



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**SISTEMA DE ENERGÍA ALTERNA PARA LA GENERACIÓN
ELÉCTRICA EN MÚLTIPLES DE GAS LIFT**

Br. Miguel A. Bort R.

Mérida, Julio, 2009

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**SISTEMA DE ENERGÍA ALTERNA PARA LA GENERACIÓN
ELÉCTRICA EN MÚLTIPLES DE GAS LIFT**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero
Electricista.

Br. Miguel A. Bort R.

Tutor: Prof. José G. Contreras

Asesor: Ing. José Santaella

Mérida, Julio, 2009

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRICA**

**SISTEMA DE ENERGÍA ALTERNA PARA LA GENERACIÓN
ELÉCTRICA EN MÚLTIPLES DE GAS LIFT**

Br. Miguel A. Bort R.

Trabajo de Grado, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos exigidos para optar al título de Ingeniero Electricista, aprobado en nombre de la Universidad de Los Andes por el siguiente Jurado.

Prof. Ricardo Stephens
C.I. 15.175.313

Prof. Ernesto Mora
C.I. 3.499.666

Prof. José G. Contreras
C.I. 4.490.926

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo lleno de tantos sacrificios y empeño a quienes significan la mayor inspiración en todas las acciones de mi vida y hacen que todo en ella tenga sentido y valga la pena.

A Dios todopoderoso, por estar presente en cada momento de mi vida, por guiarme por el camino del bien y hacerme una mejor persona día a día, por darme inteligencia y sabiduría y permitirme lograr una de tantas metas propuestas.

A mis padres Osleida Josefina Rondon Mendoza y Miguel Angel Bort Calderas les dedico este gran triunfo con todo mi corazón gracias por la confianza que siempre han depositado en mí, por su esfuerzo, dedicación y apoyo en todo momento por ellos soy lo que soy hoy en día.

A mi novia Yeraldid Karina Lorenzo Ramírez por estar conmigo en este largo camino, apoyándome y ayudándome de una u otra forma en todo momento, gracias por confiar en mí.

MIGUEL ANTONIO BORT RONDON

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme permitido llegar hasta aquí, ya que siempre ha estado junto a mí en el difícil camino de la vida; orientándome por la senda del bien.

A mis Padres, por el impulso, el apoyo y la fé que depositaron en mí para alcanzar una de tantas metas propuestas.

A mis tutores, José G. Contreras y José Santaella, quienes me apoyaron y brindaron toda su colaboración y porque con su aporte cognoscitivo hicieron posible este Trabajo Especial de Grado.

Al Ing. Ender Pérez, por su invaluable aporte. Por ser quien me mostró el futuro de la ingeniería. Gracias por su tiempo, apoyo, colaboración y por brindarme sus conocimientos para la finalización de este Trabajo Especial de Grado.

Al Ing. Vicente Duran, director de Energías Renovables, por su gran atención, colaboración, apoyo y dedicación.

A la familia Telles Di giminiani por recibirme en su hogar y brindarme todo el apoyo durante este trabajo.

A mis amigos José Antonio Chinappi, Mario Briceño y Jesús Hernández por abrirme las puertas del 5 – 2 en la última etapa de este trabajo.

GRACIAS TOTALES

Br. Miguel Antonio Bort Rondon. Sistema de Energía Alterna para la Generación Eléctrica En Múltiples De Gas Lift. Universidad de los Andes. Tutor: José G. Contreras. Julio 2009.

RESUMEN

En el presente proyecto se diseña un sistema de energía alterna compuesto de un arreglo híbrido solar y eólico para generar energía eléctrica en sitio, en un múltiple de Gas Lift ubicado en el Lago de Maracaibo. El tipo de investigación fue proyecto factible. La población estuvo integrada por la Unidad de Explotación Tía Juana y Rosa Mediano. Se utilizaron las técnicas de observación directa la entrevista no estructurada y el análisis documental. Se plantea como una alternativa al suministro por cable submarino, el cual presenta una alta frecuencia de hurto, además de que se avanza en experiencia en el uso de tecnologías limpias “verdes” de generación eléctrica. Los cálculos indican que es factible suministrar hasta un 75 % de la carga sin efectuar mayores cambios en la infraestructura; económicamente presenta indicadores positivos. La carga eléctrica esta distribuida a un sistema de señalización y control, protección catódica y de iluminación. Como parámetro fundamental para estimar la energía solar y eólica disponible se analizaron datos de viento y radiación solar de once y dos años respectivamente, de diversas fuentes; el arreglo principal constaría de 2 aerogeneradores, 130 módulos solares y 144 baterías, con equipos de alta eficiencia y disponibles en convenios vigentes administrados por FUNDELEC.

Descriptores: Sistema Híbrido, Energías Alternativas, Eólica, Fotovoltaica y Múltiple de Gas

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
INTRODUCCIÓN	vi
CAPÍTULO	pp.
I PETRÓLEOS DE VENEZUELA SOCIEDAD ANÓNIMA	1
1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	1
1.2 MISIÓN Y VISIÓN DE PDVSA	4
1.2.1 Misión	4
1.2.2 Visión	5
1.3 GERENCIA DE TECNOLOGÍA DE EXPLOTACIÓN EYP, PDVSA OCCIDENTE	5
1.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DEL DEPARTAMENTO	6
II EL PROBLEMA	7
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
2.3 OBJETIVOS	10
2.3.1 Objetivo General	10
2.3.2 Objetivos Específicos	10
2.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	11
2.5 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	11
III MARCO TEÓRICO	12
3.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	12
3.2 BASES TEÓRICAS	14
3.2.1 Diseño	14
3.2.2 Energía Eléctrica	15
3.2.3 Energía Renovable	15
3.2.4 Beneficios de la Energía Renovable	16
3.2.5 Energía Solar	17
3.2.6 El Sol	17
3.2.7 Posición del Sol	18
3.2.8 La Celda Fotovoltaica	18
3.2.9 Principio Funcionamiento de la Celda Fotovoltaica	20
3.2.10 Componentes de un Sistema Fotovoltaico	21
3.2.11 Generador Solar Fotovoltaico	25

3.2.12 Limite de Conexión de Módulos en Serie	26
3.2.13 Conexión de Módulos en Paralelo. Cableado	26
3.2.14 Posibles Averías	26
3.2.15 Sistema de Generación	27
3.2.16 El Viento	28
3.2.17 Medida y Tratamiento de los Datos Eólicos	28
3.2.18 Velocidad del Viento	29
3.2.19 Rosa de los Vientos	31
3.2.20 Energía Eólica	32
3.2.21 Aerogenerador	34
3.2.22 Impacto Ambiental de los Aerogeneradores Eólicos	35
3.2.23 Efecto Invernadero	36
3.2.24 Protocolo de Kyoto	37
3.2.25 Múltiple de Gas de Levantamiento	37
3.2.26 Levantamiento Artificial por Gas(Gas Lift)	37
3.2.27 Factibilidad	38
3.2.28 Estudio de la Factibilidad	38
3.2.29 Método del Valor Presente Neto (VPN)	39
3.2.30 Método de la Tasa Interna de Retorno (TIR)	40
3.2.31 Costo-Beneficio	41
IV MARCO METODOLÓGICO	43
4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	43
4.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	44
4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	45
4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	45
4.5 PROCEDIMIENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	46
4.5.1 Crystall Ball	46
4.5.2 Autocad	46
4.5.3 CADWorx Plant	47
4.5.4 Staad.Pro	47
4.5.5 See Plus	47
V ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	49
5.1 ANALIZAR LOS ANTECEDENTES CLIMÁTICOS Y METEOROLÓGICOS DEL DISTRITO LAGO NORTE PARA DEFINIR LOS POSIBLES DISEÑOS DE ENERGÍA ALTERNA	49
5.1.2 Información de Vientos	51
5.1.3 información de Radiación Solar	55
5.2 DETERMINAR EL CONSUMO DE ENERGÍA EN EL MÚLTIPLE DE GAS LIFT PARA DIMENSIONAR LOS EQUIPOS A INSTALAR	58
5.2.1 Componentes del Sistema Híbrido	60
5.2.2 Cálculo del Sistema Eólico	62
5.3 ELABORAR PLANOS PARA LA UBICACIÓN APROPIADA DE LOS EQUIPOS	67
5.3.1 Estructura Soporte para el Aerogenerador	67

5.3.2	Inclinación y Ubicación de los Paneles Fotovoltaicos	68
5.3.3	Selección y Calculo del banco de Baterías	70
5.3.4	Escenario 2	76
5.3.5	Escenario 3	78
5.4	EVALUAR EL COSTO-BENEFICIO DE LA ENERGÍA ALTERNA	79
5.4.1	Factibilidad Técnica	80
5.4.2	Factibilidad Económica	80
	CONCLUSIONES	84
	RECOMENDACIONES	86
	REFERENCIAS	88
	ANEXOS	90

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	pp.
1.1 Estructura Organizacional de la Gerencia de Tecnología de Explotación	6
3.1 Estructura de una celda Fotovoltaica	19
3.2 Principio de Funcionamiento de la Celda Fotovoltaica	20
3.3 Sistema Fotovoltaico	21
3.4 Representación del Vector Velocidad del Viento en el Triedro Cartesiano	30
3.5 Componente Horizontal de la Velocidad del Viento	30
3.6 Rosa de los Vientos	31
3.7 Estructura del Aerogenerador	34
5.1 Ubicación de las Estaciones Meteorológicas y del Múltiple MG-TJ-3-34	50
5.2 Vientos Alisios de la Zona	52
5.3.a Predominancia del Viento vel. media	52
5.3.b Predominancia del Viento vel. max.	52
5.4 Frecuencia de Operación de los Aerogeneradores	53
5.5 Mapa Eólico de Venezuela	55
5.6 Curva de Irradiancia	56
5.7 Horas Pico Solar Promedio	56
5.8.a Radiación Solar en Venezuela	57
5.8.b Meso Escala	57
5.9 Sistema Híbrido	61
5.10 Curva de Potencia del Aerogenerador Inclín 6000	63
5.11 Planos del Múltiple de Gas MG-TJ-3-34	68
5.12 Estructura Soporte para el Aerogenerador	70
5.13 Inversor APS2424 Power Verter	74

LISTA DE TABLAS

TABLA	pp.
3.1 Dirección del Viento	32
3.2 Interpretación del VPN	40
3.3 Criterios de Aceptación del proyecto	41
3.4 Operacionalización de la Variable	42
4.1 Metodología de la Investigación	48
5.1 Ubicación de las Estaciones Meteorológicas	50
5.2 Datos de la Velocidad Promedio Estudiados	51
5.3 Valores Estadísticos	54
5.4 Equipos que Integran el Sistema de Señalización y Control	58
5.5 Energía Instalada en el Múltiple MG-TJ-3-34	59
5.6 Principales Parámetros para Dimensionar el Sistema Híbrido	61
5.7 Modelos Reconocidos de Aerogeneradores y sus Características	62
5.8 Calculo para los Aerogeneradores	64
5.9.a Selección y Calculo de Paneles	66
5.9.b Selección del Arreglo Solar	67
5.10 Ángulo de Inclinación para los Paneles Solares	69
5.11 Requerimiento de Corriente	72
5.12 Selección del Regulador	73
5.13 Selección del Inversor	74
5.14 Resultado del Sistema Híbrido	75
5.15 Carga Instalada sin Alumbrado	76
5.16 Resultado del Diseño Sistema Híbrido Escenario 2	77
5.17 Carga Instalada	78
5.18 Resultado del Diseño Sistema Híbrido Escenario 3	78
5.19 Inversión Inicial de Capital	81
5.20 Costo Asociado al Tendido de Cable	82
5.21 Desembolso Asociado	83

INTRODUCCIÓN

Paralelo al desarrollo de la civilización ha sido el creciente uso de las diversas fuentes energéticas del planeta, siendo la mayor parte de estas procedentes de recursos naturales no renovables, como los hidrocarburos fósiles: petróleo, gas y carbón. En la tendencia actual de explotación de estas fuentes tradicionales de energía se prevén catastróficas consecuencias por su pronto agotamiento si no se adoptan medidas urgentes para revertir esta situación. A este escenario negativo se suma los efectos perjudiciales en la atmósfera terrestre por la acumulación de gases de combustión que dan origen al llamado efecto invernadero que ya está produciendo el incremento en la temperatura global del planeta.

Medidas para revertir este futuro sombrío que afectaría a más de seis mil millones de personas está el desarrollo y uso masivo de las llamadas energías alternativas o verdes, que aprovechan los inmensos recursos naturales renovables que se tienen alrededor de todo el mundo. Entre las más relevantes se pueden citar la energía eólica y solar, que a la fecha han alcanzado avances importantes, con el beneficio de mejoras tecnológicas que casi a diario se están alcanzando en dichas ramas.

Venezuela no puede estar lejos ni ajena al desarrollo e implementación de las tecnologías de generación eléctrica provenientes de energía solar y eólica, por lo cual ha establecido en una primera etapa convenios de cooperación para el suministro de adiestramientos, asesorías en el diseño de sistemas con estos arreglos, equipos y materiales.

Aprovechando el convenio existente con FUNDELEC, para ofrecer una alternativa de solución al problema creciente del hurto de cable submarino de alimentación eléctrica que afecta a un importante número de instalaciones de producción como estaciones de flujo y

múltiples de gas de levantamiento, y para avanzar en las experiencias necesarias para la masificación en el uso de energías limpias, mediante arreglos híbridos: solar y eólico, es que surge este trabajo especial de grado.

El objetivo principal es el diseño de un sistema de energía alterna en un Múltiple de Gas Lift (Gas de Levantamiento) ubicado en Lago Norte PDVSA Occidente, para la generación de energía eléctrica en sitio. Para esto inicialmente se realiza un análisis de los antecedentes climáticos y meteorológicos que determinarían el uso potencial de la energía proveniente del sol y viento en el área. Calculando la demanda energética de la instalación y diseñando el arreglo híbrido que pueda proveerla se establecerán las condiciones que pueden hacer factible el uso masivo de estas fuentes de energía para suministro de alimentación eléctrica en sitio (aislada del sistema eléctrico tradicional).

La investigación está estructurada en cuatro capítulos que se detallan a continuación:

El primer capítulo contempla el problema, en el se explica el planteamiento del problema, los objetivos general y específicos, la justificación y delimitación. En el segundo capítulo se exponen los aspectos del marco teórico, como son los antecedentes, las bases teóricas y el sistema de variables. Por otra parte, el tercer capítulo muestra el marco metodológico de la investigación conformado por el tipo, el diseño de investigación, la población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y la metodología aplicada. Finalmente en el cuarto capítulo se presenta el diseño y los resultados del cálculo del sistema de energía alterna compuesto por un arreglo híbrido: solar y eólica, para la generación de energía eléctrica en sitio.

CAPÍTULO I

PETRÓLEOS DE VENEZUELA SOCIEDAD ANÓNIMA (PDVSA)

Este capítulo presenta los aspectos más resaltantes de la empresa en la cual se realizó el presente trabajo.

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

Petróleos de Venezuela S.A. es la corporación estatal de la República Bolivariana de Venezuela que se encarga de la exploración, producción, manufactura, transporte y mercadeo de los hidrocarburos, de manera eficiente, rentable, segura, transparente y comprometida con la protección ambiental; con el fin de motorizar el desarrollo armónico del país, afianzar el uso soberano de los recursos, potenciar el desarrollo endógeno y propiciar una existencia digna y provechosa para el pueblo venezolano, propietario de la riqueza del subsuelo nacional y único dueño de esta empresa operadora.

La empresa cuenta con las mayores reservas de hidrocarburos en el continente americano, 78 millardos de barriles de crudo, que representan aproximadamente la mitad de las reservas de la región. Estos volúmenes la colocan en el cuarto lugar mundial en disponibilidad de reservas probadas. Al sumar las reservas de la Faja del Orinoco, posee la mayor acumulación de combustibles líquidos del planeta, 300 millardos de barriles. Con respecto al gas natural, tiene aproximadamente el 30 % de las reservas del continente americano, 148 billones de pies cúbicos.

Además, PDVSA se encuentra entre las primeras compañías energéticas en capacidad de refinación con un sistema que le permite procesar crudo en Venezuela, el Caribe, Estados Unidos y Europa. La capacidad de procesamiento de petróleo obtenida se logra gracias a la presencia de seis complejos en Venezuela y a la participación en una refinería en el Caribe, ocho en los Estados Unidos y nueve en Europa. Parte de las refinerías incorporan procesos petroquímicos. Ello, sumado a las 15.000 estaciones de servicios en el exterior (13.000 abanderadas con la marca CITGO) permite asegurar competitivamente la colocación de nuestros crudos y productos.

La intención estratégica de PDVSA es ser una empresa que se distingue por su solidez financiera, bajos costos, altos márgenes de refinación y comercialización, calidad de servicios y cercanía al cliente, fortaleza y habilidad para desarrollar nuevos negocios en el sector de los hidrocarburos con la participación de capital nacional e internacional, seguridad en sus operaciones y su compromiso con la conservación del ambiente.

Petróleos de Venezuela S.A. dedica esfuerzos a la búsqueda, generación y desarrollo de conocimientos, equipos y procesos de vanguardia tecnológica para su aplicación en las actividades del negocio y para reforzar e incrementar su capacidad que le permitan compartir el éxito en el ámbito nacional e internacional. En cada uno de los lugares donde está presente, Petróleos de Venezuela ha trazado una línea de ascendente productividad, basada en eficiencia y responsabilidad empresarial y que tiene un reconocido impacto económico, social y cultural a escala local, regional, nacional y mundial.

1.2 MISIÓN Y VISIÓN DE PDVSA

1.2.1 Misión

Maximizar estrategias que permitan la recuperación eficiente y rentable de las reservas de hidrocarburos, mediante la elaboración de un plan de explotación, promoviendo el crecimiento socio-económico del país; garantizando el manejo de la gestión con sentido de negocio, logrando mejoras continuas en los procesos y de gran impacto en la creación de

valor, basados en el desarrollo del personal y tecnología, con el mayor grado de seguridad, protección, calidad y flexibilidad, dirigido hacia la máxima satisfacción de nuestros clientes y la búsqueda permanente de la excelencia.

1.2.2 Visión

Maximizar estrategias que permitan la recuperación eficiente y rentable de las reservas de Hidrocarburos, mediante la elaboración de un plan de explotación, promoviendo el crecimiento socio – económico del país; garantizando el manejo de la gestión con sentido de negocio, logrando mejoras continuas en los procesos y de gran impacto en la creación de valor, basado en el desarrollo del personal y tecnología, con el mayor grado de seguridad, protección, calidad y flexibilidad, manteniendo relación con su entorno y dándole preponderancia al pueblo como propietario del petróleo y receptor final de los beneficios que producen los hidrocarburos y sus derivados, propiciando la unión de las comunidades, las cooperativas y la principal industria del país para la puesta en marcha de programas y proyectos, dentro de un ambiente de cooperación y proactividad, en la búsqueda permanente de la excelencia.

1.3 GERENCIA DE TECNOLOGÍA DE EXPLOTACIÓN EYP, PDVSA OCCIDENTE

La Gerencia de Tecnología Occidente como parte del proceso que realiza Petróleos de Venezuela S.A., es la encargada de generar soluciones tecnológicas integrales, con especial énfasis en las actividades de Exploración, Producción, Refinación e Industrialización. De igual manera, es responsable del resguardo del acervo tecnológico de la Corporación, ya que el mundo actual posee un acelerado proceso de cambio que se ha tornado más competitivo debido al desarrollo de las nuevas tecnologías y a la creciente globalización, caracterizado por una competencia creciente, la cual abarca la economía, los mercados y los recursos humanos, el desarrollo de las nuevas tecnologías ha impactado la forma de gerenciar en las empresas, el cual exige mayor innovación y ofrece la posibilidad de crear nuevos productos y servicios de valor para los clientes.

El proceso general que realiza la gerencia de tecnológica es concebido en el marco de la planificación estratégica, a través del cual se delimitan un conjunto de lineamientos para la acción técnico gerencial, que se traducen en la elaboración del plan y el informe anual de tecnología, es importante acotar que el departamento abarca la evaluación tecnológica de todas las unidades de explotación de occidente.

