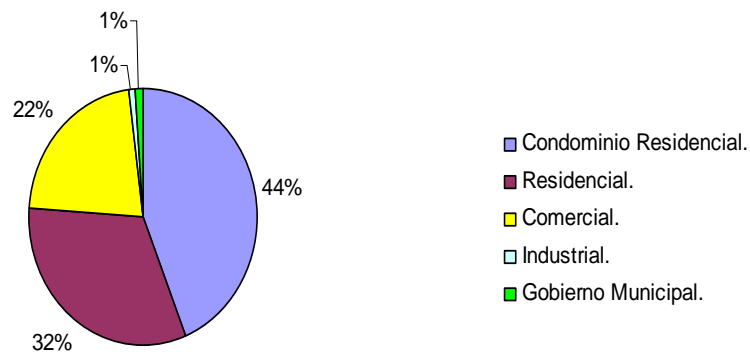


Figura 3.3. Consumo de energía en el Municipio Urbaneja. (Según personal de CADAFFE).

Por otra parte el municipio Guanta posee 5.658 clientes, distribuidos de la siguiente manera, ver figura 3.4.

#### Consumo de energía eléctrica en el Municipio Guanta.

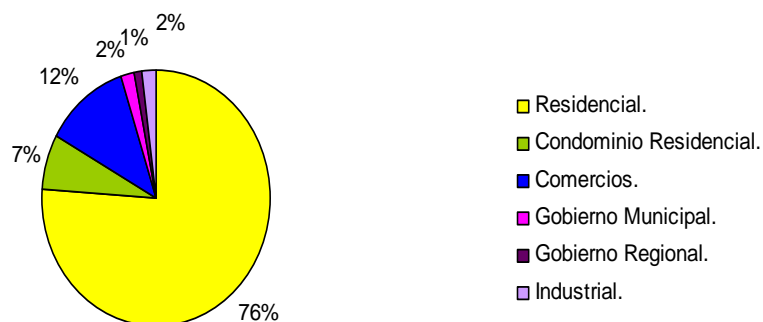


Figura 3.4. Consumo de energía en el Municipio Guanta. (Según personal de CADAFFE).

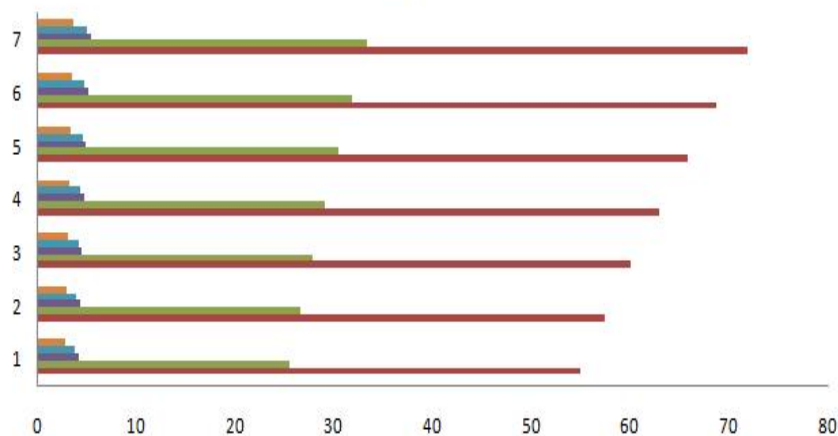
En la tabla 3.2 se muestra el consumo de energía total en la zona norte costera estado Anzoátegui, clasificado según el tipo de cliente, la cantidad de clientes y el porcentaje que estos representan.

Tabla 3.2. Tipo de consumidores y total de energía consumida en KWh/MES en la zona norte costera del estado Anzoátegui. (Según personal de CADAPE).

Tipo de cliente.	Cantidad de clientes.	% clientes.	Consumo de energía [KWh/MES]
Residencial y Condominio residencial.	65.769,32	60,40	54.925.476,28
Comercial.	30.450,02	27,96	25.425.766,83
Industrial.	4.891,54	4,49	4.083.036,23
Gobierno.	4.482,92	4,12	3.746.572,22
Agropecuario.	3.292,2	3,02	2.746.273,81
Total.	108.886	100	90.936.219

En base a estudios de proyección realizado por el Centro Nacional de Gestión del Sistema Eléctrico (CNG), en su informe anual 2008, desde el 2004 hasta el 2008 el porcentaje de incremento interanual del consumo de energía eléctrica en la zona oriental del país es del 4,6%. Con este porcentaje se evaluó la proyección del incremento de consumo de energía en la zona norte costera del edo. Anzoátegui, partiendo del año en curso (2009) hasta el año 2015, dicha evaluación se muestra en la figura 3.5.

Proyección de consumo de la energía eléctrica en la zona norte costera del estado Anzoátegui.



	1	2	3	4	5	6	Millones 7
Agropecuario.	2.746.274	2.872.602,41	3.004.742,12	3.142.960,25	3.287.536,43	3.438.763,10	3.596.946,20
Gobierno.	3.746.572,22	3.918.914,54	4.099.184,61	4.287.747,10	4.484.983,47	4.691.292,71	4.907.092,17
Industrial	4.083.036,23	4.270.855,89	4.467.315,27	4.672.811,77	4.887.761,11	5.112.598,12	5.347.777,64
Comercial	25.425.766,28	26.595.351,53	27.818.737,70	29.098.399,63	30.436.926,02	31.837.024,61	33.301.527,75
Residencial y Cond. Residencial	54.925.476,28	57.452.048,08	60.094.842,29	62.859.205,04	65.750.728,47	68.775.261,98	71.938.924,03
Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015

Figura3.5 Proyección de consumo de energía eléctrica en la zona norte costera del estado Anzoátegui. (Según un incremento interanual del 4,6%).Fuente: Realización propia.

## **CAPÍTULO IV.**

### **ASPECTOS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS TECNOLOGÍAS PARA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.**

#### **4.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICOS - ECONÓMICOS DE LAS MICROTURBINAS.**

Una de las tecnologías que se proyectan en la actualidad para cubrir estas necesidades son las microturbinas, que son unidades empacadas compuestas por un compresor, un combustor, una turbina de gas y un generador eléctrico.

Emplea la combustión de un elemento combustible (gaseoso o líquido) para producir un torque en el eje, el cual se emplea para hacer rotar un generador eléctrico y de este modo producir electricidad.

Las microturbinas de hoy, son el resultado del trabajo de desarrollo y evolución de los turbocargadores de automóviles y camiones, unidades de potencia auxiliar de aviones, y motores de pequeños aeroplanos, toda a comienzo de la década de 1950. Las microturbinas entraron en prueba de campo alrededor de 1997 y comenzó su servicio comercial en el 2000.

Como se mencionó en el capítulo 2, existen dos tipos de microturbinas las de un solo eje y las de dos ejes. Ambas desarrolladas por las siguientes empresas: Capstone, Elliot y Honeywell. En la tabla 4.1, se muestran ciertas características de las microturbinas de un solo eje fabricadas por dichas empresas.

Tabla 4.1. Características de microturbinas de un solo eje fabricadas por Capstone, Elliot y Honeywell. <sup>[8]</sup>

Fabrica	Velocidad[r.p.m]	Potencia [KWe]	Recuperada
Capstone	30.000	96	Si.
Elliot	116.000	45	No.
Honeywell	75.000	75	Si.

#### 4.1.1 Microturbinas de un eje.

Las velocidades óptimas rotacionales de las microturbinas de un eje a potencia nominal están en 60.000 y 100.000 rpm. El diámetro de la punta del compresor es de algunas pulgadas, similar a los turcargadores. La diferencia está en el diseño aerodinámico; ver figura 4.1.

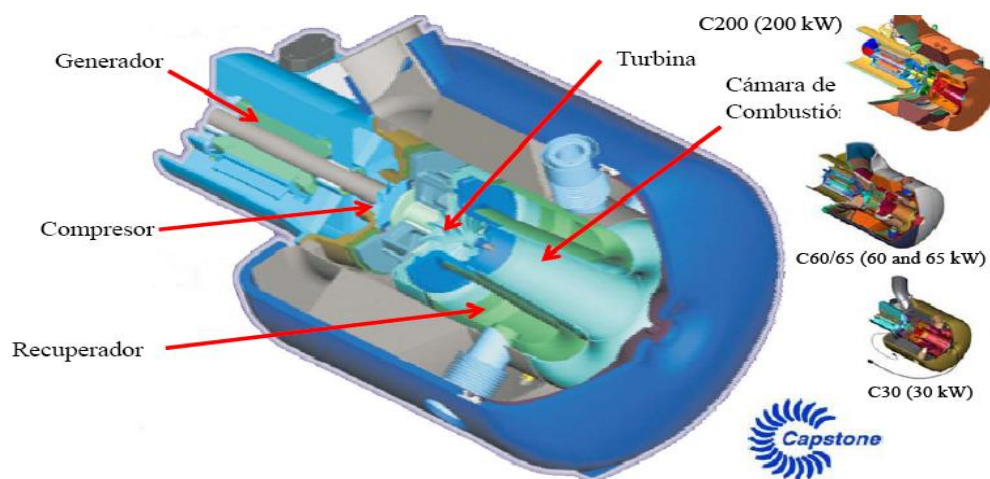


Figura 4.1. Configuración de una Microturbina de un solo eje, fabricado por la empresa Capstone. <sup>[8]</sup>

Entre las características del compresor-recuperación se tienen las siguientes:

- ✱ Las microturbinas emplean un ciclo Brayton con o sin recuperación.
- ✱ Las microturbinas operan a una menor relación de compresión (3 a 4).
- ✱ En las microturbinas recuperadas, la recuperación es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entrada salida.
- ✱ En las microturbinas recuperadas la eficiencia puede llegar al 30%.
- ✱ En las microturbinas no recuperadas la eficiencia puede llegar al 17%.

Una característica importante de diseño es el uso de compresores de flujo radial.

#### **4.1.1.1 Combustible de una Microturbina de un solo eje.**

Entre los combustibles que puede usar una microturbina, los típicos son el gas natural y el diesel. El gas natural es la mejor opción para el uso comercial y residencial. Requiere compresión desde las presiones de la tubería a niveles que exceden la presión de entrega del compresor de las microturbinas. La presión de salida típica del compresor es de 3 atmosferas, la eficiencia adiabática es del 40% y requiere cerca del 6% de salida de potencia. La selección de la relación de compresión del ciclo de la microturbina requiere considerar el equipo de suministro de gas.



#### 4.1.1.2 Aspectos de diseño de una microturbina de un solo eje.

- \* Costos- costos globales de \$/KW y costos del recuperador.
- \* Emisiones.
- \* Métodos de inyección del gas natural y su seguridad.
- \* Dinámica del eje y diseño de los rodamientos.
- \* Confiabilidad del recuperador, efectividad y costos.

#### 4.1.1.3 Costos asociados a las microturbinas.

En la tabla 4.2, se muestran los costos asociados a las microturbinas, especificándose el costo capital, de operación y mantenimiento y los intervalos de mantenimientos. Mientras que en la tabla 4.3 se muestra la distribución de costos en una microturbina.

Tabla 4.2. Costos anuales asociados a una Microturbina.<sup>[8]</sup>

Costos de las Microturbinas.	
Costo de Capital.	700-1.100 \$/KW.
Costo O y M.	\$0.005-0.016 \$/KW.
Intervalos de Mtto.	5000-8000 hrs.

Tabla 4.3. Distribución de costos en una Microturbina.<sup>[8]</sup>

Elemento.	% del Costo.
Cabeza de Potencia.	25%
Recuperador.	30%
Electrónica.	25%
Generador.	5%
Accesorios.	5%
Empaque.	10%

La recuperación de calor aumenta \$75-\$350/KW. Los costos de instalación pueden variar por la localización agregando un 30-50% del costo total de instalación. Se espera que el costo en el futuro disminuya por debajo de \$650/KW.<sup>[8]</sup>

#### 4.1.1.4 Eficiencia de la Microturbina.

En la tabla 4.4 se visualiza la eficiencia de la Microturbina, y en la tabla 4.5 la eficiencia de la Microturbina, según las empresas Capstone, Elliot y Honeywell.

Tabla.4.4. Eficiencia de la Microturbina.<sup>[8]</sup>

Configuración.	Eficiencia.
No recuperada.	15%
Recuperada.	20-30%
Con recuperación de calor.	Hasta 85%

Tabla 4.5. Eficiencia de la Microturbina, según las empresas Capstone, Elliot y Honeywell. <sup>[8]</sup>

Fabrica	Velocidad [r.p.m]	Potencia [KWe]	Recuperado	Eficiencia %
Capstone	30.000	96	Si.	28
Elliot	116.000	45	No.	17
Honeywell	75.000	75	Si.	30

#### 4.1.1.4.1 Eficiencia- Costo.

En la tabla 4.6 se muestran las características de rendimiento y costos, capacidad eléctrica, eficiencia, entre otros, de cuatro sistemas de microturbinas. El sistema uno formado por una microturbina Capstone 330-30KW, el sistema dos por una microturbina Energy System 70 LM-70 KW, el sistema tres por una microturbina Turbec T100-100KW, y por último el sistema cuatro formado por una microturbina DTE modelo actualmente en desarrollo 350 KW.

Tabla 4.6. Características de rendimiento y costos de sistemas de microturbinas. 1: Capstone modelo 330-30KW, 2: IR Energy System 70LM-70KW (dos ejes), 3: Turbec T100-100KW, 4:DTE modelo actualmente en desarrollo-350 KW. <sup>[8]</sup>

Características de rendimiento y costos.	Sistema 1.	Sistema 2.	Sistema 3.	Sistema 4.
Capacidad de electricidad nominal. [KW]	30 KW	70 KW	100 KW	350 KW
Costo del empaque [2000 \$/KW].	\$ 1,000	\$ 950	\$ 800	\$ 750

Tabla 4.6. Continuación.

Costo total instalado [2000 \$/KW].	\$ 2,516	\$ 2.031	\$ 1,561	\$ 1,339
Heat Rate Eléctrico [Btu/KWh]	14,581	13,540	12,637	11,76
Eficiencia Eléctrica [%].	23.4%	25.2 %	27 %	29%
Entrada de combustible [MMBtu/hr].	0.437	0.948	1.264	4.118
Presión de gas combustible requerida [psig]	55	55	75	135

#### 4.1.1.5 Ventajas de una Microturbina de un solo eje.

- ✧ Pequeño número de partes móviles.
- ✧ Tamaño compacto.
- ✧ Peso ligero.
- ✧ Buena eficiencia en cogeneración.
- ✧ Bajas emisiones.
- ✧ Puede usar combustible de desechos.
- ✧ Largos intervalos de mantenimiento.

#### **4.1.1.6 Desventajas de una Microturbina de un solo eje.**

- \* Baja eficiencia combustible electricidad.
- \* Baja potencia de salida y eficiencia con altas temperaturas ambientales.

#### **4.1.2 Microturbinas de dos ejes.**

Son diseñadas para aplicaciones industriales de calidad estacionaria. Emplean una turbina que gira 3600 rpm y un generador convencional (usualmente un generador de inducción) unido a caja de engranajes reductora. Este tipo de microturbinas poseen una gran variedad de aplicaciones debido a su flexibilidad inherente en su diseño mecánico.

##### **4.1.2.1 Fabricantes de microturbinas de dos ejes.**

- \* Bowman Power System: 80 KW.
- \* Capstone Turbine Corporation: 30 KW a 60 KW.
- \* Elliot Energy Systems: 80 KW.
- \* Ingersoll-Rand Energy Systems: 70 KW.

Según los análisis realizados por la consultora Arthur D. Little (ADL), los costos de instalación operación y mantenimiento decrecerán y los rendimientos crecerán a corto plazo. Como se muestran en las figuras 4.2, 4.3 y 4.4.

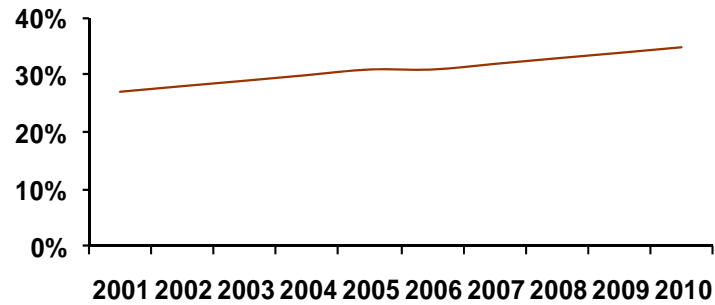


Figura 4.2. Rendimiento de las microturbinas a corto plazo, según Análisis ADL. <sup>[19]</sup>

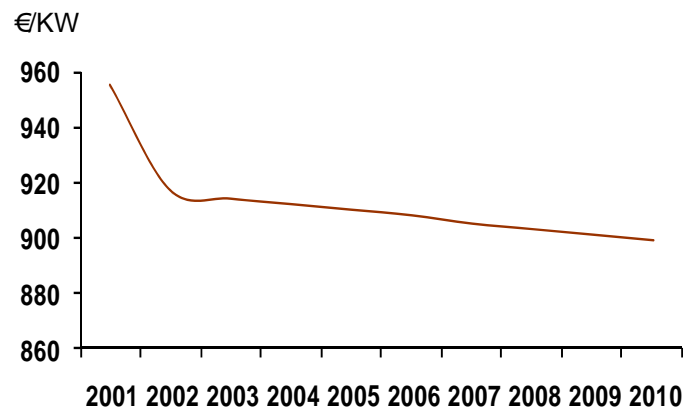


Figura 4.3. Costos de instalación de las microturbinas a corto plazo, según Análisis ADL. <sup>[19]</sup>

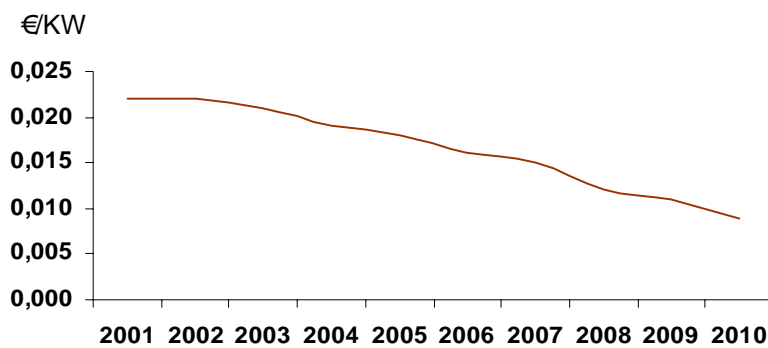


Figura 4.4. Costos de operación y mantenimiento de las microturbinas a corto plazo, según Análisis ADL. <sup>[19]</sup>

## 4.2 MOTORES RECIPROCANTES.

Los motores reciprocantes dominan el mercado cuya capacidad se encuentra por debajo de un 1KW. Representan el 5% (146 GW) de la capacidad de generación instalada a nivel mundial (3000 GW).<sup>[20]</sup>

Los motores reciprocantes, o a pistón, son los más común y técnicamente madura de las tecnologías empleadas en las fuentes de generación distribuida.

### 4.2.1 Clasificación de los motores reciprocantes.

- \* Motores de ignición por chispas: típicamente emplean la gasolina o el gas natural como combustible.
- \* Motores de ignición por compresión: típicamente trabajan con combustible diesel.
- \* Motores de alta velocidad: motores de camiones y operan a 1200-3600 rpm. Bajo costo de capital, baja eficiencia.
- \* Motores de velocidad media: como por ejemplo, locomotoras y pequeños motores marinos de 275 y 1000 rpm, son de altos costos de capital pero una de la más alta en eficiencia.
- \* Motores de baja velocidad: como por ejemplo barcos, con 59 y 275 rpm, son diseñados para quemar combustibles de baja calidad.

#### **4.2.2 Aplicaciones de los motores reciprocantes.**

El uso más común de los motores reciprocantes son los siguientes:

- \* Gensets, tamaños que van desde 5 KW hasta más de 7 MW.
- \* Se emplean en generación de respaldo (back-up power).
- \* Usados en combinación con un UPS (uninterruptible power supply), de 1-5 minutos. Este sistema es capaz de suplir sin problemas durante una salida del sistema.
- \* Grandes motogeneradores pueden ser usados para carga base (base-load), soporte de malla, o aplanado de demanda (peak shaving).

#### **4.2.3 Combustibles para motores reciprocantes.**

Como se mencionó anteriormente los tipos de combustibles que usan los motores reciprocantes son el gas y el diesel, a continuación se explica algunas diferencias entre estos combustibles.

