



**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI**

**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN  
OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN  
GESTIÓN ENERGÉTICA**

**TÍTULO:**

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDA EÓLICO – PILA DE COMBUSTIBLE POR ELECTROLIZADOR DE MEDIANA PRODUCCIÓN PARA LA EMPRESA RS ROTH S.A., SECTOR CALDERÓN, PROVINCIA DE PICHINCHA, DURANTE EL PERÍODO 2014 – 2015. PROPUESTA DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y TÉCNICA DEL SISTEMA PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE LA RED ELÉCTRICA.

Autor:

GALLARDO Cárdenas, Félix Fabián

Tutor:

PhD. Iliana González Palau

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto - 2016



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO  
Latacunga – Ecuador

---

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Gallardo Cárdenas Félix Fabián, con el título de tesis: ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDA EÓLICO – PILA DE COMBUSTIBLE POR ELECTROLIZADOR DE MEDIANA PRODUCCIÓN PARA LA EMPRESA RS ROTH S.A., SECTOR CALDERÓN, PROVINCIA DE PICHINCHA, DURANTE EL PERÍODO 2014 – 2015. PROPUESTA DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y TÉCNICA DEL SISTEMA PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE LA RED ELÉCTRICA, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga Agosto, 2016.

Para constancia firman:

.....  
NOMBRES Y APELLIDOS  
PRESIDENTE

.....  
NOMBRES Y APELLIDOS  
MIEMBRO

.....  
NOMBRES Y APELLIDOS  
PRESIDENTE

.....  
NOMBRES Y APELLIDOS  
MIEMBRO

## **AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS**

**En mi calidad de Tutor del Programa de Maestría en Gestión de Energías, nombrado por el Consejo de Posgrado.**

### **CERTIFICO:**

**Que: analizado el Protocolo de Trabajo de Titulación, presentado como requisito previo a la aprobación y desarrollo de la investigación para optar por el grado de Magíster en Gestión de Energías.**

El problema de investigación se refiere a:

**“¿De no existir una fuente alternativa para el suministro de energía eléctrica a la empresa RS ROTH S.A., se seguirá manteniendo un alto consumo de energía eléctrica proveniente del sistema interconectado nacional, además de combustibles de origen fósil, disminuyendo el nivel de competitividad propio de la empresa y manteniendo un alto gasto económico para el presupuesto general de la misma?”**

Presentado por **Gallardo Cárdenas Félix Fabián** con cedula de ciudadanía N<sup>TO.</sup>  
**1803614039**

**Sugiero su aprobación y permita continuar con la ejecución del proyecto de investigación y desarrollo.**

Latacunga, Agosto de 2016

Atentamente,

.....  
Ph.D, Iliana González Palau  
**DIRECTOR DE TESIS**

## **RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS**

El proyecto de tesis de maestría denominado “ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDA EÓLICO – PILA DE COMBUSTIBLE POR ELECTROLIZADOR DE MEDIANA PRODUCCIÓN PARA LA EMPRESA RS ROTH S.A., SECTOR CALDERÓN, PROVINCIA DE PICHINCHA, DURANTE EL PERÍODO 2014 – 2015. PROPUESTA DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y TÉCNICA DEL SISTEMA PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE LA RED ELÉCTRICA.”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en las páginas correspondientes, cuya fuente se incorpora en la bibliografía.

Consecuentemente, este trabajo es de mi autoría.

En virtud de la declaración de me responsabilizo del contenido, veracidad, alcance científico del proyecto de tesis, en mención.

Latacunga, Agosto 2016.

.....  
Gallardo Cárdenas Félix Fabián  
180361403-9

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer sinceramente a mi asesora la Ph.D. Iliana González Palau por aportar con sus ideas y recomendaciones respecto a esta investigación

Mi agradecimiento a la empresa RS ROTH S.A. en especial al Sr. Roberto Sánchez por permitirme desarrollar mi proyecto de investigación en las instalaciones de su empresa

**Fabián Gallardo Cárdenas**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Manuel y Cecilia por su valioso apoyo en todo momento desde el inicio de mis estudios.

A mi hermana Aleja que con optimismo y cariño me impulsaron a seguir hacia adelante.

**Fabián Gallardo Cárdenas**

## INDICE GENERAL

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
PORTADA .....	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	ii
INFORME DEL AVANCE DE LA TESIS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
INDICE GENERAL .....	vii
INDICE DE TABLAS .....	xi
INDICE DE GRÁFICOS .....	xiii
CERTIFICACIÓN DE LOS CRÉDITOS QUE AVALAN LA TESIS .....	xv
RESUMEN .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	xiv

### **CAPÍTULO I**

<b>EL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
Planteamiento del problema. ....	1
Formulación del problema.....	3
Objeto de estudio y campo de acción. ....	3
Justificación y significación. ....	4
Objetivos. ....	5
Objetivo General. ....	5
Objetivos Específicos.....	5
Hipótesis.....	6
Visión epistemológica. ....	6
Factibilidad de la investigación.....	8
Fundamentación Legal .....	10

### **CAPÍTULO I**

<b>MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO. ....</b>	<b>14</b>
1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS. ....	14

1.2. MARCO TEÓRICO. ....	15
1.2.1 Generalidades del recurso energético. ....	15
a. Modelo energético introductorio. ....	15
b. Concepto y clasificación del recurso energético. ....	18
c. Eficiencia energética. ....	20
1.2.2. Energía de captación eólica. ....	22
a. Fundamentos de captación eólica. ....	22
b. Metodología de producción energética eólica. ....	24
c. Clasificación de los sistemas de captación eólicos. ....	27
d. Potencia eólica adquirible. ....	28
1.2.3 Energía de generación por electrolización en pila de combustible. ....	30
a. Principios y metodologías de captación. ....	30
b. Tipos de pilas de combustible. ....	33
c. El proceso de electrolización. ....	36
d. Hibridación compatible de sistemas por pila de combustible. ....	39

## **CAPÍTULO II**

<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>42</b>
2.1. Modalidades de la investigación. ....	42
2.2. Tipo de investigación. ....	43
2.3. Alcance de la investigación. ....	44
2.4. Unidad de Estudio Sectorial. ....	45
2.4.1. Estudio Característico Zonal. ....	45
2.4.2. Factores de influencia. ....	47
2.4.3. Población y Muestra. ....	51
2.4.4. Criterios de validación de mediciones. ....	52
2.5. Determinación y operacionalización de variables. ....	53
2.5.1. Determinación de la variable dependiente. ....	54
2.5.2. Determinación de la variable independiente. ....	54
2.5.3. Operacionalización de las variables. ....	55
2.6. Parametrización de selección y análisis de información. ....	58
2.6.1. Parámetros de medición potencial de captación eólica. ....	58

2.6.2. Parámetros de determinación de potencial de producción energética por electrolización – pila de combustible. ....	60
2.7. Técnicas e instrumentos de la investigación. ....	62
2.7.1. Técnicas e instrumentos. ....	62
2.7.2. Parámetros indicados de selección de instrumentos. ....	63

### **CAPÍTULO III**

<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>67</b>
3.1. Tratamiento de información por captación eólica.....	67
3.1.1. Parametrización inicial.....	67
3.1.2. Incertidumbre y exactitud de la medición.....	69
3.1.3. Distribución de velocidades. ....	71
3.1.4. Distribución de direcciones.....	81
3.2. Relación de aprovechamiento energético eólico – pila de combustible. .	83
3.2.1. Aprovechamiento eólico energético.....	83
3.2.2. Potencia eólica media aprovechable. ....	84
3.2.3. Dimensionamiento de la instalación. ....	85
3.2.4. Ponderación y selección esquemática estructural. ....	88
3.3. Conclusiones parciales. ....	92

### **CAPÍTULO IV**

<b>MARCO PROPOSITIVO .....</b>	<b>95</b>
4.1. Título de la propuesta.....	95
4.2. Justificación.....	95
4.3. Objetivo.....	96
4.4. Estructura de la propuesta. ....	96
4.4.1. Concepción propositiva final. ....	98
4.4.2. Valores específicos de emplazamiento. ....	99
4.4.3. Especificaciones técnicas de implementos estructurales. ....	99
4.4.5. Producción energética estimada. ....	105
4.5. Análisis de factibilidad.....	108
4.5.1. Gastos de adquisición.....	108

4.5.2. Gastos de montaje e instalación. ....	109
4.5.3. Gastos de personal y técnicos. ....	110
4.5.4. Gastos de mantenimiento. ....	111
4.5.5. Inversión total de la propuesta. ....	111
4.5.6. Tiempo de recuperación de la inversión total. ....	112
4.6. Evaluación de influencia y compatibilidad con el entorno. ....	114
4.7. Comprobación de hipótesis. ....	114
CONCLUSIONES .....	117
RECOMENDACIONES .....	119
BIBLIOGRAFÍA .....	120
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS.....	120
CITAS BIBLIOGRÁFICAS TEXTUALES .....	121
ANEXOS .....	124

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLAS</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1.1. Ventajas y desventajas de la energía eólica. ....	23
Tabla 1.2. Características de influencia en la captación eólica.....	26
Tabla 1.3. Características, ventajas y desventajas. Pila Membrana Polimérica....	35
Tabla 2.1. Factores de influencia de la tecnología de electrolización.....	50
Tabla 2.2. Cuadro de operacionalización de la variable dependiente.....	56
Tabla 2.3. Cuadro de operacionalización de la variable independiente.....	57
Tabla 2.4. Técnicas e instrumentos de la investigación.....	64
Tabla 3.1. Estadística de incertidumbre y exactitud de la medición.....	70
Tabla 3.2. Distribución de velocidades Agosto - 2014.....	71
Tabla 3.3. Distribución de velocidades Septiembre - 2014.....	73
Tabla 3.4. Distribución de velocidades Octubre - 2014.....	74
Tabla 3.5. Distribución de velocidades Noviembre - 2014.....	75
Tabla 3.6. Distribución de velocidades Diciembre - 2014.....	77
Tabla 3.7. Distribución de velocidades Enero - 2015.....	78
Tabla 3.8. Distribución de velocidades Enero - 2015.....	80
Tabla 3.9. Distribución de direcciones porcentual mensual.....	82
Tabla 3.10. Potencia media aprovechable (aprox.) – promedio productivo.....	84
Tabla 3.11. Potencia media aprovechable (aprox.) – promedio completo.....	85
Tabla 3.12. Potencia media aprovechable real – promedio productivo.....	86
Tabla 3.13. Potencia media aprovechable real – promedio completo.....	86
Tabla 3.14. Consumo energético emplazamiento RS Roth S.A.....	87
Tabla 3.15. Demanda energética emplazamiento – Horario A.....	87
Tabla 3.16. Demanda energética emplazamiento – Horario B.....	87
Tabla 3.17. Demanda energética total emplazamiento RS Roth S.A.....	88
Tabla 3.18. Criterios de ponderación por ingeniería de diseño.....	90
Tabla 3.19. Ponderación selección alternativa aerogenerador.....	91
Tabla 3.20. Ponderación selección alternativa electrolizador.....	91
Tabla 3.21. Ponderación selección alternativa pila de combustible.....	92
Tabla 4.1. Valores iniciales del emplazamiento RS Roth S.A.....	99

Tabla 4.2. Cuadro de características aerogenerador Aeolos H-10kW .....	100
Tabla 4.3. Características curva de potencia Aeolos H-10kW.....	102
Tabla 4.4. Cuadro de características electrolizador HySTAT 10.....	103
Tabla 4.5. Cuadro de características pila de combustible FCS-C3000.....	105
Tabla 4.6. Producción energética eólica RS Roth S.A. – periodo productivo ....	106
Tabla 4.7. Producción energética eólica RS Roth S.A. – periodo normal .....	106
Tabla 4.8. Producción energética eólica total RS Roth S.A. ....	107
Tabla 4.9. Demanda energética vs oferta energética eólica RS Roth S.A. ....	108
Tabla 4.10. Gastos de adquisición sistema híbrido (en USD) .....	109
Tabla 4.11. Gastos de montaje e instalación (en USD).....	110
Tabla 4.12. Gastos de personal y técnicos (en USD).....	110
Tabla 4.13. Gastos de mantenimiento (en USD).....	111

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICOS</b>	<b>Pág.</b>
Gráfico 1.1. Modelo energético integrado. ....	19
Gráfico 1.2. Características constructivas generadores eólicos. ....	25
Gráfico 1.3. Aerogenerador de eje horizontal. ....	28
Gráfico 1.4. Potencia adquirible de acuerdo al diámetro de captación. ....	30
Gráfico 1.5. Diagrama estructural pila de combustible. ....	31
Gráfico 1.6. Esquematación de funcionamiento de la celda de combustible ....	32
Gráfico 1.7. Representación de las reacciones de una pila de combustible. ....	32
Gráfico 1.8. Reacciones que se producen en la pila de combustible. ....	33
Gráfico 1.9. Rutas de obtención del Hidrógeno. ....	36
Gráfico 1.10. Balance de hidrógeno en las refinerías. ....	37
Gráfico 1.11. Esquema simplificado del electrolizador. ....	39
Gráfico 1.12. Esquema básico de sistema de potencia pila de combustible. ....	39
Gráfico 1.13. Flujo de producción sistema pila de combustible cargas aisladas ..	40
Gráfico 1.14. Hibridación captación eólica – pila de combustible. ....	41
Gráfico 2.1. Rango de producción por horario de captación eólica. ....	46
Gráfico 2.2. Ubicación Geográfica de la parroquia Calderón. ....	47
Gráfico 2.3. Velocidad media anual del viento a 30 m de altura. ....	48
Gráfico 2.4. Rugosidad de la parroquia Calderón. ....	49
Gráfico 2.5. Pendiente del terreno - parroquia Calderón. ....	50
Gráfico 2.6. Características de la producción de H <sub>2</sub> por electrolización. ....	61
Gráfico 3.1. Distribución de velocidades Agosto - 2014. ....	72
Gráfico 3.2. Distribución de velocidades Septiembre - 2014. ....	74
Gráfico 3.3. Distribución de velocidades Octubre - 2014. ....	76
Gráfico 3.4. Distribución de velocidades Noviembre - 2014. ....	76
Gráfico 3.5. Distribución de velocidades Diciembre - 2014. ....	79
Gráfico 3.6. Distribución de velocidades Enero - 2015. ....	79
Gráfico 3.7. Distribución de velocidades mensual promedio. ....	80
Gráfico 3.8. Distribución de direcciones mensual promedio. ....	82
Gráfico 3.9. Esquematación sistema híbrido eólico – pila de combustible. ....	90

Gráfico 4.1. Curva de potencia Aeolos H-10kW .....	101
Gráfico 4.2. Estructura Física HySTAT 10.....	104

## **CERTIFICACIÓN DE LOS CRÉDITOS QUE AVALAN LA TESIS**

**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TÍTULO:**

**“ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDA EÓLICO – PILA DE COMBUSTIBLE POR ELECTROLIZADOR DE MEDIANA PRODUCCIÓN PARA LA EMPRESA RS ROTH S.A., SECTOR CALDERÓN, PROVINCIA DE PICHINCHA, DURANTE EL PERÍODO 2014 – 2015. PROPUESTA DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y TÉCNICA DEL SISTEMA PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE LA RED ELÉCTRICA.”**

**Autor: GALLARDO Cárdenas, Félix Fabián**

**Tutor: GONZÁLEZ Palau, Iliana, PhD**

**RESUMEN**

La presente investigación aborda temas como eficiencia energética en medios industriales, además de su implementación eficiente en emplazamientos de gran envergadura como la representada por la determinada para la empresa RS ROTH S.A , sector Calderón, provincia de Pichincha, durante el período 2014 – 2015 mediante el estudio de un sistema complejo de generación híbrida con participación de captación eólica y procesos de electrolización por pila de combustible. La finalidad principal de este estudio es que, a partir de la investigación provista por un marco teórico previo, en conjunto con un marco metodológico específico para recolección y análisis de información de tipo eólico y de transformación energética por medio de pila de combustible con participación de la electrolización, se pueda conformar un marco propositivo eficiente para las metas propias de la empresa, que principalmente son la reducción del consumo eléctrico mediante abastecimiento de generación eléctrica propia, con base en la reducción de gastos económicos directos y la inmersión investigativa dentro de medios de producción por participación de electrolizadores y pilas de combustible. Inicialmente se hace una recolección bibliográfica de la captación eólica, la electrolización para la producción del hidrógeno, así como su almacenamiento en depósitos presurizados para su posterior uso en medios de producción energética por pila de combustible. Posteriormente se realiza un análisis por criterios ponderados para la selección de la tecnología de mayor beneficios dentro de la esquematización energética híbrida, la misma que en su apartado final propositivo se sujeta a un análisis de factibilidad para evidenciar, dentro de aspectos económicos, la utilidad del sistema dentro de la empresa, con evidencia de la producción, eficiencia energética y el retorno de la inversión, con perspectivas adicionales de afección ambiental.

**DESCRIPTORES: CAPTACIÓN EÓLICA, ELECTROLIZACIÓN, PILA DE COMBUSTIBLE, ENERGÍA RENOVABLE, GENERACIÓN HÍBRIDA.**

**COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY  
POST DEGREES UNIT**

**ENERGY MANAGMENT MAESTRY**

**TITLE:**

**“ENERGY ANALYSIS OF A HIBRID ELECTRIC GENERATOR SYSTEM FROM WIND POWER AND FUEL CELLS COMPOSED OF ELECTROLYSERS FOR RS ROTH S.A., CALDERON, PICHINCHA, DURING 2014 – 2015. ECONOMICAL AND TECHNICAL FEASIBILITY STUDY TO REDUCE THE LOCAL ELECTRICAL CONSUMPTION”.**

**Author: GALLARDO Cárdenas, Félix Fabián  
Tuthor: GONZÁLEZ Palau, Iliana, PhD**

**ABSTRACT**

The present investigation approaches subjects as energetic efficiency inside industrial environments, besides of the efficient implementation on big announcement places like the represented by RS Roth S.A., Calderón sector, Pichincha providence, during 2014 – 2015 trough the study of a complex hybrid electric supplying system with participation of wind power uptake, electrolyzing processes and fuel cells. The main object of this study is with a previous theoretical investigation, along with a methodological specific frame for recollection and analysis of wind power and fuel cell energetic transformation data, to provide a proposal specific frame to achieve the RS Roth S.A. goals, mainly about the electricity consumption reduction through the self-provisioning, based directly to a reduction of direct financial resources, as well as the investigative immersion inside production fields with participation of electrolyzers and fuel cells. Initially, there was made a bibliographic request of wind power uptake information, electrolyzing for hydrogen production, as well as their storage into pressurized deposits for usage in energy production by the fuel cell. Later, there was selected the technology that provides the more benefits inside the hybrid energetic structure. This technology at the end is subjected to feasibility analysis to present into economical aspects, the utility of the hybrid electric supplying system inside the factory, with items of production, energetic efficiency and return of the investment, as well as the environmental affection.

**DESCRIPTORS: WIND POWER UPTAKE, ELECTROLYZING, FUEL CELL, RENEWABLE ENERGY, HYBRID ELECTRIC SUPPLYING SYSTEM.**

## INTRODUCCIÓN

Desde hace ya un tiempo a ésta parte, el mundo se está viendo enfrentado a problemas energéticos, debido al agotamiento de las reservas mundiales de petróleo, el cual es utilizado como fuente directa de energía (motores de vehículos u otros), o bien para que a través de él se generen otras energías (eléctrica por ejemplo), este fenómeno irreversible ha sido denominado como “Crisis Energética”.

Las razones pueden ser muchas: aumento del consumo de energía eléctrica debido al constante crecimiento, tanto del sector residencial, como del sector industrial, quienes son los que demandan la mayor cantidad de energía ,aumento del parque automotriz, agotamiento de recursos naturales como el agua dulce, junto con el ya mencionado petróleo. Frente a esta crisis ha surgido la necesidad de aprovechar de mejor forma los recursos energéticos disponibles, para esto se están diseñando dispositivos eléctricos y electrónicos de uso eficiente la energía, se han realizado campañas que permitan crear conciencia en los usuarios, etc.

Por otro lado se han ideado formas de aprovechar distintos tipos de energías naturales con el propósito de convertirlas en energía eléctrica, las que además cuentan con la ventaja de ser renovables, dentro de estas se encuentran por ejemplo: la energía solar, eólica, mareomotriz, geotérmica, etc. Existen sistemas que permiten aprovechar desperdicios animales y/o vegetales o también llamada Biomasa, que en su estado de descomposición generan gases utilizables domésticamente, estos sistemas son conocidos como biodigestores.

Pero, a diferencia de los medios de obtención energético no convencionales mencionados anteriormente, hace relativamente muy corto tiempo se ha venido experimentando con nuevas formas de obtención y producción de electricidad aún más eficientes. Este es el caso de las celdas de combustible que en la actualidad están atravesando por un gran momento, al haber alcanzado una etapa tecnológica que les permite está en posición de competir cada día más con las tecnología

convencionales de generación eléctrica, ofreciendo una gama de ventajas sobresalientes sobre las mismas.

Una celda de combustible, bajo conceptualización inicial simplificada, es un dispositivo electroquímico que convierte la energía química de una reacción directamente en energía eléctrica. Tal como lo detalla (Cano Castillo, 1999), estas celdas no se agotan como lo haría una batería, ni precisan recarga, ya que producirían energía en forma de electricidad y calor en tanto se les provea de combustible.

Las razones principales de aplicación de los sistemas de pila de combustible, tanto de manera individual como en sistemas híbridos de apoyo con otros sistemas de captación energética de tipo renovable, son principalmente de tipo ambiental y de previsión energética para reemplazo de medios de combustión fósiles. Su principal ventaja es que como resultado de la combustión se obtiene únicamente agua, no emitiendo así ningún tipo de gas de efecto invernadero. Como ventaja complementaria radica la posibilidad de representar en un futuro no muy lejano un buen vector de transporte de energía, además de la posibilidad de almacenamiento que la caracteriza sobre otras tecnologías de producción energética.

En el presente proyecto se abordarán temas como eficiencia energética en el medios industriales, además de su implementación eficiente en emplazamientos de gran envergadura como la representada por la determinada para la empresa RS ROTH S.A , sector Calderón, provincia de Pichincha, durante el período 2014 – 2015 mediante el estudio de un sistema complejo de generación híbrida con participación de captación eólica y procesos de electrolización por pila de combustible.

La estructura de cada uno de los capítulos de los que estará compuesta la investigación se detallan de la siguiente manera:

Como apartado inicial de la investigación se presentará información preliminar correspondiente a la denominación del problema, antecedentes y justificación para realización de la investigación, los objetivos principales y secundarios propuestos en un inicio, así como factibilidad de su realización bajo aspectos representativos sociales, económicos y de aspecto legal.

En el Capítulo I, se presenta el marco contextual y teórico, dentro del cual se congrega toda la información bibliográfica y técnica recabada, cuya importancia es elevada para su aplicación posterior por parte del investigador en la medición y desarrollo de propuesta metodológica de resolución del problema inicialmente evaluado.

En el Capítulo II, se adjunta el marco metodológico correspondiente, con toda la información pertinente a la forma de desarrollo de la investigación , la denominación de las variables dependiente e independiente, su operacionalización, así como los lineamientos de utilización de instrumentación de forma paralela al proceso de validación de la información obtenida.

En el Capítulo III, se desarrolla la clasificación, tabulación y análisis de la información recolectada durante el estudio de campo correspondiente, demostrando en cada punto los resultados obtenidos a partir del seguimiento del marco metodológico previo, y resaltando finalmente las conclusiones parciales obtenidas de la investigación dentro del emplazamiento correspondiente al emplazamiento escogido.

En el Capítulo IV, se señala un marco propositivo mediante el cual, a partir de las mediciones previas realizadas y las conclusiones parciales obtenidas, establece el estudio de factibilidad económico y técnico indicado para la aplicación del esquema de implementación para la reducción del consumo de la red eléctrica local.

La memoria descriptiva de esta tesis termina con la exposición de las conclusiones totales visualizadas durante todo el proceso investigativo, adicionalmente de una serie de recomendaciones y aportaciones del investigador hacia el desarrollo de trabajos futuros que tomen como punto de partida el presentado actualmente.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### **Planteamiento del problema.**

En la actualidad, en el planeta se ha venido experimentando un incremento no tan solo en la demanda de energía eléctrica, sino que la sociedad productiva global requiere que los métodos de obtención de esta energía se vean respaldados por metodologías de eficiencia energética en todo sentido.

La maduración del conocimiento de la tecnología involucrada en estas formas de obtención y captación energética es muy elevada, llegando al punto de poder suplir métodos combinados de cogeneración entre ellas, siendo las fuentes renovables de mayor utilización las eólicas, solar fotovoltaicas, de generación a partir de biomasa, y en estos últimos años la cogeneración por uso de pila de combustible y electrolización del hidrógeno.

Desde un punto de vista macro, el incremento de la actividad productiva, así como la especialización de actividades profesionales e industriales ocasiona que dichos requerimientos energéticos sean aún más específicos que en épocas anteriores. Es así como convenios de protección ambientales como el Protocolo de Kioto y la unión de naciones en búsqueda de soluciones a los problemas ocasionados por el calentamiento global, han determinado que de a poco la implementación de medios de eficiencia energética y ahorro sean de mayor extensión en el globo terráqueo.

La problemática bajo este marco macro ya no solamente se centra en la reducción de la dependencia de los combustibles de origen fósil, tal es el caso de la gasolina, el crudo y los gases industriales resultantes de su procesamiento, sino en la reducción de gastos económicos dentro del ámbito administrativo de mantenimiento de las empresas, con el consiguiente abaratamiento de las planillas eléctricas, con la finalidad de ser cada vez más competitivas, y no desperdiciar recursos económicos que pueden ser utilizados en diferentes áreas.

Tal como lo expone (Begoña & Tomé, 2010), “sin embargo, debiera ser evidente que toda política energética debe basarse en conseguir los mismos fines con un menor consumo, y que este menor consumo debe constituir el objetivo más relevante. La satisfacción de la demanda energética debiera ser un objetivo consecutivo al de lograr que ésta sea lo menor posible para el máximo rendimiento social, económico y ambiental.”. (p.5)

Pero si bien es cierto que, como muchos de los autores reclaman que tanto la terminología de ahorro y eficiencia se han utilizado de forma no específica desde un inicio, y pese a que en estos momento la conciencia social sobre la problemática ambiental persistente es más elevada que en tiempos pasados, aún es de difícil extensión la validación y aceptación que tanto el ahorro como la eficiencia energética corresponden a cambios en la sociedad necesarios, cuando anteriormente su conceptualización se veía como un lujo o una metodología de difícil acceso para las generaciones presentes.

Siguiendo con la línea investigativa y antecedentes científicos, en el campo de la meso industria latinoamericana, junto a los retos ambientales que se han venido conllevando por ya un período considerable de tiempo, también se requieren incentivos económicos e inversiones para que dicho cambio tome la dirección perfecta, ya que los conocimientos teóricos no provocan mayor cambio que solo de mentalidad.

Dicho esto, en las fábricas e industrias, las medidas de ahorro y eficiencia son el mejor camino a seguir, siendo parámetro muy relevante para el mejoramiento de sus actividades desde formatos inclusivos de viabilidad, innovación productiva, siendo la mejor solución antes los costos energéticos crecientes, y siendo la carta de respaldo de suficiencia y competitividad próxima en sus respectivos nichos de mercado.

Localizando la problemática en el aspecto micro, específicamente a la recurrente dentro del emplazamiento comprendido por la empresa RS ROTH

S.A., se evidencia un alto consumo continuo de los recurso energéticos convencionales provenientes de fuentes como la red eléctrica nacional (75% de aporte al sistema) y motogeneradores por combustibles (21% de aporte al sistema), cuya utilización representa un alto gasto económico para la empresa, manteniéndose este problema a lo largo del tiempo.

En lo relativo a la utilización de otras metodologías de generación eléctrica, dentro de RS ROTH S.A. solo aplica un 4%, tanto a la aplicación de luz solar fotovoltaica y proyectos iniciales de biomasa, razón que de acuerdo a la visión competitiva de la empresa debe cambiar totalmente.

### **Formulación del problema.**

¿De no existir una fuente alternativa para el suministro de energía eléctrica a la empresa RS ROTH S.A., se seguirá manteniendo un alto consumo de energía eléctrica proveniente del sistema interconectado nacional, además de combustibles de origen fósil, disminuyendo el nivel de competitividad propio de la empresa y manteniendo un alto gasto económico para el presupuesto general de la misma?

### **Objeto de estudio y campo de acción.**

El objeto de estudio y el campo de acción de la investigación se presentan a continuación:

- **Objeto de estudio:**  
Generación eléctrica híbrida por captación eólica y pilas de combustible por electrolización.
- **Campo de acción:**  
Generación de energía alternativa.

## **Justificación y significación.**

El principal interés del presente análisis investigativo de diagnóstico de la generación energética eólica de mediana producción con sistema de cogeneración auxiliar de Pila de Combustible por Electrolizador para la empresa RS ROTH S.A., sector Calderón, provincia de Pichincha, durante el período 2014 – 2015, radica en la comprensión total y aprovechamiento de los medios de energía renovables innovadores, así como su funcionamiento complementario por hibridación.

Dentro de este interés inicial, el apartado investigativo de generación por pila de combustible corresponde a la parte más importante del estudio, por cuanto en la actualidad no existe un amplio desarrollo y maduración de la tecnología en las universidades ecuatorianas, aún cuando a nivel global estos sistemas han obtenido un gran impulso en el campo industrial.

RS ROTH S.A, en búsqueda de competitividad y disminución de gastos económicos innecesarios, busca la implementación de tecnologías con una mayor eficiencia energética, tales como la aerogeneración de mediano alcance, conjuntamente por sus características con medios de cogeneración por pila de combustible.

Mediante el vínculo de ambas tecnología se busca reducir significativamente la utilización de medios fósiles de generación eléctrica, que además provocan otro gran problema para la empresa, la contaminación medio ambiental local y general, conllevando a que muchos de los empleados mantengan una calidad laboral disminuida, tanto por la contaminación del aire circundante, como aquella contaminación sonora que afecta paralelamente a la concentración del grupo laboral.