1.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DEL DEPARTAMENTO

La gerencia de tecnología de explotación está distribuida como se observa en la siguiente estructura organizacional:

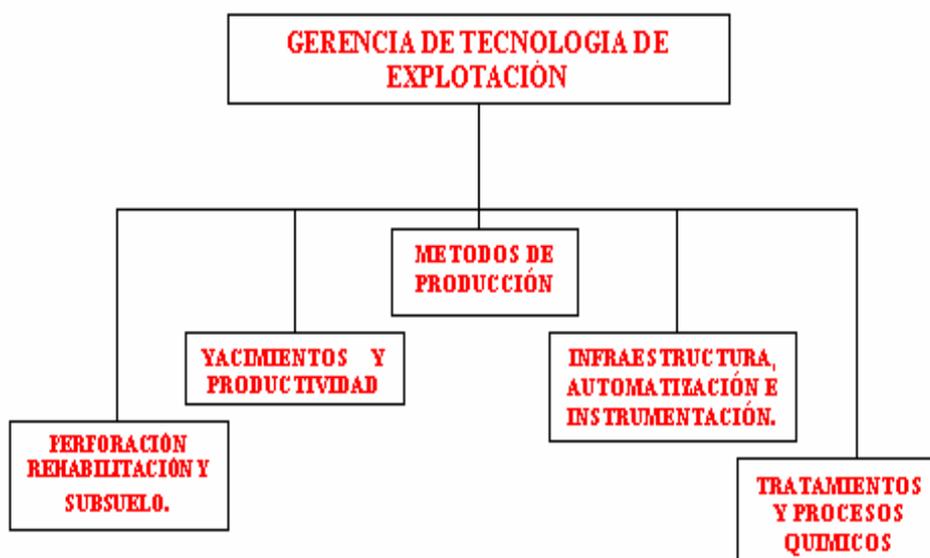


Fig. 1.1. Estructura Organizacional de la Gerencia de Tecnología DE Explotación. [Gerencia de Tecnología PDVSA. (2008)]

CAPÍTULO II

EL PROBLEMA

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La seguridad de instalaciones industriales está relacionada con la protección al personal, a los activos y al medio ambiente, de factores tan diversos como terrorismo, accidentes y robos, para así garantizar la eficiencia operacional, la continuidad y optimización de las operaciones, mediante la supervisión y control en tiempo real para la comunicación a cualquier parte en cualquier momento.

En ese sentido, los constantes avances tecnológicos han permitido el mejorar considerablemente el resguardo de instalaciones industriales, poniendo a disposición equipos y sistemas cada vez más eficaces. Entre estos se puede mencionar sensores de movimiento (detección de intrusos), cámaras de vigilancia, control de accesos, transmisión de datos en tiempo real, que según el grado de sofisticación pueden llegar a ser muy costosos e implican el desarrollo de proyectos de larga duración.

Cabe destacar que, existe un flujo de información desde los elementos primarios como las cámaras, sensores de movimiento, hasta las salas de comando y control, que se pueden resumir en las funciones de detectar, analizar y reaccionar. Próximo al proceso se encuentran las cámaras, sensores y controles de accesos, recopilando información que es procesada por equipos locales tales como controladores lógicos programables (PLC), mediante un sistema de transmisión de datos vía radio o sistemas satelitales se envían a salas de control y comando, que permiten un monitoreo, control integrado y centralizado que facilita la toma de decisiones,

la ejecución y coordinación de acciones de respuesta ante la detección de anomalías en cualquier empresa (Thales, 2008)

Dependiendo del tamaño de la infraestructura industrial que requiera ser resguardada y del presupuesto disponible para acometer estas inversiones será el grado de seguridad que tendrán. En el caso particular de las industrias petroleras, que están sujetas a un mercado cambiante de precios (lo cual determinará sus posibilidades de inversión en nuevos proyectos), del número y dispersión de sus instalaciones, el aspecto de la seguridad es vital y muy crítico.

En la cadena productiva petrolera existe un primer conjunto de instalaciones que son las más próximas al yacimiento, estas serían los pozos, los taladros de perforación, las plataformas costa afuera; en un nivel intermedio estaría la infraestructura de recolección, distribución, transporte y almacenamiento de fluidos (estaciones de flujo, múltiples de gas, oleoductos, gasoductos, patios de tanques), al final de esta cadena se encuentran los centros de procesamiento como refinerías y terminales de embarque.

En el caso particular de Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA) Occidente el número y dispersión de las instalaciones, tanto en tierra como en el lago de Maracaibo, aumentan a medida que los yacimientos son más grandes, es decir, pozos, estaciones de flujos y múltiples de gas, lo que dificulta el resguardo de todas. De estas son más atractivos a las acciones vandálicas los múltiples y estaciones de flujo lacustre, en las cuales los sistemas de control y automatización instalados son relativamente costosos. El suministro de energía eléctrica a estas instalaciones se realiza con un cable submarino de potencia, también de alto costo en el mercado el cual está sujeto a este tipo de acciones vandálicas (PDVSA, 2008).

Los que están ubicados dentro de las instalaciones tienen la ventaja de un sistema de protección del perímetro compuesto de cercas y detección de intrusos, pero el caso del cable submarino por tener una longitud considerable y estar en el lecho lacustre, puede ser cortado y hurtado con suma facilidad. Este elemento, representa un atractivo especial porque su componente principal es el cobre, metal que es importado a un alto costo y que tiene una gran demanda debido a su uso en infinidad de aplicaciones.

En este contexto, la alimentación eléctrica cuando es interrumpida por el hurto del cable submarino origina el cese de las funciones de monitoreo, supervisión y control del múltiple, perdiéndose la función de optimización de los pozos ya que los actuadores de las válvulas de control de flujo no pueden ajustar la cantidad de gas óptima, también podría darse un hurto de los equipos instalados en el múltiple, ya que el sistema de detección de intrusos y transmisión de señales se desactiva.

La falta de optimización del gas de levantamiento se estima que impacta a la producción entre un 5 y 10% de su producción total, lo que origina una producción diferida considerable si son varios los múltiples a los que se le ha hurtado el cable submarino. Además de que los costos operativos se incrementan porque las revisiones por parte del personal de mantenimiento tienen que ser más frecuentes, así como las compras de nuevos equipos para reponer los hurtados. (Plan maestro de automatización, PDVSA Occidente 2008)

Otro hecho que agrava la situación es la dificultad de comprar grandes cantidades de este tipo de cable, ya que es un material importado, con gran demanda a nivel mundial (lo que lo encarece y lo limita en su oferta). También su fabricación lleva un tiempo considerable (más de tres meses), y su instalación (tendido en el lago) requiere de un recurso bastante limitado como lo son las gabarras de tendidos de cable.

Como puede apreciarse el eslabón más débil en el sistema de seguridad de la instalación es el cable de alimentación, ya que casi todo se encuentra fuera de esta, expuesto sin ninguna protección. Esto da origen al enfoque de generar la energía eléctrica en el sitio, y no traerla de un lugar remoto. Esta generación en sitio puede ser de diversas formas, entre ellas: motogeneradores (impulsados por motores de combustión interna), celdas fotovoltaicas (energía solar), aerogeneradores (energía eólica). Estas dos últimas (solar y eólica) constituyen lo que se denomina energías limpias o energías verdes, y son las principales que a nivel mundial se están impulsando para contrarrestar el efecto invernadero provocado por las emisiones de gases de los procesos de combustión según protocolo de Kyoto (1997).

Por estas razones, evitar la producción diferida por el hurto del cable submarino y dar inicio al uso de energías limpias en la principal industria del país, como lo es la petrolera, se estará desarrollando una prueba piloto en un múltiple de gas con celdas solares y aerogeneradores.

Esto servirá para evaluar todas las variables que intervienen en la futura masificación de esta tecnología. En virtud de la situación planteada, surge la necesidad del sistema de energía alterna en múltiple de gas lift ubicado en Lago Norte PDVSA Occidente, para la generación de energía eléctrica en sitio.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Basado en el planteamiento se formula la siguiente interrogante:

¿Cómo será el diseño del sistema de energía alterna en múltiple de gas lift ubicado en Lago Norte PDVSA Occidente, para la generación de energía eléctrica en sitio?

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo General

Diseñar un Sistema de Energía Alterna para la generación eléctrica en el Múltiple de Gas Lift ubicado en el Distrito Lago Norte PDVSA Occidente, para la generación de energía eléctrica en sitio.

2.3.2 Objetivos específicos

- Analizar los antecedentes climáticos y meteorológicos del Distrito Lago Norte para definir los posibles diseños de energía alterna.
- Determinar el consumo de energía en el Múltiple de Gas Lift para dimensionar los equipos a instalar.
- Elaborar planos para la ubicación apropiada de los equipos.
- Evaluar el costo – beneficio de la energía alterna.

2.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En vista del incremento de inseguridad que se ha venido presentando en PDVSA por el gran número y la dispersión de sus instalaciones, es necesario sustituir el cable submarino específicamente en los múltiples de gas lift, para obtener una mayor confiabilidad y operatividad, ya que tendrán una permanente visualización de las variables de campo teniendo el control de inyección de gas y permitiendo reducir de esta manera la producción diferida.

Por esta razón es justificable acometer la presente investigación, cuyo objeto es diseñar un sistema de energía alterna para la generación eléctrica en múltiples de gas lift, este servirá de marco de referencia como proyecto piloto para ser desarrollado en los demás múltiples, dando así mayor autonomía a las instalaciones que lo ameriten, a la par que sustituimos la energía convencional por energía limpia, disminuyendo la emisión de gases de combustión producidos por los ciclos termodinámicos generadores de electricidad, cumpliendo con el compromiso adquirido por Venezuela en el tratado de Kyoto para el uso de la energía limpia de emisiones de gases tóxicos.

Desde el punto de vista teórico, en el marco de esta investigación se profundizará sobre conceptos y fundamentos científicos-tecnológicos, lo cual convertirá en material de referencia para otras investigaciones relacionadas directamente con el tipo de energía en el tratado u otro tipo de energía alternativa, cuyos lineamientos persigan objetivos similares. También puede ser utilizado como referencia teórica por los estudiantes con afinación a la generación de potencia. Por último, en el aspecto metodológico, se aplicarán principios, formas y herramientas basadas en el método científico de investigación, los cuales podrán ser utilizados por otros investigadores de la Universidad de los Andes u otras instituciones universitarias del país.

2.5 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio se realizó en el Distrito Lago Norte de la empresa Petróleos de Venezuela S.A. región Occidente específicamente en el estado Zulia en múltiples de gas de levantamiento en el TJ - 3 - 34 y TJ - 3 - 40.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

Este capítulo contiene una descripción detallada de cada uno de los elementos de la teoría que serán directamente utilizados en el desarrollo de la investigación, en el se incluyen el conjunto de antecedentes, las bases teóricas relacionadas con el tema de estudio y el sistema de variables.

3.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Esta sección se refiere a qué se ha escrito o investigado sobre el tema, se trata de la revisión de investigaciones previas relacionadas de manera directa o indirecta con energías alternativas: eólica y solar, los cuales se muestran a continuación:

Según Gutiérrez, Laguna (2006), realizó el estudio titulado “potencial eólico de las costas del Municipio Cabimas”. El estado Zulia privilegiado por la naturaleza por tener grandes reservas de petróleo, energía no renovable, también cuenta con otras fuentes que son renovables, como el sol y el viento, siendo este último, motivo de estudio como formación profesional, por la cual se decidió realizar un estudio del potencial eólico de las costas del Municipio Cabimas a partir de las mediciones realizadas a la altura estándar (12 metros) con anemómetros de rotación de cazoletas en los últimos seis años (2000-2005) por las tres estaciones meteorológicas de la Fuerza Aérea Venezolana en el estado.

Es evidente la importancia de este trabajo como antecedente para la presente investigación, considerando que evalúa el comportamiento del viento y el potencial eólico en las costas del Municipio Cabimas.

Por otra parte Fernández, Moreno y Rojas (2008), realizaron la investigación “Aerogenerador eólico de 1000 W para ser instalado en las costas de Falcón” en la Universidad del Zulia. El propósito de esta investigación fue presentar el desarrollo de la construcción de un aerogenerador eólico de 1000 W para ser instalado en las costas de Falcón.

Se evaluó en primera instancia el comportamiento del viento por medio de comparaciones de registros históricos y mediciones puntuales en la zona a instalarse, seguido de la elaboración de un prototipo matriz de aspas para su manufactura final en molde seleccionando sus materiales, e identificando los elementos del sistema de transformación de energía como lo son un alternador de aplicación automotriz y un inversor de corriente alterna a continua, permitiendo así definir sus características y evaluación de costos invertidos en el proyecto, seguido de las pruebas aplicadas al conjunto integrado donde la medición, análisis de variable (velocidad angular y amperaje) definieron los resultados experimentales logrando una potencia nominal a los 1200 W en cuanto a su desempeño y dándole un carácter de proyecto factible que permitió concluir y discutir su efectividad, eficiencia y mejoras del prototipo para su montaje final en un futuro.

La investigación es de gran importancia considerando que trata del diseño de turbinas eólica de pequeña generación, y el estudio de potencial eólico.

Álvarez A. (2008), realizó el estudio “planta piloto basada en ciclos combinados de energías alternativas: eólica, fotovoltaica y celdas de combustible”. Universidad del Zulia. El propósito de este estudio fue diseñar una planta piloto basada en ciclos combinados de energías alternativas: eólica, fotovoltaica y celdas de combustible, para la generación de energía eléctrica.

Jiménez M. (2008), realizó el trabajo “estudio y puesta en marcha de un sistema de generación fotovoltaica” Universidad de los Andes. Se estudiaron los componentes del sistema de forma específica y los parámetros climatológicos más influyentes en la producción de energía fotovoltaica.

3.2 BASES TEÓRICAS

A continuación se explica los fundamentos teóricos de los ciclos combinados de energías alternativas: eólica y fotovoltaica.

3.2.1 Diseño

Según Shigley y Mishke (2002), en su obra diseño en Ingeniería Mecánica (Mechanical Engineering Design), “diseño es formular un plan para satisfacer una necesidad humana”. El diseño también es una actividad técnica y creativa encaminada a idear un proyecto útil, funcional y estético que pueda llegar a producir en serie como en el diseño industrial o gráfico.

El proceso de diseñar, suele implicar las siguientes fases:

- Observar y analizar el medio en el cual se desenvuelve el ser humano, descubriendo alguna necesidad.
- Planear y proyectar proponiendo un modo de solucionar esta necesidad, por medio de planos y maquetas, tratando de descubrir la posibilidad y viabilidad de la(s) solución(es).
- Construir y ejecutar llevando a la vida real la idea inicial, por medio de materiales y procesos productivos. Estos tres actos, se van haciendo uno tras otro, y a veces continuamente. Algunos teóricos del diseño no ven una jerarquización tan clara, ya que estos actos aparecen una y otra vez en el proceso de diseño. Hoy por hoy, y debido al mejoramiento del trabajo del diseñador (gracias a mejores procesos de producción y recursos informáticos), se puede destacar otro acto fundamental en el proceso:
- Evaluar, ya que es necesario saber cuando el diseño está finalizado.

Diseñar como acto cultural implica conocer criterios de diseño como presentación, producción, significación, socialización, costos, mercadeo, entre otros. Estos criterios son innumerables, pero son contables a medida que el encargo aparece y se define.

3.2.2 Energía Eléctrica

Se define como energía eléctrica al trabajo desarrollado en un circuito eléctrico durante un tiempo determinado. La energía eléctrica se representa por la letra E y su unidad es el julio, que a su vez se representa de forma abreviada por la letra J. La ecuación 2.1 es la que la relaciona:

$$E = P \times t \quad (3.1)$$

Siendo:

E: energía eléctrica (J)

P: potencia eléctrica (W)

t: tiempo (h)

Al ser el julio una unidad demasiado pequeña, otra de valor más elevado nos servirán para tomar medidas; ésta es el kilowatio por hora (kWh), 1 kWh equivale a 3.6×10^6 julios. Los contadores de energía miden en kWh. El costo de la energía viene dado por la ecuación 2.2. (Martín, 2004)

El uso de la magnitud energía en términos prácticos se justifica porque es mucho más fácil trabajar con magnitudes escalares, como lo es la energía, que con magnitudes vectoriales como la velocidad y la posición. Así, se puede describir completamente la dinámica de un sistema en función de las energías cinética, potencial y de otros tipos de sus componentes.

3.2.3 Energía renovable

Según Gutiérrez (2006), también llamada energía alternativa EA o blanda, este término engloba una serie de fuentes energéticas que en teoría no se agotarían con el paso del tiempo. Estas fuentes serían una alternativa a otras tradicionales y producirían un impacto ambiental mínimo, pero en sentido estricto ni son renovables, como en el caso de la geotermia, ni se utilizan de forma blanda.

Las energías renovables comprenden: la energía solar, la eólica (derivada de la solar, ya que se produce por un calentamiento diferencial del aire y de las irregularidades del relieve terrestre), la geotérmica (producida por el gradiente térmico entre la temperatura del centro de la tierra y la de la superficie), la hidráulica (derivada de la evaporación del agua) y la hidroeléctrica (se genera haciendo pasar una corriente de agua a través de una turbina). La procedente de la biomasa (se genera a partir del tratamiento de la materia orgánica, como por ejemplo la que procede de la madera, de residuos agrícolas y estiércol)

3.2.4 Beneficios de la energía renovable

Según Gutiérrez (2006), los sistemas de energía renovable a gran escala tales como las granjas eólicas, la electricidad de biomasa y la energía hidráulica y geotérmica ofrecen considerables ventajas económicas, ambientales y de seguridad energética que las autoridades políticas deberían tener en cuenta al considerar reformas que diversifiquen la cartera de generación de energía. Estas ventajas incluyen:

- Estabilidad a largo plazo de tarifas competitivas.
- Reducción de la vulnerabilidad ante interrupciones en el abastecimiento de combustible.
- Flexibilidad de la distribución y suministro de energía a los hogares de las zonas periféricas y rurales.
- Minimización de la emisión de contaminantes que producen el efecto invernadero (cambio climático).
- Minimización de los contaminantes en el plano local, incluyendo la emisión de contaminantes en el agua y el aire.
- Atracción de inversiones destinadas a proyectos de infraestructura local.
- Creación de empleos en el sector de la alta tecnología.
- Muchos sistemas son modulares y pueden expandirse según el aumento de la demanda.

3.2.5 Energía solar

El término energía solar es la energía obtenida directamente del Sol. La radiación solar incidente en la Tierra puede aprovecharse de varias formas; por su capacidad para calentar, o directamente, a través del aprovechamiento de la radiación en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es un tipo de energía renovable y limpia, lo que se conoce como energía verde (Jutglar 2004).

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

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

3.2.6 El sol

Según Jutglar (2004) es una estrella, formada en casi su totalidad por hidrógeno y una pequeña porción de helio, en la que se desarrolla una gran cantidad de energía, debido a una reacción nuclear de fusión, reacción que tiene lugar a las altas temperaturas.

Los datos más interesantes acerca del Sol son:

- Su diámetro es $1.39 \times 10^9 \text{ m}$ (aproximadamente 1.400.000km).
- Su masa es $2 \times 10^{30} \text{ kg}$ (300 mil veces la masa de la tierra).
- Su densidad media de 1.41 kg/m^3 .
- Su temperatura superficial es de $5.600 \text{ }^\circ\text{K}$.

- Distancia promedio a la Tierra de $1,5 \times 10^{11}$ m, esta distancia se define como unidad astronómica (AU).
- Irradiancia de $6,35 \times 10^7$ W/m².
- La luz solar tarda 8 minutos en llegar a la Tierra.

3.2.7 Posición del Sol

La posición del Sol varía directamente desde el amanecer hasta el ocaso. Si se observa las posiciones del Sol al amanecer, mediodía y atardecer en cualquier lugar del hemisferio norte se verá como el Sol sale por el este, se desplaza en dirección sur y se pone por el oeste. En realidad, es la tierra la que cada día hace una rotación completa alrededor de su eje, y eso crea en el observador la sensación de permanecer estático, mientras que el universo gira a su alrededor. Por tanto, aunque es la tierra la que gira, nos hemos acostumbrado a decir que es el sol el cada día realiza este recorrido, aunque este es como sabemos, un movimiento aparente.

La posición del Sol se determina mediante tres ángulos:

Declinación (δ): Es el ángulo que forma el plano del ecuador terrestre con la dirección en la que se encuentra el Sol.

Latitud (ϕ): Es el ángulo comprendido entre el paralelo del lugar y el ecuador, tomándose como positivo para el hemisferio norte y negativo para el hemisferio sur.

Ángulo horario (h): Es el ángulo comprendido entre el plano meridiano que pasa por el punto considerado y el plano meridiano que pasa por el Sol.

3.2.8 La celda fotovoltaica

Según Rodríguez (2008) una celda fotovoltaica es un dispositivo electrónico que interrumpe a mediados del siglo XX, posee muchas aplicaciones y son particularmente interesantes. Su principal función es transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones) mediante el efecto fotoeléctrico. Este flujo de electrones (corriente eléctrica) es de

tipo continuo, por lo que para su utilización en la mayoría de los aparatos de uso doméstico, se requiere convertirla en corriente alterna a través de un dispositivo denominado convertidor.

Las celdas fotovoltaicas actuales están fabricadas de materiales con propiedad electrónica, están compuesta de dos delgadas láminas u obleas de silicio: tipo P y tipo N. Mediante la unión P-N se produce una barrera potencial que hace posible el efecto fotoeléctrico.

La posibilidad de aprovechar la radiación solar directa para producir electricidad a través de una celda, se debe a las propiedades semiconductoras de ciertos elementos en la naturaleza, especialmente el silicio (que es un componente principal de la celda), para alterar el comportamiento de las partículas de una emisión o radiación solar, y convertirla en una emisión de electrones, y en consecuencia producir una corriente eléctrica. Las celdas se producen tanto de forma circular como rectangular, de un tamaño aproximado entre 5 a 10cm de diagonal. Son hechas en distintos colores, aunque las celdas de color azul y negro ofrecen mayor grado de eficiencia.