La diferencia entre motores diesel y a gas se centra en la forma en que entra el combustible a la cámara de combustión. En los motores diesel el combustible es introducido a alta presión en la cámara, mientras que en los motores a gas de baja presión es necesaria una serie de reguladores. Los motores a gas operan a una relación de compresión 10:1 y los motores diesel con una relación 13:1 a 22:1, por lo tanto tienen mayor potencia de salida.



Los motores a diesel tienden a ocupar menos espacios debido a su mayor densidad de potencia, responden más lento a los cambios en la carga, pero operan mejores a cargas constantes. Para una misma potencia de salida, el motor diesel es más económico que el motor a gas.

Por otra parte, el combustible diesel es más costoso que el combustible de gas natural (para el mismo contenido calórico, BTU). El gas natural no está disponible en todo lugar, y el combustible diesel debe ser transportado.

#### **4.2.4 Eficiencia de los motores reciprocantes.**

La regla general es que 1/3 de la energía contenida en el combustible es trabajo útil. La eficiencia de las máquinas han crecido en el tiempo, en la actualidad se aproxima al 40%.<sup>[20]</sup>

La eficiencia varía con el punto de operación de la máquina, fuera de carga esta decae. Los motores grandes pueden durar 20-30 años, mientras que los motores pequeños (<1 MW) tienden a tener una vida útil más corta. En el futuro se busca menor consumo de combustible y una eficiencia en el eje más alta, 50 a 55 % en motores grandes (> 1 MW).

#### **4.2.5 Emisiones contaminantes de los motores reciprocantes.**

Las emisiones descontroladas de NOx (especialmente motores diesel) son las más altas de todas las tecnologías de generación distribuida. En la tabla 4.7 se muestran los niveles típicos de emisiones contaminantes que producen los motores reciprocantes.

Tabla 4.7. Niveles de emisión contaminantes de motores recíprocos típicos<sup>[20]</sup>

	Gas Natural	Diesel
	Gas de salida, ppmv a 15% O <sub>2</sub> .	Gas de salida, ppmv a 15% O <sub>2</sub> .
NO <sub>x</sub> descontrolada.	45 - 200	450 - 1600
Nox con sistemas de emisiones.	4 - 20	45 - 160
CO descontrolada.	140 - 700	40 - 140
CO con catalizador de oxidación.	10 - 70	3 - 13

#### 4.2.6 Características técnicas.

- \* El tiempo de arranque es de 0.5 a 15 minutos.
- \* Alta tolerancia para arranques y paradas.
- \* Las partes del motor son construidas para 8000 horas de operación.
- \* Los cambios regulares de aceite y filtro son requeridos a 700 - 1000 horas de operación.
- \* El rendimiento del ciclo diesel aumenta cuando aumenta la relación de compresión.

#### 4.2.7 Costos.

Los motores recíprocos poseen el más bajo costo inicial de todas las tecnologías de generación distribuida. El costo de capital de un conjunto de un generador que usa gas como combustible (genset) tiene un paquete que varía en un rango desde los 300 \$/KW a los 900 \$/KW. El costo total de instalación puede ser 50 – 100% más que el costo del motor mismo.<sup>[20]</sup>

Un sustancial aumento en la potencia de salida es logrado con un incremento en la velocidad de operación. Este incremento posee un efecto inverso en el costo instalado por unidad, en la tabla 4.8 se muestra el descenso del costo de capital con incremento en la velocidad de la máquina.

Tabla 4.8. Descenso del costo de capital con incremento en la velocidad de la máquina.<sup>[20]</sup>

Velocidad [rpm]	Potencia [KW]	Costo [\$/KW]
900	365	300
1200	480	300
1800	725	300

Es de gran importancia mencionar los costos operativos y de capital que representan los motores recíprocos, a continuación en la tabla 4.9 se muestran los costos de capital y mantenimiento de diferentes tamaños y combustibles.

Tabla 4.9. Costo de capital y mantenimiento de diferentes tamaños y combustibles.<sup>[20]</sup>

Potencia (KW).	Combustible.	Costo Capital. (\$/KW).	Operación y Mtto. (\$/KW).
50	Gasolina	475	55
250	Diesel	590	22
1000	Diesel	475	1.89
1100	Gas Natural.	590	2.7

#### 4.2.8 Fabricantes.

Entre los fabricantes de motores recíprocos más reconocidos, se tienen los siguientes:

- \* DTE energy technologies.
- \* Power Plus Technologies GmbH.
- \* Cummins.
- \* Generac Power Systems.
- \* Honda Power equipment.
- \* Kohler Generators.

### 4.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICO – ECONOMICOS DE LA ENERGÍA EÓLICA.

La generación eólica inicia en el mercado europeo en los años ochenta, con un notable crecimiento en los últimos años, con una potencia instalada de más de 40 GW, representando una producción de aerogeneradores de gran magnitud, lo cual ha llevado a los fabricantes a mejorar su calidad técnica y una competencia entre los más reconocidos del mercado.

En Venezuela recientemente se están realizando proyectos para la construcción de parques eólicos, como son: Parque eólico Jurijurebo-Paraguaná (Edo. Falcon), Parque eólico Nueva Esparta (Edo. Nueva Esparta), Parque eólica la Guajira (Edo. Zulia), y el Parque eólico Araya-Sucre (Edo. Sucre).

En la tabla 4.10 se muestran las características de estos parques eólicos; mientras que en la figura 4.5 se muestra un mapa eólico de Venezuela a 50 m de altura.<sup>[21]</sup>

Tabla 4.10. Características del viento y altura en proyectos de parques eólicos en Venezuela.<sup>[21]</sup>

Estado.	Parque.	Viento Promedio a 50 m.	Altura de medición.
ZULIA	LA GUAJIRA	8,8 m/s	10 m
FALCON	LOS TANQUES	8,5 m/s	67 m
SUCRE	PENINSULA DE ARAYA	8 m/s	10 m
NUEVA ESPARTA	MARGARITA	8 m/s	10m
	ISLA DE COCHE	8,2 m/s	20 m

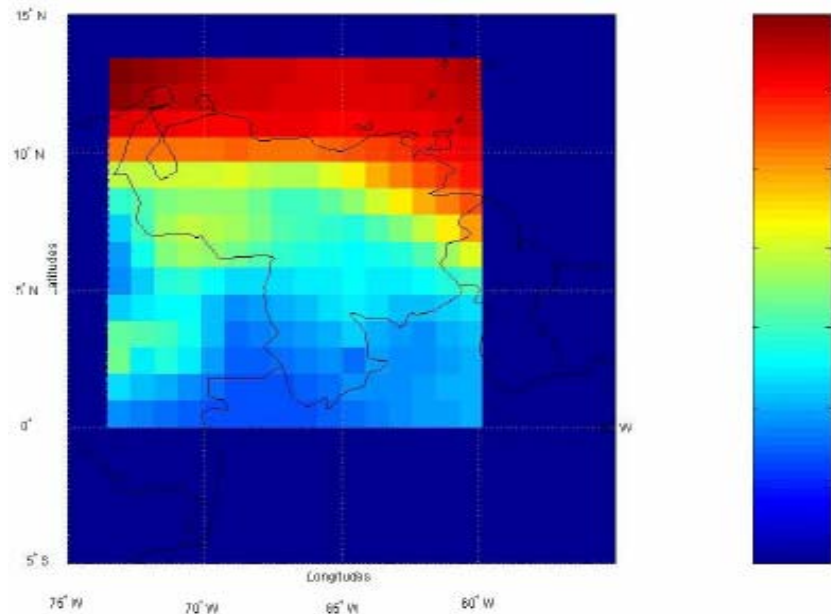


Figura 4.5. Mapa eólico de Venezuela a 50 m de alturas. Fuente: Nasa Surface Meteorology and solar Energy. <sup>[21]</sup>

Las instituciones que han realizado investigaciones sobre energías renovables, entre ellas la eólica, en Venezuela son: UNEFM, PDVSA e Instituto de ganadería.

#### 4.3.1 Especificaciones técnicas de los aerogeneradores.

Todas las especificaciones técnicas de los aerogeneradores deben cumplir con las normas establecidas por la IEC61400. Los catálogos ofrecidos por los fabricantes muestran la mayor cantidad de virtudes de sus máquinas, sin embargo las características básicas de los mismos y que siguen todos los fabricantes se expresan en la tabla 4.11.

Tabla 4.11. Principales característica técnicas de los aerogeneradores. [3]

Características.	Rango de Opciones.
<b>ROTOR</b>	
Número de palas.	3
Velocidad del rotor.	8 – 20 rpm
Diámetro de rotor.	40 – 120 m
Área de barrida.	2000 – 6000 m <sup>2</sup>
Regulación de potencia.	Pitch/Stall
Velocidad del viento para arranque.	2.5 – 4 m/s
Velocidad del viento de corte.	25 – 35 m/s
Velocidad del viento potencia nominal.	11 – 15 m/s
Peso.	30 - 60 Tn
<b>PALAS</b>	
Longitud de pala.	19 – 50 m
Material.	Epoxy/GRP/Otro
Peso.	3 – 12 Tn
<b>GENERADOR</b>	
Tipo	Asincrónico/Sincrónico
Potencia.	800 – 5000 KW
Tensión.	660/690 V
Nº Polos.	4/5/6
Peso.	8 – 15 Tn
<b>TORRE</b>	
Tipo.	Tubular cónica Acero/Hormigón
Altura de buje.	40 – 120 m
<b>OTROS</b>	
Vida útil.	20 – 35 años
Clase de vientos (Norma IEC61400-1)	LI / II / III / IV

#### **4.3.2 Mercado de aerogeneradores en la industria eólica.**

Los aerogeneradores en la industria de la generación eólica han ido en un proceso evolución tecnológica fundamental apreciado en la mayoría de sus componentes al igual que en el aumento de su tamaño físico y notables mejoras en la eficiencia operativa, siendo los de eje horizontal los dominantes en el mercado.

Los fabricantes de estos innovadores generadores han concentrado sus esfuerzos en desarrollar turbinas cada vez con mayor simplicidad en el diseño, pero optimizando su eficacia. La industria de generación eólica cuenta en la actualidad con un gran número de empresas a nivel mundial, pertenecientes en su mayoría a Europa y encargadas de la fabricación, investigación e instalación de aerogeneradores de diferentes tamaños.

Entre los principales fabricantes de aerogeneradores a nivel mundial se encuentran los siguientes: Vestas, Enercon, GE Wind, Gamesa, Nordex, Anbonus, y Repower.

#### **4.3.3 Costos para la aplicación de energía eólica.**

La aplicación de la tecnología eólica conlleva una serie de costos que son considerados tanto en proyectos de instalación en zonas aisladas con una o varias turbinas, así como para proyectos conectados a la red eléctrica.

Los costos tendrán una variación en el número de aerogeneradores a emplear, debido a que los fabricantes disminuyen los precios al aumentar el número de máquinas.



La inversión inicial corresponde a la elaboración de una campaña de mediciones del potencial eólico en la zona preseleccionada para la instalación del proyecto. La preselección del sitio está asociada a una serie de parámetros indicados a continuación:

- \* Evaluación del mapa eólico del país.
- \* Revisión y análisis de la data meteorológica correspondientes a estaciones meteorológicas cercanas.
- \* Análisis de la influencia del viento en la orografía del terreno y la vegetación.

El proceso de inversión de un proyecto de generación eólica esta desglosado en la tabla 4.12. El mayor costo de la inversión corresponde a los aerogeneradores cuyos precios expuestos en catálogos de fabricantes están asociados a precios individuales, incluyendo el transformador de baja y media tensión. Estos precios están sujetos a variación de acuerdo al número de aerogeneradores a cotizar y algún requerimiento especial que puedan conllevar, aunque esta variación en el precio es mínima en relación a la magnitud del proyecto.

Tabla 4.12. Distribución de los costos de inversión de un proyecto de generación eólica.<sup>[3]</sup>

Concepto.	(%)
Aerogeneradores.	60 – 70
Gastos de importación (arancel).	1-1.5
Transportación con seguros.	0.5 – 0.35
Obra civil.	8 – 13
Obra eléctrica.	8 – 12
Obra de interconexión.	6 – 8
Instalaciones.	1 – 2
Control y Centralizado.	0.2 – 0.5
Ingeniería y Administración.	2 – 4
Costos legales.	1 – 2
Cuotas Bancarias.	0.5 – 1.5
Intereses durante construcción.	1 – 2.5
Garantía extendida.	0.5 – 1
Contingencias.	1 – 2
Otros gastos	0.5 - 1

El costo total de potencia eólica (KW) instalado, varía según distintos países, como se muestra en la figura 4.6. Los costos por KW oscilan desde aproximadamente 900 €/KW a 1,150 €/KW (\$/KW 642.86 a \$/KW 821.43).<sup>[22]</sup>

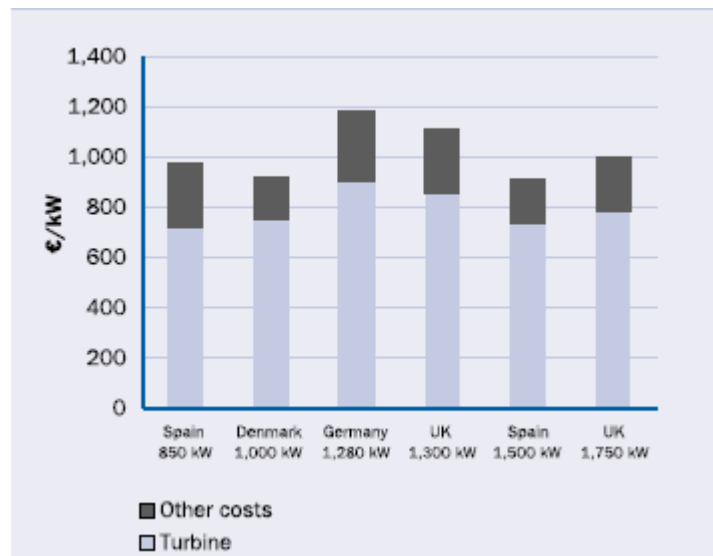


Figura 4.6. Costo total de inversión, incluyendo fundación del aerogenerador, conexión a la red, etc.<sup>[22]</sup>

#### 4.3.3.1 Costos de operación y mantenimiento.

La experiencia a nivel mundial en operaciones y mantenimiento de instalaciones eólicas refleja que los costos relacionados a esta actividad son relativamente bajos, en el orden de 1.5 a 2% de la inversión inicial.<sup>[29]</sup>

En la figura 4.7 se muestra el desarrollo de los costos de operación y mantenimiento en aerogeneradores con distintas capacidades de generación desde los inicios de los años ochenta (80). El eje horizontal representa el

tiempo del aerogenerador, mientras que el eje vertical es el costo de operación y mantenimiento expresados en c€/KW.



Figura 4.7. Costos de operación y mantenimiento de aerogeneradores con distintas capacidades de generación. <sup>[22]</sup>

La cantidad de energía producida por un aerogenerador depende de la del viento, la cual es proporcional al cubo de la velocidad de este. De este modo un ligero incremento en la velocidad del viento representa un gran aumento en la generación de electricidad. En la figura 4.8 se muestra en costo de la energía producida versus la velocidad del viento.

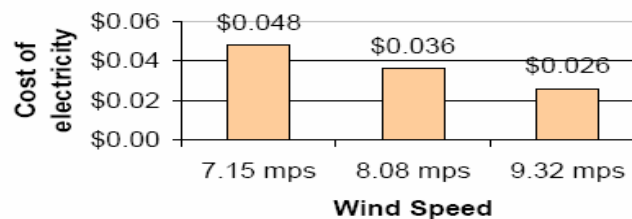


Figura 4.8. Costo de electricidad Vs. Velocidad del viento. <sup>[23]</sup>

#### 4.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICO – ECONÓMICAS DE LA ENERGÍA SOLAR.

Como se menciona en el capítulo II, existen dos formas de obtener energía solar, la térmica y la fotovoltaica. La primera se logra por medio de colectores solares y el segundo por celdas solares fotovoltaicas.

Los colectores solares están diseñados para recoger la radiación solar mediante sistemas concentradores solar, destinada a la generación de electricidad a través de colectores y plantas con turbinas a vapor. Las tecnologías de concentradores solares usan materiales reflectivos, como espejos para concentrar la energía solar. Existen tres tipos de plantas solares de generación de potencia: los colectores solares parabólicos, las torres solares y los concentradores de disco.

- \* Colectores solares parabólicos: estos emplean espejos curvos para enfocar la luz en un tubo lleno con aceite u otro fluido. Este aceite o fluido caliente es usado para calentar agua y producir vapor el cual es usado para generar electricidad, ver figura 4.9.

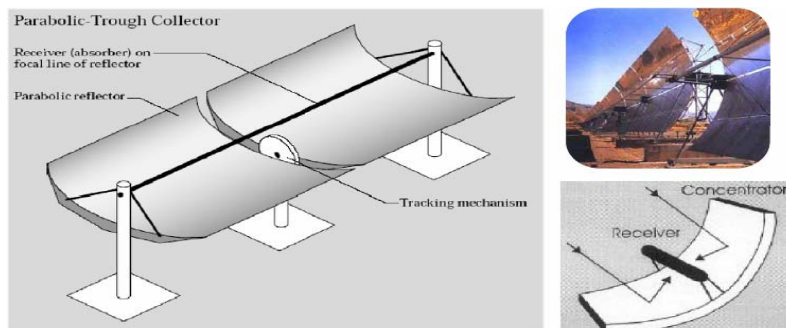


Figura 4.9. Colector Parabólico. [24]

- \* Torre solar: en este caso la energía térmica obtenida se puede usar para calentar agua o sal fundida, la cual almacena energía para uso posterior. El agua calentada produce vapor, el cual es usado para mover un conjunto de turbinas.

En la tabla 4.13 se muestran los lugares en el mundo donde este sistema se ha sido aplicado y la potencia generada. En la figura 4.10 se muestra una torre solar.

Tabla 4.13. Torres solares instaladas en el mundo.<sup>[24]</sup>

Proyecto.	País	Potencia [KW]
SSPS	España	0.5
EURELIOS	Italia	1
SUNSHINE	Japón	1
SOLAR ONE	Estados Unidos	1
THEMIS	Francia	2.5
SPP-5	Rusia	5
SOLAR TWO	Estados Unidos	10



Figura 4.10. Torre solar usada en el proyecto SOLAR TWO, California, Estados Unidos. <sup>[24]</sup>

- \* Discos solares: es una combinación de un disco satélite, una tecnología de una torre de potencia y un motor Stirling. Usa un disco parabólico para concentrar la energía solar en el punto focal, mientras que un receptor en el punto focal convierte la energía de los rayos solares en calor. Ver figura 4.11.

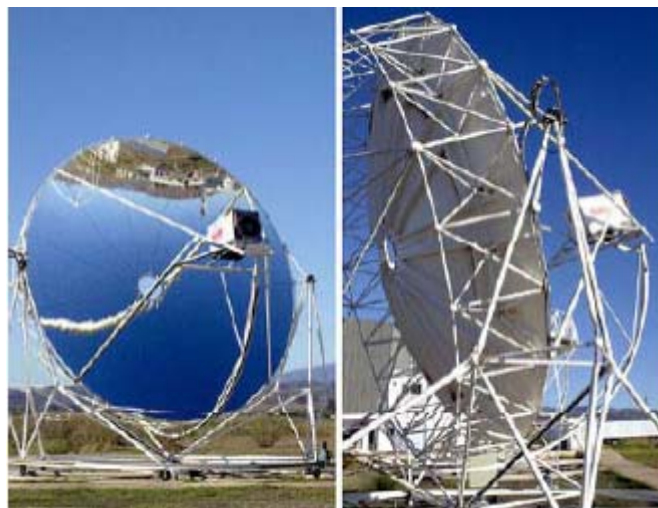


Figura 4.11. Planta solar térmica, con discos parabólicos. <sup>[24]</sup>

Por otra parte, los sistemas fotovoltaicos son simples en diseños, silenciosos, fácil de usar y no requieren de un combustible diferente a la luz. Debido a que no contienen partes móviles, resultan duraderos, confiables y fáciles de mantener. Su confiabilidad es elevada y se han empleado desde hace más de 40 años en lugares inhóspitos tales como el espacio, desiertos, selvas y regiones remotas.

Las celdas solares para sistemas fotovoltaicos son producidas en muchos tipos de materiales, en su mayoría son a base de silicio. Las celdas más importantes de acuerdo a la estructura cristalina son: silicio mono-cristalino y silicio multi-cristalino.