Las características del emplazamiento donde se encuentra la empresa RS ROTH S.A., facilitarían la implementación de un sistema de cogeneración por captación de un aerogenerador de eje horizontal de mediano alcance,

conjuntamente con tecnología de baja contaminación auditiva como es la producción eléctrica por pila de combustible, con lo que la problemática producida por el alto consumo energético de las fuentes convencionales que se ha venido llevando se reduciría a sus más bajos niveles en años, promoviendo la competitividad que la empresa tanto desea en comparación a la competencia inmediata.

De forma teórica, la conformación del presente proyecto de investigación pretende la recolección exhaustiva y disgregada de información teórica y técnica, así como la revisión profunda de un marco teórico a partir de antecedentes de estructuración bibliográficos previos realizados por la comunidad científica global, y que garantizan de forma completa la confiabilidad y fiabilidad del uso de metodologías e instrumentación.

## **Objetivos.**

### **Objetivo General.**

- Diagnosticar las características de generación energética eólica de mediana producción con sistemas de cogeneración auxiliar de pila de combustible por electrolizador para la empresa RS ROTH S.A., sector Calderón, provincia de Pichincha, durante el período 2014 – 2015, para el diseño de un sistema de suministro eléctrico híbrido eólico – producción energética por pila de combustible.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar una revisión bibliográfica para identificar los estudio teóricos técnicos procedentes a temas investigativos sobre captación y generación eólica, producción energética por pila de combustible y metodologías de acople de tecnologías para hibridación de sistemas energéticos.

- Analizar los medios de captación eólicos (dirección y velocidad del viento, rugosidad y rafagosidad del emplazamiento) correspondientes al sector de Calderón, provincia de Pichincha, durante el año 2014 – 2015.
- Definir las características de demanda energética necesaria para suplir a la edificación de RS ROTH S.A., mediante análisis de consumo continuo que direccionen los lineamientos de requerimientos de un sistema eficiente de pila de combustible por electrolizador.
- Establecer los medios de hibridación para la eficiente cogeneración energética a partir de fuentes eólicas y por medios auxiliares de pila de combustible por electrolizador.
- Estructurar un marco propositivo que solvete la situación problemática, y de paso a la implementación de un sistema de generación híbrido eólico – pila de combustible por electrolizador para la empresa RS ROTH S.A.

### **Hipótesis.**

¿ Si se realiza un diagnóstico actual del medio de captación eólico en el emplazamiento de la empresa RS ROTH S.A., permitirá realizar una propuesta de generación híbrida eólico - pila de combustible por electrolizador para reducción el consumo eléctrico proveniente de fuentes de energía convencionales?

### **Visión epistemológica.**

Dentro de un mundo activo desde una perspectiva productiva, los procesos de producción energética que involucren metodologías con mayor eficiencia, como la captación eólica, de forma conjunta con medios innovadores como las pilas de combustible por electrolización, que si bien es cierto su desarrollo aún no se considera totalmente maduro, su potencial proyección de aplicación aumenta cada vez más en niveles superiores industriales.

La captación de la energía eólica, cuyo medio transportador es el viento, corresponde a un proceso cuya introspectiva ha tenido un amplio recorrido en el campo investigativo, siendo una de las principales soluciones que se aplican dentro de la producción energética que involucra medios renovables no convencionales, más aún la compatibilidad de sus medios productivos con sistemas complementarios aún no es muy clara.

Con base a la premisa anterior, y direccionando la visión epistemológica hacia la utilización de las pilas de combustible como medio innovador dentro del sistema híbrido propuesto, se pronuncia con relativa ocurrencia la utilización de esta tecnología, debido a sus propiedades físicas y químicas, considerándolo como un importante medio de producción energética.

Las pilas de combustible, de forma específica utilizan como principal reactor al Hidrógeno, el mismo que según muchos investigadores es considerado el combustible del futuro. Bajo comprensión de la definición enunciada, se da por efectivo la potencialidad que tiene este elemento dentro de la cadena energética mundial, tomando en cuenta que los combustibles que mueven el mundo en la actualidad no son renovables.

Dentro de la epistemología originaria de la investigación, comparando la utilización del hidrógenos dentro de los medios productivos de las pilas de combustible con respecto a otros combustibles tradicionales, la diferencia más importante a tener en cuenta es que el hidrógeno sólo deja como subproducto de combustión vapor de agua, mientras que los otros producen entre otros contaminantes el dióxido y el monóxido de carbono.

Además, de forma involucrada, su potencial alcance dentro de los medios de gestión de procesos energéticos radica en la posibilidad de obtención del combustible a partir del agua mediante electrólisis utilizando electricidad generador por alguna fuente primaria de energía, enunciado en estos campos la energía eólica, solar, nuclear, etc., por lo que de forma concluyente posee

características compatibles para formar parte de sistemas híbridos complementarios de producción energética.

Por tanto, con base a la conceptualización epistemológica previa, la presente investigación pretende proveer el correcto análisis energético de un sistema de generación híbrido eólico – pila de combustible por electrolizador de mediana producción, destinado específicamente para aplicación dentro del emplazamiento correspondiente a las edificaciones de la empresa RS ROTH S.A., ubicada en el sector Calderón, provincia de Pichincha.

Para poder llegar a la consecución de este fin de estudio se establecen lineamientos teórico – técnicos de apoyo dentro de la captación de energía eólica, y su compatibilidad con la producción por pila de combustible aplicada a medios industriales. El nivel de la investigación añade además el desarrollo comprensivo a través de argumentaciones de apoyo científico, de forma paralela con medios diagnósticos a través de la utilización de instrumentación especializada, el estudio económico de factibilidad, la relación de afección con el medio ambiente, culminando con la determinación cualitativa y cuantitativa del aumento de la eficiencia energética de la empresa, y el nivel de reducción del consumo de la red eléctrica.

### **Factibilidad de la investigación.**

La factibilidad de realización de la presente investigación parte del elevado conocimiento científico, técnico y práctico obtenido durante el período de aprendizaje realizado dentro del pensum de la maestría de gestión de energías impartido por la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). Dentro de este campo específicamente se incluye el manejo de fuentes renovables, como la captación eólica, y además se impulsa la investigación de áreas con mayor grado de innovación y reto metodológico, siendo ejemplificada en la aplicación de las pilas de combustible por electrolización.

De forma paralela al conocimiento técnico científico recabado, el apoyo de la empresa RS ROTH S.A. es fundamental dentro de la factibilidad de desarrollo del presente proyecto investigativo. Dicha empresa, como se verifica dentro de su misión y visión empresarial, permanece en constante actualización de sus instalaciones, proporcionando un alto monto de su presupuesto a la investigación de herramientas de producción energética con sustancial aumento de la eficiencia energética local.

Direccionando el enfoque de su estructuración hacia la evaluación energética, la aplicación de un sistema híbrido es necesario realizar en la medida de la verificación de acoplamiento entre varios sistemas de producción energética con diferentes cualidades de desarrollo.

Por un lado, la captación eólica propone un sistema tecnológico maduro, cuyas proyecciones técnico evolutivas han sido sustanciales a lo largo del tiempo obteniendo una eficiencia y confiabilidad muy alta dentro de los campos industriales, siendo considerada una de las principales soluciones al momento de involucrar las energías renovables.

En el caso de la aplicación de las pilas de combustible, es factible su introducción en medida de su representación actual como escenario energético futuro en el que el hidrógeno se utilizaría para reemplazar los combustibles fósiles. El objetivo principal es la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes asociados a las fuentes primarias actuales además de, tal como lo describen (Cabrera & Azkarate, 2006), contribuir a una mejor utilización de los recursos naturales disponibles localmente, diversificando las fuentes y reduciendo la dependencia energética exterior.

Económicamente hablando, el presente estudio analítico se rige bajo factibilidad tangible propuesta por dos parámetros indicados: costes de hibridación en la compatibilidad tecnológica, y la relación de disminución de la dependencia energética de la red local.

A medida que se desarrolla el estudio de campo, la aplicación de la hibridación debe ser factible económicamente, siendo necesario en este punto estructurar la medida de visualización del valor actual neto, en conjunto con el retorno provisto de la inversión, considerando a todo momento la validez tecnológica en base a la vida útil de las herramientas productivas. La relación de disminución energética proveerá un nivel de factibilidad elevado, mediano o negativo en cuanto se evidencie el nivel de ahorro económico que significaría la aplicación del sistema dentro de las inmediaciones de la empresa RS ROTH S.A.

De forma concluyente, la factibilidad de su aplicación se ve influenciada por la afección directa que se realizaría dentro del medio circundante, sobre todo en la medida de la contaminación visual y auditiva por parte del captador eólico, y la cantidad de contaminación provista por el sistema de pila de combustible.

En el primer caso, la viabilidad de aplicación es positiva por cuanto la afección dentro del emplazamiento es mínima, mientras que en el caso de la pila de combustible, al mantener como producto de la combustión solamente vapor de agua, en comparación con otras tecnologías como la aplicación de combustible fósil, la factibilidad es aún mayor.

### **Fundamentación Legal**

El presente estudio técnico de análisis energético de un sistema de generación híbrida eólico – pila de combustible por electrolizador de mediana producción para la empresa RS ROTH S.A., dentro del ámbito legal se fundamenta bajo denominación de la Constitución de la República, así como la Ley del Régimen del Sector Eléctrico , y el documento “Políticas Energéticas del Ecuador 2008 - 2020”, cuyos extractos organizados por el (Observatorio de Energías Renovables en América Latina y el Caribe, 2011) son presentados a continuación:

## CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

“**Artículo 15.-** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.”

La Constitución de la República del Ecuador en su Art. 314 señala que el Estado será responsable de la provisión de ciertos servicios públicos, entre los que se cita la energía eléctrica. Según el texto constitucional (Art. 315) el Estado constituirá empresas públicas para la prestación de tales servicios.

“**Artículo 413.-** El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua”.

“**Artículo 415.-** El Estado Central y los Gobiernos Autónomos descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano de uso del suelo...Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional de agua y de reducción, reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos.”

## LEY DEL REGIMEN DEL SECTOR ELÉCTRICO

El Art. 2 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE) indica que el Estado es el titular de la propiedad inalienable e imprescriptible de los recursos naturales que permiten la generación de energía eléctrica. Por tanto, solo él, por intermedio del Consejo Nacional de Electricidad como ente público competente, puede concesionar o delegar a otros sectores de la economía la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica.

“**Artículo 63.-** El Estado fomentará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, la banca de desarrollo, las universidades y las instituciones privadas.

El CONELEC asignará con prioridad fondos del FERUM a proyectos de electrificación rural a base de recursos energéticos no convencionales tales como energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras de similares características.”

“**Artículo 64.-** El Consejo Nacional de Electrificación dictará las normas aplicables para el despacho de la electricidad producida con energías no convencionales tendiendo a su aprovechamiento y prioridad”.

“**Artículo 67.-** Exonérese el pago de aranceles, demás impuestos adicionales y gravámenes que afecten a la importación de materiales y equipos no producidos en el país, para la investigación, producción, fabricación e instalación de sistemas destinados a la utilización de energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras previo el informe favorable del CONELEC”.

## **POLÍTICAS ENERGÉTICAS DEL ECUADOR**

“c) impulsar un modelo de desarrollo energético con tecnologías ambientalmente amigables;”

“d) formular y llevar adelante un Plan Energético Nacional, que defina la expansión optimizada del sector en el marco de un desarrollo sostenible;”

“f) promover el desarrollo sustentable de los recursos energéticos e impulsar proyectos con fuentes de generación renovable (hidroeléctrica, geotérmica, solar y eólica) y de nueva generación eléctrica eficiente, incluyendo la nuclear, excluyendo la generación con base en el uso del diesel;”

“n) reducir el consumo de combustibles en el transporte mediante la sustitución por gas natural comprimido – GNC, electricidad y la introducción de tecnologías híbridas.

Adicionalmente, se detallan las políticas para el desarrollo de biocombustibles, fomento del biogás, e impulso y desarrollo de la energía geotérmica”.

# CAPÍTULO I

## MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO.

### 1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.

Los antecedentes de la investigación a mencionar dentro de este apartado son aquellos que tiene estrecha relación con el estudio de implementación de los sistemas por separado, tanto eólico como de generación por pila de combustible. Así, (Cuenca Garrido, 2009) dentro de su proyecto “Diseño e integración de instalación de un sistema de producción de energía eólica”, establece un análisis previo desarrollado para implementación de un sistema de captación de esta tipología dentro de medios industriales similares a los pretendidos dentro del emplazamiento característico de la empresa RS ROTH S.A. (Cuenca Garrido, 2009) además hace un repaso técnico sobre los conocimientos científicos propios de los sistemas eólicos, así como desarrolla una guía de medición y validación de la información recabada bajo ciertos parámetros característicos.

De forma complementaria a los antecedentes investigativos realizados en el campo eólico, desde el punto de vista complementario de la producción energética por pila de combustible, cabe recalcar el proyecto realizado por (Mayandía, 2009) denominado “Descripción y modelado de una pila de combustible de membrana de intercambio protónico”. Si bien es cierto dicho proyecto se encuentra direccionado desde un enfoque más de tipo técnico que de gestión de energías, al estar involucrado el diseño dentro de la generación por pila de combustible, y al ser un tipo de tecnología aún en proceso de maduración y comprensión sobre sus ventajas productivas finales, resulta de gran apoyo agregado para la comprensión inicial del mismo, así como para determinación de la forma de integración dentro de sistemas híbridos de producción energética.

Dentro del campo específico de la hibridación de sistemas eólicos, de forma conjunta con sistemas de generación por pila de combustible, como precedentes investigativos se toma en cuenta tanto la tesis doctoral propuesta por (Segura

Manzano, 2009), denominada “Prototipo experimental de sistema híbrido basado en pila de combustible: diseño, modelado, implementación y testeo”, como el proyecto propuesto por (Romero González, 2015), titulado “diseño de un generador eléctrico mediante hidrógeno eólico y pila de combustible en la ENM”.

En el primer estudio, (Segura Manzano, 2009) realiza un estudio exhaustivo de la aplicación de las pilas de combustible bajo distintas configuraciones de hibridación, sobresaliendo en este punto la compatibilidad con sistemas eólicos y solar fotovoltaicos, agregando además un estudio de diseño y modelado de una pila de combustible especial para sistemas continuos de producción energética en medios industriales.

En el caso de (Romero González, 2015), realiza una simulación de potencia, hidrógeno y energía generada por el sistema híbrido eólico pila de combustible dentro de parámetros teóricos propios, realizando una revisión completa del estado del arte actual sobre dichas tecnologías, conjugando además la aplicación de varios modelos estructurales de los componentes del sistema conjunto.

## **1.2. MARCO TEÓRICO.**

### **1.2.1 Generalidades del recurso energético.**

#### **a. Modelo energético introductorio.**

Actualmente, dentro de una población productiva por excelencia, el debate energético que se origina del modelo introductorio del mismo se basa en la búsqueda continua de distintas opciones de generación eléctrica, y como se va reduciendo la preponderante utilización de los combustibles fósiles en la provisión de esta demanda energética local, regional y nacional.

Tomando palabras textuales de (Begoña & Tomé, 2010), la política que rige el modelo energético introductorio actual debe basarse en conseguir los mismos fines con un menor consumo, y que este menor consumo debe constituir el

objetivo más relevante, con la finalidad de lograr el máximo rendimiento social, económico y ambiental posible.

Bajo esta perspectiva, el modelo energético actual basado en la utilización de los combustibles fósiles de forma paulatina está siendo reemplazado por modelos que proponen un mayor respeto con los recursos que utiliza, y una menor afección con el medio ambiente circundante. En este punto es importante indicar que, las energías renovables representan la mejor forma de obtener energía limpia y respetuosa, sin agotar los recursos naturales del planeta.

Si bien es cierto, la principal preocupación actual de la sociedad en el aspecto energético se direcciona principalmente a los retos y problemas ambientales que proponen la manutención de las fuentes tradicionales de energía, así como la introducción de nuevas metodologías, aún es primordial extender en todo el sentido teórico y técnico los conceptos de ahorro y eficiencia como cambios básicos necesarios.

De acuerdo al informe presentado por (WWF, ECOFYS y OMA, 2011), en el campo de la energía eólica, su impacto ambiental es mínimo si se planea con un grado de sensibilidad elevado. A diferencia de las plantas de generación eléctrica a base de combustibles fósiles y energía nuclear, los aerogeneradores no necesitan de agua para su refrigeración, además que el recurso eólico es totalmente renovable y no causa contaminación ambiental dentro del emplazamiento donde se aplica.

Así como la energía eólica, hay una gran cantidad de fuentes consideradas como energías limpias (renovables o verdes) que presentan una serie de ventajas para su aplicación directa, pudiendo enumerar varias de ellas a continuación (Romero González, 2015):

- Emiten una reducida cantidad o no emiten ningún gas contaminante, ni de efluentes líquidos, gaseosos ni de residuos sólidos.

- Respetan el medio ambiente y su pequeño impacto medio ambiental se produce a escala local.
- Son energías seguras ya que su uso y posibles incidentes en su explotación no implican riesgos ambientales de gran impacto, como lo serían derrames, explosiones, incendios, entre otros.
- No representan un riesgo para la salud de la población, flora y fauna.

En la actualidad, haciendo referencia a lo enunciado por (Romero González, 2015), existen razones por las que las energías renovables adquieren un interesante papel, principalmente en el caso del presente proyecto la energía eólica y la producción eléctrica por pila de combustible, como por ejemplo:

- Hoy en día se sustenta el consumo de energía en base a recursos limitados en su existencia, seguir así supondría llegar a tal punto que no se pueda abastecer a la población de energía y solo las sociedades más enriquecidas podrán acceder a este bien tan solicitado en el presente.
- Potencial fuentes de energía que ahorren combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) para reducir su peso y por lo tanto promover un modelo de desarrollo sostenible, además de ser capaz de suministrar energía mediante fuentes propias del país para lograr una mayor independencia energética del resto de economías.
- Limitar la emisión de gases contaminantes, residuos sólidos y líquidos con potencial de contaminación química y radioactiva (efecto invernadero, acidificación de la atmósfera, destrucción de la capa de ozono, etc.).

De forma concluyente, paralelo a la conciencia de los retos ambientales que representa la inclusión de medios productivos energéticos, el incentivo y decisión empresarial en búsqueda de estas nuevas metodologías resultará fundamental para

el cambio en la dirección correcta. Tal como agrega (Begoña & Tomé, 2010), en el empresa las medidas de ahorro y eficiencia son un camino, muy relevante en muchas actividades, para la mejora de su viabilidad y para la innovación productiva, constituyendo así la mejor defensa ante los crecientes costes de la energía, y la mejor garantía de suficiencia.

#### **b. Concepto y clasificación del recurso energético.**

Bajo la conceptualización de energía se entiende a toda aquella propiedad asociada a los objetos sustancias, y se manifiesta en las transformaciones que ocurren en la naturaleza. Análogamente, el término de energía se designa a todo recurso natural que puede aprovecharse industrialmente a partir de la aplicación de tecnologías y de diversos recursos asociados.

Dentro de la forma básica originaria de la energía, en referencia a lo propuesto por (Silva, 2013), toda la energía procede directa o indirectamente del Sol, con excepción de una pequeña parte, que lo hace del interior de la Tierra y que se manifiesta a través de volcanes, terremotos, géiseres, etc.

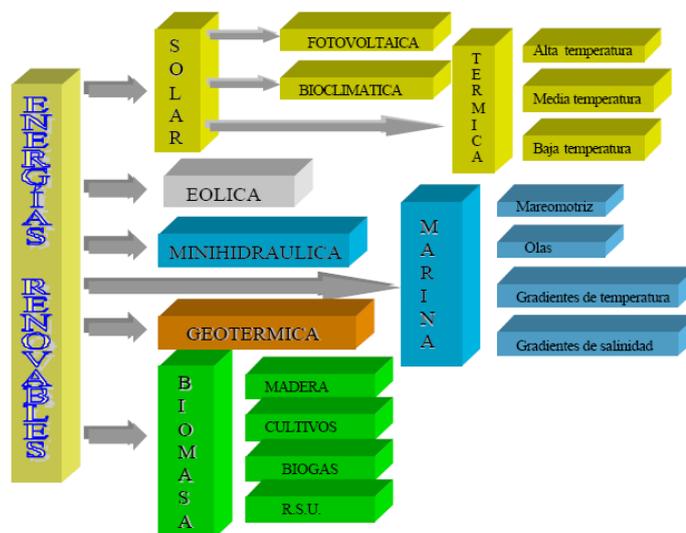
A partir de la comprensión de la terminología representada por recurso energético, las fuentes de origen del mismo pueden ser de dos tipos:

- **Fuentes primarias:** Se encuentran de forma espontánea en la naturaleza, se utilizan de forma directa y se emplean para la producción de energía secundaria.
- **Fuentes secundarias:** Intermediarias transportando la energía del punto de producción al de consumo, sirven como almacenamiento y no se encuentran de forma espontánea en la naturaleza.

Para el caso del presente proyecto investigativo, solamente serán de utilidad los conceptos de fuentes primarias de la energía. En el caso de estas, (Romero González, 2015), las sub clasifica de la siguiente manera:

- **Fuentes no renovables.** Son aquellos recursos formados durante muchos millones de años que permanecen en la Tierra, y que una vez sean consumidos por el hombre no vuelven a regenerarse por lo que su agotamiento es progresivo. Como claro ejemplo se presentan (carbón, petróleo, gas natural, uranio, etc.).
- **Fuentes renovables.** Son recursos que se están continuamente regenerando a una velocidad similar a su consumo por el hombre (energía solar, eólica, biomasa, por electrolización, etc.).

Consecuentemente a la denominación de fuentes renovables, la generación de este tipo de energía se obtiene de varias fuentes naturales, cuya cuantificación en amplia en la naturaleza, y a su vez proveen un campo positivo de reducción de la producción de gases invernadero y contaminantes ambientales. En el gráfico No. 1.1 se presentan los diferentes tipos originarios de energía de tipología renovable.



**Gráfico 1.1. Modelo energético integrado.**

Fuente: (Romero González, 2015)

En definitiva, la aplicación de recursos energéticos de tipología renovables agrega una serie de ventajas, no tan solo de carácter local, sino regional directo e indirecto. De forma similar, (Edenhofer, et al., 2011) indican que históricamente, el desarrollo económico ha estado estrechamente correlacionado con un mayor consumo de energía y aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, y las energías renovables pueden ayudar a romper esa correlación, contribuyendo al desarrollo sostenible. Es así que entre los beneficios de utilización de las energías renovables tenemos:

- Las energías renovables pueden contribuir al desarrollo social y económico.
- Las energías renovables pueden ayudar a conseguir un más rápido acceso a la energía, donde en muchos países en desarrollo, las redes descentralizadas que explotan energías renovables y la incorporación de estas ha mejorado el acceso a la energía.
- Las opciones de la energía renovable pueden contribuir a un suministro de energía más seguro, aunque es necesario tener en cuenta los problemas específicos que plantea la integración.
- El aprovechamiento óptimo de otros beneficios medioambientales importantes, aparte del aminoramiento de las emisiones de gases de efecto invernadero, dependerá de la tecnología, del régimen de gestión y las características del emplazamiento que correspondan a cada proyecto de energía renovable.

### **c. Eficiencia energética.**

Para establecimiento de lo que realmente comprende la eficiencia energética, se debe partir de la determinación que la producción de la energía supone una fuerte presión al medio ambiente, según (Begoña & Tomé, 2010), en términos de

uso de los recursos minerales energéticos, la generación de emisiones y residuos, contaminación del agua, aire y suelo, pérdida de biodiversidad, entre otros.

El modelo actual de producción y oferta energética ha ocasionado que las reservas de combustibles fósiles, lo que provoca un aumento progresivo del precio de las materias primas energéticas, y en gran medida ocasionan la inaccesibilidad al recurso energético en aquellos países en proceso de desarrollo.

Frente a esta situación, la utilización de los conceptos de reducción del consumo de energía, el ahorro y la eficiencia energética tienen una gran importancia dentro de las actividades productivas de la sociedad. Mediante la aplicación de estos lineamientos se colabora directamente con:

- El autoabastecimiento energético de las poblaciones.
- La mitigación del cambio climático.
- La conservación de los recursos naturales y la protección de los seres vivos de la biosfera.
- La reducción de la contaminación atmosférica y la lluvia ácida.
- La minimización de la generación de residuos radioactivos.
- La reducción de la probabilidad de que ocurran catástrofes ambientales y humanas.
- El acceso a la energía de los países empobrecidos y la disminución de las desigualdades.

Conceptualmente, la eficiencia energética se refiere a la cantidad de energía primaria o final consumida para producir una unidad de producto o servicio (doméstico o nacional). Así, según (Begoña & Tomé, 2010), el uso racional y eficiente de los recursos energéticos permite producir un producto o dar un servicio consumiendo menos energía y generando niveles inferiores de contaminación.

De esta forma, llevar a cabo un programa de ahorro y aumento de la eficiencia energética a nivel industrial, produce una serie de beneficios a nivel empresarial sectorial, según (Begoña & Tomé, 2010):

- Optimiza los consumos energéticos y las emisiones por unidad de producción, reduce los costes de producción y mejora la competitividad de la empresa.
- Mejora el conocimiento general de la empresa sobre su perfil energético, permitiendo adaptar su contratación de la energía eléctrica e identificar las opciones de ahorro en función de la rentabilidad.
- Sensibiliza y forma internamente a los trabajadores y trabajadoras en la incorporación del ahorro y la eficiencia como estrategia empresarial.
- Fortalece el compromiso de responsabilidad social corporativa y proporciona confianza a los accionistas, socios y clientes.

Es un hecho que, el ahorro y la eficiencia energética son dos mentalidades que siempre deben ir juntas en todo procesos energético propuesto. En este punto, la eficiencia tecnológica propuesta para la captación energética será un elemento importante para reducir el consumo energético, pero este parámetro no será suficiente si no se reduce en gran medida la demanda final de la energía por parte del complejo industrial.

### **1.2.2. Energía de captación eólica.**

#### **a. Fundamentos de captación eólica.**

Se comprende como energía eólica a aquel tipo de energía primaria renovable cuyo medio transportador es el viento. Tal como lo indican (Mastrángel, Iannini, & González, 2008), una manifestación de las permanentes diferencias de

presiones atmosféricas, que existen en el planeta, es el movimiento del aire que no puede permanecer en reposo y se desplaza prácticamente sin cesar. Las corrientes constituyen los vientos.

Como principal aporte de la energía eólica es que representa un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al ser por predilección el reemplazo a las centrales termoeléctricas a base de combustibles fósiles.

Debido a la dependencia de la radiación solar y a las diferencias de presión a lo largo de todo el planeta, el viento es intermitente y tiene dos patrones principales: el estacional y el diario. (Manzini & Macías, 2004) indican que, el patrón estacional describe la intensidad del viento a lo largo del año, mostrando los meses de menor, media y máxima intensidad. En el otro punto de vista, los patrones diarios de viento, típicos de cada estación, muestran los posibles períodos horarios de déficit o exceso de generación de acuerdo al patrón de demanda eléctrica estacional o diaria respectivamente.

Dentro del aprovechamiento energético provisto por la energía eólica, se indica que para poder aprovechar de manera potencial la energía transmitida por el viento, es necesario que se cumpla como requisito que tenga una variación generalizada mínima y sea la adecuada de acuerdo al tipo de generador.

La aplicación de la energía eólica, propone una serie de ventajas e inconvenientes, los mismos que son enunciados en la tabla No. 1.1.

**Tabla 1.1. Ventajas y desventajas de la energía eólica.**

CUALIDAD	CARACTERÍSTICAS
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de energía limpia, no produce contaminación o alteración directa en el clima del medio ambiente.</li> <li>• No se necesitan grandes extensiones de tierra.</li> <li>• Altas tasas de eficiencia de las turbinas de viento.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La electricidad tiene un rendimiento teórico muy alto (95%).</li> <li>• Funcionamiento continuo de las plantas eólicas (24 horas) a diferencia del resto de tecnologías de aplicación de energías renovables.</li> <li>• Vida media útil de los sistemas de captación que va desde 20 a 25 años.</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas de afección con contaminación visual evidente.</li> <li>• Contaminación auditiva en el caso de aerogeneradores de gran envergadura.</li> <li>• Problemas de aprovechamiento efectivo de la tecnología por variabilidad de la incidencia del viento en una misma dirección y sentido.</li> </ul>

Fuente: (Manzini & Macías, 2004)

### **b. Metodología de producción energética eólica.**

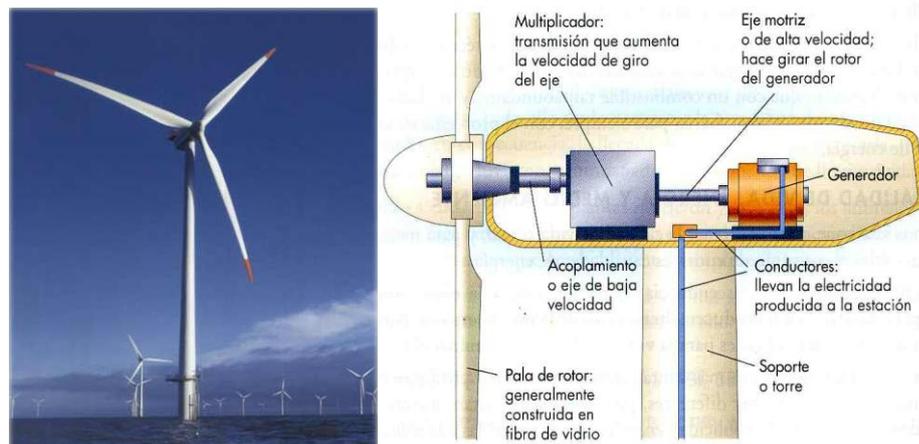
El proceso de captación energético eólico parte de la aplicación de los aerogeneradores, los mismos que son máquinas que transforman la fuerza cinética del viento en electricidad. Según lo establece (MICROM MEXICO, 2006) los aerogeneradores eólicos están diseñados para convertir la energía del movimiento del viento en energía mecánica.