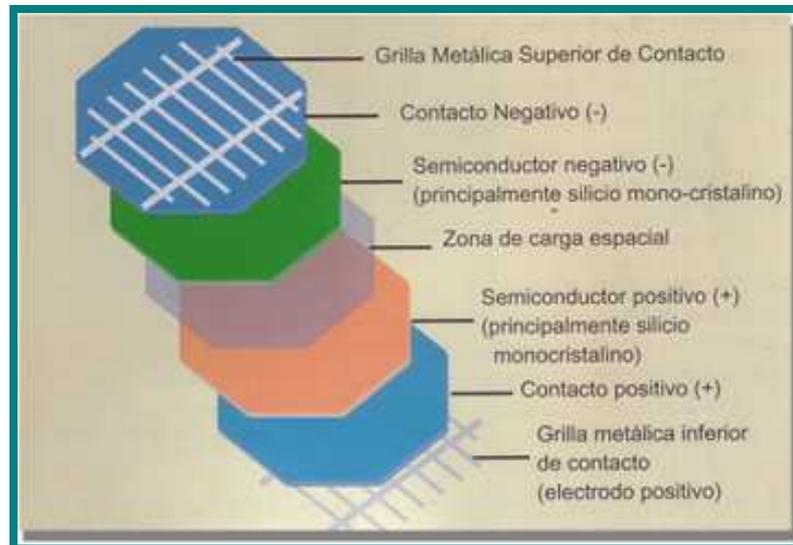


Figura 3.1. Estructura de una celda fotovoltaica. [La Luz del ALBA (2008)]

3.2.9 Principio de funcionamiento de las celdas fotovoltaicas

La celda fotovoltaica funciona gracias al efecto fotovoltaico. Cuando la luz o radiación solar incide sobre la superficie de la celda se liberan electrones de los átomos del semiconductor. Estos electrones son capturados por un conductor eléctrico externo, resultando una corriente eléctrica.

La corriente eléctrica producto de la interacción de fotones y electrones, es de tipo continua, por lo que requerimos de un convertidor para transformarla a corriente alterna para su uso.

Hacer funcionar un dispositivo eléctrico, por ejemplo un bombillo o un computador, requiere más de una celda fotovoltaica, además necesitamos de otros dispositivos integrados para lograr corriente eléctrica.

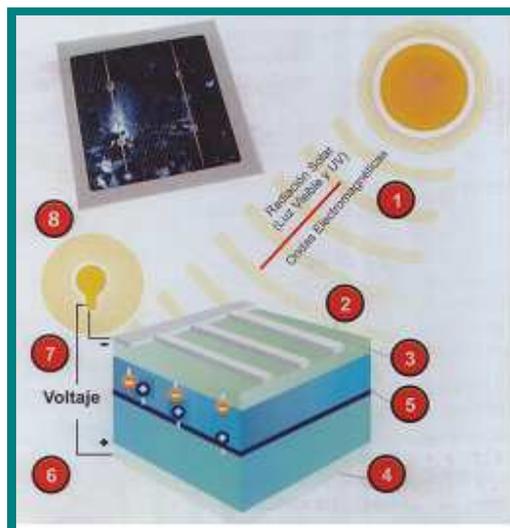


Figura 3.2. Principio de funcionamiento de las celdas fotovoltaicas. [La Luz del ALBA (2008)]

1. Emisión de Rayos Solares (fotones)
2. Incidencia solar sobre la superficie de la célula fotovoltaica
- 3 y 4. Saltos o estimulación de los fotones, dada las propiedades del silicio positivo (P) y negativo (N).

5. Conversión de fotones a electrones en la zona de transición en la cual se genera un campo electromagnético.

6 y 7. Salto o liberación de los electrones a los extremos.

8. Generación de la carga y corriente eléctrica.

La integración de un panel de células, un convertidor y una batería nos permite obtener un sistema fotovoltaico, que configurado adecuadamente suministra energía. Dependiendo de la potencia requerida el arreglo panel (numero de módulos) puede variar. (Rodríguez, 2008)

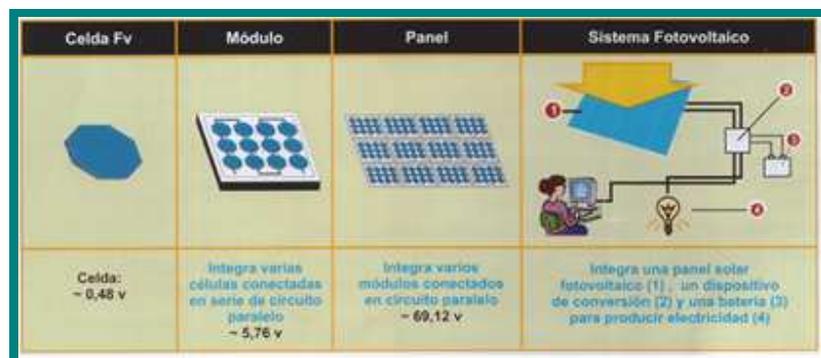


Figura 3.3. Sistema Fotovoltaico. [La Luz del ALBA (2008)]

3.2.10 Componentes de un sistema fotovoltaico

Carrasquel (2008) explica que un sistema fotovoltaico es un conjunto de elementos que tienen como objetivos suministrarle la energía eléctrica a los aparatos, equipos y bombillos (demanda), usando como combustible la energía solar. Los elementos constituidos de un sistema fotovoltaico son:

❖ Módulo solar fotovoltaico

Un modulo solar fotovoltaico está formado por la interconexión de varias celdas solares para una capacidad determinada. A su vez, los módulos se conectan en serie y en paralelo con lo que se fijan valores específicos de corriente y voltaje.

Por no contar con luz solar las 24 horas del día, se requiere de baterías para almacenar la energía cuando hay sol. Por esta razón, también el número de módulos dependen de la energía a acumular y el tiempo que se requiere para este proceso.

Es un compromiso técnico-económico entre la demanda a suplir, número de módulos, energía acumulada y tiempo. Mientras más paneles se tengan, se genera más energía y por lo tanto, el proceso de acumulación se hará más rápido; pero podría desperdiciarse energía al no poder acumular tanto como se produce. Cuanto más cerca hagamos trabajar al módulo fotovoltaico de la tensión de máxima potencia, mayor será la potencia que obtendremos de él.

En resumen, en función de la radiación solar, la temperatura de las celdas (que dependerá a su vez de la temperatura ambiente, humedad, velocidad del viento, entre otros.) y de los equipos a los que esté conectado, el módulo fotovoltaico generará una determinada corriente a una determinada tensión de trabajo, cuyo producto marcará la potencia generada por el módulo.

El número de paneles solares se calcula a través de la ecuación:

En paralelo:

$$NPP = \frac{CC_{HPS}}{I_{sc}(\text{panel})} \quad (3.2)$$

Donde:

CC_{HPS} : Corriente de carga para HPS (horas pico solar)

$I_{sc(\text{panel})}$: Corriente de corto circuito del panel solar.

En serie:

$$NPS = \frac{V_{nsist}}{V_{npanel}} \quad (3.3)$$

Donde:

V_{nsist} : Voltaje nominal del sistema

V_{npanel} : Voltaje nominal del panel solar.

❖ Baterías

La disponibilidad del recurso solar es variable debido a los periodos nublados del día, durante la noche o en algunas estaciones del año. Por esa razón, un sistema fotovoltaico posee un conjunto de baterías, que almacenan la energía durante los periodos soleados.

En paralelo:

$$NBP = \frac{RAHD_T}{AH_{BA}} \quad (3.4)$$

Donde:

$RAHD_T$: Requerimiento de A-hr-diario.

AH_{BA} : Amperio hora de la baterías

En serie:

$$NBS = \frac{Vnsistema}{Vnb} \quad (3.5)$$

Donde:

$Vnsistema$: Voltaje nominal del sistema.

Vnb : Voltaje nominal de las baterías.

❖ Regulador

El regulador es el encargado de proteger las baterías de sobrecargas excesivas. Cualquier equipo de producción eléctrica que pueda sobrecargar excesivamente la batería, requiere un regulador de carga. Con su uso prolongamos la vida de la batería. El regulador detecta en todo momento el estado de carga de la batería y regula el paso de la energía producida. Únicamente da paso a la electricidad necesaria para la batería, manteniéndola en flotación y disipa la restante en forma de calor a través de una resistencia instalada en el interior del regulador.

El regulador ha sido especialmente diseñado para funcionar con el aerogenerador, y con paneles solares en el caso híbrido. Para ello el regulador está provisto de las siguientes bornes de conexiones:

Entrada trifásica del aerogenerador

Salida +/- a batería

Todos los reguladores están equipados con un testigo luminoso. El piloto se encenderá cuando la batería esté cargada y la electricidad esté siendo desviada a las resistencias. Así mismo, van provistos de un voltímetro y un amperímetro para la lectura de la electricidad que está siendo regulada. Por lo general el regulador lleva instalado un interruptor de frenado. Al accionar el freno se provoca un cortocircuito en el alternador que frena el giro del aerogenerador.

En caso de fuertes vientos, cuando las hélices giran a gran velocidad adquieren una gran inercia, y resulta más difícil detenerlas. En estos días ventosos, para frenarlo, se acciona el freno varias veces. Cada vez que el freno actúe, la velocidad de las hélices disminuirá hasta su parada. Una vez parado ya no volverá a arrancar hasta que se desactive el freno.

El número de controladores se calcula con la formula siguiente:

$$N_{controlador} = \frac{CC_{HPS}}{Incontrolador} \quad (3.6)$$

Donde:

CC_{HPS} : Corriente de carga, para hora pico solar.

$Incontrolador$: Corriente nominal del controlador.

❖ Convertido DC/AC

La energía eléctrica proveniente de las baterías es corriente continua (DC), sin embargo, la mayoría de los artefactos eléctricos de uso diario están diseñados o adaptados para corriente

alterna (AC). El convertidor DC/AC es un equipo electrónico que transforma la corriente continua en corriente alterna y se calcula de la siguiente forma:

$$Inversor_{DC-AC} = \frac{C_{AC}}{\eta_{inversor}} \quad (3.7)$$

Donde:

C_{AC} : Carga AC del sistema

$\eta_{inversor}$: Rendimiento del inversor

❖ Estructura Soporte

Todos los elementos de un sistema fotovoltaicos se fijan con una estructura o un soporte de diseño variado, para darle a todo el conjunto estabilidad y rigidez.

❖ Cables y Accesorios Eléctricos

El sistema fotovoltaico se completa con el tablero, canalizaciones y cables necesarios para conectar eléctricamente tanto los diferentes elementos del circuito fotovoltaico y la carga a suplir.

3.2.11 Generador solar fotovoltaico

Rodríguez (2008), explica que un generador solar está compuesto por la conexión de los módulos fotovoltaicos, en función de las necesidades y de la radiación solar disponible en el lugar; este será el responsable de transformar la luz solar en electricidad. Entre las principales características del módulo solar propuesto se encuentran las siguientes:

- Módulos de Silicio mono-cristalino con potencia de 150 Wp \pm 5 %
- Voltaje nominal: 12 Vdc
- Cara frontal protegida con vidrio templado de alta transmisividad

- Laminado con dos capas de EVA (Etilen-Vinil Acetato)
- Cara posterior protegida con Tedlar de varias capas
- Cajas de conexión exterior IP 65 con diodo bypass
- Tomas exterior de tierra
- Marco de aluminio anodizado
- Tiempo de vida superior a 25 años.

3.2.12 Límite de conexión de módulos en serie

Para (Rodríguez 2008), los módulos fotovoltaicos están fabricados para soportar tensiones elevadas. El certificado de "Seguridad eléctrica de clase II" que disponen estos módulos garantiza su aislamiento hasta una tensión 760 VDC. Consiguientemente, se podrán conectar módulos en serie hasta alcanzar dicha tensión.

3.2.13 Conexión de módulos en paralelo. Cableado

Se podrán emplear tantos módulos en paralelo como admita el regulador de carga, variador de frecuencia o el equipo correspondiente al cual vayan conectados los mismos. Ahora bien, se deberá emplear un cable con sección adecuada para la conducción de la suma de corrientes generada por los módulos. En cualquier caso, el conductor a emplear nunca deberá tener una sección menor de 4 mm², siendo recomendada una sección de 6 mm² para los modelos mayores de 50 Wp. En caso de requerirse una sección mayor en el transporte de la energía hasta el correspondiente equipo, se emplearán cajas de interconexión externas que permitan adquirir mayores secciones de cable para los tramos de mayor distancia.

3.2.14 Posibles averías

Sánchez (2008), Debido a los exhaustivos controles de calidad a los que son sometidos los módulos fotovoltaicos antes de su venta al público, los casos de averías son muy poco frecuentes. Ahora bien, se pueden detectar los siguientes casos, siempre por causa ajena al proceso de fabricación.

- Rotura del vidrio de los módulos.
- Penetración de agua en el interior del módulo y consiguiente oxidación del circuito interior de las celdas y soldaduras de conexión.
- Fallos en el conexionado y entrada de agua en la caja de borneras del módulo.
- Ensuciamientos o sombras parciales.

3.2.15 Sistema de generación

Para Sánchez (2008) La ubicación del sistema de generación (S.G.) debe hacerse teniendo en cuenta los siguientes aspectos en el orden de prioridad que se relacionan:

- Orientar el arreglo de paneles al Sur si la instalación es realizada en el Hemisferio Norte y al Norte si es en el Hemisferio Sur, con un grado de inclinación que dependerá de la latitud del sitio de instalación.
- Evitar la proyección parcial o total de sombra sobre el arreglo de paneles producida por accidentes topográficos, edificaciones, vegetación, etc. durante la mayor parte del día y del año.
- Minimizar la distancia entre el Sistema de Generación y el Sistema de Regulación y Control, así como entre el inversor y el consumo.
- Disminuir la posibilidad de daños mecánicos a los componentes del Sistema de Generación (acción del viento, acceso de personal no autorizado, caída de objetos, acceso de animales, entre otros.).
- Facilitar las acciones posteriores de Mantenimiento y la propia instalación.

El área escogida para la instalación del S.G. deberá estar protegida al acceso de personas no autorizadas y animales a través de una cerca perimetral siempre evitando que la misma produzca sombras parciales en el S.G.

3.2.16 El viento

Para Jutglar (2008), es el movimiento del aire con respecto a la superficie terrestre. Este movimiento es fundamentalmente horizontal. La velocidad y dirección del viento es el resultado de la acción de las siguientes fuerzas:

- Fuerza debida al gradiente horizontal de presión (F_p): Esta fuerza va dirigida desde las isobaras de alta presión a las de baja presión, presentando una dirección perpendicular a las mismas.
- Fuerza debida a la rotación de la tierra (Fuerza de Coriolis) (F_d): debida al movimiento de rotación del globo terrestre de oeste a este, la trayectoria de una masa de aire en movimiento sufre una desviación hacia la derecha en el hemisferio norte (en sentido contrario en el hemisferio sur).
- Fuerza centrífuga debida a la curvatura de las isobaras (F_c): Esta fuerza actúa según la dirección del radio de curvatura de la trayectoria, en sentido opuesto al centro de curvatura de la misma.
- Fuerza debida al rozamiento (F_r): Interviene en las capas bajas de la atmósfera próximas a la superficie terrestre. Depende de factores tan diversos tales como el tipo de superficie o la orografía de la misma.

3.2.17 Medida y tratamiento de los datos eólicos

Para evaluar la viabilidad del uso del viento como fuente de energía es necesario conocer las características del mismo. Dada su variabilidad y aleatoriedad deben aplicarse técnicas estadísticas para su análisis. En el proceso de caracterización del viento intervienen los aspectos que se describen a continuación:

- ❖ Procedimiento de toma de datos: Variables a medir (velocidad, dirección), procedimiento de medición, frecuencia de muestreo (frecuencia de toma de medidas), periodos de promedio, entre otros.

- ❖ Técnica de medición: Aparatos de medidas (anemómetro, veleta, entre otros), colocación del instrumento de medida, entre otros.
- ❖ Métodos de tratamiento de datos: Técnicas estadísticas, formas de presentación (valores medidos horarios, diarios, anuales, rosa de los vientos, entre otros.) distribuciones de probabilidades, entre otros.

En general, la evaluación de los recursos eólicos de un lugar, presenta los siguientes problemas: 1) La necesidad de disponer de medidas de velocidad y dirección del viento durante un periodo de tiempo suficientemente representativo. 2) La variabilidad y aleatoriedad del viento según la estación, día y hora. 3) Los efectos locales tales como orografía, rugosidad del terreno u obstáculos.

3.2.18 Velocidad del viento

Para Jutglar (2008), la velocidad del viento \vec{v} es una magnitud vectorial. Dada las características del viento, el vector velocidad varía continuamente de forma aleatoria tanto en módulo como en dirección y sentido. Los instrumentos de medida de velocidad (anemómetros) y la dirección (veleta) miden valores con una frecuencia de muestreo (por ejemplo, cada 1 o 2 segundos) y los promedian para intervalos de algunos minutos (en general 10 minutos). Así, el valor que se obtiene representa las características medidas del viento instantáneo durante este periodo de tiempo. Por ello es usual caracterizar el viento por un vector de velocidad media (algunas veces denominado viento medio o estacionario) al que se le pueden superponer variaciones aleatorias.

El vector velocidad presenta tres componentes según el triedro cartesiano. Este triedro se define según el siguiente criterio: los ejes x e y se toman según las direcciones E y N respectivamente y el eje z según la dirección del cenit (es decir, la dirección que define una recta que desde el centro de la tierra sea perpendicular a la superficie terrestre en el punto de lugar de medición).

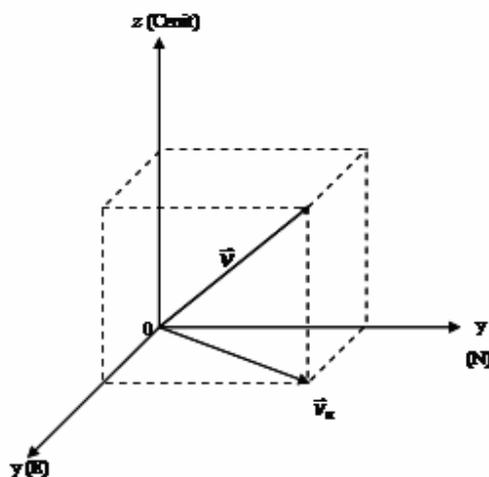


Figura 3.4. Representación del vector velocidad del viento en el triedro cartesiano [Jutglar 2008]

En aplicaciones de energía eólica, sólo se consideran las componentes de la velocidad en el plano horizontal (se ignora la componente según el eje cenital z). Esta última en general es mucho menor que las primeras y además no presenta interés para aprovechamiento energético. Asimismo los aparatos de medida registran generalmente sólo el módulo y dirección de la componente en el plano horizontal. Por ello, el viento se caracteriza por medio de dos valores: el módulo de la componente de la velocidad en el plano horizontal (simplemente velocidad) y la dirección de donde sopla.

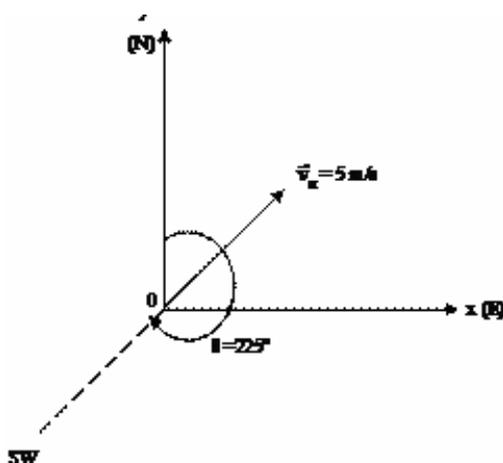


Figura 3.5. Componente horizontal de la velocidad del viento (en la figura se muestra un viento de velocidad 5 m/s, procedente de SW) [Jutglar (2008)]

La velocidad se expresa en: metros por segundo (m/s), kilómetros por hora (km/h) y nudos (kt), siendo el nudo una milla náutica por hora. Su equivalencia es:

$$1 \text{ nudo (kt)} = 1852 \text{ m/h} = 0,5144 \text{ m/s}$$

La dirección (Θ) se puede indicar de varias formas, todas ellas basadas en diferentes divisiones del horizonte circular de 360° y siempre indicando la dirección de donde procede el viento. Se pueden considerar 8,10,12 o 16 divisiones respectivamente y la dirección del viento se expresa generalmente en grados, correspondiendo a los cuatro puntos cardinales los siguientes valores: E= 90° , S= 180° , W= 270° y N= 360° .

3.2.19 Rosa de los vientos

Una rosa de los vientos o rosa náutica es un círculo que tiene marcados alrededor los rumbos en que se divide la circunferencia del horizonte. En las cartas de navegación se representa por 32 rumbos (deformados) unidos por un extremo mientras el otro señala el rumbo sobre el círculo del horizonte. Sobre el mismo se sitúa la flor de lis con la que suelen representar el Norte que se documenta a partir del siglo XVI. También puede ser un diagrama que representa la intensidad media del viento en diferentes sectores en los que divide el círculo del horizonte.