#### **4.4.1 Diseños de celdas fotovoltaicas.**

Los sistemas fotovoltaicos se pueden diseñar para operaciones autónomas, funcionamiento en sistemas híbridos o alternativamente con sistemas de generación convencional.

Los componentes de un sistema fotovoltaico pueden incluir un conjunto de módulos o paneles solares, regulador de carga, banco de baterías, acondicionar de potencia (dependiendo de la carga, tipo y nivel de corriente), además de elementos de montajes.

Hay dos tipos generales de diseños: los sistemas que interactúan con la red comercial de potencia y no poseen una capacidad de respaldo con baterías, y los sistemas que interactúan e incluyen a su vez sistemas de almacenamiento. El primer caso es usado en lugares donde la posibilidad de falla de suministro comercial es muy improbable.



#### 4.4.1.2 Eficiencia de los paneles fotovoltaicos.

Mediante la tabla 4.14, se puede apreciar la eficiencia de los paneles fotovoltaicos, según el material de construcción. Notoriamente se aprecia que los paneles fotovoltaicos a base de silicio monocristalino son más eficientes que los paneles fotovoltaicos a base silicio multicristalino.

Tabla 4.14. Eficiencia de los paneles fotovoltaicos. <sup>[24]</sup>

Tipo	Eficiencia típica del modulo [%]	Eficiencia máxima registrada del modulo [%]	Eficiencia máxima del modulo en laboratorio [%]
Silicio monocristalino	12 a 15	22.7	24.7
Silicio multicristalino	11 a 14	15.3	19.8

#### 4.4.1.3. Costos de sistemas fotovoltaicos.

En la tabla 4.15, se indica el índice de precios de sistemas comerciales solares fotovoltaicos, separándose en el tipo de instalación (residencial, comercial e industrial) y el tamaño en KW que genera el sistema.

Tabla 4.15. Índice de precios de sistemas comerciales solares FV. <sup>[24]</sup>

Instalación tipo.	Tamaño (KW)	Precio del sistema (\$)	Costo de generación solar(\$cents/KWh)
Residencial	2	18.078	Soleado:37.78 Nublado:83.13
Comercial	50	342.900	Soleado:27.49 Nublado:60.47
Industrial	500	2.484.745	Soleado:24.41 Nublado:47.11

#### **4.4.1.4 Fortalezas de los sistemas fotovoltaicos.**

- \* Trabajan bien en zonas remotas.
- \* Requieren poco mantenimiento.
- \* No son contaminantes.
- \* No usan combustible fósil.
- \* Excelente eficiencia a carga parcial.

#### **4.4.1.5 Debilidades de los sistemas fotovoltaicos.**

- \* Dependen del clima.
- \* Altos costos.
- \* El precio de la potencia entregada excede el de las otras tecnologías de generación distribuida.
- \* El ajuste temporal de la potencia producida y las cargas es imperfecto, de tal modo que se requieren de otros sistemas como dispositivos almacenadores de energía.
- \* En algunas localizaciones no es posible el uso de la energía fotovoltaica.

## **4.5 CARACTERÍSTICAS TÉCNICO – ECONÓMICAS DE LAS CELDAS DE COMBUSTIBLE.**

### **4.5.1 Aspectos Técnicos.**

A pesar que las celdas de combustibles son tecnologías nuevas para la comunidad, estas aparecieron hace mucho tiempo, y además, existen diferentes tipos de celdas que se diferencian tanto por el funcionamiento al que está destinado, tipo de combustible que usan, potencia generada, etc.

#### **4.5.1.1. Celdas de combustible de ácido fosfórico (PAFC).**

Este tipo de celdas utilizan gas natural, por lo que utiliza un electrolito de ácido fosfórico, el cual es muy corrosivo para uso menor (hogar, oficina, artículos pequeños), pero es rentable a nivel industrial, donde pueden generar electricidad del orden del 40% de eficiencia, sin embargo, pueden llegar a producir cerca del 85 % si el vapor que se expelle de esta, es vuelto a reutilizar en un ciclo de cogeneración. Comparándola con la mejor máquina de combustión interna que existe, que puede generar del orden del 30% de eficiencia, la celda es mucho más eficiente. Las temperaturas en las que operan estas celdas son del orden de los 220 ° Celsius (400 Kelvin). Estas celdas pueden ser utilizadas en vehículos grandes como autobuses y locomotoras, pero ya se están utilizando a nivel comercial como en hospitales, clínicas, hoteles, edificios de oficinas, escuelas, plantas eléctricas y aeropuertos. En la tabla 4.16, se muestra un resumen de las principales características técnicas de las PAFC, en esta se visualiza el tipo de electrolito que usa, su temperatura de operación, eficiencia, fabricantes, comercialización y aplicación más frecuente.

Tabla 4.16. Resumen técnico de las PAFC. <sup>[25]</sup>

Electrolito.	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , concentración 98%.
Temperatura de operación.	150°C a 200°C
Eficiencia.	40% a 50%
Fabricante.	Onsi Corporation
Comercialización.	Disponible comercialmente.
Aplicaciones.	Plantas de cogeneración 200 Kw y transporte.
Potencia	100 W – 10 MW

#### 4.5.1.2 Celdas de combustible de carbonato fundido (MCFC).

Este tipo de celdas utilizan sales fundidas como electrolito, debiendo reponerse en forma frecuente CO<sub>2</sub> en el cátodo para que se pueda formar y recuperar iones carbonato, por lo que es una de las más eficientes desde el punto de vista combustible-electricidad y además poseen la capacidad de consumir combustibles a base de carbón, incluyendo el CO y los biocombustibles. Esta celda opera a temperaturas del orden de los 650 ° Celsius (1200 Kelvin) y permite la reformación del combustible (extracción del hidrógeno contenido en hidrocarburos) dentro de la propia celda, además de que no necesita electro-catalizadores de metales nobles. Este tipo de celdas es aprovechado la electricidad y el calor generado.

En la tabla 4.17, se muestra un resumen de las principales características técnicas de las MCFC, en esta se visualiza el tipo de electrolito que usa, su temperatura de operación, eficiencia, fabricantes, comercialización y aplicación más frecuente.

Tabla 4.17. Resumen técnico de las MCFC. <sup>[25]</sup>

Electrolito.	Mezcla de carbonato litio, sodio.
Temperatura de operación.	650°C a 700°C
Eficiencia.	50% a 60%
Fabricante.	Energy Research Corporation.
Comercialización.	Sin información.
Aplicaciones.	Plantas de cogeneración y plantas de transporte 280KW-2MW..
Potencia	>100 MW.

#### 4.5.1.3 Celdas de combustible de oxido solido (SOFC).

Este tipo de celda no utiliza electrolitos corrosivos, sino electrolitos en estado sólido y presenta diversas ventajas técnicas, ya que un sistema de oxido sólido normalmente usa un material cerámico (zirconio estabilizada de Ytrio), en lugar de un electrolito liquido, permitiendo que la temperatura de operación alcance los 1000° Celsius, logrando una eficiencia de generación del orden del 60 %, alcanzando un máximo del 80 % usando cogeneración. Por lo que este tipo de celdas son muy auspiciosas, no sólo por su eficiencia, sino que además por su bajo costo de fabricación. Su aplicación más directa son las generadoras de electricidad a gran escala e industrial.

En la tabla 4.18, se muestra un resumen de las principales características técnicas de las SOFC, en esta se visualiza el tipo de electrolito que usa, su temperatura de operación, eficiencia, fabricantes, comercialización y aplicación más frecuente.

Tabla 4.18. Resumen técnico de las SOFC. <sup>[25]</sup>

Electrolito.	Matriz de óxidos metálicos.
Temperatura de operación.	900°C a 1000°C
Eficiencia.	45% a 55%
Fabricante.	Siemens- Westinghouse.
Comercialización.	Año 2004.
Aplicaciones.	Plantas de cogeneración 300 KW-10MW.
Potencia	>100 MW.

#### 4.5.1.4 Celdas de combustible de membrana de intercambio protónico (PEM).

Este tipo de celdas tienen una densidad de potencia alta, por lo que pueden variar su salida para satisfacer cambios en la demanda de potencia y son adecuadas para aplicaciones donde se requiere una demanda inicial de energía bastante importante, tal como en el caso de automóviles. Las celdas "PEM" operan a temperaturas del orden de los 80 ° Celsius, por lo que no pueden utilizarse en cogeneración, pero sí en sistemas de calefacción y agua caliente de hogares y oficinas. De acuerdo con el Departamento de Energía de los Estados Unidos, "son los principales candidatos para vehículos ligeros, edificios y potencialmente otras aplicaciones mucho más pequeñas tales como baterías recargables para videocámaras". En la tabla 4.19, se muestra un resumen de las principales características técnicas de las PEM, en esta se visualiza el tipo de electrolito que usa, su temperatura de operación, eficiencia, fabricantes, comercialización y aplicación más frecuente.

Tabla 4.19. Resumen técnico de las PEM. <sup>[25]</sup>

Electrolito.	Polímero fluorado con grupos de ácidos sulfúricos.
Temperatura de operación.	80°C a 120°C
Eficiencia.	40% a 50%
Fabricante.	Ballard Power Systems.
Comercialización.	Año 2001.
Aplicaciones.	Transporte.
Potencia	100 W – 10 MW

#### 4.5.1.5 Celdas de combustible alcalinas (AFC).

Este tipo de celdas utilizan hidróxido de potasio como electrolito, no requieren de materiales como catalizadores, ya que la dificultad de reducción de oxígeno es mínima, sin embargo, un factor adverso en este tipo de celdas es el efecto nocivo que el CO<sub>2</sub> produce al reaccionar con el hidróxido presente, lo que genera la necesidad de utilizar un combustible altamente puro, como el hidrógeno puro.

Estas celdas pueden alcanzar temperaturas de entre 50° a 250° Celsius y una eficiencia de generación eléctrica de cerca del 70 %. Las celdas alcalinas han sido utilizadas hace mucho tiempo por la NASA, pero debido a su gran costo de fabricación no se han masificado, sin embargo, varias empresas están examinando la forma de reducir costos y mejorar su flexibilidad en su operación. En la tabla 4.20, se muestra un resumen de las principales características técnicas de las AFC, en esta se visualiza el tipo de electrolito que usa, su temperatura de operación, eficiencia, fabricantes, comercialización y aplicación más frecuente.

Tabla 4.20. Resumen técnico de las AFC. <sup>[25]</sup>

Electrolito.	KOH, concentración 85%.
Temperatura de operación.	90°C a 100°C
Eficiencia.	60% a 90%
Fabricante.	Ze Tek Power
Comercialización.	Año 2002.
Aplicaciones.	Aplicaciones espaciales, Transporte.
Potencia	100 KW – 20 MW

#### 4.5.1.6 Celdas de combustible de metanol directo (DMFC).

Como su nombre indica, se usa metanol como combustible en este tipo de celdas. En las celdas de este tipo, el metanol líquido se oxida directamente en el ánodo. Esta celda no utiliza hidrógeno, trabaja a bajas temperaturas, es relativamente nueva en comparación a las otras celdas.

Recientes adelantos en investigación y desarrollo en las celdas de combustible de metanol directo han sido sustanciales. Sin embargo, existen obstáculos críticos en relación a la producción de corriente alta, la cantidad necesaria del catalizador de platino es todavía muy costosa en comparación a las del tipo PEM.

Como el combustible metanol cruza a través de la membrana del ánodo al cátodo, hace disminuir la actuación del cátodo y gasta combustible. Las ventajas de abastecer de metanol a la celda son significativas. Este tipo de celda no requiere de un voluminoso y pesado sistema de almacenamiento de hidrógeno o de un subsistema reformador. Esta es una ventaja, en términos de simplicidad y costo. En la tabla 4.21, se muestra un resumen de las principales características técnicas de las DMFC, en esta se visualiza el tipo



de electrolito que usa, su temperatura de operación, eficiencia, fabricantes, comercialización y aplicación más frecuente.

Tabla 4.21. Resumen técnico de las DMFC. <sup>[25]</sup>

Electrolito.	Metanol.
Temperatura de operación.	90°C a 100°C
Eficiencia.	~70%
Fabricante.	Ballard Power Systems.
Comercialización.	Sin información.
Aplicaciones.	Transporte.
Potencia	<100 MW.

#### 4.5.2 Aspectos económicos.

Las celdas de combustibles más comerciales y de mayor aplicación para los objetivos de este estudio, por su comercialización, uso a nivel residencial, comercial, industrial y cogeneración, son las PEM, SOFC y PAFC; por lo tanto, en este punto se desarrolla solo las anteriormente mencionadas. En la figura 4.12, se muestran los costos de instalación, y en la figura 4.13 se muestran los costos de operación y mantenimiento de las celdas de combustibles. En dicha figura las celdas de combustibles se dividen en dos partes según su temperatura, las de altas temperaturas son las MCFC, PAFC y SOFC, mientras que las de bajas temperaturas son las PEM.

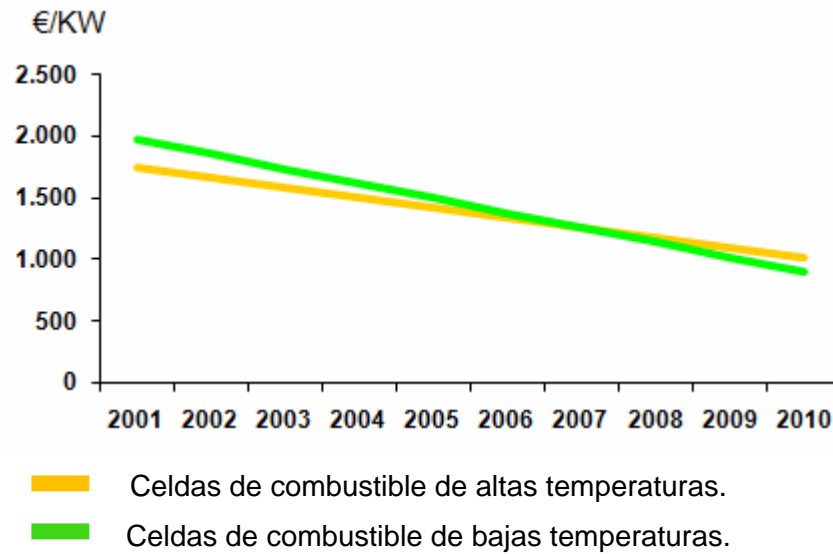


Figura 4.12. Costos de instalación.<sup>[19]</sup>

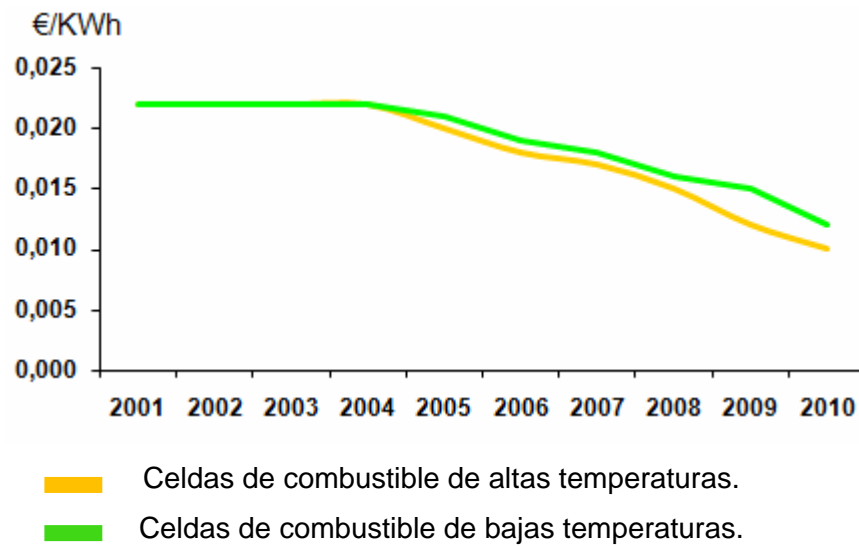


Figura 4.13. Costos de operación y mantenimiento.<sup>[19]</sup>

#### 4.6 RESUMEN DE LOS ASPECTOS TÉCNICOS Y ECONÓMICAS DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.

En la tabla 4.22 se muestra un resumen de las principales características técnicas y económicas de las tecnologías para generación distribuida estudiada en esta investigación. Toda la información suministrada en esta tabla fue obtenida de los datos previos desarrollados en este capítulo.

Tabla 4.22 Resumen de las aplicaciones y aspectos técnicos-económicos de las tecnologías para GD. Fuente: realización propia.

Tecnología	Sector		
	Eléctrico	Municipal	Industrial
Solar térmico.	Potencia masiva, receptor central y canal parabólico.	Sin información.	Cogeneración de calor y electricidad.
Solar fotovoltaico.	Generación distribuida para cortar picos y soporte de red.	Alumbrados público, parques y áreas protegidas.	Protección catódica, señalización, control remoto, alarmas, telecomunicaciones.
Eólica.	Producción de potencia masiva.	Autogeneración a pequeña escala.	Autogeneración a gran escala.
Celdas de combustible.	Generación distribuida	Generación distribuida en edificios.	Autogeneración a mediana escala para alta calidad y confiabilidad.
Motores de combustión interna.	Generación distribuida	Autogeneración a pequeña escala.	Autogeneración a mediana escala para alta calidad y confiabilidad.
Microturbinas.	Generación distribuida	Generación distribuida en edificios.	Autogeneración a mediana escala para alta calidad.

Tabla 4.22 Continuación.

Tecnología	Eficiencia	Energía de entrada	Costo de instalación (Bs./KW)	Costos de operación y mantenimiento (Bs.)
Solar térmico.	31,5%-37,6%	Sol.	Sin información	Sin información.
Solar fotovoltaico.	11-15%	Sol.	10684 -19433	213,68-388,66
Eólica.	32%-50%	Viento.	2709-3461,5	54,18-69,23
Celdas de combustible.	40-90%	Hidrogeno	3311-4515	0,04-0.05
Motores de combustión interna.	40%	Diesel, gas natural o biocombustibles.	645-1935	4,06-118
Microturbinas.	15-85%	Diesel, gas natural o biocombustibles.	1505-2365	0,010-0,0344

## **CAPÍTULO V.**

### **ESTUDIO FACTIBLE PARA LA APLICACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA.**

#### **5.1 GENERALIDADES.**

En este capítulo se establecerá las tecnologías para la aplicación de generación distribuida en la zona norte costera del estado Anzoátegui, así como también, una comparación de costos entre dichas tecnologías, con el objetivo de realizar un breve análisis sobre la factibilidad de aplicarlas. Todos los datos son tomados de los capítulos III y IV, desarrollados en este trabajo de investigación.

Para realizar este estudio se dividirá el mercado de consumidores en tres grupos:

- \* Grupo A: consumidores residenciales y condominios residenciales.
- \* Grupo B: consumidores comerciales (panaderías, tintorerías, hoteles, automercados, estación de servicios, etc.).
- \* Grupo C: consumidores industriales.

Los aspectos económicos son estudiados bajo el concepto de valor presente neto y tasa interna de retorno, cuyas definiciones según Anthony J. Tarquin y Leland T. Blank en su libro INGENIERIA ECONÓMICA, son las siguientes:

- \* Tasa interna de retorno (T.I.R):” se utiliza para determinar la rentabilidad de una inversión propuesta o pasada”.
- \* Valor presente neto (V.N.A): es un método en donde los gastos o entradas de dinero futura se transforman en el valor actual. <sup>[26]</sup>

## **5.2 FACTIBILIDAD TÉCNICO–ECONÓMICA PARA LA IMPLANTACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL GRUPO A.**

Como se mostró en la tabla 3.2 del capítulo III, la cantidad de clientes residenciales y de condominios residenciales en la zona norte costera del estado Anzoátegui es de 65.769,32, siendo estos el 60,4% de los consumidores de la zona, y consumiendo 54.925.476,28 KWh/mes.

Para realizar el estudio técnico-económica de este grupo, se tomó como ejemplo el conjunto residencial SUN WAY VILLAGE y el Edificio Residencial Mochima. Primero se estudiará el conjunto residencial y luego el edificio Mochima.

El conjunto residencial SUN WAY VILLAGE esta situado en la Av. Anzoátegui, sector El Morro I, Lechería, en el municipio Diego Bautista Urbaneja. Este conjunto residencial está conformado por 38 viviendas bifamiliares, las cuales tienen un promedio de consumo energético de 4.862 KWh/mes por vivienda, y un consumo energético en las áreas comunes de 2.971 KWh/mes. La cantidad de energía consumida por todo el conjunto residencial es de 260,7 KW, lo que equivale a 275 KVA usando un factor de potencia de 0.95. Toda esta información ha sido suministrada por habitantes de este conjunto residencial. En el anexo A, se muestra una factura del servicio eléctrico consumido por el condominio de esta residencia.