De forma posterior, una vez realizada la transformación energética inicial, los generadores de la turbina convierte la energía mecánica en electricidad, la misma que se puede almacenar en baterías o utilizar de forma directa.

Los principales elementos constructivos de cualquier medio de captación energética del viento se presentan a continuación (Gráfico 1.2):

- Rotor.

- Caja de engranes.
- Generador.
- Equipo de control y monitoreo.
- Torre de captación.



**Gráfico 1.2. Características constructivas generadores eólicos.**

Fuente: (MICROM MEXICO, 2006)

El funcionamiento simplificado de un aerogenerador se basa en las siguientes etapas de flujo de producción:

- El aerogenerador produce electricidad al recibir la fuerza del viento.
- Se envía la energía a un sistema de acumulación donde se almacenará para su uso en el momento indicado.
- Se intercalara un regulador, el cual automatiza y garantiza el correcto funcionamiento del sistema.
- El inversor convierte la corriente continua almacenada en las baterías en alterna a 220V, con lo que puede funcionar cualquier aparato de potencial acorde a la del inversor.

La eficiencia del aerogenerador depende de varias características propias de cada emplazamiento donde se pretenda implementar el sistema, los mismos que son explicados en la tabla No. 1.2.

**Tabla 1.2. Características de influencia en la captación eólica.**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>DIRECCIÓN DEL VIENTO</b>	Las diferencias térmicas, generadas por calentamiento no uniforme en el suelo, originan diferencias de presión entre puntos de la superficie terrestre, la que a su vez está en rotación sobre un eje. Las diferencias de presión provocan aceleraciones del movimiento del aire, inicialmente desde la zona de mayor presión a la de menor, siendo el viento una consecuencia de estas aceleraciones.
<b>CALENTAMIENTO DIFERENCIAL Y CONVECCIÓN</b>	La convección es definida como el transporte de calor de un lugar a otro por medio del traslado de partículas de aire. Cuando dos superficies son calentadas en diferente forma, las mismas transmiten, a su vez en forma diferente, ese calor al aire que se encuentra sobre las
<b>FUERZA DE CORIOLIS</b>	Es la fuerza producida por la rotación de la Tierra en el espacio, que tiende a desviar la trayectoria de los objetos que se desplazan sobre la superficie terrestre; a la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda, en el sur.
<b>GRADIENTE HORIZONTAL DE PRESIÓN</b>	El gradiente horizontal de presiones viene representado en los mapas meteorológicos mediante las isobaras, que son líneas que unen los puntos de igual presión. Otra forma usual de representar las presiones son los mapas de isohipsas. En ellos se representa la altura a la cual se tiene una determinada presión.
<b>RUGOSIDAD DEL TERRENO</b>	La rugosidad de una superficie se determina por el tamaño y distribución de los elementos de rugosidad que contiene. Se evalúa mediante el parámetro denominado

	longitud de rugosidad $z_0$ , que nos da la altura a la cual la velocidad media es cero cuando el viento tiene una variación logarítmica
<b>TURBULENCIA ATMOSFÉRICA</b>	Se considera la turbulencia como la incorporación de todas las fluctuaciones de frecuencias más altas que la variación de la velocidad media.
<b>RAFAGOSIDAD DEL VIENTO</b>	Un aspecto importante a tener en cuenta lo constituyen los valores máximos, rachas o picos de viento que implican variaciones bruscas de esfuerzos dinámicos o estructurales.

Fuente: (Manzini & Macías, 2004), (Amada, 2009), (Romero González, 2015)

Tomando en cuenta la diferencia sustancial que pueda existir en los parámetros influyentes dentro de la captación eólica, debido a la variación dentro de los valores normales establecidos para cada tipo de aerogenerador, la mayoría de turbinas genera electricidad desde que el viento logra una velocidad de entre 3 y 4 metros por segundo, genera una potencia máxima de 15 metros por segundo y se desconecta para prevenir daños cuando hay tormentas con vientos que soplan a velocidades medias superiores a 25 metros por segundo durante un intervalo temporal de 10 minutos.

### c. Clasificación de los sistemas de captación eólicos.

En la actualidad existe una gran variedad de modelo de aerogeneradores, los mismos que se diferencia de acuerdo a la potencia proporcionada, además del número de palas, o por la manera como producen la energía indicada. Siguiendo varios criterios constructivos y de posición, con respecto a la gran variedad de posibles esquematizaciones de captación, a continuación se representa el tipo de captador eólico a ser utilizar con respectos a sus características:

- **Aerogenerador de Eje Horizontal:** son aquellos aerogeneradores de mayor extensión técnica aplicativa, que a diferencia de los anteriores,

aprovechan de mejor manera la proyección del viento. Pueden ser aplicadas a una mayor altura de captación, con la relativa amplitud de la velocidad del viento en este punto.



**Gráfico 1.3. Aerogenerador de eje horizontal.**

Fuente: (Leal, et al, 2002)

- **Aerogeneradores a barlovento:** Son máquinas corriente arriba que mantienen el rotor de captación de cara al viento. Según (Leal, et al, 2002), la principal ventaja de los diseños a barlovento es que se evita el abrigo del viento tras la torre.
- **Aerogeneradores de tres palas:** Son el diseño estándar para la mayoría de aerogeneradores, con el rotor mantenido en la posición a barlovento, usando motores eléctricos en sus mecanismos de orientación.

#### **d. Potencia eólica adquirible.**

La producción de energía eléctrica por parte de los aerogeneradores tiene relación directa con la potencia eólica adquirible dependiente de la interacción de las palas de la torre de captación y la incidencia del viento, transformando como

se indicó previamente la energía cinética en energía de rotación, posterior a energía eléctrica utilizable para el beneficio local.

El término de potencia eólica adquirible, según lo indica (Asea Brown Boverin, 2012), parte del establecimiento de la energía cinética ( $E_c$ ) de una masa de aire que se mueve a una velocidad  $v_1$ , cuya contante viene dada por:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 \quad [\text{Ec. 1}]$$

A partir de la [Ec. 1] se obtiene que la potencia específica disponible para un aerogenerador eólico ( $P_{disp}$ ) de una masa de caudal es:

$$P_{disp} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot v_1^2 \quad [\text{Ec. 2}]$$

Aplicando la ecuación de continuidad, se puede expresar la potencia específica disponible de acuerdo a la siguiente ecuación:

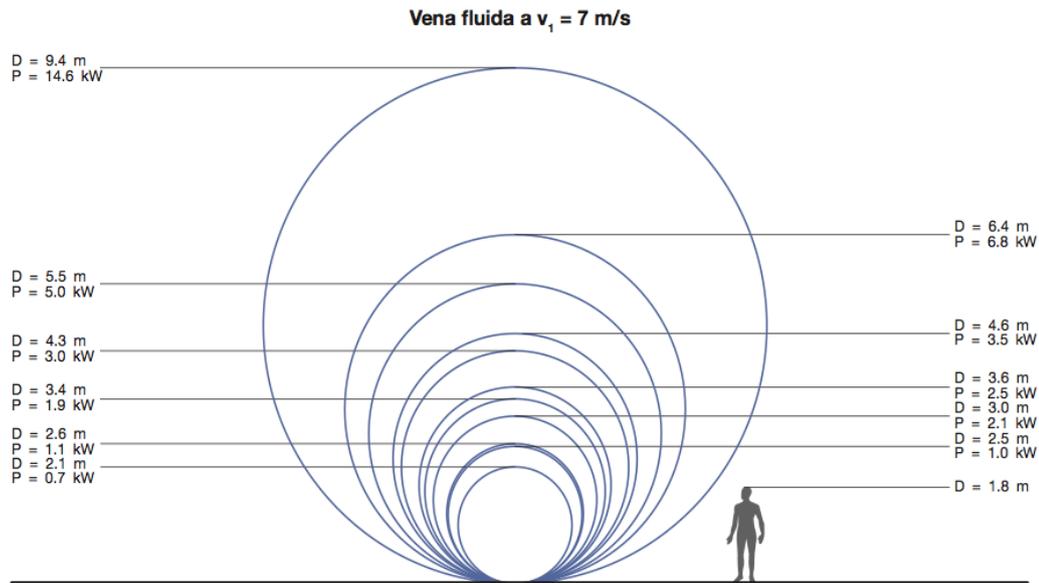
$$P_{disp} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3 \quad [\text{Ec. 3}]$$

donde,

$\rho$  = densidad del aire,

A = sección del tubo de flujo considerado.

Según (Asea Brown Boverin, 2012), como puede observarse la potencia disponible dentro del campo de captación eólica varía con respecto al cubo de la velocidad del viento, concluyéndose así que, con el aumento de dicha velocidad en un solo m/s, la potencia específica adquirible aumentan en un rango entre el 60% y el 70%. A continuación se presente una serie de potencias disponibles de acuerdo al diámetro de captación con una velocidad del viento de 7 m/s.



**Gráfico 1.4. Potencia adquirible de acuerdo al diámetro de captación.**

Fuente: (Asea Brown Boverin, 2012).

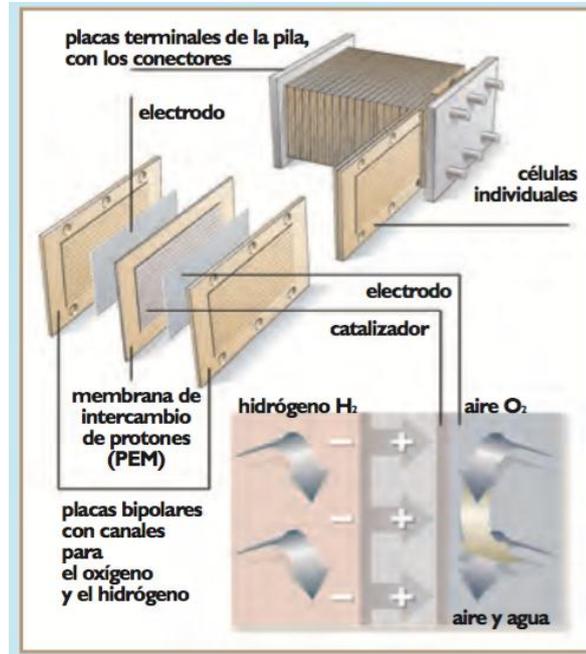
### 1.2.3 Energía de generación por electrolización en pila de combustible.

#### a. Principios y metodologías de captación.

Una pila de combustible es una especie de batería de alta tecnología que convierte la energía química del combustible que la alimenta en energía eléctrica. Pero hay una gran diferencia, según (Asensio, 2008): una batería almacena en su interior la energía química que convierte en electricidad; cuando se termina esa energía química, la batería se tira; o, en el mejor de los casos, se recarga en un largo y tedioso proceso.

La pila de combustible, en cambio, convierte en electricidad la energía química de un combustible que recibe del exterior y es capaz de suministrar energía eléctrica de forma continua mientras se mantenga el aporte de este combustible. Uno de los reactivos de la pila es siempre el oxígeno, que actúa como oxidante en el cátodo y que, dada su disponibilidad en el aire, generalmente no es necesario almacenar. El combustible propiamente dicho es habitualmente el hidrógeno, que

–suministrado de forma directa o a partir del reformado de un primer combustible (metanol o etanol, por ejemplo)– alimenta la pila.



**Gráfico 1.5. Diagrama estructural pila de combustible**

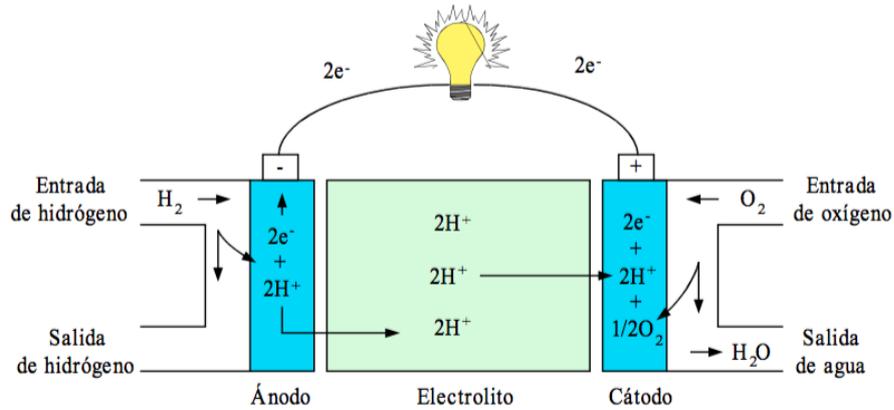
Fuente: (Asensio, 2008)

Una pila de combustible no posee las limitaciones termodinámicas de las máquinas térmicas con ciclo de Carnot cuya eficiencia termodinámica viene determinada por el diferencia de temperatura entre el foco caliente y el foco frío entre los que trabaja la máquina térmica.

Estructuralmente la pila de combustible se compone de dos electrodos, un ánodo y un cátodo separados por un electrolito. Según (Romero González, 2015), el combustible se envía al ánodo, donde ocurre la reacción de oxidación y liberación de electrones al circuito externo. De manera específica, haciendo referencia a lo enunciado por (Segura Manzano, 2009):

*“Las reacciones electroquímicas tienen lugar en los electrodos, produciéndose una corriente eléctrica de carga positiva a través del electrolito y su complementaria (flujo de electrones) a través del circuito externo que se conecte en los extremos de la pila. El único*

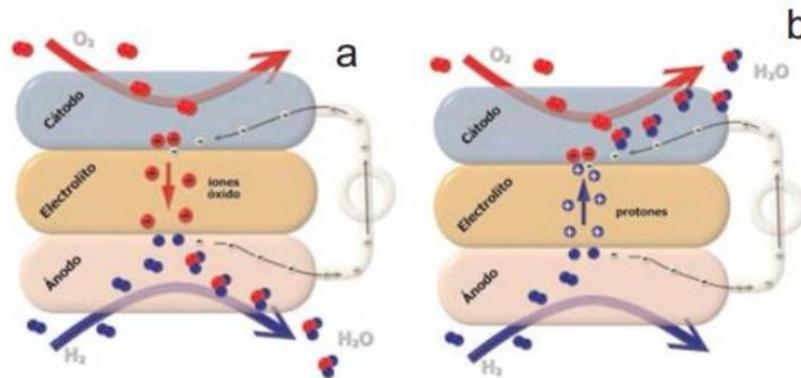
*residuo que se genera es agua pura. Dependiendo de la tecnología utilizada, el combustible puede tratarse de hidrógeno puro, gas natural o metanol.” (p.33)*



**Gráfico 1.6. Esquematación de funcionamiento de la celda de combustible**

Fuente: (Segura Manzano, 2009)

Con base en el gráfico No. 1.6, según (Segura Manzano, 2009) se deduce que el área activa de la celda es la zona que está expuesta a los reactivos, que está en contacto eléctrico con los electrodos, que está en contacto iónico con el electrolito y que contiene una cantidad suficiente de catalizador para que se desencadene la reacción electroquímica.



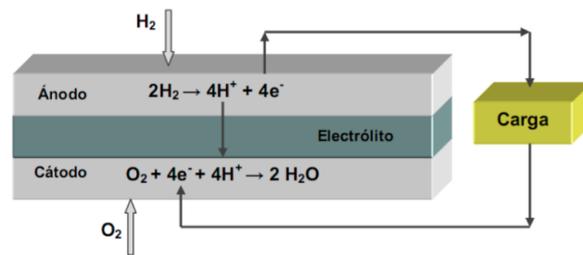
**Gráfico 1.7. Representación de las reacciones de una pila de combustible**

Fuente: (Romero González, 2015)

De forma más simplificada, (Romero González, 2015) indica que lo que sucede es que en el ánodo de una pila de combustible con electrolito ácido, el hidrógeno

gas libera electrones y crea iones H<sup>+</sup> (protones). Esta reacción libera energía. En el cátodo, el oxígeno reacciona con los electrones y los protones del ánodo para formar agua, tal como se ejemplifica en el gráfico No. 1.7.

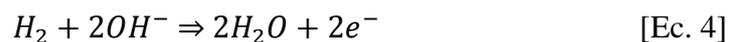
Para la consecución de todas estas reacciones de forma continuada, los electrones producidos en el ánodo deben fluir a través del circuito eléctrico hasta el cátodo mientras que los protones pasan a través del electrolito. (Romero González, 2015) agrega que el electrolito debe permitir el paso de protones pero no de electrones, si estos llegasen a pasar, se perderían. Es así que, el electrolito cuya configuración facilita en mayor medida es aquel formado por una membrana de intercambiadores de protones o electrolito polimérico, donde una membrana polimérica que conduce protones separa el ánodo del cátodo, según se verifica en el gráfico No. 1.8.



**Gráfico 1.8. Reacciones que se producen en la pila de combustible.**

Fuente: (Romero González, 2015)

Dentro de este proceso de producción energética, se sigue una reacción química (Ec. 4) que se produce en el interior de la pila, con hidrógeno y oxígeno que logra obtener corriente eléctrica y vapor de agua.



#### **b. Tipos de pilas de combustible.**

Aunque el funcionamiento de todas las pilas de combustible responde al mismo principio fundamental, entre ellas existen notables diferencias de diseño,

características de operación y potencia. Así, se pueden encontrar desde pilas de 1W que funcionan a temperatura ambiente hasta módulos de 250 kW que operan a 1.000 °C de temperatura.

La clasificación habitual de las pilas de combustible está basada en el tipo de electrolito que utilizan, ya que éste determina características fundamentales de la pila, y, en consecuencia, sus posibles campos de aplicación. Las pilas tipo PEM, de membrana de intercambio de protones, como la utilizada en el presente proyecto, son las que ofrecen mayor flexibilidad y versatilidad. Sus aplicaciones van desde la alimentación de pequeños aparatos portátiles, como radios y ordenadores, con potencias de 1 a 100 w, hasta sistemas de generación doméstica (1 a 5 kW) o residencial - industrial (200 kW), pasando por la alimentación del vehículo eléctrico.

De forma específica comparativa, existen dos agrupaciones clasificatorias de las pilas de combustible, de acuerdo a la temperatura de trabajo con la que funcionan en el proceso de producción energético. De este manera, (Segura Manzano, 2009) indica las características de las pilas de baja temperatura, cuyas cualidades son afines a la integrada dentro del proyecto tiene las siguientes especificaciones:

- **Pilas de baja temperatura:** Trabajan por debajo de 250°C, por tanto no es posible el reformado interno (producción del hidrógeno necesario a partir de otro combustible) en este tipo de pilas y, en consecuencia, necesitan una fuente de hidrógeno externa.

A continuación se presenta en la Tabla No. 1.3. de forma resumida las características, ventajas y desventajas de cada uno de los tipos de pilas de combustible enunciados anteriormente, para la correcta selección de la tipología en cada caso de aplicación.

**Tabla 1.3. Características, ventajas y desventajas. Pila de Membrana Polimérica**

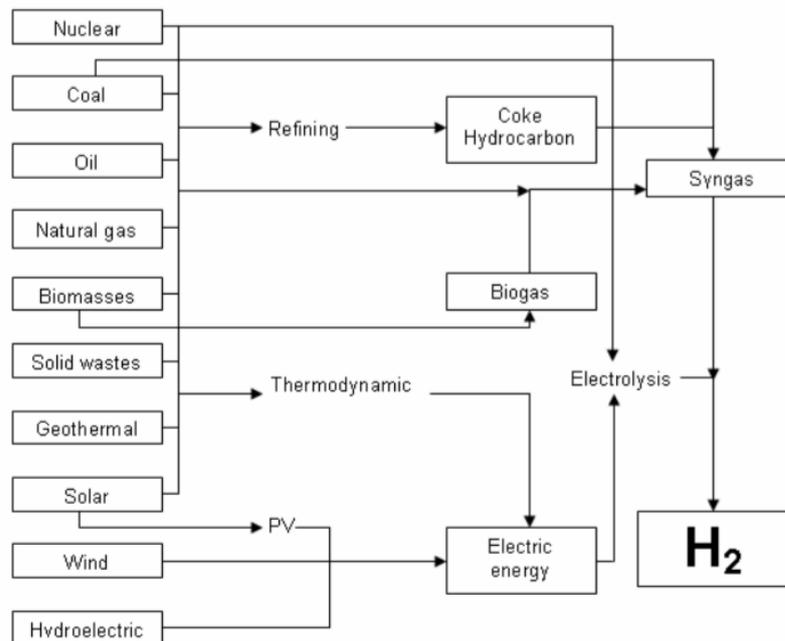
TIPO	CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p><b>Pila de Membrana Polimérica</b></p>	<p>Este sistema está alimentado por hidrógeno generado mediante una mezcla de agua e hidróxido de litio que se almacenaba en botellas. De esta manera, se facilitaba el suministro de combustible en actividades que se desarrollaban en zonas aisladas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manipulación, montaje y hermeticidad tienen menor complejidad.</li> <li>• Emplean un electrolito no corrosivo.</li> <li>• Son tolerantes al <math>CO_2</math></li> <li>• Eliminan la manipulación de líquidos o problemas de reabastecimiento.</li> <li>• Alta tensión, corriente y densidad de potencia.</li> <li>• Trabajan a baja presión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy sensibles a las impurezas del hidrógeno.</li> <li>• No toleran más de 50 ppm de CO.</li> <li>• Necesitan unidades de humidificación de gases reactivos.</li> <li>• Emplean catalizador (platino) y una membrana costosos.</li> </ul>

Fuente: (Segura Manzano, 2009)

### c. El proceso de electrolización.

Si bien es cierto, la eficiencia de las pilas de combustible se basa en su alta producción energética con la producción residual solamente de vapor de agua, hay que considerar las forma de obtención del hidrógeno que se emplea en el medio de transformación energético. De esta forma, en la naturaleza el hidrógeno está siempre en forma enlazada, en compuesto tanto orgánicos como en el agua.

Según (Poggi, Martínez, Pineda, & Caffarel, 2009), el hidrógeno puede producirse de diferentes fuentes, por ejemplo, carbón, gas natural, gas licuado de petróleo, propano, metano, gasolina, diesel ligero, residuo pesado, biomasa seca, biomasa derivada de combustibles líquidos, nuclear así como del agua, tal como se indica en el gráfico No. 1.9



**Gráfico 1.9. Rutas de obtención del Hidrógeno**

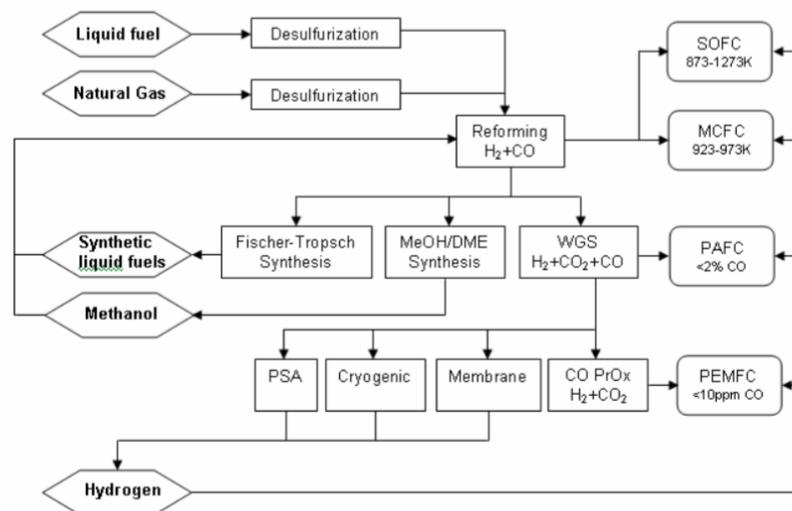
Fuente: (Chen, Duic, Alves, & da Graca, 2007)

En la actualidad la producción del hidrógeno proviene fundamentalmente de combustibles fósiles, donde la capacidad de producción de hidrógeno en las refinerías ha aumentado hasta en un 70% según Petroecuador. En las refinerías el

96% del hidrógeno producido se obtiene a partir de la reformación con vapor de agua (76% gas natural, 20% diesel ligero), mientras que con un 4% se mantiene la oxidación parcial de residuos (coque del petróleo, residuos pesados).

En referencia a la premisa anterior, (Poggi, Martínez, Pineda, & Caffarel, 2009) apuntan que además de la reformación con vapor de agua, la oxidación parcial se considera como una alternativa viable de producción de hidrógeno mediante una distribución descentralizada. En este caso, la distribución descentralizada tendría un fuerte impacto como suministro de hidrógeno en pilas de combustibles para fuentes fijas y móviles, además de otras aplicaciones en turbinas y en tratamiento metalúrgicos.

En el gráfico 1.10 se observa el balance de hidrógeno en las refinerías, bajo la participación de un esquema de producción y obtención del hidrógeno a partir de la producción en refinerías.

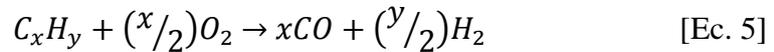


**Gráfico 1.10. Balance de hidrógeno en las refinerías.**

Fuente: (Chen, Duic, Alves, & da Graca, 2007)

La reacción química es bastante compleja, cuando se obtienen directamente del petróleo el cuál contiene cadenas lineales, cadenas ramificadas, compuestos cíclicos y cíclicos complejos. (Poggi, Martínez, Pineda, & Caffarel, 2009) apunta

la ecuación general en un caso ideal y el objetivo del diseño del proceso acorde a la siguiente fórmula:



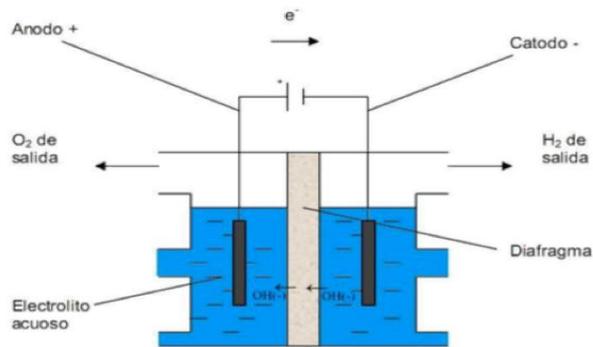
De forma paralela a la obtención a partir de los hidrocarburos, la forma más económica de producción del hidrógeno es la reformación con vapor de agua. Este tipo de reacción endotérmica se lleva a cabo en reformador que contiene tubos de una aleación resistente a temperaturas elevadas cargados con un catalizador a base de níquel, los cuales se colocan en un horno equipado con quemadores en los lados ó en la parte superior.

Con respecto a la obtención mediante electrolización del agua, (Romero González, 2015) muestran la reacción que se produce dentro de este proceso, que viene a decir que con agua y corriente eléctrica se logra separar hidrógeno y oxígeno.



Un electrolizador estructuralmente está conformado por una o varias celdas electrolíticas conectadas entre sí. (Romero González, 2015) añade que los electrodos se encargan de conducir la corriente eléctrica en el electrolito, agua en este caso, para que se produzca correctamente el proceso de la electrólisis, el electrodo positivo se le conoce como ánodo y en su interface de separación con el electrolito se produce una semireacción de la formación de oxígeno gaseoso, y el electrodo negativo se le denomina cátodo y en su interface de separación con el electrolito se produce una semireacción de formación del hidrógeno gaseoso.

Dentro del gráfico No. 1.11, el electrolito se encarga de aportar los iones que se van a encargar de la conducción en el interior de la celda electrolíticas.



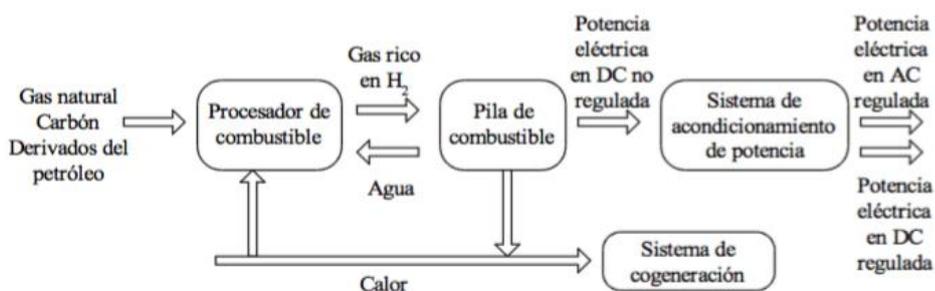
**Gráfico 1.11. Esquema simplificado del electrolizador.**

Fuente: (Romero González, 2015)

**d. Hibridación compatible de sistemas por pila de combustible.**

Debido a la poca maduración de la tecnología comprendida por las pilas de combustible, la dinámica lenta, la necesidad de ignición inicial, la producción de potencia eléctrica en régimen continuo (DC) y el uso solamente de combustibles no convencionales, un sistema de generación eléctrica basado en estos sistema requiere de la integración de otros componentes estructurales agregados para su correcto funcionamiento.

(Segura Manzano, 2009) dispone que, de forma genérica los sistemas de pila de combustible están formados por un procesador de combustible, la propia pila de combustible, un sistema de acondicionamiento de potencia y ocasionalmente, dependiendo de la aplicación, un sistema de cogeneración para el aprovechamiento del calor residual.



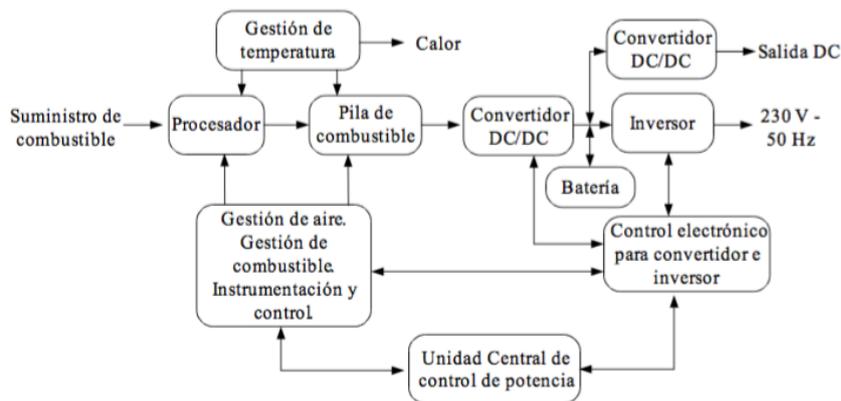
**Gráfico 1.12. Esquema básico de sistema de potencia pila de combustible**

Fuente: (Romero González, 2015)

En el gráfico No. 1.12 se presenta un esquema básico de conexión de la pila de combustible a partir de la utilización originaria complementaria del gas natural, el carbón o derivados del petróleo.

En todos los casos, la utilización de circuitos de acondicionamiento de potencia son imprescindibles, ya que estos permiten el aprovechamiento de la potencia eléctrica generada por la pila de combustible para ser direccionadas a su uso para cargas estacionarias, cargas dinámicas o interfaces de prestación de servicios de suministro eléctrico. En este punto los circuitos de potencia (Gráfico 1.13), presentan las siguientes soluciones de desarrollo:

- Sistemas de pila de combustible para el suministro ininterrumpido de potencia conectado de forma local.
- Sistema de pila de combustible alimentando una carga funcionando en paralelo con la red eléctrica general.
- Sistema de pila de combustible conectado directamente a la red eléctrica general.
- Sistema de pila de combustible aplicado a un sistema de automoción.



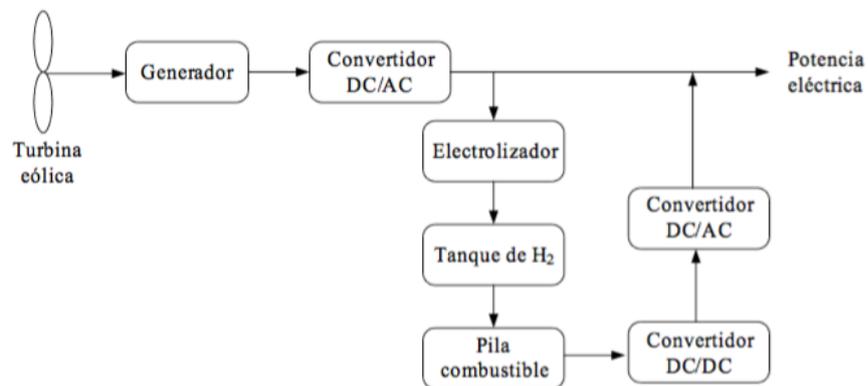
**Gráfico 1.13. Flujo de producción sistema pila de combustible cargas aisladas**

Fuente: (Segura Manzano, 2009)

Dentro del caso específico de un sistema híbrido de pila de combustible – turbina eólica, el planteamiento auxiliar complementario permite solventar uno de

los grandes problemas de la energía eólica, su intermitencia. Tal como asegura (Segura Manzano, 2009), la potencia generada por la turbina se emplea para alimentar la carga y también para producir, mediante electrolisis, el hidrógeno necesario para la pila de combustible.

A través de este tipo de hibridación, se conforma un suministro continuo de carga, ya que el vacío productivo presentado por la energía eólica lo suple eficientemente la pila de combustible. (Romero González, 2015) complementa esta percepción indicando que, al tener la energía almacenada en forma de hidrógeno, se reduce el número de baterías que se necesitan para almacenar la energía respecto a las que necesita un sistema eólico convencional, tal como se visualiza en el gráfico No. 1.14.



**Gráfico 1.14. Hibridación captación eólica – pila de combustible.**

Fuente: (Romero González, 2015)

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **2.1. Modalidades de la investigación.**

Las modalidades de la investigación constituyen el camino más idóneo y accesible en orden para llegar al descubrimiento de conocimientos objetivos, seguros y confiables que permitirán abordar el proceso de recolección y análisis de información de acuerdo a la problemática anteriormente analizada.

La modalidad de partida de la investigación es a través del método hipotético – deductivo que permite el planteamiento de la hipótesis o preguntas directrices que se pueden analizar deductiva o inductivamente, y que posteriormente se comprueban de forma experimental, es decir que a través de la aplicación originaria de esta modalidad se busca que la parte teórica no pierda su sentido, por ello la teoría se relaciona posteriormente con la realidad.

De forma general, el estudio sobre el uso y las aplicaciones de las energías alternativas en medios industriales se basan en un análisis CUALITATIVO de todos los parámetros que tienen que ver con el aprovechamiento de las energías renovables en emplazamientos industriales, como el representado por la empresa RS ROTH S.A.

Estas energías propuestas para el presente caso son de tipo eólica y de origen químico por procesos de electrolización, a más de la información documental existente en la red se deberán realizar investigaciones de campo ( mediciones ) que permitan conocer si las condiciones ambientales del sitio de ubicación del proyecto son óptimas para el desarrollo de esta alternativa de generación eléctrica.

De forma complementaria a la modalidad propuesta por el método hipotético – deductivo, se aplica la observación científica como punto de partida del conocimiento del problema y el objeto de la investigación, ya que mediante la

aplicación de este método se puede estudiar el transcurrir normal y natural del fenómeno correspondiente al origen energético identificado, sin alteraciones de las condiciones correspondientes al emplazamiento de selección y medida. En este punto la observación configura la base de conocimiento de toda ciencia y al mismo tiempo, provoca la generalización del conocimiento por procedimientos empíricos.

Finalmente, con la misma importancia que el resto de modalidades aplicativas de la investigación se aplica la medición, considerada como la atribución de valores numéricos a las propiedades de los fenómenos que el investigador pretende caracterizar en todos los puntos del proyecto, siendo primordial en este caso la caracterización del fenómeno eólico y de electrolización por pila de combustible especialmente. Dentro de este campo hay que poner especial atención en el objeto de la investigación y la propiedad que se va a medir, la unidad y el instrumento de medición.

## **2.2. Tipo de investigación.**

Concluida la selección de la modalidad de la investigación, dentro del área específica del tipo investigativo del proyecto para la estructuración del presente análisis teórico técnico del potencia de captación eólico y de producción energética por electrolización – pila de combustible, se procede a la aplicación de los siguientes tipos de investigación:

- **Investigación Bibliográfica.** Este tipo de investigación permitió la comprensión del fenómeno sobre el cual se origina la problemática a partir de una recolección de información desarrollada sobre el tema. En el caso presente, el tema de energías renovables tiene una amplitud considerable en el caso de la captación eólica, basada en la madurez del entendimiento procedimental específico, mientras que en el caso de la electrolización es menor, además de existir una serie de documentos a nivel nacional e

internacional, que en conjunto con datos técnicos ayudarán a la puesta en marcha del proyecto.

- **Estudio exploratorio.** Correspondiente a la análisis de campo, a través de este tipo investigativo se obtuvieron mediciones de los parámetros de las energías alternativas a implantar en el medio comercial e industrial de la empresa RS Roth, además de proveer un medio de diagnóstico del problema, recabando resultados que permiten determinar las alternativas de solución relacionadas directamente en el ahorro de consumo de electricidad de tipo industrial. Finalmente este estudio fue base para establecer el nivel de introducción de medios de producción energéticos híbridos de sistemas de captación eólicos, conjuntamente con sistemas de producción por electrolización por pila de combustible.

Cabe resaltar que, según se enunció dentro del enfoque epistemológico, en la actualidad dentro de un mundo globalizado se mantiene una búsqueda constante de implementación de medios de producción energéticos menos destructivos con el planeta, fomentando el crecimiento y establecimiento de ideas innovadores de investigación teórico – técnicas.

De esta forma, la presente investigación provee el punto de partida hacia la introducción de medios de hibridación innovadores de producción energética, a partir de la obtención de información procedente de un estudio piloto originario, que secundaría la información necesaria para la generalización de este tipo de sistemas en medios productivos de mediano alcance con características similares a las correspondientes a la empresa RS Roth.

### **2.3. Alcance de la investigación.**

El alcance de la investigación viene medido por el aporte de tipo residencial industrial para poder satisfacer las necesidades de un emplazamiento de mediano y gran envergadura como el propuesto para la empresa RS ROTH S.A., además de

poder establecer un punto de partida para la inclusión de nuevas metodologías de generación dentro de las actividades productivas propias de la empresa, ya que al dedicarse a la venta y renta de grupos de cogeneración por uso de combustible, al poder comprender los sistemas híbridos los puede aplicar dentro de las necesidades específicas de sus clientes, ampliando su gama de servicios.

De tal forma, dentro del alcance la investigación se añade el objeto de estudio y campo de acción de la misma, enunciados a continuación:

**Objeto de estudio:** Potencial eólico con sistema de cogeneración auxiliar de pila de combustible por electrolizador.

**Campo de acción:** Eficiencia energética.

## **2.4. Unidad de Estudio Sectorial.**

### **2.4.1. Estudio Característico Zonal.**

La región correspondiente a la zona centro del Ecuador, donde se encuentra ubicado el emplazamiento correspondiente a la empresa RS Roth, en la parroquia Calderón, provincia de Pichincha, geográficamente posee una diversidad de pisos climáticos y ecosistemas de congruencia de vientos que van hasta los 2696 m.s.n.m, con un 22% de su territorio con limitaciones topográficas, especialmente en los flancos de la cordillera andina. Tal como lo describe la (Dirección de Gestión de Desarrollo Comunitario e Inclusión Social de Calderón, 2012), el sector de Calderón mantiene las siguientes características sectoriales:

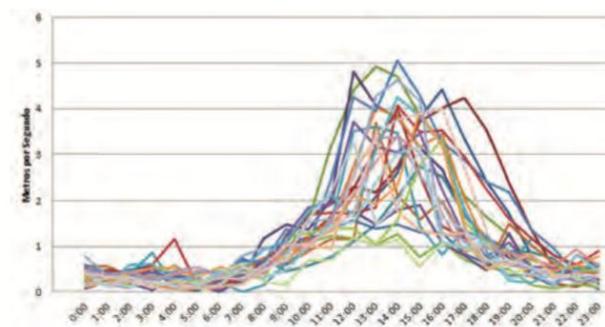
- Su temperatura fluctúa entre los 5°C a 26°C, con precipitaciones entre 300mm y los 450mm.
- En cuanto a generación eléctrica, la región circundante a Calderón está conformada por 8 centrales, entre hidroeléctricas, térmicas, termoeléctricas

y un excelente potencial para la captación de energía eólica de pequeño y mediano alcance, así como la producción de biogás y captación geotérmica de muy baja entalpía.

- Posee un considerable sector industrial y de servicios financieros, lo que le agrega valor a la producción nacional. Se complementa este aspecto con la capacidad de transporte y logística instalada.

Cabe mencionar que, tal como lo señala la (Dirección de Gestión de Desarrollo Comunitario e Inclusión Social de Calderón, 2012), entre las potencialidades que mantiene la región destaca el potencial energético con proyectos estratégicos nacionales (Toachi-Pilatón 253 MW y Sistemas Integrado Guayallabamba 1650 MW), inclusive la eólica de forma conjunta con la generación energética por manejo de desechos orgánicos o biomasa (biocombustibles de segunda generación).

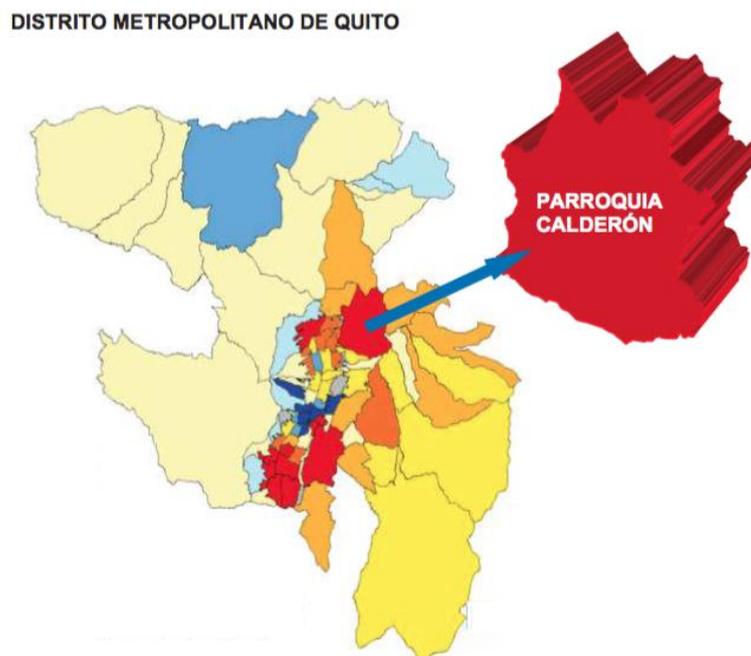
En relación al potencial eólico de la región, con base en el estudio realizado por (Franco, 2014), las mediciones de velocidad anual del viento obtenidas de la central de medida en Calderón ( $0^{\circ} 6'S$ ,  $78^{\circ} 25' O$ , 2680 m.s.n.m.) presentan valores promedio entre los 3 m/s y los 5 m/s, siendo los horarios de mayor prospección de captación entre las 11h00 y las 16h00. Cabe recalcar que fuera de este rango de horario tiene una reducción de velocidad en ocasiones llegando hasta 1 m/s, como se presencia en el gráfico No. 2.1.



**Gráfico 2.1. Rango de producción por horario de captación eólica**

Fuente: (Franco, 2014)

La parroquia Calderón se encuentra ubicada en el centro mismo de la Provincia de Pichincha, al Nordeste del Distrito Metropolitano de Quito a corta distancia de la línea equinoccial, a una altura ya indicada de 2696 m.s.n.m., donde la distribución territorial y ubicación geográfica de la parroquia se encuentra expuesta en el Gráfico No. 2.2. La meseta de Guangiltagua acoge a la población de Calderón, con un clima templado y seco por preferencia, sobresaliendo los meses de producción eólica entre los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre comparado con el resto de meses del año.



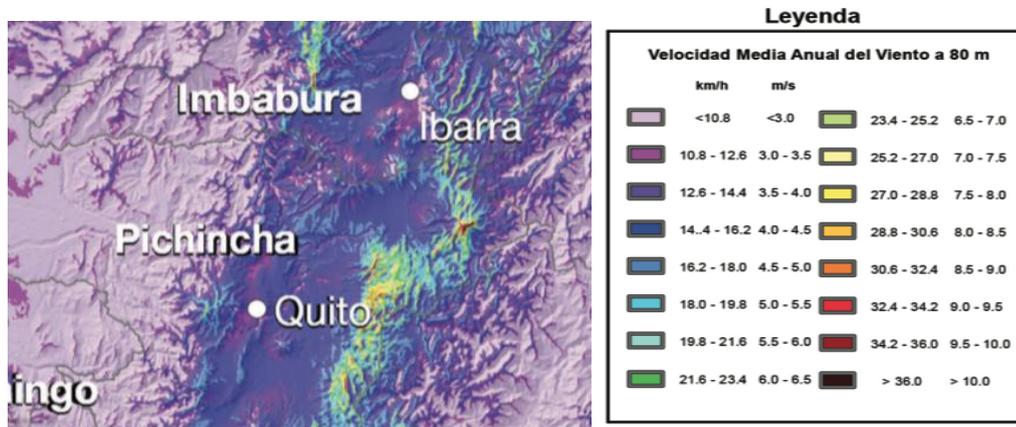
**Gráfico 2.2. Ubicación Geográfica de la parroquia Calderón.**

Fuente: (Dirección de Gestión de Desarrollo Comunitario e Inclusión Social de Calderón, 2012)

#### **2.4.2. Factores de influencia.**

De acuerdo a información provista por el (MEER, 2008), en la zona de la provincia de Pichincha, especialmente el sector de Calderón tiene una mayor disposición de los rangos de velocidad entre los 3 y 5 m/s con un área de

influencia de 5,23 km<sup>2</sup>, y un potencial factible a corto plazo del 65% en el rango entre los 7 y 7,5 m/s, tal como se verifica en el gráfico No. 2.3.



**Gráfico 2.3. Velocidad media anual del viento a 30 m de altura.**

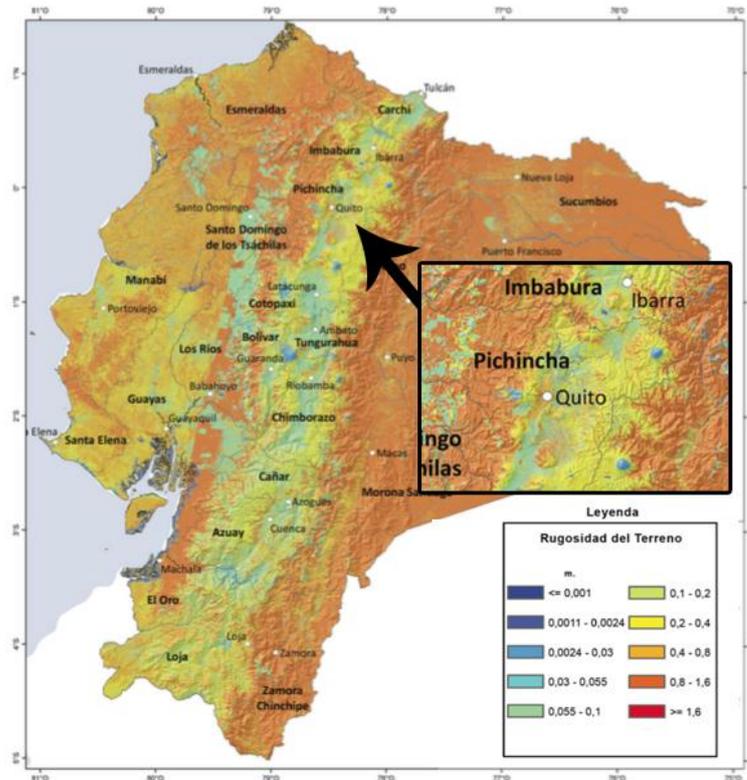
Fuente: (MEER, 2008)

Dentro del análisis de factores de influencia para la captación energética de origen eólico para la parroquia Calderón, provincia de Pichincha, los principales factores de afección son la pendiente del terreno y la rugosidad del terreno circundante al emplazamiento correspondiente al utilizado por la empresa RS Roth.

Tal como lo indica (Amada J. , 2009), la rugosidad del terreno se determina por el tamaño y distribución específica de los elementos de rugosidad que se contienen dentro del lugar seleccionado para la captación. La rugosidad del terreno se evalúa mediante el establecimiento del valor de longitud de rugosidad  $z_0$ , que provee la especificación sobre la altura a la cual la velocidad media es cero cuando el viento tiene una variación logarítmica con la altura.

Según se plasma en el atlas eólico del Ecuador, desarrollado por (MEER, 2008), el sector de Calderón tiene una rugosidad entre un rango de 0,1 y 0,2 m., lo que tomando en cuenta que se especifica para un proyecto de captación de pequeño y mediano alcance, da una buena denominación de energía eólica,

considerando en gran medida la altura, para la presencia de buena cantidad de ráfagas de vientos de un orden productivo considerable.

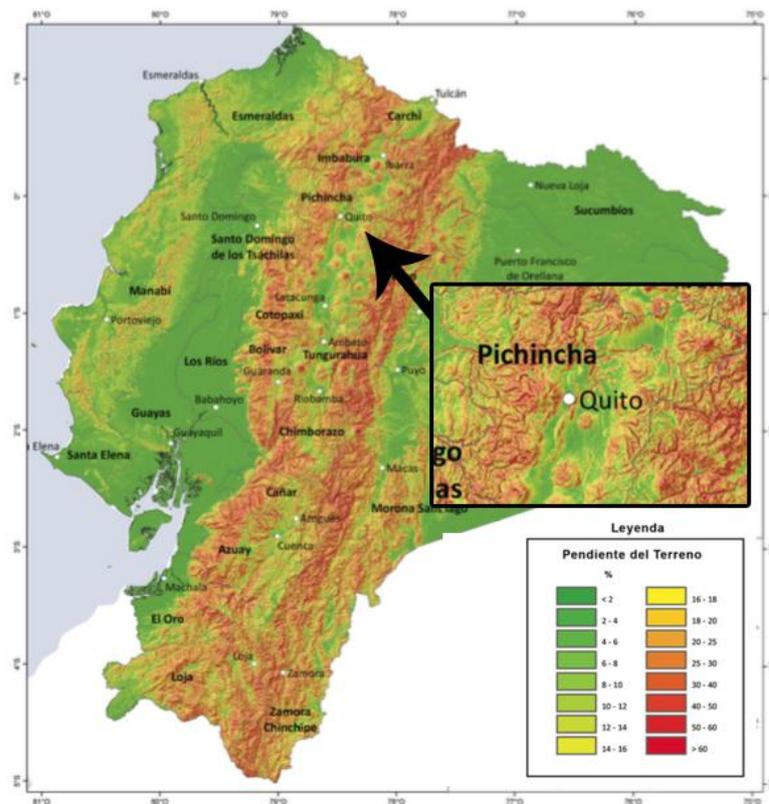


**Gráfico 2.4. Rugosidad de la parroquia Calderón.**

Fuente: (MEER, 2008)

Complementario al nivel de rugosidad de la parroquia Calderón, el porcentaje de pendiente sobre el terreno donde se realiza el proceso de medición mediante instrumentación específica es de 2% – 4%, según se recoge información por parte de (MEER, 2008).

En el sector existen además zonas aledañas al área específica con una pendiente de 4% - 6% y un máximo de pendiente en sectores del 14% - 16%, influenciando en gran medida el nivel de captación, la turbulencia generada y la presencia de rafagosidad del viento como prospecto de medios de protección del sistema. El porcentaje de pendiente se visualiza en el gráfico No. 2.5..



**Gráfico 2.5. Pendiente del terreno - parroquia Calderón.**

Fuente: (MEER, 2008)

El factor de influencia existente dentro del campo de la electrolización tiene directa relación con el nivel de producción obtenido por la captación energética por medio eólicos, por cuanto para la aplicación de los procesos de electrolización, es requerido la participación porcentual de la electricidad obtenida del aerogenerador. En este punto es importante identificar los medios de producción de hidrógeno a partir del uso de Energía Renovable, tal como hace referencia (Posso & Sánchez, 2014) en información recogida en la Tabla No. 2.1.

**Tabla 2.1. Factores de influencia de la tecnología de electrolización**

TECNOLOGÍA	MATERIA PRIMA	EFICIENCIA (%)	DESARROLLO TECNOLÓGICO
Gasificación	Biomasa	35 - 50	Comercial
Fotólisis	Luz + agua	0,5	Largo plazo
Fermentación oscura	Biomasa + luz	0,1	Largo plazo

Foto Fermentación	Biomasa + luz	0,1	Largo plazo
Electrólisis microbiana	Biomasa + electricidad	78	Largo plazo
Electrólisis alcalina	Agua + electricidad	50 – 60	Comercial
Electrólisis PEM	Agua + electricidad	55 – 70	Corto plazo
Electrólisis óxido sólido	Agua + calor + electricidad	40 – 60	Mediano plazo
Rompimiento termoquímico	Agua + calor	Nd	Largo plazo
Rompimiento foto electroquímico	Agua + luz	12	Largo plazo

Fuente: (Posso & Sánchez, 2014)

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

### 2.4.3. Población y Muestra.

La población y muestra está contemplada en las inmediaciones de la empresa RS Roth, parroquia Calderón, provincia de Pichincha, durante los meses comprendidos entre Agosto del 2014 y Enero del 2015, considerando como antecedentes de especificación características de las cualidades eólicas del emplazamiento para el rango de tiempo entre Febrero y Julio del 2014 como símiles a las medidas por el investigador dentro del emplazamiento, según lo indica el mapa eólico del Ecuador completando así el año requerido para cumplimentación del estudio de campo. Todo este seguimiento de mediciones de la población y muestra se realiza según criterios establecidos por medio de análisis de expertos, información técnica propuesta por CELEC, metodologías aplicadas para esta tipología de investigaciones por el MEER y el Instituto Nacional de Energías Renovables, incluyendo además conceptos de instrumentación y medición propios del grupo de investigación interno de RS Roth, se realizaron 24 mediciones diarias, 7 días a la semana.

Los horarios de medición mantienen una diferencia de regularidad unos a otros, centrándose especialmente en los antecedentes pronunciados por (Franco, 2014), quien indico que las horas de mayor proyección de captación eólica en el sector de Calderón se encuentra en el rango entre las 11h00 y las 16h00, siendo el resto de horarios complementarios para verificar la naturaleza anterior y posterior del viento a este rango horario.

#### **2.4.4. Criterios de validación de mediciones.**

Tal como se indicó en el apartado anterior, la validación de las mediciones realizada se realizará por medio de análisis de expertos, información técnica propuesta por CELEC, metodologías aplicadas para esta tipología de investigaciones por el MEER y el Instituto Nacional de Energías Renovables, incluyendo además conceptos de instrumentación y medición propios del grupo de investigación interno de RS Roth, los mismos que toman en consideración los siguientes aspectos:

- Parámetros del tipo de suelo.
- Áreas verdes protegidas aledañas.
- Distancia a la zona productiva de la empresa por ubicación.
- Accesos viales al medio productivo.
- Nivel de contaminación acústica, visual y de interferencia por vibraciones.
- Influencia de medios de afección externos, como la presencia de obstáculos, irregularidad en la rugosidad y medios productivos eólicos conjuntos.
- Otros factores de influencia directa.

Todos estos factores de influencia a ser considerados se encuentran desarrollados exhaustivamente en el documento “Guidelines on Climate Metadata and Homogenization”, WCDMD, Volumen No. 53, expuestos por la Organización Meteorológica Mundial OMM (2003), entre cuyos puntos de mayor importancia se encuentran:

- Medioambiente local.
- Exposición de la instrumentación al fenómeno.
- Tipo de instrumentación a utilizarse.
- Elementos de afección meteorológicos.
- Correcto desenvolvimiento del parámetro de lectura por el observador.
- Ajustes de homogenización y criterios de ingeniería propios del investigador.

## **2.5. Determinación y operacionalización de variables.**

Las variables son aquellos factores que constituyen el núcleo del problema; estos factores ya fueron identificados, explicados y analizados en el desarrollo de la fundamentación teórica. Partiendo de esta consideración, además de observar la necesidad de identificación, ordenamiento y fundamentación conceptual complementario a la recolección bibliográfica expuesta, a continuación se definen las variables del presente proyecto de investigación partiendo de la denominación de las preguntas directrices propuestas para la solución del problema, descritas a continuación:

- ¿De qué forma se puede realizar una hibridación de generación por fuentes eólicas y de producción mediante electrolización en pilas de combustible?
- ¿Mediante la aplicación de esta tecnología, dentro de un estudio económico como se abaratarían los precios de consumo de energía?
- ¿Qué tipo de energías renovables de tipo eólicas y de generación por pila de combustible son las más adecuadas para aplicaciones autónomas?
- ¿Qué se necesita conocer antes de diseñar un sistema de suministro eléctrico usando la energía eólica y de generación por electrolización?

### **2.5.1. Determinación de la variable dependiente.**

Como su nombre lo indica, son características de la realidad que se ven determinadas o que dependen del valor que asumen otros fenómenos o variables independientes para el tema de investigación la variable dependiente sería. **“REDUCCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO”.**

Para hacer medible la variable **“REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL SISTEMA INTERCONECTADO”** es necesario guiarse por las siguientes preguntas directrices

- ¿De qué forma se puede realizar una hibridación de generación por fuentes eólicas y de producción mediante electrolización en pilas de combustible?
- ¿Mediante la aplicación de esta tecnología, dentro de un estudio económico como se abaratarían los precios de consumo de energía?

### **2.5.2. Determinación de la variable independiente.**

En investigación se denomina variable independiente, aquella que es manipulada por el investigador en un experimento con el objeto de estudiar como incide sobre la expresión de la variable dependiente que en este caso sería. **“SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDA EÓLICA – PILA DE COMBUSTIBLE.”**

La variable independiente **“SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDA EÓLICA – PILA DE COMBUSTIBLE.”** responde a las siguientes preguntas directrices :

- ¿Qué tipo de energías renovables de tipo eólicas y de generación por pila de combustible son las más adecuadas para aplicaciones autónomas?

- ¿Qué se necesita conocer previamente antes de diseñar un sistema de suministro eléctrico usando la energía eólica y de generación por electroización?

El análisis de la variable independiente es más del tipo bibliográfico donde se analizaran aspectos relacionados al uso de energías renovables en el Ecuador, usos de estas energías en proyectos residenciales e industriales, limitaciones en la implementación de dichas tecnologías, entre otros aspectos.

### **2.5.3. Operacionalización de las variables.**

Identificadas las variables, tanto dependiente e independiente, se presenta la necesidad que dichas variables sean medibles en toda su extensión, además de ser cuantificables, y clasificables, por lo que en este punto es importante realizar el proceso de operacionalización de las variables como medio de garantía hacia la consecución de los objetivos planteados. En este proceso, las variables son expuestas a sus técnicas y metodologías propias de investigación, así como los medios de recolección de información, quedando detallada dicha operacionalización de acuerdo a la tabla No. 2.2 y tabla No. 2.3.

**Tabla 2.2. Cuadro de operacionalización de la variable dependiente.**

<b>VARIABLE</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>TÉCNICAS</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
<b><u>Dependiente</u> Reducción del consumo de energía eléctrica del sistema interconectado</b>	Se define a la reducción del consumo de energía eléctrica del sistema interconectado a la disminución del gasto total de energía para un proceso determinado, puesto que en la medida en que se reduce el consumo de energía es cada vez mayor la eficiencia energética y la reducción del uso de medios combustibles con su respectivo ahorro económico.	Tratamiento de datos de captación eólica	Dirección del viento, velocidad del viento, rafagosidad y rugosidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación.</li> <li>• Medición.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medidor eólico</li> <li>• Data Logger eólico</li> </ul>
		Tratamiento de datos de generación por electrolización en pilas de combustible.	Producción eléctrica	• Medición.	• Medidor de producción eléctrico
			Electrolización	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación.</li> <li>• Medición.</li> </ul>	• Observación por pruebas internas
		Demanda energética promedio.	Potencia eléctrica requerida (Wh/día)	• Observación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planillas eléctricas.</li> <li>• Voltímetro.</li> <li>• Amperímetro.</li> </ul>

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

**Tabla 2.3. Cuadro de operacionalización de la variable independiente.**

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
<b><u>Independiente</u></b> <b>Sistema de generación híbrida eólica – pila de combustible.</b>	<p>La energía eólica es la que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad, para lo cual hace uso de los aerogeneradores.</p> <p>La producción por electrólisis obedece a producir electricidad de una fuente externa de combustible y de oxígeno u otro agente oxidante en contraposición a la capacidad limitada de almacenamiento de energía que posee una batería.</p>	Generalidades de la Energía Renovables	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo energético</li> <li>• Clasificación</li> <li>• Eficiencia Energética</li> </ul>	Investigación Bibliográfica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión bibliográfica.</li> <li>• Investigación por medios gráficos y virtuales.</li> <li>• Internet.</li> <li>• Publicaciones y antecedentes científicos.</li> </ul>
		Energía de captación eólica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orígenes de captación.</li> <li>• Aplicabilidad</li> <li>• Metodología</li> <li>• Sistemas de captación.</li> </ul>		
		Energía de generación por electrólisis en pila de combustible.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Principios y metodologías.</li> <li>• Tipos de pilas</li> <li>• Parámetros de dimensionamiento</li> </ul>		

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

## **2.6. Parametrización de selección y análisis de información.**

### **2.6.1. Parámetros de medición potencial de captación eólica.**

Dentro de la medición potencial de captación eólica, los principales parámetros de obtención y análisis de información parten de información técnica expuesta por (Mattio & Tilca, 2009), quienes inicialmente se aseguran de la calidad de la medición propuesta. Así los investigadores proponen la reducción de la influencia de agentes externos y la incertidumbre por medio de los siguientes puntos a considerar:

- Asegurar que todos los datos se tomaron dentro de las especificaciones ambientales determinadas para cada instrumentos. Estas especificaciones son: temperatura ambiente de funcionamiento, fuente de voltaje, dilatación de las herramientas, resistencia a ráfagas de aire, etc.
- Descartar la influencia mecánica física externa que afecte la medición, como es la presencia de taludes, obstáculos de influencia temporal, interferencias electrónicas externas, entre otros.
- Asegurar que todas las condiciones de medición son las indicadas para el funcionamiento de la instrumentación, incluyendo condiciones meteorológicas favorables, nivel de incidencia de viento aceptable, entre otros.
- Realizar un procedimiento de reducción de la incertidumbre, mediante el aseguramiento de la trazabilidad del instrumento de medición, así como la correcta calibración y mantenimiento favorables del equipo en medios físicos con características ambientales indicadas.

(Mattio & Tilca, 2009) en el último punto enunciado hacen referencia a la reducción de la incertidumbre, por lo que para disminuir las incertezas en el

proceso de medición establecen una serie de consideraciones dentro de la instrumentación de medición del parámetro eólico, dejando en claro que solamente son de carácter orientativo, más si el investigador interpreta la necesidad de otras medidas que ayuden a la obtención de información puede también incluirlas:

- Calibración en estado estable (1.0%; 5%).
- Posible cambio en la calibración (0.2%; 3.0%).
- Efectos de inclinación del flujo en la calibración. (0.2%; 1.5%).
- Probable sobre-velocidad debido a la dinámica del instrumento (0.2%; 1.0%).
- Distorsión del flujo debido al mástil (0.5%; 2.0%).
- Distorsión del flujo debido al brazo (0.5%; 2.0%).
- Distorsión del flujo debido a abrazaderas y otras protuberancias (0.1%; 2.0%).
- Asimetría del flujo incidente sobre el anemómetro (0.2%; 2.0%).
- Incertezas en el sistema de instrumentación (0.2%; 1.0%).

Adicional a la información técnica agregada por (Mattio & Tilca, 2009), (Castro, et al., 2008) agregar otros parámetros de medición de la naturaleza del viento, cuyos requerimientos operacionales se detallan a continuación:

- El rango operacional para las observaciones de velocidad del viento y dirección dadas por el OMM son: la velocidad promedio del viento (0 – 70 m/s), las ráfagas del viento (5 – 75 m/s).
- La dirección del viento:  $>0$  y  $\leq 360$  grados.
- Resolución requerida en la observación del viento está basada en el informe de meteorología sinóptica con: dirección del viento (10 grados), medida de velocidad del viento (0,5 m/s) y ráfagas (1 m/s).
- La exactitud requerida de acuerdo con las regulaciones de la OMM debe ser: dirección del viento ( $\pm 5$  grados), la media velocidad del viento ( $\pm 5$  m/s para  $\leq 5$  m/s,  $\pm 10\%$  para  $> 5$  m/s), las ráfagas ( $\pm 10\%$ ).

Dentro de las indicaciones propuestas por (Castro, et al., 2008), aquella de mayor relevancia se trata sobre el muestreo automático donde de forma literal expresan que: Se registran los promedios de velocidad del viento, velocidad vectorial, dirección y desviación estándar de la dirección cada 30 minutos debido a la solicitud de los investigadores con el corte diario a las 7:00 am. También se almacena la máxima ráfaga o velocidad máxima del viento con la hora correspondiente a que ocurrió durante un periodo de 24 horas cortando igual a las 7:00 am.

Uno de los parámetros principales a considerar dentro del rendimiento del sistema eólico dentro de la ubicación de un emplazamiento específico es la medida de la potencia eólica media aprovechable.

Teniendo como punto de origen que la máxima potencia mecánica aprovechada del viento viene determinada por la relación que mantiene con la densidad del aire en el emplazamiento ( $\rho$ ), el área de barrido del rotor ( $A$ ), la velocidad promedio del viento ( $v$ ), el factor máximo de capacidad de captación eólica tomado de las palas ( $C_p$ ) y la eficiencia del rotor ( $\eta$ ), se mantendría una fórmula de obtención de la potencia eólica media aprovechable del viento de la siguiente manera:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \cdot \eta \quad [\text{Ec. 7}]$$

### **2.6.2. Parámetros de determinación de potencial de producción energética por electrolización – pila de combustible.**

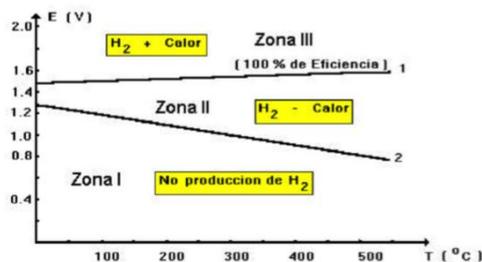
En búsqueda de obtener un proceso de producción energética por electrolización – pila de combustible, al ser dependiente de la captación de la energía eólica a través del viento, y que dicha producción sea la más eficiente posible, deben reducirse las pérdidas de energía así como el costo total del equipamiento.

Según lo indica (García, 2012), esto puede conseguirse de 2 maneras:

- Reduciendo lo más posible el voltaje total de la celda para minimizar el consumo de energía eléctrica, que es el principal componente en el costo de producción,
- Aumentando la densidad de corriente por encima de los valores normales utilizados en los electrolizadores convencionales, y de este modo bajar el costo de la inversión, que es proporcional al área de los electrodos.

En orden para que ocurra la electrólisis es necesario proponer un potencial ( $E$ ) superior al potencial termodinámico ( $E_t$ ), es decir existe una barrera energética que es necesaria salvar o superar para que el proceso ocurra y su valor pueda calcularse perfectamente a partir de consideraciones termodinámicas en condiciones reversibles.

Haciendo referencia a lo indicado por (García, 2012), en el gráfico No. 2.6. se presenta el valor de  $E$  en función de la temperatura, donde se señalan 3 zonas delimitadas por las líneas 1 y 2. En la zona I, por debajo de la línea 2, no ocurre la electrólisis, o seas , que no se puede producir hidrógeno porque la línea 2 define los valores de  $E_t$  para diferentes temperatura y por debajo de este valor, según medios de la termodinámica, el proceso no puede ocurrir. (García, 2012) añade que en la zona II, limitada por las líneas 1 y 2, sí ocurre la electrólisis, pero este proceso es endotérmico, o seas, absorbe calor, por esta razón la producción de hidrógeno ocurre a expensas de la energía eléctrica suministrada y de la energía térmica (calor) que toma el sistema del medio ambiente.



**Gráfico 2.6. Características de la producción de H<sub>2</sub> por electrólización**

Fuente: (García, 2012)

(García, 2012) concluye además que, existe una zona adicional, la Zona III, formada desde la líneas 1 hacia arriba, donde también ocurrirá la electrólisis, pero el sistema se comporta de forma que desprende calor, por lo que es considerado un proceso exotérmico. En este caso la energía eléctrica suministrada se emplea en producir hidrógeno, pero parte también se transforma en energía térmica, lo que origina que la solución se caliente, es decir aumente su temperatura durante el proceso.

Debido a estas características, dentro del gráfico de producción de hidrógeno por electrólisis (ver gráfico No. 2.6.), la línea 1 representa los valores de E donde no ocurre intercambio calórico, o seas, el sistema ni absorbe ni desprende calor, por lo que se conoce este límite como el límite de potencial termoneutral (E<sub>tn</sub>).

## **2.7. Técnicas e instrumentos de la investigación.**

### **2.7.1. Técnicas e instrumentos.**

De forma directa para la estructuración del presente análisis teórico investigativo del potencial de captación de energía eólica, y producción energética mediante electrolización – pila de combustible, en forma relacionada con las modalidades de la investigación, y basándose en la operacionalización de las variables tanto dependiente como independiente, se aplican las siguientes técnicas e instrumentos de la investigación:

- **Investigación bibliográfica.** Comprende la recopilación de datos, publicaciones, investigaciones etc., que estén relacionados con el uso de energías alternativas para aplicaciones que tenga relación directa con la hibridación de sistemas eólicos y de producción por electrolización. Los instrumentos a utilizar en esta investigación son sitios de Internet, tesis relacionadas al tema, publicaciones en revistas de ciencias, manuales de fabricantes etc.

- **Investigación de campo.** Medición de parámetros característico en el emplazamiento correspondiente a la empresa RS ROTH S.A., en el sector Calderón, provincia de Pichincha, a la cual se aplicara el uso de energías renovables como por ejemplo mediciones de incidencia de la energía eólica en el lugar con mejor disposición de captación, medición de la velocidad del viento a diferentes horas del día, medición de temperaturas ambientales, medición de consumos eléctricos en la empresa, entre otros parámetros, es decir todas aquellas mediciones necesarias para la elaboración de la propuesta de diseño de un sistema de generación híbrida mediante la aplicación de los dos sistemas anteriormente señalados.
- **Tratamiento de información por medición e instrumentación.** La presente técnica investigativa aplicada corresponde a todo el proceso de obtención, análisis, clasificación, disgregación y validación de la información obtenida mediante uso de la instrumentación, tanto en el ambiente eólico como de producción energética por electrolización – pila de combustible. En este apartado se especifica el uso de instrumentación bajo de una serie de parámetros, siendo indicado el uso de un medidor de características eólicas, data logger eólico, herramientas de caracterización del ambiente del viento circundante, medidores de producción por electrolización, multímetros de medición eléctrica, entre otros.

### **2.7.2. Parámetros indicados de selección de instrumentos.**

Indicadas las tres técnicas de la investigación que se aplican, es necesario adicionalmente especificar los parámetros indicados de cada uno de los instrumentos de la investigación que se van a utilizar, en orden de presentación característica cualitativa de cada uno de ellos dentro de la recolección de la información en el estudio de campo propuesto. En la tabla No. 2.4. se detallan cada una de las técnicas, con sus respectivos instrumentos, definición de los mismos y aplicación dentro de la investigación.

**Tabla 2.4. Técnicas e instrumentos de la investigación.**

<b>TÉCNICA</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>APLICACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN</b>
<b>Investigación bibliográfica</b>	<b>Revisión bibliográfica</b>	Repaso de información técnica investigativa recopilada previamente bajo medios de estudio realizados y presentados.	Estructura el marco de conceptualización teórico inicial, en orden hacia la resolución de una problemática observada.
	<b>Medios audiovisuales</b>	Recolección de información gráfica, de audio y en video para aclaración de los conceptos identificados dentro de la revisión bibliográfica previa.	Formalización un conjunto de diapositivas y gráficos de aclaración de los medios de producción energético, así como su relación en el proceso de hibridación.
	<b>Antecedentes científicos.</b>	Corresponden a investigación específicas previas relacionadas con el campo de acción, las mismas que pueden tener una influencia directa con el desarrollo actual.	Los antecedentes investigativos proveen un marco de ubicación dentro del ámbito científico propio del diseño, con conjunción de ideas y factores obtenidos previamente.
<b>Investigación de campo, medición e instrumentación</b>	<b>Veleta de viento</b>	Instrumento de medición de la distribución de velocidades del viento (m/s).	Permite la identificación del nivel de captación que se podría alcanzar con respecto a la velocidad del viento.
	<b>Data Logger solar eólico</b>	Dispositivo electrónico de seguimiento y almacenamiento continuo de información	Lleva un registro automático de información recabada, tomando en cuenta los parámetros de

		recibida por medidores eólicos y de medición del viento.	medición seleccionados y los horarios de seguimiento de valores captados.
	<b>Anemómetro</b>	El anemómetro o anemógrafo es un aparato meteorológico que se usa para la predicción del clima y, específicamente, para medir la velocidad del viento.	Dispositivo complementario a la veleta de viento, provee información sobre la velocidad del viento, registrada posteriormente en el Data Logger.
	<b>Barómetro</b>	Un barómetro es un instrumento que mide la presión atmosférica. La presión atmosférica es el peso por unidad de superficie ejercida por la atmósfera.	Instrumento que permite identificar las características del ambiente atmosférico, ayuda a la reducción de incertidumbre en la medida, y caracterización del ambiente.
	<b>Bases de datos sobre rugosidad y pendiente del terreno</b>	Tanto el (MEER, 2008) como el Instituto de Energía Renovable INER mantienen una base de datos sobre rugosidad y pendiente del terreno de gran utilidad.	El uso de base de datos se aplica en la denominación de datos cuya variación no es amplia y se puede utilizar en la mayoría de casos para especificar razones de influencia.
	<b>Planillas eléctricas</b>	Medios informativos de consumo eléctrico, donde además se toma en cuenta la tarifa que se aplica al medio industrial.	La información por planillas permite contextualizar el ahorro respecto a la cantidad monetaria gastada por consumo eléctrico.
	<b>Voltímetro</b>	Medidor electrónico del recurso de voltaje eléctrico de un medio.	Mide la cantidad de voltaje requerido por los puntos de consumo dentro de la edificación.

	<b>Multímetro Industrial</b>	Medidor electrónico del recurso de características eléctricas del sistema.	Instrumento de caracterización para medios de conexión y oferta energética por el sistema.
--	------------------------------	--	--

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

## **CAPÍTULO III**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **3.1. Tratamiento de información por captación eólica.**

Una vez determinado el marco metodológico de aplicación, obtención y clasificación de la información dentro de la investigación, mediante el uso de la instrumentación establecida se prosigue con la medición de los parámetros iniciales dentro de la captación eólica correspondiente, tomando en cuenta que se generaría a partir de un proporcional de ella el hidrógeno necesario para la producción de energía dentro de la pila de combustible anexa al sistema.

La medición del parámetro eólico se lo realizó durante un rango de tiempo establecido entre los meses de Agosto del año 2014 y Enero del año 2015, tal como se indica en la población y muestra de medición, tomando en cuenta además desde un inicio y durante todo el proceso de medición la trazabilidad de los instrumentos de medición, minimizando efectivamente la participación de la incertidumbre y la afección de las medidas por errores de medición humanos.

##### **3.1.1. Parametrización inicial.**

Los parámetros iniciales a tomar en cuenta dentro del tratamiento de la información por captación eólica en el emplazamiento correspondiente al sector de Calderón, provincia de Pichincha, en las inmediaciones de la empresa RS Roth S.A. durante el periodo 2014 – 2015 fueron:

- La ubicación del grupo de medida se estableció sobre el punto más alto de medición de la edificación física de la empresa RS Roth S.A. donde el valor de captación del viento es mayor, aún con presencia de obstrucciones físicas aledañas y medios de interferencia dentro de la proyección de velocidad y dirección del viento.

- Se inició el proceso de caracterización del fenómeno en el emplazamiento a partir del registro de vientos detallado por el mapa eólico del Ecuador, dentro del rango de los meses de Febrero y Julio del 2015, a partir del cual en el espacio de tiempo de 6 meses entre Agosto del 2015 y Enero del 2016 se realizaría el estudio de recolección y registro de datos dentro de las inmediaciones del emplazamiento, completando así un año completo de la caracterización del fenómeno eólico. Este año contabilizado es considerado un parámetro normalizado común dentro del establecimiento eólico de características.
  
- Se realizaron un total de 4416 medidas, repartidas de la siguiente manera: Agosto 2014 (744 medidas), Septiembre 2014 (720 medidas), Octubre 2014 (744 medidas), Noviembre 2014 (720 medidas), Diciembre (744 medidas), Diciembre (744 medidas) y Enero (744 medidas). La cantidad de medidas diarias fueron de 24 unidades, a razón de una medida cada hora, donde se registró la velocidad y la dirección del viento en la ubicación del grupo de medida.
  
- La medición dentro del emplazamiento está validada de acuerdo a análisis de expertos, información técnica propuesta por CELEC, metodologías aplicadas para esta tipología de investigaciones por el MEER y el Instituto Nacional de Energías Renovables, incluyendo además conceptos de instrumentación y medición propios del grupo de investigación interno de RS Roth, los mismos que toman en consideración los siguientes aspectos:
  - Parámetros del tipo de suelo.
  - Áreas verdes protegidas aledañas.
  - Distancia a la zona productiva de la empresa por ubicación.
  - Accesos viales al medio productivo.
  - Nivel de contaminación acústica, visual y de interferencia por vibraciones.

- Influencia de medios de afección externos, como la presencia de obstáculos, irregularidad en la rugosidad y medios productivos eólicos conjuntos.
- Otros factores de influencia directa.

Todos estos factores de influencia a ser considerados se encuentran desarrollados exhaustivamente en el documento “Guidelines on Climate Metadata and Homogenization”, WCDMD, Volumen No. 53, expuestos por la Organización Meteorológica Mundial OMM (2003), entre cuyos puntos de mayor importancia se encuentran:

- Medioambiente local.
  - Exposición de la instrumentación al fenómeno.
  - Tipo de instrumentación a utilizarse.
  - Elementos de afección meteorológicos.
  - Correcto desenvolvimiento del parámetro de lectura por el observador.
  - Ajustes de homogenización y criterios de ingeniería propios del investigador.
- Además de estos parámetros iniciales, se tomó en cuenta efectos de influencia externa de tipo temporal, como las interferencias por situaciones climatológicas adversas, interferencias producidas por vibraciones y radiofrecuencia proveniente de la maquinaria utilizada dentro del establecimiento, errores de factor humano, y la incertidumbre y exactitud de la medición por problemas de medición aleatorios.

### **3.1.2. Incertidumbre y exactitud de la medición.**

Como se indicó en el último punto de la parametrización inicial, uno de los aspectos principales a considerar es la incertidumbre y exactitud de la medición del parámetro eólico, el mismo que se obtiene de la medida estadística de aceptación de las medidas de forma porcentual, con indicación adicional de

aquellas medidas que fueron influenciadas por agentes de tipo externos, y las medidas que en su totalidad son consideradas como no válidas o desechadas por efectos de interferencia vibratoria y climatológica adversa, detallados dentro de la tabla No. 3.1.

**Tabla 3.1. Estadística de incertidumbre y exactitud de la medición.**

<b>ESTUDIO PROBABILÍSTICO DE EXACTITUD DE LA MEDICIÓN EÓLICA</b>						
	<b>ago-14</b>	<b>sept-14</b>	<b>oct-14</b>	<b>nov-14</b>	<b>dic-14</b>	<b>ene-15</b>
<b>TOTAL MEDICIONES</b>	744	720	744	720	744	744
<b>MEDICIONES VÁLIDAS</b>	720	705	716	694	721	724
<b>PORCENTAJE VÁLIDO</b>	96,77%	97,92%	96,24%	96,39%	96,91%	97,31%
<b>MEDICIONES INFLUENCIADAS</b>	11	9	18	21	15	13
<b>PORCENTAJE INFLUENCIADO</b>	1,48%	1,25%	2,42%	2,92%	2,02%	1,75%
<b>MEDICIONES NO VÁLIDAS</b>	13	6	10	5	8	7
<b>PORCENTAJE NO VÁLIDO</b>	1,75%	0,83%	1,34%	0,69%	1,08%	0,94%
<b>TOTAL</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

Como se observa en la tabla 3.1., existe un alto porcentaje de mediciones consideradas como válidas, con un rango existente entre el 96,24% y el 97,92% porcentual, debido en gran medida a la utilización de equipos de medida eólicos con una trazabilidad de calibración conservada, la mínima participación de observación humana, llevando el registro continuamente el data logger eólico, además de una medida reducida de la incertidumbre e influencia de elementos externos.

En cuanto a las medidas consideradas como influenciadas por elementos externos, y aquellas directamente establecidas como no válidas, se mantiene una media porcentual en el primer caso de 1,97% de todas las medidas, y en el último

caso del 1,11%, que garantizan y validan de forma secundaria el proceso de medición realizado.

### 3.1.3. Distribución de velocidades.

La determinación característica del recurso eólico está compuesta inicialmente por la medición y obtención específica de la distribución de velocidades en el emplazamiento, las mismas que tendrán después una relación específica con la especificación de las direcciones. Al estar indicadas aproximadamente 4416 medidas en todo el rango de aplicación del estudio de campo, dentro de la presente documentación solamente se especifican tablas con promedios referenciales por hora, día, tal como se verifica en la tabla no. 3.2, quedando expuesto en su totalidad la cantidad de medidas en el anexo No. 1.

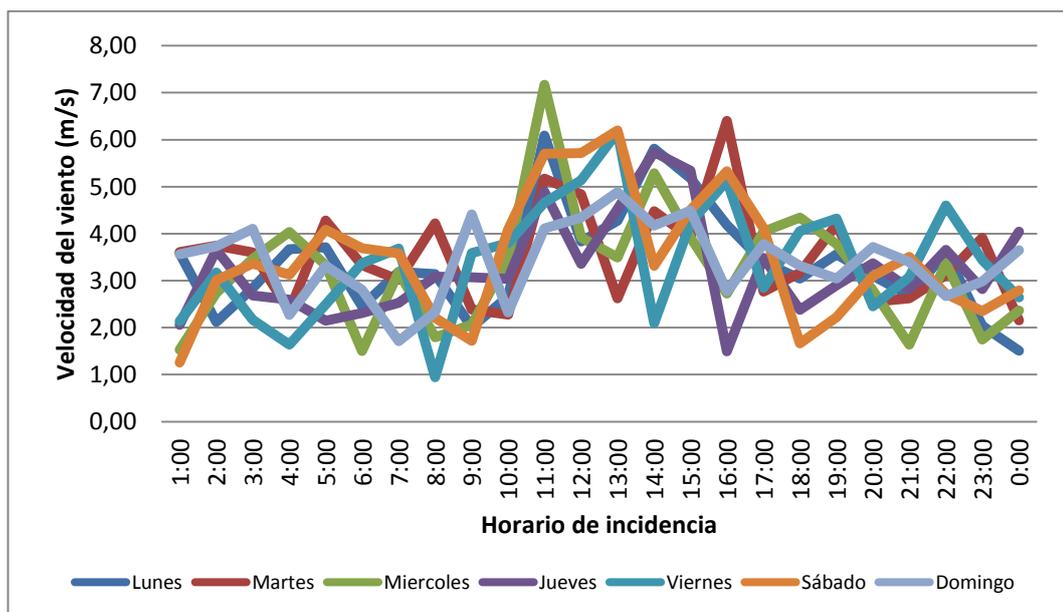
**Tabla 3.2. Distribución de velocidades Agosto - 2014**

CAPTACIÓN EÓLICA AEROGENERADOR EJE HORIZONTAL - Medición diaria promedio							
AGOSTO - 2014 (en m/s)							
HORARIO	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
01:00	3,58	3,61	1,53	2,06	2,13	1,26	3,56
02:00	2,12	3,74	2,74	3,66	3,18	3,01	3,73
03:00	2,84	3,60	3,46	2,68	2,17	3,37	4,11
04:00	3,67	2,35	4,04	2,60	1,64	3,13	2,27
05:00	3,71	4,28	3,33	2,15	2,49	4,08	3,32
06:00	2,45	3,33	1,50	2,31	3,37	3,69	2,81
07:00	3,19	3,02	3,19	2,53	3,69	3,58	1,72
08:00	3,14	4,22	1,79	3,09	0,95	2,21	2,33
09:00	2,01	2,39	2,07	3,07	3,59	1,72	4,41
10:00	2,67	2,28	3,46	3,04	3,80	4,09	2,33
11:00	6,09	5,18	7,17	4,89	4,66	5,70	4,11
12:00	3,84	4,84	3,92	3,36	5,13	5,72	4,34
13:00	4,28	2,62	3,50	4,52	6,16	6,20	4,89
14:00	5,81	4,48	5,28	5,73	2,09	3,32	4,17
15:00	5,18	3,92	3,92	5,34	4,24	4,50	4,49
16:00	4,18	6,40	2,72	1,50	5,13	5,33	2,78
17:00	3,39	2,77	4,04	3,48	2,85	4,12	3,78
18:00	3,05	3,17	4,35	2,38	4,06	1,67	3,32
19:00	3,56	4,20	3,78	2,90	4,32	2,22	3,04

20:00	3,11	2,55	2,79	3,37	2,45	3,10	3,72
21:00	2,68	2,62	1,64	2,83	3,08	3,51	3,40
22:00	3,61	3,12	3,38	3,66	4,60	2,72	2,67
23:00	2,04	3,91	1,75	2,82	3,44	2,35	2,98
00:00	1,51	2,16	2,36	4,05	2,64	2,79	3,65

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

En el mes de Agosto que es cuando se inicia el registro de la información, se verifica el rango de mayor producción, tal como lo indicó (Franco, 2014), entre las 11:00 y las 16:00, con valores mínimos de 1,5 m/s y máximos de 7,17 m/s promedio respectivamente. La cantidad proyectada de captación eólica es debido en gran parte a las condiciones climatológicas favorables, además de que de por sí el mes propone una gran variación de nivel de velocidad del viento. La proyección de velocidades queda expuesta dentro del gráfico No. 3.1.



**Gráfico 3.1. Distribución de velocidades Agosto - 2014**

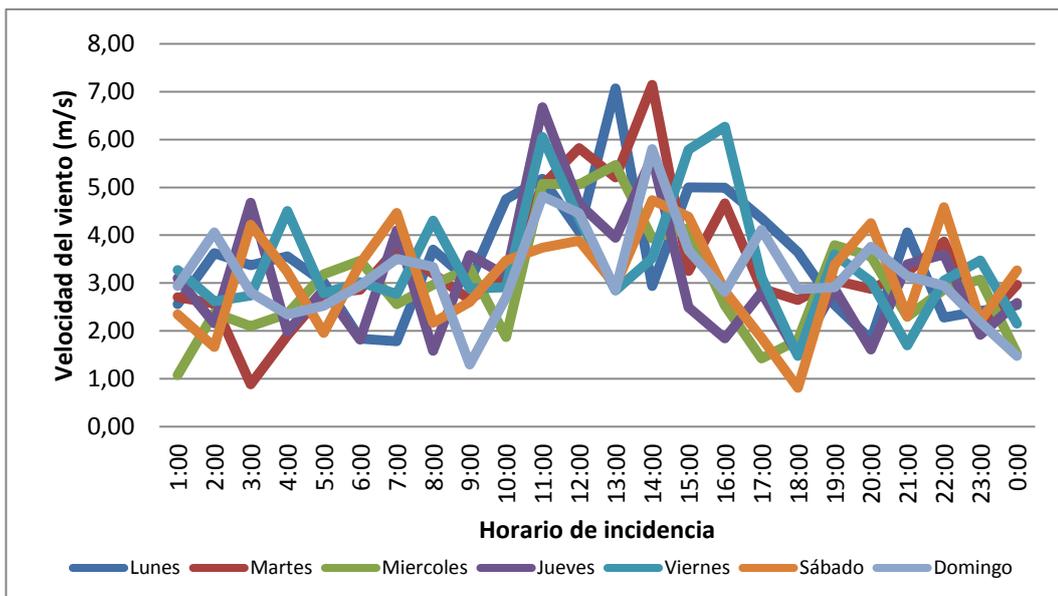
Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

A partir del gráfico No. 3.1. existe una tendencia similar en los restantes cinco meses siguientes, con un rango de amplitud de la distribución de velocidades en ese mismo horario, aún cuando la variación de velocidades finales promedio varía correspondiente al mes medido.

**Tabla 3.3. Distribución de velocidades Septiembre - 2014**

CAPTACIÓN EÓLICA AEROGENERADOR EJE HORIZONTAL - Medición diaria promedio							
SEPTIEMBRE - 2014 (en m/s)							
HORARIO	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
01:00	2,56	2,71	1,07	3,10	3,27	2,34	2,94
02:00	3,63	2,57	2,38	2,15	2,62	1,66	4,06
03:00	3,37	0,88	2,10	4,68	2,74	4,22	2,80
04:00	3,56	1,90	2,36	1,98	4,51	3,23	2,34
05:00	3,02	2,79	3,18	2,86	2,78	1,96	2,52
06:00	1,84	2,86	3,46	1,82	3,02	3,40	2,94
07:00	1,78	3,72	2,56	4,10	2,77	4,47	3,51
08:00	3,70	3,20	2,96	1,58	4,30	2,17	3,34
09:00	3,03	2,65	3,31	3,59	2,89	2,61	1,29
10:00	4,76	3,17	1,87	3,15	2,91	3,47	2,71
11:00	5,18	5,04	5,07	6,68	6,06	3,74	4,81
12:00	4,08	5,82	5,06	4,65	4,35	3,89	4,46
13:00	7,07	5,20	5,47	3,95	2,84	2,95	2,86
14:00	2,94	7,15	3,93	5,63	3,52	4,73	5,80
15:00	5,00	3,25	4,15	2,49	5,79	4,39	3,68
16:00	4,99	4,67	2,53	1,84	6,27	2,83	2,82
17:00	4,35	2,88	1,42	2,80	3,12	1,86	4,11
18:00	3,64	2,64	1,81	1,50	1,48	0,81	2,87
19:00	2,54	3,05	3,79	2,88	3,60	3,38	2,91
20:00	1,81	2,88	3,56	1,61	3,03	4,25	3,76
21:00	4,06	3,23	2,30	3,39	1,70	2,30	3,15
22:00	2,28	3,86	2,87	3,60	3,05	4,58	2,95
23:00	2,42	2,14	3,07	1,92	3,47	2,21	2,18
00:00	2,54	2,96	1,52	2,58	2,15	3,26	1,48

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.



**Gráfico 3.2. Distribución de velocidades Septiembre - 2014**

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

Si bien es cierto, de igual forma que en el mes de Agosto 2014 existía una proyección de captación generalizada de alta velocidad en el horario comprendido entre las 11:00 y 16:00, en el mes de Septiembre 2014 a partir de las 16:00 hasta las 18:00 existe una disminución paulatina de la velocidad, por lo que para este mes en especial se extendería el rango productivo de captación de energía eólica, pero para fines de producción global se mantiene el mismo horario productivo en todos los meses.

**Tabla 3.4. Distribución de velocidades Octubre - 2014**

CAPTACIÓN EÓLICA AEROGENERADOR EJE HORIZONTAL - Medición diaria promedio							
OCTUBRE - 2014 (en m/s)							
HORARIO	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
01:00	2,28	3,17	2,38	2,73	2,16	1,58	2,96
02:00	3,08	3,22	3,07	3,09	3,33	3,94	3,17
03:00	3,57	4,04	2,91	0,89	2,27	2,57	1,67
04:00	2,78	2,29	3,07	2,53	3,90	3,38	2,23
05:00	3,66	3,14	2,41	3,44	3,17	2,38	4,30
06:00	1,64	3,72	2,56	2,71	3,83	2,74	2,72
07:00	2,15	2,82	2,77	3,01	2,23	3,17	4,94
08:00	3,26	2,83	3,12	2,99	2,81	2,76	2,90

09:00	3,34	1,91	2,65	3,67	2,51	3,23	3,43
10:00	1,93	2,31	3,23	3,03	3,79	1,81	3,30
11:00	3,20	3,26	5,01	4,74	6,02	3,67	4,35
12:00	1,42	4,49	4,33	3,02	5,39	5,58	5,49
13:00	4,04	5,91	3,85	6,14	6,23	6,34	6,44
14:00	5,85	5,36	2,71	6,12	1,41	5,98	3,60
15:00	7,95	2,06	2,20	4,45	6,46	3,23	5,15
16:00	3,33	5,45	6,05	5,56	7,19	5,22	4,41
17:00	4,74	4,38	3,58	3,87	2,33	2,07	4,05
18:00	3,07	2,27	3,46	3,68	2,46	2,08	3,04
19:00	2,21	2,82	4,05	1,91	4,10	2,38	2,11
20:00	1,90	3,65	1,76	2,13	3,88	3,78	3,52
21:00	2,69	3,93	3,49	2,89	1,58	3,42	3,29
22:00	2,68	2,26	2,79	3,10	3,80	3,29	4,26
23:00	4,73	3,01	1,89	3,47	3,17	3,46	4,07
00:00	1,85	3,23	2,40	3,03	3,07	2,98	4,03

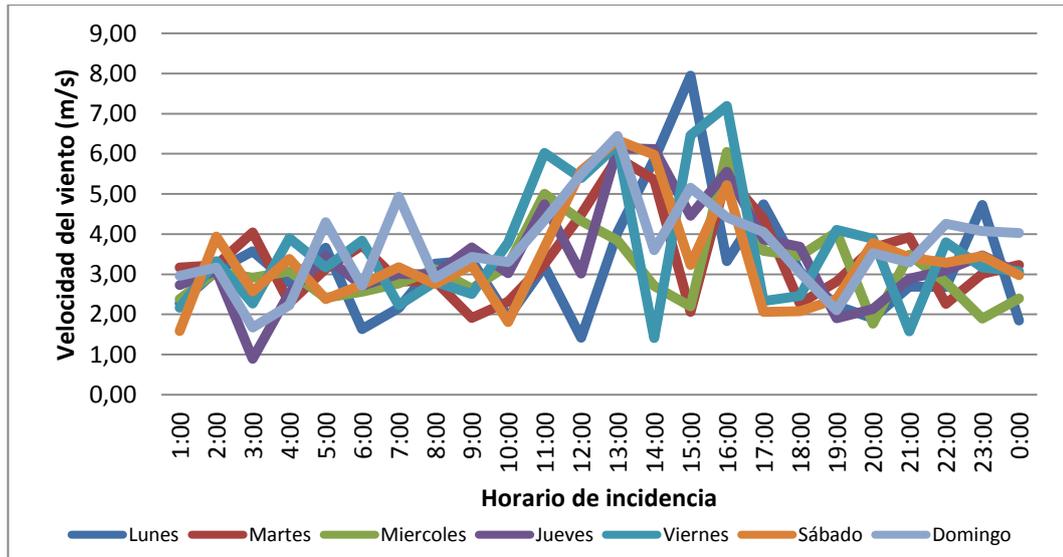
Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

**Tabla 3.5. Distribución de velocidades Noviembre - 2014**

CAPTACIÓN EÓLICA AEROGENERADOR EJE HORIZONTAL - Medición diaria promedio							
NOVIEMBRE - 2014 (en m/s)							
HORARIO	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
01:00	3,11	2,54	1,34	2,35	2,98	3,18	2,59
02:00	1,65	2,63	2,48	4,43	1,97	3,54	3,08
03:00	2,51	4,94	2,12	2,70	2,69	3,57	2,56
04:00	3,83	3,22	4,96	2,75	2,19	2,99	2,74
05:00	3,93	3,69	3,77	2,42	2,72	2,99	3,38
06:00	4,49	2,53	5,65	2,73	4,52	2,99	3,10
07:00	2,67	2,27	2,53	3,20	3,25	3,63	3,09
08:00	3,63	2,81	2,89	2,51	1,50	2,77	1,71
09:00	2,28	3,39	2,09	2,94	3,33	2,81	3,68
10:00	2,30	3,29	1,78	4,27	2,58	3,77	4,05
11:00	5,85	5,46	3,41	0,89	6,07	4,01	3,30
12:00	5,28	3,48	3,58	6,16	3,89	2,65	5,24
13:00	4,29	5,08	4,36	6,15	4,25	3,03	5,65
14:00	3,80	2,44	5,88	3,98	4,21	6,19	3,24
15:00	4,83	6,35	2,96	4,27	4,53	6,16	5,87
16:00	3,39	4,49	2,91	2,88	3,07	3,34	2,81
17:00	4,56	3,39	4,06	2,93	3,66	3,19	3,27
18:00	3,65	2,85	3,27	4,38	2,31	4,12	2,96
19:00	4,04	2,21	3,53	2,61	3,54	3,28	2,68

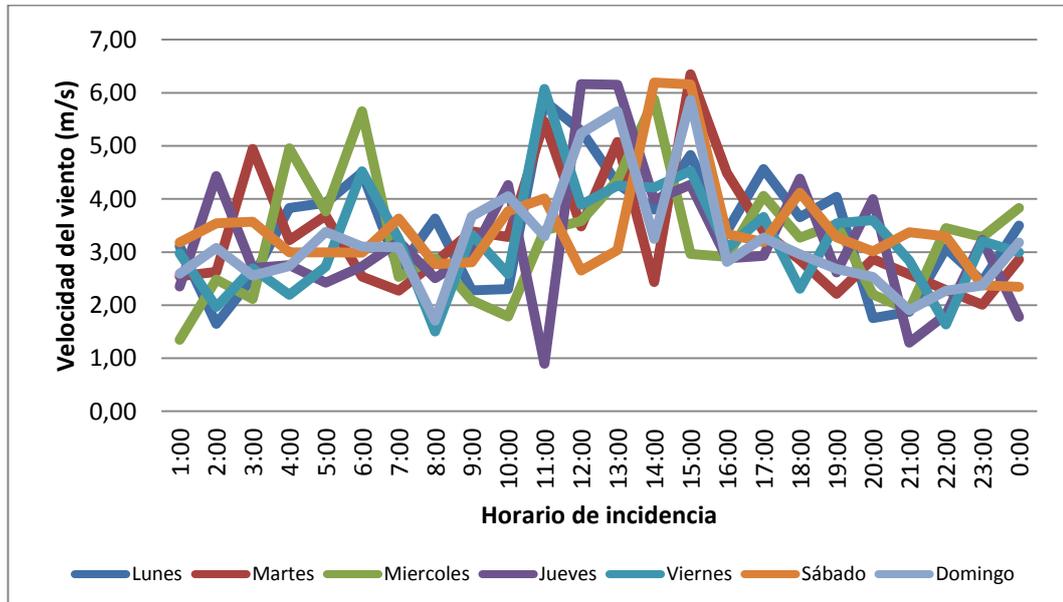
20:00	1,76	2,87	2,20	4,00	3,60	3,01	2,53
21:00	1,87	2,58	1,91	1,29	2,84	3,37	1,91
22:00	3,07	2,29	3,45	1,82	1,63	3,29	2,27
23:00	2,45	2,01	3,28	3,23	3,20	2,37	2,37
00:00	3,50	2,86	3,83	1,78	2,99	2,34	3,18

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.



**Gráfico 3.3. Distribución de velocidades Octubre - 2014**

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.



**Gráfico 3.4. Distribución de velocidades Noviembre - 2014**

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

El mes de Octubre 2014 mantiene la regularidad en el rango horario productivo, aquí no proyectándose la variación final de velocidades que el mes de Septiembre 2014 pronunciaba dentro de su respectivo gráfico. Bajo esta premisa, aún cuando la prospección de captación eólica difiere de acuerdo a cada mes, se mantiene un patrón de captación específico, el mismo que puede ser utilizado en miras de planificaciones de mayor captación y manejo de dispositivos de almacenamiento y conexión con el sistema de generación de hidrógeno para funcionamiento de la pila de combustible.

En el mes de Noviembre 2014 cabe destacar la presencia de cambios bruscos de velocidades, así como la manutención de vientos en varios puntos del mismo, con introducción de aspectos minoritarios de rafagosidad dentro del emplazamiento, lo que daría medios de viabilidad de ubicación del aerogenerador de eje horizontal, en cuestión de medios de protección del mismo, ya que la necesidad de manutención eficiente y seguridad del mismo es uno de los aspectos de mayor prioridad dentro de la implementación del sistema en la empresa RS Roth S.A.

**Tabla 3.6. Distribución de velocidades Diciembre - 2014**

<b>CAPTACIÓN EÓLICA AEROGENERADOR EJE HORIZONTAL - Medición diaria promedio</b>							
<b>DICIEMBRE - 2014 (en m/s)</b>							
<b>HORARIO</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miercoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>Sábado</b>	<b>Domingo</b>
<b>01:00</b>	1,87	3,88	3,13	2,51	3,32	2,61	3,04
<b>02:00</b>	1,93	2,00	2,27	2,62	4,36	3,17	2,39
<b>03:00</b>	3,46	2,96	2,80	3,52	3,31	4,47	3,08
<b>04:00</b>	3,28	2,87	2,45	3,04	2,62	1,92	4,71
<b>05:00</b>	2,65	3,34	3,07	3,54	2,54	2,76	2,79
<b>06:00</b>	4,07	2,59	2,70	2,35	2,71	3,37	3,33
<b>07:00</b>	1,64	2,53	2,98	2,18	2,66	3,48	1,22
<b>08:00</b>	3,07	3,58	3,36	2,72	2,05	4,84	2,64
<b>09:00</b>	3,29	2,42	2,64	4,19	2,12	4,02	3,16
<b>10:00</b>	3,40	3,32	2,73	2,45	3,52	3,56	4,21
<b>11:00</b>	2,15	4,80	4,17	1,75	6,64	5,09	5,74
<b>12:00</b>	3,67	3,55	1,99	3,12	4,89	6,15	4,67
<b>13:00</b>	4,03	3,29	3,77	5,68	3,85	1,91	4,55
<b>14:00</b>	4,12	2,58	4,95	2,78	6,75	3,17	4,04

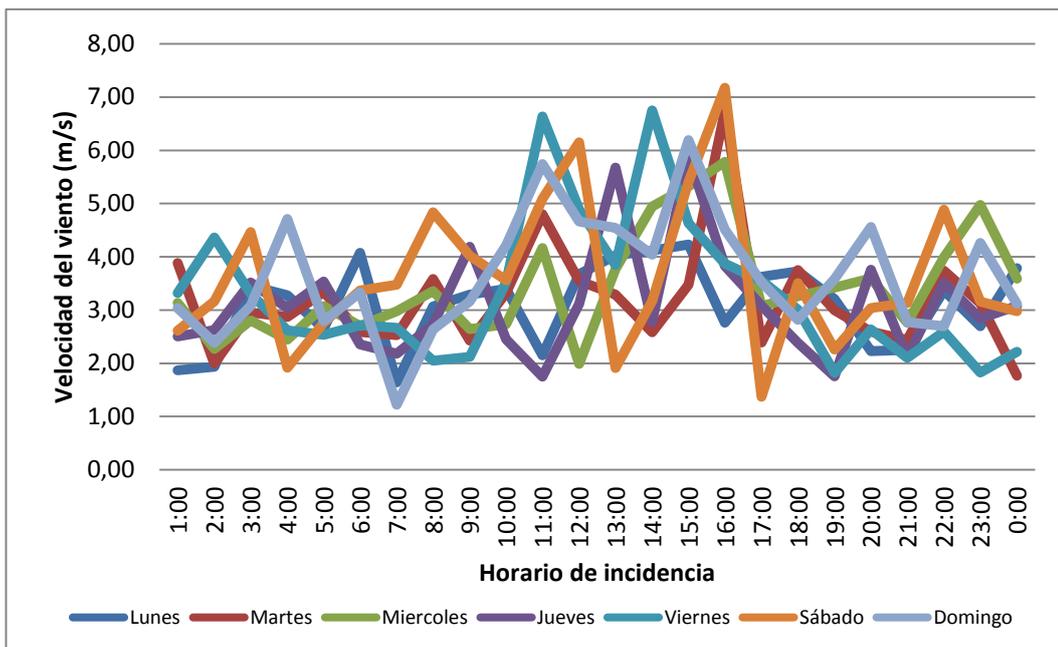
15:00	4,23	3,48	5,32	5,90	4,63	5,41	6,19
16:00	2,76	6,74	5,79	3,83	3,87	7,18	4,51
17:00	3,63	2,39	3,07	3,08	3,55	1,37	3,53
18:00	3,73	3,75	3,26	2,38	3,01	3,50	2,82
19:00	3,20	2,99	3,42	1,75	1,82	2,26	3,58
20:00	2,23	2,59	3,59	3,76	2,63	3,04	4,56
21:00	2,25	2,44	2,76	2,11	2,10	3,13	2,77
22:00	3,37	3,74	3,99	3,51	2,60	4,88	2,69
23:00	2,70	3,13	4,98	2,84	1,82	3,16	4,26
00:00	3,79	1,77	3,59	3,08	2,22	2,98	3,12

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

**Tabla 3.7. Distribución de velocidades Enero - 2015**

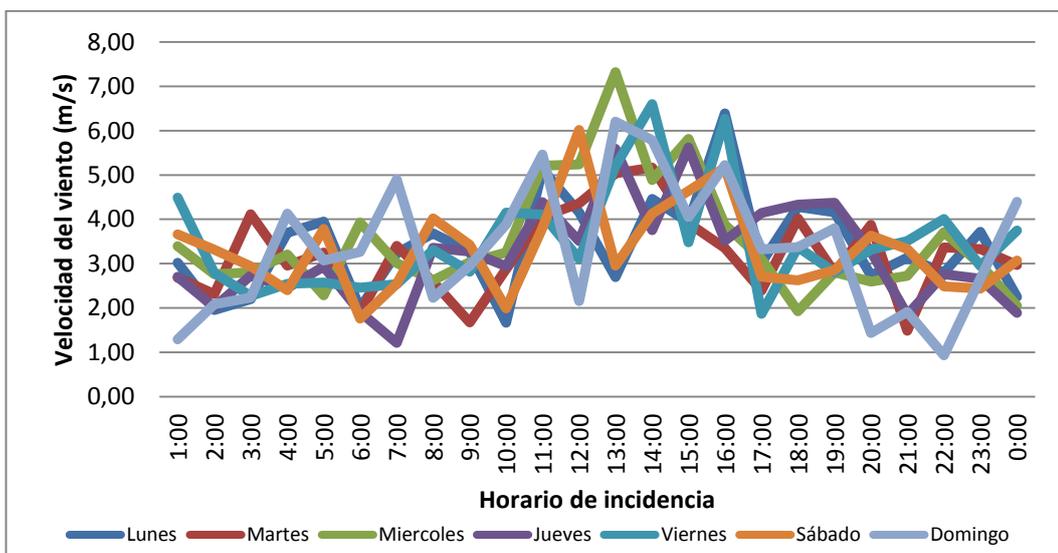
CAPTACIÓN EÓLICA AEROGENERADOR EJE HORIZONTAL - Medición diaria promedio							
ENERO - 2015 (en m/s)							
HORARIO	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
01:00	3,02	2,68	3,40	2,70	4,49	3,66	1,29
02:00	1,96	2,32	2,76	2,02	2,79	3,31	2,09
03:00	2,20	4,12	2,80	2,73	2,27	2,94	2,24
04:00	3,70	2,95	3,20	2,45	2,55	2,40	4,13
05:00	3,95	3,25	2,28	2,94	2,57	3,79	3,07
06:00	1,99	1,88	3,93	1,91	2,46	1,76	3,26
07:00	3,24	3,40	3,01	1,21	2,53	2,54	4,90
08:00	3,68	2,59	2,62	3,36	3,31	4,02	2,23
09:00	3,26	1,68	3,03	3,27	2,82	3,42	2,95
10:00	1,67	2,88	3,25	2,94	4,15	1,99	3,88
11:00	5,13	4,06	5,21	4,39	4,10	3,81	5,46
12:00	4,16	4,36	5,24	3,51	3,11	6,02	2,16
13:00	2,69	5,04	7,32	5,59	5,20	2,95	6,20
14:00	4,46	5,16	4,88	3,75	6,60	4,13	5,78
15:00	3,93	3,91	5,82	5,62	3,48	4,64	4,05
16:00	6,39	3,35	3,88	3,51	6,27	5,16	5,22
17:00	3,02	2,39	3,11	4,15	1,87	2,71	3,32
18:00	4,28	4,02	1,93	4,33	3,37	2,63	3,38
19:00	4,16	2,80	2,81	4,37	2,81	2,85	3,79
20:00	2,73	3,88	2,60	3,27	3,31	3,63	1,44
21:00	3,13	1,49	2,72	1,84	3,51	3,33	1,91
22:00	2,80	3,37	3,71	2,76	4,01	2,49	0,93
23:00	3,72	3,33	2,98	2,66	2,95	2,43	2,66
00:00	2,25	2,97	2,05	1,89	3,75	3,07	4,39

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.



**Gráfico 3.5. Distribución de velocidades Diciembre - 2014**

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.



**Gráfico 3.6. Distribución de velocidades Enero - 2015**

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

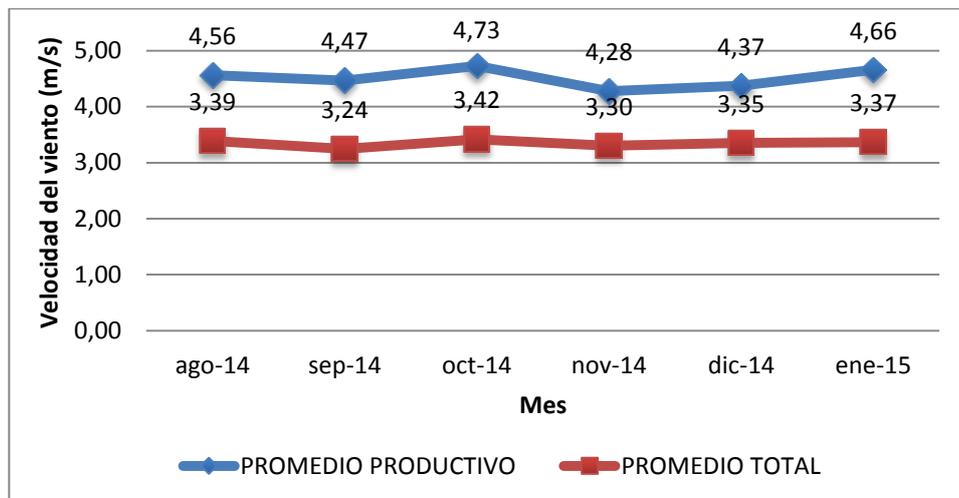
En las mediciones para los meses de Diciembre 2014 y Enero 2015 se destaca la obtención de picos de velocidad del viento bien definidos, con valores máximos de 7,17 m/s y 7,32 m/s respectivamente, los mismos que tienen un rango de variación aproximado de 0,5 y 1 m/s a su próximo valor tomado.

Finalmente se establece una distribución de velocidades promedio mensual, disgregado dentro del anexo No.1, que son los valores de proyección de medida de uso generalizado durante el presente estudio, expuesto en la tabla No. 3.8 y el correspondiente gráfico No. 3.7., con respecto al horario total de mediciones y el horario productivo establecido con base a lo expuesto por (Franco, 2014).

**Tabla 3.8. Distribución de velocidades Enero - 2015**

CAPTACIÓN EÓLICA GLOBAL PROMEDIO						
AGOSTO 2014 - ENERO 2015						
	ago-14	sept-14	oct-14	nov-14	dic-14	ene-15
<b>PROMEDIO PRODUCTIVO</b>	4,56	4,47	4,73	4,28	4,37	4,66
<b>PROMEDIO TOTAL</b>	3,39	3,24	3,42	3,30	3,35	3,37

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.



**Gráfico 3.7. Distribución de velocidades mensual promedio**

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

Desde una perspectiva global, el promedio productivo y el promedio total de captación eólica de forma mensual se mantiene en un rango mantenido aproximado, con un rango entre 4,28 m/s y 4,73 m/s en el primer caso, y un rango de 3,24 m/s y 3,42 m/s en el segundo respectivamente.

Para la implementación de un sistema de captación eólico con miras a la distribución de su producción entre la entrega directa de energía al sistema y la producción de hidrógeno a partir del origen eólico para producción energética en medios de pila de combustible, es necesario un ambiente de captación estable en el tiempo, en medida que exista una producción aproximada todos los meses y que no existan variantes que perjudiquen el funcionamiento del aerogenerador. A partir de esta premisa se demuestra que el emplazamiento es indicado para la introducción de medios de captación eólicos, aún cuando la velocidad de captación no es tan elevada.

#### **3.1.4. Distribución de direcciones.**

En conjunto con la distribución de la velocidad del viento, la distribución de incidencia de las direcciones es uno de los parámetros de mayor importancia dentro de la medida y posterior selección del sistema de captación eólico, por cuanto provee la posición adecuada de instalación del aerogenerador con respecto a su dirección principal, tomando en cuenta además que el sistema de captación mantendrá un medio de posicionamiento por cambio de la dirección del viento.

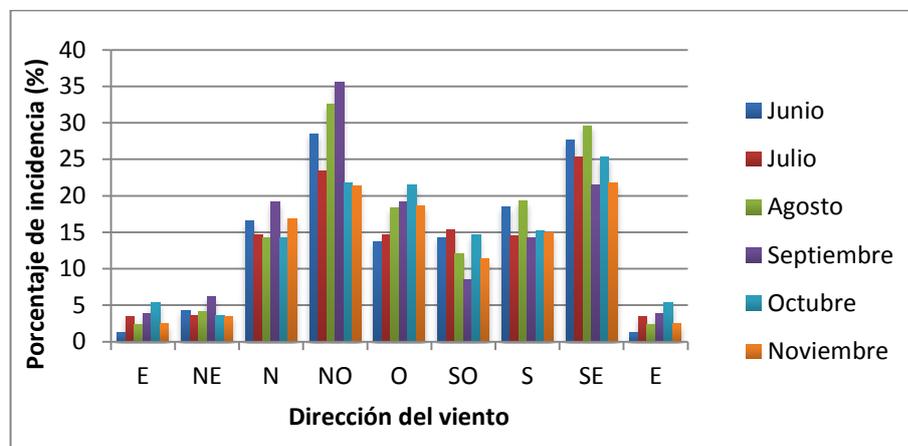
Dentro de este punto específico de la medición característica del emplazamiento, aún cuando dentro de especificaciones expuestas anteriormente sobre la cantidad de rugosidad expuesta para el emplazamiento de Calderón, en la empresa RS Roth, al ser un proyecto de pequeña y/o mediana producción por medios de captación eólico, dicha afección de la rugosidad del terreno es mínima por lo que no influye de sobremanera sobre el comportamiento del aerogenerador. Al igual que si bien es cierto en la mayoría de proyecto de tipo eólico sería indicado utilizar una roseta de viento para mejorar la ubicación del mismo, por cuanto la facilidad de giro que mantienen tecnologías con góndolas reducida en tamaño físico, pueden mantener un giro rápido de ubicación con respecto al medio de incidencia mayor del viento, por lo que no sería necesario introducir un estudio de dirección con respecto al porcentaje de incidencia del viento (roseta de viento).

Al disponerse un medio de captación de pequeño – mediano alcance, de igual forma de no mantener dispositivos ni esquemas estructurales de gran tamaño para su ubicación, su ubicación se indica como lo comentamos bajo la premisa anterior de preferencia con respecto al ángulo de mayor incidencia del viento. De esta forma, en la tabla No. 3.9 se identifica bajo estudio probabilístico general la dirección del viento obtenido mediante instrumentación, cuyo estudio comparativo se especifica en el gráfico No. 3.8.

**Tabla 3.9. Distribución de direcciones porcentual mensual**

Probabilidad de incidencia dirección del viento (en porcentaje %)									
	E	NE	N	NO	O	SO	S	SE	E
<b>Junio</b>	1,2	4,3	16,5	28,5	13,7	14,3	18,5	27,6	1,2
<b>Julio</b>	3,5	3,6	14,6	23,4	14,7	15,3	14,5	25,3	3,5
<b>Agosto</b>	2,4	4,1	14,3	32,5	18,4	12,1	19,3	29,6	2,4
<b>Septiembre</b>	3,8	6,2	19,2	35,6	19,2	8,5	14,2	21,5	3,8
<b>Octubre</b>	5,3	3,6	14,3	21,8	21,5	14,6	15,2	25,3	5,3
<b>Noviembre</b>	2,5	3,5	16,8	21,3	18,6	11,4	14,9	21,8	2,5

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.



**Gráfico 3.8. Distribución de direcciones mensual promedio**

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

A partir del ponderado comparativo de distribución de direcciones mensual promedio, se indica que para mejor aprovechamiento del viento se debe colocar el aerogenerador en dirección de captación NO o bien SE, aunque en la primera va a recibir una mejor cantidad de viento ya que al mantener un sistemas de ubicación

automática de acuerdo a dirección del viento puede aprovechar vientos que provengan en sentido N o O en todos los casos. No se recomienda en el emplazamiento ubicarlo con dirección E ya que según el diagrama de distribución de direcciones es aquella donde existe una menor cantidad de proyección e incidencia del viento.

### **3.2. Relación de aprovechamiento energético eólico – pila de combustible.**

#### **3.2.1. Aprovechamiento eólico energético.**

Para cálculo del aprovechamiento eólico energético primero cabe recalcar que, tal como lo indica (Franquesa Voneschen, 2009), la energía del viento es cinética, es decir, la energía que contiene una masa en movimiento, donde cualquier aprovechamiento de esta energía disminuirá la velocidad del caudal, ralentizando el mismo. Bajo esta perspectiva se deduce que del viento no es posible extraer todo su potencial eólico ya que si fuera así dejaría de moverse, además que como contraparte, al extraerle energía al viento, la velocidad a la altura del rotor se reducirá.

Desde una visualización específica del rendimiento de los rotores eólico no ideales, se apunta que existe 3 tipos de pérdidas, enunciadas de acuerdo a (Franquesa Voneschen, 2009) a continuación:

- **Pérdidas mecánicas.** Los cojinetes del eje de transmisión y del generador eléctrico, los engranajes o las correas de transmisión tienen pérdidas mecánicas por fricción.
- **Pérdidas eléctricas.** El generador eléctrico o alternador, los cables, la batería y otros aparatos eléctricos asociados al aerogenerador tienen un determinado porcentaje de pérdidas.

- **Pérdidas aerodinámicas.** Dentro de las pérdidas aerodinámicas se puede anotar:
  - Las palas de un rotor eólico no son ideales: tienen una resistencia aerodinámica, es decir, siempre habrá una fuerza opuesta al sentido de giro del rotor.
  - Se evidenciarán pérdidas provocadas por la ralentización no ideal del aire a la altura del rotor.
  - Existirán pérdidas causadas por las turbulencias, ya que detrás de los cantos de fuga de las palas se generan torbellinos, que giran a gran velocidad.

Tomando en cuenta estas características de pérdidas, es importante antes de decidir la instalación de un sistema eólico conocer las características de captación de la energía proveniente del viento en el emplazamiento donde se pretende ubicar la o las torres de captación. Estos conocimientos, tal como lo apunta (Franquesa Voneschen, 2009) se obtienen realizando un estudio completo de la frecuencia, la velocidad, la duración y la dirección del viento.

### 3.2.2. Potencia eólica media aprovechable.

Tomando en cuenta valores aproximados para una torre de captación para utilización industrial, cuyos valores son:  $\rho = 0,935 \frac{kg}{m^3}$ ,  $A = 50 m^2$  aprox.,  $C_p = 0,75$ ,  $\eta = 0,90$  aprox., y con las velocidades promedio obtenidas, tanto en el rango productivo como en el rango total de tiempo de captación de los aerogeneradores, con seguimiento y utilización de la ecuación [Ec. 7] se puede establecer una tabla de potencia media aprovechable aproximada en el emplazamiento (Tabla No. 3.10 y tabla No. 3.11.).

**Tabla 3.10. Potencia media aprovechable (aprox.) – promedio productivo**

<b>Potencia eólica media aprovechable - Promedio productivo</b>		
Mes	Vel. Media (m/s)	Potencia media aprovechable (W)
ago-14	4,56	1499,36
sept-14	4,47	1406,63

oct-14	4,73	1669,43
nov-14	4,28	1235,59
dic-14	4,37	1319,80
ene-15	4,66	1596,50
Media	4,51	1454,55

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

**Tabla 3.11. Potencia media aprovechable (aprox.) – promedio completo**

Potencia eólica media aprovechable - Promedio completo		
Mes	Vel. Media (m/s)	Potencia media aprovechable (W)
ago-14	3,39	614,26
sept-14	3,24	538,45
oct-14	3,42	630,56
nov-14	3,30	568,11
dic-14	3,35	594,96
ene-15	3,37	602,90
Media	3,35	591,54

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

### 3.2.3. Dimensionamiento de la instalación.

Para determinación del dimensionamiento de la instalación, en primera instancia se procede a la determinación del máximo aprovechamiento eólico por parte del aerogenerador Aeolos-H 10 kW, tomando como referencia la curva de potencia específica para este modelo, además de las tablas experimentales de potencia generada y energía anual provista a la salida, estableciendo una relación de la misma con el análisis de potencia máxima aprovechable que se indicó en el marco de análisis de resultados, el mismo que se obtuvo de forma teórica y no bajo parámetros experimentales. Con base en la fórmula siguiente que indica la potencia máxima aprovechable del recurso eólico:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot Cp \cdot \eta \quad [\text{Ec. 8}]$$

Tomando en cuenta valores propios del aerogenerador Aeolos –H 10 kW, cuyos valores son:  $\rho = 0,892 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ,  $A = 50,2 \text{ m}^2$ ,  $Cp = 0,75$ ,  $\eta = 0,95$ , y con las

velocidades promedio obtenidas, tanto en el rango productivo como en el rango total de tiempo de captación de los aerogeneradores, se puede establecer una tabla de potencia media aprovechable real en el emplazamiento, la misma que se mantiene bajo comparativa con el valor teórico obtenido de forma previa. (Tabla No. 3.12 y tabla No. 3.13.).

**Tabla 3.12. Potencia media aprovechable real – promedio productivo**

<b>Potencia eólica media aprovechable - Promedio productivo</b>			
Mes	Vel. Media (m/s)	Potencia media aprovechable teórico (W)	Potencia media aprovechable experimental (W)
ago-14	4,56	1499,36	1515,91
sept-14	4,47	1406,63	1422,16
oct-14	4,73	1669,43	1687,86
nov-14	4,28	1235,59	1249,23
dic-14	4,37	1319,80	1334,37
ene-15	4,66	1596,50	1614,13
Media	4,51	1454,55	1470,61

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

**Tabla 3.13. Potencia media aprovechable real – promedio completo**

<b>Potencia eólica media aprovechable - Promedio completo</b>			
Mes	Vel. Media (m/s)	Potencia media aprovechable teórico (W)	Potencia media aprovechable experimental (W)
ago-14	3,39	614,26	621,04
sept-14	3,24	538,45	544,39
oct-14	3,42	630,56	637,52
nov-14	3,30	568,11	574,38
dic-14	3,35	594,96	601,53
ene-15	3,37	602,90	609,56
Media	3,35	591,54	598,07

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

Es importante además señalar el consumo mensual estimado de energía eléctrica de la empresa para los consiguientes meses de medición, tal como se adjunta en la tabla No. 3.14.

**Tabla 3.14. Consumo energético emplazamiento RS Roth S.A.**

<b>Consumo energético emplazamiento RS Roth S.A.</b>		
Mes	Consumo energético horario A (07:00 – 22:00) (kWh)	Consumo energético horario B (22:00 – 07:00) (kWh)
ago-14	1356,00	978,00
sept-14	1423,00	965,00
oct-14	1565,00	894,00
nov-14	1432,00	1021,00
dic-14	1478,00	998,00
ene-15	1324,00	967,00
<b>Media</b>	<b>1429,67</b>	<b>970,50</b>

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

Con base en el consumo energético del emplazamiento RS Roth S.A., se puede obtener los valores de demanda complementarios de la empresa tanto a nivel diario, semanal y mensual., tal como se enuncia dentro de la tabla No. 3.15. y tabla No. 3.16.

**Tabla 3.15. Demanda energética emplazamiento – Horario A**

<b>Demanda energía eléctrica emplazamiento - horario A (07:00 - 22:00) (kWh)</b>			
Mes	Demanda mensual	Demanda semanal	Demanda diaria
ago-14	1356,00	339,00	43,74
sept-14	1423,00	355,75	47,43
oct-14	1565,00	391,25	50,48
nov-14	1432,00	358,00	47,73
dic-14	1478,00	369,50	47,68
ene-15	1324,00	331,00	42,71
<b>Media</b>	<b>1429,67</b>	<b>357,42</b>	<b>46,63</b>

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

**Tabla 3.16. Demanda energética emplazamiento – Horario B**

<b>Demanda energía eléctrica emplazamiento - horario B (22:00 - 07:00) (kWh)</b>			
Mes	Demanda mensual	Demanda semanal	Demanda diaria
ago-14	978,00	244,50	31,55
sept-14	965,00	241,25	32,17
oct-14	894,00	223,50	28,84
nov-14	1021,00	255,25	34,03

dic-14	998,00	249,50	32,19
ene-15	967,00	241,75	31,19
<b>Media</b>	<b>970,50</b>	<b>242,63</b>	<b>31,66</b>

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

Se concluye así que, con base en la tabla No. 3.15. y la tabla No. 3.16 donde se especifican los valores de demanda energética de emplazamiento, tanto en el horario A como en el horario B, un valor promedio total, dentro de la demanda mensual, demanda semanal y demanda diaria, tal como se ve en la tabla No. 3.17.

**Tabla 3.17. Demanda energética total emplazamiento RS Roth S.A.**

<b>Demanda energía eléctrica emplazamiento - Total (kWh)</b>			
<b>Horario</b>	<b>Demanda mensual</b>	<b>Demanda semanal</b>	<b>Demanda diaria</b>
Horario A	1429,67	357,42	46,63
Horario B	970,50	242,63	31,66
<b>Total</b>	<b>2400,17</b>	<b>600,04</b>	<b>78,29</b>

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

#### **3.2.4. Ponderación y selección esquemática estructural.**

A partir de la potencia media aprovechable aproximada del sistema, tomando en cuenta que el sistema de por naturaleza es híbrido como tal, manteniendo una relación energética con el proceso de electrolización y de generación eléctrica por pila de combustible, se procede a realizar la selección del esquema de conformación del medio de hibridación eólico pila de combustible.

Cabe señalar en este punto, que la hibridación del sistema con inclusión de la pila de combustible se debe a dos razones importantes: una es la dificultad de gestionar la energía eléctrica inyectada a la red por los aerogeneradores y además a que tampoco es fácil el almacenamiento de su energía mecánica.

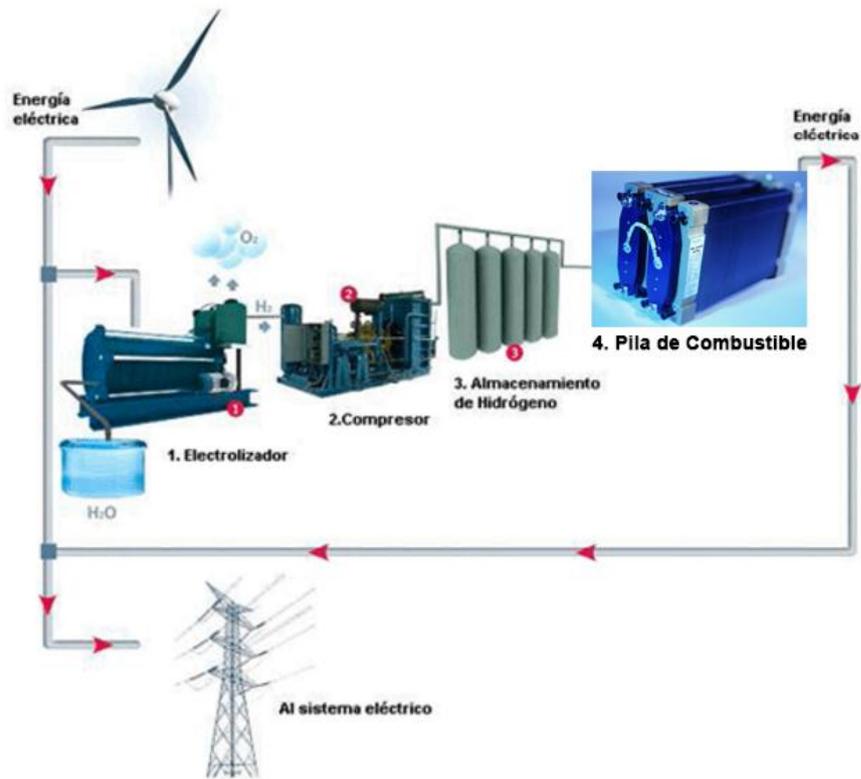
La utilidad de la pila de combustible radica de igual forma en el aumento de producción energética en el proceso, ya que existen menores pérdidas en la generación de hidrógeno con respecto a la producción por motor eléctrico directo,

incluyendo en el proceso la electrolización del sistema. Para que sea efectiva esta relación de hibridación con el sistema de electrolización se requiere que la reacción química empleada sea de tipo reversible, es decir que tenga la capacidad de absorber energía en un sentido y entregarla en el otro, permitiendo de esta manera el almacenaje de energía eléctrica.

Haciendo referencia a lo expuesto por (Parque eólico experimental Sotavento, 2005), el par químico que suscita actualmente un mayor interés tecnológico en el almacenamiento de energía eléctrica es el hidrógeno-oxígeno. Ambos elementos constituyen la molécula de agua ( $H_2O$ ) y pueden obtenerse a partir de ella mediante electrólisis (descomposición por electricidad). La posterior combinación de ambos ( $H_2 + O_2$ ) para formar agua devuelve parte de la energía absorbida en el proceso de electrólisis previo, donde una de las ventajas del par  $H_2-O_2$  sobre otros reside en que sólo es necesario almacenar el hidrógeno, ya que el oxígeno puede tomarse de la atmósfera, de la que forma parte.

Dentro de la esquematización estructural del sistema híbrido, tomando en cuenta lo expuesto por (Parque eólico experimental Sotavento, 2005), la energía eléctrica que se desea almacenar se deriva hacia un electrolizador, que es un dispositivo en el que el paso de la corriente eléctrica disocia agua en sus dos componentes: oxígeno ( $O_2$ ) e hidrógeno ( $H_2$ ) según la reacción  $H_2O = H_2 + \frac{1}{2} O_2$ . El  $H_2$  obtenido se comprime para hacer más fácil su almacenamiento, mientras que el  $O_2$ , que no tiene contenido energético, se libera a la atmósfera, de la que ya es componente.

El  $H_2$  se mantiene almacenado en recipientes a presión hasta el momento en el que debe emplearse para generar energía eléctrica en situaciones de demanda o necesidad de gestión. La combustión del  $H_2 + O_2$  libera sólo agua en un proceso inverso al que se había producido en el electrolizador. La esquematización del medio de hibridación se verifica en el gráfico No. 3.9.



**Gráfico 3.9. Esquematzación sistema híbrido eólico – pila de combustible**

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

Una vez indicada la estructuración esquemática del sistema híbrido eólico – pila de combustible dentro del gráfico No. 3.9, se procede a la realización del estudio de selección de la alternativa final de cada uno de estos componentes, mediante la participación y correspondencia de pares de indicación de requerimientos en ingeniería de desarrollo, identificados dentro de las tablas No. 3.18. tabla No. 3.19, tabla No. 3.20 y tabla No. 3.21.

**Tabla 3.18. Criterios de ponderación por ingeniería de diseño.**

CRITERIOS	Fácil Uso	Facilidad de Montaje	Peso	Facilidad de mantenimiento	Funcionalidad	Complejidad de control	Rendimiento y capacidad de generación	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Facilidad de uso</b>		1	1	0,5	1	0,8	0,6	0,6	6,5	0,13
<b>Fácil Montaje y Fabricación</b>	0,5		0,6	1	1	0,5	0,5	0,8	5,9	0,12
<b>Peso y volumen de</b>	1	0,5		0,5	1	1	1	1	7,0	0,14

<b>ocupación</b>										
<b>Facilidad de Mantenimiento</b>	0,7	1	0,5		0,8	0,5	0,4	1	5,9	0,12
<b>Funcionalidad de diseño</b>	0,8	0,5	1	0,4		1	0,8	1	6,5	0,13
<b>Complejidad de control</b>	1	0,8	1	0,5	1		1	0,6	6,9	0,14
<b>Rendimiento y capacidad de relación</b>	0,6	0,5	1	0,5	1	0,8		0,5	5,9	0,12
<b>Costo</b>	0,6	0,5	1	0,5	0,8	1	0,5		5,9	0,12
<b>SUMA</b>									50,5	1

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

**Tabla 3.19. Ponderación selección alternativa aerogenerador.**

<b>PONDERACIÓN DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVA AEROGENERADOR</b>	<b>FACIL USO</b>	<b>FACILIDAD DE MONTAJE</b>	<b>TAMAÑO</b>	<b>FACILIDAD DE MANTENIMIENTO</b>	<b>DISTANCIA DE OPERACIÓN</b>	<b>COMPLEJIDAD DE CONTROL</b>	<b>RENDIMIENTO Y CAPACIDAD DE GENERACIÓN</b>	<b>CAPACIDAD DE CARGA</b>	<b>TOTAL</b>
Altem Power APL10	4	3	3	5	5	3	4	5	32
Aeolos-H 10kW	5	4	5	5	5	5	4	4	37
Abundant Renewable Energy ARE442	5	4	4	5	5	4	5	3	35

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

**Tabla 3.20. Ponderación selección alternativa electrolizador.**

<b>PONDERACIÓN DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVA ELECTROLIZADOR</b>	<b>FACIL USO</b>	<b>FACILIDAD DE MONTAJE</b>	<b>TAMAÑO</b>	<b>FACILIDAD DE MANTENIMIENTO</b>	<b>DISTANCIA DE OPERACIÓN</b>	<b>COMPLEJIDAD DE CONTROL</b>	<b>RENDIMIENTO Y CAPACIDAD DE GENERACIÓN</b>	<b>CAPACIDAD DE CARGA</b>	<b>TOTAL</b>
Hydrogenics HySTAT 10	5	4	5	4	5	5	4	5	37
Hogen H Series H6m	4	3	4	4	5	5	4	3	32
HGenerators LM-2000	4	3	5	3	5	5	3	4	32

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

**Tabla 3.21. Ponderación selección alternativa pila de combustible.**

<b>PONDERACIÓN DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVA PILA DE COMBUSTIBLE</b>	<b>FACIL USO</b>	<b>FACILIDAD DE MONTAJE</b>	<b>TAMAÑO</b>	<b>FACILIDAD DE MANTENIMIENTO</b>	<b>DISTANCIA DE OPERACION</b>	<b>COMPLEJIDAD DE CONTROL</b>	<b>RENDIMIENTO Y CAPACIDAD DE GENERACIÓN</b>	<b>CAPACIDAD DE CARGA</b>	<b>TOTAL</b>
Horizon Fuel Cell FCS-C3000	5	4	5	4	4	5	4	5	36
Electrochem EC - 1000	3	4	4	5	5	3	4	5	32
Ballard Nexa 1200W	3	5	4	4	3	3	4	4	30

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

### **3.3. Conclusiones parciales.**

A partir de las mediciones realizada dentro del anterior capítulo de medición y análisis de resultados, y en forma vinculada con lo establecido por el correspondiente marco teórico y metodológico precedentes, se estructuran las siguientes conclusiones parciales:

- Se realizaron un total de 4416 medidas, repartidas de la siguiente manera: Agosto 2014 (744 medidas), Septiembre 2014 (720 medidas), Octubre 2014 (744 medidas), Noviembre 2014 (720 medidas), Diciembre (744 medidas), Diciembre (744 medidas) y Enero (744 medidas). La cantidad de medidas diarias fueron de 24 unidades, a razón de una medida cada hora, donde se registró la velocidad y la dirección del viento en la ubicación del grupo de medida.
- Dentro del total de mediciones realizadas, de acuerdo a un análisis de exactitud de la medición y reducción de la incertidumbre, se verificó que en el mes de Agosto 2014 hubieron 11 mediciones influenciadas y 13 mediciones no válidas, en el mes de Septiembre 2014 hubieron 9 mediciones influenciadas y 6 mediciones no válidas, en Octubre 2014 18 mediciones influenciadas y 10 mediciones no válidas, en Noviembre 2014 21 mediciones influenciadas y 5 no válidas, mientras que en Diciembre existieron 15 mediciones influenciadas con 8 mediciones no válidas,

concluyendo en Enero 2015 se registraron 13 mediciones influenciadas y 7 mediciones no válidas respectivamente.

- Se verificó en todos los meses como rango de mayor producción el horario comprendido entre 11:00 y 16:00, tal como lo especificó Franco dentro del análisis previo dentro del marco metodológico realizado como antecedente al estudio de campo realizado.
- En los meses de Agosto 2014 se registraron valores mínimos en el rango anteriormente indicado 1,5 m/s y máximo 7,17 m/s debido en gran parte a las condiciones climatológicas favorables, mientras que en el mes de Septiembre 2014 existe una disminución paulatina de la velocidad extendiéndose el rango productivo de captación de energía eólica.
- En el mes de Octubre 2014 se mantiene la regularidad de captación eólica que se experimentó en los meses anteriores, exponiéndose así un patrón de captación específico, el mismo que puede ser utilizado en miras de planificaciones de mayor captación y manejo de dispositivos de almacenamiento. En adición, en el mes de Noviembre 2014 existieron cambios bruscos de velocidades, así como la manutención de vientos en varios puntos del mismo, con introducción de aspectos minoritarios de rafagosidad dentro del emplazamiento.
- En las mediciones obtenidas para los meses de Diciembre 2014 y Enero 2015 se destaca el registro de picos de velocidad del viento bien definidos, con valores máximos de 7,17 m/s y 7,32 m/s respectivamente, los mismos que indican una excelente producción puntual en el emplazamiento.
- Dentro de la proyección de distribución de velocidades en su captación global promedio, dentro del promedio productivo y promedio total existe una regularidad mantenida, con rango entre 4,28 m/s y 4,73 m/s en su primera cualidad, y un rango entre 3,24 m/s y 3,42 m/s en el segundo aspecto técnico.

- De acuerdo al análisis de distribución de direcciones se indica que para mejor aprovechamiento del viento se debe colocar el aerogenerador en dirección de captación NO o bien SE, aunque en la primera va a recibir una mejor cantidad de viento ya que al mantener un sistema de ubicación automática de acuerdo a la dirección del viento se puede aprovechar vientos que provengan en sentido N o O en todos los casos.
- Mediante ponderación de selección de alternativa, se seleccionó como aerogenerador el modelo Aeolos-H 10kW, el electrolizador modelo Hydrogenics HySTAT 10 y la pila de combustible Horizon Fuel Cell FCS-C3000 como elementos estructurales del esquema híbrido de generación eléctrica eólico con almacenamiento y administración de la misma a través de depósitos de hidrógeno para ser utilizados en momentos de demanda energética en el complejo industrial RS Roth S.A.

## **CAPÍTULO IV**

### **MARCO PROPOSITIVO**

#### **4.1. Título de la propuesta.**

Diseño de un Sistema de Generación híbrida eólico – pila de combustible por electrolizador de mediana producción para la empresa RS Roth S.A., en el sector de Calderón, provincia de Pichincha.

#### **4.2. Justificación.**

La presente propuesta se justifica inicialmente en base a que RS ROTH S.A, en búsqueda de competitividad y disminución de gastos económicos innecesarios, busca la implementación de tecnologías con utilización de medios de generación de energía alternativa limpia, tales como la aerogeneración de mediano alcance, conjuntamente por sus características con medios de cogeneración por pila de combustible, reduciendo paralelamente el consumo de medios combustibles convencionales con el beneficio ambiental y energético explícito que esto compete.

Dentro del aspecto mencionado anteriormente, el presente marco propositivo se desarrolla dentro del aspecto de diseño y selección de equipamiento de captación eólica, transformación energética en hidrógeno mediante electrolización y producción de la energía final a través del uso de las pilas de combustible, cuyas características son tomadas como base a partir de las propiedades de esquemas disponibles en el mercado actual, con punto de origen dentro del escoger por parte del investigador las mediciones del parámetro físico eólico presente dentro de las inmediaciones de la empresa RS Roth S.A.

De forma adicional el proyecto se justifica bajo antecedentes propuestos la Constitución de la República, así como la Ley del Régimen del Sector Eléctrico , y el documento “Políticas Energéticas del Ecuador 2008 - 2020”, cuyos extractos

fueron elaborados y organizados por el (Observatorio de Energías Renovables en América Latina y el Caribe, 2011).

#### **4.3. Objetivo.**

- Diseñar un sistema de generación híbrida eólico – pila de combustible con participación efectiva de medios de generación de hidrógeno por electrolizador de mediana producción, con un dimensionamiento independiente de cada uno de los sistemas considerando la captación eólica energética, el almacenamiento de la energía por la electrolización y su uso energético en la pila de combustible en el emplazamiento correspondiente a la empresa RS Roth S.A., sector Calderón, provincia de Pichincha.

#### **4.4. Estructura de la propuesta.**

El marco propositivo para solución efectiva de la problemática visualizada inicialmente, realizada a partir del estudio técnico e investigativo bibliográfico – descriptivo realizado en los medios físicos del emplazamiento correspondiente a la empresa RS Roth S.A., manifiesta un análisis de implementación de un diseño eólico de eje horizontal ubicado en la zona designada dentro del emplazamiento para evitar interferencias tanto visuales como físicas, el mismo que suplirá un electrolizador que almacenará la energía transformándola a hidrógeno presurizado en sus respectivos depósitos, para ser utilizados de acuerdo a demanda a través de la pila de combustible consiguiente.

El flujo de procesos que mantiene todo el esquema propositivo se sigue de la siguiente manera:

- Conformer un estudio técnico – investigativo de campo previo de las características del emplazamiento para el recurso eólico de mediana producción para situaciones de uso industrial, donde conste la medición

mensual de la velocidad, la dirección y la incidencia del viento, conjuntamente con la esquematización final del sistema, con participación del medio electrolizador y su respectiva parte de producción energética a través de la pila de combustible.

- Identificar las cargas energética existentes de forma general, a través de la proyección mensual del consumo energético plasmado en las planillas eléctricas de la empresa, como parámetro inicial auxiliar y de vinculación de medios de inclusión para el uso de energía limpia como introducción del sistema de generación híbrido, lo que posteriormente influiría directamente en la disminución de la planilla eléctrica, pre visualizando un ahorro económico significativo para la empresa.
- Seleccionar la esquematización estructural de los implementos a ser utilizados, con base a la medida de producción eólica referente a las características del emplazamiento, siendo este el punto de partida característico para la selección del resto de componentes del sistema (electrolizador, pila de combustible), tomando en cuenta principalmente los criterios ponderados de ingeniería expuestos anteriormente.
- Completar un análisis de diagnóstico y evaluación técnica posterior a la medición y análisis de resultados, determinando la afección socioeconómica y de impacto – compatibilidad con el medio ambiental circundante, siendo estos aspectos primordiales dentro de la meta de introducción del sistema para la empresa RS Roth S.A.
- Especificar las mejores posibilidades de requerimientos de tecnología, medios de ubicación dentro del emplazamiento y especificaciones técnicas de los implementos estructurales del sistema energético, tratando de minimizar a todo momento el involucramiento de factores de afección externos como el factor humano e interferencias propias de las actividades productivas dentro del emplazamiento.

- Proveer prospecciones de análisis de contaminación auditiva y visual, si existieren los mismos una vez establecido los medios técnicos y la distribución espacial dentro del emplazamiento, interviniendo a través de especificaciones de reducción de vibraciones, mantenimientos preventivos y correctivos con planificación minuciosa y aminorar la problemática de implementación con el entorno circundante.

#### **4.4.1. Concepción propositiva final.**

La concepción propositiva final de este marco de conclusión del proyecto científico se origina a partir de la confirmación de valores de captación superiores a la velocidad mínima de arranque de los aerogeneradores de mediana producción, además de la necesidad por parte de la empresa RS Roth S.A. de reducir paulatinamente el uso de medios energéticos convencionales, facilitando así una serie de beneficios para su bienestar propio, de la población económicamente activa anexa y la red de producción energética regional y nacional.

En el caso de la aplicación de las pilas de combustible, su concepción de introducción se verifica en medida de su representación actual como escenario energético futuro en el que el hidrógeno se utilizaría para reemplazar los combustibles fósiles. El objetivo principal es la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes asociados a las fuentes primarias actuales además de, tal como lo describen (Cabrera & Azkarate, 2006), contribuir a una mejor utilización de los recursos naturales disponibles localmente, diversificando las fuentes y reduciendo la dependencia energética exterior.

Finalmente, pero sin restar su debida importancia, la aplicación principal de la presente propuesta es la de participar de forma investigativa en el campo innovador de la electrolización, la pila de combustible y la re distribución de medios energéticos a partir del traslado y manipulación del hidrógeno, a diferencia del uso presente de los bancos de baterías que mantienen características

estacionarias, reduciendo el campo de amplitud y maniobrabilidad estratégica del proyecto de gestión energética.

#### 4.4.2. Valores específicos de emplazamiento.

El emplazamiento correspondiente al sector de estudio, donde se erige la empresa RS Roth S.A., en el sector de Calderón, provincia de Pichincha, de acuerdo a las mediciones recabadas a través del uso de instrumentación especializada, su clasificación, tabulación y análisis, demuestra los siguientes valores específicos enunciados en la tabla No. 4.1.

**Tabla 4.1. Valores iniciales del emplazamiento RS Roth S.A.**

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Altura (m.s.n.m.)	2696 m.s.n.m.
Densidad del aire	0,935
Rugosidad del terreno	0,3
Velocidad promedio (m/s)	3,35 m/s
Velocidad promedio productiva (m/s)	4,51 m/s
Dirección del viento incidente	Noroeste NO
Consumo energético promedio	1429,67 kWh (Horario A) 970,5 kWh (Horario B)

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

#### 4.4.3. Especificaciones técnicas de implementos estructurales.

A partir de las tablas de ponderación para selección de alternativas, tanto para el aerogenerador, el electrolizador y la pila de combustible, con respecto a su nivel de facilidad de uso, facilidad de montaje, tamaño, facilidad de mantenimiento, distancia de operación, complejidad de control, rendimiento y capacidad de generación, y capacidad de carga, se obtiene como elementos seleccionados el aerogenerador Aeolos h-10kW, electrolizador Hydrogenics HySTAT 10 y la pila de combustible Horizon Fuel Cell FCS-C3000.

A continuación se especifican las características técnicas de cada uno de los tres componentes, dentro de las tablas No. 4.2, tabla No. 4.3 y tabla No. 4.4., las mismas que son obtenidas directamente del fabricante, y cuyos valores posteriormente en el marco propositivo son considerados para medición de la producción final energética del sistema.

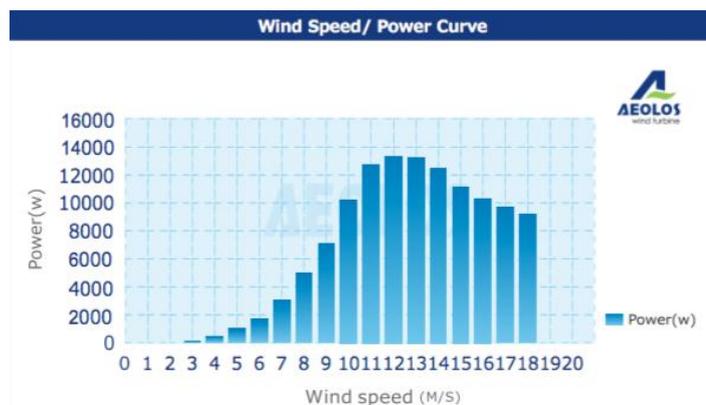
**Tabla 4.2. Cuadro de características aerogenerador Aeolos H-10kW**

<b>TURBINA</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>AEOLOS H-10 kW</b>
Potencia promedio	10 kW
Potencia máxima	13 kW
Viento de arranque	2.5 m/s (5.6 mph)
Viento nominal de funcionamiento	10 m/s (22.3 mph)
Viento máximo de seguridad	50 m/s (111.8 mph)
Tiempo de vida útil	30 años
Peso promedio	520 kg (1146.4 lbs.)
<b>ROTOR</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>AEOLOS H-10 kW</b>
Diámetro rotor	8.0 m (26.2 ft)
Área de barrido	50.2 m <sup>2</sup> (538.9 ft <sup>2</sup> )
Velocidad del rotor	180 rpm
Material de las aspas	Fibra de Vidrio
<b>GENERADOR</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>AEOLOS H-10 kW</b>
Tipo de controlador	Direct Drive (sin caja de engranajes)
Tipo de generador	PMG Trifásico
Voltaje del generador	300 VDC
Eficiencia	95%
<b>CONTROLADOR</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>AEOLOS H-10 kW</b>
Sistema de control	PLC con pantalla táctil

Monitoreo remoto	Opcional
<b>SISTEMA DE SEGURIDAD</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>AEOLOS H-10 kW</b>
Sistema principal de frenado	Control Yaw y freno electrónico
Sistema secundario de freno	Freno mecánico hidráulico
Respaldo de energía	UPS 24V
<b>TORRE DE CAPTACIÓN</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>AEOLOS H-10 kW</b>
Torre monopolo	24 m
Torre hidráulica	24 m
<b>GARANTÍA</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>AEOLOS H-10 kW</b>
Garantía estándar	5 años

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

Como adicional específico de las características del aerogenerador se añaden a continuación los gráficos de curva de potencia con respecto a la velocidad del viento (gráfico No. 4.1), y la tabla de producción de potencia y energía anual con respecto a la velocidad del viento obtenida dentro del proceso de captación (tabla No. 4.3)



**Gráfico 4.1. Curva de potencia Aeolos H-10kW**

Fuente: (AEOLOS, 2015)

**Tabla 4.3. Características curva de potencia Aeolos H-10kW**

<b>Aeolos-H 10kW Salida de Potencia y energía anual</b>								
<b>Vel. Viento (m/s)</b>	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Potencia generador (w)</b>	198	485	1020	1850	3098	4852	7320	10080
<b>Generación anual energía (kWh)</b>	3469	7647	15190	25930	40708	59505	83360	105961

Fuente: (AEOLOS, 2015)

Como se observa en la tabla No. 4.3, la generación anual de energía a partir de la captación del viento tiene un crecimiento exponencial de la misma con respecto a la velocidad del viento mantenida dentro del emplazamiento, y tienen que ver mucho con las características de velocidad de arranque del aerogenerador, velocidad nominal de funcionamiento y velocidad de protección final.

En cuestión del electrolizador, después de la revisión por criterios ponderados de entre las tres opciones disponibles (Hydrogenics HySTAT 10, Hogen H Series H6m y HGenerators LM-2000) se seleccionó por sus características el Hydrogenics HySTAT 10, cuyas especificaciones se detallan a continuación en la tabla No. 4.4.

**Tabla 4.4. Cuadro de características electrolizador HySTAT 10**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>Hydogenics HySTAT 10</b>
<b>Presión de operación</b>	10 bar
<b>Flujo nominal máximo de Hidrógeno</b>	10 Nm <sup>3</sup> /h
<b>Rango flujo de hidrógeno</b>	40 – 100%
<b>Pureza hidrógeno (antes HPS<sup>1</sup>)</b>	99.9%; H <sub>2</sub> O saturado, O <sub>2</sub> <1000 ppm
<b>Pureza hidrógenos (después HPS)</b>	99,998%
<b>Número de celdas</b>	1
<b>Consumo estimado de potencia AC</b>	4,9 kWh/Nm <sup>3</sup> a carga total
<b>Voltaje</b>	3 x 400 VAC
<b>Frecuencia</b>	50 Hz
<b>Potencia instalada</b>	100 KVA
<b>Temperatura máxima refrigerante (electrolito)</b>	40°C
<b>Flujo de refrigerante diseño (electrolito)</b>	2 m <sup>3</sup> /h
<b>Temperatura máxima refrigerante (enfriamiento gas)</b>	15°C
<b>Flujo de refrigerante diseño (enfriamiento gas)</b>	0,15 m <sup>3</sup> /h
<b>Consumo de agua destilada</b>	< 1 2 litro/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>
<b>Electrolito</b>	H <sub>2</sub> O + 30%
<b>Cantidad de electrolito aproximado</b>	300 L
<b>Área de instalación</b>	Interiores
<b>Rango temperatura ambiente</b>	+5°C a +40°C
<b>Dimensiones parte procesamiento</b>	1,7m x 1,85m x 2,6m
<b>Dimensiones parte potencia</b>	0,9m x 0,9m x 2,3m
<b>Dimensiones panel de control</b>	1,0m x 0,5m x 2,1m
<b>Peso aproximado parte</b>	1350 kg

<sup>1</sup> HPS = Sistema de purificación del hidrógeno.

<b>procesamiento</b>	
<b>Peso aproximado parte potencia</b>	750 kg
<b>Peso aproximado Panel de control</b>	400 kg

Fuente: (Hydogenics Advanced Hydrogen Solutions, 2014)



**Gráfico 4.2. Estructura Física HySTAT 10**

Fuente: (Hydogenics Advanced Hydrogen Solutions, 2014)

Finalmente se especifican las características tecnológicas de la pila de combustible, la misma que es la encargada de realizar el proceso inverso para aprovechamiento de la energía almacenada en depósitos de hidrógeno realizado por el electrolizador. Por criterios ponderados, la pila de combustible seleccionada para el sistema, por la capacidad de producción requerida es la Horizon Fuel Cell FCS-C3000, detallando sus cualidades dentro de la tabla No. 4.5.

**Tabla 4.5. Cuadro de características pila de combustible FCS-C3000**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>Horizon Fuel Cell FCS-C3000</b>
<b>Tipo de celda de combustible</b>	Membrana de intercambio de protones
<b>Número de celdas</b>	72
<b>Potencia promedio</b>	3000 W
<b>Performance</b>	43,2V @ 70 <sup>a</sup>
<b>Voltaje Soporte H2</b>	12V
<b>Voltaje válvula de purga</b>	12V
<b>Voltaje soplador</b>	12V
<b>Reactantes</b>	Hidrogeno y aire
<b>Temperatura externa</b>	5 a 30°C
<b>Máxima temperatura esquema</b>	65°C
<b>Presión H2</b>	0,45 – 0,55 bar
<b>Pureza Hidrógeno</b>	>99,995%
<b>Humidificación</b>	Auto humidificación
<b>Refrigeración</b>	Refrigeración por aire
<b>Peso</b>	15 kg
<b>Peso controlador</b>	2,5 kg
<b>Dimensiones</b>	41,8cm x 35cm x 18,3cm
<b>Flujo promedio a máxima salida</b>	39 L/min
<b>Tiempo de arranque</b>	< 30 segundos a temperatura ambiente
<b>Eficiencia de la pila</b>	40% @ 43,2V
<b>Apagado de bajo voltaje</b>	36V
<b>Apagado de sobre carga</b>	90 A
<b>Apagado de sobre temperatura</b>	65°C
<b>Soporte energía externa</b>	13V

Fuente: (Horizon, 2011)

#### **4.4.5. Producción energética estimada.**

Como paso final anterior a la demostración del análisis de factibilidad de implementación del sistema híbrido, se requiere proponer la relación de

producción energética estimada del sistema, tomando en cuenta en este punto solamente la producción energética del parámetro eólico, ya que el proceso de participación del electrolizador y la pila de combustible son para poder hacer un almacenamiento efectivo de dicha producción y poder hacer uso de la misma solamente cuando el sistema así lo requiera.

Para la producción eólica del aerogenerador se obtiene que, a partir de la interpolación de valores determinados por el fabricante dentro de la curva de potencia (Gráfico No. 4.1), indicando la potencia máxima aprovechable del recurso eólico existente en el emplazamiento, a continuación se desarrolla la consiguiente tabla de producción energética eólica mensual, trimestral, semestral y anual bruta (Tabla No. 4.6. y Tabla No. 4.7), a partir de la cual se obtiene la producción eólica neta tomando en cuenta los siguientes factores de pérdidas y respectivos coeficientes de participación:

- Suciedad de las palas: 5%
- Disponibilidad del recurso: 12%
- Mantenimiento: 1%
- Factor medio de pérdidas: 5,4%

**Tabla 4.6. Producción energética eólica RS Roth S.A. – periodo productivo**

<b>Parámetro</b>	<b>Producción mensual (kWh/mes)</b>	<b>Producción trimestral (kWh/trimes.)</b>	<b>Producción semestral (kWh/semes.)</b>	<b>Producción anual (kWh/año)</b>
Producción energética bruta	284,7	854,1	1708,2	3416,4
Factor medio de pérdidas	5,4%	5,4%	5,4%	5,4%
Producción energética neta	269,33	807,98	1615,96	3231,91

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

**Tabla 4.7. Producción energética eólica RS Roth S.A. – periodo normal**

<b>Parámetro</b>	<b>Producción mensual (kWh/mes)</b>	<b>Producción trimestral (kWh/trimes.)</b>	<b>Producción semestral (kWh/semes.)</b>	<b>Producción anual (kWh/año)</b>
Producción energética bruta	635,1	1905,3	3810,6	7621,2
Factor medio de pérdidas	5,4%	5,4%	5,4%	5,4%
Producción energética neta	600,8	1802,41	3604,83	7209,66

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

La producción total corresponde a la suma de producción mensual, trimestral, semestral y anual respectivamente, dentro de sus periodos productivos como en su periodo normal (Tabla No. 4.8).

**Tabla 4.8. Producción energética eólica total RS Roth S.A.**

<b>Parámetro</b>	<b>Producción mensual (kWh/mes)</b>	<b>Producción trimestral (kWh/trimes.)</b>	<b>Producción semestral (kWh/semes.)</b>	<b>Producción anual (kWh/año)</b>
Producción energética neta productiva	269,33	807,98	1615,96	3231,91
Producción energética neta normal	600,8	1802,41	3604,83	7209,66
Producción energética total	870,13	2610,39	5220,79	10441,37

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

Finalmente, se establece una relación de la demanda de energía verificada a través del consumo en las planillas eléctricas de la empresa, con respecto a la oferta de energía provista por el sistema energético eólico de origen, provisto en la tabla No. 4.9.

**Tabla 4.9. Demanda energética vs oferta energética eólica RS Roth S.A.**

<b>Parámetro</b>	<b>Producción mensual (kWh/mes)</b>	<b>Producción trimestral (kWh/trimes.)</b>	<b>Producción semestral (kWh/semes.)</b>	<b>Producción anual (kWh/año)</b>
Producción energética total	870,13	2610,39	5220,79	10441,37
Demanda energética (planillas)	2400,17	7200,51	14401,02	28802,04
Diferencia energética	1530,04	4590,12	9180,23	18360,67

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

Como se verifica en la comparativa de demanda energética con respecto a la oferta energética eólica, existe una cobertura de aproximadamente el 36,25%

sobre las necesidades energéticas del complejo, que de acuerdo a una perspectiva inicial que se esperaba cubrir aproximadamente de un 20% - 25% de la energía del complejo, se establece que sobrepasa las expectativas propias del sistema.

#### **4.5. Análisis de factibilidad.**

##### **4.5.1. Gastos de adquisición.**

Los gastos de adquisición corresponden a todos los avalúos determinados para la adquisición del sistema de captación eólico, el electrolizador, la pila de combustible, el sistema de inversión de corriente, los sistemas de conexión de todo el sistema y los equipos auxiliares de funcionamiento, especificados dentro de la tabla No. 4.10.

**Tabla 4.10. Gastos de adquisición sistema híbrido (en USD)**

No	Parámetro	Cantidad	Valor neto	Transporte	Valor Final
1	Sistema 10kW Aeolos-H	1	16760,00	838,00	17598,00
2	Electrolizador Hydrogenics HySTAT 10	1	3960,00	198,00	4158,00
3	Pila de combustible Horizon Fuel Cell FCS-C3000	1	10484,00	524,20	11008,20
4	Inversor de corriente	1	570,90	28,55	599,45
5	Sistemas de Conexión	1 grupo	600,00	30,00	630,00
6	Equipos Auxiliares	1 grupo	850,00	42,5	892,50
<b>TOTAL</b>					<b>34886,15</b>

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

Dentro de las indicaciones de gastos de adquisición hay que tomar en cuenta que, según normativa legal el Estado Ecuatoriano y el Consejo Nacional de Electricidad conformaron medios de no agregado de aranceles a la importación, compra e implementación de medios de captación y generación energética a partir de recursos de energía renovable.

#### **4.5.2. Gastos de montaje e instalación.**

Los gastos de montaje e instalación, corresponden a los valores propios correspondientes al estudio técnico de desarrollo de la propuesta, la instrumentación utilizada para comprobación de los parámetros de origen de captación eólica, la obra civil si fuera necesaria, la cimentación requerida para ubicación de los sistemas de captación eólica, electrolización y producción energética por pila de combustible, además de los sistemas de ubicación de los mismos, tal como se indica en la tabla No. 4.11.

**Tabla 4.11. Gastos de montaje e instalación (en USD)**

No	Descripción	Tipo	Valor Final
1	Estudio técnico de desarrollo	Humano	600,00
2	Instrumentación	Material	200,00
3	Obra civil	Material	700,00
4	Cimentación	Material	450,00
5	Sistemas de ubicación	Material	100,00
6	Presupuesto imprevistos	10%	205,00
<b>TOTAL</b>			<b>2255,00</b>

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

#### 4.5.3. Gastos de personal y técnicos.

Para el cálculo de gastos por personal y técnicos de instalación supervisión y mantenimiento, se mantienen las siguientes suposiciones de participación dentro del proyecto de generación híbrida eólico – pila de combustible:

- En el momento de la instalación inicial del sistema es la única ocasión en la que participan todos los miembros del grupo de conformación del sistema: técnico supervisor, auxiliares técnicos, directores de obra y demás personal de implementación.
- Se establecen revisiones del sistema cada 8 años hasta completar la vida útil de los implementos estructurales del sistema.

Tomando en cuenta las suposiciones iniciales de gastos de personal y técnicos, a continuación en la tabla No. 4.12 se detallan los rubros específicos:

**Tabla 4.12. Gastos de personal y técnicos (en USD)**

No	Descripción	Instalación	1er. Rev	2da. Rev	3er. Rev.	4ta Rev	Total
1	Técnico supervisor de instalación	600,00	-----	-----	-----	-----	600,00
2	Auxiliar técnico	400,00	600,00	400,00	400,00	600,00	2400,00

	mantenimiento						
3	Director de obra	250,00	-----	-----	-----		250,00
4	Personal de implementación	400,00	-----	-----	-----		400,00
<b>TOTAL</b>							3650,00

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

#### 4.5.4. Gastos de mantenimiento.

Uno de los parámetros dentro del presupuesto de inversión de la propuesta a tomar en cuenta son los gastos de mantenimiento, ya que estos rubros garantizarían la vida útil de los implementos estructurales sin contratiempos que reduzcan su producción en manera exponencial, sino que mantengan el proceso de reducción de producción en un rango aceptable según especificaciones del fabricante. De esta manera los gastos de mantenimiento se visualizan dentro de la tabla No. 4.13

**Tabla 4.13. Gastos de mantenimiento (en USD)**

No	Descripción	1er. Rev.	2da. Rev.	3er. Rev.	4ta. Rev	Total
1	Sistema eólico	465,00	372,50	310,00	350,00	1497,50
2	Sistema de electrolización	103,00	142,00	110,00	200,00	555,00
3	Sistema pila de combustible	125,00	135,00	140,00	200,00	600,00
4	Instrumentos adicionales y conexiones	260,00	140,00	120,00	200,00	720,00
<b>TOTAL</b>						3372,50

Elaborado por: Ing. Fabián Gallardo.

#### 4.5.5. Inversión total de la propuesta.

La inversión total del proyecto corresponde a la sumatoria de los valores correspondientes a gastos de adquisición, montaje e instalación, personal y

técnicos, y finalmente mantenimiento del sistema completo durante la vida útil del mismo. De esta manera, la inversión total se representa por:

$$\text{Inversión Total} = \text{Adquisición} + \text{montaje} + \text{técnicos} + \text{mantenimiento}$$

Reemplazando los valores de cada uno de ellos dentro de la expresión de la inversión total, se obtiene un valor de:

$$\text{Inversión Total (en USD)} = 34886,15 + 2255,00 + 3650,00 + 3372,00$$

$$\text{Inversión Total (en USD)} = 44163,15 \text{ USD}$$

La inversión total es considerada para una amortización de la misma considerando una vida útil de cada uno de los implementos dentro del esquema de producción híbrido de 30 años, después de los cuales se necesitaría realizar un estudio técnico de análisis de actualización o suplantación parcial – total del sistema por tecnologías de mayor y mejor producción energética.

#### **4.5.6. Tiempo de recuperación de la inversión total.**

El tiempo de recuperación de la inversión total se verifica relacionando tal inversión total con respecto a la producción energética del sistema valorada en USD de acuerdo al valor por cada kWh sin subsidios por parte del Estado.

Colectivamente el sistema híbrido eólico – pila de combustible mediante producción de hidrógeno a través de electrolizador tiene una producción anual de 10441,37 kWh, con un costo del kWh en el Ecuador sin subsidios actualmente de 0,15 centavos de dólar. El valor total de producción en dólares americanos sería:

$$\text{Valor}_{\text{prod.}}(\text{en USD}) = (10441,37 \text{ kWh}) * (30 \text{ años}) * (0,15 \text{ USD/kWh})$$

$$\text{Valor}_{\text{prod.}}(\text{en USD}) = 46986,15 \text{ USD}$$

Relacionando el valor de la producción (48986,15 USD) con el valor de la inversión total (44163,15 USD), se obtiene un tiempo de recuperación de la inversión total de 28 años aproximadamente.

Si bien es cierto el tiempo de recuperación de la inversión total es muy cercano al tiempo de la vida útil del implemento, cabe señalar que para la empresa RS Roth S.A. la inclusión de este sistema híbrido representa otros beneficios enunciados sobre, la inclusión de medios de captación eólica aporta un medio de producción energética a partir de medios de energía renovable que proponen un ambiente de producción verde y de protección con el ecosistema.

De forma similar, la participación de medios de producción de hidrógeno por electrolización favorecen el conocimiento de este tipo de transformación y almacenamiento de energía en formatos de fácil transportación, los cuales al ser innovadores y de fácil ubicación, podrían ser incluidos en la gama de productos presentados dentro de las metas comerciales de la empresa RS Roth S.A.

El desarrollo de medios de producción energética por pila de combustible, ofrece al grupo de investigación de la empresa RS Roth S.A. un medio innovador de inclusión en las metas de la empresa, así como facilita el conocimiento de la misma para aplicación dentro de las empresas con las que trabaja en estos momentos, ya que el principal combustible que utiliza es el hidrógeno transportado en envases presurizados y el oxígeno del ambiente.

De forma especial cabe indicar, que el tiempo amplio de recuperación de la inversión está indirectamente influenciado a que el proceso de producción energética por pila de combustible se encuentra aún en maduración tecnológica y de medios de elaboración, por lo que toda la implementación correspondiente a este procedimiento de transformación es aún cara en sus avalúos económicos, en contraposición a las herramientas utilizadas dentro de la captación eólica, cuya tecnología es mucho más madura y al ser de amplia utilización mundial son más económicos en el mercado.

#### **4.6. Evaluación de influencia y compatibilidad con el entorno.**

La afección directa e indirecta de la implementación de un sistema de generación híbrida eólica – pila de combustible, se señala bajo las premisas que indican que la influencia del sistema de captación eólica dentro de medios de contaminación visual es evidente, debido a su gran tamaño y la proyección de barrido del viento por parte de las aspas, por lo cual es importante hacer un estudio específico de ubicación del mismo con la finalidad de reducir en la mayor cantidad posible esta contaminación.

Paralelamente, la contaminación sonora es prácticamente mínima, debido inicialmente a que el aerogenerador trabajaría por lo general en los rangos de velocidad iniciales, no alcanzando en ninguna ocasión la velocidad nominal en la cual la contaminación sonora sería importante, además por los materiales constructivos de las aspas y los medios de ubicación automática YAW del sistema de generación.

Finalmente, el impacto por producción de hidrógeno y manejo de producción eléctrica por pila de combustible al manejar elementos químicos no contaminantes al ambiente no producirían una contaminación del medio ambiente, aún cuando al liberarse calor dentro de los procesos es necesario la protección de las instalaciones aledañas a la ubicación específica de los mismos.

#### **4.7. Comprobación de hipótesis.**

Para la comprobación de la hipótesis y factibilidad de implementación de un sistema híbrido eólico – pila de combustible, cuya premisa inicial fue:

¿ Si se realiza un diagnóstico actual del medio de captación eólico en el emplazamiento de la empresa RS ROTH S.A., entonces se podrá realizar una propuesta de generación híbrida eólico - pila de combustible por electrolizador para reducción el consumo eléctrico proveniente de fuentes de energía convencionales?

Dicha hipótesis se ve corroborada mediante varias afirmaciones que establecen que, por medio de la caracterización de las cualidades eólicas dentro del emplazamiento de la empresa RS Roth S.A., en el sector de Calderón, provincia de Pichincha, con la implementación del sistema de captación Aeolos – H 10kW, conjuntamente con los beneficios que representa la transformación de la energía mediante almacenamiento en depósitos de hidrógenos y su posible implementación posterior en producción por pila de combustible, produce aproximadamente 10441,37 kWh tomando en cuenta periodos de producción normal y de alta producción diarios.

Desde una perspectiva de factibilidad económica, el tiempo de recuperación de la producción (28 años) es menor al tiempo de vida útil de los implementos (30 años), que si bien es cierto es muy cercana la una con la otra representa una serie de beneficios adicionales para la empresa, los mismos que están especificados tanto dentro del aspecto investigativo, comercial y de transporte de energía.

Con visión en la afección de la implementación y su compatibilidad con el entorno circundante, la única problemática visualizada es la contaminación visual, la misma que requiere de un estudio de ubicación adicional con la finalidad de reducir en la mayor cantidad posible este efecto, considerando que la contaminación auditiva es mínima en todos los aspectos.

El manejo de elementos químicos no contaminantes con el ambiente garantizan la utilización de los medios de electrolización y de producción energética por pila de combustible, siendo un problema secundario la expulsión de calor en ambos

procesos, los mismos que puede dar paso a elementos de aprovechamiento térmicos de los mismos.

## CONCLUSIONES

- A partir de una revisión bibliográfica para identificar los estudio teóricos técnicos procedentes a temas investigativos sobre captación y generación eólica, producción energética por pila de combustible y metodologías de acople de tecnologías para hibridación de sistemas energéticos, se especificó un medio de almacenamiento energético, diferente a las baterías de sistemas eólicos, con lo que dicha energía alternativa a través del manejo del hidrógeno y la pila de combustible es mucho más fácil para su transportación y uso dentro de las instalaciones de la empresa RS Roth S.A.
- Se verificó inicialmente que dentro del emplazamiento existía una velocidad promedio en el rango completo de 3,35 m/s y una velocidad promedio en el rango productivo de 4,51 m/s, las mismas que de acuerdo a las características el aerogenerador seleccionado Aeolos – H 10kW tendrían una producción aproximada de 7209,66 kWh y 3231,91 kWh/año respectivamente.
- Con base en el consumo energético propuesto dentro de las planillas eléctricas mensuales de la empresa RS Roth S.A., existe un consumo energético promedio en el horario A (07:00 – 22:00) de 1429,67 kWh y de 970,50 kWh en el horario B (22:00 – 07:00), la misma que establecería una demanda mensual específica de 2400,17 kWh.
- Como se verifica en la comparativa de demanda energética con respecto a la oferta energética eólica, existe una cobertura de aproximadamente el 36,25%, ya que de una demanda energética anual de 28802,04 kWh con el sistema híbrido de generación eólico – pila de combustible se cubriría solamente 10441,37 kWh sobre las necesidades energéticas del complejo, que sobrepasa la perspectiva inicial que se esperaba cubrir aproximadamente de un 20% - 25% de la energía del complejo.
- Con fundamentación en un marco propositivo, metodológico, de obtención y análisis de resultados, se estructuró un marco propositivo que solventa una solución a la situación problemática, y de paso a la implementación de un sistema de generación híbrido eólico – pila de combustible por electrolizador para la empresa RS ROTH S.A., que si bien es cierto posteriormente dentro

del análisis de factibilidad representa un retorno de inversión a largo tiempo, dentro de las premisas de las metas investigativas de la empresa RS Roth S.A. le soportan un alto nivel competitivo con respecto al resto de empresas de similares características en el campo industrial de acción de negocio.

- Dentro de la factibilidad económica se logra un total de 44163,15 USD, los mismos que con respecto a la producción energética valorada en USD de 46986,15 USD da un tiempo de recuperación de la inversión de 28 años, que si bien es cierto es muy cercana la una con la otra representa una serie de beneficios adicionales para la empresa, los mismos que están especificados tanto dentro del aspecto investigativo, comercial y de transporte de energía.
- Con visión en la afección de la implementación y su compatibilidad con el entorno circundante, la única problemática visualizada es la contaminación visual, mientras que con el manejo de elementos químicos no contaminantes con el ambiente garantizan la utilización de los medios de electrolización y de producción energética por pila de combustible, siendo un problema secundario la expulsión de calor en ambos procesos, los mismos que puede dar paso a elementos de aprovechamiento térmicos de los mismos.

## RECOMENDACIONES

- Para el mantenimiento del sistema, tanto del medio de captación eólica, electrolización y producción energética por pila de combustible, se debe mantener a todo momento las indicaciones elaboradas y entregadas por el respectivo fabricante, con una correcta capacitación de cada uno de los técnicos y personal de mantenimiento, dentro de los plazos de 8 años específicos para las revisiones.
- El personal técnico y de implementación del sistema, debe orientarse desde un inicio en el esquema aplicado de la hibridación, tomando en cuenta la utilización del hidrógeno como medio de transportación de la energía para su utilización en otros medios de producción o inclusión en la cartera comercial de la empresa RS Roth S.A.
- La manutención y vida útil de todo el sistema es de 30 años, siendo primordial en este punto adjuntar una planificación total de los medios de mantenimiento del sistema, con todos los esquemas de flujos de procesos a realizarse por el personal en cada uno de ellos, así como las medidas de seguridad del personal a realizarse a todo momento.
- Tomar en cuenta todas las indicaciones para la correcta medición del parámetro eólico en el emplazamiento, que si bien se mantiene por lo generales en los niveles mínimos de velocidad requeridos para el funcionamiento nominal del aerogenerador, la producción del mismo es beneficiosa.
- El estudio eólico después de su instalación debe ser regularmente cada año para poder hacer seguimiento de producción de la misma, con lo que la proyección de retorno de inversión y avalúo de la producción variaría a medida que se sigue el sistema de producción energética híbrida, aún cuando de acuerdo al investigador no existirían mayores variaciones de avalúos económicos de la misma.

## BIBLIOGRAFÍA

### REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS

AEOLOS. (2015). *Aeolos - H 10kW Brochure*. Londres: Wind Turbine Star.

Cabrera, J. A., & Azkarate, G. (2006). *Hidrógeno y Pilas de Combustible*. Madrid, España: Fundación OPTI.

Cano Castillo, U. (Septiembre/Octubre de 1999). Las celdas de combustible: verdades sobre 1 generación de electricidad limpia y eficiente vía electroquímica. *Boletín IIE*, 208 - 219.

Castro, E., Brenes, D., López, W., Madrigal, O., Matarrita, B., Serrano, J., y otros. (2008). *Manual de Procedimientos para las Estaciones Meteorológicas*. Sarapiquí: Organización para Estudios Tropicales.

Chen, F., Duic, N., Alves, L., & da Graca, M. (2007). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

Cuenca Garrido, P. (2009). *Diseño e integración de instalación de un sistema de producción energética eólica*. Madrid, España: Carlos III.

Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., y otros. (2011). *Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*. Postdam: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

Franquesa Voneschen, M. (2009). *Introducción a la teoría de las turbinas eólicas*. Castelldefels, España: Bauverlag.

- Horizon. (2011). *3000W Fuel Cell Stack User Manual FCS-C3000*. Texas: FuelCell Store.
- Hydrogenics Advanced Hydrogen Solutions. (2014). *HySTAT Hydrogen Generator HySTAT 10*. Oevel: Hydrogenics.
- Mastráγγελ, S., Iannini, R., & González, J. (2008). Energía eólica. Teoría y características de instalaciones. *Boletín Energético No. 13*, 3 - 58.
- Mayandía, A. (2009). *Descripción y Modelado de una Pila de Combustible de Membrana de Intercambio Protónico*. Madrid, España: Universidad Carlos III de Madrid.
- MEER. (2008). *Políticas Energéticas del Ecuador 2008 - 2020*. Quito, Ecuador: MEER.
- MICROM MEXICO. (2006). *Generadores Eólicos*. México D.F.: Conдумex.
- Parque eólico experimental Sotavento. (2005). *Sistema de generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno*. Galicia: PEE Sotavento.
- WWF, ECOFYS y OMA. (2011). *El informe de la energía renovable. 100% energía renovable para el año 2050*. Gland: ENECO.

### **CITAS BIBLIOGRÁFICAS TEXTUALES**

- Amada, J. (2009). Curso de energía eólica. Zaragoza, España: I.E.
- Asea Brown Boverin. (2012). Plantas eólicas. Cuaderno de aplicaciones técnicas No. 12., 25.
- Asensio, P. (2008). Hidrógeno y Pila de combustible. Madrid, España: EM.

- Begoña, M., & Tomé, G. (2010). Ahorro y gestión eficiente de la energía. Madrid, España: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS).
- Dirección de Gestión de Desarrollo Comunitario e Inclusión Social de Calderón. (2012). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Calderón 2012 - 2025. Quito: Prefectura Provincial de Pichincha.
- Franco, A. A. (2014). Estudio Exploratorio del Potencial de Energía Eólica y Fotovoltaica en el Distrito Metropolitano de Quito. CIENCIAMERICA , 19 - 24.
- García, J. C. (2012). Producción de hidrógeno mediante electrolizadores. Estado del arte de la tecnología. Cádiz: IngenieríaQuímica.net.
- Manzini, F. L., & Macías, P. (2004). Nuevas energías renovables: una alternativa energética sustentable para México. Análisis y propuesta. México D.F., México: IILSEN.
- Mattio, H. F., & Tilca, F. (2009). RECOMENDACIONES PARA MEDICIONES DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DE VIENTO CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA, Y MEDICIÓN DE POTENCIA ELÉCTRICA GENERADA POR AEROGENERADORES. . Buenos Aires, Argentina: C.R.E.E.
- Observatorio de Energías Renovables en América Latina y el Caribe. (2011). Ecuador. Informe Final. Producto 1: Línea Base de las Tecnologías Energéticas. Prodcuto 2: Estado del Arte. México D.F., México: OLADE.
- Poggi, H., Martínez, A., Pineda, J., & Caffarel, S. (2009). Libro de ciencia y tecnología No. 2. Ecatepec de Morelos, Estado de México, México: Tecnológico de Estudio Superiores de Ecatepec.

Posso, F., & Sánchez, J. (2014). El desarrollo del Sistema Energético Solar - Hidrógeno en América Latina: Potencialidades, oportunidades y barreras. MASKANA , 5 (2), 61 - 79.

Romero González, J. (2015). Diseño de un generador eléctrico mediante hidrógeno eólico y pila de combustible en la ENM. Vigo, España: Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar.

Segura Manzano, F. (2009). Prototipo experimental de sistema híbrido basado en pila de combustible: diseño, modelado, implementación y testeo. Huelva, España: Universidad de Huelva.

Silva, F. (2013). Tecnología Industrial. Murcia, España: McGraw Hill.

## **ANEXOS**