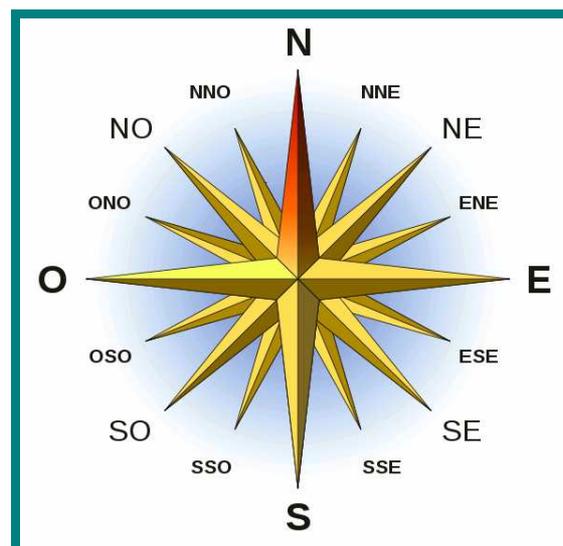


Figura 3.6. Rosa de los Vientos [Gil (2007)]

La rosa de los vientos permite determinar las direcciones dominantes de los vientos. En general, no coincide la dirección dominante con la intensidad del viento, ya que en muchos casos los vientos más intensos no son los que soplan más horas al año procedentes de una determinada dirección. Este es un aspecto importante a tener en cuenta para una adecuada orientación de los generadores eólicos como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Direcciones del viento

Dirección del Viento			
Dirección en coordenadas		Dirección	Valor que aparece en archivo
N	Norte	350 - 360 -010	35-36-01
NNE	Nornoreste	020 - 030	20 - 30
NE	Noreste	040 - 050	40 - 50
ENE	Estenoreste	060 - 070	60 - 70
E	Este	080 - 090 - 100	80 - 90 -10
ESE	Estesureste	110 - 120	11 - 12
SE	Sureste	130 - 140	13 - 14
SSE	Sursureste	150 - 160	15 - 16
S	Sur	170 - 180 -190	17 -18 - 19
SSO	Sursuroeste	200 -210	20 - 21
SO	Suroeste	220 - 230	22 - 23
OSO	Oestesuroeste	240 - 250	24 - 25
O	Oeste	260 - 270 - 280	26 - 27 -28
ONO	Oestenoroeste	290 - 300	29 - 30
NO	Noroeste	310 - 320	31 - 32
NNO	Nornoroeste	330 - 340	33 - 34

[Servicio de meteorología de la Aviación Militar Nacional Bolivariana (2009)]

3.2.20 Energía eólica

Para Gutiérrez (2006), es la energía obtenida del viento, o sea, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas. La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas.

En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores. A finales de 2007, la capacidad mundial de los generadores eólicos fue de 94.1 gigawatts. Mientras la eólica genera alrededor del 1% del consumo de electricidad mundial, representa alrededor del 19% de la producción eléctrica en Dinamarca, 9% en España y Portugal, y un 6% en Alemania e Irlanda.

La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde. Sin embargo, el principal inconveniente es su intermitencia.

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión. Los vientos son generados a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por parte de la radiación solar, entre el 1 y 2 % de la energía proveniente del sol se convierte en viento. De día, las masas de aire sobre los océanos, los mares y los lagos se mantienen frías con relación a las áreas vecinas situadas sobre las masas continentales.

La energía del viento es utilizada mediante el uso de máquinas eólicas (o aeromotores) capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica de rotación utilizable, ya sea para accionar directamente las máquinas operatrices, como para la producción de energía eléctrica.

La baja densidad energética, de la energía eólica por unidad de superficie, trae como consecuencia la necesidad de proceder a la instalación de un número mayor de máquinas para el aprovechamiento de los recursos disponibles. El ejemplo más típico de una instalación eólica está representado por los "parques eólicos" (varios aerogeneradores implantados en el territorio conectados a una única línea que los conecta a la red eléctrica local o nacional).

3.2.21 Aerogenerador

Según Wind Powering America (2008), es un generador eléctrico movido por una turbina eólica accionada por el viento. Sus precedentes directos son los molinos de viento que se empleaban para la molienda y obtención de harina. En este caso, la energía eólica, en realidad la energía cinética del aire en movimiento, proporciona energía mecánica a un rotor hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica. Presenta las siguientes características:

- Generador trifásico síncrono de imanes permanentes, de frecuencia variable.
- Control de potencia por salida de viento en sentido vertical.
- Velocidad de arranque 3.5 m/s. Potencia nominal de salida 6000 W a 12 m/s.
- Actuación del control de potencia $V > 14$ m/s.
- Número de palas: 3 para 6000 W.
- Diámetro del rotor: 3,7 m.

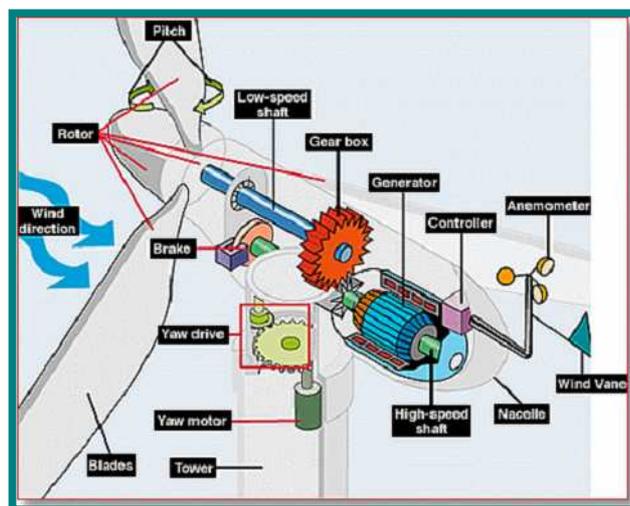


Figura 3.7. Estructura del aerogenerador. [Wind Powering America (2008)]

La potencia del aerogenerador se determina a través de la intersección entre la velocidad de operación y la curva de potencia suministrada por el fabricante.

La energía del aerogenerador se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$E_A = P_A \times (HVP) \quad (3.8)$$

Donde:

E_A : Energía del Aerogenerador

P_A : Potencia del aerogenerador

HVP: Hora viento promedio

3.2.22 Impacto ambiental de los aerogeneradores eólicos

Para Wind Powering America (2008), los principales efectos de los aerogeneradores sobre el medio ambiente son los siguientes:

- ❖ Efectos sobre la fauna y flora: El efecto más significativo está relacionado con el obstáculo que los rotores representan para el vuelo de las aves. Sin embargo, la experiencia obtenida hasta el momento ha demostrado que la probabilidad de choque es sumamente baja, debido a la rotación lenta de las máquinas y su bajo coeficiente de solidez.

- ❖ Ruido: La intensidad del ruido generado por las máquinas eólicas ha sido investigada por la NASA mediante un prototipo de 100 kW. El estudio acústico abarcó un espectro de frecuencias comprendido en el rango de audición entre 15 y 20.000 Hz. El nivel acústico medido cerca de la máquina fue de 64 dB para las frecuencias comprendidas en el rango audible, con un nivel de ruido de fondo de 52 dB, observándose que el ruido de la máquina era inaudible por encima del ruido de fondo a distancias del orden de 200 metros.

Para realizar el cálculo de un sistema híbrido la primera incógnita que se debe despejar es la energía instalada del sistema al cual se le realizará el estudio de carga y se procede de la siguiente manera:

$$E_{i-total} = P_{s1} \cdot N_{s1} + P_{s2} \cdot N_{s2} + \dots + P_{sn} \cdot N_{sn} \quad (3.9)$$

Donde:

$E_{i-total}$: Energía total del sistema

P: Potencia del sistema

N: Número de horas operativas del sistema

3.2.23 Efecto invernadero

Rodríguez (2008) La Tierra, como todo cuerpo caliente, emite radiación, pero al ser su temperatura mucho menor que la solar, emite radiación infrarroja de una longitud de onda mucho más larga que la que recibe. Sin embargo, no toda esta radiación vuelve al espacio, ya que los gases de efecto invernadero absorben la mayor parte.

La atmósfera transfiere la energía así recibida tanto hacia el espacio (37,5 %) como hacia la superficie de la Tierra (62,5 %). Ello representa 324 W/m², casi la misma cantidad de energía que la proveniente del Sol, aún sin albedo. De este modo, el equilibrio térmico se establece a una temperatura superior a la que se obtendría sin este efecto. La importancia de los efectos de absorción y emisión de radiación en la atmósfera son fundamentales para el desarrollo de la vida tal y como se conoce. De hecho, si no existiera este efecto la temperatura media de la superficie de la Tierra sería de unos -22 °C, y gracias al efecto invernadero es de unos 14 °C.

Desde hace unos años el hombre está produciendo un aumento de los gases de efecto invernadero, con lo que la atmósfera retiene más calor y devuelve a la Tierra aún más energía causando un desequilibrio del balance radioactivo y un calentamiento global. Este fenómeno

evita que la energía solar recibida constantemente por la Tierra vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero.

3.2.24 Protocolo de Kyoto

Según Rodríguez (2008), es un convenio internacional que intenta limitar globalmente las emisiones de gases de efecto invernadero. El protocolo surge de la preocupación internacional por el calentamiento global que podrían incrementar las emisiones descontroladas de estos gases.

3.2.25 Múltiple de gas de levantamiento

Es una instalación de manejo de producción de superficie cuya función es distribuir el gas natural de alta presión a un conjunto de pozos que tienen como método de levantamiento artificial el gas. Está compuesto por una línea principal de gas de alimentación (proveniente de una planta compresora) al llegar al múltiple este se divide para el cañón A y B; y a su vez a tuberías de menor diámetro mediante las cuales se distribuye a los pozos.

3.2.26 Levantamiento artificial por gas (Gas Lift)

Según el Programa de Educación PDVSA, resalta que la técnica de Levantamiento Artificial por Gas (L.A.G) es un método el cual consiste en inyectar gas a una presión determinada en la columna de fluido dentro del eductor, a diferentes profundidades desde la parte más baja de la columna.

Medina, J (1999) define el LAG como un método que utiliza gas comprimido como fuente de energía para llevar los fluidos del yacimiento desde el fondo del pozo hasta la superficie, de allí que la principal consideración en su selección para producir un grupo de pozos petroleros, es la disponibilidad de una fuente rentable de gas a alta presión.

3.2.27 Factibilidad

Según Blank (2006), factibilidad se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señalados, la factibilidad se apoya en 3 aspectos básicos: operativo, técnico, económico. El éxito de un proyecto está determinado por el grado de factibilidad que se presente en cada una de los tres aspectos anteriores.

3.2.28 Estudio de factibilidad

Blank (2006), afirma que un estudio de factibilidad “sirve para recopilar datos relevantes sobre el desarrollo de un proyecto y en base a ello tomar la mejor decisión, si procede su estudio, desarrollo o implementación”, entre las que tenemos:

❖ Factibilidad Técnica

Para Blank (2006), se refiere a los recursos necesarios como herramientas, conocimientos, habilidades, experiencia, etc., que son necesarios para efectuar las actividades o procesos que requiere el proyecto. Generalmente nos referimos a elementos tangibles (medibles). El proyecto debe considerar si los recursos técnicos actuales son suficientes o deben complementarse.

❖ Factibilidad Económica

Para Blank (2006), se refiere a los recursos económicos y financieros necesarios para desarrollar o llevar a cabo las actividades o procesos y/o para obtener los recursos básicos que deben considerarse son el costo del tiempo, el costo de la realización y el costo de adquirir nuevos recursos. Generalmente la factibilidad económica es el elemento más importante ya que a través de él se solventan las demás carencias de otros recursos, es lo más difícil de conseguir y requiere de actividades adicionales cuando no se posee.

❖ Factibilidad ambiental

La evaluación ambiental hace referencia a los resultados del estudio de impacto ambiental que se debe realizar para cuantificar y cualificar la injerencia que el proyecto causara, y puede ser que el impacto sea positivo o negativo.

3.2.29 Método del valor presente neto (VPN)

Para Moreno (2009), el método del Valor Presente Neto es muy utilizado por dos razones, la primera porque es de muy fácil aplicación y la segunda porque todos los ingresos y egresos futuros se transforman a pesos de hoy y así puede verse, fácilmente, si los ingresos son mayores que los egresos. Cuando el VPN es menor que cero implica que hay una pérdida a una cierta tasa de interés o por el contrario si el VPN es mayor que cero se presenta una ganancia. Cuando el VPN es igual a cero se dice que el proyecto es indiferente.

En la aceptación o rechazo de un proyecto depende directamente de la tasa de interés que se utilice. El VPN compara la rentabilidad de la inversión y las alternativas de riesgo similar en los mercados financieros. El valor presente neto se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$VPN = \sum_{n=0}^N \frac{I_n - E_n}{(1+i)^n} \quad (3.10)$$

Donde: I_n representa los ingresos y E_n representa los egresos. E_n se toma como valor negativo ya que representa los desembolsos de dinero. N es el número de períodos considerados (El primer periodo lleva el 0, no el 1). El valor $I_n - E_n$ indica los flujos de caja estimado de cada período. El tipo de interés es i . Cuando se iguala el VPN a 0, i pasa a llamarse TIR (tasa interna de retorno), como se observa en el cuadro 1.

Tabla 3.2. Interpretación del VPN

Valor	Significado	Decisión a tomar
VPN > 0	La inversión produciría ganancias	El proyecto puede aceptarse
VPN < 0	La inversión produciría pérdidas	El proyecto debería rechazarse
VPN = 0	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas	Dado que el proyecto no agrega valor monetario, la decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores

3.2.30 Método de la tasa interna de retorno (TIR)

Para Moreno (2009), la tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión, está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. El VAN o VPN es calculado a partir del flujo de caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad.

$$VPN = -1 + \sum_{n=0}^n \frac{I_n - E_n}{(1 + TIR)^n} = 0 \quad (3.11)$$

Se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el coste de oportunidad de la inversión (si la inversión no tiene riesgo, el coste de oportunidad utilizado para comparar la TIR será la tasa de rentabilidad libre de riesgo). Si la tasa de rendimiento del proyecto - expresada por la TIR- supera la tasa de corte, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza.

Los criterios de aceptación al usar estas técnicas son:

Tabla 3.3. Criterios de aceptación del proyecto

Técnica	Aceptación	Rechazo
VPN	≥ 0	< 0
TIR	$\geq \text{TMAR}$	$< \text{TMAR}$

3.2.31 Costo – beneficio

El costo-beneficio es una lógica o razonamiento basado en el principio de obtener los mayores y mejores resultados al menor esfuerzo invertido, tanto por eficiencia técnica como por motivación humana. Se supone que todos los hechos y actos pueden evaluarse bajo esta lógica, aquellos dónde los beneficios superan el costo son exitosos, caso contrario fracasan.

El análisis de costo-beneficio es un término que se refiere tanto a:

- Una disciplina formal (técnica) a utilizarse para evaluar, o ayudar a evaluar, en el caso de un proyecto o propuesta, que en sí es un proceso conocido como evaluación de proyectos.
- Un planteamiento informal para tomar decisiones de algún tipo, por naturaleza inherente a toda acción humana.

Según Blank (2006) el método de costo beneficio se basa en la relación de los beneficios a los costos asociados con un proyecto particular. Un proyecto se considera atractivo cuando los beneficios derivados desde su implantación exceden a los costos asociados. Por lo tanto el primer paso en análisis B/C es determinar qué elementos constituyen beneficios y cuales costos.

Tabla 3.4. Operacionalización de la variable

Objetivo General: Diseñar un sistema de energía alternativa en el múltiple de gas lift ubicado en Lago Norte PDVSA Occidente, para la generación de energía eléctrica en sitio.			
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES
Analizar los antecedentes climáticos y meteorológicos del Distrito Lago Norte para definir los posibles diseños de energía alterna	Sistema de energía alterna	Antecedentes climáticos y meteorológicos	Velocidad del viento
			Dirección del viento
			Salida del sol
			Puesta del sol
Determinar el consumo de energía en el múltiple de gas lift para dimensionar los equipos a instalar		Consumo de energía eléctrica	Energía eléctrica requerida
			Distribución de energía
Elaborar planos para la ubicación apropiada de los equipos		Dimensiones de equipos	Sistema fotovoltaico
			Sistema eólico
			Estructura
			Ubicación
	Angulo de inclinación		
	Orientación		
Evaluar el costo – beneficio de la energía alterna	Relación costo – beneficio	Costo beneficio	
		VPN	

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se analizó la naturaleza del fenómeno a estudiar, para ello se deben considerar factores tales como: el tipo de investigación, el diseño de la investigación tomando como base los objetivos del estudio, la población y muestra, técnicas de recolección de datos y procedimiento de la investigación.

4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Toda investigación debe basar su estudio en una metodología de trabajo para el desarrollo de sus objetivos, los cuales constituyen el fundamento necesario para obtener los resultados requeridos.

Para Méndez (2001), todo investigador debe definir el tipo de información que aportara el estudio que se encuentra realizando y que según Tamayo y Tamayo (2003) esto define posteriormente el método adecuado para especificar el procedimiento a seguir. En tal sentido, la presente investigación se define de tipo proyectiva que de acuerdo con Hurtado (2000) la investigación proyectiva también es conocida como proyecto factible, la cual consiste en la elaboración de una propuesta o modelo para solucionar problemas.

Por otra para Arias (1999), el proyecto factible plantea un problema de tipo práctico, generalmente determinado por una necesidad. Formula propuestas de acción y/o modelos operativos como alternativa de solución. Según su modalidad, esta investigación es un proyecto factible, ya que consiste en diseñar un sistema de energía alterna para la generación eléctrica en Múltiple de Gas Lift, constituyendo la solución a un problema o necesidad de tipo

práctico, partiendo de un diagnóstico de las necesidades del momento, los procesos involucrados y las proyecciones futuras.

4.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación es el plan utilizado como guía para recopilar y analizar datos, a fin de lograr el propósito del estudio. Como lo afirma Chávez (2001), “el diseño es la estrategia que adopta la investigación para responder al problema planteado” y de esta forma acceder y procesar datos.

El diseño es el paradigma de una investigación. Al respecto Hernández, Fernández y Baptista (2006), indican que el termino diseño, “se refiere al plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación”. Es decir el diseño señala al investigador lo que debe hacer para alcanzar sus objetivos de estudio; y contestar las interrogantes que se ha planteado.

Según Hernández, Fernández y Baptista (2006), la investigación no experimental es sistemática y empírica en la que las variables independientes no se manipulan porque ya han sucedido. Las inferencias sobre las relaciones entre variables se realizan sin intervención o influencia directa y dichas relaciones se observan tal y como se han dado en su contexto natural, es decir en Múltiples de Gas Lift ubicados en Lago Norte PDVSA Occidente.

Además ésta se apoya en una investigación de campo, ya que esta se llevó a cabo en los múltiples de gas de levantamiento en el TJ - 3 - 34 y TJ - 3 - 40 del lago de Maracaibo. Con el propósito de indagar en profundidad el problema presentado, concordando así con la definición de Hernández, Fernández y Baptista (2006), es “un estudio de investigación efectuado en una situación realista en la que una o más variables independientes son manipuladas por el experimentador en condiciones tan cuidadosamente controladas como lo permite la situación”

4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

Según Chávez (2001), la población de un estudio “es el universo de la investigación, sobre la cual se pretende generalizar los resultados. Está constituida por características o estratos que le permiten distinguir los sujetos uno de otros”.

La población está conformada, de acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2006), por un conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones. Partiendo de esta definición, la población de esta investigación está conformada por los Múltiples de Gas Litf de la Unidad de Explotación Tía Juana y Rosa Mediano.

4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Según Hernández, Fernández y Baptista (2006), las técnicas de recolección de datos “implica elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico” y los instrumentos “son los recursos que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables que tiene en mente”. Son desde un principio, aquellos recursos de los que se vale el investigador a lo largo del estudio del fenómeno, para recabar toda la información verdadera mediante su vivencia en el problema a estudiar y de esa forma establecer los parámetros que permitan lograr los objetivos trazados.

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos de esta investigación fueron:

- ❖ La observación directa: tomando en cuenta que ésta involucra algo más que la presencia como tal, implica preparar la forma más objetiva y veraz que permita encontrar la información participando en la problemática. La observación, según Bussot (1999), es un proceso por el cual se recibe información de los hechos o fenómenos, en forma directa o con el auxilio de instrumentos apropiados bajo condiciones que facilitan la objetividad y confiabilidad, a esta técnica se recurrirá al consultar.

- ❖ Entrevista no estructurada: la cual, según Tamayo y Tamayo (2001), esta consiste en "la recolecta de información a través de un proceso de comunicación, en el transcurso del cual el entrevistado responde a cuestiones, previamente no diseñadas en función de las dimensiones que se pretenden estudiar, planteadas por el entrevistador".
- ❖ El análisis documental: tomando en cuenta que según Chávez (2001), los estudios documentales son aquellos que: a) Se realizan sobre la base de documentos o revisión bibliográfica; b) Se efectúan en función de documentos escritos; c) Su finalidad es recolectar información a partir de documentos escritos y no escritos susceptibles de ser analizados. En este caso se revisará el Protocolo de Kyoto y las normas para el diseño de los equipos.

4.5 PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Según Bavaresco (1997), "el procedimiento de la investigación no es más que una serie de pasos ordenados que se siguen para establecer lo significativo de los hechos y fenómenos hacia los cuales se dirige el interés científico, y para hallar y enseñar lo que en materia de ciencia es la verdad". Los pasos que se describen en este punto son los considerados para el desarrollo de la investigación presentados en fase de estudio y la metodología que se utilizo para el cumplimiento de cada uno de los objetivos.

4.5.1 Crystal Ball

Crystal Ball Decision Optimizer programa para análisis de riesgo e incertidumbre con vínculos con hojas de cálculo. Contiene herramientas que permiten usar datos históricos para construir modelos estadísticos y probabilísticos; también permite análisis automáticos del tipo "y que pasaría si..." para ayudar a entender el efecto de despreciar la incertidumbre.

4.5.2 Autocad

Es un programa de diseño asistido por ordenador (CAD "Computer Aided Design"; Diseño Asistido por Computador). Estas herramientas se pueden dividir básicamente en programas de

dibujo en dos dimensiones (2D) y modeladores en tres dimensiones (3D). Las herramientas se basan en entidades geométricas vectoriales como puntos, líneas, arcos y polígonos, con las que se puede operar a través de una interfaz gráfica.

4.5.3 CADWorx Plant

CADWorx Plant programa que contiene herramientas para el diseño de plantas. CADWorx Plant Incluye tuberías, equipos, estructuras de acero, HVAC y bandejas de cables, así como vínculos a bases de datos. CADWorx Plant Professional también incluye CADWorx Equipment, ISOGEN, Navisworks ROAMER y vínculos dinámicos hacia la base de datos. Además tiene una interfase bidireccional con el programa de cálculo de esfuerzos de tuberías CAESAR II y con el programa de cálculo de equipos a presión PVElite.

4.5.4 Staad. Pro

Herramienta de análisis y diseño para proyectos de ingeniería civil incluyendo torres, alcantarillas, plantas, puentes, estadios, y estructuras marinas. Con una gama de capacidades avanzadas de análisis lineal estático. Tiene una estructura escalable adaptable a las características particulares de cada proyecto.

4.5.5 SEE Plus

Sistema de Evaluaciones Económicas de PDVSA; programa computarizado que permite evaluar los parámetros económicos de los proyectos de inversión y gastos. Usa como datos de entrada los montos de inversiones o gastos iniciales o distribuidos por años, perfiles de producción de crudo y gas, tasas de declinación, entre otros. Como resultados calcula Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Tiempo de Pago (TDP).

Tabla 4.1. Metodología de la investigación

Objetivo 1: Analizar los antecedentes climáticos y meteorológicos del Distrito Lago Norte para definir los posibles diseños de energía alterna		
Fase	Metodología	Propósito
Revisión Documental	Reportes fuerza aérea Rafael Urdaneta	Determinar la velocidad y dirección del viento
Visita de campo	Observación directa	Determinar la salida y el ángulo de inclinación del Sol
Análisis documental	Análisis y procesamiento de datos a través de programas computacionales	Obtener valores de velocidad y ocurrencia de vientos y las horas de energía solar disponible
Objetivo 2: Determinar el consumo de energía en el múltiple de gas lift para dimensionar los equipos a instalar		
Fase	Metodología	Propósito
Visita de campo	Observación directa	Conocer la cantidad de energía eléctrica requerida en el múltiple
Objetivo 3: Elaborar planos para la ubicación apropiada de los equipos		
Fase	Metodología	Propósito
Revisión de catálogos y cálculos	Documental/diseño	Establecer las características del sistema eólico y fotovoltaico
Visita de campo	Observación directa	Determinar la ubicación y la orientación
		Diseñar la estructura
Objetivo 4: Evaluar el costo – beneficio de la energía alterna		
Fase	Metodología	Propósito
Consulta a proveedores	Entrevistas	Conocer los costos de los equipos para calcular el VPN

CAPÍTULO V

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se llegan a presentar los resultados generados por la aplicación de los procedimientos necesarios para el desarrollo de la investigación además del instrumento de recolección de datos, que dan respuesta a los objetivos planteados, siendo la direccionalidad de este estudio el diseño de un sistema de energía alterna para la generación eléctrica en Múltiples de Gas Lift.

El Múltiple de Gas Tía Juana 3-34 (MG TJ-3-34) fue seleccionado por presentar las mejores características en cuanto a:

- Espacio físico disponible.
- Seguridad en la instalación.
- Mayor automatización de equipos.

5.1 ANALIZAR LOS ANTECEDENTES CLIMÁTICOS Y METEOROLÓGICOS DEL DISTRITO LAGO NORTE PARA DEFINIR LOS POSIBLES DISEÑOS DE ENERGÍA ALTERNA

Este análisis se llevó a cabo a través de los datos obtenidos de diversas fuentes:

1) Servicio de meteorología departamento de climatología de la Aviación Militar Nacional Bolivariana (comportamiento de los vientos medidos en las estaciones meteorológicas de la Base Aérea Rafael Urdaneta (BARU), La Cañada y Mene Grande, correspondientes al estado Zulia, por ser estas las más cercanas al múltiple en estudio).

- 2) Instituto de Meteorología e Hidrología (comportamiento de vientos y radiación solar).
- 3) Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño, IFAD, Universidad del Zulia. (Radiación solar de Maracaibo).
- 4) Información histórica y procesada presentada en las paginas de Internet: Windfinder.com y Weather Underground (espanol.wunderground.com).

Las bases meteorológicas principales están ubicadas según se muestra en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Ubicación de las estaciones meteorológicas

Estaciones	Código	Fecha de Inicio	Serial Nacional	Latitud			Longitud			Altura m.s.n.m.
Maracaibo	80407	01-08-1951	1015	10	34		71	44		66
La Cañada	80476	01-04-1978	1141	10	31		71	39		26
Mene Grande	80425	01-03-1956	2117	9	49		70	56		27

Estas tienen una ubicación relativa al múltiple de gas evaluado como se muestra en la figura 4.1. El Múltiple de Gas Lift TJ-3-34 esta en latitud: $10^{\circ}20'49,77''$ N, longitud: $71^{\circ}29'22,00''$ O, en la unidad de explotación Rosa Mediano, Distrito Lago Norte. Se puede apreciar que la estación más próxima al múltiple es la Cañada (24.22 Kms), mientras que la de Maracaibo esta a 35.95 Kms y la de Mene Grande a 86.83 kms.



Figura 5.1. Ubicación de las estaciones meteorológicas y del múltiple MG TJ 3-34

5.1.2 Información de Vientos

Las tres estaciones meteorológicas tienen datos de velocidad y dirección del viento por un periodo de tiempo de hasta 46 años (Maracaibo), siendo la estación con menos datos La Cañada (29 años).

Los datos de velocidad son promedios y máximos diarios, pero solo se evaluaron estadística y probabilísticamente los promedios diarios, ya que en el diseño de aerogeneradores las velocidades máximas se toman en cuenta principalmente para la acción de frenado (esta se activa con 14 m/s). Las características más relevantes de la data de velocidad promedio diario se muestran en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Datos de velocidad promedio estudiados

Estaciones	Número de datos	Velocidad máx. (m/s)	Velocidad prom. (m/s)
Maracaibo	15471	30,7	3,7
Mene Grande	14853	13	1,9
La Cañada	10262	12,9	3,1
Total	40586	18,9	2,9

Es de resaltar que el total de datos registrados como valores promedios diarios asciende a $40586 \times 4 = 162.344$ (velocidades promedios y máximas con sus correspondientes direcciones).

Los valores que se requieren para el dimensionamiento de los equipos, son las horas de viento con velocidades entre 3,5 y 14 m/s, tomando en cuenta que tipos de vientos predominan en el sitio (vientos alisios), que se caracterizan por altas velocidades y baja variabilidad, producto de la cercanía de Venezuela a la Zona de Convergencia Intertropical, la figura 5.2 muestra los registros relativos a la dirección del viento.

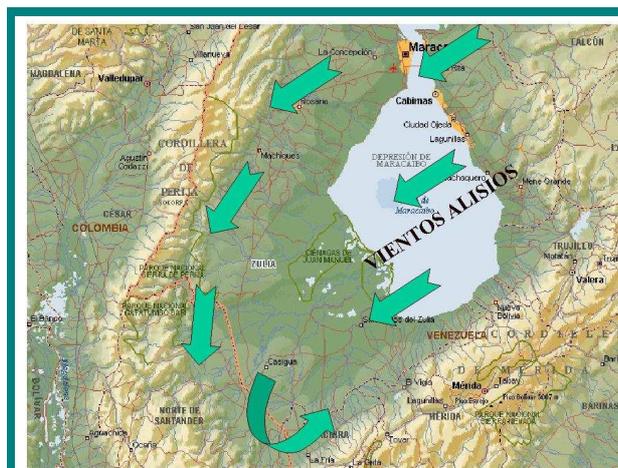


Figura 5.2. Vientos alisios de la zona

Los diferentes esquemas de velocidades prevalentes se presentan en las siguientes rosas de los vientos, para las velocidades promedio y máximas. La dirección predominante es la de Nor Nor-este, lo que concuerda con la presentada en la página de Internet Weather underground (espanol.wunderground.com), como se observa en las figuras 5.3.a y 5.3.b.

PREDOMINANCIA DEL VIENTO VEL. MEDIA

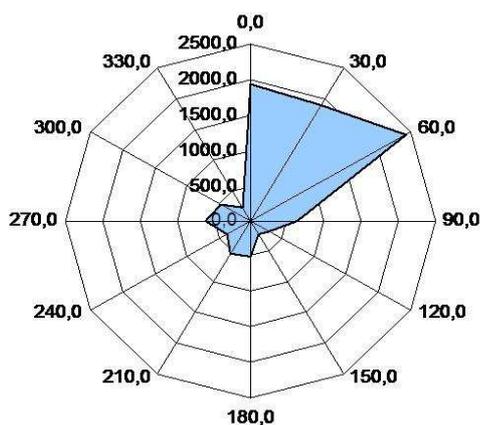


Figura 5.3.a

PREDOMINANCIA DEL VIENTO VEL. MÁX

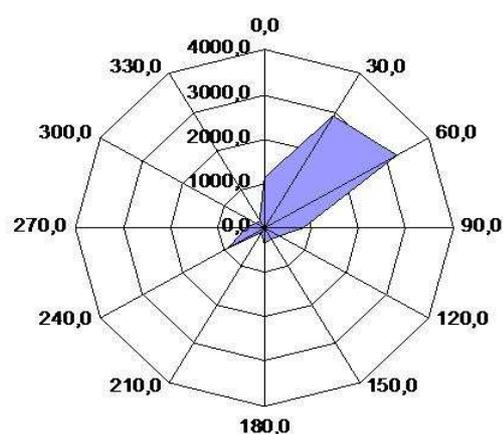


Figura 5.3.b

Mediante el software Crystal Ball se realizó el análisis estadístico y probabilístico del historial de viento durante un período de tiempo que estadísticamente resultara suficientemente representativo (11 años 1996-2007) ya que en Venezuela los ciclos de vientos presentan cambios cada 11 años. La gráfica de distribución de frecuencias (velocidad) y el rango de velocidades de operación del aerogenerador se muestra en la figura 5.4.

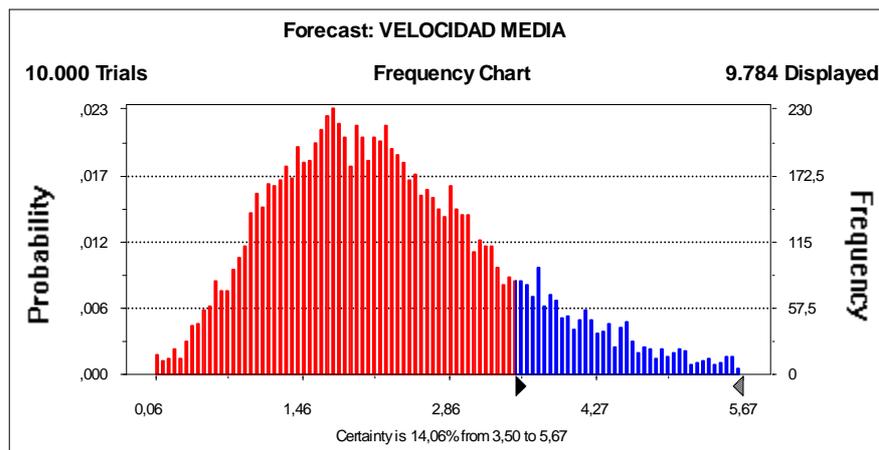


Figura 5.4. Frecuencia de operación de los aerogeneradores Crystal Ball (2009)

Los datos se presentaban en promedios diarios, por lo que fue necesario construir un modelo probabilístico para estimar el comportamiento horario del viento. Debido a que sólo se contaba con data referida a dos parámetros para realizar el modelo (v_{med} . y $v_{máx}$.) se decidió crear un modelo basado en la distribución normal con la finalidad de que los valores por arriba y por debajo de la media tuvieran el mismo “peso estadístico”.

El modelo se comportaría de la siguiente forma: media del modelo = v_{med} ; desviación estándar del modelo = $(v_{máx} - v_{med})/3$ (ya que el 99,7% de los datos se agrupan entre $v_{med} \pm 3 * \text{desv. estándar}$. Luego para determinar los valores más representativos de v_{med} y $v_{máx}$, así como su comportamiento se siguió el procedimiento:

- Ordenar los datos cronológicamente.
- Tomar los últimos 11 años de datos (correspondientes a un período solar).

- Agrupar los datos y ajustar según el método Anderson - Darling a la mejor distribución probabilística ofrecida en Crystall Ball.

Una vez determinado el comportamiento de cada una de las variables (v_{med} y $v_{m\acute{a}x}$) Crystall Ball realizó la simulación de Monte Carlo con 10.000 escenarios para determinar la desviación estándar según el modelo mencionado en el primer párrafo. Es decir, la desviación estándar se calcula con 10.000 valores probables y con los promedios o con valores puntuales.

Finalmente se determinan los estimadores característicos (moda, media, desviación estándar, mediana) para desarrollar el pronóstico del comportamiento diario. Se corrió nuevamente la simulación y se integró entre el valor mínimo del rango y el máximo (3,5 y 14 m/s).

Tabla 5.3. Valores Estadísticos

Estimador característico	Valor	Unidad
Velocidad media	2,38	m/s
Dirección prevalerte vel. media	60,00	°
Media velocidad máxima	7,48	m/s
Velocidad máxima	42,70	m/s
Dirección prevalente vel. máxima	60,00	°
Mínimo requerido	3,50	m/s
Máximo permitido	14,00	m/s
Velocidad media diaria	2,38	m/s
Desviación estándar medida	1,70	m/s
Desviación estándar modelo	1,22	m/s
Modelo velocidad diaria	2,38	m/s
Media	1,80	m/s

Se obtuvo que la probabilidad de ocurrencia de vientos mayores a 3,5 m/s (mínima velocidad de operación) es de 35,78 % lo que equivale a 8,7 horas al día (con los datos de La Cañada). Con los datos combinados de las tres estaciones se obtuvo un promedio (28,38 %) que corresponde 6,81 horas diarias. Para efectos de cálculo se tomará como referencia los datos de horas de viento al día de la estación meteorológica de la Cañada, por ser la más cercana, además que los valores obtenidos a través de medidas de tendencia central (en este caso la media) se ven muy afectados por los valores extremos.

En el intervalo de velocidades de operación del aerogenerador el valor medio para el cálculo de potencia es de 5,17 m/s, valor que es muy próximo al esperado según mapa eólico de Venezuela mostrado en la figura 5.5.

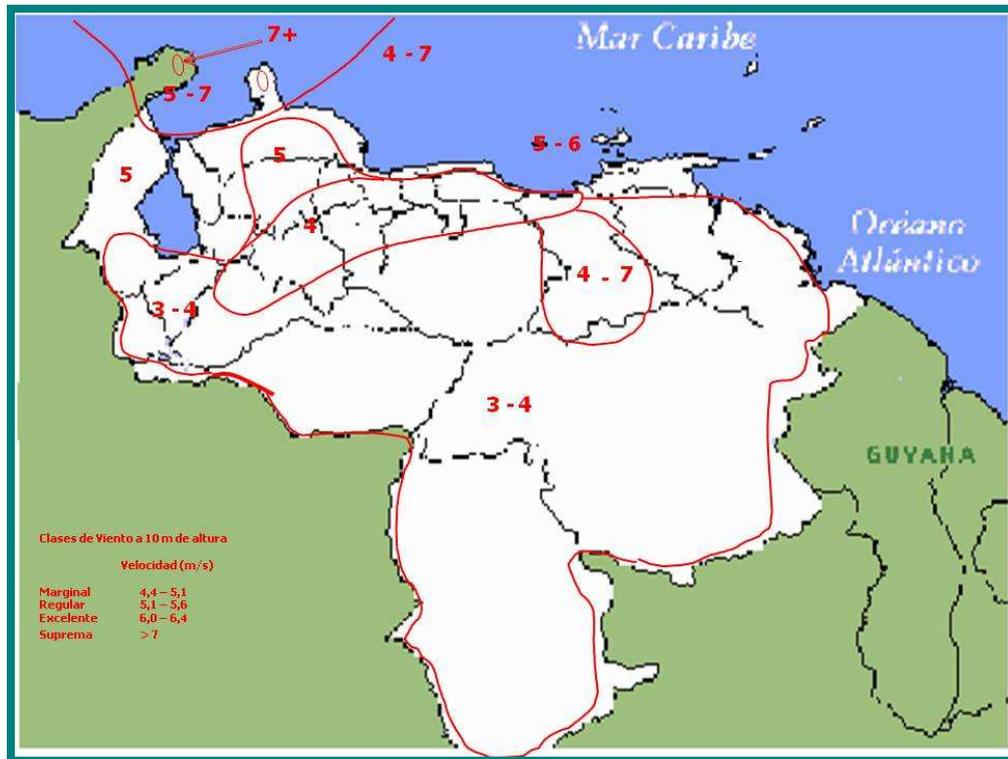


Figura 5.5. Mapa Eólico de Venezuela Ministerio de Energía y Petróleo - Menpet (2004)

5.1.3 Información de Radiación Solar

Los datos históricos de radiación solar se obtuvieron de la estación meteorológica urbana IFAD Maracaibo, perteneciente a la sección de acondicionamiento ambiental del Instituto de Investigaciones de la facultad de arquitectura de la Universidad del Zulia. Estos datos corresponden a irradiación (insolación) promedio para cada hora por mes, en Watts/m^2 .

Para el dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos se requiere el valor de la Hora Pico Solar u Hora de Mediodía (HPS) o día solar (DS), que se obtiene de la media diaria de radiación solar calculada en un periodo de 18 meses. El valor de esta es de 5420 W/m^2 , que dividido entre 1000 W/m^2 resulta en 5,42 horas (HPS), ver figura 5.7. En el mes de máxima

radiación solar (marzo 2005), la media diaria de insolación es de 6252 Kw/m^2 , siendo la HPS de 6,25 (figura 5.7). Este valor se encuentra en el rango esperado según mapas de radiación solar de Venezuela mostrados en la figura 5.8.a y 5.8.b en los que se registran valores entre 4,9 (mapa superior) hasta 5,5 (mapa inferior) de insolación promedio mensual en el área donde se ubica el MG TJ-3-34.

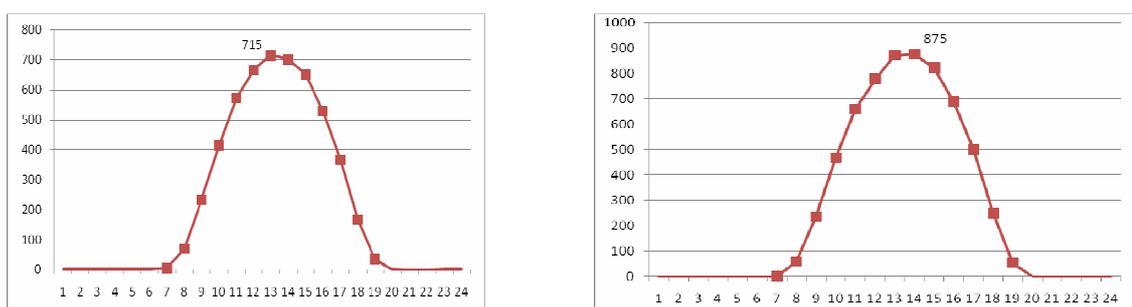


Figura 5.6. Curva de irradiancia (G) promedio enero 2005 – junio 2006 y máxima para el mes de marzo 2005. Estación meteorologica urbana (IFAD-Maracaibo-Venezuela)

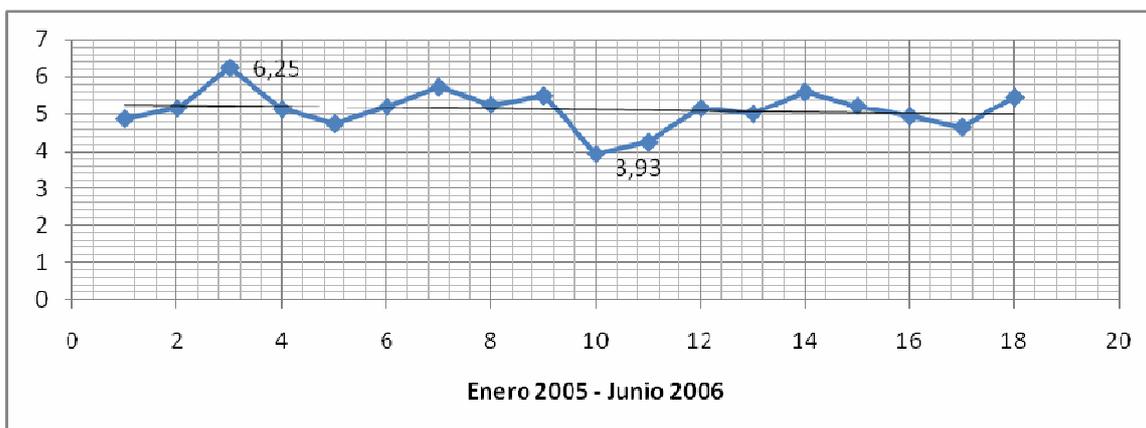


Figura 5.7. Horas pico solar promedio en los meses de enero 2005 – junio 2006 (18 meses). Valor medio de 5,42, máximo de 6,25 – marzo 2005, mínimo de 3,93 – octubre 2006. Estación meteorologica urbana (IFAD-Maracaibo-Venezuela)

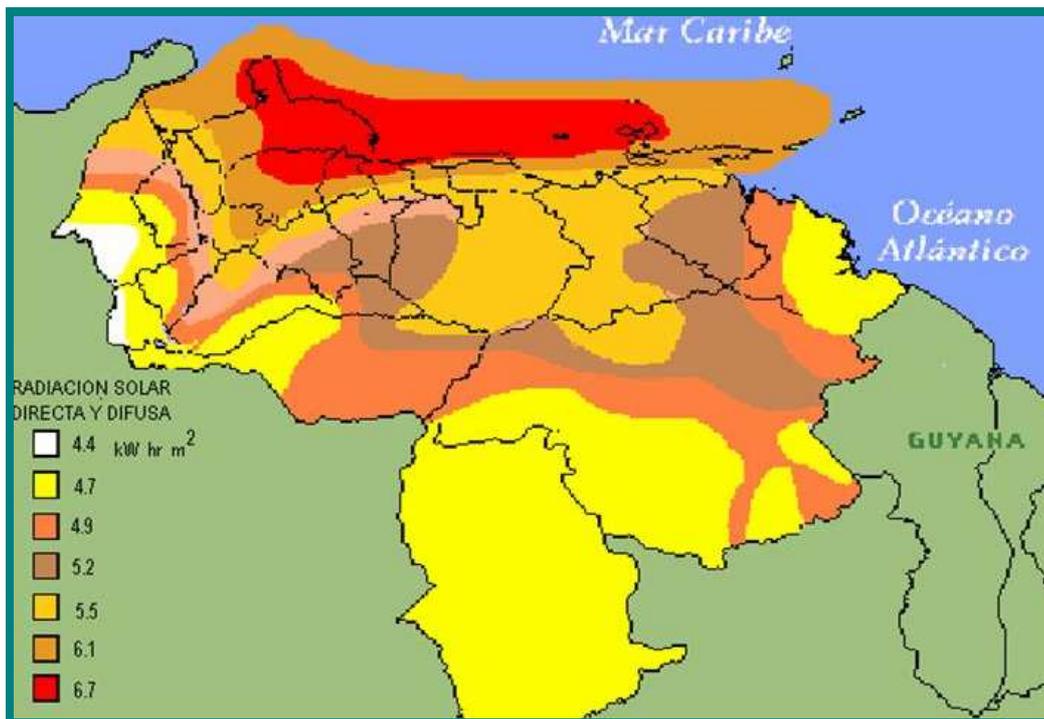


Figura 5.8.a. Radiación solar en Venezuela Ministerio de Energía y Petróleo – Menpet (2004)

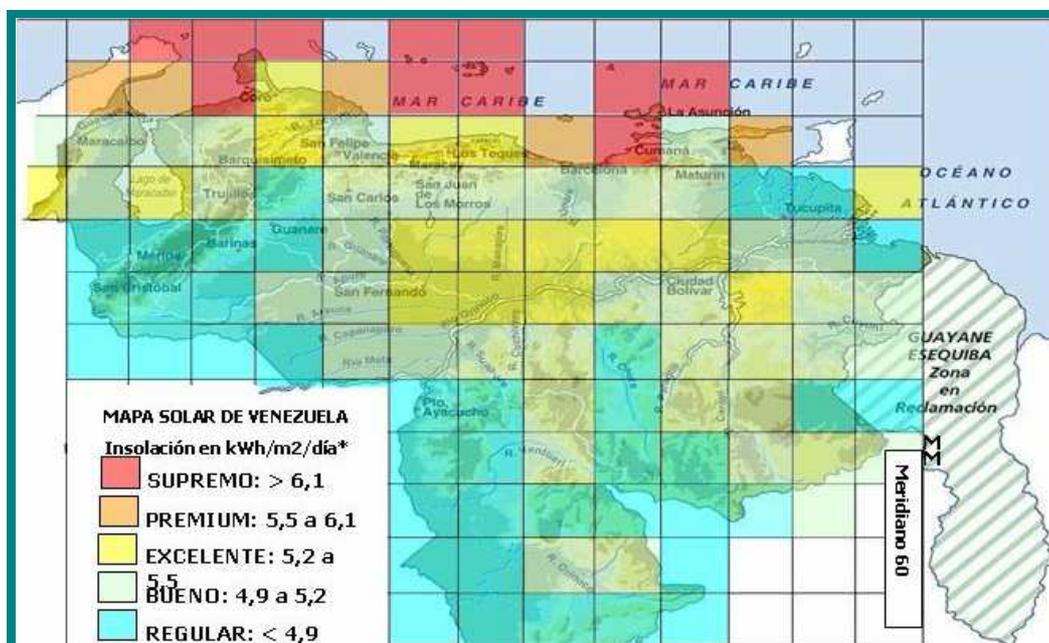


Figura 5.8.b. Meso Escala – Data Satelital Ministerio de Energía y Petróleo – Menpet (2004)

5.2 DETERMINAR EL CONSUMO DE ENERGÍA EN EL MÚLTIPLE DE GAS LIFT PARA DIMENSIONAR LOS EQUIPOS A INSTALAR.

Para el logro del objetivo planteado se realizó una visita de campo para estudiar todos los equipos eléctricos que integran el múltiple, del mismo modo se realizaron varias mediciones de corriente y voltaje.

Los equipos que consumen energía eléctrica se pueden agrupar en tres sistemas principales:

- Equipos de señalización y control
- Sistema de protección catódica
- Sistema de alumbrado

En el sistema de señalización y control se encuentran los equipos descritos en la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Equipos que integran el sistema de señalización y control.

Equipo	Potencia (W)	Cantidad (Pz)	Sub-T (W)
Actuadores	44	42	1848
Transmisores de presión, flujo	7,7	88	677,6
Transmisores de temperatura	7,7	3	23,1
Transmisores de voltaje	7,7	2	15,4
PLC o Radio	36	1	36
Detector de Intruso	6	1	6
Total			2606,1

Por otra parte para determinar el consumo de energía eléctrica en el Múltiple de Gas Lift se instaló un acondicionador de señales para transmitir el nivel de corriente y tensión DC del

sistema de señalización y control vía SCADA al centro de operaciones automatizadas (COA) obteniendo un promedio de 28,372 V y de 30,933 A, por consiguiente la potencia promedio medida del sistema sería de 877,611 W, estando este último valor acorde a la potencia calculada por los valores nominales de los equipos instalados y su funcionamiento promedio el cual arrojó un valor de 737,1 W.

En cuanto al sistema de alumbrado esta conformado por 5 lámparas fluorescente de alta eficiencia con un consumo promedio de 75 W c/u; mientras que lo relativo al consumo de potencia del sistema de protección catódica fue suministrado por la superintendencia de protección catódica de PDVSA Occidente, el cual es de 2500 W

El total de consumo de energía se determinó como la suma de los productos de cada potencia por el número de horas que actúan diariamente, como se muestra en la tabla 5.5.

Tabla 5.5. Energía instalada en el múltiple MG-TJ-3-34

Carga Instalada	Potencia (W)	Voltaje (V)	Uso Diario (h/d)
Equipos de Señalización y Control	875	24 VDC	24
Protección Catódica	2500	440 VAC	24
Sistema de Alumbrado	375	240 VAC	10
Total de Carga	3750		

Para el cálculo de la carga total requerida para todos los equipos que se encuentran en el múltiple se tiene que:

$$E_{i-SPC} = 2500W * 24 \frac{hr}{día} = 60000 \frac{W-hr}{día} \quad (5.1)$$

$$E_{i-ALM} = 375W * 10 \frac{hr}{día} = 3750 \frac{W-hr}{día} \quad (5.2)$$

$$E_{i-syC} = 875W \times 24 \frac{hr}{día} = 21000 \frac{W-hr}{día} \quad (5.3)$$

$$E_{i-TOTAL} = 60000 \frac{W-hr}{día} + 3750 \frac{W-hr}{día} + 21000 \frac{W-hr}{día} = 84750 \frac{W-hr}{día} \quad (5.4)$$

En resumen, se tiene que el total de la carga es de $84750 \frac{W-hr}{día}$

El arreglo de equipos es un Sistema Híbrido (Eólico-Solar), es producto de la combinación de estos mediante un análisis que permita seleccionar la mejor opción para suministrar la energía requerida. En este arreglo se aprovecha la energía solar durante el día (aproximadamente desde las 9:00 a.m hasta las 5:00 p.m) y la ocurrencia de vientos desde mediados de la tarde hasta la medianoche (aproximadamente desde las 3:00 p.m hasta la 1:00 a.m) de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de la data meteorológica. Además de que para efectos de una prueba tecnológica como inicialmente sería este proyecto, permite la evaluación de ambas tecnologías.

5.2.1 Componentes del sistema híbrido

- Aerogenerador
- Módulos fotovoltaicos
- Regulador/Controlador
- Banco de Baterías
- Inversor

Es de resaltar que para la selección de cada equipo se consideraron dos aspectos: disponibilidad según convenios ya establecidos, y la eficiencia. En este particular se cumple con ambos requisitos. En la figura 5.9 se muestra un arreglo del sistema híbrido

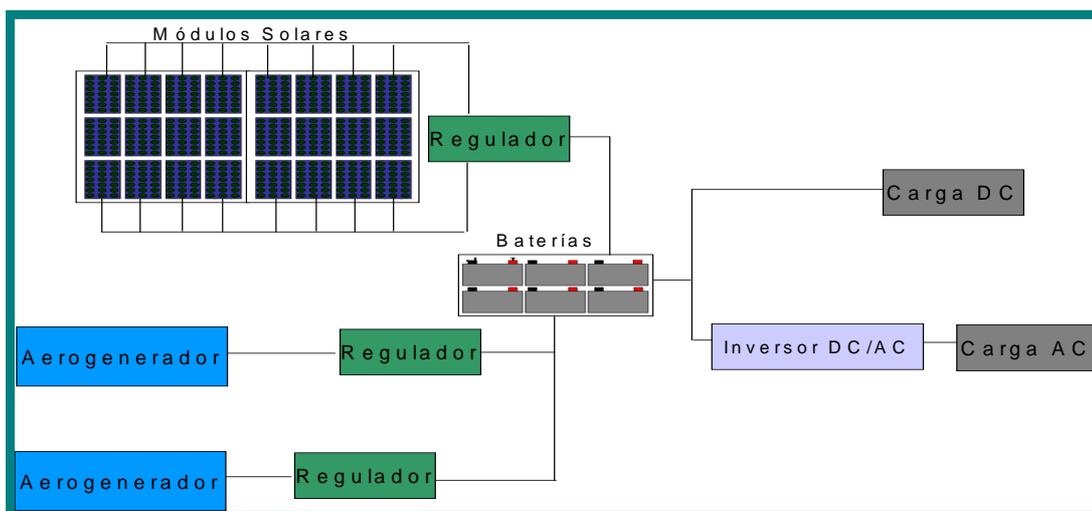


Figura 5.9. Sistema Híbrido

En la tabla 5.6. Se presentan las principales consideraciones para realizar el cálculo del dimensionamiento de los equipos que conforman el sistema híbrido,

Tabla 5.6. Principales parámetros para dimensionar el sistema híbrido

Datos Característicos	Unidades	Valor
Velocidad promedio del viento	m/s	5
Horas de viento a la velocidad promedio	h/d	8,7
Hora pico solar (HSP)	h/d	5,4
Carga AC instalada	W	2875
Carga DC instalada	W	875
Potencia instantánea	W	3750
Tensión de operación en DC	V	24
Eficiencia Inversor	%	90
Eficiencia aerogenerador	%	80
Perdidas generación-transmisión	%	20
Rendimiento batería	%	80
Días de Autonomía	d	1
Horas de Autonomía	h	24

5.2.2 Cálculo del Sistema Eólico

De acuerdo a los requerimientos de la carga y al potencial eólico del área en estudio, se realizó una preselección de los aerogeneradores, en este caso de baja potencia como se muestra en la tabla 5.7; y tras una revisión de las tecnologías disponibles finalmente se seleccionó el aerogenerador de Marca Bornay, fabricados en España, Modelo Inclín de 6 kW potencia nominal con un sistema de protección sencillo contra vientos huracanados que se inclinan modificando el área de barrido, además que es de construcción sólida sencilla adecuada a esta zona corrosiva.

Tabla 5.7. Modelos reconocidos de aerogeneradores y sus características

	Inclin 250	Inclin 600	Inclin 1500	Inclin 3000	Inclin 6000
DATOS TECNICOS					
Nº de hélices	2	2	2	2	3
Diámetro (m)	1,4	2	2,7	3,7	3,7
Material	Fibra de vidrio y carbono				
SISTEMA ELÉCTRICO					
Potencia nominal	250	600	1500	3000	6000
Voltaje	12,24,48		24,48,120,300		24,48,120,300
Regulador	Analógico	Digital	Digital	Digital	Digital
FUNCIONAMIENTO (Velocidad del Viento)					
Para arranque (m/s)	3	3,5	3,5	3,5	3,5
Para potencia nominal (m/s)	11	11	12	12	12
Para frenado automático (m/s)	13	14	14	14	14
Peso neto (Kg.)	32	38	42	125	150
Peso bruto (Kg.)	40	46	50	150	200
Dimensiones embalaje (cm.)	28x42x102	28x42x102	40x45x74 153x27x7	120x80x77 200x40x16	120x80x77 260x40x16

Otros aspectos importantes a la hora de realizar la selección fueron:

1) La energía producida es mayor a la de los otros equipos de menor capacidad nominal 2) La cantidad de aerogeneradores necesarios es menor por lo que disminuyen los costos de adquisición e instalación 3) El espacio físico para la instalación de estos aerogeneradores es menor que el requerido por otros de menor potencia para generar la misma energía de demanda, esto es importante ya que el espacio con el que cuenta el Múltiple de Gas Lift seleccionado es muy reducido.

Para determinar la potencia generada por el aerogenerador de acuerdo a la velocidad promedio del viento, se utiliza la curva de potencia suministrada por el fabricante, como se observa en la figura 5.10.

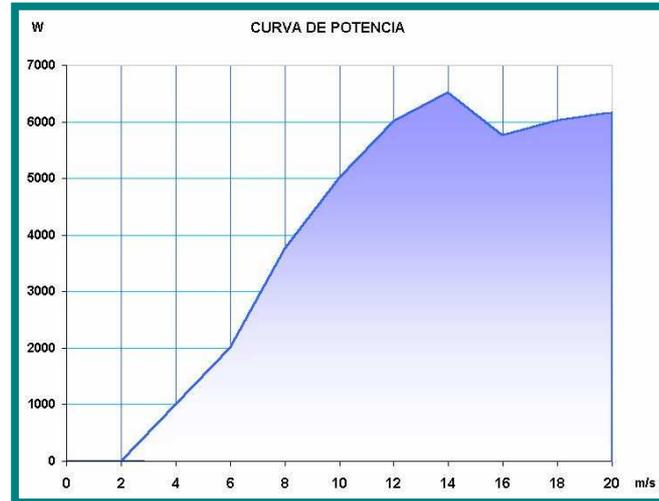


Figura 5.10. Curva de potencia del aerogenerador inclin 6000. [Bornay (2008)]

Para una velocidad promedio de 5 m/s, durante un periodo de ocurrencia de 8,7 horas por día, la energía eólica aportada por un generador es:

$$E_A = P_A \times (HVP) \quad (5.5)$$

Para los dos aerogeneradores:

$$E_{A-TOTAL} = 13050 \frac{W-hr}{día} \times 2 \text{ Aerogeneradores} = 26100 \frac{W-hr}{día} \quad (5.6)$$

Cálculo de consumo de corriente de la carga aportada por el sistema eólico.

$$E_{A-TOTAL+perdidas} = 26100 \frac{W-hr}{día} \times 0.8 = 20880 \frac{W-hr}{día} \quad (5.7)$$

$$CC_{s-Eólico} = \frac{20880 \frac{W-hr}{día}}{24V} = 870 \frac{A-hr}{día} \quad (5.8)$$

La corriente de la carga aportada por el sistema eólico, incluyendo las pérdidas en generación y transmisión de energía (estimadas en un 20 %).

$$CC_{HVP} = \frac{870 \frac{A-hr}{día}}{8,7 \frac{hr}{día}} = 100A \quad (5.9)$$

En la tabla 5.8. Se aprecia los cálculos desarrollados en la hoja de cálculo de Excel, para los aerogeneradores.

Tabla 5.8. Cálculos para los aerogeneradores

Selección del aerogenerador	Unidades	Valor
Cantidad de aerogeneradores	Pz	2
Potencia nominal	W	6000
Voltaje (Vcc)	V	24,48,120,300
Velocidad arranque	m/s	3,5
Velocidad potencia nominal	m/s	12
Velocidad frenado automático	m/s	14
Peso aerogenerador neto	Kg	150
Peso aerogenerador bruto	Kg	200
Peso aerogeneradores	Kg	400
Peso torre soporte aerogenerador	Kg	670
Peso total torre soporte aerogenerador	Kg	1340
Potencia aerogenerador/fabricante	W	1500
Energía aportada aerogenerador	Wh/d	13050
Energía aportada sistema eólico	Wh/d	26100
Porcentaje de aporte eólico	%	24,64
Energía diseño con % eficiencia eólica	Wh/d	20880,00
CCCe (nivel de voltaje seleccionado)	Ah/d	870,00
Corriente para día de menor viento (HEC)	A	100,00

Cálculo de la energía que debe ser suministrada por el sistema fotovoltaico:

$$E_{S-Req} = 84750 \frac{W-hr}{día} - 20880 \frac{W-hr}{día} = 63870 \frac{W-hr}{día} \quad (5.10)$$

$$E_{S-Efc} = \frac{63870 \frac{W-hr}{día}}{0.9} = 70966.67 \frac{W-hr}{día} \quad (5.11)$$

Se considera un factor de seguridad por efectos de pérdidas en generación y transmisión de energía eléctrica producida por el sistema fotovoltaico (se pueden considerar entre un 10 al 30 %); por lo tanto el cálculo del requerimiento de corriente tomando en cuenta el día de menor radiación solar (HSP, hora solar pico del mapa de radiación solar) será:

$$CC_{S-Solar} = \frac{70966.67 \frac{W-hr}{día}}{24V} = 2956.94 \frac{A-hr}{día} \quad (5.12)$$

$$CC_{S-solar+Perdidas} = 2956.94 \frac{A-hr}{día} \times 1.2 = 3548.33 \frac{A-hr}{día} \quad (5.13)$$

$$CC_{HPS} = \frac{3548.33 \frac{A-hr}{día}}{5,4 \frac{hr}{día}} = 657.09A \quad (5.14)$$

Calculo del número de paneles en paralelo, para lo cual se utilizo una corriente de corto circuito según las características del fabricante de 10,14 A.

$$NPP = \frac{657.09A}{10.14A} = 65 \quad (5.15)$$

Para calcular el número de paneles que es necesario conectar en serie para asegurar la operación del sistema es necesario conocer la tensión nominal de operación del sistema y el voltaje nominal del tipo de módulo seleccionado.

$$NPS = \frac{24V}{12V} = 2 \quad (5.16)$$

El número total de paneles solares para el arreglo viene dado por:

$$NPT = 65 \times 2 = 130 \quad (5.17)$$

Para el diseño de este sistema, se seleccionó el módulo fotovoltaico ISO 150/12 por ser este uno de los de mayor eficiencia, con lo cual el número total de paneles solares a utilizar es menor que con otros modelos. Su potencia máxima 165Wp.

Tabla 5.9.a. Selección y calculo de paneles

Selección y calculo de paneles	Unidades	Valor
Módulo Fotovoltaico IS-165/12		
Potencia máxima	Wp	165
Corriente de máxima potencia (Imax)	A	9,48
Tensión de máxima potencia (Vmax)	V	17,4
Tensión de nominal	V	12
Corriente de corto circuito (Isc)	A	10,14
Peso módulo fotovoltaico	Kg	17
Peso estructura arreglo solar	Kg	475
Dimensiones		
Largo	mm	1310
Ancho	mm	969
Área	m2	1,27
Corriente para día menor radiación (HSC)	A	657,10
Paneles en paralelo (NPP)	N	65,00
Paneles en serie (NPS)	N	2
Paneles totales (NPT)	N	130
Área arreglo solar	m2	165,02
Peso arreglo solar	Kg	2210

En la tabla 5.9.a y 5.9.b. Se observa cómo se dimensionó el arreglo solar y la selección y cálculos de paneles,

Tabla 5.9.b. Selección del arreglo solar

Selección arreglo solar	Unidades	Valor
Energía requerida arreglo solar	Wh/d	63870,00
Energía diseño con % eficiencia solar	Wh/d	70966,67
CCC (nivel voltaje seleccionado)	Ah/d	2956,94
CCCp (pérdidas generación-transmisión)	Ah/d	3548,33
Energía solar requerida total	Wh/d	85160,00

5.3 ELABORAR PLANOS PARA LA UBICACIÓN APROPIADA DE LOS EQUIPOS

Se procedió a elaborar los planos de la instalación seleccionada de manera que se conocieran las medidas exactas de la misma y así lograr la ubicación óptima de todos los equipos a instalar para que los aerogeneradores estuviesen colocados a barlovento en la dirección prevalente del viento, por otra parte los paneles solares estuviesen orientados al sur para obtener su mayor rendimiento y se conociera su área disponible para cálculos del diseño, respetando las normas de seguridad PDVSA. En la figura 5.11 se aprecia el plano Múltiple de Gas TJ-3-34.

5.3.1 Estructura soporte para el aerogenerador

Se realizó el diseño de una estructura tipo pórtico con una altura recomendada por el fabricante de 15 m, la cual es apropiada para que el aerogenerador genere a los niveles de potencia requeridos, la cual se muestra en la figura 5.12.

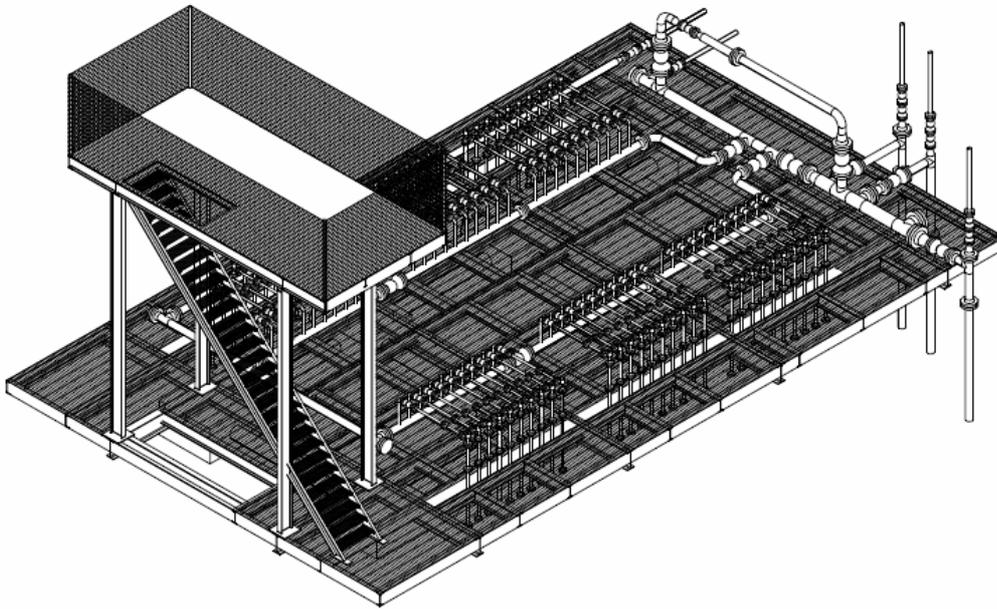


Figura 5.11. Planos del Múltiple de Gas TJ-3-34

El análisis de los desplazamientos de la estructura en la dirección del eje x, originados por la fuerza actuante del peso puntual del equipo y las fuerzas adicionales que actúan sobre él (peso de una persona para realizar mantenimiento estimada en 100 kg), al igual que el análisis de los desplazamientos de la estructura en la dirección del eje z, originados por la fuerza actuante de viento la cual fue considerada de 150 km/hr según normas PDVSA, se calcularon mediante el programa STAAD PRO 2006.

5.3.2 Inclinación y ubicación de los paneles fotovoltaicos

De acuerdo con Kyocera inc. (2007), si el emplazamiento se encuentra en el hemisferio norte, se requiere instalar los módulos solares en dirección al sur verdadero para maximizar la salida de potencia diaria.

Para el ángulo de inclinación se debe tomar en cuenta que el sol se desplaza de este a oeste. Los paneles solares alcanzan su máxima efectividad cuando están orientados hacia el sol, en un ángulo perpendicular con este a mediodía. El ángulo entre el plano horizontal y el panel

solar se denomina ángulo de inclinación. Los módulos solares deben inclinarse respecto al plano horizontal para conseguir un mayor ángulo respecto del sol, al mismo tiempo que se ayuda a mantener la limpieza por el escurrimiento de la lluvia y partículas de polvo.

Debido al movimiento terrestre alrededor del sol, existen también variaciones estacionales. En invierno, el sol no alcanzará el mismo ángulo que en verano. Idealmente, en verano los paneles solares deberían ser colocados en posición ligeramente más horizontales para aprovechar al máximo la luz solar. Sin embargo, los mismos paneles no estarán, entonces, en posición óptima para el sol del invierno.

Con el propósito de alcanzar un mejor rendimiento anual promedio, los paneles solares deberán ser instalados en un ángulo fijo, determinado en algún punto entre los ángulos óptimos para el verano y para el invierno. Cada latitud presenta ángulo de inclinación óptimo. Los paneles deben colocarse en posición horizontal únicamente en zonas cercanas al ecuador. Por lo general se estima que en el hemisferio norte la inclinación del panel debe ser de aproximadamente $10^\circ +$ latitud del lugar, como se puede observar de acuerdo a lo estadístico en la tabla 5.10.

Tabla 5.10. Ángulo de inclinación para paneles solares

Latitud del Sitio	Ángulo de Inclinación
0° - 10°	15°
11° - 20°	Latitud + 5°
21° - 45°	Latitud + 10°
46° - 65°	Latitud + 15°
> 65°	80

Para obtener la mayor cantidad de energía anual con la menor cantidad mantenimiento, el arreglo solar debe estar dirigido al sur verdadero e inclinado en un ángulo, con respecto al horizonte, igual a la latitud del emplazamiento.

Para el sistema que se desea instalar en la unidad de explotación Rosa Mediano, debería tener una inclinación de 15° , porque el sistema esta ubicado a una latitud de $10^\circ 20' 49,77''$ N ($11^\circ - 20^\circ$)

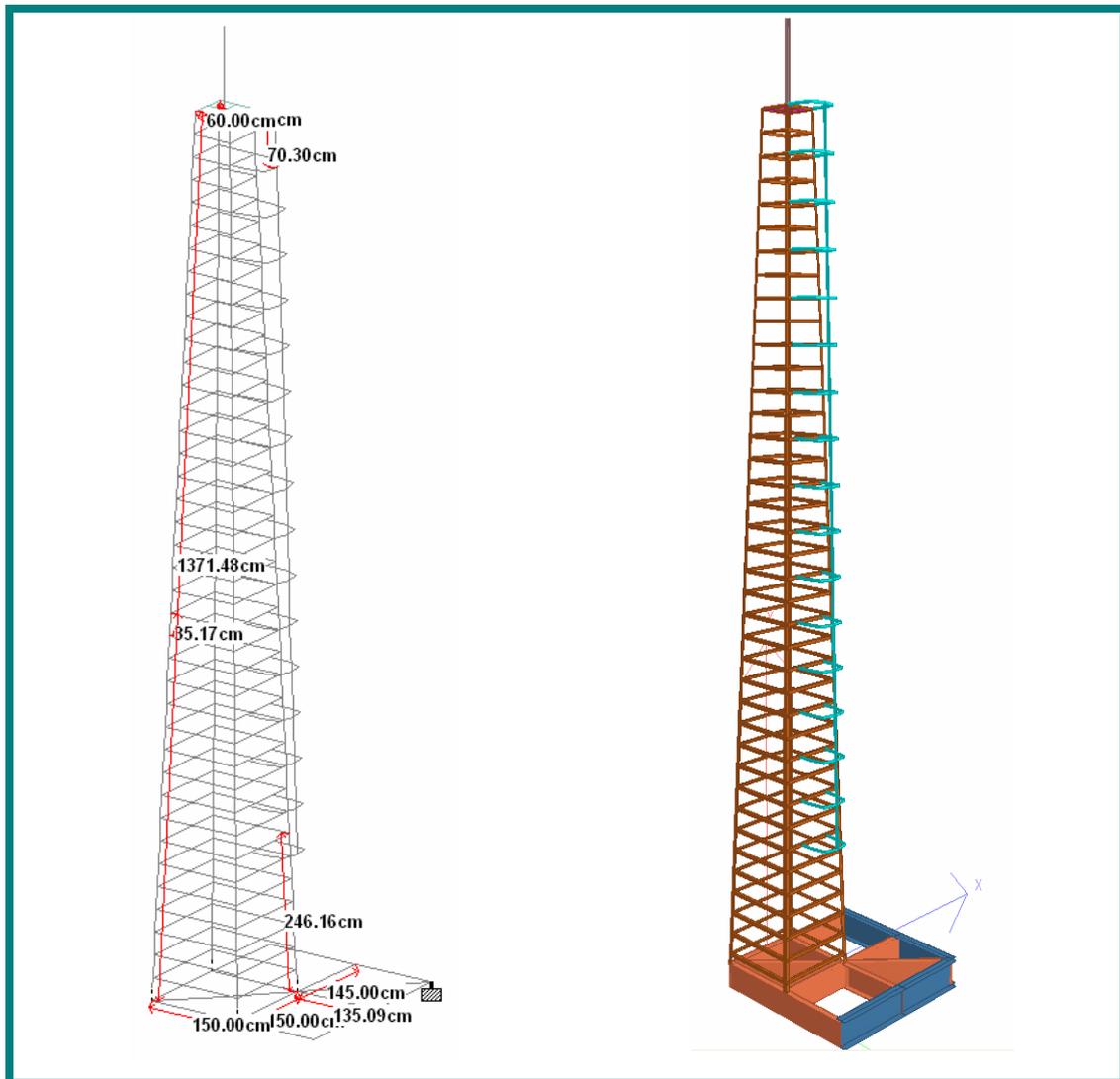


Figura 5.12. Estructura soporte para el aerogenerador

5.3.3 Selección y cálculo del banco de baterías

Después de una revisión de los diferentes modelos existentes en el mercado, se selecciono un acumulador modelo Opzs solar Classic, este acumulador de energía (batería plomo-acido) de

bajo mantenimiento con electrolito líquido, se selecciona tomando en consideración los factores A-hr/Volumen y A-hr/ Kg por contarse con poco espacio y además por las cargas en términos de peso que se van a incorporar en la estructura de la instalación lacustre donde está ubicado el múltiple de gas, además de considerar su robustez, larga vida de diseño y alta fiabilidad; estos acumuladores han sido utilizados durante décadas en requerimientos de energía media y grande, y son ideales para el uso en estaciones solares y eólicas. Por tal razón se seleccionó el modelo indicado, el cual tiene una tensión nominal de 2 V, una capacidad de 1250 A-h y un peso de 52.8 kg. (Enersol T1250).

El requerimiento de los A-hr/día del sistema acumulador viene dado por la suma de las corrientes del sistema eólico y la corriente del sistema solar:

$$I_{Sist-Hibrido} = 100A + 657.09A = 757.09A \quad (5.18)$$

Para dimensionar el banco de baterías necesario para mantener una reserva suficiente que asegure la operación continua del sistema, en primer lugar se debe determinar el número de días de reserva de acuerdo a la ubicación del lugar y las necesidades de la carga, al igual que se debe considerar las limitaciones físicas de espacio con las que cuenta el múltiple, como se expuso anteriormente, por tal motivo se selecciona un día de autonomía que se considera suficiente para el ensayo practico y si se toma en cuenta los niveles de precipitación y nubosidad que pudiera ocurrir en el peor de los casos.

$$RAHD = 757.09A \times 16hr = 12113.44A - hr \quad (5.19)$$

En segundo término para calcular el RAHD total (RAHDT), es necesario determinar el porcentaje de utilización de la batería (por lo general del 80 %, considerando datos suministrados por el fabricante), en este caso el RAHD se divide por el factor de utilización:

$$RAHD_r = \frac{12113.44A - hr}{0.8} = 15141.8A - hr \quad (5.20)$$

Número de baterías en paralelo:

$$NBP = \frac{15141.8A - hr}{1251A - hr} = 12 \quad (5.21)$$

Número de baterías en serie:

$$NBS = \frac{24V}{2V} = 12 \quad (5.22)$$

El número total de baterías para el sistema híbrido:

$$NBT = 12 \times 12 = 144 \quad (5.23)$$

En la tabla 5.11, se presenta un resumen del requerimiento de corriente necesario para el sistema híbrido y el resultado obtenido del dimensionamiento del banco acumulador de energía.

Tabla 5.11. Requerimiento de corriente

Requerimiento de corriente	Unidades	Valor
Corriente total sistema híbrido	A	757,10
RAHD	Ah	12113,58
RAHDT (rendimiento batería)	Ah	15141,98
Número baterías paralelo (NBP)	Pz	12
Número baterías serie (NBS)	Pz	12
Número total baterías (NTB)	Pz	144
Area arreglo baterías	m ²	15,89
Volumen arreglo baterías	m ³	3,04
Peso arreglo baterías	Kg	7603,2
Peso estructura arreglo baterías	Kg	1000

Para calcular el número total de Regulador/controlador de niveles de tensión del arreglo solar se tomo en consideración la corriente nominal indicada por el fabricante (40 A).

$$N_{controladores} = \frac{657.09A}{40A} = 17 \quad (5.24)$$

En la tabla 5.12 se presentan las características técnicas del regulador seleccionado.

Tabla 5.12. Selección del regulador

Selección Regulador/Controlador	Unidades	Valor
Regulador TRACE serie C		
Corriente máxima de carga	A	40
NTR (número total reguladores)	Pz	16
Peso regulador TRACE serie C	Kg	0,5
Peso total reguladores	Kg	8

Para suministrar energía eléctrica en AC es necesario instalar un inversor que transforme la energía de DC a AC en la tensión, frecuencia y potencia requeridas, la eficiencia del inversor va a depender de la marca (fabricante), pero puede oscilar entre 85 y 95 %, y se calcula con la siguiente fórmula:

$$Inversor_{DC-AC} = \frac{2375W}{0.9} = 2638.88W \quad (5.25)$$

En la tabla 5.13 se pueden observar las características del inversor seleccionado.

Tabla 5.13. Selección del inversor

Inversor DC/AC APS2424	Unidades	Valor
Eficiencia del inversor	%	90
Capacidad del inversor (potencia nominal)	W	3194,44

El inversor seleccionado es de la serie APS2424 Power Verter ya que estos inversores/cargadores incluyen un conservador de carga de baterías (detección de cargas) que ahorra energía de baterías permitiendo a los usuarios establecer el mínimo nivel de carga al cual se enciende la unidad del inversor. Los usuarios pueden reducir significativamente la corriente continua de entrada sin carga a un nivel muy bajo usando este controlador.

**Figura 5.13. Inversor APS2424 [Power verter (2009)]**

En resumen, los resultados obtenidos del dimensionamiento del sistema híbrido se presentan en la tabla 5.14.

Tabla 5.14. Resultados del sistema híbrido

	Unidades	Valor
Demanda de energía equipos instalados	Wh/d	84750
Demanda diseño	Wh/d	111260
Cantidad de aerogeneradores	Pz	2
Peso de aerogeneradores	Kg	400
Paneles en paralelo (NPP)	Pz	65,00
Paneles en serie (NPS)	Pz	2
Paneles totales (NPT)	Pz	130
Área arreglo solar	m ²	165,02
Peso arreglo solar	Kg	2210
Número baterías paralelo (NBP)	Pz	12
Número baterías serie (NBS)	Pz	12
Número total baterías (NTB)	Pz	144
Área arreglo baterías	m ²	15,89
Volumen arreglo baterías	m ³	3,04
Peso arreglo baterías	Kg	7603,2
Peso requerido por los equipos (s/e)	Kg	10221,2
Peso torre aerogenerador	Kg	1340
Peso estructura arreglo solar	Kg	475
Peso estructura arreglo baterías	Kg	1000
Peso total de las estructuras	Kg	2815
Peso total sistema (equipos+estructuras)	Kg	13036,2

Con los resultados obtenidos para el sistema híbrido dimensionado, se estaría suministrando el total de la energía eléctrica requerida por el Múltiple de Gas Litf TJ- 3- 34, logrando cumplir en su totalidad con el diseño del sistema de energía alterna para dicho múltiple, sin embargo, se realizó el análisis de dos escenarios más para observar si se pudiese mejorar el sistema

híbrido en cuanto a peso y espacio físico, ya que el múltiple está capacitado para 60 cupos (pozos), y diseñado para soportar una carga de 75 toneladas, actualmente posee 45 toneladas, tiene un peso del 60 % del total. Lo cual indica que se le puede adicionar de 20 a 25 toneladas más.

Considerando las limitaciones físicas del múltiple TJ-3-34, fue necesario realizar la optimización del diseño, evaluando los escenarios descritos a continuación:

5.3.4 Escenario 2

Para el diseño del sistema híbrido se consideró la carga aportada por el alumbrado como un subsistema, colocando las luminarias con un arreglo solar individual de manera que el área total para el arreglo solar quedase mejor distribuida, es decir que se independizaría el sistema de alumbrado.

Los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla 5.15 y 5.16.

Donde se muestra, como se reduce la demanda de los equipos instalados para el sistema híbrido.

Tabla 5.15. Carga instalada sin alumbrado

Carga Instalada	Potencia (W)	Voltaje (V)	Uso Diario (h-d)	Energía (Wh/d)
Equipos de Señalización y Control	875	24 VDC	24	21000
Protección Catódica	2500	24 VDC	24	60000
Sistema de Alumbrado	0	240VAC	10	0
Total de Carga	3375			81000

Tabla 5.16. Resultados del diseño sistema híbrido escenario 2

	Unidades	Valor
Demanda de energía equipos instalados	Wh/d	81000
Demanda diseño	Wh/d	106260
Cantidad de aerogeneradores	Pz	2
Peso de aerogeneradores	Kg	400
Paneles en paralelo (NPP)	Pz	61,00
Paneles en serie (NPS)	Pz	2
Paneles totales (NPT)	Pz	122
Área arreglo solar	m ²	154,87
Peso arreglo solar	Kg	2074
Número baterías paralelo (NBP)	Pz	11
Número baterías serie (NBS)	Pz	12
Número total baterías (NTB)	Pz	132
Área arreglo baterías	m ²	14,57
Volumen arreglo baterías	m ³	2,78
Peso arreglo baterías	Kg	6969,6
Peso requerido por los equipos (s/e)	Kg	9451,1
Peso torre aerogenerador	Kg	1340
Peso estructura arreglo solar	Kg	450
Peso estructura arreglo baterías	Kg	900
Peso total de las estructuras	Kg	2690
Peso total sistema (equipos + estructuras)	Kg	12141,1

5.3.5 Escenario 3

Las condiciones de carga establecidas se muestran en la tabla 4.16, sin contar con el alumbrado y disminuyendo la protección catódica lo cual fue consultado con la superintendencia de PDVSA que estuvo de acuerdo con la propuesta planteada.

Tabla 5.17. Carga instalada

Carga Instalada	Potencia (W)	Voltaje (V)	Uso Diario (h-d)	Energía (Wh/d)
Equipos de Señalización y Control	875	24 VDC	24	21000
Protección Catódica	1400	24 VDC	24	33600
Sistema de Alumbrado	0	240VAC	10	0
Total de Carga	2275			54600

Como premisa de diseño para este escenario se planteo ajustar las necesidades de carga al espacio físico requerido obteniendo un área total para el arreglo solar de 90 m², como se muestra en la tabla 5.18.

Tabla 5.18. Resultados del diseño del sistema híbrido escenario 3

	Unidades	Valor
Demanda de energía equipos instalados	Wh/d	54600
Demanda diseño	Wh/d	71060
Cantidad de aerogeneradores	Pz	2
Peso de aerogeneradores	Kg	400
Paneles en paralelo (NPP)	Pz	34,00
Paneles en serie (NPS)	Pz	2

Paneles totales (NPT)	Pz	68
Área arreglo solar	m2	86,32
Peso arreglo solar	Kg	1156
Número baterías paralelo (NBP)	Pz	7
Número baterías serie (NBS)	Pz	12
Número total baterías (NTB)	Pz	84
Área arreglo baterías	m2	9,27
Volumen arreglo baterías	m3	1,77
Peso arreglo baterías	Kg	4435,2
Peso requerido por los equipos (s/e)	Kg	5995,7
Peso torre aerogenerador	Kg	1340
Peso estructura arreglo solar	Kg	350
Peso estructura arreglo baterías	Kg	775
Peso total de las estructuras	Kg	2465
Peso total del sistema (equipos + estruc)	Kg	8460,7

5.4 EVALUAR EL COSTO – BENEFICIO DE LA ENERGÍA ALTERNA

La implementación de nuevas tecnologías implica la inversión de importantes sumas de dinero, aun cuando sea en una prueba piloto en una sola instalación, como es el caso aquí presentado.

Los beneficios esperados de dicha inversión se evalúan a la luz de establecer primero que exista una factibilidad técnica y económica para su exitosa implementación. A continuación se explican los aspectos que soportan la continuación de este tipo de proyectos:

5.4.1 Factibilidad técnica

La energía solar fotovoltaica y eólica resulta un medio excelente para ayudar a alcanzar un modelo energético respetuoso con el medio ambiente, en una sociedad en la que la preocupación por el cambio climático es compartida por la mayoría de la opinión pública. Al mismo tiempo, estas energías, dado su carácter distribuido, disminuyen la dependencia energética favoreciendo así el autoabastecimiento, que supone uno de los grandes retos de la sociedad actual.

- Equipos

Todos los equipos (aerogeneradores, módulos solares, y otros secundarios), están disponibles actualmente en el mercado.

- Recursos Humanos

En el país existen personas capacitadas para construir, instalar, operar y mantener los equipos que conforman el sistema y en este caso se cuenta con el apoyo del personal de FUNDELEC.

5.4.2 Factibilidad Económica

- Inversión inicial

A continuación se muestra en detalle la inversión de capital necesaria para la instalación de los equipos basados en las dos tecnologías. Con estos datos y anexando la construcción de las torres, la estructura de soporte para los paneles solares, baterías y adquisición de medios de transporte, se obtiene la inversión inicial del proyecto. El detalle de la inversión se muestra a continuación en la tabla 5.19.

Tabla 5.19. Inversión inicial de capital

Descripción	Cantidad	Precio unitario (BsF)	Precio total (BsF)
Aerogenerador y regulador	2	33.303,34	66.606,68
Módulos solares	130	1.002,01	130.261,30
Baterías	144	3.023,75	435.420,00
Inversor DC / AC	1	1.504,00	1.504,00
Estructura para el aerogenerador	2	104.000,00	208.000,00
Regulador solar	40	654,00	26.160,00
Estructura soporte para paneles y baterías	1	151.231,00	151.231,00
Instalación de equipos	1	32.000,00	32.000,00
Total			1.051.183,11

- Evaluación Económica

La técnica de evaluación económica utilizada fue la de menor costo entre dos alternativas: situación actual y situación propuesta. La evaluación se realizó usando el Sistema de Evaluaciones Económicas: SEEPLUS, de PDVSA. Este usa un escenario de 20 años, e incorpora en sus bases de datos todo lo relativo a precios de venta del crudo, impuestos, regalías, costo de producción del barril, y demás parámetros financieros.

La situación propuesta se caracteriza por un escenario de un hurto de cable por instalación cada dos años y con una diferida del 5 % del total de producción por la imposibilidad de optimizar la producción. El costo de reposición del cable se observa en la tabla siguiente:

Tabla 5.20. Costos asociados al tendido de cable submarino. Caso particular de una longitud de 1300 metros, y tiempo de tendido de 2,5 horas.

Tabla 5.20. Costos asociados al tendido de cable

	BsF	Unidades	Cantidad	Unidades	Total BsF
Costo del cable submarino	155	BsF/m	1300	metros	201.500,00
Costo de la gabarra por hora	3093	BsF/hr	2,5	horas	7732,5
Costo de conexiones	8	BsF/conexión	2	conexiones	16
Total					209.248,50

Como se aprecia en la tabla para un caso de un cable de 1300 metros, el tiempo de tendido es de 2,5 horas aproximadamente, siendo el total de este caso de 209.248,5 BsF, que sería el mejor de los casos esperados (ya que las estadísticas presentadas en el anexo 2 muestran una tendencia de hurto más desfavorable). Sumado a este gasto esta la pérdida de ingresos por venta de crudo, originada por la disminución del 5 % de la producción promedio manejada por este tipo de múltiples (2500 BNPD), este valor es de $125 \text{ BNPD} = 0,05 \times 2500 \text{ BNPD}$. En BsF esto es: $125 \text{ Barriles/día} \times 60 \text{ días} \times 34 \text{ \$/barril} \times 2,15 \text{ BsF/\$} = 548.250 \text{ BsF}$. El total es: $(209.248,5 + 548.250) \text{ BsF} = 757.498,5 \text{ BsF}$ en pérdidas cada dos años.

La situación propuesta sería la instalación de un arreglo híbrido compuesto por dos aerogeneradores y 94 paneles solares, que tiene una inversión inicial de 1.051.183,11 BsF, gastos anuales de mantenimientos de 10.000,00 BsF.

Ambas desembolsos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.21. Desembolsos asociados a la situación actual (reposición del cable cada dos años) y la situación propuesta (arreglo solar – eólico)

Tabla 5.21. Desembolso asociado

		Situación actual	Situación propuesta	
		Gastos BsF	Inversiones BsF	Gastos BsF
1	2009	757.498,50	1.051.183,11	10.000,00
2	2010			10.000,00
3	2011	757.498,50		10.000,00
4	2012			10.000,00
5	2013	757.498,50		10.000,00
6	2014			10.000,00
7	2015	757.498,50		10.000,00
8	2016			10.000,00
9	2017	757.498,50		10.000,00
10	2018			10.000,00
11	2019	757.498,50		10.000,00
12	2020			10.000,00
13	2021	757.498,50		10.000,00
14	2022			10.000,00
15	2023	757.498,50		10.000,00
16	2024			10.000,00
17	2025	757.498,50		10.000,00
18	2026			10.000,00
19	2027	757.498,50		10.000,00
20	2028			10.000,00
	VPN	-1.914.231,00	-1.201.850,00	

Ambas situaciones generan un desembolso de gastos, por lo que el Valor Presente Neto es negativo para ambas, pero la opción más rentable es aquella de VPN menos negativo; en este caso el arreglo híbrido tiene el valor más favorable de -1.201.850,00 BsF versus el más negativo de la situación actual de continuar reemplazando el cable de -1.914.231,00 BsF.

CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación, cuyo objetivo general fue el diseño de un sistema de energía alterna para la generación eléctrica en el Múltiple de Gas Lift ubicado en el Distrito Lago Norte PDVSA Occidente, permitieron formular las siguientes conclusiones:

Dando cumplimiento al objetivo de Analizar los antecedentes climáticos y meteorológicos del Distrito Lago Norte para definir los posibles diseños de energía alterna se realizó la búsqueda de información histórica recolectada en el estado Zulia de radiación solar, velocidades y dirección de los vientos. Las fuentes fueron diversas: Base Aérea de Maracaibo, Instituto de Meteorología e Hidrología, y Facultad de Arquitectura de la Universidad del Zulia, principalmente. Los datos de vientos corresponden a más de 30 años, siendo la muestra estudiada la correspondiente a 11 años, tiempo en el que se dan cambios importantes en el comportamiento de los vientos; mientras que los datos de radiación solar corresponden a recolectados en el 2005 y 2006.

Los valores obtenidos para los parámetros Horas Solar Pico (HSP) y Horas de Vientos Promedio (HVP) son 5,4 y 8,7 horas respectivamente, las cuales corresponden con los estimados en los mapas de insolación y eólicos de Venezuela elaborados en el MENPET.

Con relación al objetivo de determinar el consumo de energía en el Múltiple de Gas Lift para dimensionar los equipos a instalar, este se dividió en tres sistemas principales: el sistema de señalización y control, el sistema de protección catódica y el sistema de iluminación. El consumo de energía eléctrica del sistema de señalización y control se obtuvo de mediciones directas de corriente y voltaje en un periodo continuo de 7 días; el de protección catódica fue suministrado por la superintendencia de Protección Catódica de PDVSA Occidente y el de

iluminación por la sumatoria de carga de las 5 lámparas fluorescentes de bajo consumo que se tendrían para tal fin, obteniendo como resultado $84750 \frac{W-hr}{día}$.

Mientras que para dimensionar los equipos que integran el sistema de energía alterna, se establecieron como premisas el considerar los equipos que están siendo usados en la ejecución del programa Sembrando Luz convenio de cooperación energética Cuba – Venezuela desarrollado por FUNDELEC y en paralelo, evaluar otras alternativas disponibles en el mercado. Los equipos que más se adaptaron al diseño están todos contemplados en el convenio.

Con la ubicación apropiada de los equipos se evaluaron tres escenarios principales: un arreglo de 130 paneles solares que ocupan un área de 165,02 m², y dos aerogeneradores de eje horizontal, con el que se puede suministrar la carga requerida. En un segundo escenario de cálculos se excluye la alimentación al sistema de iluminación, aun así da un área de paneles solares de 154,87 m² (aun superior al disponible sin realizar mayores modificaciones) y en un tercer escenario, que es adaptarse al espacio disponible, se podría suministrar hasta 75% de la carga. En estos tres escenarios no se excede el límite de carga de 15 toneladas.

Finalmente, en la evaluación de la relación costo - beneficio del sistema, se plantearon los beneficios esperados en el aspecto de garantizar una mayor autonomía del múltiple al no depender del suministro eléctrico por cable (con alta frecuencia de hurto), avanzar en experiencias en tecnologías “verdes” que apuntan a ser el estándar en el futuro a fin de reducir el consumo de combustibles fósiles, en esta aplicación en particular presentó indicadores económicos positivos comparado con un escenario de estar sustituyendo el cable que de acuerdo a información obtenida se pierde por hurto, una vez cada dos años. La comparación se realizó en base al cálculo del VPN para cada alternativa seleccionando el menos negativo, ya que ambas opciones están calculadas en base a flujos negativos (egresos) en este caso por la inversión inicial asociada y los costos de mantenimiento.

RECOMENDACIONES

Tomando en consideración los resultados obtenidos en la presente investigación, se generan las siguientes recomendaciones.

Recomendaciones Técnicas:

Continuar con las gestiones necesarias para conseguir datos de velocidades y direcciones de vientos recolectados en periodos de horas, y no promedios diarios.

Evaluar la factibilidad de instalar una estación meteorológica en el área central del lago de Maracaibo, ya que las existentes están en tierra y no cubren adecuadamente el comportamiento de los vientos y radiación solar en tan extensa superficie.

Mejorar el modelo probabilístico diseñado con el fin particular de predecir el comportamiento horario a partir de los datos históricos existentes para más de 30 años.

Debido a que es muy limitada la generación eléctrica con un arreglo solar eólico, se recomienda instalar un sistema de medición continua de corriente y voltaje en aquellas instalaciones donde se estudie la factibilidad de instalar dicho arreglo, a fin de calcular lo más acertadamente posible el consumo de energía eléctrica.

Establecer contactos con otros proveedores de tecnologías y equipos, alternos a FUNDELEC, a fin de enriquecer las opciones que permitan disminuir costos y espacios requeridos.

La probabilidad de suministrar el 100% de la carga requerida aumentará en el corto plazo, de continuar con la búsqueda permanente a medida que avance el proyecto, de nuevos equipos

disponibles en el mercado, ya que estos tienen una actualización tecnológica muy rápida que hace posible el poder diseñar sistemas híbridos con equipos cada vez más potentes, eficientes y compactos.

A la Universidad de Los Andes:

Promover investigaciones que se adapten a la generación energética mediante estas fuentes alternativas u otras similares.

Preparar charlas o seminarios de orientación técnica a estudiantes y profesionales, relacionados a técnicas de generación de potencia mediante fuentes de energía alterna.

REFERENCIAS

Chávez Alizo (2001). Introducción a la investigación educativa. Maracaibo, Editorial Universal. Primera edición

Departamento de Energía de los Estados Unidos. Sistema eólicos pequeños para generación de electricidad. “small wind guide Spanish PDF”. Consultado en Diciembre, 2008.

Duran Vicente (2009). Aprovechamiento de Fuentes Renovables de Energía para el abastecimiento de agua potable para el suministro ambiental.

Duran Vicente (2009). Energías renovables. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Coro, Estado Falcón - Venezuela

Energía Alternativa “Energía Eólica”. Consultado en Marzo 2009.
Disponible: <http://www.textoscientificos.com/energía/eólica>.

FUNDELEC (2007). Energía Renovable: por un futuro mejor. Editada por la fundación para el desarrollo del servicio eléctrico.

FUNDELEC (2008). Energía solar: sembramos luz en Venezuela. Editada por la fundación para el desarrollo del servicio eléctrico.

Jutglar Lluís (2004). Energía Solar. Editorial Ceac.

Sabino Carlos (1999). El proceso de la Investigación. Caracas. Venezuela.

Sánchez M. Miguel A. (2008). Energía solar fotovoltaica. México Editorial limusa.

Tamayo y Tamayo (2001). El proceso de la investigación Científica. Editorial limusa. México. 3ra. Edición.

Tomás P. Benito (2007). Guía del instalador de energías renovables. México Editorial limusa.

Villarrubia Miguel (2004). Energía Eólica. Energía Alternativas y Medio Ambiente. Facultad de Física. Universidad de Barcelona. Editorial Ceac.

Weather Underground “Venezuela”. Consultado en Enero 2009.

Disponible: <http://espanol.wunderground.com/global/VN.html>

ANEXOS

Anexo 1. Características de los vientos en función de su velocidad y forma gráfica de representar la dirección de estos (Rosa de los Vientos)

:: Velocidad del viento en nudos, m / s, km / h mph

Nudos	Beaufort	m/s	km/h	Denominación	Aspecto de la mar	Efectos en tierra
1	0	0 - 0.2	1	Calma	Despejado	Calma, el humo asciende verticalmente
1-3	1	0.3- 1.5	1-5	Ventolina	Pequeñas olas, pero sin espuma	El humo indica la dirección del viento
4-6	2	1.6- 3.3	6-11	Flojito (Brisa muy débil)	Crestas de apariencia vítrea, sin romper.	Se mueven las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos
7-10	3	3.4- 5.4	12-19	Flojo (Brisa débil)	Pequeñas olas, crestas rompientes.	Se agitan las hojas, ondulan las banderas
11-15	4	5.5- 7.9	20-28	Bonancible (Brisa moderada)	Borreguillos numerosos, olas cada vez más largas.	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles
16-21	5	8.0- 10.7	29-38	Fresquito (Brisa fresca)	Olas medianas y alargadas, borreguillos muy abundantes.	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada
22-27	6	10.8- 13.8	39-49	Fresco (Brisa fuerte)	Comienzan a formarse olas grandes, crestas rompientes, espuma.	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas
28-33	7	13.9- 17.1	50-61	Frescachón (Viento fuerte)	Mar gruesa, con espuma arrastrada en dirección del viento.	Se mueven los árboles grandes, dificultad para andar contra el viento
34-40	8	17.2- 20.7	62-74	Temporal (Viento duro)	Grandes olas rompientes, franjas de espuma.	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas dificultosa
41-47	9	20.8- 24.4	75-88	Temporal fuerte (Muy duro)	Olas muy grandes, rompientes. Visibilidad mermada.	Daños en árboles, imposible andar contra el viento
48-55	10	24.5- 28.4	89- 102	Temporal duro (Temporal)	Olas muy gruesas con crestas empenachadas. Superficie del mar blanca.	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones
56-63	11	28.5- 32.6	103- 117	Temporal muy duro (Borrasca)	Olas excepcionalmente grandes, mar completamente blanca, visibilidad muy reducida.	Estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles
64-71	12	32.7- 36.9	118- 133	Temporal huracanado (Huracán)	El aire está lleno de espuma y rociones. Enorme oleaje. Visibilidad casi nula.	Destrucción total

:: Direcciones del viento

Abreviación	Dirección del viento	Grado	Rosa de los vientos
N	Norte	0°	
NNE	Nornordeste	22.5°	
NE	Nordeste	45°	
ENE	Estenoreste	67.5°	
E	Este	90°	
ESE	Estesureste	112.5°	
SE	Sureste	135°	
SSE	Sursureste	157.5°	
S	Sur	180°	
SSW	Sursuroeste	202.5°	
SW	Suroeste	225°	
WSW	Oestesuroeste	247.5°	
W	Oeste	270°	
WNW	Oestenoroeste	292.5°	
NW	Noroeste	315°	
NNW	Nornordoeste	337.5°	

Anexo 2. Hurtos de cable submarino 2006-2008

Unidad de Explotacion Rosa Mediano - Relacion tendido/reparacion 2006						
Fecha	Desde	Hasta	Actividad	Causa	Longitud(m)	Calibre
06-Jul-06	MGTJ 3-20	MGTJ 3-40	Tendido	Hurto	1050	1/0 600V
30-Jun-06	MGTJ 3-26	EFTJ -11	Tendido	Hurto	1064	1/0 600V
10-Oct-06	MGTJ 3-40	MGTJ 3-20	Tendido	Hurto	957	1/0 600V
10-Oct-06	MGTJ 3-40	EFPB -16	Reparacion	Hurto	198	1/0 600V
02-Ene-06	EFPB-18	MGPB -10	Tendido	Hurto	1733	1/0 600V
16-Ene-06	EFPB-18	MGPB -10	Tendido	Hurto	1685	1/0 600V
10-Mar-06	EFPB-18	MGPB -10	Tendido	Hurto	1750	1/0 600V
31-Mar-06	EFPB-18	MGPB -10	Tendido	Hurto	1665	1/0 600V
30-Jun-06	EFPB-18	MGPB -10	Tendido	Hurto	1728	1/0 600V
13-Jun-06	EFPB-18	MGPB -10	Tendido	Hurto	1730	1/0 600V
09-Ago-06	EFPB-18	MGPB -10	Tendido	Hurto	1779	1/0 600V
15-Ago-06	EFPB-18	MGPB -10	Tendido	Hurto	1710	1/0 600V
21-Ago-06	EFPB-18	MGPB -10	Tendido	Hurto	1779	1/0 600V
09-Ene-06	EFTJ-11	MGTJ 3-26	Tendido	Hurto	1669	1/0 600V
28-Sep-06	EFTJ-19	MGTJ 3-18	Reparacion	Hurto	103	1/0 600V
26-Dic-06	EFTJ-21	MGTJ 3-15	Tendido	Hurto	1701	1/0 600V
14-Sep-06	EFTJ-19	MGTJ 3-18	Tendido	Hurto	787	1/0 600V
01-Feb-06	EFTJ-11	MGTJ 3-26	Tendido	Hurto	1037	1/0 600V
17-Feb-06	EFTJ-11	MGTJ 3-26	Tendido	Hurto	1005	1/0 600V
19-Abr-06	EFTJ-11	MGTJ 3-26	Reparacion	Hurto	907	1/0 600V
06-Sep-06	EFTJ-11	MGTJ 3-26	Tendido	Hurto	1123	1/0 600V
26-May-06	EFPB-16	MGTJ 3-40	Reparacion	Hurto	1315	1/0 600V
06-Jul-06	EFPB-16	MGTJ 3-40	Tendido	Hurto	1652	1/0 600V
15-Ago-06	EFPB-16	MGTJ 3-40	Reparacion	Hurto	1458	1/0 600V
12-Sep-06	EFPB-16	MGTJ 3-40	Tendido	Hurto	1623	1/0 600V
02-Nov-06	BESTJ 432	MGTJ 3-34	Tendido	Hurto	204	1/0 600V
Unidad de Explotacion Rosa Mediano - Relacion tendido/reparacion 2007						
Fecha	Desde	Hasta	Actividad	Causa	Longitud(m)	Calibre
07-Mar-07	BESTJ 4-32	MGTJ 3-34	Tendido	Hurto	203	1/0 600V
16-May-07	MGTJ 3-20	MGTJ 3-29	Tendido	Hurto	1312	1/0 600V
16-May-07	EFTJ-20	MGTJ 3-20	Tendido	Hurto	2167	1/0 600V
26-May-07	EFTJ-11	MGTJ 3-22	Tendido	Hurto	860	1/0 600V
07-Jun-07	MGTJ 3-35	EFJ - 21	Tendido	Hurto	991	1/0 600V
Unidad de Explotacion Rosa Mediano - Relacion tendido/reparacion 2008						
Fecha	Desde	Hasta	Actividad	Causa	Longitud(m)	Calibre
02-Jul-08	MGLL-1027	BESTJ 883	Tendido	Hurto	1230	1/0 600V
08-Jul-08	MGTJ 3-29	MAPTJ 3-20	Tendido	Hurto	1604	1/0 600V
08-Jul-08	MGTJ 3-35	EFTJ-21	Tendido	Hurto	1098	1/0 600V
03-Nov-08	MGTJ 3-29	MAPTJ 3-20	Tendido	Hurto	1100	1/0 600V
09-Dic-08	MGTJ 3-24	EFPB-11	Tendido	Hurto	1166	1/0 600V
30-Dic-08	MGTJ 3-35	EFTJ-21	Tendido	Hurto	1074	1/0 600V

Anexo 3. Imagen del Multiple de Gas Lift TJ-3-34