Para realizar la selección de la tecnología a usar para alimentar eléctricamente esta residencia, se debe considerar un 20% adicional del consumo energético de la misma, esto quiere decir que la tecnología debe proporcionar como mínimo 312,8 KW ( $260,7KW * 1,20$ ).

Con esta capacidad de consumo, las tecnologías más viables para aplicar generación distribuida en el grupo A son los motores reciprocantes, los aerogeneradores, las celdas solares fotovoltaicas, las microturbinas y las celdas de combustibles (PAFC, SOFC y MCFC). En la tabla 5.1 se muestra una comparación de los aspectos técnicos y económicos de las tecnologías mencionadas anteriormente, con la finalidad de poder seleccionar cuál de estas son las más factibles de aplicar.

Tabla 5.1 Principales características técnico-económicas de las tecnologías para la aplicación de generación distribuida en el grupo A.

Tecnología	Eficiencia	Energía de entrada.	Costo de instalación (Bs./KW)	Costo de operación y mantenimiento (Bs.)
Motores reciprocantes	40 %	Diesel, gas natural o biocombustibles	645-1935	4,06-118
Aerogeneradores	32%-50%	viento	2709-3461,5	54,18-69,23
Solar Fotovoltaica	11-15%	Sol.	10684-10433	213,68-388,6
Celdas de combustible	40-90%	Hidrogeno	3311-4515	0.04-0.05
Microturbinas.	15-85%	Diesel, gas natural o biocombustibles.	1505-2365	0,010-0,0344

Como se puede apreciar la tecnología menos viable es la solar fotovoltaica, ya que su eficiencia es del 11% al 15%. Entre las más eficientes

están los motores recíprocos, los aerogeneradores, las microturbinas y las celdas de combustible, siendo entre estos los más accesibles económicamente las microturbinas y los motores recíprocos.

Los aerogeneradores quedarían en tercer lugar en los aspectos económicos, pero representan un problema de instalación, debido a su gran tamaño y gran necesidad de espacio; característica que no cumplen las áreas residenciales en la zona. En todos los casos el combustible es de fácil adquisición.

### **5.2.1 Generación distribuida aplicada al Conjunto Residencial Sun Way Village, a través de un motor recíproco.**

La empresa CUMMINS, produce un motor recíproco, modelo DFCC, que genera 315 KW, lo cual satisface la demanda energética del conjunto residencial SUN WAY VILLAGE. Entre las características más relevante de este motor, se tiene que opera a una frecuencia de 60 Hz, a una velocidad de 1800 rpm, con medidas de 4 metros de largo, 1 metro de ancho y 2 metros de alto, además de usar como combustible el diesel (85 L/h). Para mayor información sobre los datos técnicos consultar el anexo B.

Los costos de inversión de este motor recíproco son de 300 \$/KW, lo que equivale a Bs. 203.175 (considerando los 315 KW que genera el motor), la instalación del mismo es del 50% de su costo, es decir Bs. 101.588 y su mantenimiento anual tiene un precio de 0.81\$/KW, es decir Bs. 548,6 (0.81\$/KW\*315KW\*Bs.2,15). Los costos que genera el uso de esta tecnología, son detallados en la tabla 5.2.



Tabla 5.2. Costos del motor Cummins, modelo DFCC, usado como sistemas de autogeneración. Fuente: realización propia.

Concepto.	Costos (Bs.)
Inversión.	203.175
Instalación.	101.588
Mantenimiento y operación (anual).	548,6
Combustibles (mensual).	2.938

### 5.2.2 Generación distribuida aplicada al Conjunto Residencial Sun Way Village, a través de una microturbina.

Para alimentar eléctricamente el conjunto residencial SUN WAY VILLAGE por medio de una microturbina, es necesario usar más de una microturbina, ya que en la actualidad no existe una que se aproxime a 313 KW que demanda el conjunto residencial. La empresa CAPSTONE, produce microturbinas de 30 KW, 65 KW, 200 KW, 600 KW, 800 KW y 1000 KW. Con estos rangos de potencia es necesario seleccionar tres microturbinas, una de 200 KW y dos de 65 KW. Estos equipos usan como combustible el gas natural. Las especificaciones técnicas se muestran en el anexo C y anexo D, respectivamente.

El costo de inversión por la microturbina es de 700 \$/KW, lo que equivale a Bs. 496.650, el costo de instalación es de Bs. 248.325, el de mantenimiento y operación es de 0,005\$/KW, equivalente a Bs. 3,5 (por cada 8000 horas de uso), y el consumo de combustible mensual es de Bs. 3.406. Los costos que genera el uso de esta tecnología, son detallados en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Costo total conjunto de microturbinas Capstone, modelo C65 y C200, usados como sistemas de autogeneración. Fuente: realización propia.

Concepto (por los 330 KW)	Costos (Bs.)
Inversión.	496.650
Instalación.	248.325
Mantenimiento y operación (anual).	3,5
Combustibles (mensual).	3.406

### 5.2.3 Costos de la red Vs. Costos de tecnologías aplicada al Conjunto Residencial Sun Way Village.

Las tecnologías preseleccionadas para la aplicación de generación distribuida en el grupo A, fueron las microturbinas, y los motores reciprocantes, por su eficiencia y costo. Ahora, es importante realizar una breve comparación entre los costos de la red eléctrica nacional, establecida por la empresa CADAPE, y las tecnologías para la aplicación de la generación distribuida.

La empresa CADAPE establece, que las tarifas para consumidores residenciales del tipo T-03 (alto consumo) se realizan de la siguiente manera: consumo mayor a 500 KWh/mes con un costo de Bs. 41,20, el resto del consumo por 0,11 Bs/KWh. Corriente alterna de 60 Hz, baja tensión, en las tensiones y número de fases disponibles en la zona. Lo que significa que el promedio del costo de energía eléctrica es de 501,2 Bs.KWh/mes (basándose en un consumo promedio de 4.682 KWh/mes) por vivienda y de 313,01 Bs.KWh/mes por condominio (áreas comunes). Estas cifras indican que mensualmente el pago por el servicio eléctrico entre todas las viviendas y el condominio es de Bs. 19.358,6.

Considerando la posibilidad de ejecutar un plan de pago mensual durante un año, por el costo de instalación e inversión en cualquiera de las tecnologías anteriormente seleccionadas, y tomando en cuenta el uso de la red eléctrica solo como respaldo (Bs. 39, por los 275 KVA requeridos), las cuotas que deben pagar los habitantes de dicho conjunto residencial son de Bs.707, 3 por el motor recíprocante y de Bs.1.672, 7 por las microturbinas. Quedando por pagar a partir del segundo año solo el precio del combustible y el de mantenimiento anual de los equipos. En la tabla 5.4 se muestra una comparación entre el costo mensual del servicio eléctrico con la red y costo mensual con la tecnología, en donde el año 1 (2009) representa el año de inversión, y en donde los montos son proyectados con un aumento del 10% anual.

Tabla 5.4 Costos de la red Vs. Costos de tecnologías. Fuente: realización propia.

Servicio eléctrico con:	Bs. en el 2009	Bs. en el 2010	Bs. en el 2011	Bs. en el 2012	Bs. en el 2013	Bs. en el 2014	Bs. en el 2015
Motores recíprocantes.	707,3	117,5	129,3	142,2	156,4	172	189
Microturbinas.	1672,7	128,6	141,5	155,6	171,2	188,3	207
Red eléctrica Nacional.	509,4	560,3	616,4	678,0	745,8	820,4	902,4

Es evidente que los costos de energía eléctrica a través de la red nacional, son menos que los de las tecnologías durante el año 1 (año de inversión), con una diferencia de Bs. 197,9 entre la red y el motor recíprocante, y una diferencia de Bs.1.163,1 entre la red y las microturbinas. Pero a partir del año 2, donde solo se pagaría el consumo de combustible y el mantenimiento de la tecnología a implantar, el uso de dichos equipos es más rentable y económico que el de la red eléctrica.

Si se toma en cuenta la cantidad de interrupciones eléctricas que hay en la zona, y los gastos en equipos electrodomésticos, entre otros, dañados por esta causa, además de la incomodidad e inseguridad que esto representa, valdría la pena usar cualquiera de estas tecnologías como autogeneración para el conjunto residencial SUN WAY VILLAGE.

Estudiando los valores mensuales por tecnología, y llevándolo a su valor presente neto, resulta los montos mostrados en la tabla 5.5 y en la tabla 5.6; en donde todos los montos expresados son egresos, lo que indica que el valor de presente neto (V.N.A) más elevado es el menos adecuado. Es decir, la tecnología más conveniente sería el motor recíprocante.

Tabla 5.5 Valor presente neto de un motor recíprocante, aplicado para la generación distribuida en el conjunto residencial SUN WAY VILLAGE. Fuente: realización propia.

Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
F.C.N Bs.	707,3	117,5	129,3	142,2	156,4	172	189
V.N.A Bs.	1.225,57						

Tabla 5.6 Valor presente neto de una microturbina, aplicada para la generación distribuida en el conjunto residencial SUN WAY VILLAGE. Fuente: realización propia.

Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
F.C.N Bs.	1672,7	128,6	141,5	155,6	171,2	188,3	207
V.N.A Bs.	2.158,32						

#### **5.2.4 Factibilidad técnico-económica para la implantación de generación distribuida en la Residencia Mochima.**

La residencia Mochima está ubicada en la Urb. Colinas del neveri, Av. Guzmán Lander, en el municipio Bolívar del estado Anzoátegui. Este edificio tiene nueve (9) pisos, en los cuales residen dos familias por pisos, y cuyo promedio de consumo de energía eléctrica mensual es de 4000 KWh/mes, por familia. El consumo de energía eléctrica en las áreas comunes del edificio es de 3118,2 KWh/mes. Si se suma el consumo de energía de cada familia más el consumo de energía en las áreas comunes, esto resulta 75.118,2 KWh/mes; si luego se divide esta cantidad entre 720 horas que tiene un mes, indica que el consumo mensual de energía eléctrica es de 104,3 KW, lo que equivale a 109,8 KVA usando un factor de potencia de 0.95. Para abastecer la demanda eléctrica de esta residencia, se requiere de una tecnología que suministre como mínimo 125 KW ( $104,3 \text{ KW} * 1,2$ ).

##### **5.2.4.1 Generación distribuida aplicada al Edificio Residencial Mochima, a través de un motor reciprocante.**

La empresa CUMMINS, produce un motor reciprocante, modelo DGFA, que genera 135 KW, lo cual satisface la demanda energética del edificio. Entre las características más relevante de este motor, se tiene que opera a una frecuencia de 60 Hz, a una velocidad de 1800 rpm, con medidas de 42,6 metros de largo, 1 metro de ancho y 1,4 metros de alto, además de usar como combustible el diesel (38 L/h). Para mayor información sobre los datos técnicos consultar el anexo E.

Los costos de inversión de este motor reciprocante son de 300\$/KW, lo que equivale a Bs. 87.075 (considerando los 135 KW que genera el motor),

la instalación del mismo es del 50% de su costo, es decir Bs. 43.538 y su mantenimiento anual tiene un precio de 0.81\$/KW, es decir Bs. 235,1 (0.81\$/KW\*135KW\*Bs. 2,15). Los costos que genera el uso de esta tecnología, son detallados en la tabla 5.7

Tabla 5.7. Costos del motor Cummins, modelo DGFA, usado como sistemas de autogeneración. Fuente: realización propia.

Concepto. (por los 135 KW)	Costos (Bs.)
Inversión.	87.075
Instalación.	43.538
Mantenimiento y operación (anual).	235,1
Combustibles (mensual).	1.313,3

#### **5.2.4.2 Generación distribuida aplicada al Edificio Residencial Mochima, a través de una microturbina.**

Para alimentar eléctricamente el edificio por medio de una microturbina, ocurre la misma situación del conjunto residencial Sun Way Village, en donde fue necesario usar más de una microturbina, ya que en la actualidad no existe una que se aproxime a la demanda requerida. La empresa CAPSTONE, produce microturbinas de 65KW, por lo que es necesario usar dos microturbina, para totalizar 130 KW. Estos equipos usan como combustible el gas natural. Las especificaciones técnicas se muestran en el anexo D.

El costo de inversión por la microturbina es de 700\$/KW, lo que equivale a Bs. 195.650, el costo de instalación es de Bs. 97.825, el de mantenimiento y operación es de 0,016\$/KW, equivalente a Bs. 4,5 (por cada 8000 horas de uso), y el consumo de combustible mensual es de Bs. 94,07.

Los costos que genera el uso de esta tecnología, son detallados en la tabla 5.8

Tabla 5.8 Costo total del conjunto de microturbinas Capstone, modelo C65, usados como sistemas de autogeneración. Fuente: realización propia.

Concepto (por los 130 KW)	Costos (Bs.)
Inversión.	195.650
Instalación.	97.825
Mantenimiento y operación (anual).	4,5
Combustibles (mensual).	94,07

#### 5.2.4.3 Costos de la red Vs. Costos de tecnologías aplicada al Edificio Residencial MOCHIMA.

En el edificio residencial Mochima, el consumo energético es de tipo T-03 (alto consumo, según la clasificación de CADAFE), lo que indica que el cálculo del mismo, se realiza de forma similar al del conjunto residencial Sun Way Village. El monto total del servicio eléctrico es de Bs. 444.5, por apartamento (incluyendo áreas comunes).

Aplicar generación distribuida al edificio residencial Mochima sería factible si se ejecuta un pago mensual, durante un año, por la adquisición e instalación de cualquiera de las tecnologías anteriormente mencionadas, con el fin de que en los años venideros, solo se cancele cuotas mensuales por los costos de combustible, mantenimiento y uso de la red eléctrica solo como respaldo, siendo el pago mensual de este último Bs. 33 por los 109,8 KVA requeridos en el primer año. En la tabla 5.9, se muestra una proyección por un periodo de siete (7) años, con un aumento del 10% anual, de las

mensualidades que tendrían que cancelar los habitantes del edificio residencial Mochima, aplicando las tecnologías y aplicando la red eléctrica. En esta tabla el año de inversión sería el año 2009.

Tabla 5.9 Costos de la red Vs. Costos de tecnologías. Fuente: realización propia.

Servicio eléctrico con:	Bs. en el 2009	Bs. en el 2010	Bs. en el 2011	Bs. en el 2012	Bs. en el 2013	Bs. en el 2014	Bs. en el 2015
Motores recíprocos.	637,7	107	117,8	129,5	142,5	156,7	172,4
Microturbinas.	1.396,3	127,1	139,8	153,8	169,2	186	204,7
Red eléctrica Nacional.	444,5	488,95	537,85	591,63	650,79	715,87	787,45

Con los montos expresados en la tabla anterior, se nota claramente que en el año de inversión (2009) el costo mensual por las tecnologías es más elevado que los costos con la red eléctrica, con una diferencia de Bs. 193,2 Entre los motores y la red, y una diferencia de Bs. 951,8 entre la red y la microturbina. Sin embargo, a partir del segundo año los costos mensuales por las tecnologías son menos elevados que la red eléctrica.

En la tabla 5.10 y en la tabla 5.11, se muestran los valores resultantes, después de aplicar un estudio económico a los costos mensuales de la tecnologías, usando el concepto del valor presente neto, en donde, se evidencia que la tecnología económicamente factible es el motor recíproco, ya que es la que genera menor cantidad de egresos.



Tabla 5.10 Valor presente neto de un motor recíprocante, aplicado para la generación distribuida en el edificio residencial Mochima. Fuente: realización propia.

Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
F.C.N Bs.	637,7	107	117,8	129,5	142,5	156,7	172,4
V.N.A Bs.	1.110,51						

Tabla 5.11 Valor presente neto de una microturbina, aplicada para la generación distribuida en el edificio residencial Mochima. Fuente: realización propia.

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
F.C.N Bs.	1.396,3	127,1	139,8	153,8	169,2	186	204,7
V.N.A Bs.	1.899,58						

### 5.3 FACTIBILIDAD TÉCNICO–ECONÓMICA PARA LA IMPLANTACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL GRUPO B.

En el capítulo III, tabla 3.2, se mostró que la cantidad de clientes comerciales que hay en la zona norte costera del estado Anzoátegui, es de 30.450,02, representando estos el 27,96% de los consumidores de la zona, y consumiendo 25.425.766,83 KWh/mes.

Como se planteó al comienzo de este capítulo el “grupo B” se enfocará en el sector comercial (panaderías, hoteles, tintorerías, estación de servicios, automercados, etc.).

Como aplicación, para el estudio del grupo B se tomará como ejemplo la panadería “SERVICE PLAZA C.A”, ubicada en la Av. Caracas de la ciudad Barcelona, Edo. Anzoátegui. Esta panadería ha sufrido pérdidas económicas, debido a las constantes fallas eléctricas ocurridas en la zona.

Actualmente posee cuatro (4) motores (1 HP c/u) y un aire acondicionado de 5 Tn. dañados; la reparación de los equipos anteriormente mencionados está valorado en Bs. 17.000. Adicional a esto, se estima una pérdida en facturación de Bs. 50. Por cada hora sin el servicio eléctrico, lo que equivale a Bs. 750 mensuales. (15 horas sin luz al mes).

Dicha panadería cuenta con ingresos mensuales de Bs. 100.000 Y con egresos por el pago del servicio eléctrico de Bs. 1000 mensuales. El costo anual en materia prima es de Bs. 600.000 y el pago total anual al personal es de Bs. 120.000. Toda esta información ha sido suministrada por el personal encargado de este comercio.

Para realizar el estudio técnico-económica al comercio, primero se seleccionó la tecnología por su eficiencia, para luego realizarle el análisis económico. Por sus eficiencias las tecnologías seleccionadas son los motores reciprocantes, las microturbinas.

Para escoger la capacidad de potencia nominal mínima en KW que debe poseer los equipos, se le agregó un 20% a la demanda en KW que posee el comercio, el cual es de 40 KVA, lo que equivale a 36 KW (con un factor de potencia de 0.9). Esto quiere decir, que las tecnologías deben suministrar una potencia mínima de 43,2 KW.

En el caso de de las celdas de combustible, que también son tan eficientes como los motores reciprocantes y las microturbinas, no se analizaron económicamente, ya que son muy costosas (1500\$/KW) y para el rango de potencia eléctrica necesario para alimentar el comercio, no son comerciales.

El análisis económico, se realizó calculando los flujos de caja neta anual, el valor presente, la tasa interna de retorno del comercio, y realizando una comparación entre estas, cuando usa el servicio eléctrico y cuando usa la generación distribuida como suministro de electricidad, con una proyección en aumento del 10% anual durante 7 años (2009-2015). En la tabla 5.12 se muestra el estudio económico que posee la panadería SERVICE PLAZA C.A, con el uso de la red eléctrica nacional.

Tabla 5.12 Análisis económico de la panadería SERVICE PLAZA C.A, con el uso de la red eléctrica nacional. (Información suministrada por el personal del comercio).

Fuente: Elaboración propia.

CONCEPTO.	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ingresos	1.191.000	1.310.100	1.441.110	1.585.221	1.743.743	1.918.117	2.109.929
Total de egresos	749.000	805.200	885.720	974.292	1.096.611	1.178.893	1.296.783
Utilidad Bruta (Ingresos- Total egresos)	442.000	504.900	555.390	610.929	647.132	739.224	813.146
I.S.L.R (utilidad bruta*0.34)	150.280	171.666	188.833	207.716	220.025	251.336	276.470
<b>F.C.N (ingresos- total de gresos- I.S.L.R) (Bs.)</b>	<b>291.720</b>	<b>333.234</b>	<b>366.557</b>	<b>403.213</b>	<b>427.107</b>	<b>487.888</b>	<b>536.676</b>

### 5.3.1 Generación distribuida aplicada al comercio a través de un motor recíprocante.

En el mercado actual, el motor con capacidad de potencia más cercano al requerido por el comercio es el motor de marca PERKINS, modelo 1100 SERIES, con 60,8 KW de potencia, 1800 r.p.m, el cual usa como combustible el diesel y cuya capacidad de consumo es de 17,7 L/hr. Los datos técnicos de dicho motor se muestran en el anexo F.

La inversión en esta tecnología es de 300 \$/KW, lo que equivale a Bs. 39.216, el costo de instalación del equipo es de Bs. 19.608, mientras que el costo de mantenimiento y operación es de 55 \$/KW, equivalente a Bs. 7189,6 (por cada 8000 horas de trabajo). En la tabla 5.13 se muestra los resultados del estudio económico realizado al comercio con el uso del motor PERKINS; en donde se visualiza el valor del flujo de caja neta anual que producirá el comercio con la aplicación de esta tecnología.

Tabla 5.13 Estudio económico aplicado a la panadería SERVICE PLAZA C.A con el uso de motor recíprocante para autogenerar electricidad. Fuente: Elaboración propia.

Concepto.	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ingresos.	1.200.000	1.320.000	1.452.000	1.597.200	1.756.920	1.932.612	2.125.873
Combustible.	3670,3	4.037,3	4.441	4.885,2	5.374	5.911	6.502
Mantenimiento y operación.	7.189,60	7.909	8.699	9.569	10.526	11.579	12.737

Tabla 5.13 Continuación.

Pago del personal	120.000	132.000	145.200	159.720	175.692	193.261	212.587
Costo de materia prima.	600.000	660.000	726.000	798.600	878.460	966.306	1.062.937
Depreciación (Inversión/ vida útil del equipo)	3.921,6	3.921,6	3.921,6	3.921,6	3.921,60	3.921,60	3.921,60
Costos de instalación.	19.608						
Total de egresos.	754.391	807.868	888.262	976.696	1.073.974	1.180.979	1.298.685
Utilidad Bruta (Ingresos- Total egresos)	445.609	512.132	563.738	620.504	682.946	751.633	827.188
I.S.L.R (Utilidad bruta*0,34)	151.507	174.125	191.671	210.971	232.202	255.555	281.244
Inversión.	39.216						
<b>F.C.N (Bs.)</b>	<b>258.807,5</b>	<b>341.929</b>	<b>375.989</b>	<b>413.454</b>	<b>454.666</b>	<b>499.999</b>	<b>549.866</b>

Para realizar el cálculo del valor presente neto (VNA) y de la tasa interna de retorno (TIR), es necesario restar los valores del flujo de caja neta con el uso del motor, menos el valor del flujo de caja neta con el uso de la red eléctrica.

Este resultado se muestra en la tabla 5.14, en donde se visualiza la rentabilidad económica que representa aplicar la tecnología.

Tabla 5.14. Estudio de factibilidad económica con el uso del motor recíprocante.

Fuente: Elaboración propia.

Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
FC NETA (Bs.)	-32.913	8.695	9.432	10.241	27.559	12.111	13.190
VNA	(Bs.) 22.063,1						
TIR	30%						

### 5.3.2 Generación distribuida aplicada al comercio a través de una microturbina.

Para alimentar eléctricamente la panadería por medio de una microturbina, se seleccionó la microturbina marca CAPSTONE, modelo C65, la cual tiene la capacidad de generar 65 KW de potencia y como combustible usa el gas natural. Las especificaciones técnicas se muestran en el anexo D.

El costo de inversión por la microturbina es de 700\$/KW, lo que equivale a Bs. 97.825, el costo de instalación es de Bs. 19.565, el de mantenimiento y operación es de 0,005\$/KW, equivalente a Bs. 0,69 (por cada 8000 horas de uso), y el consumo de combustible anual es de Bs. 1.348. En la tabla 5.15 se muestra los resultados del estudio económico realizado al comercio con el uso de la microturbina CAPSTONE C65; en donde se visualiza el valor del flujo de caja neta anual que producirá el comercio con la aplicación de esta tecnología.

Tabla 5.15. Estudio económico aplicado a la panadería SERVICE PLAZA C.A con el uso de una microturbina para autogenerar electricidad. Fuente: Elaboración propia.

Concepto.	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ingresos.	1.200.000	1.320.000	1.452.000	1.597.200	1.756.920	1.932.612	2.125.873
Combustible.	1.348	1.483	1.631	1.794	1.974	2.171	2.388
Mtto. Y operación.	0,69	0,76	0,83	0,92	1	1.1	1.2
Pago del personal	120.000	132.000	145.200	159.720	175.692	193.261	212.587
Costo de materia prima.	600.000	660.000	726.000	798.600	878.460	966.306	1.062.937
Depreciación (Inversión/ vida útil del equipo)	9782,5	9782,5	9782,5	9782,5	9782,5	9782,5	9782,5
Costos de instalación.	19.565						
Total de egresos.	750.696,2	803.266	882.614	969.897	1.065.910	1.171.522	1.287.696
Utilidad Bruta (Ingresos- Total egresos)	449.304	516.734	569.386	627.303	691.010	761.090	838.177
I.S.L.R (Utilidad bruta*0,34)	152.763	175.690	193.591	213.283	234.943	258.771	284.980
Inversión.	97.825						
<b>F.C.N (Bs.)</b>	<b>208.498</b>	<b>350.827</b>	<b>385.577</b>	<b>423.802</b>	<b>465.849</b>	<b>512.102</b>	<b>562.979</b>

Para la realización del cálculo del valor presente neto (VNA) y de la tasa interna de retorno (TIR), se restaron los valores del flujo de caja neto con el uso de la microturbina, menos el valor del flujo de caja neta con el uso de la red eléctrica. Este resultado se muestra en la tabla 5.16, en donde se visualiza la rentabilidad económica que representa aplicar la tecnología.

Tabla 5.16. Estudio de factibilidad económica con el uso de la microturbina C65.

Fuente: Elaboración propia.

Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
FC NETA (Bs.)	-83222	17.593	19.020	20.589	38.742	24.214	26.303
VNA	(Bs.) 18.457,4						
TIR	17%						

En la tabla 5.17 se muestran los resultados económicos de ambas tecnologías, donde fácilmente se aprecia que la tecnología más factible de aplicar son los motores recíprocos, además de ser más eficientes.

Tabla 5.17 Cuadro comparativo entre los resultados económicos del motor PERKINS y la microturbina CAPSTONE. Fuente: Elaboración propia.

Concepto	Motor PERKINS	Microturbina CAPSTONE
VNA	(Bs.) 22.063,1	(Bs.) 18.457,4
TIR	30%	17%

Es de gran importancia acotar que este estudio económico se realizó, sin el uso de la red eléctrica Nacional. El comercio debe considerar realizar



un contrato del servicio eléctrico, solo como respaldo y el monto a cancelar será de Bs. 288 por los 40 KVA requeridos por el comercio. Este monto resulta de las tarifas tipo T-06 estipulada por CADAPE, cuyo pago por KVA es de Bs. 7,2.

#### **5.4 FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA LA IMPLANTACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL GRUPO C.**

Como se mostró en la tabla 3.2 del capítulo III, la cantidad de clientes industriales en la zona norte costera del estado Anzoátegui es de 4.891,54 siendo estos el 4,49% de los consumidores de la zona, y consumiendo 4.083.036,23 KWh/mes. Para estudiar económicamente el grupo C (sector industrial), se tomó como ejemplo la fabrica de hielo ORIENTE C.A., ubicada en la Av. Intercomunal Jorge Rodríguez, sector las Garzas. Actualmente esta fabrica de hielo, tiene pérdidas monetarias anuales de Bs.39.600, debido a la ausencia del servicio eléctrico, el cual también causa daños en equipos valorados en Bs. 100.000. Por otra parte, los ingresos anuales de la fábrica son de Bs.5.940.000. Esta información fue suministrada por el personal que labora en dicha industria.

Entre los egresos típicos de la fábrica se encuentran los siguientes:

- \* Pago anual del personal : Bs. 600.000
  
- \* Costo anual de la materia prima : Bs. 594.000
  
- \* Costo anual del servicio eléctrico: Bs. 156.000

Realizando un análisis económico a la industria, con el uso del servicio eléctrico de la región, se obtiene los resultados mostrados en la tabla 5.18. En donde se visualiza los valores del flujo de caja neta obtenidos en una proyección en aumento del 10% anual durante 7 años (2009-2015).

Tabla 5.18 Análisis económico de la fabrica de hielo ORIENTE C.A, con el uso de la red eléctrica nacional. (Información suministrada por el personal del comercio).

Fuente: Elaboración propia.

Concepto.	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ingresos	5900400,0	6490440,0	7139484,0	7853432,0	8638776,0	9502654,0	10452919,0
Total de egresos	1450000,0	1595000,0	1754500,0	1929950,0	2122945,0	2335240,0	2568764,0
Utilidad Bruta	4450400,0	4895440,0	5384984,0	5923482,0	6515830,0	7167414,0	7884155,0
I.S.L.R (utilidad bruta*0.34)	1513136,0	1664450,0	1830895,0	2013985,0	2215382,0	2436921,0	2680613,0
<b>F.C.N (ingresos- total de gresos- I.S.L.R) (Bs.)</b>	<b>2937264,0</b>	<b>3230990,0</b>	<b>3554089,0</b>	<b>3909498,0</b>	<b>4300448,0</b>	<b>4730493,0</b>	<b>5203542,0</b>

#### 5.4.1 Generación distribuida aplicada a la industrial a través de un motor recíprocante.

. Para elegir la capacidad de potencia nominal mínima en KW que debe poseer el equipo, se le agregó un 20% a la demanda en KW que posee la fabrica, el cual es de 450 KVA, lo que equivale a 405 KW (con un factor de

potencia de 0.9). Esto quiere decir, que las tecnologías deben suministrar una potencia mínima de 486 KW.

En el mercado actual, el motor con capacidad de potencia más cercano al requerido por el comercio es el motor fabricado por GE JENBACHER, modelo J312GS, con 633 KW de potencia, 1800 r.p.m, el cual usa como combustible el gas natural y cuya capacidad de consumo es de 9,5 KWh/Nm<sup>3</sup>. Los datos técnicos de dicho motor se muestran en el anexo G.

La inversión en esta tecnología es de 300 \$/KW, lo que equivale a Bs. 408.285, el costo de instalación del equipo es de Bs.204.143, mientras que el costo de mantenimiento y operación es de 55 \$/KW, equivalente a Bs. 3.675 (por cada 8000 horas de trabajo). Y el costo de combustible es de Bs, 631,58 (la fabrica consume 300.000 KWh/mes).

En la tabla 5.19 se muestra los resultados del estudio económico realizado al comercio con el uso del motor J312GS; en donde se visualiza el valor del flujo de caja neta anual que producirá el comercio con la aplicación de esta tecnología.

Tabla 5.19. Estudio económico aplicado a la fabrica de hielo ORIENTE C.A con el uso de motor reciprocante para autogenerar electricidad. Fuente: Elaboración propia.

Concepto.	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ingresos.	5940000	6534000	7187400	7906140	8696754	9566429	10523072
Combustible.	7579	8337	9171	10088	11096,8	12206	13427
Mantenimiento y operación.	3675	4043	4447	4892	5381	5919	6511
Pago del personal	600000,0	660000,0	726000,0	798600,0	878460,0	966306,0	1062937
Costo de materia prima.	594000	653400	718740	790614	869675	956643	1052307,0
Depreciación (Inversión/vida útil del equipo)	40828	40828	40828	40828	40828	40828	40828
Costos de instalación.	204143						
Total de egresos.	1450225	1366608	1499186	1645022	1805441	1981902	2176010
Utilidad Bruta (Ingresos-Total egresos)	4489775	5167392	5688214	6261118	6891313	7584527	8347062,0
I.S.L.R (Utilidad bruta*0,34)	1526524	1756913	1933993	2128780	2343046	2578739	2838001
Inversión.	408285						
<b>F.C.N (Bs.)</b>	<b>2.595.795</b>	<b>3.451.307</b>	<b>3.795.049</b>	<b>4.173.166</b>	<b>4.589.095</b>	<b>5.046.616</b>	<b>5.549.889</b>

Para realizar el cálculo del valor presente neto (VNA) y de la tasa interna de retorno (TIR), es necesario restar los valores del flujo de caja neto con el uso del motor, menos el valor del flujo de caja neta con el uso de la red eléctrica. Este resultado se muestra en la tabla 5.20, en donde se visualiza la rentabilidad económica que representa aplicar la tecnología.

Tabla 5.20. Estudio de factibilidad económica con el uso del motor reciprocante.

Fuente: Elaboración propia.

Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
FC NETA (Bs.)	-341.469	220.317	240.960	263.668	288.647	316.123	346.347
VNA	(Bs.) 768.180,45						
TIR	69%						

#### 5.4.2 Generación distribuida aplicada a la industria a través de una microturbina.

Para alimentar eléctricamente la fabrica de hielo por medio de una microturbina, se seleccionó la microturbina marca CAPSTONE, modelo C600, la cual tiene la capacidad de generar 600 KW de potencia y como combustible usa el gas natural. Las especificaciones técnicas se muestran en el anexo H. El costo de inversión por la microturbina es de 700\$/KW, lo que equivale a Bs.1.677.000, el costo de instalación es de Bs.838.500, el de mantenimiento y operación es de 0,016\$/KW, equivalente a Bs. 247,68 (por cada 8000 horas de uso), y el consumo de combustible anual es de Bs. 20.765.

En la tabla 5.21 se muestra los resultados del estudio económico realizado al comercio con el uso de la microturbina CAPSTONE C600; en donde se visualiza el valor de fondo de caja neta anual que producirá el comercio con la aplicación de esta tecnología.

Tabla 5.21. Estudio económico aplicado a la fabrica de hielo ORIENTE C.A con el uso de una microturbina para autogenerar electricidad. Fuente: Elaboración propia.

Concepto.	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ingresos.	5.940.000	6.534.000	7.187.400	7.906.140	8.696.754	9.566.429	10.523.072
Combustible.	20.765	22.842	25.126	27.639	30.403	33.443	36.787
Mtto. y operación.	247,7	272,5	299,7	329,7	363	399	439
Pago del personal	600.000	660.000	726.000	798.600	878.460	966.306	1.062.937
Costo de materia prima.	594.000	653.400	718.740	790.614	869.675	956.643	1.052.307
Depreciación (Inversión/ vida útil del equipo)	167.700	167.700	167.700	167.700	167.700	167.700	167.700
Costos de instalación.	838.500						
Total de egresos.	2.221.212,7	1.504.214	1.637.866	1.784.783	1.946.601	2.124.491	2.320.170

Tabla 5.21. Continuación.

Utilidad Bruta (Ingresos- Total egresos)	3.718.787	5.029.786	5.549.534	6.121.367	6.750.153	7.441.938	8.202.902
I.S.L.R (Utilidad bruta*0,34)	1.264.388	1.710.127	1.886.842	2.081.261	2.295.052	2.530.259	2.788.987
Inversión.	1.677.000						
<b>F.C.N (Bs.)</b>	<b>945.099</b>	<b>3.487.359</b>	<b>3.830.392</b>	<b>4.207.796</b>	<b>4.622.801</b>	<b>5.079.379</b>	<b>5.581.615</b>

Para la realización del cálculo del valor presente neto (VNA) y de la tasa interna de retorno (TIR), se restaron los valores del flujo de caja neta con el uso de la microturbina, menos el valor del flujo de caja neta con el uso de la red eléctrica. Este resultado se muestra en la tabla 5.22, en donde se visualiza la rentabilidad económica que representa aplicar la tecnología.

Tabla 5.22. Estudio de factibilidad económica con el uso de la microturbina C600.

Fuente: Elaboración propia.

Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
FC NETA (Bs.)	-1.992.165	256.369	276.303	298.298	322.353	348.886	378.073
VNA	(Bs.) -596.747,67						
TIR	-2%						

En la tabla 5.23 se muestran los resultados económicos de ambas tecnologías, donde notoriamente se aprecia que la tecnología más factible de

aplicar son los motores recíprocos, ya que los valores con la microturbina son negativos.

Tabla 5.23, Cuadro comparativo entre los resultados económicos del motor GE JENBACHER y la microturbina CAPSTONE. Fuente: Elaboración propia.

Concepto	Motor GE JENBACHER	Microturbina CAPSTONE
VNA	(Bs.) 768.180,45	(Bs.) -596.747,67
TIR	69%	-2%

Es de gran importancia acotar que este estudio económico se realizó, sin el uso de la red eléctrica Nacional. La industria debe considerar realizar un contrato del servicio eléctrico, solo como respaldo y el monto a cancelar será de Bs. 2.430 por los 450 KVA requeridos por el comercio. Este monto resulta de las tarifas tipo T-07 estipulada por CADAFFE, cuyo pago por KVA es de Bs. 5,4.



## **CONCLUSIONES.**

El objetivo principal de esta investigación estuvo orientado hacia el estudio de la factibilidad técnico – económica para la implantación de generación distribuida menores de 5 Mw., y autogeneración hasta 2 Mw. en la zona norte costera del estado Anzoátegui.

En base, a los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se puede concluir que entre las tecnologías disponibles para implementar generación distribuida y autogeneración en los rangos de potencia anteriormente mencionado, las más viables son los motores recíprocos, debido a sus costos, eficiencia técnica y accesibilidad comercial. Las microturbinas, también serían factibles de usar en el aspecto técnico, pero en el económico es menos viable. En el caso de las celdas de combustibles, la solar fotovoltaica y la energía eólica, los costos de implantación son los principales inconvenientes a la hora de seleccionarlas; sin embargo, serían las tecnologías para la implantación de generación distribuida menos contaminantes y con buenos rangos de eficiencia y confiabilidad. Entre otras conclusiones se tienen las siguientes:

1. En este estudio se documentó y argumentaron las distintas fuentes de generación distribuida disponibles en el mercado.
2. Se identificaron los principales tipos de conexión, asociados a la incorporación de la generación distribuida en un sistema eléctrico de distribución.

3. En el caso del sistema eléctrico venezolano el suministro de la energía mediante fuentes convencionales de generación (red eléctrica) es la más conveniente. No obstante de existir limitaciones en el suministro oportuno de energía de estas fuentes y sus sistemas de transmisión asociados, la generación distribuida constituye una opción factible para evitar el racionamiento de carga y la energía no servida.
4. La generación distribuida es una alternativa para la adecuación de las redes de distribución, especialmente en ambientes de alta incertidumbre de la demanda, como lo es la zona estudiada, o cuando el crecimiento de la demanda desborda las capacidades de las empresas eléctricas para hacer frente a las ampliaciones requeridas en el menor tiempo posible.
5. No debe olvidarse que esta generación tiene importantes restricciones operativas debido a la naturaleza propia de los equipos que la componen, así como restricciones de espacio, de almacenajes de combustibles líquidos, ambientales, etc.
6. Los costos de los combustibles primarios en nuestro país y los problemas de capacidad que afrontan nuestras redes son factores que podrían incentivar la proliferación de generación distribuida por parte de grandes consumidores. Si bien, en un inicio representaría un alivio a las grandes solicitudes a las que están sometidas nuestras redes, no menos cierto es que podría devenir en una gran demanda en ventas por parte de los oferentes de generadores de pequeña y mediana escala, afectando la recaudación de las empresas eléctricas.
7. Los bajos precios de la energía eléctrica en Venezuela, son las principales barreras para el desarrollo e implantación de generación

distribuida y autogeneración en la zona norte costera del estado Anzoátegui.

8. Se estima que anualmente los costos de las tecnologías para la generación distribuida disminuyen, lo que la harían más accesibles en un futuro.
9. La implantación de generación distribuida brinda eficiencia y confiabilidad, características vitales para los sectores de la sociedad en donde una interrupción del servicio eléctrico conlleva grandes pérdidas económicas e inclusive de vidas humanas, como lo sería en el caso de un hospital, clínica o ambulatorio. En estos casos, es donde prevalece el aspecto humano y social ante el económico, y en donde se debería estudiar seriamente la posibilidad de implantar generación distribuida.

## RECOMENDACIONES.

1. Desarrollar normas técnicas asociadas al uso de la generación distribuida en el país.
2. Empezar el aprovechamiento de las energías alternativas renovables en Venezuela, como tecnología para la generación distribuida.
3. Se recomienda aplicar la generación distribuida como sistemas de cogeneración (genera electricidad y calor) y trigeneración (genera electricidad, calor y frío).
4. Estudiar los aspectos físicos del área en donde se desea aplicar la generación distribuida, tomando en cuenta el espacio, y que sea una zona de acceso restringido, para evitar accidentes con los usuarios.
5. Implantar la generación distribuida, como una ayuda para bajar los niveles de demanda del servicio eléctrico actual.
6. En caso de implantar la generación distribuida interconectada a la red eléctrica nacional, se recomienda tomar todas las medidas necesarias para garantizar que la generación distribuida a instalar realmente se convierta en una solución y no en un problema adicional del sistema eléctrico. Para ello conviene realizar, además de los análisis de afectación socio-ambiental para su ubicación, los estudios técnicos que permitan identificar los mecanismos de integración requeridos para garantizar su disponibilidad:

- ✧ Mejor punto de ubicación en la red primaria.
- ✧ Esquema de operación recomendado.
- ✧ Esquema de protección a implementar.
- ✧ Adecuaciones requeridas en el sistema primario y de subtransmisión.
- ✧ Tamaño máximo y rampa de carga/descarga.
- ✧ Sistema de abastecimiento y almacenaje de combustible.
- ✧ Seguridad de las instalaciones.
- ✧ Gestión de Operación y Mantenimiento.

## BIBLIOGRAFÍA.

1. Salazar, J. **Diseño conceptual de un parque eólico de generación eléctrica. Caso Península de Macanao. Estado Nueva Esparta.** Trabajo de grado presentado en la Universidad de Oriente. Venezuela. (2008).
2. Facendo, A. **Caracterización del comportamiento eléctrico de una planta de celda de combustible como fuente de generación de electricidad.** Trabajo de grado presentado en la Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional. Venezuela. (2007).
3. Salazar, F. **Estudio de factibilidad para la instalación de planta de generación eólica en la zona de Chacopata, Península de Araya, Estado Sucre.** Trabajo de grado presentado en la Universidad de Oriente. Venezuela. (2006).
4. Acuña, R. **Generación Distribuida: Concepto y Aplicaciones.** Trabajo de grado presentado en la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre. Venezuela. (2009).
5. Acosta. M. **Generación Distribuida Lo Complejo de lo Sencillo.** Caracas, Venezuela. (2007).

6. Miliarium Aureum,S.L. [Página web en línea] . Disponible en : [http : // www.miliarium.com/monografias/energía/eficiencia\\_energética\\_renovables/cogeneración.htm](http://www.miliarium.com/monografias/energía/eficiencia_energética_renovables/cogeneración.htm). (2004).
7. Promigas,S.A. [Página web en línea]. Disponible en: <http://www.promigas.com/web/images/microt.Pdf>. (2001)
8. Gonzáles F. **Microturbinas**. Disponible en: [http:// www.fglongatt.org.ve /Archivos/Archivos/SistGD/PPTtema2.3.McicroTurbinas.pdf](http://www.fglongatt.org.ve/Archivos/Archivos/SistGD/PPTtema2.3.McicroTurbinas.pdf). (2008)
9. Slideshare. Inc. [Página Web en línea]. Disponible en: [http://www.slideshare.net/linkin\\_po/motores-de-combustion-interna-presentation](http://www.slideshare.net/linkin_po/motores-de-combustion-interna-presentation). (2009).
10. Posso, F. **Estudio del desarrollo de las energías alternativas en Venezuela**. Anales de la Universidad Metropolitana. San Cristóbal, Venezuela. (2004).
11. Formaselect. [Página web en línea]. Disponible en: <http://forselect.com/areastematicas/energiasrenovables/energiasolar.htm>. (2006).
12. Scott B. **Enciclopedia Of Energy**. Editorial Global Media. Primera Edición. (2007).
13. Striatum Energy. [Página web en línea]. Disponible en: <http://www.gstriatum.com/energiasolar/>.(2009).


14. Hispanista. [Página web en línea]. Disponible en: <http://www.galeon.com/energiasolar/#-recocogida-directa>. (2008).
15. León, R. Ybarra, F. y Hernández, J. **Autogeneración de energía eléctrica una alternativa para disminuir los gastos por consumo en los horarios puntas**. Revista impulso [Revista en línea]. Disponible en: <http://www.itso.mx/revistaimpulsovol1p3/files/articulos/v1art12.pdf>. (2005).
16. D. Little, "Distributed generation: systems interface," Whit paper, Acorn Park, MA, 1999, Disponible en: [www.eere.energy.gov/de/pdfs/distributed\\_generationinterfaces.pdf](http://www.eere.energy.gov/de/pdfs/distributed_generationinterfaces.pdf). (2007).
17. Ley Orgánica del Servicio Eléctrico. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 5568 (Extraordinaria), 31-12-01. (2001).
18. Centro Nacional de Gestión del Sistema Eléctrico. Informe Anual 2008. Caracas, Venezuela. (2008).
19. Little A. **Ventajas del gas en la Generación Distribuida de Energía**. Club Español de la Industria, Tecnología y Minería, Madrid. (2002).
20. González F. **Máquinas Térmicas**. Disponible en: <http://www.fglongatt.org.ve/Archivos/Archivos/SistGD/PPT-Tema2.1.MaqTerm.pdf>. (2008).
21. Sepúlveda. M. **Energía Eólica En Venezuela**. V Seminario de Ecoeficiencia, Producción Limpia y Consumo Sustentable. Venezuela. (2009).




22. Morthorst, P. **Wind Energy- The Facts. Cost & Prices.** Volumen 2. Estados Unidos. (2002).
23. American Wind Energy Association. **The Economics Of The Wind Energy.** [Página web en línea]. Disponible en: <http://www.awea.org/pubs/factsheets/Cost2001.PDF>. (2001).
24. González F. **Energía Solar.** Disponible en: <http://www.fglongatt.org.ve/Archivos/Archivos/SistGD/PPTTema2.5.FotoV.pdf>. (2008).
25. EG&G Services Parsons Inc. **Fuel Cell Handbook.** Quinta Edición. Disponible en: <http://www.fuelcells.org/info/library/fchandbook.pdf>. (2005).
26. Anthony Tarquin, Leland Blank. Ingeniería Económica. Editorial: Mc Graw-Hill. Primera Edición. México. (1978).

# ANEXOS

## ANEXO A: FACTURA DEL SERVICIO ELÉCTRICO CONSUMIDO POR EL CONDOMINIO CONJUNTO RESIDENCIAL SUN WAY VILLAGE.



**CORPOELEC**  
CORPORACIÓN ELÉCTRICA NACIONAL  
RIF: J-29506233



**CADAFE**  
RIF: J-00004366-3

Control N°: 00-27162836  
No. Factura: F30247086  
Fecha de Emisión: 11/05/2009  
Titular del Contrato: PETTI P GRACIELA  
C.I./N.I.T. V11232688  
R.I.F. J313448249  
OFICINA: 1203 EL MORRO

NIT.: 0063990701 Edificio Centro Eléctrico Nacional, Av.Lic. Sanz, Urb. El Marques, Municipio Sucre, Edo. Miranda.  
**FACTURA**  
SL-EN002-4419  
1203-0006-0001-001540  
13-3510-131-3717

EL MORRO I. AV. ANZOATEGUI Edificio RES SUN WAY VILLAGE S/N Piso/Apto. 1 SG Parr. LECHERIAS Mun. TURIST DIEGO BAUTISTA URBANEJA Edo. ANZOATEGUI. Acceso:

**Número Identificador de Contrato (NIC)**  
**1043289**  
Indique este número cuando se comuniquen con nosotros

Electricidad			
Saldo Anterior	Bs.F.		
Convenio de Pago	Bs.F.	0,00	
Total Electricidad Mes	Bs.F.	401,98	
<b>Total Deuda Electricidad</b>	<b>Bs.F.</b>	<b>401,98</b>	

Aseo			
Saldo Anterior	Bs.F.	0,00	
Cargo Actual	Bs.F.	0,00	
<b>Total Aseo</b>	<b>Bs.F.</b>	<b>0,00</b>	

Datos del Servicio Eléctrico			
Código Tarifa:	R03		
Tarifa:	Residencial Alto Consumo		
Demanda kVA (Asig. Cont.):	0		
Demanda kVA Leída:			
Demanda kVA Facturada:	0		
Días Facturados:	33		
Periodo Facturado:	09/04/2009 al 11/05/2009		

Datos del Contador					
No.	Hor.	Lect. Act	Lect. Ant	Mult.	Cantidad
000285039		82597	79402	1	3195 kWh

Detalle del Servicio Eléctrico			
Cargo por Consumo de Energía	2.904,55kWh(**)		
Con derecho a 500 kWh en 30 días		Bs.	51,33
Resto 2.404,550 kWh(*) x 0,138477 Bs		Bs.	332,98
Sub Total		Bs.	384,31
Cargo por Ajuste de Combustible CACE (**)	(Marzo 2009)	Bs.	17,67

<b>Total Factura Mes</b>	<b>Bs.F. 401,98</b>
--------------------------	---------------------

**Estimado Usuario:**  
Esta factura puede ser cancelada en las Agencias BANESCO

Historial de Consumo	
Mes	Año
Mayo	2009
Abril	2009
Marzo	2009
Febrero	2009
Enero	2009
Diciembre	2008

(\*) Consumo Equivalente kWh = Consumo (kWh) x 30 / Días facturados  
(\*\*) Cargo por Ajuste de Consumo y Energía  
El Precio utilizado en el cálculo de su consumo= Precio Gaceta vigente X FAP / 30 X Días facturados


Favor emitir cheque a nombre de CADAFE

IMPRESO POR SOLUCIONES LASER, CALLE PASCUAL GIORGIO, LOS RUCES, EDIF. PRINCIPAL II, MEZZANINA 1B Y 2B, CARACAS- VENEZUELA. RIF: J-003629162 NIT: 0042411930. Nº DE PROVISIÓN: SENIAT 0100715 DE FECHA: 10-04-2008  
Control Nº Desde 00-28000001 Hasta 00-28500000 Impreso el 09-05-2009

**Consumo Promedio kWh/mes: 2.971**

**Fecha Vencimiento**  
**26/05/2009**

**Total Factura Mes**  
**Bs.F. 401,98**



## ANEXO B: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR CUMMINS, MODELO DFCC.

### Grupo electrógeno diesel Motor serie NTA855



> Specification sheet  
275 kW - 400 kW standby

Our energy working for you.™



#### Descripción

Los grupos electrógenos comerciales de Cummins Power Generation son sistemas de generación plenamente integrados que brindan un desempeño, fiabilidad y versatilidad óptimos en aplicaciones de suministro de energía principal y aplicaciones fijas de suspensión de energía.

Este grupo electrógeno se ha diseñado en instalaciones certificadas según ISO 9001 y se ha fabricado en instalaciones certificadas según ISO 9001 o ISO 9002.

El programa de apoyo a los ensayos de prototipos (Prototype Test Support, PTS) verifica la totalidad del desempeño del diseño del grupo electrógeno. Los productos de Cummins Power Generation que lleven el símbolo PTS cumplen con los requisitos de ensayo de prototipos de la norma NFPA 110 para los sistemas de nivel 1.

Todos los modelos de bajo voltaje han sido certificados por CSA dentro de la categoría 4215-01.

El grupo electrógeno está disponible según la UL 2200, Grupos electrógenos estacionarios. El control PowerCommand está disponible según la UL 508; Categoría NITW7 para uso en los EE. UU. y Canadá.

#### Características

**Motor de servicio pesado Cummins®:** diesel industrial de 4 tiempos ofrece una potencia fiable, emite pocas emisiones y responde rápidamente a los cambios de carga.

**Alternador:** varios tamaños de alternador que ofrecen la posibilidad de seleccionar distintos arranques de motor con bobinados de baja reactancia de 2/3 de paso, baja distorsión de la forma de onda con cargas no lineales y capacidad de diagnóstico de cortocircuito.

**Generador de imán permanente (Permanent magnet generator, PMG):** mejora el arranque del motor y la capacidad de diagnóstico de cortocircuito.

**Sistema de control:** el control electrónico PowerCommand® viene de serie y está integrado totalmente en el sistema del grupo electrógeno, que incluye arranque/parada automática en remoto, regulación precisa de frecuencia y voltaje, pantalla de mensajes de estado y de alarma, protección AmpSentry™, medición de la salida, parada automática al detectar avería, y cumple con la normativa NFPA 110 nivel 1.

**Sistema de refrigeración:** el equipo de refrigeración estándar funciona de modo fiable, a potencia nominal, hasta 50 °C (122 °F) de temperatura ambiente.

**Gabinetes:** existen gabinetes de protección opcionales contra el clima y para atenuar el sonido.

**Depósitos de combustible:** depósitos de doble pared bajo la base también están disponibles.

**NFPA:** el grupo electrógeno funciona a plena carga nominal en una sola etapa de acuerdo con la norma NFPA 110 para los sistemas de nivel 1.

**Garantía y mantenimiento:** amparado por una garantía total y una red de distribuidores a escala mundial.

Modelo	Clasificación de suspensión		Clasificación principal		Clasificación continua		Fichas técnicas	
	60 Hz kW (kVA)	50 Hz kW (kVA)	60 Hz kW (kVA)	50 Hz kW (kVA)	60 Hz kW (kVA)	50 Hz kW (kVA)	60 Hz	50 Hz
DFCB	300 (375)	275 (344)	270 (338)	250 (313)			D-3393	D-3396
DFCC	350 (438)	310 (388)	315 (394)	282 (353)			D-3394	D-3397
DFCE	400 (500)						D-3395	

©2015 Cummins Power Generation Inc. Todos los derechos reservados. Cummins Power Generation y Cummins son marcas registradas de Cummins Inc. PowerCommand, AmpSentry, iPower y "Nuestra energía a su servicio." son marcas registradas de Cummins Power Generation. Los nombres de otras empresas, productos o servicios pueden ser marcas registradas o marcas de servicio de terceros. Especificaciones sujetas a cambio sin previo aviso.  
S-1521a (0/09)

## Especificaciones del grupo electrógeno

Clase de regulación del regulador	ISO 8528 Parte 1 Categoría G3
Regulación de voltaje, carga en vacío a plena carga	± 0,5%
Variación aleatoria de voltaje	± 0,5%
Regulación de frecuencia	Isócrono
Variación aleatoria de frecuencia	± 0,25%
Cumplimiento de las emisiones de radiofrecuencias	IEC 801.2 hasta IEC 801.5; MIL STD 461C, Parte 9, Emisiones radiadas (EM)

## Especificaciones del motor

Diámetro	139,7 mm (5,50 pulg.)
Carrera	152,4 mm (6,00 pulg.)
Cilindrada	14,0 l (855,0 pulg. <sup>3</sup> )
Configuración	Fundición de hierro con camisas húmedas sustituibles, 6 cilindros en línea
Capacidad de la batería	565 amperios como mínimo a una temperatura ambiente de 0 °C (32 °F)
Alternador de carga de la batería	55 A
Voltaje de arranque	24 V, tierra negativa
Circuito de combustible	Inyección directa, combustible diesel número 2, filtro de combustible, corte eléctrico automático de combustible
Filtro de combustible	
Tipo filtro de aire	
Tipo(s) filtro de aceite de lubricación	Filtros mixtos de derivación y de caudal total, enroscable simple
Sistema de refrigeración estándar	Radiador de ambiente de 50 °C (122 °F)

## Especificaciones del alternador

Diseño	Sin escobillas, 4 polos, motor abrigado
Estator	Pase 2/3
Rotor	Rodamiento único, discos flexibles
Sistema de aislamiento	Clase H
Subida normal de temperatura	125 °C en suspensión, 105 °C principal
Tipo de excitación	Generador de imán permanente (PMG, Permanent Magnet Generator)
Rotación de fase	A (U), B (V), C (W)
Refrigeración del alternador	Ventilador centrífugo de transmisión directa
Distorsión armónica total de la forma de onda de CA	< 5% en vacío a carga lineal total, < 3% para cualquier armónico simple
Factor de influencia telefónica (Telephone influence factor, TIF)	< 90 según NEMA MG1-22.43
Factor armónico telefónico (Telephone harmonic factor, THF)	< 3

## Voltajes disponibles

60 Hz 3-fases			50 Hz 3-fases		
Reconectable	No reconectable		Reconectable		
• 110/190	• 115/200	• 120/208	• 277/480	• 110/220	• 115/200
• 120/240	• 127/220	• 139/240	• 347/600	• 120/208	• 127/220
• 220/380	• 240/415	• 254/440		• 230/400	• 240/415
• 277/480				• 254/440	

\* Nota: Puede que no existan algunos voltajes en todos los modelos; consultar a fábrica para ver si existen.

## Opciones y accesorios del grupo electrógeno

<b>Motor</b> <input type="checkbox"/> Calentador del refrigerante de 208/240/480 V con control termostático para temperatura ambiente superior a 4,5 °C (40 °F) <input type="checkbox"/> Calentador del refrigerante de 208/240/480 V con control termostático para temperatura ambiente inferior a 4,5 °C (40 °F) <input type="checkbox"/> Separador agua/combustible <input type="checkbox"/> Temperatura de aceite del motor <b>Sistema de combustible</b> <input type="checkbox"/> Depósito bajo la base de 583 L (154 gal) <input type="checkbox"/> Depósito bajo la base de 1065 L (280 gal) <input type="checkbox"/> Depósito bajo la base de 1190 L (300 gal)	<input type="checkbox"/> Depósito bajo la base de 1514 L (400 gal) <input type="checkbox"/> Depósito bajo la base de 1893 L (500 gal) <input type="checkbox"/> Depósito bajo la base de 2271 L (600 gal) <input type="checkbox"/> Depósito bajo la base de 2498 L (660 gal) <input type="checkbox"/> Depósito bajo la base de 2725 L (720 gal) <input type="checkbox"/> Depósito bajo la base de 5695 L (1470 gal) <input type="checkbox"/> Depósito desgasificador integrado en las gúlas de 109 L (27 gal) <b>Alternador</b> <input type="checkbox"/> Subida 80 °C <input type="checkbox"/> Subida 105 °C <input type="checkbox"/> Calentador anti-condensación 120/240 V 300 W <b>Sistema de refrigeración</b> <input type="checkbox"/> Intercambiador de calor <input type="checkbox"/> Radiador remoto	<b>Sistema de escape</b> <input type="checkbox"/> Silenciador de escape de categoría crítica <input type="checkbox"/> Silenciador de escape de categoría Industrial <input type="checkbox"/> Silenciador de escape de categoría residencial <input type="checkbox"/> Equipos de escape <b>Grupo electrógeno</b> <input type="checkbox"/> Caja de entrada de CA <input type="checkbox"/> Batería <input type="checkbox"/> Cargador de batería <input type="checkbox"/> Enclosure: aluminio, acero, protección contra el clima o atenuadora del sonido <input type="checkbox"/> Embalaje de exportación <input type="checkbox"/> Almohadillas aislantes	<input type="checkbox"/> Interruptor automático del circuito principal <input type="checkbox"/> Control de potencia (S100) Control digital paralelo <input type="checkbox"/> Red del control de potencia <input type="checkbox"/> Panel anunciador remoto <input type="checkbox"/> Aisladores sísmicos <input type="checkbox"/> Según UL 2200 <input type="checkbox"/> Garantía de 2 años de la potencia principal <input type="checkbox"/> Garantía de 2 años de la potencia de suspensión <input type="checkbox"/> Garantía de 5 años de la potencia básica
---	--	--	---

\* Nota: Puede que no existan algunas opciones en todos los modelos; consultar a fábrica para ver si existen.

## Nuestra energía trabajando para ti.™

[www.cumminspower.com](http://www.cumminspower.com)

©2008 Cummins Power Generation Inc. Todos los derechos reservados. Cummins Power Generation y Cummins son marcas registradas de Cummins Inc. PowerCommand, AmpSentry, InPower y "Nuestra energía a su servicio." son marcas registradas de Cummins Power Generation. Los nombres de otras empresas, productos o servicios pueden ser marcas registradas o marcas de servicio de terceros. Especificaciones sujetas a cambio sin previo aviso. S-1561a (3/08)



## Definiciones de características

### Potencia auxiliar de emergencia (ESP):

Aplicable para suministrar energía a cargas eléctricas variables durante el tiempo que dure el corte de energía de una instalación fiable. La potencia auxiliar de emergencia (ESP) cumple con la ISO 8528. Potencia de parada de combustible de acuerdo con ISO 3046, AS 2789, DIN 6271 y BS 5514.

### Potencia de funcionamiento en tiempo limitado (LTP):

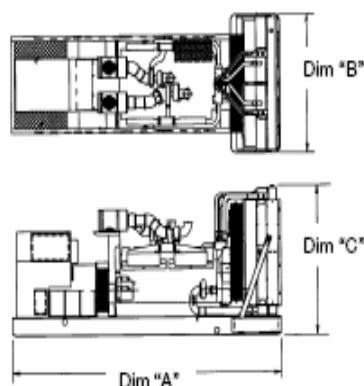
Aplicable para suministrar energía a una carga eléctrica constante durante unas horas limitadas. La potencia de funcionamiento en tiempo limitado (LTP) cumple con la norma ISO 8528.

### Potencia principal (PRP):

Aplicable para suministrar energía a cargas eléctricas variables sin límite de horas. La potencia principal (PRP) cumple con la ISO 8528. Tiene la capacidad de aguantar un diez por ciento de sobrecarga de acuerdo con ISO 3046, AS 2789, DIN 6271 y BS 5514.

### Potencia de la carga básica (continua) (COP):

Aplicable para suministrar energía continuamente a una carga eléctrica constante sin límite de horas. La potencia continua (COP) cumple con las normas ISO 8528, ISO 3046, AS 2789, DIN 6271 y BS 5514.



Este diagrama es sólo a título indicativo. Consulte las fichas técnicas del modelo respectivo si desea saber el número de diagrama del modelo específico.

***No lo use para diseñar la instalación***

Modelo	Dim "A" mm (pulg.)	Dim "B" mm (pulg.)	Dim "C" mm (pulg.)	Peso del grupo* seco kg (lbs)	Peso del grupo* húmedo kg (lbs)
DFCB	3.607 (142,0)	1.270 (50,0)	1.615 (63,6)	3.289 (7.250)	3.393 (7.480)
DFCC	3.607 (142,0)	1.270 (50,0)	1.615 (63,6)	3.289 (7.250)	3.393 (7.480)
DFCE	3.607 (142,0)	1.270 (50,0)	1.615 (63,6)	3.289 (7.250)	3.393 (7.480)

\* Nota: Los pesos corresponden a un grupo con características de serie. Consulte los diagramas para saber los pesos de otras configuraciones.

Modelo: DFCC  
 Frecuencia: 60  
 Tipo de combustible: Diésel  
 Capacidad nominal en KW: 350 en espera  
 315 principal

► Hoja de datos del generador



Nuestra energía trabajando para ti.™

Hoja de datos de emisiones de escape:	EDS-114
Hoja de cumplimiento de emisiones de escape:	
Hoja de datos de rendimiento de sonido:	MSP-118
Hoja de datos de rendimiento de refrigeración:	MCP-132
Hoja de datos del resumen de pruebas prototipo:	PTS-108
Descripción de refrigeración por radiador montado en el generador estándar:	0500-3014
Descripción de refrigeración por radiador montado en el generador opcional:	
Descripción de refrigeración por intercambiador de calor opcional:	
Descripción de refrigeración por radiador remoto opcional:	

Consumo de combustible	En espera				Principal				Continua
	kW (kVA)				kW (kVA)				kW (kVA)
Capacidades nominales	390 (498)				315 (394)				
Carga	1/4	1/2	3/4	Completa	1/4	1/2	3/4	Completa	
gph estadounidense	8,0	13,4	19,0	24,4	7,6	12,5	17,3	22,4	
l/h	30	51	72	92	29	47	65	85	

Motor	Capacidad nominal en espera	Capacidad nominal principal	Capacidad nominal continua
Fabricante del motor	Cummins Inc.		
Modelo del motor	NTA855-G3		
Configuración	Fundición de hierro con camisas húmedas sustituibles, 6 cilindros en línea		
Aspiración	Turboalimentado y posrefrigerado		
Salida de potencia bruta del motor, kWm (bhp)	399,1 (535,0)	358,1 (480,0)	
BMEP a la carga nominal establecida, kPa (psi)	1.840,9 (267,0)	1.661,6 (241,0)	
Cilindros, mm (pulg.)	139,7 (5,50)		
Carrera, mm (pulg.)	152,4 (6,0)		
Velocidad nominal, rpm	1.800		
Velocidad del pistón, m/s (pies/min.)	9,1 (1.900,0)		
Relación de compresión	14,0:1		
Capacidad de aceite lubricante, l (qt)	37,9 (40,0)		
Límite de sobrevelocidad, rpm	2.100 ±50		
Potencia regenerativa, kW	44,00		


Flujo de combustible	
Flujo de combustible a la carga nominal, l/h (gph estadounidense)	405,0 (107,0)
Restricción máxima en la entrada, mm Hg (pulg. Hg)	101,6 (4,0)
Restricción máxima de retorno, mm Hg (pulg. Hg)	152,4 (6,0)

## ANEXO C: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MICROTURBINA CAPSTONE, MODELO C200.

### C200 MicroTurbine High-pressure Natural Gas

World's largest air-bearing microturbine produces 200kW of clean, green and reliable power.

- Ultra-low emissions
- One moving part: Minimal maintenance and downtime
- Patented air bearing: No lubricating oil or coolant
- 5 and 9 year Factory Protection Plans available
- Remote monitoring and diagnostic capabilities
- Integrated utility synchronization and protection
- Small, modular design allows for easy, low-cost installation
- Proven technology with tens of millions of run hours and counting
- Internal fuel gas compressor available for low fuel pressure Natural Gas applications

**C200 MicroTurbine**

#### Electrical Performance<sup>(1)</sup>

Electrical Power Output	200 kW
Voltage	400 to 480 VAC
Electrical Service	3-Phase, 4 wire
Frequency	50/60 Hz, grid connect operation 10-60 Hz, stand alone operation
Maximum Output Current	290A RMS @ 400V, grid connect operation 240A RMS @ 480V, grid connect operation 310A RMS, stand alone operation <sup>(2)</sup>
Electrical Efficiency LHV	33%

#### Fuel/Engine Characteristics<sup>(1)</sup>

Natural Gas HHV	30.7 to 47.5 MJ/m <sup>3</sup> (825 to 1,275 BTU/scf)
Inlet Pressure <sup>(2)</sup>	517-552 kPa gauge (75-80 psig)
Fuel Flow HHV	2,400 MJ/hr (2,280,000 BTU/hr)
Net Heat Rate LHV	10.9 MJ/kWh (10,300 BTU/kWh)

Exhaust Characteristics <sup>(1)</sup>	Standard	2008 CARB Certified
NO <sub>x</sub> Emissions @ 15% O <sub>2</sub> <sup>(6)</sup>	9 ppmvd (18 mg/m <sup>3</sup> )	4 ppmvd (8 mg/m <sup>3</sup> )
NO <sub>x</sub> /Electrical Output <sup>(8)</sup>	0.14 g/bhp-hr (0.4 lb/MWhe)	0.05 g/bhp-hr (0.14 lb/MWhe)
Exhaust Gas Flow	1.3 kg/s (2.9 lbm/s)	1.3 kg/s (2.9 lbm/s)
Exhaust Gas Temperature	280°C (535°F)	280°C (535°F)
Exhaust Energy	1,420 MJ/hr (1,350,000 BTU/hr)	1,420 MJ/hr (1,350,000 BTU/hr)

### Dimensions & Weight<sup>(1)</sup>

Width x Depth x Height <sup>(2)</sup>	1.7 x 3.7 x 2.5 m (67 x 144 x 98 in)
Weight – Grid Connect Model	2775 kg (6,120 lb)
Weight – Dual Mode Model	3413 kg (7,525 lb)

### Minimum Clearance Requirements<sup>(7)</sup>

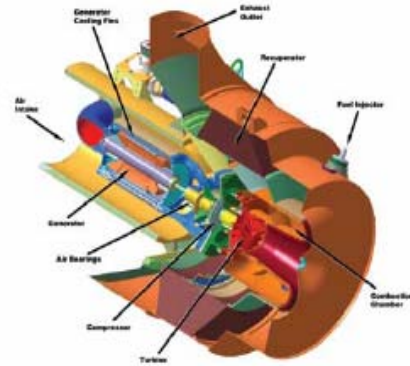
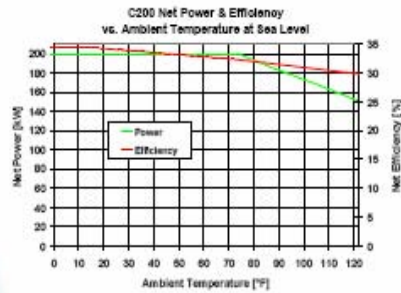
Vertical Clearance	0.6 m (24 in)
Horizontal Clearance	
Left & Right	1.1 m (42 in)
Front	1.1 m (42 in)
Rear	1.8 m (70 in)

### Sound Levels

Acoustic Emissions at Full Load Power	
Nominal at 10 m (33 ft)	65 dBA

### Planned Certifications

- UL 2200 and UL 1741 to be listed for natural gas operations under existing UL files<sup>(8)</sup>
- Will comply with IEEE 1547 and will meet statewide utility interconnection requirements for California Rule 21 and the New York State Public Service Commission
- Models will be available with optional equipment for CE marking



- (1) Nominal full power performance at ISO conditions: 59°F, 14.696 psia, 69% RH  
 (2) With linear load  
 (3) Inlet pressure for standard natural gas at 29.4 MPa (1,000 BTU/scf @11mcf)  
 (4) Orificers for standard natural gas at 35.4 MPa (1,000 BTU/scf @11mcf)  
 (5) Approximate dimensions and weight  
 (6) Height dimensions are to the roof line. Exhaust outlet extends at least 8 inches above the roof line  
 (7) Clearance requirements may increase due to local code considerations  
 (8) All models are planned to be UL Listed or available with optional equipment for CE marking. Specifications are not warranted and are subject to change without notice.



21211 Nordhoff Street • Chatsworth • CA • 91311 • 877.716.2929 • 818.407.3770 • www.capstoneturbine.com

©2008 Capstone Turbine Corporation. 10/08 Capstone P/N 3310428



## ANEXO D: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MICROTURBINA CAPSTONE, MODELO C65.

### C65 & C65-ICHP MicroTurbine Natural Gas

Achieve ultra-low emissions and reliable electrical/thermal generation from natural gas.

- Ultra-low emissions
- One moving part: Minimal maintenance and downtime
- Patented air bearing: No lubricating oil or coolant
- 5 and 9 year Factory Protection Plans available
- Remote monitoring and diagnostic capabilities
- Integrated utility synchronization and protection
- Small, modular design allows for easy, low-cost installation
- Reliable: Tens of millions of run hours and counting



#### Electrical Performance<sup>(1)</sup>

Electrical Power Output	65 kW
Voltage	400 to 480 VAC
Electrical Service	3-Phase, 4 wire
Frequency	50/60 Hz, grid connect operation 10-60 Hz, stand alone operation
Maximum Output Current	100A, grid connect operation 127A, stand alone operation <sup>(2)</sup>
Electrical Efficiency LHV	29%



C65 MicroTurbine

#### Fuel/Engine Characteristics<sup>(1)</sup>

Natural Gas HHV	30.7 MJ/m <sup>3</sup> to 47.5 MJ/m <sup>3</sup> (825 to 1,275 BTU/scf)
Inlet Pressure <sup>(2)</sup>	517-552 kPa gauge (75-80 psig)
Fuel Flow HHV	888 MJ/hr (842,000 BTU/hr)
Net Heat Rate LHV	12.4 MJ/kWh (11,800 BTU/kWh)



C65-ICHP MicroTurbine

#### Exhaust Characteristics<sup>(1)</sup>

NO <sub>x</sub> Emissions at 15% O <sub>2</sub> <sup>(3)</sup>	9 ppmvd (19 mg/m <sup>3</sup> )
NO <sub>x</sub> / Electrical Output <sup>(4)</sup>	0.16 g/bhp-hr (0.46 lb/MWhe)
Exhaust Gas Flow	0.49 kg/s (1.08 lbm/s)
Exhaust Gas Temperature	309°C (588°F)

### C65-ICHP Heat Recovery<sup>(2)</sup>

Integrated Heat Recovery Module Type	Copper Core	Stainless Steel Core
Hot Water Heat Recovery	120 kW (408,000 BTU/hr)	74 kW (251,000 BTU/hr)
Total System Efficiency LHV	82%	62%

### Dimensions & Weight<sup>(6)</sup>

	C65	C65-ICHP
Width x Depth <sup>(7)</sup> x Height <sup>(8)</sup>	0.76 x 2.0 x 2.1 m (30 x 77 x 83 in)	0.76 x 2.2 x 2.4 m (30 x 87 x 94 in)
Weight - Grid Connect Model	758 kg (1,671 lb)	1000 kg (2,200 lb)
Weight - Dual Mode Model	1121 kg (2,471 lb)	1364 kg (3,000 lb)

### Minimum Clearance Requirements<sup>(9)</sup>

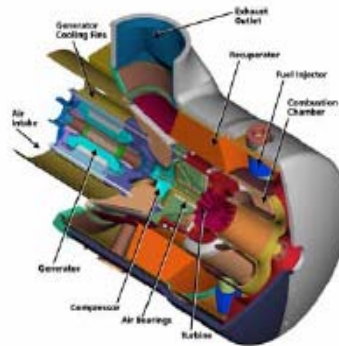
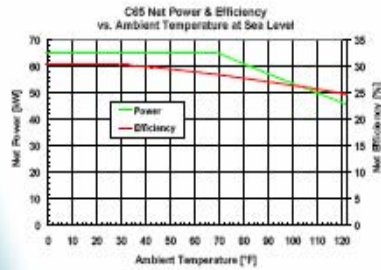
	C65	C65-ICHP
Vertical Clearance	0.61 m (24 in)	0.61 m (24 in)
Horizontal Clearance		
Left & Right	0.76 m (30 in)	0.76 m (30 in)
Front <sup>(10)</sup>	1.7 m (65 in)	1.7 m (65 in)
Rear	0.91 m (36 in)	0.76 m (30 in)

### Sound Levels

	C65	C65-ICHP
Acoustic Emissions at Full Load Power <sup>(11)</sup>		
Nominal at 10 m (33 ft)	70 dBA	65 dBA

### Certifications

- Certified to UL 2200 and UL 1741 for natural gas operation (UL files AU2687, E209370)
- Complies with IEEE 1547 and meets statewide utility Interconnection requirements for California Rule 21 and the New York State Public Service Commission
- Materials Equipment Acceptance (MEA) approval for New York City
- Models available with optional equipment for CE Marking



- (1) Nominal full power performance at ISO conditions: 59°F, 14.696 psia, 60% RH  
 (2) With linear load  
 (3) Inlet pressure for standard natural gas at 29.4 MWh/m<sup>3</sup> (1,000 Btu/cu ft) (11.9 psia)  
 (4) Exhaust emissions for standard natural gas at 29.4 MWh/m<sup>3</sup> (1,000 Btu/cu ft) (11.9 psia)  
 (5) Heat recovery for water inlet temperature of 38°C (100°F) and flow rate of 2.5 lb (1.1 kg) GPM  
 (6) Approximate dimensions and weights  
 (7) Depth includes 10 inch extension for the heat recovery module rain hood on ICHP versions  
 (8) Height dimensions are to the roof line, Exhaust outlet extends at least 7 inches above the roof line  
 (9) Clearance requirements may increase due to local code considerations  
 (10) Dual Mode MicroTurbine configuration for Battery Removal clearance  
 (11) The optional acoustic inlet hood kit can reduce acoustic emissions at the front of the MicroTurbine by up to 5 dBA  
 Specifications are not warranted and are subject to change without notice.



21211 Nordhoff Street • Chatsworth • CA • 91311 • 877.716.2929 • 818.407.3770 • www.capstoneturbine.com

©2008 Capstone Turbine Corporation. 10/08 Capstone PN 3310358

# ANEXO E: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR CUMMINS, MODELO DGFA.

## Grupo electrógeno diesel Motor serie 6CTA8.3



> **Specification sheet**  
140 kW – 175 kW standby

Our energy working for you.™



### Descripción

Los grupos electrógenos comerciales de Cummins Power Generation son sistemas de generación plenamente integrados que brindan un desempeño, fiabilidad y versatilidad óptimos en aplicaciones de suministro de energía principal y aplicaciones fijas de suspensión de energía.

Este grupo electrógeno se ha diseñado en instalaciones certificadas según ISO 9001 y se ha fabricado en instalaciones certificadas según ISO 9001 o ISO 9002.



El programa de apoyo a los ensayos de prototipos (Prototype Test Support, PTS) verifica la totalidad del desempeño del diseño del grupo electrógeno. Los productos de Cummins Power Generation que lleven el símbolo PTS cumplen con los requisitos de ensayo de prototipos de la norma NFPA 110 para los sistemas de nivel 1.



Todos los modelos de bajo voltaje han sido certificados por CSA dentro de la categoría 4215-01.



El grupo electrógeno está disponible según la UL 2200, Grupos electrógenos estacionarios.



**EE. UU. EPA** El motor cumple con las antiguas normas EPA de los EE. UU. sobre emisiones generadas por motores varios, 40 CFR 89, categoría 1.

### Características

**Motor de servicio pesado Cummins®:** diesel industrial de 4 tiempos ofrece una potencia fiable, emite pocas emisiones y responde rápidamente a los cambios de carga.

**Alternador:** varios tamaños de alternador que ofrecen la posibilidad de seleccionar distintos arranques de motor con bobinados de baja reactancia de 2/3 de paso, baja distorsión de la forma de onda con cargas no lineales y capacidad de diagnóstico de cortocircuito.

**Sistema de control:** el control electrónico PowerCommand™ viene de serie y está integrado totalmente en el sistema del grupo electrógeno, que incluye arranque/parada automática en remoto, regulación precisa de frecuencia y voltaje, pantalla de mensajes de estado y de alarma, protección AmpSentry™, medición de la salida, parada automática al detectar avería, y cumple con la normativa NFPA 110 nivel 1.

**Sistema de refrigeración:** el sistema de radiador integral de serie montado en el grupo, diseñado y comprobado para funcionar a temperatura ambiente, simplifica los requisitos de diseño de la instalación en cuanto al calor desprendido.

**Gabinetes:** existen gabinetes de protección opcionales contra el clima y para atenuar el sonido.

**Depósitos de combustible:** también se ofrecen depósitos de doble pared bajo la base y depósitos de deaerificación integrados en las guías.

**NFPA:** el grupo electrógeno funciona a plena carga nominal en una sola etapa de acuerdo con la norma NFPA 110 para los sistemas de nivel 1.

**Garantía y mantenimiento:** amparado por una garantía total y una red de distribuidores a escala mundial.

Modelo	Clasificación de suspensión		Clasificación principal		Clasificación continua		Fichas técnicas	
	60 Hz kW (kVA)	50 Hz kW (kVA)	60 Hz kW (kVA)	50 Hz kW (kVA)	60 Hz kW (kVA)	50 Hz kW (kVA)	60 Hz	50 Hz
DGFA	150 (188)	140 (175)	135 (169)	125 (156)			D-3431	D-3433
DGFB	175 (219)	150 (188)	160 (200)	135 (169)			D-3432	D-3434

©2005 Cummins Power Generation Inc. Todos los derechos reservados. Cummins Power Generation y Cummins son marcas registradas de Cummins Inc. PowerCommand, AmpSentry, iPower y "Nuestra energía a su servicio." son marcas registradas de Cummins Power Generation. Los nombres de otras empresas, productos o servicios pueden ser marcas registradas o marcas de servicio de terceros. Especificaciones sujetas a cambio sin previo aviso. S-1576b (8/05)

## Definiciones de características

### Potencia auxiliar de emergencia (ESP):

Aplicable para suministrar energía a cargas eléctricas variables durante el tiempo que dure el corte de energía de una instalación fiable. La potencia auxiliar de emergencia (ESP) cumple con la ISO 8528. Potencia de parada de combustible de acuerdo con ISO 3046, AS 2789, DIN 6271 y BS 5514.

### Potencia de funcionamiento en tiempo limitado (LTP):

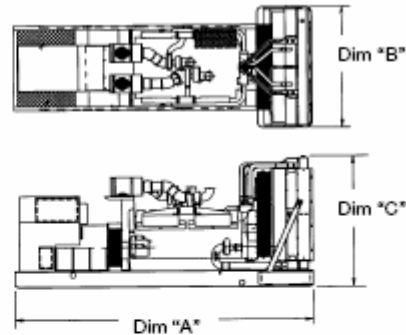
Aplicable para suministrar energía a una carga eléctrica constante durante unas horas limitadas. La potencia de funcionamiento en tiempo limitado (LTP) cumple con la norma ISO 8528.

### Potencia principal (PRP):

Aplicable para suministrar energía a cargas eléctricas variables sin límite de horas. La potencia principal (PRP) cumple con la ISO 8528. Tiene la capacidad de aguantar un diez por ciento de sobrecarga de acuerdo con ISO 3046, AS 2789, DIN 6271 y BS 5514.

### Potencia de la carga básica (continua) (COP):

Aplicable para suministrar energía continuamente a una carga eléctrica constante sin límite de horas. La potencia continua (COP) cumple con las normas ISO 8528, ISO 3046, AS 2789, DIN 6271 y BS 5514.



Este diagrama es sólo a título indicativo. Consulte las fichas técnicas del modelo respectivo si desea saber el número de diagrama del modelo específico.

***No lo use para diseñar la instalación***

Modelo	Dim "A" mm (pulg.)	Dim "B" mm (pulg.)	Dim "C" mm (pulg.)	Peso del grupo* seco kg (lbs)	Peso del grupo* húmedo kg (lbs)
DGFA	2.662 (104,8)	1.016 (40)	1.433 (56,4)		1.513 (3.336)
DGFB	2.662 (104,8)	1.016 (40)	1.433 (56,4)		1.520 (3.350)

\* Nota: Los pesos corresponden a un grupo con características de serie. Consulte los diagramas para saber los pesos de otras configuraciones.

**Modelo: DGFA**  
**Frecuencia: 60**  
**Tipo de combustible: Diésel**  
**Capacidad nominal en KW: 150 en espera**  
**135 principal**  
**Nivel de emisiones: EPA Nonroad Tier 1**

► Hoja de datos del generador



Nuestra energía trabajando para ti.™

Hoja de datos de emisiones de escape:	EDS-107
Hoja de cumplimiento de emisiones de escape:	
Hoja de datos de rendimiento de sonido:	MSP-111
Hoja de datos de rendimiento de refrigeración:	
Hoja de datos del resumen de pruebas prototipo:	PTS-106
Descripción de refrigeración por radiador montado en el generador estándar:	0500-3121
Descripción de refrigeración por radiador montado en el generador opcional:	
Descripción de refrigeración por intercambiador de calor opcional:	
Descripción de refrigeración por radiador remoto opcional:	

Consumo de combustible	En espera				Principal				Continua
	kW (kVA)				kW (kVA)				kW (kVA)
Capacidades nominales	150 (169)				135 (169)				
Carga	1/4	1/2	3/4	Completa	1/4	1/2	3/4	Completa	
gph estadounidense	3,2	5,6	8,3	11,1	2,9	5,3	7,6	10,0	
l/h	12	22	31	42	11	10	29	38	

Motor	Capacidad nominal en espera	Capacidad nominal principal	Capacidad nominal continua
Fabricante del motor	Cummins Inc.		
Modelo del motor	6CTA8.3-G2		
Configuración	Fundición de hierro, 6 cilindros, en línea		
Aspiración	Turboalimentado y posrefrigerado		
Salida de potencia bruta del motor, kWm (bhp)	206,6 (277,0)	188,0 (252,0)	
BMEP a la carga nominal establecida, kPa (psi)	1.379,0 (200,0)	1.241,1 (180,0)	
Cilindros, mm (pulg.)	114,0 (4,49)		
Carrera, mm (pulg.)	135,1 (5,32)		
Velocidad nominal, rpm	1.800		
Velocidad del pistón, m/s (pies/min.)	8,1 (1.996,0)		
Relación de compresión	16,8:1		
Capacidad de aceite lubricante, l (qt)	23,6 (25,2)		
Límite de sobrevelocidad, rpm	2.100 ±50		
Potencia regenerativa, kW	22,00		

Flujo de combustible	
Flujo de combustible a la carga nominal, l/h (gph estadounidense)	208,2 (55,0)
Restricción máxima en la entrada, mm Hg (pulg. Hg)	101,6 (4,0)
Restricción máxima de retorno, mm Hg (pulg. Hg)	254,0 (10,0)

## ANEXO F: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR PERKINS, MODELO 1100.



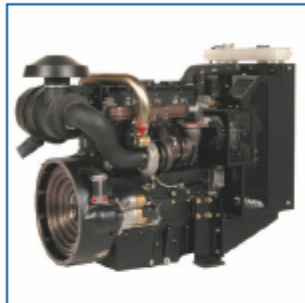
### 1100 Series

#### 1104A-44TG1

Diesel Engine - Electropak

64.3 kWm at 1500 rpm

75.5 kWm at 1800 rpm



#### Compact, Efficient Power

- 1100 Series is the result of an intensive period of customer research that has guided the development of the range.
- The new 4.4 litre cylinder block ensures bore roundness is maintained under the pressures of operation. It also ensures combustion and mechanical noise is lowered.
- A new cylinder head has re-established Perkins mastery of air control.

#### Quality by Design

- Product design and Class A manufacturing improvements enhance product reliability while maintaining Perkins legendary reputation for durability.

#### Cost Effective Power

- Compact size and low noise.
- Lower fuel consumption and oil use.
- 500 hour service intervals.
- 2 year warranty.

#### Product Support

- Perkins actively pursues product support excellence by ensuring our distribution network invest in their territory - strengthening relationships and providing more value to you, our customer
- Through an experienced global network of distributors and dealers, fully trained engine experts deliver total service support around the clock, 365 days a year. They have a comprehensive suite of web based tools at their fingertips covering technical information, parts identification and ordering systems, all dedicated to maximising the productivity of your engine
- Throughout the entire life of a Perkins engine, we provide access to genuine OE specification parts and service. We give 100% reassurance that you receive the very best in terms of quality for lowest possible cost... wherever your Perkins powered machine is operating in the world

Building upon Perkins proven reputation within the power generation industry, the 1100 Series range of Electropak engines now fit even closer to customers needs.

In the world of power generation success is only gained by providing more for less. With the 1104A-44TG1 Perkins has engineered even higher levels of reliability, yet lowered the cost of ownership.

1100A units are designed for territories that do not require compliance to EPA or EU emissions legislation. These units are able to meet TA luft legislation.

Engine speed rev/min	Operation Type	Typical Generator Output (Net)		Engine Power			
				Gross		Net	
		kVA	kWe	kWm	bhp	kWm	bhp
1500	Prime Power	65.0	52.0	59.6	79.9	58.4	78.3
	Standby Power	71.5	57.2	65.6	88.0	64.3	86.2
1800	Prime Power	76.0	60.8	70.7	94.8	68.6	92.0
	Standby Power	83.6	66.9	77.8	104.3	75.5	101.2

# 1100 Series

## 1104A-44TG1

### Standard ElectropaK Specification

#### Air inlet

- Mounted air filter

#### Fuel system

- Rotary type pump
- Ecoplus fuel filter

#### Lubrication system

- Wet sump with filler and dipstick
- Spin-on oil filter

#### Cooling system

- Thermostatically-controlled system with gear-driven circulation pump and belt-driven pusher fan
- Mounted radiator and piping

#### Electrical equipment

- 12 volt starter motor and 12 volt 65 amp alternator with DC output
- 12 volt shutdown solenoid energised to run
- Glow plug cold start aid

#### Flywheel housing

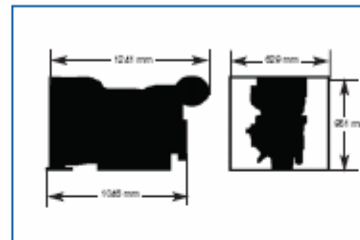
- High inertia flywheel to SAE J620 size 10/11½
- SAE 3 flywheel housing

#### Literature

- User's Handbook

#### Optional equipment

- Woodward electronic governor (LOG2)
- Workshop manual
- Parts book



Engine Speed	Fuel Consumption			
	1200 rev/min		1800 rev/min	
	g/kWh	l/hr	g/kWh	l/hr
At standby power	207	16.2	211	19.5
At prime power	208	14.8	211	17.7
At 75% of prime power	209	11.2	214	13.5
At 50% of prime power	224	8.0	229	9.6

#### General Data

Number of cylinders	4 vertical in-line
Bore and stroke	105 x 127 mm
Displacement	4.4 litres
Aspiration	Turbocharged
Cycle	4 stroke
Combustion system	Direct injection
Compression ratio	17.25:1
Rotation	Anti-clockwise viewed from flywheel
Cooling system	Water-cooled
Total lubrication system capacity	8.0 litres
Total coolant capacity	13.0 litres
Dimensions	Length 1241 mm Width 629 mm Height 951 mm
Dry Weight (approx.)	463 kg

Final weight and dimensions will depend on completed specification.

## ANEXO G: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR GE JENBACHER, MODELO J312GS.



### Technical Data

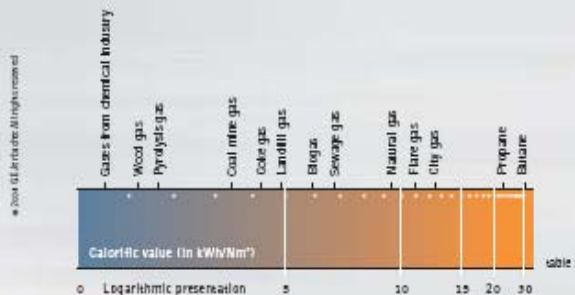
Configuration	V 70°		
Bore (mm)	135		
Stroke (mm)	170		
Displacement/cylinder (lit)	2.43		
Speed (rpm)	1,500 (50 Hz); 1,200/1,800 (60 Hz)		
Mean piston speed (m/s)	8.5 (1,500 rpm); 6.8 (1,200 rpm); 10.2 (1,800 rpm)		
Scope of supply	Generator set, Cogeneration system, Generator set/Cogeneration in container		
Applicable gas types	Natural gas, flare gas, propane, biogas, landfill gas, sewage gas Special gases as coal mine gas, coke gas, wood gas, pyrolysis gas, ...		
Engine type	J312 GS	J316 GS	J320 GS
No. of cylinders	12	16	20
Total displacement (lit)	29.2	38.9	48.7
Dimensions (l x w x h in mm)			
Generator set	4,500x1,700x2,300	5,100x1,700x2,300	5,200x1,700x2,300
Cogeneration system	4,600x2,300x2,300	5,300x2,300x2,300	5,200x1,900x2,300
Container (Generator set/Cogeneration)	12,200x2,500x2,600	12,200x2,500x2,600	12,200x2,500x2,600
Weights empty (kg)			
Generator set	7,900	8,800	10,800
Cogeneration system	9,300	9,900	11,300
Container (Generator set/Cogeneration)	19,200/20,600	22,100/23,200	25,300/25,800

**Scope of supply** Our scope of supply comprises electrical power generator sets and cogeneration systems for optimized heat and electrical power generation. Depending on customer specifications, various heat sources such as engine cooling water, oil, mixture and exhaust gas can be

incorporated, resulting in increased levels of efficiency. In addition, our type 3 modules can be supplied as turnkey installations in 40-foot containers. Before being shipped to our customers, all modules are performance and load tested at our manufacturing facilities in Jenbach.

**Applicable gas types** Increased ecological consciousness and the need to reduce air emissions have led to an increased use of alternative energy sources. Along with natural gas operation, our technology makes it possible to dispose of environmentally offensive gases (e.g. from landfill sites, agriculture, mining and chemical industries) while

simultaneously using these gases for power generation. This helps to reduce industrial emissions and encourage efficient use of natural resources while ensuring the efficiency of a plant. The continuous refinement of our engines and our focus on special gas applications enable the use of a broad spectrum of gases with different calorific values (see table 1).







# Type

## Reference Installations

### 1 J312 GS

Plant: Exxon Mobil – Refinery; Seine Maritime, France

Type of gas: Natural gas

Engine type: 1 x JGS 312 GS-N.LC

Electrical output: 625 kW

Start-up: December 1999

2



Exxon Mobil produces lubricants for gas engines. The R&D department of Mobil's European Technology Centre uses our generator set for testing purposes.

### 2 J316 GS

Plant: Profusa – Producer of coke; Bilbao, Spain

Type of gas: Natural gas and coke gas

Engine type: 12 x JGS 316 GS-S.L

Electrical output:

a) with 100% coke gas: 5,642 kW

b) with 60% coke gas /40% natural gas or 100% natural gas: 6,528 kW

Start-up: 1995

The installation designed by GE Jenbacher enables Profusa to convert the residual coke gas with a hydrogen content of approx. 50% into valuable electrical energy.



3

### 3 J320 GS – Containerized solution

Plant: Landfill site Nent; Hongkong

Type of gas: Landfill gas

Engine type: 2 x JGC 320 GS-L.L

Electrical output: 1,844 kW

Start-up: 1997

Instead of letting landfill gas escape into the environment or burning it, the gas is converted into electricity using two containerized generator sets.



4

### 4 J320 GS – Containerized solution

Anlage: Pakmaya – Food Industry; Düzce, Turkey

Type of gas: Natural gas

Engine type: 2 x JMC 320 GS-N.L

Electrical output: 2,096 kW

Thermal output: 2,320 kW

of which steam production: 1,644 kg/h at 8 bar

Start-up: February 2001

In Pakmaya, two GE Jenbacher containerized modules run parallel to a gas turbine. The generated power covers the entire electrical and thermal energy requirement of the factory. Each module has a steam boiler that uses the hot exhaust gas to produce saturated steam.

## ANEXO H: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MICROTURBINA CAPSTONE, MODELO C600.

### C600 600 kW Power Package High-pressure Natural Gas

World's largest air-bearing microturbine produces 600kW of clean, green and reliable power.

- High electrical efficiency over a very wide operating range
- Low maintenance air bearings require no lube oil or coolant
- Ultra-low emissions
- High availability – part load redundancy
- Proven technology with tens of millions of operating hours
- Integrated utility synchronization and protection with a modular design
- 5 and 9 year factory protection plans available
- Remote monitoring and diagnostic capabilities
- Upgradable to 800 kW or 1 MW with field installed Capstone 200 kW power modules
- Internal fuel gas compressor available for low fuel pressure Natural Gas applications


C600 MicroTurbine

---

**Electrical Performance<sup>(1)</sup>**

Electrical Power Output	600 kW
Voltage	400 to 480 VAC
Electrical Service	3-Phase, 4 wire
Frequency	50/60 Hz, grid connect operation 10-60 Hz, stand alone operation
Maximum Output Current	870A RMS @ 400V, grid connect operation 720A RMS @ 480V, grid connect operation 930A RMS, stand alone operation <sup>(2)</sup>
Electrical Efficiency LHV	33%

---

**Fuel/Engine Characteristics<sup>(1)</sup>**

Natural Gas HHV	30.7 to 47.5 MJ/m <sup>3</sup> (825 to 1,275 BTU/scf)
Inlet Pressure <sup>(2)</sup>	517-552 kPa gauge (75-80 psig)
Fuel Flow HHV	7,200 MJ/hr (6,840,000 BTU/hr)
Net Heat Rate LHV	10.9 MJ/kWh (10,300 BTU/kWh)

---

**Exhaust Characteristics<sup>(1)</sup>**

	Standard	CARB Version
NOx Emissions @ 15% O <sub>2</sub> <sup>(3)</sup>	9 ppmvd (18 mg/m <sup>3</sup> )	4 ppmvd (8 mg/m <sup>3</sup> )
NOx/Electrical Output <sup>(4)</sup>	0.14 g/bhp-hr (0.4 lb/MWhe)	0.05 g/bhp-hr (0.14 lb/MWhe)
Exhaust Gas Flow	4.0 kg/s (8.8 lbm/s)	4.0 kg/s (8.8 lbm/s)
Exhaust Gas Temperature	280°C (535°F)	280°C (535°F)
Exhaust Energy	4,260 MJ/hr (4,050,000 BTU/hr)	4,260 MJ/hr (4,050,000 BTU/hr)

### Dimensions & Weight<sup>(1)</sup>

Width x Depth x Height	2.4 x 9.1 x 2.9 m (96 x 360 x 114 in)
Weight - Grid Connect Model	11475 kg (25,300 lbs)
Weight - Dual Mode Model	13326 kg (29,380 lbs)

### Minimum Clearance Requirements<sup>(2)</sup>

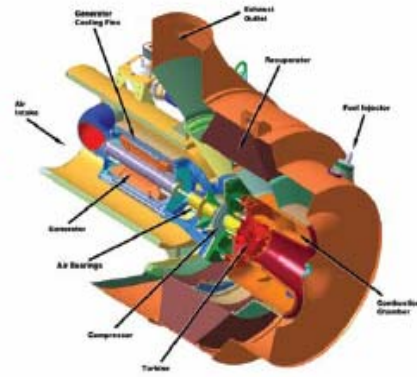
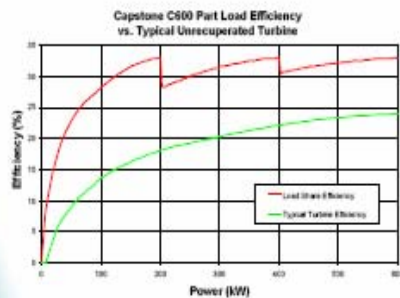
Vertical Clearance	0.6 m (24 in)
Horizontal Clearance	
Left & Right	1.5 m (60 in)
Front	1.5 m (60 in)
Rear	1.8 m (72 in)

### Sound Levels

Acoustic Emissions at Full Load Power	
Nominal at 10 m (33 ft)	65 dBA

### Planned Certifications

- UL 2200 and UL 1741 for natural gas operation under existing UL files<sup>(3)</sup>
- Will comply with IEEE 1547 and will meet statewide utility interconnection requirements for California Rule 21 and the New York State Public Service Commission
- Models will be available with optional equipment for CE marking



C200 Engine

(1) Nominal (LJ) power performance at ISO conditions: 59°F, 14.696 psia, 60% RH  
 (2) With linear load  
 (3) Inlet pressure for standard natural gas at 39.4 MWh/ft<sup>3</sup> (1,000 BTU/ft<sup>3</sup>) (HHV)  
 (4) Emissions for standard natural gas at 39.4 MWh/ft<sup>3</sup> (1,000 BTU/ft<sup>3</sup>) (HHV)  
 (5) Approximate dimensions and weights  
 (6) Clearance requirements may increase due to local code considerations  
 (7) All models are planned to be UL Listed or available with optional equipment for CE marking  
 Specifications are not warranted and are subject to change without notice.

21211 Nordhoff Street • Chatsworth • CA • 91311 • 877.716.2929 • 818.407.3770 • www.capstoneturbine.com

©2008 Capstone Turbine Corporation. 1008 Capstone PN 331050A



**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO:**

<b>TÍTULO</b>	<b>“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN LA ZONA NORTE COSTERA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI.”</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
<b>Romero O. Adriana C.</b>	<b>CVLAC:17.223.296 EMAIL:adriana.romeroobel@gmail.com</b>

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

**Generación Distribuida**

**Autogeneración**

**Cogeneración**

**Red eléctrica**

**Servicio eléctrico**

**Ley organica del servicio eléctrico**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

<b>ÁREA</b>	<b>SUBÁREA</b>
<b>Ingeniería y Ciencias Aplicadas</b>	<b>Electricidad</b>

**RESUMEN (ABSTRACT):**

**En el presente Trabajo, se describen y analizan los conceptos de Generación Distribuida, causas que estimulan su uso, esquemas de operación, beneficios, y desventajas. Adicionalmente, se exponen las características más relevantes y los costos de las tecnologías más comerciales, para la aplicación de la Generación Distribuida en la zona norte costera del estado Anzoátegui. Finalmente, se presenta un estudio técnico-económico, para la implantación de Generación Distribuida en la zona anteriormente mencionada, con el objetivo de proveer una posible solución a los problemas de calidad del servicio eléctrico que vive la sociedad del estado Anzoátegui.**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**CONTRIBUIDORES**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL</b>				
<b>Mago Armando</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
			X		
	<b>CVLAC:</b>	<b>2.800.669</b>			
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Suárez Luís</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
				X	
	<b>CVLAC:</b>	<b>11.144.624</b>			
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Mercado Verena</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
					X
	<b>CVLAC:</b>	<b>82.235.587</b>			
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Escalante Santiago</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
					X
	<b>CVLAC:</b>	<b>3.198.012</b>			
	<b>E_MAIL</b>				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b><u>2009</u></b>	<b><u>10</u></b>	<b><u>26</u></b>
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE: SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
<b>TESIS. GENERACION DISTRIBUIDA.doc</b>	<b>Application/msword</b>

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F  
G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r  
s t u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.**

**ESPACIAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)**

**TEMPORAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)**

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

**Ingeniero Electricista**

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

**Pre-Grado**

**ÁREA DE ESTUDIO:**

**Departamento de Ingeniería Eléctrica.**

**INSTITUCIÓN:**

**Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui**



**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**DERECHOS:**

**“Los Trabajos de Grado son de Exclusiva Propiedad de la Universidad de Oriente y Solo Podrán ser Utilizados para Otros Fines con el Consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, el Cual Participara al Consejo Universitario”.**

**Romero O. Adriana C.**

**AUTOR**

**Suárez Luís**

**TUTOR**

**Mercado Verena**

**JURADO**

**Escalante Santiago**

**JURADO**

**Mercado Verena**

**POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS**