

**DISEÑO, ANALISIS, CONSTRUCCION Y EVALUACION FINANCIERA DE UN
SISTEMA DE GENERACION DE ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA UN
GALPON DE LA EMPRESA AVIDESA MACPOLLO SEDE
BARRANCABERMEJA**

CESAR DAVID NAVAS PRADA

ANDRES FERNANDO ORTIZ PRADA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2015

**DISEÑO, ANALISIS, CONSTRUCCION Y EVALUACION FINANCIERA DE UN
SISTEMA DE GENERACION DE ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA UN
GALPON DE LA EMPRESA AVIDESA MACPOLLO SEDE
BARRANCABERMEJA**

CESAR DAVID NAVAS PRADA

ANDRES FERNANDO ORTIZ PRADA

**Trabajo de grado para optar por el
Título de Ingeniero Mecánico.**

Director de proyecto

M.Sc. OMAR ARMANDO GÉLVEZ AROCHA

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

A mi madre Dora Prada, por su ejemplo, su amor, entrega total, compañía y comprensión.

A mi padre Julio Ortiz, por su apoyo, sacrificio y guía para alcanzar las metas propuestas.

A mis hermanos por su paciencia y apoyo durante este proyecto.

A mis amigos y compañeros que me acompañaron y apoyaron durante toda la carrera.

A los profesores de la escuela de ingeniería mecánica por mi formación personal y profesional.

Andres Fernando Ortiz Prada.

DEDICATORIA

A dios, y a mii padre Cesar Navas, que desde lo más alto me ha dado la fortaleza necesaria para cumplir mis metas y llenar de orgullo a mi familia.

A mi mama Claudia Prada, el ejemplo de mujer luchadora que me sacó adelante con su fuerza y amor, es el pilar principal de mi vida.

A mi tía Claudia Navas, por su gran a apoyo y crianza llena de amor.

Cesar David Navas Prada

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales a nuestros tutores, Ingeniero Omar Gélvez Arocha, por su apoyo, conocimiento y colaboración como director del proyecto en la Universidad Industrial de Santander, como también al ingeniero David Fuentes Palomino y el ingeniero Ronald por su asesoría y tiempo dedicado al respaldo de nuestro proyecto, como codirector ante AVIDESA MACPOLLO S.A.

CONTENIDO

INTRODUCCION	24
MARCO TEORICO	26
ENERGIA SOLAR	26
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	30
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	32
1.1 GRANJA TERRAZAS	33
1.2 GRANJA ALPES.....	38
1.3 GRANJA BOSQUE	40
2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ENERGIA ALTERNATIVA	44
2.1 GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	45
2.1.1 subsistema de recolección de energía	48
2.1.2 subsistema de control.....	52
2.1.3 subsistema de almacenamiento	53
2.1.4 subsistema de inversión de corriente	55
2.1.5 subsistema de protección	57
2.2 SELECCIÓN DEL TIPO SISTEMA FOTOVOLTAICO	60
3. DISEÑO DETALLADO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA FV UTILIZADO EN LA GRANJA TERRAZAS	61
3.1 GENERALIDADES	61
3.2 PERFIL DE RADIACION SOLAR HORARIA EN LA ZONA.....	62
3.2.1 Radiación solar de un día claro	62
3.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL SISTEMA FV.....	63
3.4 ESTABLECIMIENTO DE REQUERIMIENTOS	64

3.5 MODELAMIENTO DE RADIACION TOTAL Y GENERACION DE POTENCIA	66
3.6 OPTIMIZACION BASADA EN COSTOS	70
3.7 SISTEMA DE RECOLECCION DE ENERGIA.....	75
3.7.1 Selección tipo de panel	75
3.7.2 Paneles en el mercado.....	75
3.7.3 Agrupamiento en bloques.....	77
3.7.4 Conexión de los bloques	79
3.8 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE INVERSION.....	80
3.9 SISTEMA DE CONDUCCION	81
3.9.1 Calculo fuente fotovoltaica	82
3.9.2 Calculo del cable salida del inversor	83
3.10 SELECCIÓN DE PROTECCIONES ELECTRICAS.....	84
3.10.1 Puesta a tierra	84
3.10.2 Protecciones Corriente directa	85
3.11 ESTRUCTURA	85
4. DISEÑO DETALLADO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA FV UTILIZADO EN LA GRANJA ALPES.....	88
4.1 UBICACIÓN DE LA GRANJA.....	88
4.2 GENERALIDADES	89
4.3 PERFIL DE RADIACION SOLAR HORARIA EN LA ZONA.....	89
4.3.1 Radiación solar de un día claro	90
4.4 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.....	91
4.5 ESTABLECIMIENTO DE REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.....	91

4.6 MODELAMIENTO DE RADIACION TOTAL Y GENERACION DE POTENCIA	92
4.7 OPTIMIZACION BASADO EN COSTOS.....	95
4.8 DISEÑO DETALLADO SISTEMA DE RECOLECCION DE ENERGIA.....	98
4.8.1 Selección tipo de panel	98
4.8.2 Paneles en el mercado.....	98
4.8.3 Agrupamiento en bloques.....	98
4.8.4 Conexión de los paneles	100
4.9 SELECCIÓN DEL INVERSIOR	101
4.10 DISEÑO DETALLADO SISTEMA DE CONDUCCION	103
4.10.1 Calculo fuente fotovoltaica	103
4.10.2 Calculo del cable salida del inversor	105
4.11 SELECCIÓN DE PROTECCIONES ELECTRICAS	106
4.11.1 Puesta a tierra	106
4.11.2 Protecciones Corriente directa	106
4.12 TOPOLOGIA DEL SISTEMA	107
4.13 ESTRUCTURA	109
5. DISEÑO DETALLADO DEL SISTEMA FV UTILIZADO EN LA GRANJA BOSQUE	110
5.1 UBICACIÓN.....	110
5.2 GENERALIDADES	111
5.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.....	112
5.4 ESTABLECIMIENTO DE CONSUMO ENERGETICO.....	112
5.4.1 Modelamiento de la temperatura y la humedad reales.....	115

5.4.2 Modelamiento matemático de la temperatura ambiente y la humedad relativa.....	117
5.4.3 Modelamiento velocidad del viento	119
5.5 ESTABLECIMIENTO CONTROL DE VELOCIDAD DE VENTILADORES .	124
5.5.1 Lógica Difusa.....	124
5.5.2 Control Difuso.....	125
5.6 DIMENSIONAMIENTO SISTEMA RECOLECTOR.....	132
5.6.1 Selección tipo de panel	132
5.6.2 Paneles en el mercado.....	132
5.6.3 Dimensionamiento del sistema FV	134
5.6.4 Agrupamiento en bloques.....	137
5.7 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REGULACION.....	138
5.8 DISEÑO SISTEMA DE ALMACENAMIENTO.....	139
5.9 DISEÑO SISTEMA DE INVERSION.....	142
5.10 DISEÑO SISTEMA DE CONDUCCION.....	143
5.10.1 Calculo fuente fotovoltaica	143
5.10.2 Calculo del cable salida del regulador.....	144
5.11 TOPOLOGIA DEL SISTEMA.....	145
5.12 ESTRUCTURA DEL SISTEMA FV	146
6. PRUEBAS.....	148
6.1 DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA.....	148
6.2 OBJETIVOS DE LA PRUEBA	148
6.3 INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES Y DISPOSICIÓN DE LA PRUEBA.....	148
6.3.1 Información del inversor utilizado en la prueba	149

6.3.2 Información de los paneles FV utilizados en la prueba	150
6.4 CONSTRUCCIÓN	151
6.4.1 Diseño y construcción de la estructura de la prueba	151
6.4.2 Montaje de los componentes en la estructura	153
6.5 TOMA DE DATOS	154
6.5.1 Itinerario de la prueba.....	154
6.6 RESULTADOS	159
6.6.1 Graficas y comparación de las diferentes configuraciones de la prueba	161
7. MARCO LEGAL VIGENTE	164
7.1 DISPOSICIONES GENERALES.....	164
7.2 DISPOSICIONES PARA LA GENERACION DE LA ELECTRICIDAD CON FNCE Y LA GESTION EFICIENTE DE LA ENERGIA	165
7.3 INCENTIVOS EN PROYECTOS DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA	166
7.4 DEL DESARROLLO Y PROMOCION DE LAS FNCER	167
8. ANALISIS FINANCIERO.....	168
8.1 GRANJA TERRAZAS	168
8.1.1 Aspectos generales	168
8.1.2 Optimización.....	169
8.1.4 flujo de caja	175
8.2 GRANJA ALPES.....	176
8.2.1 Aspectos Generales	176
8.2.2 Optimización.....	177
8.2.3 Resultados	179

8.2.4 Flujo de caja	181
8.3 GRANJA BOSQUE	183
8.3.1 Aspectos generales	183
9. CONCLUSIONES	190
BIBLIOGRAFIA	193
ANEXOS	194

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espectro de radiación solar	26
Figura 2. Unidad Astronómica [UA].....	27
Figura 3. Declinación Solar	28
Figura 4. Ángulo inclinación horaria.....	29
Figura 5. Ángulo de azimut solar y azimut de pared.....	29
Figura 6. Angulo cenit.....	30
Figura 7. Concentración CO ₂ en la atmosfera	32
Figura 8. Galpones granja Terrazas	34
Figura 9. Esquema de control ambiental en los galpones de la granja Terrazas..	35
Figura 10. Esquema sistema de transporte de alimentos granja Terrazas	36
Figura 11. Sistema de alimentación.....	36
Figura 12. Esquema de control granja Terrazas	37
Figura 13. Controlador Chore-Tronics	37
Figura 14. Esquema sistema de ventilación granja Alpes.....	39
Figura 15. Vista satelital granja Alpes.....	40
Figura 16. Vista Satelital granja Bosque	42
Figura 17. Esquema del sistema de ventilación granja Bosque.....	43
Figura 18. Esquema sistema 'grid tie'	46
Figura 19. Elementos principales instalación fotovoltaica autónoma	46
Figura 20. Paneles solares	48
Figura 21. Efecto fotoeléctrico	49
Figura 22. Curva característica paneles solares	50
Figura 23. Costo de los paneles solares 1977-2014.....	51
Figura 24. Estructura paneles solares	52
Figura 25. Controladores de carga baterías	53
Figura 26. Batería Solar.....	53
Figura 27. Porcentaje de armónicos en la onda.....	56
Figura 28. Inversores de corriente	56
Figura 29. Curva característica inversores conectados a red	57

Figura 30. Radiación sobre una superficie inclinada.....	62
Figura 31. Radiación granja Terrazas.....	63
Figura 32. Perfil de carga criadero N°1 granja Terrazas.....	64
Figura 33. Radiación mensual Barranca.....	66
Figura 34. Diagrama de flujo procedimiento determinación Tr.....	67
Figura 35. Grafica radiación diaria zona granja Terrazas.....	69
Figura 36. Grafica potencia diaria módulo 100w zona granja Terrazas.....	70
Figura 37. Diagrama de flujo optimización basada en costos.....	73
Figura 38. Costo en función de potencia granja Terrazas.....	74
Figura 39. Correspondencia entre generación y requerimientos granja Terrazas	75
Figura 40. Conexión de los arreglos granja Terrazas.....	79
Figura 41. Vista satelital granja Terrazas.....	86
Figura 42. CAD estructura bloques granja Terrazas.....	87
Figura 43. Distribución de bloques granja Terrazas.....	87
Figura 44. Angulo respecto al ecuador granja Alpes.....	88
Figura 45. Radiación diaria granja Alpes.....	90
Figura 46. Perfil de carga galpón N°2 granja Alpes.....	92
Figura 47. Radiación mensual Bucaramanga.....	93
Figura 48. Grafica radiación Lebrija.....	94
Figura 49. Grafica potencia diaria módulo 100 w Lebrija.....	95
Figura 50. Costo en función de potencia instalada granja Alpes.....	96
Figura 51. Correspondencia requerimientos y capacidad de generación granja Alpes.....	97
Figura 52. Conexión de los arreglos solares granja Alpes.....	101
Figura 53. Topología sistemas FV granja Alpes.....	108
Figura 54. CAD estructura soporte bloques granja Alpes.....	109
Figura 55. Distribución de los bloques granja Alpes.....	109
Figura 56. Angulo respecto al ecuador granja Bosque.....	110
Figura 57. Costo de temperatura objetivo equivocadas.....	113
Figura 58. Mecanismos de eliminación de calor en el ave.....	114

Figura 59. Temperatura objetivo	114
Figura 60. Efecto viento sobre Temperatura.....	115
Figura 61. Temperatura ambiente diaria Lebrija	116
Figura 62. Humedad relativa diaria Lebrija	116
Figura 63. Grafica modelamiento matemático temperatura ambiente granja Bosque.....	118
Figura 64. Grafica modelamiento matemático humedad relativa granja Bosque	119
Figura 65. Perfil de velocidad del aire diaria	122
Figura 66. Interfaz programa Velocidad y potencia requerida	123
Figura 67. Lógica difusa y logia clásica	124
Figura 68. Funciones de pertenencia.....	125
Figura 69. Controlador Fuzzy velocidad	126
Figura 70. Funciones de pertenencia temperatura ambiente.....	127
Figura 71. Funciones de pertenencia humedad relativa	127
Figura 72. Funciones de pertenencia temperatura efectiva	128
Figura 73. Funciones de pertenencia velocidad del viento	128
Figura 74. Reglas del controlador Fuzzy	129
Figura 75. Simulación controlador Fuzzy	129
Figura 76. Bloque entradas simulación.....	130
Figura 77. Gráfica velocidad simulación control.....	130
Figura 78. Bloque Potencia de ventiladores	131
Figura 79. Gráfica potencia simulación control	131
Figura 80. Gráfica frecuencia (izquierda) y gráfica rpm (derecha) simulación control.....	132
Figura 81. Interfaz programa dimensionamiento del sistema FV autónomo	135
Figura 82. Resultado programa dimensionamiento del sistema FV autónomo ...	136
Figura 83. Energía a suministrar por baterías.....	140
Figura 84. Curvas ciclos de vida y porcentaje de descarga de batería	141
Figura 85. Programa cálculo de cantidad de baterías.....	141
Figura 86. Topología sistema FV granja Bosque	145

Figura 87. CAD estructura soporte granja Bosque	147
Figura 88. Distribución de bloques en granja Bosque.....	147
Figura 89. Inversor Axpert Mks	149
Figura 90. Partes principales inversor Axpert	149
Figura 91. Display LCD Inversor Axpert.....	150
Figura 92. Esquema de conexión inversor Axpert	150
Figura 93. CAD Baco de la prueba FV.....	152
Figura 94. Estructura del Banco de prueba	152
Figura 95. Cargas a utilizar en la prueba FV	153
Figura 96. Banco de pruebas FV	153
Figura 97. Itinerario de la prueba	155
Figura 98. Eficiencias del sistema.....	157
Figura 99. Interfaz software Inversor Axpert	158
Figura 100. Eficiencias del sistema.....	158
Figura 101. Voltaje DC de los paneles FV	161
Figura 102. Corriente de paneles FV	162
Figura 103. Potencia Instantánea	162
Figura 104. Eficiencia	163
Figura 105. Tiempo de recuperación de la inversión granja Terrazas	172
Figura 106. Optimización de potencia basado en costos granja Terrazas.....	173
Figura 107. Potencia real a instalar granja Terrazas	173
Figura 108. Tiempo de retorno de la inversión.....	174
Figura 109. Inversión inicial sistema FV granja Terrazas	174
Figura 110. Flujo de caja granja Terrazas	175
Figura 111. Costo total en función de la potencia granja Alpes	180
Figura 112. Tiempo de retorno de la inversion granja Alpes.....	181
Figura 113. Flujo de caja granja Alpes.....	182
Figura 114. Flujo de caja granja Bosque	188

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Componentes sistema de control ambiental granja Terrazas	34
Tabla 2. Componentes sistema de transporte de alimentos granja Terrazas	35
Tabla 3. Componentes sistemas granja Alpes.....	38
Tabla 4. Equipos a instalar granja Alpes.....	41
Tabla 5. Requerimientos energéticos granja Terrazas y Alpes.....	44
Tabla 6. Comparación tipos de sistemas FV	48
Tabla 7. Eficiencia diferentes tecnologías módulos solares.....	50
Tabla 8. Características eléctricas de los módulos policristalinos.....	76
Tabla 9. Características físicas módulos policristalinos 'grid tie'	77
Tabla 10. Selección de panel y bloques granja Terrazas	78
Tabla 11. Inversores grid tie granja Terrazas	80
Tabla 12. Módulos policristalinos granja Alpes	98
Tabla 13. Dimensionamiento del sistema FV granja Alpes.....	99
Tabla 14. Inversores grid tie granja Alpes.....	102
Tabla 15. Temperatura objetivo a diferentes condiciones.....	120
Tabla 16. Características ventiladores Breezer Katana	122
Tabla 17. Características eléctricas módulos policristalinos 'off grid'	133
Tabla 18. Características físicas módulos policristalinos 'off grid'	133
Tabla 19. Características técnicas regulador Victron Energy	139
Tabla 20. Características inversores 'off grid'	142
Tabla 21. Características eléctricas paneles Canadian Solar 255w	151
Tabla 22. Descripción de las configuraciones de la prueba.....	156
Tabla 23. Caracterización arranque de los ventiladores	159
Tabla 24. Datos promedios obtenidos de la prueba.....	160
Tabla 25. Disminución de emisiones de CO2	168
Tabla 26. Determinación del periodo de retorno granja Terrazas	176
Tabla 27. Valor presente neto granja Alpes.....	182
Tabla 28. Costo total granja Bosque.....	185

Tabla 29. Egresos granja Bosque.....	186
Tabla 30. Ingresos granja Bosque	188
Tabla 31. Valor presente neto granja Bosque.....	189

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. PLANOS DE LA ESTRUCTURA DE LA PRUEBA FV	194
ANEXO B. DETERMINACION DEL MEJOR ANGULO BETA	197
ANEXO C. HOJA DE DATOS DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS	199
ANEXO D. HOJA DE DATOS DE LOS INVERSORES Y REGULADOR	207
ANEXO E. COTIZACIONES	213
ANEXO F. COSTO NIVELADO DE LA ENERGIA	218
ANEXO G. DATOS DE LA PRUEBA	221
ANEXO H. HOJA DE DATOS DEL INVERSOR AXPERT MKS	222

RESUMEN

TITULO:

DISEÑO, ANALISIS, CONTRUCCION Y EVALUACION FINANCIERA DE UN SISTEMA DE GENERACION DE ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA UN GALPON DE LA EMPRESA AVIDESA MACPOLLO SEDE BARANCABERMEJA.*

AUTORES:

Cesar David Navas Prada

Andrés Fernando Ortiz Prada**

PALABRAS CLAVES:

Energía alternativa, sistema fotovoltaico, lógica difusa (FUZZY), grid-tie, stand alone.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto es diseñar sistemas de generación de energía fotovoltaica para 3 diferentes granjas de la empresa AVIDESA MACPOLLO S.A., cada una de estas granjas cuenta con una serie de criaderos cuyo objetivo es maximizar el potencial de crecimiento de las aves.

Se diseñó un sistema de generación de energía fotovoltaico tipo grid-tie para las granjas Terrazas y Alpes que cumpla los requerimientos de los criaderos generando el mínimo costo de operación. Dado que estas granjas cuentan con infraestructura eléctrica adecuada para el uso de sistemas interconectados a la red.

En la granja el Bosque, se requería la implementación de un sistema de ventilación para que las aves estén dentro de su zona de confort térmico, se diseñó un sistema de control basado en lógica difusa para regular la velocidad de giro de los ventiladores axiales utilizados y así variar la velocidad del aire que incide sobre la parvada, posteriormente se diseñó un sistema de energía fotovoltaica tipo stand alone, debido a la falta de infraestructura eléctrica.

Gracias a la implementación de este proyecto de energía alternativa, se reduce la energía consumida de la red pública, además del beneficio ambiental en la reducción del dióxido de carbono desechado a la atmosfera si la energía se produjera en centrales termoeléctricas.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenieras Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director de proyecto Ing. Omar Armando Gélvez Arocha

ABSTRACT

TITLE:

DESIGN, ANALYSIS, BUILDING AND FINANCIAL EVALUATION OF A PHOTOVOLTAIC ENERGY GENERATION SYSTEM FOR A HATCHERY OF THE COMPANY AVIDESA MACPOLLO BARRANCABERMEJA*

AUTHORS:

Cesar David Navas Prada

Andrés Fernando Ortiz Prada**

KEYWORDS:

Alternative Energy, photovoltaic system, diffuse logic, grid-tie, stand-alone.

DESCRIPTION:

The objective of this project is the photovoltaic energy generation system design for three different farms of the company AVIDESA MACPOLLO S.A., each one of this farms has a number of hatcheries whose objective is maximize the growth potential of the birds.

A photovoltaic energy generation system kind 'grid-tie' was designed for the farms Terrazas y Alpes that meets the requeriments of hatcheries generating a minimum operation cost, given that this farms have adequate electricity infrastructure for the use of interconnected network systems.

At the farm El Bosque, was required the implementation of a ventilation system for that birds are in their thermical comfort zone, a fuzzy logic based control was designed for regular the twist speed of the axial fans used and thereby vary the air velocity impinging on the flock, after a photovoltaic energy generation system kind 'stand-lone' was designed, given the lack of electricity infraestructure.

Thanks to the implementation of this alternative energy project, it is reduced the energy consumed of the public red, plus the enviromental benefit in the reduction of carbón dioxide discarded to the atmosphere if the energy was produced in thermoelectrical centrals.

*Thesis

**Faculty of Physic-Mechanics Engineering School of Mechanical Engineering. Project director Ing. Omar Armando Gélvez Arocha

INTRODUCCION

En las dos últimas décadas se ha empezado a gestar una revolución energética en el mundo, como respuesta a los problemas medioambientales que se agudizan. La conciencia verde y el impacto ambiental son factores que tienen un valor importante a la hora de formular y desarrollar proyectos ingenieriles, reduciendo y optimizando el consumo de energía obtenida a partir de combustibles fósiles; parte de esta revolución consiste en utilizar fuentes de energías alternativas limpias, como la solar (térmica y fotovoltaica), eólica y undimotriz (energía motriz obtenida del movimiento de las olas).

La energía eléctrica es la forma de energía más utilizada actualmente, ya que su transporte es relativamente sencillo, su comercialización y control son muy eficientes.

A partir de estas ideas la energía solar fotovoltaica es una solución muy factible, ya que esta consiste en transformar directamente la energía del sol en energía eléctrica lista para su consumo.

En la escuela de ingeniería mecánica de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, se promueve la búsqueda y utilización de nuevas fuentes energéticas limpias, y en este campo es donde se centra este trabajo de grado titulado: **“DISEÑO, ANALISIS, CONSTRUCCION Y EVALUACION FINANCIERA DE UN SISTEMA DE GENERACION DE ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA TRES DIFERENTES CRIADEROS DE LA EMPRESA AVIDESA MACPOLLO”**

La necesidad de **AVIDESA MACPOLLO S.A.** de ser empresa líder en el país conduce a plantear un sistema de energía alternativa, para reducir gastos de energía eléctrica en los galpones ubicados en los municipios de Lebrija y Barrancabermeja. Este proyecto surge este para dar una visión clara y a futuro a la empresa con respecto a este tipo de energías, además de la evaluación de costos y viabilidad para de implementación del sistema FV para tres granjas específicas dentro de la empresa.

El **Capítulo 1** presenta el planteamiento del problema, los requerimientos de las granjas.

En el **capítulo 2** se selecciona el sistema de energía alternativa, muestra una descripción de cada subsistema que compone un sistema de generación FV, a partir de la norma NTC 5549, desde los paneles solares para la recolección de energía hasta la protección eléctrica necesaria para cualquier tipo de instalación.

En los **capítulos 3,4 y 5** se examinarán los diferentes requerimientos de las tres granjas que componen el proyecto, realizando el diseño detallado de cada uno de los subsistemas que los componen, en cada caso existen variables importantes que dan una forma diferente de afrontar el problema.

El **capítulo 6**, presenta los resultados de las pruebas realizadas del funcionamiento de sistemas de generación FV conectados a red trabajando con cargas inductivas, motores CA.

El **capítulo 7** menciona los aspectos legales vigentes, que amparan y favorecen la implementación de sistemas de energías renovables.

En el **capítulo 8** se tratan los aspectos financieros del proyecto en cada caso, incluyendo construcción, materiales, mano de obra y costo de mantenimiento y operación.

Por ultimo conclusiones en el **capítulo 9** donde compararemos lo realizado en el proyecto con los objetivos planteados y lo más importante presentar un balance tanto económico como estructural y funcional a la empresa AVIDESA MACPOLLO para la implementación de este sistema.

MARCO TEORICO

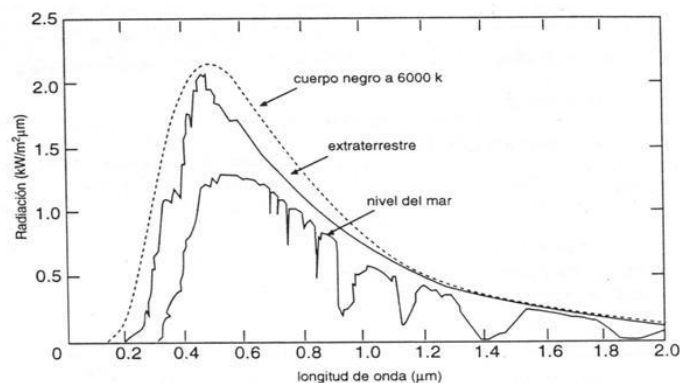
ENERGIA SOLAR

El sol es la fuente que abastece toda la energía en la Tierra, es la causa de los flujos atmosféricos, y del calor que permite la vida, las plantas absorben directamente la energía solar y la transforman mediante la fotosíntesis.

La energía del sol se libera por medio de fusiones termonucleares, en la cual el Hidrogeno (H) se transforma en Helio (He), cada segundo aproximadamente 565 millones de toneladas de H se transforman en 560 millones de toneladas de He, lo que significa que unos 5 millones de toneladas de materia se convierten en energía. La ecuación planteada por Albert Einstein en su teoría de relatividad especial, en la cual relaciona la masa y la energía, $E = mc^2$ donde C es la velocidad de la luz, permite calcular la potencia emitida por el sol que es aproximadamente $3.8 * 10^{26}$ [W]

La energía solar llega a la tierra en forma de ondas electromagnéticas de diferente longitud de onda λ . Cada longitud de onda tiene una potencia de radiación característica, al relacionar radiación versus longitud de onda se origina el espectro de radiación solar.

Figura 1. Espectro de radiación solar



Fuente: www.bloqdequk.com

El conocimiento de este espectro es fundamental porque permite seleccionar las ondas con λ adecuada en las cuales se asegure la potencia máxima, y escoger los materiales adecuados para la construcción de los elementos de captación energética.

La intensidad de radiación solar que llega a la atmosfera terrestre se determina a partir de la generación de una esfera hipotética de radio igual a la distancia Sol-Tierra ($d = 1,496 * 10^{11}$ [m], llamada unidad astronómica [UA]) y se asume que la potencia emitida por el sol se distribuye uniformemente sobre toda la superficie de esta esfera.

Figura 2. Unidad Astronómica [UA]



La superficie de la esfera hipotética $S = 4\pi d^2$, donde $d = 1,496 * 10^{11}$ [m]

La potencia emitida por el sol $P_{sol} = 3,8 * 10^{26}$ [W]

La ecuación que determina la intensidad de radiación solar es:

$$I = \frac{P_{sol}}{S} \left[\frac{W}{m^2} \right] \cong \frac{3,8 * 10^{26}}{4\pi(1,496 * 10^{11})^2}$$

Tomando valores exactos de la potencia emitida por el sol y la distancia existente entre el sol y la tierra se obtiene el valor de la radiación solar extraterrestre o constante solar.

$$I = 1353 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

En la superficie terrestre la intensidad de radiación es menor que la constante solar esto se debe a varios factores como:

- La atmósfera del planeta, que absorbe parte de esta energía
- La dispersión y reflexión de los rayos solares

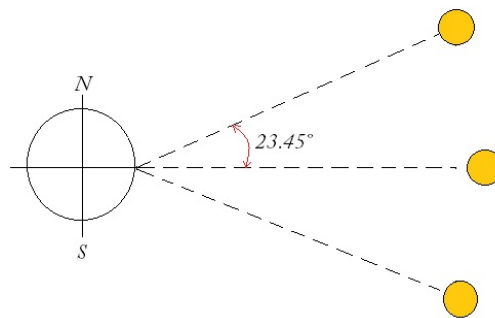
La intensidad solar en la superficie de la tierra es una parte de la intensidad solar extraterrestre. Esta varía de un lugar a otro, de la época del año, la hora del día, y los gases presentes en la atmosfera de la zona.

La radiación solar que incide sobre una superficie está ligado a su ubicación y una serie de ángulos dependientes del movimiento terrestre. La tierra está sometida a cuatro movimientos principales, rotación, traslación, precesión, nutación.

Los ángulos que determinan la intensidad solar sobre una superficie son:

- Declinación (δ): es el ángulo formado entre el plano del ecuador y la posición solar a medio día, varia debido a la traslación de la tierra, alcanzando un máximo de 23.45° el 21 de julio y un mínimo de -23.45° el 21 de diciembre, ocasionando los solsticios de verano e invierno respectivamente en el hemisferio norte. Este ángulo varía durante todo el año.

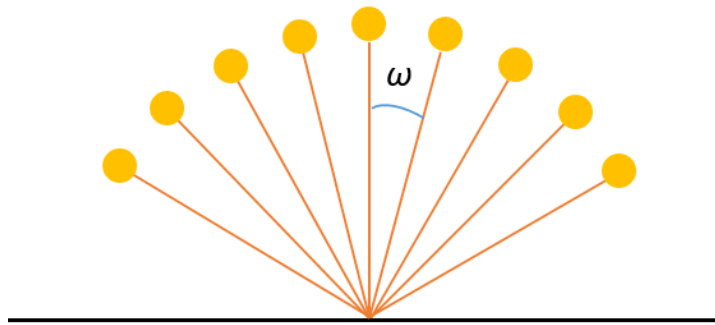
Figura 3. Declinación Solar



Fuente: Autores

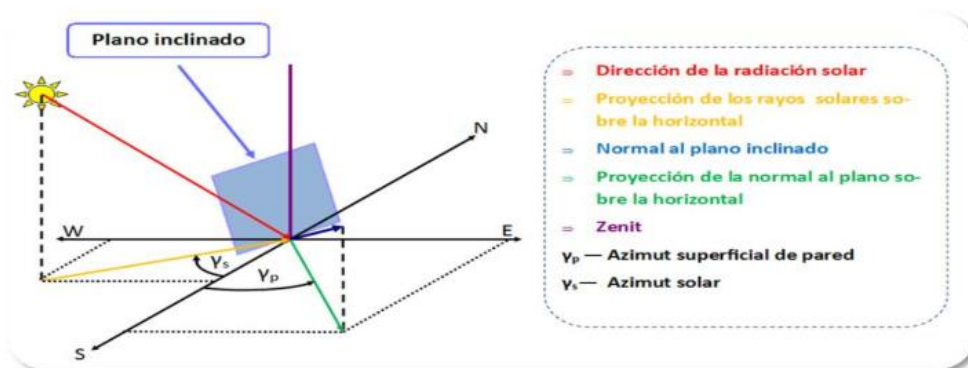
- Inclinación horaria (ω): Este ángulo mide el desplazamiento del sol respecto al medio día solar. Depende del movimiento de rotación, toma valores negativos en la mañana y positivos durante la tarde, cada hora equivale a 15° .

Figura 4. Ángulo inclinación horaria



- Latitud (ϕ): ángulo formado entre el plano ecuatorial y la ubicación del punto de interés sobre la superficie de la tierra. Si el punto o sitio de estudio está ubicado por encima del ecuador se toma latitud norte (+) de lo contrario es latitud sur (-). Se mide en grados sexagesimales.
- Azimut solar (γ_s): ángulo formado entre la línea norte-sur y la proyección horizontal de la dirección del rayo solar.
- Azimut de pared (γ_p): ángulo formado entre la línea norte-sur y la proyección horizontal de la normal a la superficie colectora.

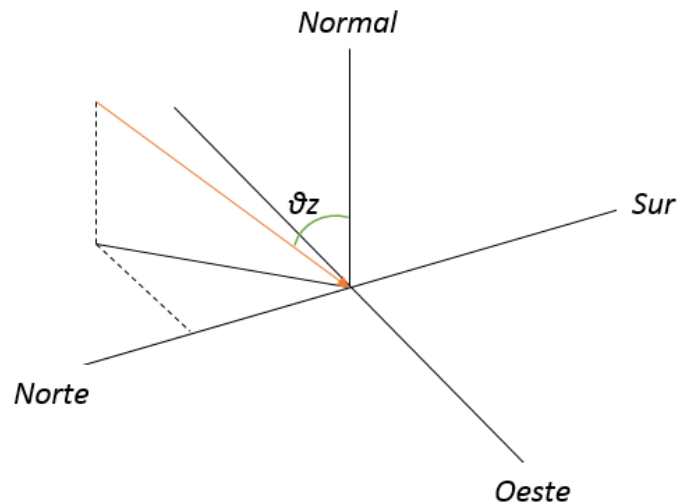
Figura 5. Ángulo de azimut solar y azimut de pared



Fuente: JAIMES, Nelson y RIVERO, Sergio. Diseño y construcción de un colector solar de tubos al vacío

- Inclinación superficial (β): ángulo formado entre la superficie horizontal y la superficie colectora.
- Angulo cenit (θ_z): formado entre la línea cenit y la dirección de la radiación solar.

Figura 6. Angulo cenit



Se puede determinar con la siguiente ecuación

$$\cos\theta_z = \sin\delta * \sin\varphi + \cos\delta * \cos\varphi * \cos\omega$$

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica consiste en la generación de electricidad directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor llamado célula fotovoltaica.

Los materiales semiconductores poseen electrones débilmente ligados ocupando una banda de energía llamada “banda de valencia”. Cuando se aplica una energía a un electrón de valencia el enlace se rompe y el electrón pasa a la “banda de conducción”. Estos electrones pueden ser transportados a un circuito externo realizando un trabajo útil, perdiendo así su energía y regresando por otro contacto a la banda de valencia con la energía inicial.

Las células solares, se agrupan y conectan en elementos llamados paneles fotovoltaicos, que es el producto que se vende al usuario. Producen corriente continua, que por conveniencia se transforma en corriente alterna mediante un dispositivo llamado inversor.

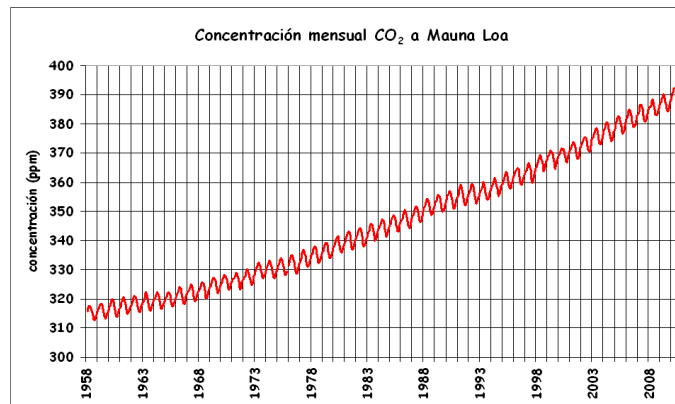
Las principales características de las instalaciones fotovoltaicas son:

- Vida útil elevada, se estima en 25 años para los módulos solares
- Bajo nivel de mantenimiento
- Contaminación ambiental nula, cero emisiones de gases de invernadero sin tener en cuenta la manufactura de los componentes
- Simplicidad y facilidad de instalación
- Al instalarse por módulos permite ampliación sin afectar los componentes previos instalados

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El calentamiento del planeta es un problema real, causado por continuas emisiones de gases de invernadero a la atmósfera, siendo el dióxido de carbono (CO_2) el gas más abundante; éste tiene dos orígenes, naturales y antropogénicos, la segunda causa ha presentado mayor crecimiento en las últimas décadas. El aumento de CO_2 es producido por la quema de combustibles fósiles como el carbón o petróleo, plantas generadoras de electricidad, ganadería, deforestación, entre otras fuentes.

Figura 7. Concentración CO_2 en la atmosfera



La preocupación por el cambio climático llevó a que países miembros de las naciones unidas realizaran durante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático (CMNUCC) el protocolo de Kioto que es un acuerdo que tiene por objetivo reducir las emisiones de gases que causan el efecto invernadero.

La necesidad de utilizar energías renovables y limpias en la industria colombiana, para cumplir los requerimientos ambientales, ha llevado a éstas al desarrollo de sistemas de energías limpias, capaces de suplir una parte específica de trabajo en sus procesos, como es el caso de la empresa santandereana AVIDESA MACPOLLO S.A., que junto a su equipo de ingenieros se han esforzado por mejorar la eficiencia de sus sistemas en el ámbito energético.

Desde el año 1969 Santander ha contado con una de las empresas de mayor aporte económico y social en Colombia, AVIDESA MAC POLLO S.A., que ha aportado

miles de empleos al departamento y se ha esforzado por mejorar continuamente sus procesos mediante la investigación e implementación de tecnologías nuevas que mejoran la eficiencia de sus procesos.

AVIDESA MAC POLLO S.A. cuenta con una serie de granjas dedicadas a la crianza y levante de pollo, este proceso dura 7 semanas (49 días). El alcance de este proyecto se enfoca en tres granjas ubicadas en los municipios de Lebrija y Barrancabermeja:

- Granja Terrazas
- Granja Alpes
- Granja Bosque

El objetivo de los criaderos es potenciar el crecimiento de las aves, partiendo de dos factores

1. Regulación de condiciones ambientales: Las aves requieren temperatura y humedad adecuada para optimizar su desarrollo y crecimiento, la regulación de estas condiciones se realiza mediante sistemas de ventilación y en algunas granjas como Terrazas también hay instalados sistemas de humidificación.
2. Alimentación: El alimento debe ser suministrado a las aves de manera continua, la granja Terrazas tiene un sistema automático, mientras que en las granjas Alpes y Bosque esta tarea la realizan los operarios.

El cumplimiento de estos factores implica un consumo energético, que se muestra a continuación en cada una de las granjas.

1.1 GRANJA TERRAZAS

La granja **Terrazas**, ubicada en el sector “meseta de san Rafael” del municipio de Barrancabermeja, cuenta con seis galpones tecnificados. Cada uno de estos criaderos tiene instalados sistemas automáticos de transporte de alimentos y regulación de condiciones ambientales.

Figura 8. Galpones granja Terrazas



Las seis naves de esta granja son exactamente iguales, por lo tanto este proyecto toma un solo criadero. Se trabaja con el galpón N°1 que presenta los siguientes sistemas:

- Sistema de control ambiental.
- Sistema de transporte de alimentos.

El sistema de control ambiental requiere de los equipos que se muestran en la siguiente tabla para cumplir su función.

Tabla 1. Componentes sistema de control ambiental granja Terrazas

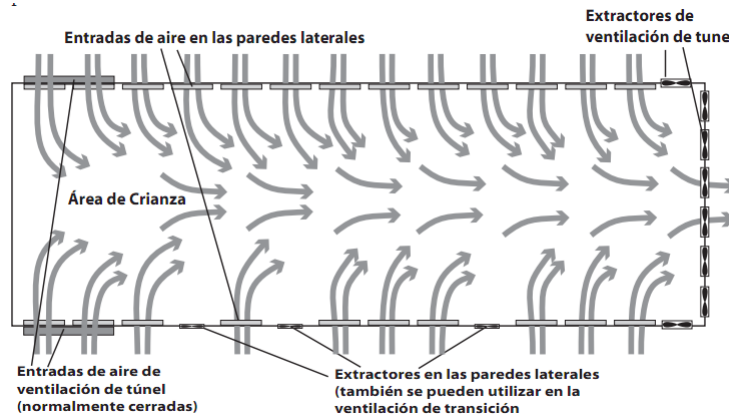
GRANJA TERRAZAS					
Sistema	Subsistema	Equipo	Cantidad	Potencia [HP]	Potencia total [HP]
Control ambiental	Ventilación	Ventilador Extractor	10	1,5	15
	Humidificación	Bomba Centrifuga	2	0,33	0,67

El sistema de control ambiental regula la temperatura y humedad dentro de la nave, los ventiladores extractores fuerzan la entrada de aire fresco desde el exterior, desplazando el aire que se encuentra dentro del criadero. El hecho de tener aire en movimiento disminuye la temperatura efectiva que sienten las aves. En caso que la temperatura ambiente sea muy alta se enfría el aire pasándolo a través de cortinas

húmedas, que son paredes construidas en forma de panal por las cuales circula agua.

En la figura 9 se observa el esquema del sistema de control ambiental.

Figura 9. Esquema de control ambiental en los galpones de la granja Terrazas



Fuente: AVIAGEN. Manejo del ambiente en el galpón del pollo de engorde

El sistema de transporte de alimentos, como su nombre indica es el encargado de mantener un suministro continuo de comida a las aves, su funcionamiento requiere de los equipos que se muestran en la siguiente tabla:

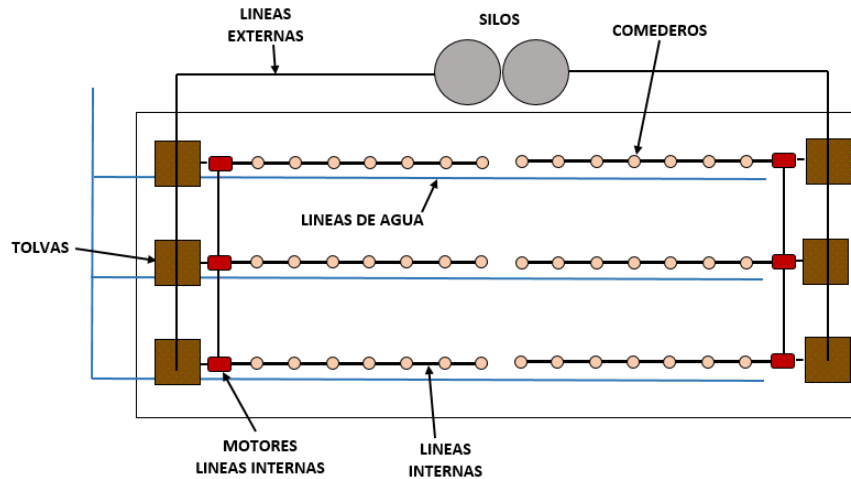
Tabla 2. Componentes sistema de transporte de alimentos granja Terrazas

GRANJA TERRAZAS					
Sistema	Subsistema	Equipo	Cantidad	Potencia [HP]	Potencia total [HP]
Transporte alimentos	Transporte externo	motor transportador tornillo sin fin	2	0,75	1,5
	Transporte interno	motor trasportador tornillo sin fin	6	0,5	3

El sistema de transporte de alimento, se encarga de hacer llegar alimento a los comederos de las aves desde el silo de almacenamiento, este proceso se realiza

en dos etapas. Primero se transporta desde los silos ubicados al exterior del galpón hasta las tolvas de distribución dentro de la nave. Una vez el alimento se encuentra en la tolva, se transporta mediante tornillos sin fin hasta los comederos.

Figura 10. Esquema sistema de transporte de alimentos granja Terrazas



Fuente: Autores

Figura 11. Sistema de alimentación



Fuente: Autores

Todos los sistemas instalados en este galpón están controlados mediante un controlador central marca Chore-Tronics

Figura 12. Esquema de control granja Terrazas

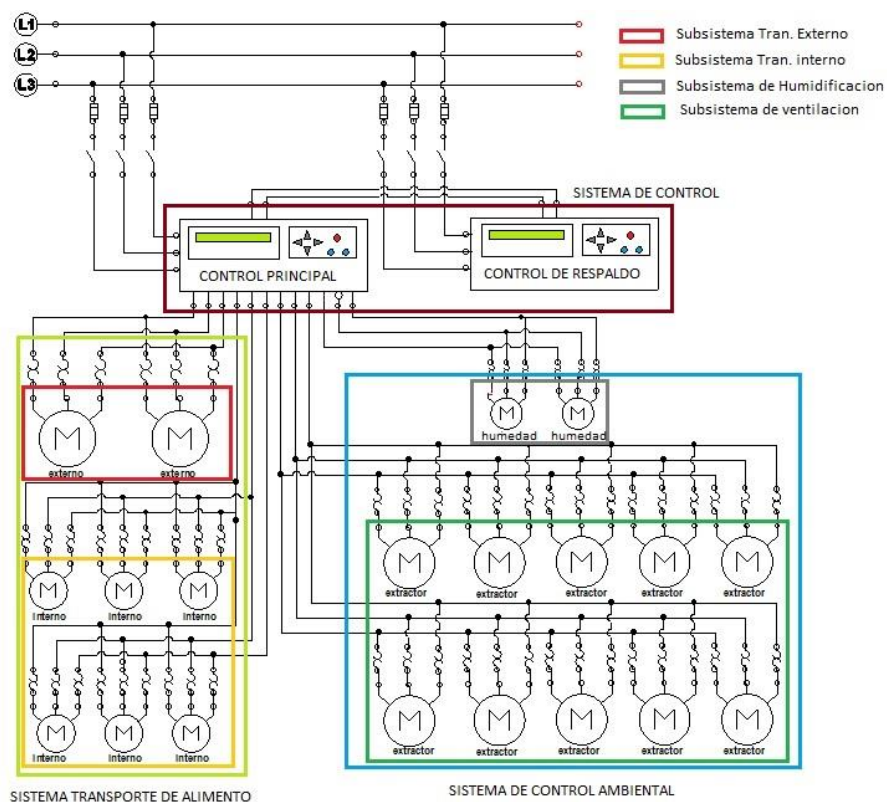


Figura 13. Controlador Chore-Tronics



Fuente: Autores

El intenso calor en esa zona del país y el agrupamiento de las aves en los galpones puede generar la muerte de cientos y hasta miles de aves, ocasionando grandes pérdidas monetarias para la empresa.

En este escenario se analizará la viabilidad de implementar un sistema fotovoltaico conectado a la red, y la forma de adaptarlo al sistema ya controlado, además del análisis financiero del proyecto teniendo como base la inversión inicial, gastos de mantenimiento y ahorro a partir de la energía fotovoltaica.

1.2 GRANJA ALPES

La granja **Alpes**, ubicada en la vereda Cantabria del municipio de Lebrija, cuenta con cuatro criaderos semitecnificados, a diferencia de las granjas tecnificadas, en las granjas semitecnificadas los sistemas presentes no son automáticos. Cada uno de los cuatro galpones tiene instalados los siguientes sistemas:

- Sistema de ventilación
- Sistema de transporte de agua

La correcta operación de cada uno de estos sistemas, requiere de los equipos mostrados en la siguiente tabla:

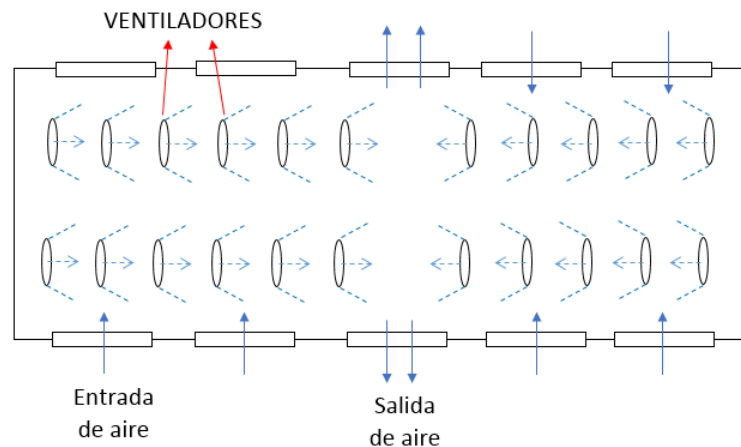
Tabla 3. Componentes sistemas granja Alpes

GRANJA ALPES					
Sistema	Equipo		Cantidad	Potencia [HP]	Potencia total [HP]
Sistema de ventilación	Ventilador		22	0,5	11
Sistema de transporte de agua	Bomba centrífuga	Tanque purificación	1	5	5
		Tanque distribución	1	2	2

El sistema de ventilación, mantiene el aire al interior del galpón en movimiento, creando un efecto de enfriamiento al eliminar el calor generado por las aves, cumple otras funciones auxiliares como retirar el exceso de amoníaco y humedad generado por la parvada.

Los ventiladores marca Breezer Katana están distribuidos en dos filas a lo largo de la instalación, separados 14 [m] uno de otro, de esta manera se asegura ventilación uniforme en todo el galpón.

Figura 14. Esquema sistema de ventilación granja Alpes



Fuente: Autores

El sistema de transporte de agua, bombea el fluido desde un lago ubicado al extremo de la finca hasta un tanque de purificación con capacidad de 44.8 m^3 , esta labor la realiza la bomba de 5 [HP], marca Hydral; una vez se el agua es apta para el consumo, se transporta al siguiente tanque en donde se almacena y distribuye a los criaderos mediante gravedad.

El tanque de distribución tiene una capacidad de 46.4 m^3 , el fluido se transporta del reservorio de purificación al de almacenamiento mediante una bomba de 2 [HP], marca Nowa.

Los sistemas mencionados se activan manualmente, no se cuenta con ningún equipo que regule o controle la operación de estos equipos.

La ubicación exacta del galpón N°1 es 7°07'52.07" N, 73°13'51.89" O, con una altura de 1005 msnm. Como se observa en la figura 13 el galpón no se encuentra perfectamente hacia el sur.

Figura 15. Vista satelital granja Alpes



Fuente: Google Earth

De forma similar al procedimiento a realizar en la granja Terrazas, se analizará la viabilidad de implementar el sistema 'grid tie' a partir del análisis financiero basado en la inversión inicial contra la rentabilidad neta del sistema durante un periodo de tiempo.

1.3 GRANJA BOSQUE

La granja **Bosque**, ubicada en la vereda Cantabria, del municipio de Lebrija, tiene cuatro criaderos básicos, sin ningún sistema de ventilación ni transporte de alimentos.

El cumplimiento de los objetivos de los criaderos requiere regular las condiciones ambientales, dadas las condiciones meteorológicas de la zona y que la empresa

cuenta con ventiladores marca Breezer Katana almacenados en bodega, se implementará un sistema de ventilación para los criaderos de la granja.

Este proyecto se centrará en el galpón N°2, que es de mayor tamaño, y por tanto el crítico. La temperatura media que siente un ave dentro de este galpón es de 33°C, los pollos sufren de bochorno aumentando el consumo de agua y disminuyendo la cantidad de alimento que ingieren, el porcentaje de aprovechamiento del alimento es bajo por tanto las aves no alcanzan todo su potencial de comercialización. Otra consecuencia de la elevada temperatura es la tasa de mortalidad que es mayor comparado con otras granjas que ya cuentan con sistemas de ventilación o sistemas de control ambiental.

Alcanzar el potencial ideal de las aves se logra mediante un sistema de ventilación que cuenta con los equipos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Equipos a instalar granja Alpes

GRANJA BOSQUE				
Sistema	Equipo	Cantidad	Potencia [HP]	Potencia total [HP]
Sistema de ventilación	Ventilador	20	0,5	10

Las coordenadas del galpón N°2 son 7°07'45.40" N, 73°13'14.36" O, con una altura de 1026 msnm.

Figura 16. Vista Satelital granja Bosque



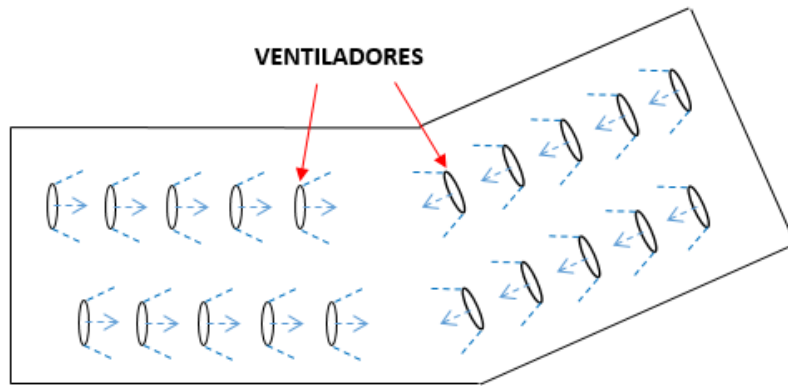
En este escenario el suministro de agua a los criaderos se realiza mediante gravedad, para ello se dispone un tanque con capacidad de $135,8 \text{ m}^3$, con dos cámaras la primera de purificación y la segunda de almacenamiento y distribución.

El agua proviene de un lago que se encuentra en los límites de la finca, a una altura de 995 msnm, desde ahí es transportada hasta el tanque que se encuentra a una distancia horizontal de 208 m y una altura de 1045 msnm, esta labor es realizada mediante una bomba centrífuga de 4 HP marca Sew, ubicada junto al lago.

En este escenario existe una condición especial, la granja no cuenta con transformador propio, es decir se utiliza el de la red eléctrica pública, que tiene una capacidad determinada, y suministra energía a las viviendas y fincas de la zona. Al instalar ventiladores para disminuir la temperatura dentro del galpón se incrementa considerablemente el consumo de energía, llegando al punto de absorber toda la corriente suministrada por el transformador, por lo tanto el sistema de ventilación que se quiere implementar debe tener una fuente de suministro energético alternativo..

Los ventiladores se distribuirán en dos filas a lo largo del galpón, la estructura de ventilación se muestra en la siguiente figura.

Figura 17. Esquema del sistema de ventilación granja Bosque



2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ENERGIA ALTERNATIVA

Buscando una reducción en el consumo energético de la red y mejora de las granjas básicas AVIDESA MACPOLLO S.A. ha solicitado a la Universidad Industrial de Santander, específicamente a la Escuela de Ingeniería Mecánica el diseño y análisis de un sistema de generación de energía que sea ecológico sostenible y económicamente viable.

Como se mencionó en el capítulo anterior, este proyecto está enfocado en tres granjas dedicadas al levante de pollo. Cada granja tiene una serie de criaderos cuya función es maximizar el potencial de crecimiento de las aves partiendo de dos factores: condiciones ambientales, alimentación adecuada.

Cumplir la función de los criaderos implica un consumo energético. En las granjas Terrazas y Alpes la energía que se consume es suministrada por la red pública a través de transformadores adecuados, en la tabla 5 se observa el consumo energético mensual de cada una de las granjas, es decir teniendo en cuenta todos los criaderos de cada una de las granjas.

Tabla 5. Requerimientos energéticos granja Terrazas y Alpes

	Granja Terrazas	Granja Alpes
Sistemas instalados	Control ambiental	Ventilación
	Transporte de alimentos	Transporte de agua
Potencia instalada por criadero	20,17 [Hp]	18 [Hp]
Suministro de energía	ESSA	ESSA
Transformador propio	si	si
Energía requerida mensual en la granja	44974 [kW-h/mes]	1542 [kW-h/mes]
Costo energía mensual	\$16.964.233,00	\$688.023,00

La otra granja en la cual se enfoca el proyecto es una granja básica ubicada en el municipio de Lebrija y presenta una condición especial. La Granja Bosque no cuenta con sistema de ventilación ni transporte de alimento. Se requiere implementar un sistema de ventilación que consume una potencia pico de 10 [Hp]. Esta granja no cuenta con infraestructura eléctrica.

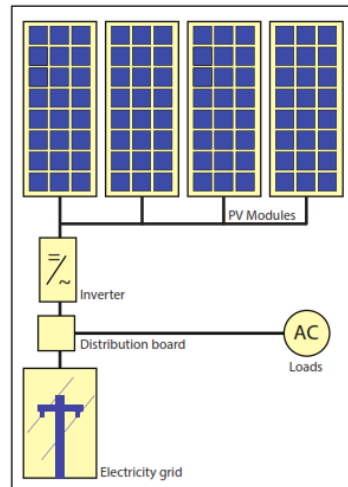
En los lugares donde están ubicadas las granjas la velocidad del viento es baja, limitando la utilización de turbinas eólicas, la biomasa disponible en las granjas no es suficiente para generar la cantidad de energía requerida, por otro lado la radiación promedio anual en el Magdalena medio es 5.0 [kW/m²] y en la zona de Lebrija es 4.5 [kW/m²]. Los factores mencionados son decisivos para decidir instalar un sistema de generación de energía fotovoltaica, que adicionalmente es fácil de transportar e instalar y su mantenimiento es mínimo.

2.1 GENERALIDADES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Los sistemas fotovoltaicos se dividen en dos:

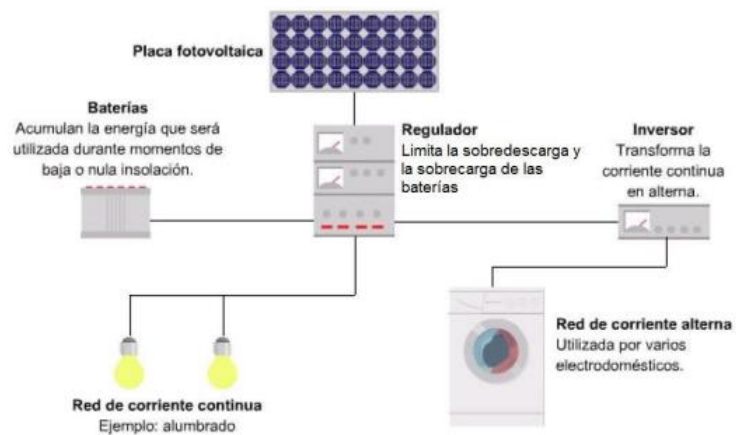
- Sistema conectado a red o 'grid tie': sistemas compuestos por un generador fotovoltaico que se encuentra conectado a la red eléctrica convencional a través de un inversor, eliminando la necesidad de un sistema de acumulación de energía. El sistema inyecta energía a la red cuando la producción supera el consumo local, y extrae energía de ella en caso contrario.

Figura 18. Esquema sistema 'grid tie'



- Sistemas autónomos: su funcionamiento es independiente de la red eléctrica, la energía generada mediante los paneles fotovoltaicos es almacenada en baterías para ser usada durante la noche o en momentos que la carga supere la generación. Son usados principalmente en zonas rurales apartadas, o en sistemas de telecomunicaciones apartados de la red eléctrica.

Figura 19. Elementos principales instalación fotovoltaica autónoma



Fuente: RABOSO, Antonio. Diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar una potabilizadora desalinizadora autónoma.

Los sistemas fotovoltaicos en general constan de los siguientes subsistemas

- **Subsistema recolector de energía:** un conjunto de módulos solares ubicados en el techo de los galpones, capaces de transformar la energía solar en energía eléctrica. Los paneles se conectan de manera que la potencia generada cumpla con la demanda de la instalación y las características eléctricas requeridas por los equipos.
- **Subsistema de Control:** consiste en un regulador de corriente continua ubicado entre el subsistema de generación y el subsistema de almacenamiento, controla la carga y descarga de las baterías, alargando la vida útil de las mismas, adicionalmente permite visualizar las condiciones de funcionamiento del sistema fotovoltaico.
Un medidor de corriente alterna que se instala a la salida del inversor y permite visualizar la energía que estamos entregando a la red o a las cargas propias del galpón.
- **Subsistema de inversión de corriente:** consta de un inversor de corriente que como su nombre indica convierte corriente continua a corriente alterna, dependiendo del tipo de sistema que se instale se trabaja el inversor adecuado sea grid-tie o para sistema aislado.
- **Subsistema de protección:** el sistema cuenta con dos protecciones eléctricas, una ubicada en el circuito de corriente directa, y la otra protección pertinente al circuito de corriente alterna, la protección de CA es propia del sistema de generación y está aislada de las protecciones de las cargas de los galpón.
- **Subsistema de almacenamiento:** compuesto por un banco de baterías que almacenan la energía generada en exceso para su utilización durante periodos de poca radiación, o lapsos en que la carga es mayor a la energía generada en ese momento. Componente esencial en los sistemas aislados de la red.

Tabla 6. Comparación tipos de sistemas FV

SISTEMA	Subsistema de Control	Subsistema Recolector Energía	Subsistema de Inversión	Subsistema de Protección	Subsistema Almacenamiento energía
CONECTADO A LA RED (GRID-TIE)	NO	SI	SI	SI	NO
NO CONECTADO A LA RED (STAND ALONE)	SI	SI	SI	SI	SI

En la tabla 6 se muestran los subsistemas presentes en cada uno de los dos sistemas fotovoltaicos.

A continuación se describe en detallado cada subsistema presente.

2.1.1 subsistema de recolección de energía

La captación de energía solar y transformación a energía eléctrica se realiza mediante un conjunto de paneles solares, instalados en la superficie del techo del respectivo galpón; los paneles se agrupan en bloques que posteriormente se conectan al sistema de almacenamiento o al inversor, las diferentes configuraciones al conectar los bloques determinan las características eléctricas del sistema.

Figura 20. Paneles solares



2.1.1.1 Paneles solares

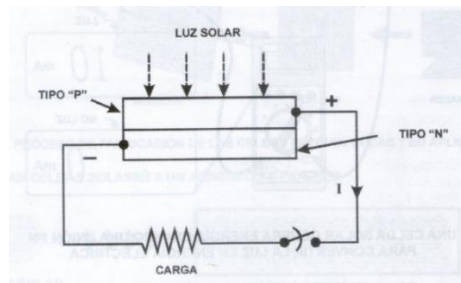
Los paneles fotovoltaicos se construyen mediante la unión de celdas fotoeléctricas, dispositivo electrónico que permite transformar la energía lumínica (fotones) en energía eléctrica. El proceso de conversión de energía se da gracias al efecto foto

voltaico que consiste en la liberación de electrones por un material al recibir radiación electromagnética.

El mejor desempeño a la radiación solar lo presentan los materiales semiconductores. Una vez se tienen electrones libres debe haber un campo eléctrico que los induce a fluir afuera del semiconductor para desarrollar un trabajo útil, este campo se genera mediante el uso de uniones p-n.

El sol libera ondas electromagnéticas de diferente longitud. Cada longitud de onda tiene una energía específica, para que se genere el efecto fotovoltaico se necesita de ondas que tengan más energía que los enlaces atómicos de los semiconductores, creando electrones libres¹.

Figura 21. Efecto fotoeléctrico



Fuente: ABC de las instalaciones fotovoltaicas

Existen dos materiales mayormente utilizados en las celdas solares, el silicio cristalino, con una baja eficacia de conversión pero con un menor coste, por otra parte el arseniuro de galio se fabrica especialmente para uso fotovoltaico más eficaz que el silicio pero mucho más costoso.

Las células de silicio más empleadas en los paneles fotovoltaicos se clasifican en 3 subcategorías, que se muestran en la siguiente tabla.

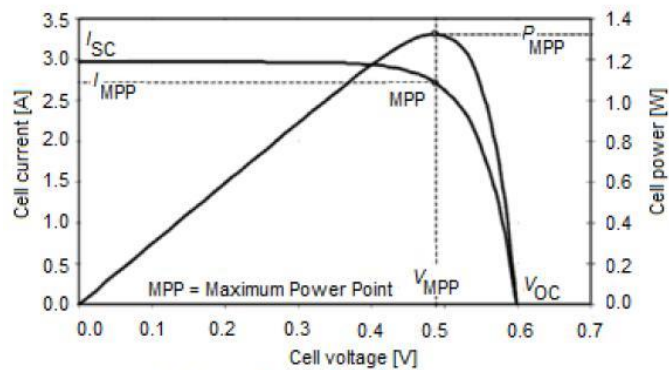
¹ 1 ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos

Tabla 7. Eficiencia diferentes tecnologías módulos solares

TECNOLOGIA	% EFICIENCIA	
	CELDA	MODULO
Silicio monocristalino	22	12-16
Silicio policristalino	18	12-14
Silicio Amorfo	13	8-11

El comportamiento eléctrico de los módulos está dado por las curvas de corriente contra voltaje. En la figura 22 se muestra la curva I-V para un módulo típico a las condiciones de prueba estándar (STC por iniciales en inglés *Standard Test Conditions*) corresponden a una radiación de 1000 w/m² y una temperatura superficial del módulo de 25°C.

Figura 22. Curva característica paneles solares



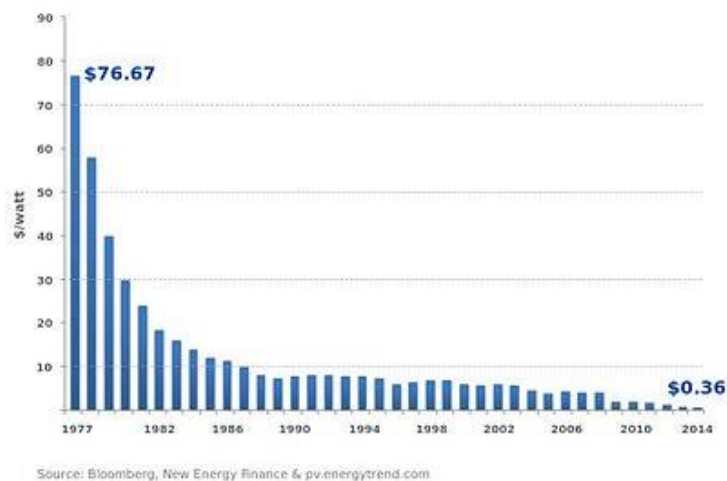
En la gráfica se observan varios puntos importantes que definen las características eléctricas de un panel fotovoltaico, estos puntos son:

- Corriente de corto circuito (I_{sc}): Corriente medida al conectar el panel en corto circuito, circulando su corriente máxima, a tensión nula.

- Voltaje de circuito abierto (Voc): al incidir una fuente lumínica al panel, sin conectarle ninguna carga o receptor, se obtiene en sus terminales la tensión de circuito abierto.
- Punto de potencia máxima (Pmax): Es la potencia máxima generada por el modulo fotovoltaico, como $P=I*V$, se requiere que este producto sea máximo, por ende existe una tensión máxima V_{mpp} y una intensidad máxima I_{mpp} . Este es el punto ideal de trabajo de un panel fotovoltaico.

Hasta el 2005 los paneles fotovoltaicos tenían una desventaja frente a las demás fuentes de energía, era el costo de las celdas solares, el costo de los paneles se ha venido reduciendo de forma constante desde 1977 cuando se fabricaron las primeras celdas solares

Figura 23. Costo de los paneles solares 1977-2014



El costo de celdas solares de silicio cristalino ha descendido desde 76,67 \$/Wp en 1977 hasta casi 0.36 \$/Wp en 2014.

2.1.1.3 Estructura soporte

La estructura de fijación de los paneles es generalmente de aluminio con tornillería de acero inoxidable para garantizar ligereza y durabilidad. Normalmente compuesta por ángulos de aluminio, carril de fijación y tornillos de anclajes.

Figura 24. Estructura paneles solares



2.1.2 subsistema de control

Los sistemas con almacenamiento energético en baterías, requieren un sistema de regulación de carga. Su misión principal es realizar un proceso adecuado de carga de la batería, evitando sobrecargas y sobredescargas, maximizando la vida útil de la misma.

Este sistema de control evita la sobrecarga de la batería poniendo el generador fotovoltaico en circuito abierto, y evita la sobredescarga desconectando las cargas o mediante una alarma preventiva.

El regulador funciona por control de tensión, que relaciona la carga de la batería, existen dos tipos básicos de control de carga, regulador en serie, que al detectar carga completa de la batería, pone en circuito abierto el generador fotovoltaico. Por otro lado un regulador paralelo deriva la corriente a través de un dispositivo disipador situado en paralelo entre el generador y la batería.

Este sistema también proporciona información al usuario acerca del estado de la batería y la operación del sistema, ya que generalmente dispone indicadores y visualizadores.

Figura 25. Controladores de carga baterías



2.1.3 subsistema de almacenamiento

En los sistemas fotovoltaicos autonomos las baterias o acumuladores se utilizan como sistema de almacenamiento energetico, debido al desfase temporal que existe entre periodos de generacion y consumo.

La gran mayoria de las baterias que se encuentran en el mercado son de Plomo-acido (Pb-a), requieren un mantenimiento intermedio. Se pueden encontrar baterias de Plomo-Calcio y Plomo antimonio, las primeras presentan una descarga baja, mientras la segundas se deterioran menos en el ciclado diario.

Figura 26. Bateria Solar



Fuente: Hybritec.com

Las baterías operan en una tensión nominal, y tienen una capacidad [A-h] determinada. La forma de aumentar el voltaje de trabajo es conectar acumuladores en serie, y si se quiere aumentar la capacidad se conectan en paralelo.

2.1.3.1 Ciclado de la batería

Se refiere al proceso de carga y descarga de la batería. La descarga es el proceso en que la batería suministra corriente por un determinado tiempo, mientras en la carga el acumulador recibe una corriente durante un lapso. Un ciclo se considera la descarga seguida de la carga.

La profundidad de descarga, que tanto se descarga la batería, afecta la vida útil de la batería. Un porcentaje elevado de descarga reduce considerablemente el número de ciclos de vida.

2.1.3.2 Capacidad de la batería

Es una medida del poder de la batería para almacenar o suministrar energía eléctrica, se expresa en amperio-hora (A-h). Depende de factores de diseño y operación. Las bajas temperaturas reducen la capacidad disponible de las baterías.

2.1.3.3 Factores que afectan la vida de la batería

Tiempos de vida más cortos es uno de los principales problemas de en los sistemas de almacenamiento. Siendo uno de los elementos más costosos del sistema FV, y vida útil más corta que los paneles, puede desembocar en grandes gastos de mantenimiento y remplazo si no se opera correctamente. La vida útil de la batería depende de un número de factores, entre los que se encuentran: materiales y componentes constructivos, temperatura de operación, profundidad de descarga, frecuencia de descarga.

Es recomendable evitar sobrecarga, sobredescarga y temperaturas de operación superiores a 50°C, para maximizar la vida útil de la batería.

2.1.4 subsistema de inversión de corriente

La corriente alterna (CA) es la más aceptada a nivel industrial gracias a la facilidad y eficiencia en el transporte, además de su bajo costo. Los motores de inducción instalados en los criaderos funcionan con CA proveniente de la red, para asegurar un funcionamiento adecuado, la energía suministrada por el sistema fotovoltaico debe transformarse a CA.

La energía suministrada por los módulos FV se da en forma de corriente continua (CC), por ello debe transformarse en CA, esta labor la realiza un aparato electrónico llamado inversor, que permite acoplar un sistema FV a cualquier carga que consuma CA, que es lo más común en el mercado.

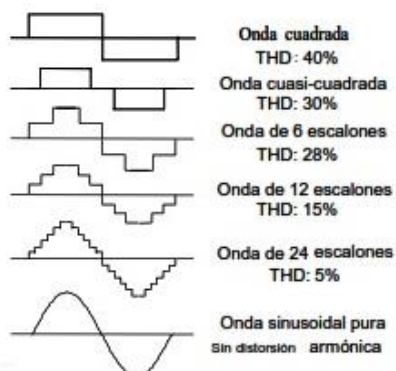
Las principales funciones del inversor son:

- ✓ Inversión DC/AC
- ✓ Modulación de la onda alterna de salida
- ✓ Regulación del valor eficaz de la tensión de salida

Se pueden encontrar inversores de diferentes voltajes nominales con un amplio rango de potencias, normalmente trifásico o monofásico a 50 Hz o 60 Hz; pueden operar conectados a las baterías en los sistemas autónomos, o directamente conectado al generador fotovoltaico en los sistemas conectados a red.

Los inversores se clasifican en función de la onda de tensión de salida: de onda cuadrada, de onda modificada o cuasi sinusoidal, de onda sinusoidal. En la figura 27 se observan las diferentes formas de onda de salida, a medida que se acerca la forma sinusoidal se reduce el porcentaje de armónicos no deseados.

Figura 27. Porcentaje de armónicos en la onda



Fuente: ABC instalaciones fotovoltaicas

En el caso de motores, la forma de onda que llega debe aproximarse lo más posible a una onda sinusoidal, o a una onda PWM, cuyos primeros armónicos se presenten a muy alta frecuencia. La regulación de la tensión de salida suele realizarse mediante control PWM.

Figura 28. Inversores de corriente

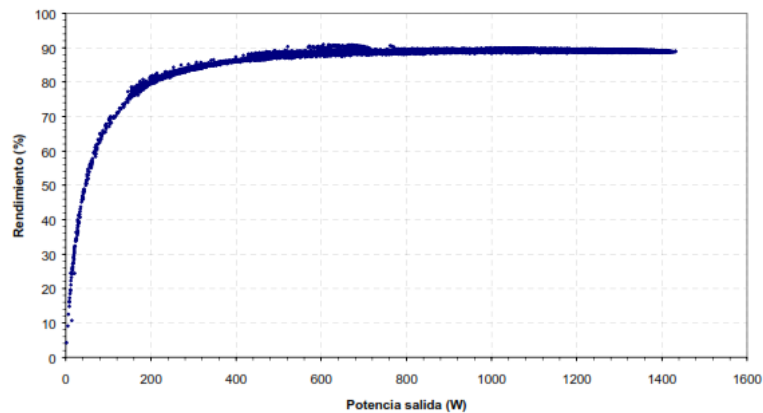


Los inversores conectados a la red se conectan directamente al generador FV, convirtiendo la corriente DC en AC e inyectándola a la red, para ello deben seguir el punto de máxima potencia del generador.

La energía entregada por el inversor debe cumplir con ciertos estándares de calidad para no afectar la energía suministrada por la red, la distorsión armónica debe ser baja, el factor de potencia elevado, operar dentro de la misma frecuencia de la red, y baja interferencia electromagnética.

A continuación se muestra la curva característica de un inversor grid-tie, se observa que a medida que la potencia de salida está por debajo de la potencia nominal del inversor su eficiencia se reduce considerablemente.

Figura 29. Curva característica inversores conectados a red



Las protecciones específicas del inversor son:

- Protección para la interconexión de máxima y mínima tensión así como de máxima y mínima frecuencia
- Interruptor automático encargado de la conexión o desconexión automática de la instalación en caso de caída de tensión o frecuencia de red

2.1.5 subsistema de protección

2.1.5.1 Protecciones

Es indispensable tener selectividad a la hora de escoger los sistemas de protección, es decir, en el momento de fallo actué la protección más cercana

2.1.5.2 Puesta a tierra

La conexión a tierra es la unión directa, de una parte conductora del circuito eléctrico, que no tenga tensión en las condiciones de funcionamiento, se hace mediante un electrodo enterrado en el suelo. Este sistema de seguridad permite descargar las corrientes de defecto las de origen atmosférico.

2.1.5.3 Protección ante corto directo

Según la norma ITCV 45 se debe prevenir el contacto directo entre los circuitos eléctricos y seres humanos:

- Aislamiento total de partes activas
- Acceso a cajas y tableros eléctricos mediante sistemas de seguridad (llaves, herramientas específicas)
- Carteles de aviso a zonas de riesgo donde solo pueda entrar personal entrenado para manejar sistemas eléctricos

2.1.5.4 Protección frente a sobrecargas

La corriente máxima que circulará por un conductor, estará dada por la corriente máxima que permita el dispositivo de protección contra sobrecargas, este puede ser un interruptor automático de corte onipolar con curva térmica de corte o por cortacircuitos de fusibles calibrados

En la parte de continua:

- Fusibles en cada líneas de paneles

En la parte de alterna:

- Fusible en la salida del inversor
- Fusible de salida
- Magneto térmico después del inversor

2.1.5.5 Protección frente a corto-circuitos

Los fusibles anteriormente mencionados se pueden aceptar como protecciones contra cortocircuitos, de tal forma que estén diseñados de la siguiente manera:

$$I_c \leq I_n \leq I_{max}$$

Donde:

- ✓ I_c es la intensidad nominal de la carga

- ✓ In es la intensidad nominal del dispositivo de protección
- ✓ I_{max} es la intensidad máxima admitida por el cable

2.1.5.6 Caja de protecciones en corriente continua

Caja situada antes del inversor, protegiendo el sistema contra sobresaltos en tensión y corriente continua.

Compuesta por:

- Caja plástica con grado de protección ip55 con placa de montaje, resistente al calor intenso y fuego.
- Embarrado
- Interruptor seccionador
- Interruptor de corte CC
- Fusibles
- Descargador contra sobretensiones

2.1.5.7 Caja de protección en corriente alterna

Caja situada después del inversor, protegiendo contra fallos en el lado de corriente alterna, compuesta por protecciones para este tipo de corriente.

Compuesta por:

- Caja plástica con placa de montaje, resistente al impacto, al calor intenso y al fuego
- Interruptor automático
- Seccionador fusible
- Diferencial

2.2 SELECCIÓN DEL TIPO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Las granjas Alpes y Terrazas se utilizarán un sistema de generación conectado a red, dadas las condiciones de estas granjas, la cantidad de potencia consumida y el factor principal que cuentan con suministro de la red convencional.

La granja Bosque se implementará un sistema de generación autónomo, ya que en esta granja no se tiene suministro de la red pública y no cuenta con ningún sistema instalado, permitiendo realizar un diseño completo del criadero.

3. DISEÑO DETALLADO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA FV UTILIZADO EN LA GRANJA TERRAZAS

3.1 GENERALIDADES

Un sistema de suministro de energía FV tipo 'grid tie' está compuesto por los siguientes elementos

- Paneles FV
- Inversor
- Sistema de conducción
- Protecciones eléctricas

Los cuales deberán ser diseñados y/o seleccionados para que cumplan los requerimientos de energía de la granja.

El conjunto de paneles FV es el componente principal y requiere mayor análisis de selección en un sistema grid tie.

En un sistema grid tie la energía requerida por el criadero puede ser suministrada por los paneles fotovoltaicos y/o tomada de la red eléctrica.

El número de paneles FV a instalar será aquel que permita responder a los requerimientos de cada uno de los sistemas instalados a un costo mínimo.

Dado que la energía suministrada por los paneles depende de la radiación solar instantánea en el sitio, no es garantía para el cumplimiento de los requisitos de suministro de energía el hecho de tener una capacidad instalada de paneles alta (es decir gran número de m² de superficie de paneles) pues estos no servirán de mucho si no hay radiación solar, por lo tanto se requiere hacer un análisis de la correspondencia de los requerimientos instalados de energía del sistema con la capacidad de generación instalada de los paneles, la cual es directamente dependiente de la radiación solar en la zona.

3.2 PERFIL DE RADIACION SOLAR HORARIA EN LA ZONA

La instalación de un sistema FV debe basarse en la disponibilidad de irradiación solar de un día claro, ya que la consideración de días nublados anularía la perspectiva de utilizar energía solar FV para la aplicación planteada ya que el servicio de ventilación y alimentación a los galpones es obligatorio haya sol o no.

3.2.1 Radiación solar de un día claro

La ecuación que modela la radiación durante el transcurso del día es:

$$I_t = \frac{\cos(\theta_i)}{\cos(\theta_z)} * I_b + \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right] * I_d + \rho * \left[\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right] * (I_b + I_d)$$

Donde

I_t : radiación total sobre una superficie inclinada [W/m²]

I_b : radiación directa sobre una superficie horizontal [W/m²]

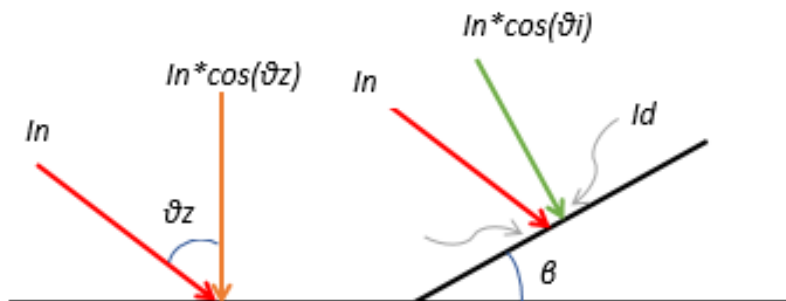
I_d : radiación difusa [W/m²]

$$I_b = I_n * \cos(\theta_z)$$

$$I_d = \frac{1}{3} * (I_{ext} - I_n) * \cos(\theta_z)$$

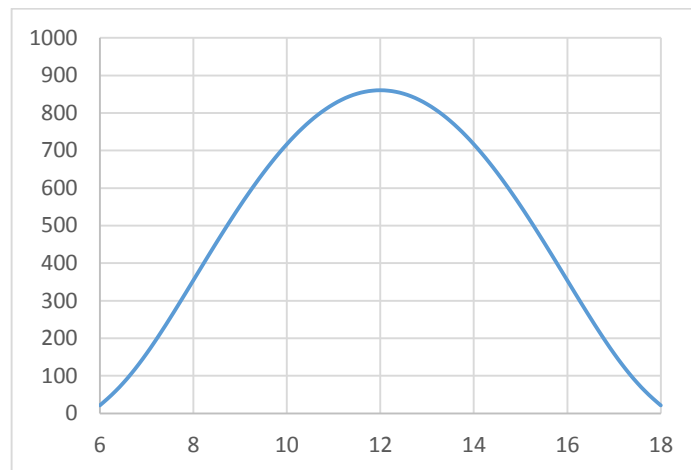
$$I_n = I_{ext} * \exp \left[\frac{-Tr}{0.94 + 9.4 * \cos(\theta_z)} \right]$$

Figura 30. Radiación sobre una superficie inclinada



Como θ_i y θ_z son variables en el día, la radiación total que incide en la superficie inclinada también lo será, a partir de estas ecuaciones se obtiene el siguiente comportamiento de radiación solar, asumiendo un sol estándar, en la zona.

Figura 31. Radiación granja Terrazas



3.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL SISTEMA FV

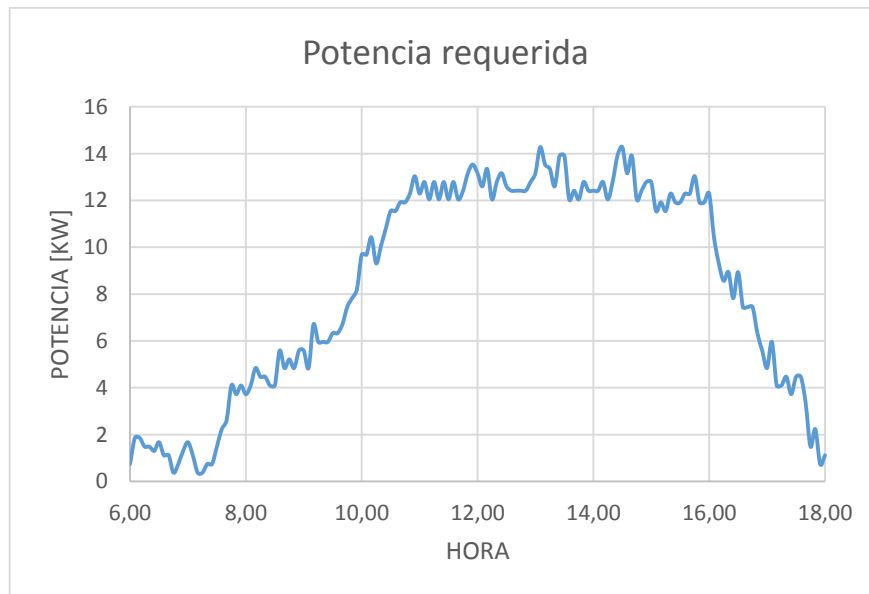
- Establecimiento de requerimientos: Construcción del perfil de carga del criadero
- Modelamiento de radiación total, modelamiento de potencia FV generada
- Optimización basada en costos: Determinación de la potencia óptima a instalar a partir de los costos mínimos
- Selección del panel: Selección del panel y la conexión adecuada para cumplir los requerimientos de voltaje y corriente del criadero.
- Selección del inversor
- Selección de sistema de conducción
- Selección de protecciones eléctricas

3.4 ESTABLECIMIENTO DE REQUERIMIENTOS

Determinar el perfil de carga del galpón N°1 requiere de un equipo especializado, dada la variabilidad en el consumo, se utilizó un analizador de redes marca Lovato electric, complementado con un módulo de memoria y un módulo de comunicación, permitiendo la toma de potencia, corriente, tensión y distorsión armónica cada 2 segundos. El módulo de comunicación permite exportar estos datos a un computador para su posterior análisis.

La adquisición de datos se llevó a cabo durante la última semana del ciclo de vida de las aves, periodo en el cual la demanda energética es máxima, el equipo se conectó a las 6 am y se desconectó a las 6 pm. De la información que se tomó, la variable más relevante para este proyecto es la potencia activa consumida por la instalación, a partir de los datos se construyó una gráfica mediante el software Excel en la cual se evidencia su comportamiento durante un día de operación del criadero.

Figura 32. Perfil de carga criadero N°1 granja Terrazas



La energía diaria requerida, se determina hallando el área bajo la curva de potencia; dada la variabilidad de la curva se realizó un procedimiento de integración numérica mediante el software Excel.

$$E_{req} = \sum_{i=1} \frac{(Pot_i + Pot_{i+1})\Delta t}{2} = 100.776 [kW - h]$$

Donde

E_{req}: Energía requerida durante el día

Pot_i: Potencia en el *i*-ésimo instante

Pot_{i+1}: Potencia en el siguiente instante al *i*-ésimo

Δt: delta de tiempo

No contar con un sistema de almacenamiento, implica que el generador FV abastecerá únicamente en los periodos que la radiación sea suficiente. Por este motivo se busca la cantidad de energía consumida por la instalación a partir de las 8 am hasta las 4 pm.

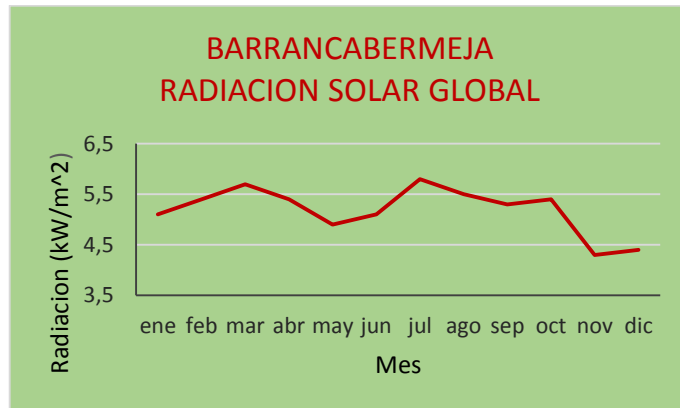
$$E_{req} = 86.776 [kW - h]$$

A partir de los costos de energía consumida por la red, y de los ahorros por energía fotovoltaica además de la inversión inicial se realizara una optimización de la potencia a instalar basada en los costos totales del sistema.

3.5 MODELAMIENTO DE RADIACION TOTAL Y GENERACION DE POTENCIA

El modelo de radiación diaria se realizó para el día 15 del mes con menor radiación promedio, que para la zona del magdalena medio es noviembre, como se observa en la gráfica.

Figura 33. Radiación mensual Barranca



Fuente: IDEAM

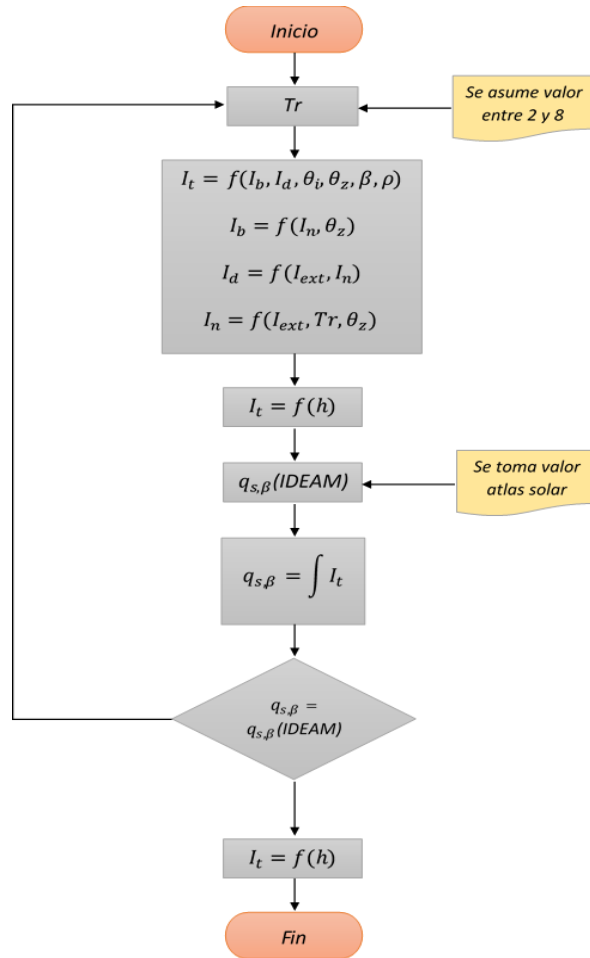
Debido a la latitud de la instalación los módulos FV deben inclinarse respecto a la horizontal para maximizar la energía absorbida. La determinación de este ángulo β se realiza a partir del mayor promedio anual (Anexo B). Se determina un valor $\beta=8^\circ$, que se aproxima a $\beta=10^\circ$ por recomendaciones de la Unidad de Planeación Minero Energética UPME, para evitar estancamientos de agua y suciedad.

La radiación que incide sobre una superficie inclinada, está determinada por la declinación (δ), la latitud (ϕ) en la que está ubicada la superficie, la reflectividad del medio (ρ), un parámetro llamado (Tr) que tiene en cuenta factores específicos de la zona y la hora del día (ω), esto quiere decir que la radiación es variable en el tiempo, dadas las características de los sistemas FV 'grid tie' es de vital importancia estimar el comportamiento de la radiación durante un día claro.

El procedimiento a seguir para determinar el comportamiento de la radiación se ilustra en la figura 34. Se asume un valor de Tr . A partir de este Tr asumido, se determina el promedio mensual de radiación solar global $q_{s,\beta}$, este $q_{s,\beta}$ calculado se

compara con el valor suministrado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM en el Atlas de Radiación Solar, si son diferentes el procedimiento se repite hasta alcanzar una similitud aceptable. El procedimiento planteado se realiza para el día medio del mes con menor radiación.

Figura 34. Diagrama de flujo procedimiento determinación T_r



Fuente: Autores

La ecuación que modela la radiación sobre una superficie inclinada durante el transcurso del día es:

$$I_t = \frac{\cos(\theta_i)}{\cos(\theta_z)} * I_b + \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right] * I_d + \rho * \left[\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right] * (I_b + I_d)$$

Donde

$$I_b = I_n * \cos(\theta_z)$$

$$I_d = \frac{1}{3} * (I_{ext} - I_n) * \cos(\theta_z)$$

$$I_n = I_{ext} * \exp \left[\frac{-Tr}{0.94 + 9.4 * \cos(\theta_z)} \right]$$

$$\cos(\theta_z) = \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\delta) \sin(\varphi)$$

$$\cos(\theta_i) = \cos(\varphi - \beta) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\delta) \sin(\varphi - \beta)$$

$$\delta = 23.45 * \sin \left[\left(\frac{284 + n}{365} \right) * 360 \right]$$

Donde

I_{ext} : Radiación extraterrestre = 1353 [w/m²]

ϕ : Latitud de la instalación = 7.14

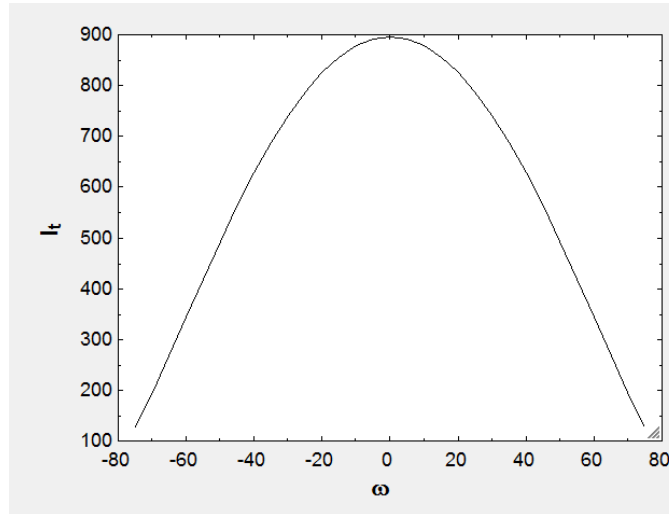
n : día del año = 319

ρ : reflectividad del medio = 0.2

β : ángulo inclinación de los módulos FV = 10°

A partir del procedimiento anterior se modela la radiación diaria en la granja Terrazas, en la siguiente figura se visualiza la radiación total como función de la hora.

Figura 35. Grafica radiación diaria zona granja Terrazas



Fuente: Autores

A partir de la curva mostrada en la figura 35 se realiza una regresión polinómica, con el objetivo de encontrar el modelo matemático que describa el comportamiento de la radiación total en función de la hora (tiempo) y no de la inclinación horaria (ω), se obtiene un polinomio grado 4. La hora h se varía en formato militar de 8:00 a 16:00.

$$I_t = 3304.7 - 1784.4h + 304.87h^2 - 19.21h^3 + 0.4002h^4 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

A partir del modelo de radiación, se obtiene el comportamiento de un sistema FV durante el día.

$$Pot(t) = Pot_{pico} * N_{pan} * [1 - 0.004(T_{pan} - 25)] * 0.95 * \frac{I_t}{1000}$$

Donde

Pot_{pico} : potencia pico del panel = 100 W

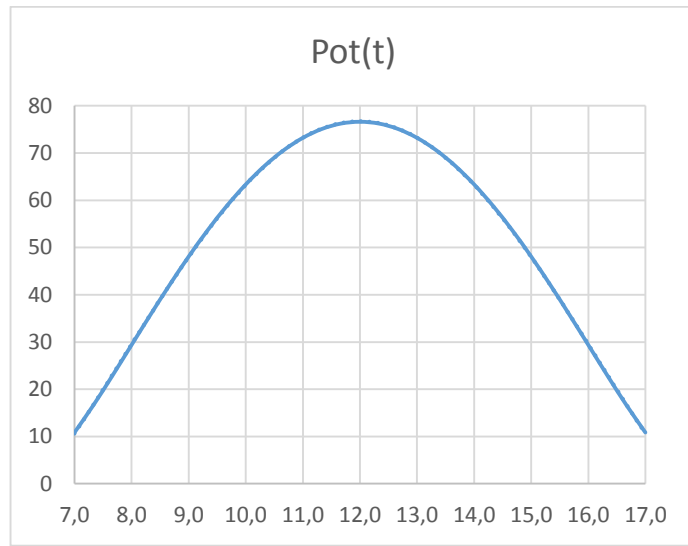
N_{pan} : número de paneles = 1

T_{pan} : Temperatura de la superficie del panel = 50°C

I_t : Radiación total en función del tiempo

Al realizar la gráfica se observa que tiene un comportamiento sinusoidal como se observa en la figura 36.

Figura 36. Grafica potencia diaria módulo 100w zona granja Terrazas



Fuente: Autores

Una vez se modela la de generación de potencia a partir de un panel FV de 100 [W] y conocidos los requerimientos del criadero se determina la potencia óptima a instalar de manera que los costos sean mínimos.

3.6 OPTIMIZACION BASADA EN COSTOS

La energía suministrada por la fuente fotovoltaica, dependerá de la radiación en esta zona del país, es decir que el perfil de potencia ofrecida será difícil que se asemeje al perfil de cargas o potencia requerida por el sistema, por tanto se decidió realizar una optimización basada en el costo total del sistema, para al final obtener la potencia a instalar optima donde se establezca el menor costo total a largo plazo.

En este capítulo se explicará cómo se realizó la optimización, y se dará la potencia determinada, posteriormente se detallará en el capítulo de análisis financiero.

El costo total asociado al sistema grid-tie está compuesto principalmente por dos costos:

$$Costo\ total = C_{Operacion} + C_{Iniciales}$$

Estos dos costos son dependientes de la potencia a instalar, se pretende realizar un análisis desde 1 [kW] hasta 20 [kW], con el fin de encontrar la capacidad de generación entre este rango donde la suma de estos dos costos sea mínimo.

Los costos iniciales están determinamos por la suma de los costos de cada componente del sistema:

$$Costo\ inicial = C_{Inversor} + C_{Paneles} + C_{Estructura}$$

Los costos de operación, son los costos necesarios para que el sistema funcione:

$$Costo\ operacion = C_{Mantenimiento} + C_{Red}$$

Estos dos costos se tienen que analizar a futuro, dado que son costos anuales con inflación. La ecuación general para el análisis de estos dos costos será la ecuación de valor presente de una serie gradiente geométrica:

$$P = \frac{A}{G - i} * \left[\frac{(1 + G)^n}{(1 + i)^n} - 1 \right]$$

Dónde: $P = Valor\ presente\ del\ costo$ $A = costo\ del\ primer\ año$

Cabe resaltar que el análisis se realizara en unidades temporales de **años**.

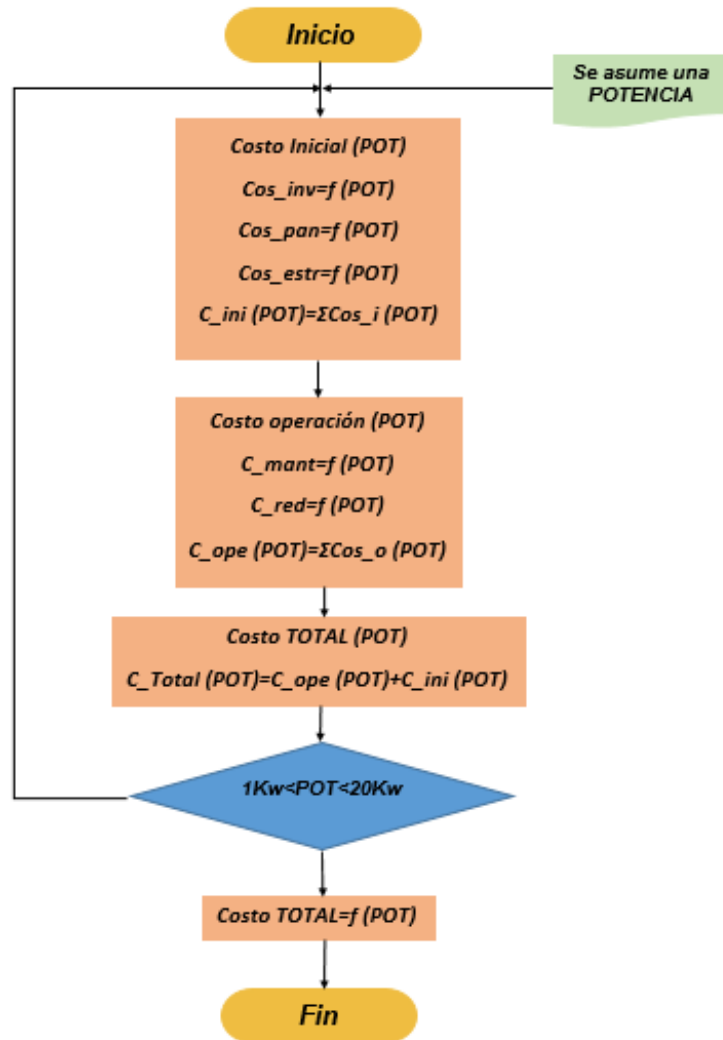
El costo de mantenimiento dependerá la potencia instalada, este costo se asume como el valor de las horas de trabajo humano, por recomendaciones prácticas se estima 1 hora diaria de inspección visual al sistema por cada 7 [kW] de potencia. Este costo es afectado por la inflación que tiene la nación, aproximadamente un 4% anual.

El costo de la red será el valor de la energía consumida por los equipos del galpón en los momentos donde el sistema de generación fotovoltaico no supla las necesidades energéticas, se buscará también que este valor jamás sea menor de cero, ya que se estaría desperdiciando energía fotovoltaica y los costos de mantenimiento y el costo inicial se elevarían haciendo el proyecto inviable económicamente. Este costo de energía se tomó de los archivos de la empresa Avidesa MacPollo y se determinó para la granja terrazas en 389 [\$/Kw-h], este costo varía mensualmente dependiendo de muchos factores como el clima y la demanda energética del país, por tanto el valor fue un promedio de los valores del último año, y teniendo implícito una inflación de 4% anual, esta como promedio del crecimiento del valor de la energía en los último 10 años en Colombia.

En la figura 37 se muestra en un diagrama de flujo el proceso de optimización para una mejor comprensión de la metodología utilizada.

Las ecuaciones detalladas y los componentes de cada costo además de la inclusión de los ahorros generados por este sistema fotovoltaico se tratarán en el capítulo de análisis económico de la granja Terrazas.

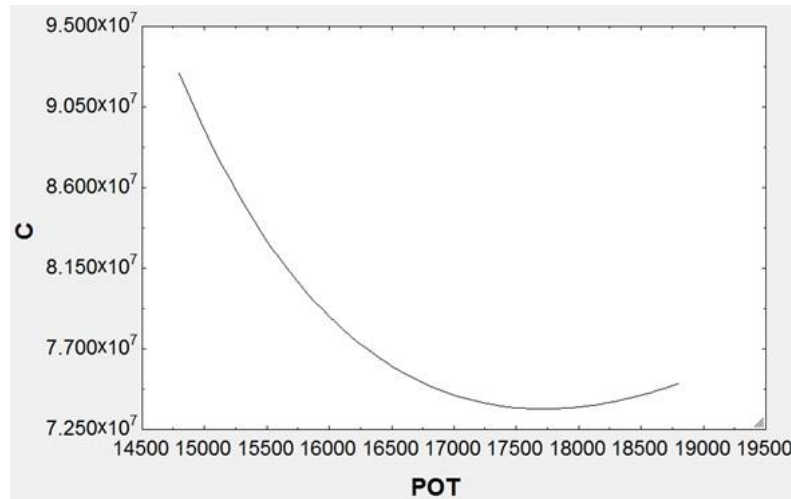
Figura 37. Diagrama de flujo optimización basada en costos



Fuente: Autores

En la figura 38 se muestra el costo total en función de la potencia instalada. Después de hecho el proceso de optimización.

Figura 38. Costo en función de potencia granja Terrazas



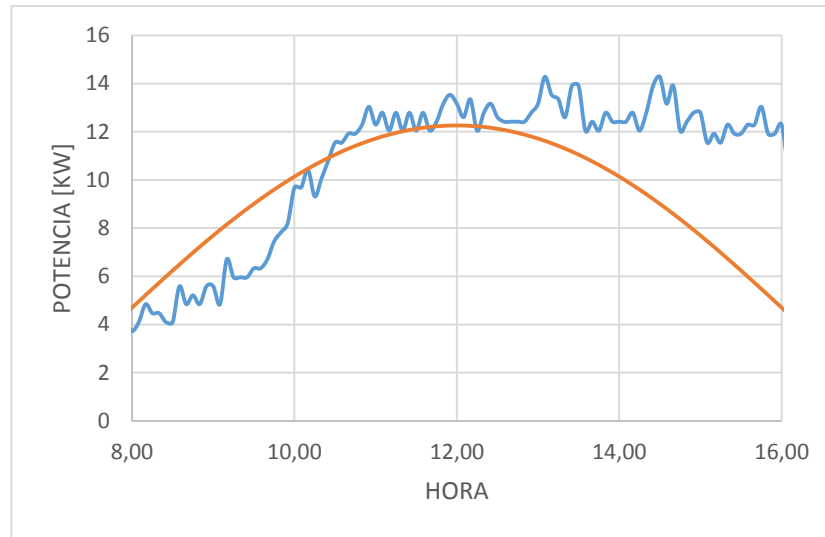
De la gráfica anterior se obtiene que el menor costo es \$73'615.000 COP y corresponde a una potencia instalada de 17.7 [kW].

Durante las primeras tres semanas de crianza, los requerimientos energéticos del criadero son mínimos, los pollos necesitan temperaturas ambiente cercanas a los 30°C por tanto el sistema de control ambiental opera durante menos tiempo.

Instalar un sistema generador de 17.7 [kW] implica desperdiciar energía durante las primeras tres semanas de crianza, para evitar esto, los 17.7 [kW] se multiplican por un factor del 90%. Durante las semanas de mayor demanda el 10% de energía que se disminuyó es suministrado por la red.

Por tanto el sistema de generación FV tiene una capacidad de 16 [kW], cubriendo la mayoría de las necesidades energéticas durante todo el proceso de crianza de las aves, sin incurrir en desperdicios energéticos ni sobrecostos.

Figura 39. Correspondencia entre generación y requerimientos granja Terrazas



3.7 SISTEMA DE RECOLECCION DE ENERGIA

3.7.1 Selección tipo de panel

Los paneles de silicio monocristalino tienen una eficiencia cercana al 20%, mientras que los de silicio policristalino presentan una eficiencia máxima alrededor del 16 %, esta diferencia se refleja en una mayor área requerida por los módulos policristalinos para generar una misma potencia. En los criaderos de la granja Terrazas el área disponible no es un factor limitante.

El proceso de selección se basa en los siguientes criterios, precio del watt (\$/watt), área requerida para la instalación, disponibilidad en el mercado nacional. Los módulos policristalinos son un poco más económicos que los monocristalinos, y teniendo en cuenta que el área no es factor determinante se opta por utilizar paneles de silicio policristalino.

3.7.2 Paneles en el mercado

Se realizó una tabla organizando la información de cada panel policristalino, para conexión a red, que se encuentra actualmente en el mercado. La información que

se toma de cada módulo es suministrada por el fabricante luego de pruebas a condiciones estándar (STC): 1000 w/m² Irradiación, 25°C Temperatura del módulo.

La tabla contiene los siguientes ítems

- Marca del panel
- Referencia
- Potencia máxima P_{max} : Potencia máxima generada por el panel
- Eficiencia del modulo
- Tensión V_{mpp} : Tensión obtenida a potencia máxima
- Corriente I_{mpp} : Corriente obtenida a potencia máxima
- Voltaje V_{oc} : Voltaje de circuito abierto
- Corriente I_{sc} : Corriente de corto circuito

Tabla 8. Características eléctricas de los módulos policristalinos

			Yingli Solar					
			YL180P	YL190P	YL230P	YL240P	YL250P	YL260P
Potencia maxima	P_{max}	W	180	190	230	240	250	260
eficiencia del modulo	η	%	13,9	14,7	14,1	14,7	15,3	15,9
Tension a Pmax	V_{mpp}	V	23,5	23,7	29,5	29,5	30,4	30,9
Corriente a Pmax	I_{mpp}	A	7,83	8	7,8	8,14	8,24	8,41
Voltaje de circuito abierto	V_{oc}	V	29,5	30,1	37	37,5	38,4	38,9
Corriente de corto circuito	I_{sc}	A	8,3	8,48	8,4	8,65	8,79	8,98

			Q Cells			UpSolar		
			QPro230	QPro240	QPro250	UP-M240P	UP-M250P	UP-M260P
Potencia maxima	P_{max}	W	230	240	250	240	250	260
eficiencia del modulo	η	%	13,8	14,4	15	14,8	15,4	16
Tension a Pmax	V_{mpp}	V	29,24	29,41	29,89	30,2	30,6	31
Corriente a Pmax	I_{mpp}	A	7,95	8,08	8,45	7,95	8,17	8,39
Voltaje de circuito abierto	V_{oc}	V	36,95	37,16	37,81	37,6	38	38,4
Corriente de corto circuito	I_{sc}	A	8,59	8,67	8,94	8,4	8,5	8,6

Se realiza una segunda tabla en la cual se incluyen las características físicas de los paneles

Tabla 9. Características físicas módulos policristalinos 'grid tie'

			Yingli Solar					
			YL180P	YL190P	YL230P	YL240P	YL250P	YL260P
Largo	L	mm	1310			1650		
Ancho	A	mm	990			990		
Alto	H	mm	50			40		
Peso	m	kg	15,8			19,1		

			Q Cells			UpSolar		
			QPro230	QPro240	QPro250	UP-M240P	UP-M250P	UP-M260P
Largo	L	mm	1670			1640		
Ancho	A	mm	1000			992		
Alto	H	mm	50			40		
Peso	m	kg	19,8			19		

3.7.3 Agrupamiento en bloques

El sistema de generación está compuesto por un número par de módulos FV iguales, estos paneles se agrupan y conectan en bloques permitiendo jugar con la intensidad y la tensión total de la instalación.

Conectar los módulos en serie permite sumar tensión manteniendo la corriente constante, al conectarlos en paralelo las corrientes se adicionan mientras el voltaje continua constante. Los paneles primero deben conectarse en serie para formar un bloque y luego estos se conectan en serie o paralelo según los requerimientos de tensión y corriente.

Se plantean dos opciones de bloques que se analizan a continuación

- Bloques constituidos por 6 paneles conectados en serie
- Bloques constituidos por 8 paneles conectados en serie

Mediante un proceso iterativo en el cual se trabaja con las características nominales de los modulos se selecciona el panel a utilizar y tipo de arreglo conveniente, de manera que el sistema genere aproximadamente la energía calculada. Los resultados se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Selección de panel y bloques granja Terrazas

Entradas del sistema		
Tamaño del sistema [kW]	16	<i>Inserte la potencia instalada</i>
Panel	YL250P	<i>Selección el tipo de panel a utilizar</i>
Características Panel	250	<i>Potencia pico</i>
	15,3	<i>eficiencia</i>
	30,4	<i>Vmpp</i>
	8,24	<i>Impp</i>
	38,4	<i>Voc</i>
	8,79	<i>Isc</i>

Dimensiones del sistema		
Numero de Paneles	64,00	<i>Numero de paneles instalación</i>
Tipo de arreglo	8	<i>Seleccione el # de paneles por arreglo</i>
Características arreglo	243,2	<i>Voltaje</i>
	8,24	<i>Corriente</i>
Numero de arreglos	8,0000	<i>Numero de arreglos instalación</i>
	8,00	<i>Numero de arreglos instalación completos</i>
Numero de Paneles	64	<i>Número total de paneles requeridos</i>
Tamaño del sistema	16000	<i>Potencia total suministrada [W]</i>

En la tabla 10 se muestra que el panel adecuado es el Yingli Solar YL250P, con las características eléctricas que se muestran, el arreglo que se utiliza está formado por 8 módulos.

Para generar los 16 [kW] requeridos se utiliza un total de 64 módulos, conectados en 8 bloques.

3.7.4 Conexión de los bloques

Las condiciones eléctricas de salida del sistema generador son las condiciones de entrada del sistema de inversión de corriente, de manera que la forma en cómo se conectan los bloques influye en el proceso de selección del inversor.

Como se mencionó anteriormente los bloques están compuestos por ocho paneles conectados en serie, esto implica que la tensión de cada bloque depende del número de paneles mientras la intensidad es dependiente del tipo de panel. Las características eléctricas de los bloques que se utilizarán son las siguientes:

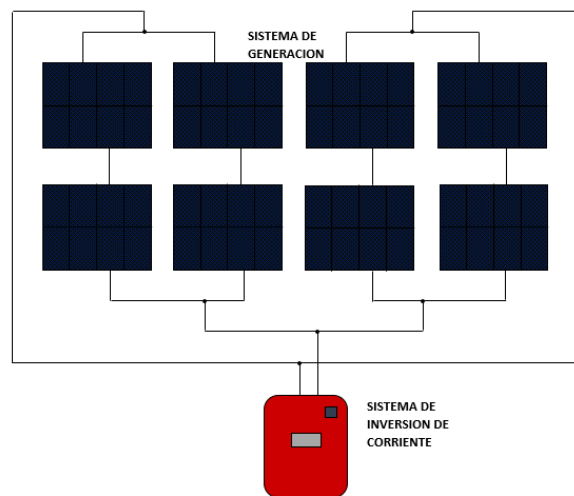
$$V_{bloque} = V_{mmp} * \#Paneles = 243.2 [V]$$

$$I_{bloque} = I_{mmp} = 8.24 [A]$$

Las diferentes formas de conectar los bloques influyen en la tensión e intensidad que entran al inversor. La potencia del sistema es la sumatoria de todas las potencias, sin diferenciar si la conexión de bloques se realiza en serie o en paralelo.

La conexión de los paneles se realiza de manera que la tensión se eleve, manteniendo una corriente baja. En la figura 40 se muestra la forma en que se conectan los bloques al sistema de inversión.

Figura 40. Conexión de los arreglos granja Terrazas



3.8 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE INVERSIÓN

Se realiza una tabla con los inversores trifásicos que se ajustan al tamaño de la instalación y se encuentran en el mercado nacional.

Tabla 11. Inversores grid tie granja Terrazas

TRIFASICOS			
	FRONIUS IG PLUS	SUNNY TRIPOWER	SUNNY BOY
	11.4-3 Delta	Sunny 17000TL	Sunny Boy 9000TL
DATOS DE ENTRADA			
Potencia pico	9700-13100 [W]	17410 [W]	9400 [W]
Rango de Vmpp	230-500 [V]	400-800 [V]	300-480 [V]
Voltaje de arranque DC	245 [Vdc]	188 [VDC]	360 [V]
Corriente nominal de entrada	31,4 [A]	33 [A]	31 [A]
Corriente maxima	53,3 [A]	40 [A]	31 [A]
Numero de terminales DC	6	2	6
Max corriente por terminal	20 [A]	12,5 [A]	
DATOS DE SALIDA			
Potencia nominal	11400 [W]	17000 [W]	9000 [W]
Voltaje nominal de salida	208 / 240 [V]		208 [VAC]
Rango de operación de voltaje	208 [V]	183-229 [V]	183-229 [VAC]
	240 [V]	211-264 [V]	
	277 [V]	n.a	
Maxima corriente de salida	208 [V]	31,6 [A]	24,6 [A]
	240 [V]	27,4 [A]	
	277 [V]	n.a	
Frecuencia nominal de salida	60 [Hz]	60 [Hz]	60 [Hz]
Rango de frecuencia	59,3 - 60,5 [Hz]	54 - 65 [Hz]	59,3 - 60,5 [Hz]
Distorsion armonica	< 3%		< 4%
Factor de potencia	1	1	1
INFORMACION GENERAL			
Eficiencia maxima	96,20%	98,10%	98,30%
Eficiencia de operación	208 [V]	95%	97,70%
	240 [V]	95,50%	
	277 [V]	n.a	
Consumo en parada	< 1 [W]	1 [W]	0,25 [W]
Consumo en operación	22 [W]		
Enfriamiento	ventilacion forzada	OptiCool	OptiCool
Dimensiones	43,43 x 122,17 x 24,38 [cm]	66,5 x 69 x 26,5 [cm]	47 x 61,5 x 24 [cm]
Peso	49[kg]	59 [kg]	35 [kg]

De la tabla 11 se observa que el único inversor capaz de manejar la potencia que entrega el sistema de generación es el Sunny Tripower 17000TL. Instalar un inversor de esta capacidad acarrea ciertas desventajas como elevadas corrientes, altos costos de mantenimiento, poca flexibilidad en el sistema, es decir cualquier acción que implique desconectar el inversor, limita por completo el suministro de energía FV a la instalación.

Por estas razones es más conveniente instalar dos inversores, de manera que la energía FV generada se reparta equitativamente, la corriente es inferior, en caso de desconectar un inversor el otro mantiene un suministro energético a la instalación.

Se seleccionan dos inversores Sunny Boy 9000TL, a cada uno de estos le llegaría 8 [kW] del generador FV. Al inversor se conectan dos cadenas en paralelo, cada cadena está formada por dos bloques conectados en serie de manera que las condiciones eléctricas a la entrada de cada inversor son las siguientes:

$$V_{in} = 2 * V_{bloque} = 486.4 [V]$$

$$I_{in} = I_{bloque} * 2 = 16.48 [A]$$

Las condiciones de salida del sistema FV, son adecuadas para los requisitos de entrada del inversor, corriente máxima de 31 [A] y un rango de tensión 300-480 [VDC]

El rango de voltaje alterno que entrega el inversor es adecuado para los equipos instalados en el criadero, ya que todos son trifásicos y operan a 220 [VAC].

3.9 SISTEMA DE CONDUCCION

La corriente del circuito se debe calcular como se muestra a continuación

1. Circuitos fuente fotovoltaica: es la corriente de cortocircuito de los bloques instalados
2. Circuito de salida del inversor: corriente nominal de salida del inversor

3.9.1 Calculo fuente fotovoltaica

Los módulos de un mismo bloque están conectados en serie, y se unen dos bloques en serie para formar una columna, cada una de estas columnas se conecta al inversor en las diferentes entradas dc del inversor.

Por ende se diseña a partir de la corriente de corto circuito de los módulos, que se encuentra en la hoja de datos del panel.

$$I_{sc}=8,79 [A]$$

Según la norma NTC 2050, la sección 690 la corriente de los conductores se debe ajustar a un valor mínimo de 125% la corriente que genera el sistema.

$$I = 1.25 * I_{sc} = 10.98 [A]$$

Teniendo en cuenta que la regulación de tensión debe ser inferior al 1.5% se selecciona el calibre del conductor.

$$\Delta V = V_{bloque} * 0.015 = 3.648 [V]$$

La relación matemática para determinar la sección transversal del cable se deduce a partir del criterio de caída de tensión

$$S = \frac{L * I}{\Delta V * \gamma}$$

Donde

L: Longitud del conductor

I: Capacidad de corriente del conductor = 10.98 [A]

ΔV: Caída de tensión = 3.648 [V]

γ: Conductividad del cobre (a 70°C) = 46.82 [m/Ωmm²]

La longitud del conductor del circuito fotovoltaico se determina sumando las distancias recorridas hasta el bloque más lejano y añadiendo un tramo extra de cable como seguridad.

Entre el último bloque y el techo del cuarto de máquinas hay una distancia de 18.27 m, que se aproxima a 19 m

El galpón tiene aproximadamente 4 m de altura, deben tenerse en cuenta ya que el inversor se ubica cerca al piso. Se adicionan 5 m extra de cable para tener en cuenta, cambios de dirección y demás imprevistos en la trayectoria

$$L = 19 + 1 + 4 + 5 = 35 \text{ [m]}$$

La sección transversal del cable que conecta los bloques de paneles al inversor es

$$S = \frac{35 * 10.98}{3.648 * 46.82} = 1.924 \text{ [mm}^2\text{]}$$

De la tabla 310-16 de la NTC 2050, se selecciona un conductor que tenga área mayor y soporte corriente superior a las calculadas. Se selecciona un conductor con área de 2.05 mm², que resiste una intensidad máxima de 15 A, este cable tiene un calibre #14AGW.

Se calcula el porcentaje de regulación de tensión obtenida con el cable seleccionado

$$\% \Delta V = \frac{\frac{L * I}{\gamma * S}}{V - \frac{L * I}{\gamma * S}} * 100 = \frac{\frac{35 * 10.98}{46.82 * 2.05}}{243.2 - \frac{35 * 10.98}{46.82 * 2.05}} * 100 = 1.674\%$$

3.9.2 Calculo del cable salida del inversor

La corriente que circula por los conductores que salen del inversor es

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\varphi}$$

Donde

P: Potencia de la instalación fotovoltaica = 8000 [W]

V : Voltaje de fase a la salida del inversor = 220 [V]

$\text{Cos}\phi$: Factor de potencia del inversor = 1

Calculando

$$I = \frac{8000}{\sqrt{3} * 220} = 20.99 \text{ [A]}$$

La capacidad de corriente del conductor se debe corregir

$$I = 1.25 * 36.63 = 26.23 \text{ [A]}$$

Se selecciona un conductor de calibre #10AWG con una sección transversal de 5.25 mm², que a 75°C soporta una corriente de 35 A

3.10 SELECCIÓN DE PROTECCIONES ELECTRICAS

3.10.1 Puesta a tierra

- Circuito cc: la selección del tipo de electrodo y el punto de conexión se realiza siguiendo recomendaciones de la norma NTC 2050, sección 690 literal E, y de NEMA.

La puesta a tierra se puede conectar en cualquier punto del circuito de salida FV, lo más cerca a la fuente para proteger contra las subidas de tensión producidas por los rayos.

Por facilidad en la instalación se utiliza un electrodo de barra de acero con recubrimiento en cobre. La norma recomienda un sección transversal mínima de 19 mm y una longitud superior a 2.4 m.

La sección 250-92 define el calibre del conductor de puesta a tierra que para corriente continua no debe ser inferior a 8.36 mm² (8AGW) en caso que sea de cobre.

- Circuito CA: el circuito que conecta el inversor con la red eléctrica lleva una puesta a tierra, se utiliza un electrodo de barra de acero con recubrimiento de

cobre. El calibre del conductor de la puesta a tierra se determina a partir de la tabla 250-94 de la NTC 2050.

A partir de la sección transversal del mayor conductor del circuito ca, se determina la sección transversal del conductor del electrodo. En este caso el área del mayor conductor es de 13.29 mm², por lo tanto se utiliza un conductor de 8.36 mm² para el electrodo puesto a tierra.

3.10.2 Protecciones Corriente directa

La NTC 2050 en la sección 690-9, dicta recomendaciones para la protección de los circuitos de los sistemas FV.

- Cortó circuito y sobre corriente: la norma NTC en la sección 240-6 da los parámetros de selección y las corrientes normalizadas de los fusibles para aplicación de baja tensión en CC. La capacidad del fusible se determina a partir de la siguiente relación.

$$I_{nom} < I_{fusible} < I_{max}$$

Donde

I_{nom}: Corriente nominal del bloque = 8 [A]

I_{max}: Corriente máxima del conductor = 10.6 [A]

Se selecciona instalar fusibles normalizados de 10 [A]

- Para desconectar los elementos y realizar tareas de mantenimiento y revisión se instalan seccionadores con capacidad de 12 [A]

3.11 ESTRUCTURA

La estructura que soporta los bloques de módulos fotovoltaicos se construye en perfiles de aluminio, que son resistentes y livianos, para no sobrecargar las vigas del techo.

La estructura se diseña de manera que los paneles estén siempre orientados hacia el sur, para maximizar la energía absorbida.

En esta granja los criaderos están ubicados en sentido norte-sur como se observa en la siguiente figura.

Figura 41. Vista satelital granja Terrazas



La estructura se diseña de manera que los paneles tengan la inclinación requerida respecto a la horizontal y siempre este orientados hacia el sur. En la figura 42 se observa el CAD de la estructura propuesta.

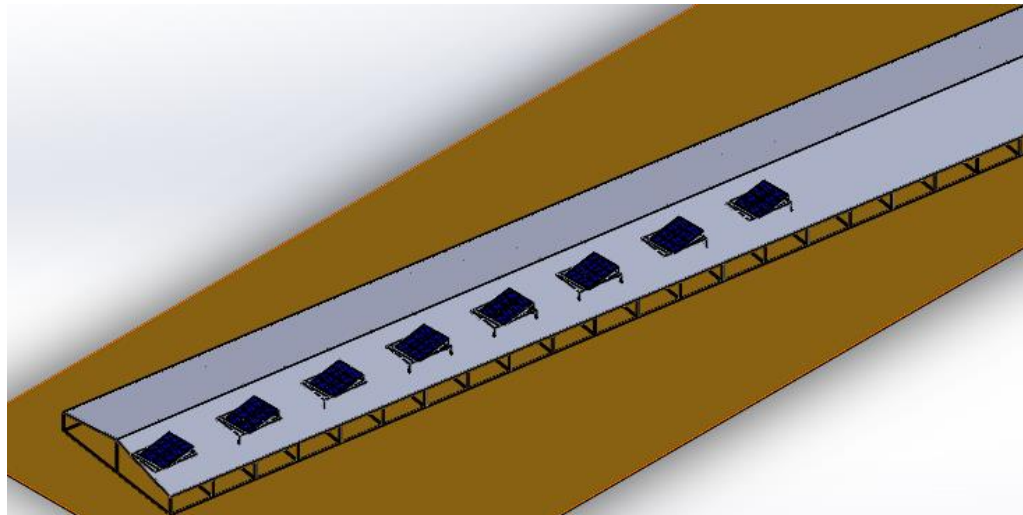
La estructura está apoyada sobre las vigas del criadero, para evitar recargar el techo del criadero y ocasionar daños.

Figura 42. CAD estructura bloques granja Terrazas



La distribución de bloques sobre el techo será como se muestra en la figura 43, en la cual se observa que existe una separación entre bloques, esto con el objetivo de facilitar el mantenimiento y evitar que la sombra de un bloque se proyecte en el siguiente.

Figura 43. Distribución de bloques granja Terrazas



4. DISEÑO DETALLADO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA FV UTILIZADO EN LA GRANJA ALPES

4.1 UBICACIÓN DE LA GRANJA

La granja ALPES, ubicada en la vereda cantabria del municipio de Lebrija Santander, con coordenadas exactas $7^{\circ}07'52.07''$ N, $73^{\circ}13'51.89''$ O, a una altura de 1005 msnm. La ubicación del criadero en el hemisferio norte, implica que los paneles deben estar orientados hacia el sur para captar la mayor cantidad de energía solar.

Los galpones están contruidos a dos aguas, constan de dos secciones de techo unidas en la mitad longitudinal de la estructura y se despliegan a los lados. El área superficial del techo es bastante grande, permitiendo que se instalen allí los paneles FV, ofreciendo ventajas como, aprovechamiento del espacio disponible, disminución de la temperatura interna del criadero debido a la absorción de la radiación solar, menor tiempo de ventilación.

Para determinar el ángulo entre el galpón N°1 y la línea del ecuador se utilizó una fotografía satelital tomada del software google maps.

Figura 44. Angulo respecto al ecuador granja Alpes



Este ángulo se define como φ , es el ángulo comprendido entre el galpón y el cateto B del triángulo rectángulo que se observa en la figura 44. Mediante el software

google maps, se tienen las medidas aproximadas de A y B, siendo respectivamente 47.5 m y 140 m.

$$\varphi = \arctan\left(\frac{47.5}{140}\right) = 18.7^\circ$$

4.2 GENERALIDADES

En esta granja el consumo energético máximo coincide con las horas de mayor radiación, lo que es una ventaja para el sistema fotovoltaico 'grid tie' que se piensa instalar. Los componentes principales de un sistema grid tie son

- Paneles FV
- Inversor
- Sistema de conducción
- Protecciones eléctricas

Como se mencionó en el capítulo anterior los paneles FV son el componente principal y por tanto requieren mayor análisis de selección. La cantidad de módulos FV a instalar será aquella que satisfaga los requerimientos energéticos del criadero a un costo mínimo.

Se requiere hacer un análisis de la correspondencia de los requerimientos energéticos instalados en el criadero con la capacidad de generación instalada de los paneles, la cual es dependiente de la radiación solar en la zona.

4.3 PERFIL DE RADIACION SOLAR HORARIA EN LA ZONA

El diseño de un sistema FV debe basarse en la disponibilidad de radiación solar de un día claro, ya que la consideración de días nublados anularía la perspectiva de utilizar energía solar FV para satisfacer los requerimientos del criadero.

4.3.1 Radiación solar de un día claro

El modelamiento de la radiación durante el día se modela a partir de la siguiente ecuación:

$$I_t = \frac{\cos(\theta_i)}{\cos(\theta_z)} * I_b + \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right] * I_d + \rho * \left[\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right] * (I_b + I_d)$$

Donde

I_t : radiación total en una superficie inclinada

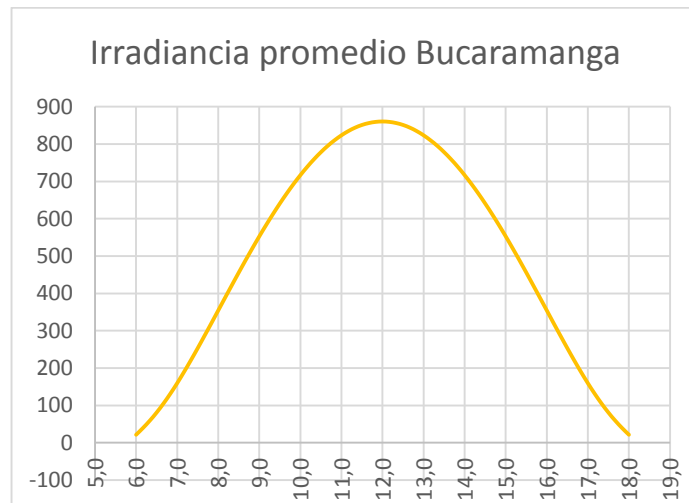
I_b : radiación directa sobre una superficie horizontal

I_d : radiación difusa

La forma en que inciden las diferentes radiaciones sobre una superficie inclinada se observa en la figura 30.

Los ángulos de incidencia θ_i y θ_z son variables en el día, por lo tanto la radiación total también lo será, a partir de las ecuaciones planteadas se obtiene el siguiente modelo de radiación en la zona.

Figura 45. Radiación diaria granja Alpes



4.4 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

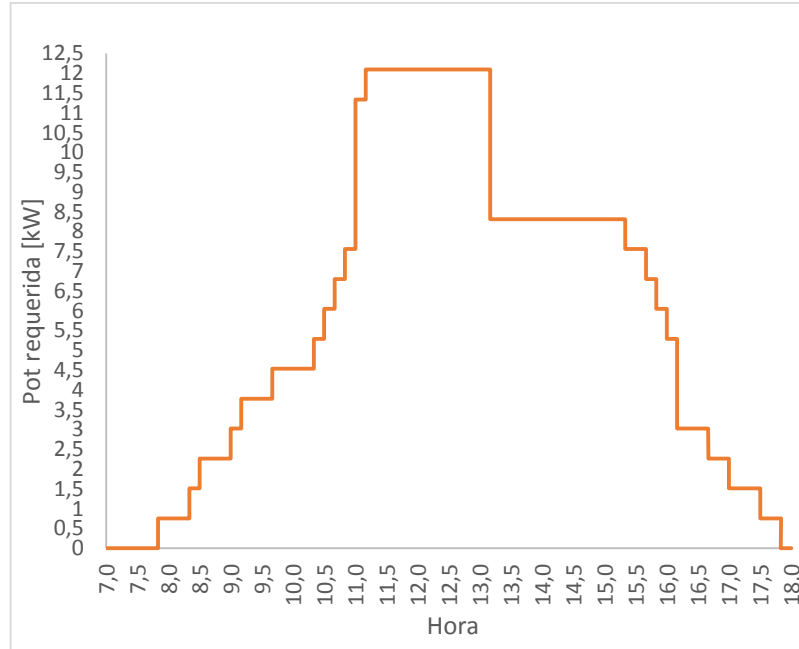
- Establecimiento de requerimientos: Construcción del perfil de carga del criadero
- Modelamiento de radiación total, modelamiento de potencia generada
- Optimización basada en costos: Determinación de la potencia adecuada a instalar a partir de los costos mínimos
- Selección del panel: Selección del panel y la conexión adecuada para cumplir los requerimientos de voltaje y corriente.
- Selección del inversor
- Selección de sistema de conducción
- Selección de protecciones eléctricas

4.5 ESTABLECIMIENTO DE REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

La energía requerida durante el día, se determina hallando el área bajo la curva de potencia instantánea; los equipos instalados en esta granja se encienden y apagan manualmente de acuerdo a las condiciones climáticas y la edad del pollo. Se registró la hora de arranque y apagado de los equipos durante la última semana del proceso de levante de pollos, periodo en que los requerimientos energéticos son máximos.

La información recopilada se tabulo y se graficó, como se muestra a continuación.

Figura 46. Perfil de carga galpón N°2 granja Alpes



Fuente: Autores

El cálculo de la energía se realiza mediante integración numérica de la curva de potencia

$$E_{req} = \sum_{i=1}^h Pot_{inst} * \Delta t = 64.388 [kWh]$$

Donde

E_{req} : energía requerida por la instalación [kWh]

Pot_{inst} : potencia instantánea requerida [kW]

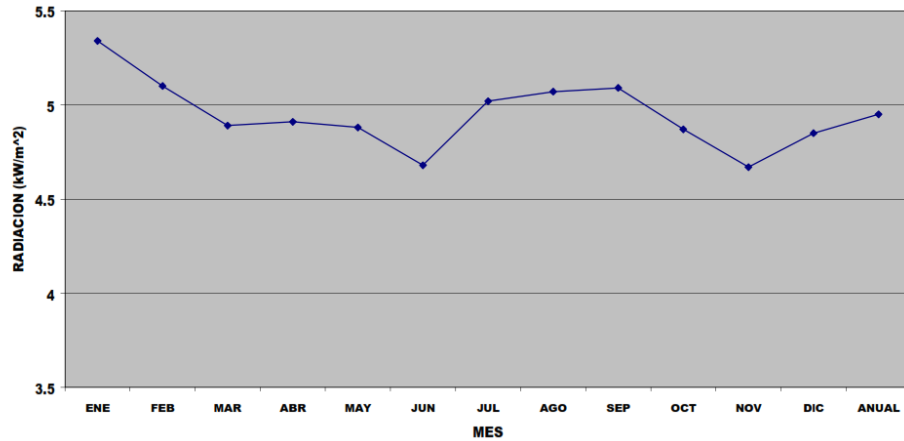
Δt : lapso de tiempo = 1/6 [h]

4.6 MODELAMIENTO DE RADIACION TOTAL Y GENERACION DE POTENCIA

El modelo de radiación día se realizó para el mes con menor radiación promedio, que en este caso es junio, como se observa en la gráfica, los datos que permiten

construir esta gráfica se tomaron en el aeropuerto internacional Palonegro, motivo por el cual se aceptan para el municipio de Lebrija.

Figura 47. Radiación mensual Bucaramanga



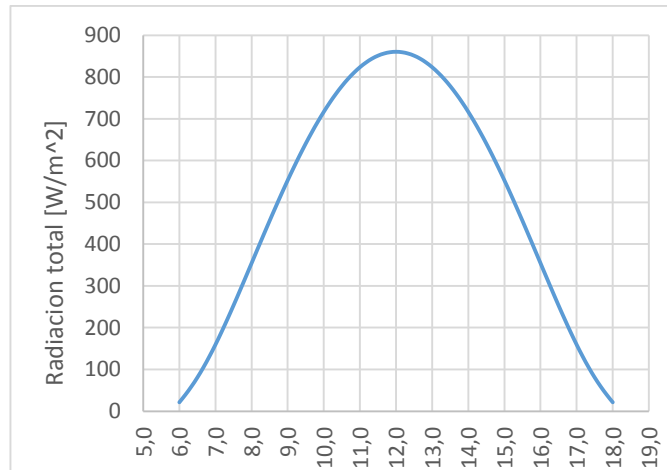
Fuente: IDEAM

Conocida la declinación δ , la latitud ϕ , la reflectividad ρ , se varía la hora del día ω y se obtiene la curva característica de la radiación.

Se toma un valor de un parámetro llamado Tr que tiene en cuenta factores específicos de la región, como el relieve, el tiempo y otros factores aleatorios, y se realiza el procedimiento que se muestra en la figura 34.

La figura 48 permite visualizar el comportamiento de la radiación en la granja Alpes durante el día 15 del mes de junio.

Figura 48. Grafica radiación Lebrija



Realizando una regresión se obtiene un polinomio grado 4 que describe esta curva.

$$I_t = 3948.8427 - 1950h + 320.6h^2 - 19.95h^3 + 0.4155h^4 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

A partir del modelo de radiación, se obtiene el comportamiento del sistema FV durante el día.

$$Pot(t) = Pot_{pico} * N_{pan} * [1 - 0.004(T_{pan} - 25)] * 0.95 * \frac{I_t}{1000}$$

Donde

Pot_{pico} : potencia pico del panel = 100 W

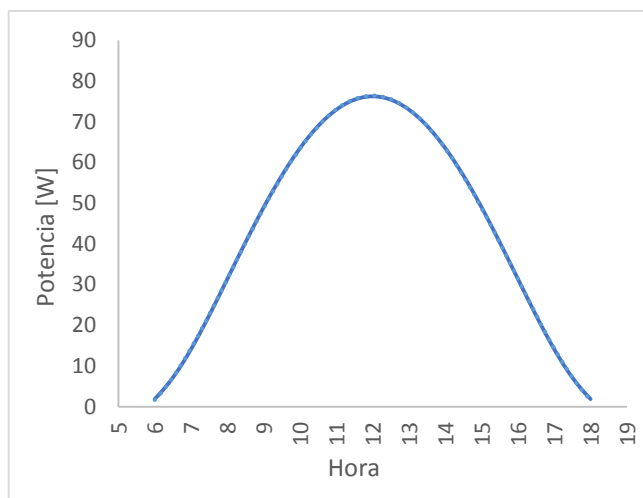
N_{pan} : número de paneles = 1

T_{pan} : Temperatura de la superficie del panel = 40°C

I_t : Radiación total en función del tiempo

Al realizar la gráfica se observa el siguiente comportamiento

Figura 49. Grafica potencia diaria módulo 100 w Lebrija



Fuente: Autores

Una vez modelado el comportamiento de generación de potencia a partir de un panel FV de 100 [W] se determina la cantidad óptima de paneles a instalar, de esta manera encontrar la potencia adecuada a instalar para que los costos sean mínimos.

El sistema “grid-tie” o conectado a red, ofrece una gran ventaja respecto a los sistemas independientes, permite funcionamiento ininterrumpido de los sistemas conectados, y la estabilidad energética de la red, en caso que el sistema de generación FV falle, o incumpla con las exigencias del sistema de ventilación y distribución de agua, esto además que el costo inicial disminuye por la ausencia de sistemas de acumulación, pero tiene un costo adicional, el costo de la energía consumida por la red en los momentos donde el sistema fotovoltaico no cumpla las exigencias.

4.7 OPTIMIZACION BASADO EN COSTOS

Conocido el perfil de consumo, se realiza una optimización de la potencia instalada, determinando el menor número de años de retorno de la inversión y el costo total

más bajo, es decir una optimización de los costos y el número de años de retorno de inversión en función de la potencia instalada.

En este capítulo se explicará cómo se realizó la optimización, y se dará la potencia determinada, posteriormente se explica detalladamente en el capítulo de análisis financiero de la granja Alpes.

El costo total del sistema grid tie está compuesto por los costos de operación y los costos de la inversión inicial.

$$C_{total} = C_{operacion} + C_{inicial}$$

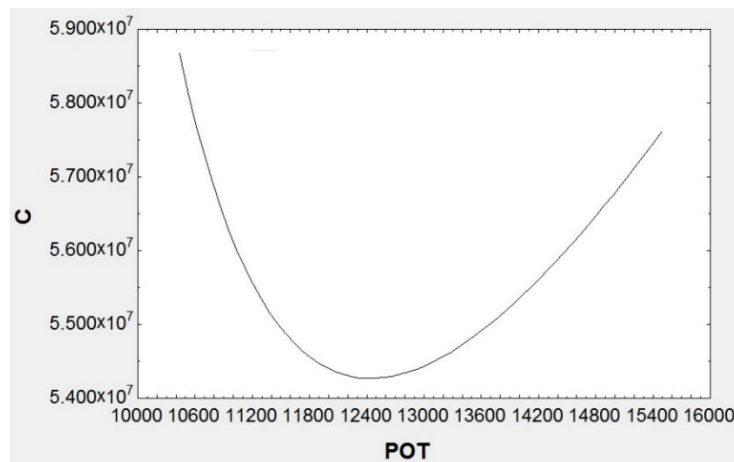
El costo total es dependiente de la potencia a instalar, por lo tanto se realizara un análisis con el fin de encontrar la potencia la cual genere el costo mínimo.

El costo inicial se determina a partir de la suma de cada uno de los costos de los componentes del sistema FV, paneles, inversor, protecciones, entre otros.

El costo de operación, es generado por el mantenimiento del sistema FV y el consumo de energía eléctrica de la red.

El proceso de optimización utilizado, se muestra en el diagrama de flujo de la figura 37.

Figura 50. Costo en función de potencia instalada granja Alpes



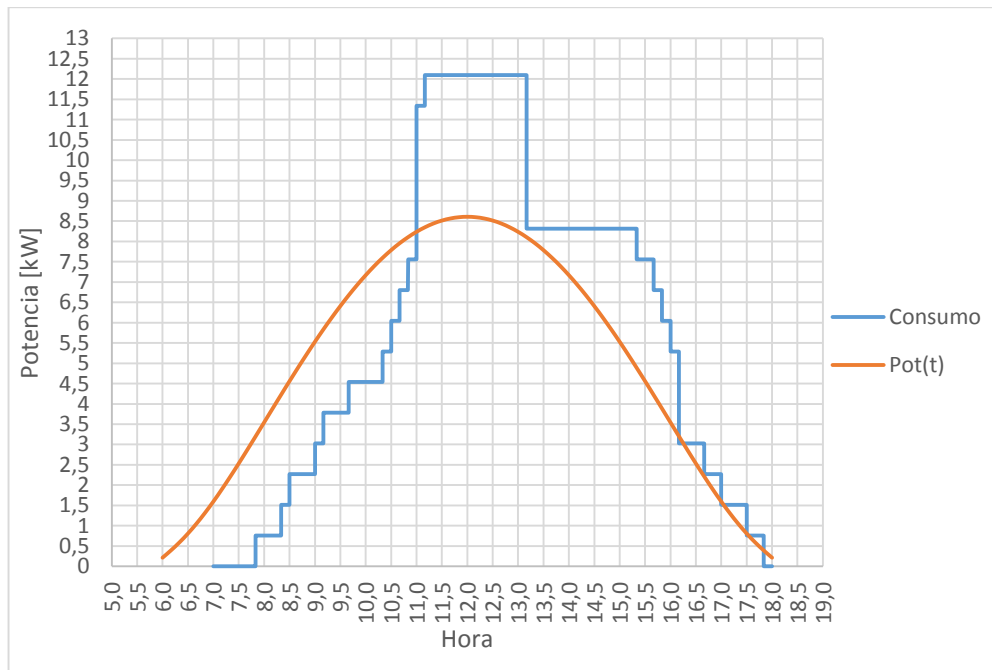
Fuente: Autores

En la figura 50 se muestra el costo total en función de la potencia instalada, el costo total es la suma de los costos del proyecto: costo inicial, costos a futuro como los costos de mantenimiento y los costos de la energía consumida de la red.

De esta grafica se puede sacar un valor de la potencia optima, arrojando el menor costo total, aproximadamente a los 12.4 [kW] de potencia instalada se presenta el menor costo de \$ 54'305.000 COP.

El sistema durante los primeros días de crianza del ave, requiere menos energía, los ventiladores operan ocasionalmente para retirar el amoniaco del ambiente y controlar la humedad dentro de la nave y se prenden aleatoriamente, por tanto esta potencia de 12.4 [kW], se le aplicara un factor del 90%, para que los primeros días no se desperdicie tanta energía, para los días critico este 10% sea suministrado por la red. De manera que la potencia instalada en paneles será de 11.2 [kW].

Figura 51. Correspondencia requerimientos y capacidad de generación granja Alpes



4.8 DISEÑO DETALLADO SISTEMA DE RECOLECCION DE ENERGIA

4.8.1 Selección tipo de panel

En la granja Alpes el área disponible para la instalación FV no es un factor determinante en la selección del tipo de panel. A partir del criterio económico y la disponibilidad en el mercado se elige instalar módulos policristalinos ya que para una misma potencia cuestan menos que los monocristalinos y son más accesibles.

4.8.2 Paneles en el mercado

Se presenta una tabla con los módulos policristalinos disponibles en el mercado:

Tabla 12. Módulos policristalinos granja Alpes

Yingli Solar	Q Cells	Up Solar
YL 180P	QPro 230	UP-M240P
YL 190P		
YL 230P	QPro 240	UP-M250P
YL 240P		
YL 250P	QPro 250	UP-M260P
YL 260P		

Para información detallada de estos paneles revisar tabla 8.

4.8.3 Agrupamiento en bloques

La instalación de los módulos se realiza agrupándolos en bloques, que van ubicados sobre una estructura de acero sujeta a las vigas del galpón, e inclinada en el ángulo que asegura mayor captación de energía.

Este conjunto de paneles permite jugar con la corriente y la tensión del sistema. Los bloques deben estar conformados por paneles iguales, asegurando las mismas características eléctricas, tensión y corriente, facilitado la selección del inversor y el correcto funcionamiento del sistema.

Se plantean dos opciones de bloques que se analizan a continuación

- Bloques constituidos por 6 paneles conectados en serie
- Bloques constituidos por 8 paneles conectados en serie

Mediante un proceso iterativo se selecciona el panel a utilizar y tipo de arreglo conveniente, se toman las características eléctricas nominales de los módulos, de manera que el sistema genere aproximadamente la energía calculada. Los resultados se muestran en la tabla 13

Tabla 13. Dimensionamiento del sistema FV granja Alpes

Entradas del sistema		
Tamaño del sistema [kW]	11,2	<i>Inserte la potencia instalada [kW]</i>
Panel	YL190P	<i>Selección el tipo de panel a utilizar</i>
Características Panel	190	<i>Potencia pico</i>
	14,7	<i>eficiencia</i>
	23,7	<i>V_{mpp}</i>
	8	<i>I_{mpp}</i>
	30,1	<i>V_{oc}</i>
	8,48	<i>I_{sc}</i>

Dimensiones del sistema		
Numero de Paneles	59,00	<i>Numero de paneles instalación</i>
Tipo de arreglo	6	<i>Seleccione el # de paneles por arreglo</i>
Características arreglo	142,2	<i>Voltaje</i>
	8	<i>Corriente</i>
Numero de arreglos	9,8333	<i>Numero de arreglos instalación</i>
	10,00	<i>Numero de arreglos instalación completos</i>
Numero de Paneles	60	<i>Número total de paneles requeridos</i>
Tamaño del sistema	11400	<i>Potencia total suministrada [kW]</i>

Como se observa en la tabla se utilizaran 60 paneles YL190P, conectados en 10 arreglos de 6 módulos cada uno, generando 11.4 [kW], 200 [w] por encima del calculado.

4.8.4 Conexión de los paneles

El empalme entre el sistema generador (paneles FV) y el sistema de inversión de corriente requiere que las condiciones de salida del sistema generador coincidan con las condiciones de entrada del sistema inversor, para ello se juega con la forma en cómo se conectan los paneles de manera que elevemos la tensión y corriente a las condiciones adecuadas.

Los paneles conectados en serie permiten la suma de los voltajes, manteniendo la intensidad constante, mientras que al conectarlos en paralelo la tensión se mantiene constante y la intensidad se suma.

Los módulos deben conectarse primero en serie, es decir en cada bloque todos los paneles se conectan de esta manera, luego estos bloques se conectan en serie o paralelo según las necesidades de voltaje y corriente.

La potencia del sistema es la sumatoria de todas las potencias, sin diferenciar si la conexión se realiza en serie o en paralelo.

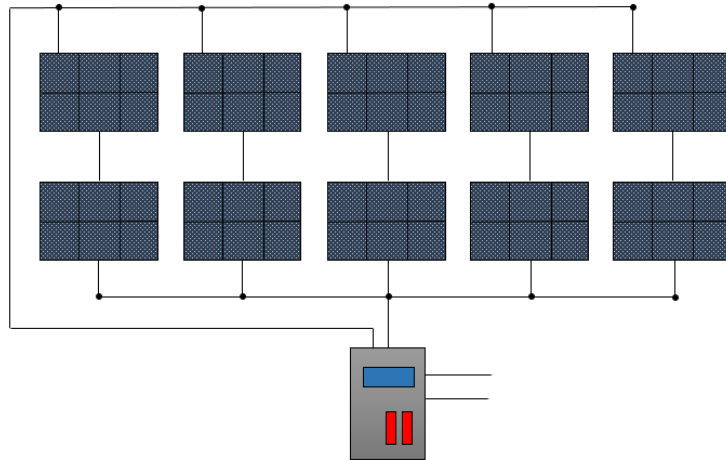
Los bloques planteados presentan las siguientes características eléctricas

$$V_{bloque} = V_{mmp} * \#Paneles = 142.2 [V]$$

$$I_{bloque} = I_{mmp} = 8 [A]$$

Los 10 bloques se organizan de la siguiente manera, dos bloques conectados en serie formando una columna, y se dispone de 5 columnas que se conectan en paralelo. Como se observa en la figura 52.

Figura 52. Conexión de los arreglos solares granja Alpes



Fuente: Autores

Al conectar los bloques de esta manera se obtiene las siguientes condiciones de entrada al inversor

$$V_{in} = 2 * V_{bloque} = 284.4 [V]$$

$$I_{in} = 4 * I_{bloque} = 40 [A]$$

De esta manera se satisfacen los requerimientos de entrada de corriente y tensión para los inversores 'grid tie' más comunes en el mercado.

4.9 SELECCIÓN DEL INVERSIOR

Se realiza una base de datos con los inversores monofásicos disponibles en el mercado

Tabla 14. Inversores grid tie granja Alpes

MONOFASICOS				
	FRONIUIS IG PLUS		SUNNY BOY	
	10.0-1 Uni'	11.4-1 Uni	Sunny 9000TL	Sunny 10000TL
DATOS DE ENTRADA				
Potencia pico	8500-11500 [W]	9700-13100 [W]	11250 [W]	12500 [W]
Rango de Vmpp	230-500 [V]		300-480 [V]	
Voltaje de arranque DC	245 [Vdc]		360 [Vdc]	
Corriente nominal de entrada	27,6 [A]	31,4 [A]	31 [A]	35 [A]
Corriente maxima	46,7 [A]	53,3 [A]		
Numero de terminales DC	6		6	
Max corriente por terminal	20 [A]		31 [A]	35 [A]
DATOS DE SALIDA				
Potencia nominal	9995 [W]	11400 [W]	9000 [W]	10000 [W]
Voltaje nominal de salida	208 / 240 / 277 [V]		208 [V]	
Rango de operación de voltaje	208 [V]	183-229 [V]	208 [V]	183-229 [V]
	240 [V]	211-264 [V]	240 [V]	211-264 [V]
	277 [V]	244-305 [V]	277 [V]	244-305 [V]
Maxima corriente de salida	208 [V]	48,1 [A]	208 [V]	54,8 [A]
	240 [V]	41,7 [A]	240 [V]	47,5 [A]
	277 [V]	36,1 [A]	277 [V]	41,2 [A]
Frecuencia nominal de salida	60 [Hz]		60 [Hz]	
Rango de frecuencia	59,3 - 60,5 [Hz]		59,3 - 60,5 [Hz]	
Distorsion armonica	< 3%		< 4%	
Factor de potencia	1		1	
INFORMACION GENERAL				
Eficiencia maxima	96,20%		98,30%	
Eficiencia de operación	208 [V]	95%	208 [V]	95,50%
	240 [V]	95,50%	240 [V]	96%
	277 [V]	96%	277 [V]	96%
Consumo en parada	< 1 [W]		< 0,25 [W]	
Consumo en operación	22 [W]			
Enfriamiento	Ventilacion forzada		Opticool	
Dimensiones	43,43 x 122,17 x 24,38 [cm]		47 x 61,5 x 24 [cm]	
Peso	49[kg]		40 [Kg]	

Los inversores conectados a la red, requieren un coeficiente de distorsión armónica inferior al 3%, para mantener la calidad de la energía.

Se selecciona el inversor Fronius IG plus 11.4-1 Uni, porque las características de la energía entregada por el sistema FV son adecuadas a las condiciones de operación del inversor, adicionalmente la tensión e intensidad a la salida están dentro del rango de funcionamiento de los equipos instalados.

Las condiciones de entrada requeridas por el inversor se satisfacen al acomodar los paneles en los bloques propuestos y luego conectar los bloques como se mostró anteriormente.

El inversor Fronius dispone 6 terminales para conectar fuentes de voltaje dc, es decir al conectar las 5 columnas de bloques, hay una entrada libre en caso que se requiera ampliar el sistema.

Los inversores Fronius, permiten seleccionar las características eléctricas de salida, en este caso se configura tensión e intensidad nominales de 208 V y 54.8 A respectivamente. Los motores instalados en la nave trabajan a 220 V, valor que se encuentra dentro del rango operación de voltaje de salida del inversor.

La instalación consume bastante corriente debido a que los motores de inducción, durante el arranque absorben 6 veces la intensidad nominal. Estos picos de corriente serán suministrados por la red, ya que la intensidad a la salida del inversor no es suficiente para los encender los últimos 8 ventiladores.

4.10 DISEÑO DETALLADO SISTEMA DE CONDUCCION

La corriente del circuito se debe calcular como se muestra a continuación

1. Circuitos fuente fotovoltaica: es la corriente de cortocircuito de los bloques instalados
2. Circuito de salida del inversor: corriente nominal de salida del inversor

4.10.1 Calculo fuente fotovoltaica

Los módulos de un mismo bloque están conectados en serie, y se unen dos bloques en serie para formar una columna, cada una de estas columnas se conecta al inversor en las diferentes entradas DC del inversor.

Por ende se diseña a partir de la corriente de corto circuito de los módulos, que se encuentra en la hoja de datos del panel.

$$I_{sc}=8,48 [A]$$

Según la norma NTC 2050, la sección 690 la corriente de los conductores se debe ajustar a un valor mínimo de 125% la corriente que genera el sistema.

$$I = 1.25 * I_{sc} = 10.6 [A]$$

Teniendo en cuenta que la regulación de tensión debe ser inferior al 1.5% se selecciona el calibre del conductor.

$$\Delta V = V_{bloque} * 0.015 = 4.266 [V]$$

La relación matemática para determinar la sección transversa del cable se deduce a partir del criterio de caída de tensión

$$S = \frac{L * I}{\Delta V * \gamma}$$

Donde

L: Longitud del conductor

I: Capacidad de corriente del conductor = 10.5 [A]

ΔV: Caída de tensión = 5.31 [V]

γ: Conductividad del cobre (a 70°C) = 46.82 [m/Ωmm²]

La longitud del conductor del circuito fotovoltaico se determina sumando las distancias recorridas hasta el bloque más lejano y añadiendo un tramo extra de cable como seguridad.

Entre el último bloque y el techo del cuarto de máquinas hay una distancia de 18.27 m, que se aproxima a 19 m

El galpón tiene aproximadamente 4 m de altura, deben tenerse en cuenta ya que el inversor se ubica cerca al piso. Se adicionan 5 m extra de cable para tener en cuenta, cambios de dirección y demás imprevistos en la trayectoria

$$L = 19 + 1 + 4 + 5 = 29 \text{ [m]}$$

La sección transversal del cable que conecta los bloques de paneles al inversor es

$$S = \frac{29 * 10.6}{4.266 * 46.82} = 1.54 \text{ [mm}^2\text{]}$$

De la tabla 310-16 de la NTC 2050, se selecciona un conductor que tenga área mayor y soporte corriente superior a las calculadas. Se selecciona un conductor con área de 2.05 mm², que resiste una intensidad máxima de 15 A, este cable tiene un calibre #14AGW.

Se calcula el porcentaje de regulación de tensión obtenida con el cable seleccionado

$$\% \Delta V = \frac{\frac{L * I}{\gamma * S}}{V - \frac{L * I}{\gamma * S}} * 100 = \frac{\frac{29 * 10.6}{46.82 * 2.05}}{284.4 - \frac{29 * 10.5}{46.82 * 2.05}} * 100 = 1.14\%$$

4.10.2 Calculo del cable salida del inversor

La corriente que circula por los conductores que salen del inversor es

$$I = \frac{P}{V * \cos \phi}$$

Donde

P: Potencia de la instalación fotovoltaica = 11040 [W]

V: Voltaje de fase a la salida del inversor = 220 [V]

Cos(φ): Factor de potencia del inversor = 1

Calculando

$$I = \frac{11400}{220} = 51.82 \text{ [A]}$$

La capacidad de corriente del conductor se debe corregir

$$I = 1.25 * 30.64 = 64.77 \text{ [A]}$$

Se selecciona un conductor de calibre #6AWG con una sección transversal de 13.29 mm², que a 75°C soporta una corriente de 65 A

4.11 SELECCIÓN DE PROTECCIONES ELECTRICAS

4.11.1 Puesta a tierra

- Circuito CC: la selección del tipo de electrodo y el punto de conexión se realiza siguiendo recomendaciones de la norma NTC 2050, sección 690 literal E, y de NEMA.

La puesta a tierra se puede conectar en cualquier punto del circuito de salida FV, lo más cerca a la fuente para proteger contra las subidas de tensión producidas por los rayos.

Por facilidad en la instalación se utiliza un electrodo de barra de acero con recubrimiento en cobre. La norma recomienda un sección transversal mínima de 19 mm y una longitud superior a 2.4 m.

La sección 250-92 define el calibre del conductor de puesta a tierra que para corriente continua no debe ser inferior a 8.36 mm^2 (8AGW) en caso que sea de cobre.

- Circuito CA: el circuito que conecta el inversor con la red eléctrica lleva una puesta a tierra, se utiliza un electrodo de barra de acero con recubrimiento de cobre. El calibre del conductor de la puesta a tierra se determina a partir de la tabla 250-94 de la NTC 2050.

A partir de la sección transversal del mayor conductor del circuito CA, se determina la sección transversal del conductor del electrodo. En este caso el área del mayor conductor es de 13.29 mm^2 , por lo tanto se utiliza un conductor de 8.36 mm^2 para el electrodo puesto a tierra.

4.11.2 Protecciones Corriente directa

La NTC 2050 en la sección 690-9, dicta recomendaciones para la protección de los circuitos de los sistemas FV.

- Cortó circuito y sobre corriente: la norma NTC en la sección 240-6 da los parámetros de selección y las corrientes normalizadas de los fusibles para aplicación de baja tensión en CC. La capacidad del fusible se determina a partir de la siguiente relación.

$$I_{nom} < I_{fusible} < I_{max}$$

Donde

I_{nom}: Corriente nominal del bloque = 8 [A]

I_{max}: Corriente máxima del conductor = 10.6 [A]

Se selecciona instalar fusibles normalizados de 10 [A]

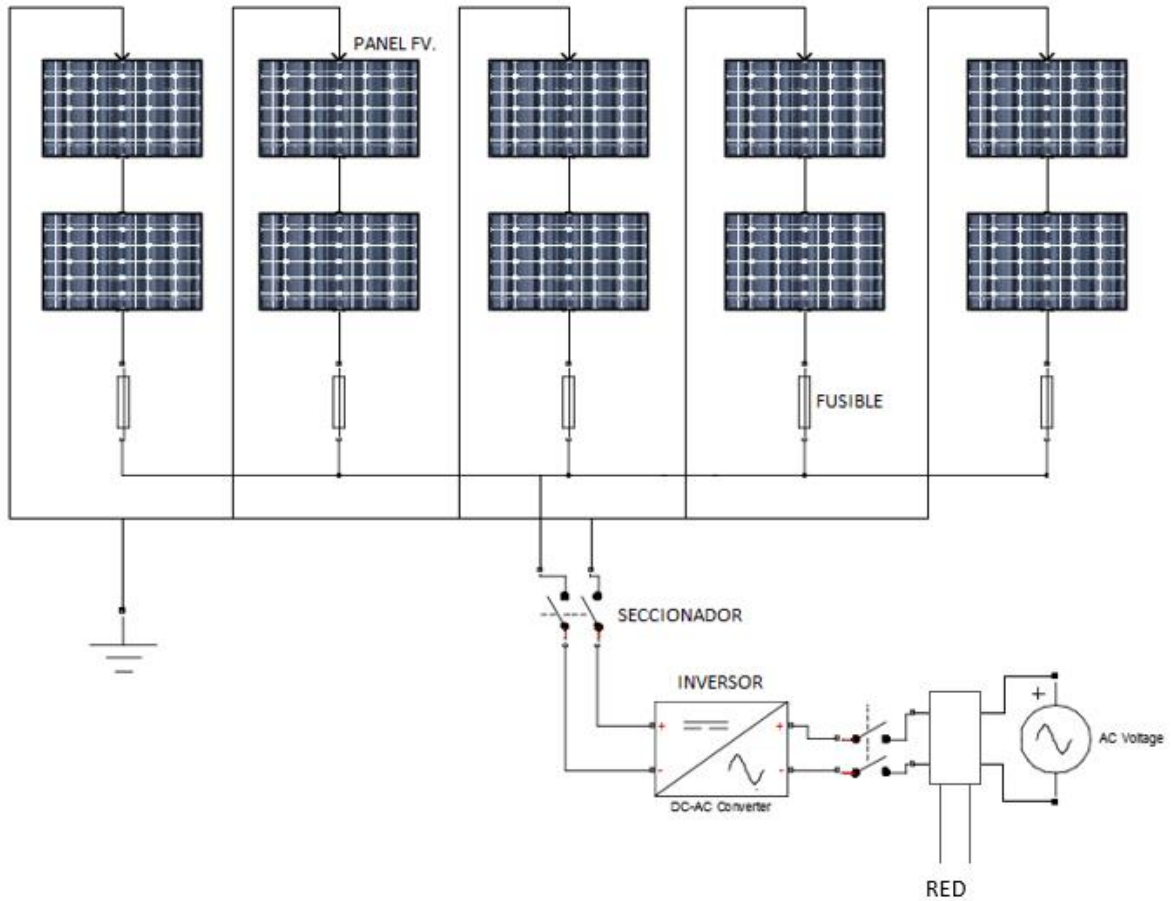
- Para desconectar los elementos y realizar tareas de mantenimiento y revisión se instalan seccionadores con capacidad de 12 [A]

4.12 TOPOLOGIA DEL SISTEMA

En la figura 53 se establece la conexión del sistema fotovoltaico. Cuenta con los elementos básicos exigidos en la NTC 5549 para sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

- ✓ Paneles fotovoltaicos
- ✓ Sistemas de protección DC
- ✓ Sistemas de protección AC
- ✓ Seleccionadores
- ✓ Inversor

Figura 53. Topología sistemas FV granja Alpes



Cada bloque consta de 6 paneles de 190 Watts, conectados en serie, esto para obtener la corriente y el voltaje deseado en el inversor.

Se protege cada bloque de paneles con fusibles, para mayor seguridad, que en caso de que un bloque genere el daño, solo ese bloque sea afectado.

El seleccionador principal permite desconectar el sistema de paneles del resto del sistema para labores de mantenimiento y limpieza o en casos de reparación.

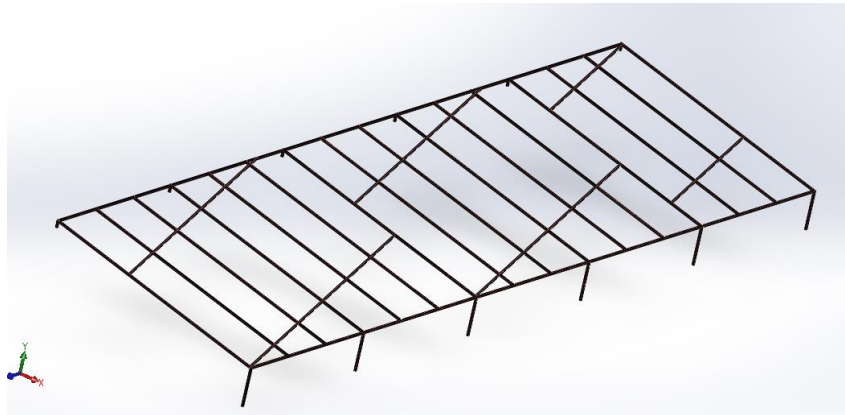
El interruptor magnetotérmico brinda la protección AC a sobrecargas y además funciona como interruptor principal para desconectar la corriente alterna del sistema.

4.13 ESTRUCTURA

En esta granja la estructura se diseña de manera que se satisfagan los ángulos requeridos, es decir la inclinación respecto a la horizontal y el ángulo que se forma respecto al sur para garantizar la máxima absorción energética.

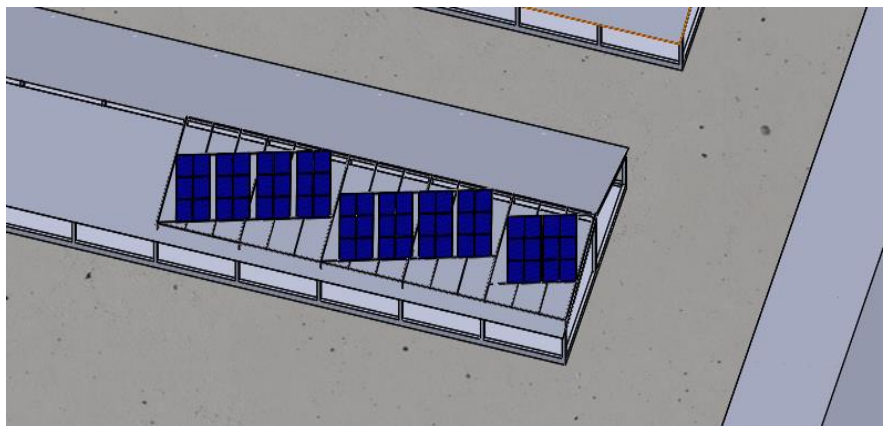
El diseño propuesto para la estructura se muestra en la figura 54, se realizó el CAD mediante el software Solidworks.

Figura 54. CAD estructura soporte bloques granja Alpes



La distribución de los bloques sobre el techo del criadero se muestra en la siguiente figura.

Figura 55. Distribución de los bloques granja Alpes



5. DISEÑO DETALLADO DEL SISTEMA FV UTILIZADO EN LA GRANJA BOSQUE

5.1 UBICACIÓN

La granja criadero EL BOSQUE, ubicada en la vereda cantabria del municipio de Lebrija, Santander, con coordendas exactas $7^{\circ}07'45.40''$ N, $73^{\circ}13'14.36''$ O, a una altura de 1026 msnm.

La posición geográfica de la granja por encima de la línea del ecuador, indica que los paneles se deben orientar hacia el sur, es decir que la normal a la superficie del módulo está orientada hacia el hemisferio sur, de esta manera se aprovecha la mayor cantidad de energía solar, ya que la incidencia de la radiación solar en esta latitud será por el hemisferio sur.

Similar a los galpones de la granja Alpes, en esta granja los criaderos están construidas a dos aguas, unidas en la mitad longitudinal de la estructura, el área de los techos es bastante grande para instalar el generador requerido por la instalación.

Los galpones tienen una inclinación respecto a la línea ecuatorial, precisar este ángulo es fundamental para construir la estructura soporte adecuada. La determinación de este ángulo se realizó con ayuda del software de fotografía satelital google maps.

Figura 56. Angulo respecto al ecuador granja Bosque



Estos ángulos ϕ_1 y ϕ_2 , son respectivamente los ángulos formados entre el galpón y el lado B y el galpón y lado C. mediante el software google maps se obtienen las medidas aproximadas de cada uno de los lados, en metros.

$$A=13.68$$

$$B=47.4$$

$$C=30.87$$

$$D=45.60$$

Es decir

$$\phi_1 = \arctan\left(\frac{A}{B}\right) = 16.09^\circ$$

$$\phi_2 = \arctan\left(\frac{D}{C}\right) = 55.90^\circ$$

Este proyecto se enfoca en el galpón N°2, que es el de más grande y por tanto los requerimientos energéticos son mayores.

5.2 GENERALIDADES

En esta granja se requiere instalar un sistema de ventilación, de esta manera alcanzar la temperatura objetivo requerida por las aves para maximizar su potencial de crecimiento y disminuir la tasa de mortalidad por criadero.

Como se mencionó en capítulos anteriores, el sistema de ventilación requiere mayor energía en las horas que la temperatura ambiente es elevada, coincidiendo con las horas de mayor radiación, lo que supone una ventaja para los sistemas FV.

Los requerimientos energéticos y la falta de infraestructura eléctrica adecuada son razones para decidir diseñar un sistema fotovoltaico autónomo en esta granja. El correcto funcionamiento de un sistema FV independiente, depende del máximo aprovechamiento de la energía disponible.

Se requiere minimizar los consumos energéticos, satisfaciendo las condiciones ambientales requeridas por la parvada, por lo tanto se diseñara un control continuo para el sistema de ventilación y así utilizar la menor cantidad de energía.

5.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

- Establecimiento de consumo energético: optimización del consumo energético
- Establecimiento de control de velocidad de los ventiladores
- Dimensionamiento del sistema recolector
- Selección del regulador de carga
- Selección del sistema de acumulación
- Selección del inversor
- Selección de sistema de conducción
- Selección de protecciones eléctricas

5.4 ESTABLECIMIENTO DE CONSUMO ENERGETICO

El éxito de una instalación FV radica en el consumo adecuado de la energía ofrecida. El usuario debe eliminar consumos innecesarios, los equipos trabajar a condiciones requeridas por el proceso.

El galpón N°2 de la granja no cuenta con sistema de ventilación, acarreado consecuencias como, tasa de mortalidad elevada respecto a otras granjas, aves de menor peso debido a la disminución en el consumo de alimento, lo que se refleja en pérdidas monetarias para la empresa.

La ventilación es la herramienta más importante de manejo del ambiente del galpón para obtener el máximo rendimiento de las aves, su principal objetivo es el manejo de la temperatura, adicionalmente reduce la humedad cuando es demasiado elevada y evita acumulación de amoniaco en el ambiente.

En cada etapa de desarrollo existe una “zona de confort térmico” en la que el ave utiliza mejor la energía del alimento, por encima de sus necesidades metabólicas, para aumentar de peso. Esta temperatura se conoce como “temperatura objetivo” y cambia diariamente durante el periodo de crecimiento, es dependiente de la temperatura de bulbo seco, de la humedad relativa y de la edad del ave.

Pequeñas diferencias de temperatura tienen un efecto importante en las ganancias del avicultor. La figura 57 muestra la diferencia en centavos de dólar por ave. Durante la fase de crianza el rendimiento de las aves se ve más afectado por enfriamiento, después de esta fase se ve afectado por el calor.

Figura 57. Costo de temperatura objetivo equivocadas



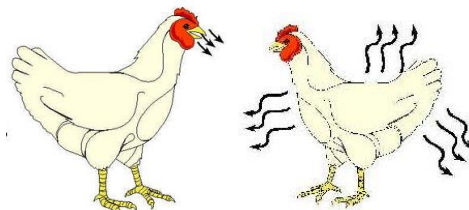
Fuente: Aviagen

Las aves transforman el alimento en energía necesaria para su metabolismo y crecimiento, pero no son 100% eficientes pues generan calor y humedad. Generalmente los pollos producen 3.22 [W/kg] de calor y 0.1055 [L/kg] de humedad. Si no se regula la temperatura y la humedad dentro del criadero estas se elevarán ocasionando los problemas mencionados.

Las aves eliminan el exceso de calor mediante dos mecanismos de transferencia de calor:

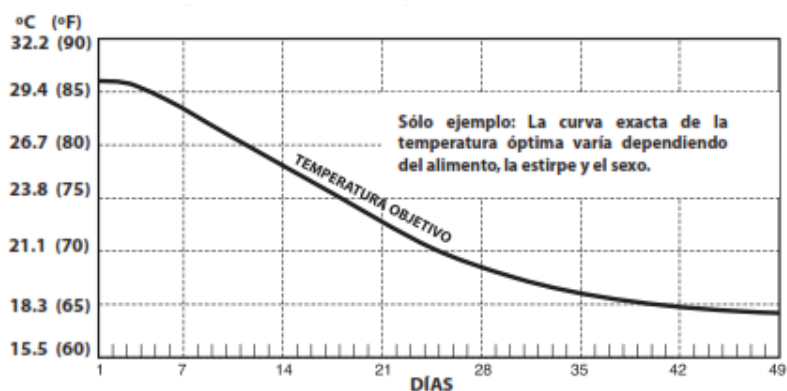
- Transferencia mediante calor sensible, el aire que circula alrededor de los animales recoge el calor y lo transfiere al ambiente.
- Transferencia mediante calor latente, si el primer mecanismo de transferencia de calor es insuficiente las aves pierden calor a través de la respiración, empiezan a jadear, obteniendo así un enfriamiento evaporativo.

Figura 58. Mecanismos de eliminación de calor en el ave



La temperatura objetivo cambia diariamente durante el periodo de crecimiento y desarrollo, por ello se debe controlar el sistema de ventilación para mantenerla en un valor adecuado. En el caso de pollos de engorde, la temperatura óptima generalmente comienza cerca de los 32.2°C el día 1, para ir bajando gradualmente hasta cerca de 21.1°C la sexta semana. La temperatura objetivo es específica para cada estirpe de pollo, varía con el alimento, el sexo del ave; el encargado de la nave es quien determina la temperatura efectiva objetivo.

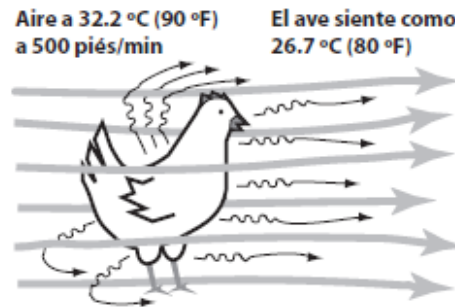
Figura 59. Temperatura objetivo



Fuente: Aviagen

El objetivo principal de la ventilación es mantener la temperatura objetivo constante en el transcurso del día.

Figura 60. Efecto viento sobre Temperatura



Una de las formas de alcanzar la temperatura objetivo, es el enfriamiento por viento, en este método se utiliza la velocidad del viento para retirar el calor generado por el pollo y además recircular el aire con la humedad producida por el ave. Este método consiste en circular una corriente de aire por el pollo, figura 60, mediante ventiladores axiales, aumentando el coeficiente de transferencia de calor convectivo y así retirar mayor calor, con esto se garantiza una temperatura efectiva o una sensación térmica adecuada para el ave.

La sensación térmica depende de la velocidad del viento, la humedad del aire y la temperatura ambiente, lo ideal es garantizar la velocidad del viento al ave de forma que la temperatura efectiva o de sensación térmica sea igual a la temperatura objetivo, y que esta última sea constante durante el día.

$$Vel_{air} = f(T_{amb}, HR, T_{obj})$$

Donde

T_{amb}: Temperatura ambiente (Bulbo seco)

HR: Humedad Relativa

T_{obj}: Temperatura objetivo

5.4.1 Modelamiento de la temperatura y la humedad reales

La temperatura ambiente y la humedad relativa varían de acuerdo a la hora y las condiciones meteorológicas de la zona. Dado que para garantizar la temperatura

objetivo en los criaderos se requiere el comportamiento de estas variables, se realizó un estudio estadístico de datos históricos tomados por el IDEAM con el objetivo de construir el modelo de temperatura ambiente y humedad relativa diarias promedio.

En la figura 61 se observa el comportamiento de la temperatura ambiente diaria promedio en la zona donde está ubicada la granja Bosque, mientras en la figura 62 se muestra la variación de la humedad relativa a lo largo del día.

Figura 61. Temperatura ambiente diaria Lebrija

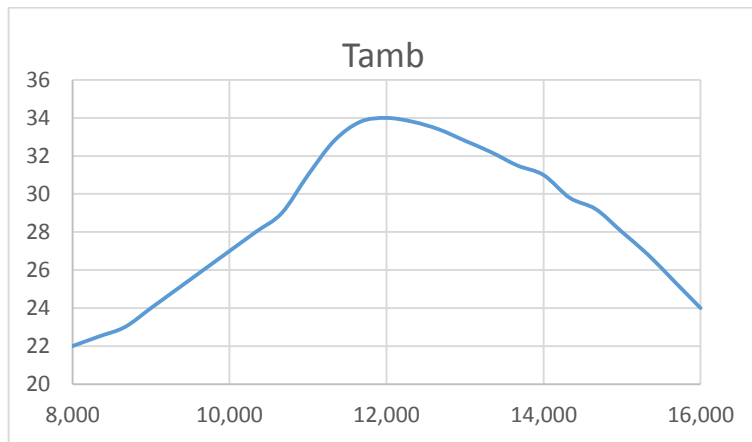
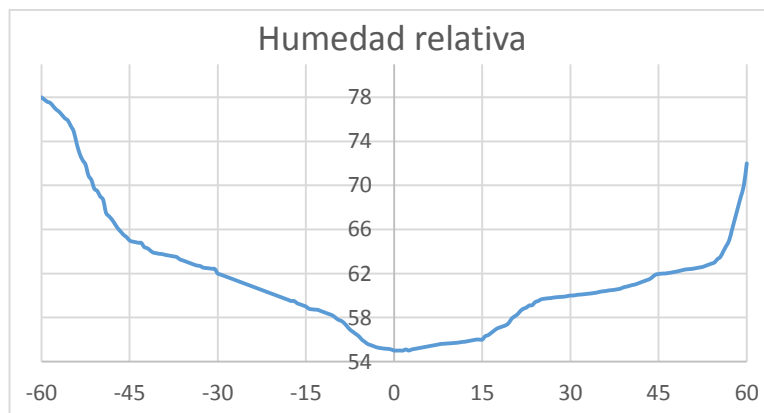


Figura 62. Humedad relativa diaria Lebrija



5.4.2 Modelamiento matemático de la temperatura ambiente y la humedad relativa

La necesidad de cumplir con la temperatura objetivo implica el conocimiento de la temperatura ambiente y la humedad relativa, por lo tanto a partir de los modelos construidos con base en datos reales se obtendrán relaciones matemáticas que se ajusten al comportamiento de las variables.

Mediante el software EES, se realizaron regresiones polinómicas que se asemejan al modelo real de la temperatura ambiente y la humedad relativa.

- Temperatura ambiental: se realizan dos regresiones que se ajustan mejor al comportamiento de la curva, la primera para la mañana hasta las 12 m y la segunda a partir de mediodía hasta las 4 pm.

```
if omega<=0
```

```
Tamb=3.39511908E+01-2.61649700E-01*omega-6.47773401E-02*omega^2-3.17304210E-03*omega^3-7.35263687E-05*omega^4-8.15638644E-07*omega^5-3.45373237E-09*omega^6;
```

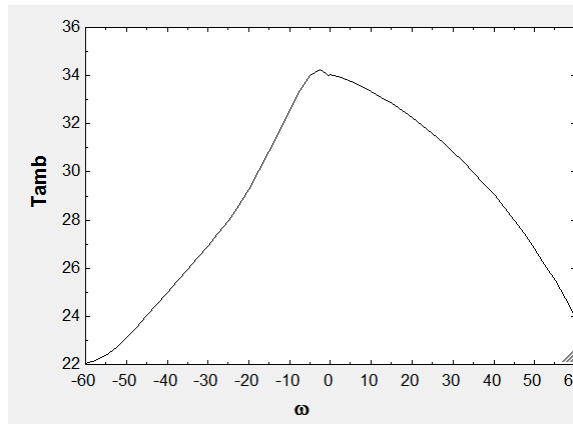
```
else
```

```
Tamb=3.40389140E+01-4.53825586E-02*omega-2.69155354E-03*omega^2+3.13451255E-05*omega^3-3.42794460E-07*omega^4;
```

```
end
```

Figura 63. Grafica modelamiento matemático temperatura ambiente granja

Bosque



Fuente: Autores

- Humedad relativa: se realizan dos regresiones que se ajustan mejor a la curva, la primera de 8 am hasta las 12 m y la segunda a partir de mediodía hasta las 4 pm.

```
if omega<=0
```

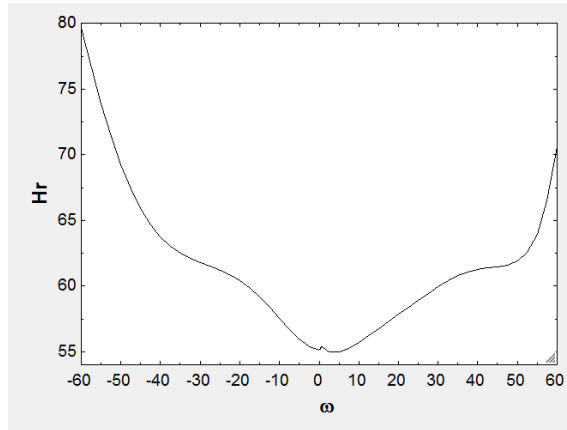
```
Hr=5.51316314E+01-3.00099926E-03*omega+4.12530026E-02*omega^2+2.11408911E-03*omega^3+3.98315820E-05*omega^4+2.36360433E-07*omega^5;
```

```
else
```

```
Hr=5.54725056E+01-3.24488923E-01*omega+5.96794834E-02*omega^2-3.43854185E-03*omega^3+1.09480717E-04*omega^4-1.80869642E-06*omega^5+1.17898446E-08*omega^6;
```

```
end
```

Figura 64. Grafica modelamiento matemático humedad relativa granja Bosque



Fuente: Autores

A partir del conocimiento del comportamiento de la temperatura ambiente, la humedad relativa, se modela el comportamiento de la velocidad del viento entregado por los ventiladores axiales durante el día que satisfaga la condición de temperatura objetivo requerida en un día particular.

5.4.3 Modelamiento velocidad del viento

La empresa Cobb-Vantress, compañía de pesquisa avícola, envuelta en el desarrollo, producción y venta plantel de reproductoras de pollo de engorde, en su manual “Guía del Manejo de Pollo de Engorde” sintetiza una serie de estudios en los que relaciona la temperatura ambiente, la humedad relativa y la velocidad del aire con el fin de encontrar la temperatura objetivo, se realizaron diferentes combinaciones de estas variables y los resultados se muestran en la tabla 15.

Tabla 15. Temperatura objetivo a diferentes condiciones

Temp °F	Temp °C	Humedad Relativa %				Velocidad de Aire m/s					
		30%	50%	70%	80%	0 m/s	0,5 m/s	1,1 m/s	1,5 m/s	2,0 m/s	2,5 m/s
95	35	30%				35	31,6	26,1	23,8	22,7	22,2
95	35		50%			35	32,2	26,6	24,4	23,3	22,2
95	35			70%		38,3	35,5	30,5	28,8	26,1	25
95	35				80%	40	37,2	31,1	30	27,2	25,2
90	32,2	30%				32,2	28,8	25	22,7	21,6	20
90	32,2		50%			32,2	29,4	25,5	23,8	22,7	21,1
90	32,2			70%		35	32,7	28,8	27,2	25,5	23,3
90	32,2				80%	37,2	35	30	27,7	27,2	26,1
85	29,4	30%				29,4	26,1	23,8	22,2	20,5	19,4
85	29,4		50%			29,4	26,6	24,4	22,8	21,1	20
85	29,4			70%		31,6	30	27,2	25,5	24,4	23,3
85	29,4				80%	33,3	31,6	28,8	26,1	25	23,8
80	26,6	30%				26,6	23,8	21,6	20,5	17,7	17,7
80	26,6		50%			26,6	24,4	22,2	21,1	18,9	18,3
80	26,6			70%		28,3	26,1	24,4	23,3	20,5	19,4
80	26,6				80%	29,4	27,2	25,5	23,8	21,1	20,5
75	23,9	30%				23,8	22,2	20,5	19,4	16,6	16,6
75	23,9		50%			23,9	22,8	21,1	20	17,7	16,6
75	23,9			70%		25,5	24,4	23,3	22,2	20,0	18,8
75	23,9				80%	26,1	25	23,8	22,7	20,5	20
70	21,1	30%				21,1	18,9	17,7	17,2	16,6	15,5
70	21,1		50%			21,1	18,9	18,3	17,7	16,6	16,1
70	21,1			70%		23,3	20,5	19,4	18,8	18,3	17,2
70	21,1				80%	24,4	21,6	20	18,8	18,8	18,3

Fuente: Guia de Manejo del Pollo de Engorde

Cobb-Vantress recomienda que la información mostrada en la tabla se utilice con aves mayores de 25 días y sin plumaje completamente desarrollado. Una vez los pollos están completamente emplumados y se ha pasado la etapa de crecimiento la velocidad del aire debe ser capaz de retirar todo el calor generado y mantener la humedad adecuada.

Durante la etapa de crecimiento, primeros 25 días de la vida del ave, se utiliza ventilación mínima con el objetivo de circular el aire, entrar aire fresco al criadero,

eliminar amoníaco y otros contaminantes, mas no con el fin de reducir la temperatura de las aves, esto las perjudica. La ventilación dirigida a la eliminación de calor y alcanzar la temperatura objetivo se utiliza a partir del día 25.

A partir de la información presentada en la Tabla 15, se genera una ecuación que permite calcular la velocidad del viento como función de la T_{amb} , la Hr y la temperatura objetivo requerida. Como se observa la T_{amb} y la Hr son funciones del tiempo, por ende la velocidad del aire también lo sera.

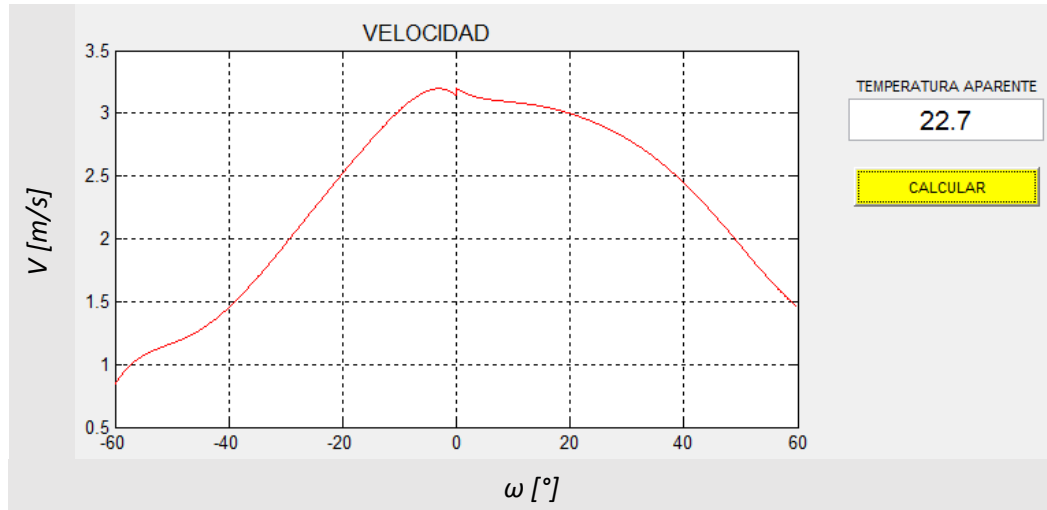
$$\begin{aligned}
 V_n = & 1.59166211E+03+4.11611665E+00*Hr-7.89547341E- \\
 & 02*Hr^2+5.15877495E-04*Hr^3+2.19768445E-07*Hr^4- \\
 & 1.48412363E+02*T_{amb}+4.23129396E+00*T_{amb}^2-3.11775404E- \\
 & 02*T_{amb}^3-1.35712366E-04*T_{amb}^4- \\
 & 2.41836810E+02*T_{efe}+1.08710414E+01*T_{efe}^2-1.59358401E- \\
 & 01*T_{efe}^3+2.47495362E-05*T_{efe}^4-3.30589759E- \\
 & 01*Hr*T_{amb}+1.40391271E-02*Hr*T_{amb}^2-1.94598731E-04*Hr*T_{amb}^3- \\
 & 2.14260785E-01*Hr*T_{efe}+7.55619009E-03*Hr*T_{efe}^2-8.12456603E- \\
 & 05*Hr*T_{efe}^3+6.63430590E-03*Hr^2*T_{amb}-2.79388596E- \\
 & 04*Hr^2*T_{amb}^2+3.85694840E-06*Hr^2*T_{amb}^3+3.99333126E- \\
 & 03*Hr^2*T_{efe}-1.42391179E-04*Hr^2*T_{efe}^2+1.53360178E- \\
 & 06*Hr^2*T_{efe}^3-4.83834884E-05*Hr^3*T_{amb}+1.98245776E- \\
 & 06*Hr^3*T_{amb}^2-2.67421599E-08*Hr^3*T_{amb}^3-2.25389399E- \\
 & 05*Hr^3*T_{efe}+8.06499219E-07*Hr^3*T_{efe}^2-8.65582877E- \\
 & 09*Hr^3*T_{efe}^3+2.38237372E+01*T_{amb}*T_{efe}- \\
 & 1.07942960E+00*T_{amb}*T_{efe}^2+1.57771891E-02*T_{amb}*T_{efe}^3- \\
 & 7.54301130E-01*T_{amb}^2*T_{efe}+3.47718798E-02*T_{amb}^2*T_{efe}^2- \\
 & 5.13567756E-04*T_{amb}^2*T_{efe}^3+7.67002735E-03*T_{amb}^3*T_{efe}- \\
 & 3.62730496E-04*T_{amb}^3*T_{efe}^2+5.44218605E-06*T_{amb}^3*T_{efe}^3;
 \end{aligned}$$

Esta ecuación se obtuvo mediante una regresión polinómica donde se tienen en cuenta los términos cruzados, realizada mediante el software EES.

Una vez se cuenta con las ecuaciones que modelan cada una de las variables de interés, se construye un programa en el software Matlab®, que tiene como objetivo modelar la velocidad del viento requerida durante el día. El programa cuenta con una interfaz sencilla en la que el usuario únicamente ingresa la temperatura objetivo requerida y oprime el botón “calcular”, como salidas se obtiene el comportamiento

de la velocidad del viento, el flujo de aire, la potencia consumida por el sistema de ventilación.

Figura 65. Perfil de velocidad del aire diaria



Fuente: Autores

Avides MacPollo S.A cuenta con una cantidad de ventiladores almacenados en bodega, disponibles para la instalación en el galpón N°2 de la granja. Son ventiladores trifásicos de 0.5 [Hp], marca Breezer modelo Katana. Las características técnicas del ventilador se encuentran en la tabla 16.

Tabla 16. Características ventiladores Breezer Katana

Modelo	Diámetro de rotor (m)	Tensión (V)	Potencia		Frecuencia
			Hp	Kw	Hz
Breezer katana	1	220	0.5	0.38	60

RPM	CFM	Eficiencia	Peso (kg)	Nivel de Ruido
		CFM/Vat		
1075	11000	20.33	18	78

Fuente: Avitecnica.co

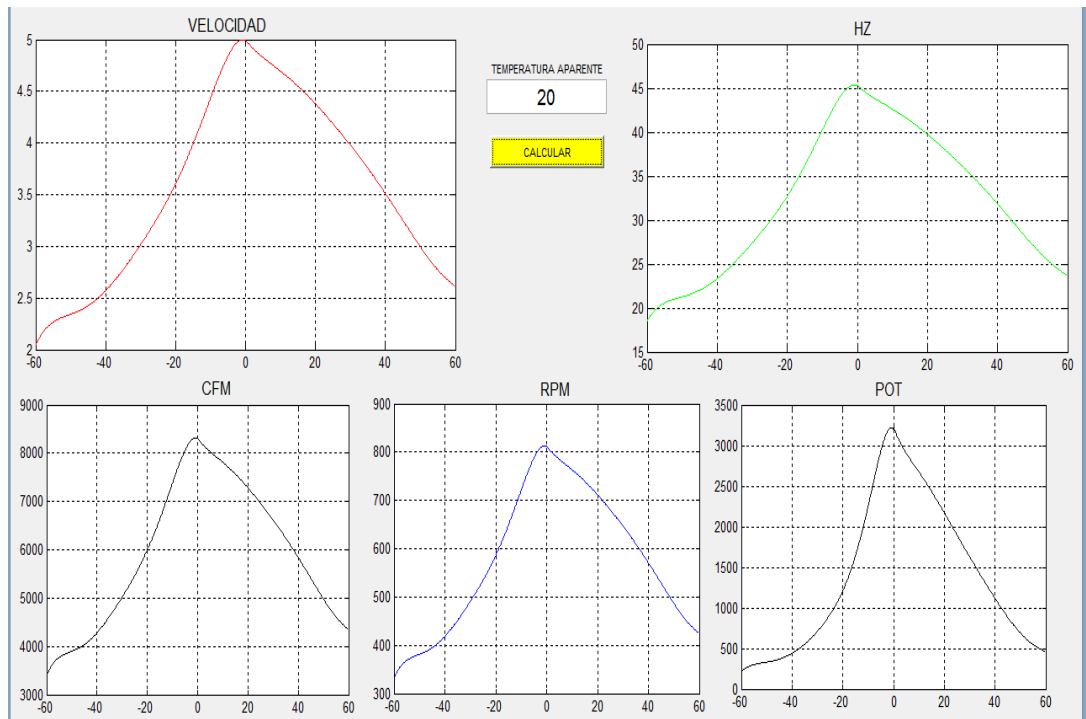
Se requiere diseñar un sistema de control que permita variar las rpm del motor, para cumplir con el perfil de velocidad del aire y así alcanzar la temperatura objetivo requerido para un día particular. La velocidad de un motor CA se puede controlar mediante un variador de frecuencia; por el proceso que debe desempeñar el motor en cual el par crece con el cuadrado de la velocidad, la potencia lo hace con el cubo de la velocidad, es decir, una pequeña disminución en las rpm de trabajo se ve reflejado en un ahorro de potencia elevado.

$$Pot_2 = Pot_1 * \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3$$

Conocido el ventilador que se instalará, y el comportamiento de la potencia al variar las rpm del motor, se construye en el software Matlab® un programa que permite visualizar la velocidad del viento requerida por los animales, los cfm generados, las rpm a las que gira el motor, y la potencia absorbida por el mismo.

La potencia que se muestra en la interfaz es la requerida por toda la nave, en la que se cuenta con 20 ventiladores distribuidos uniformemente.

Figura 66. Interfaz programa Velocidad y potencia requerida



La interfaz que maneja el usuario, solamente requiere introducir la temperatura objetivo y el programa genera las curvas de la velocidad del viento, los cfm, rpm del ventilador, y potencia absorbida, diaria.

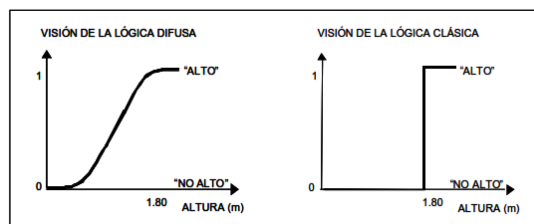
5.5 ESTABLECIMIENTO CONTROL DE VELOCIDAD DE VENTILADORES

Cumplir con las condiciones de velocidad que aseguran el confort térmico de la parvada, para obtener el máximo rendimiento de las aves, requiere un sistema de control continuo. Dada la complejidad del sistema y que los modelos matemáticos planteados anteriormente no son 100% exactos se decide trabajar con una estrategia de control basado en la lógica difusa.

5.5.1 Lógica Difusa

La lógica difusa permite trabajar con sistemas que presentan un alto grado de imprecisión, contrario a la lógica convencional que trabaja con información exacta y precisa. La teoría de conjuntos difusos parte de la similitud con los conjuntos clásicos en los cuales se tiene una función de pertenencia de 0 o 1; en los conjuntos difusos se tiene la característica de que la función de pertenencia puede adquirir valores en el rango de 0 a 1.

Figura 67. Lógica difusa y logia clásica

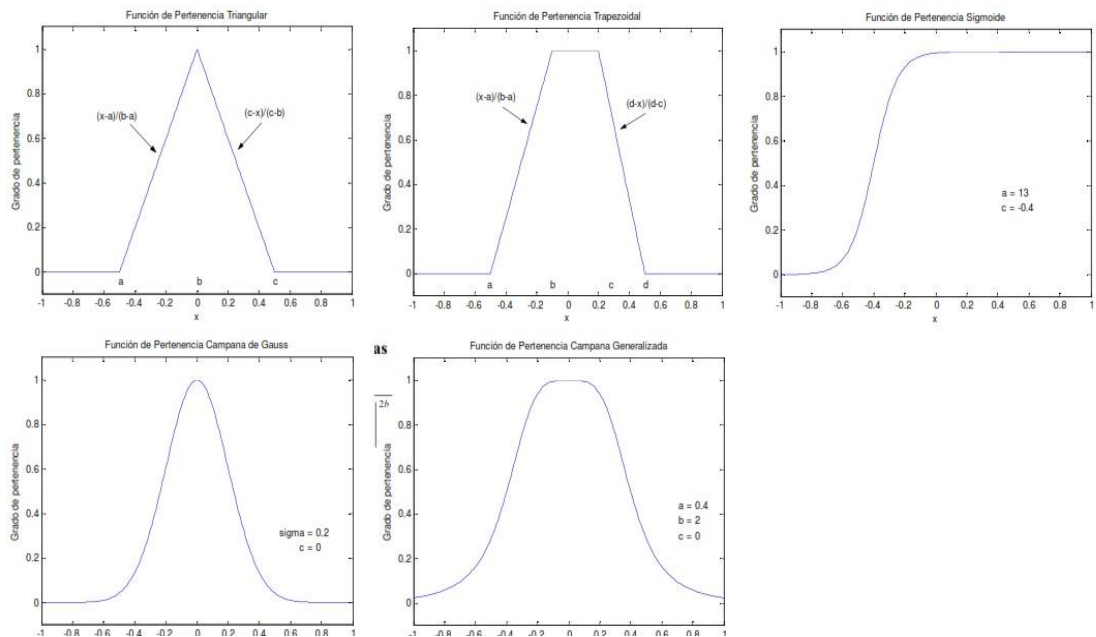


El conjunto difuso, se encuentra asociado a un valor lingüístico que está definido por una palabra, o etiqueta.

Se define una función de pertenencia o MF para cada conjunto difuso, determina el grado de pertenencia de un elemento con el concepto representado en la etiqueta. Las principales funciones de pertenencia son:

- Funciones triangulares
- Funciones trapezoidales
- Funciones campana de Gauss
- Funciones de campana generalizadas
- Funciones sigmoides

Figura 68. Funciones de pertenencia



Fuente: Matemática del control Fuzzy

5.5.2 Control Difuso

El control difuso se basa en un sistema de reglas que utilizan como elemento central la lógica difusa; dado su estado, y los valores de las variables de entrada, estos sistemas evalúan la veracidad de cada regla, y así, toman decisión sobre los cambios a realizar en las variables de salida.

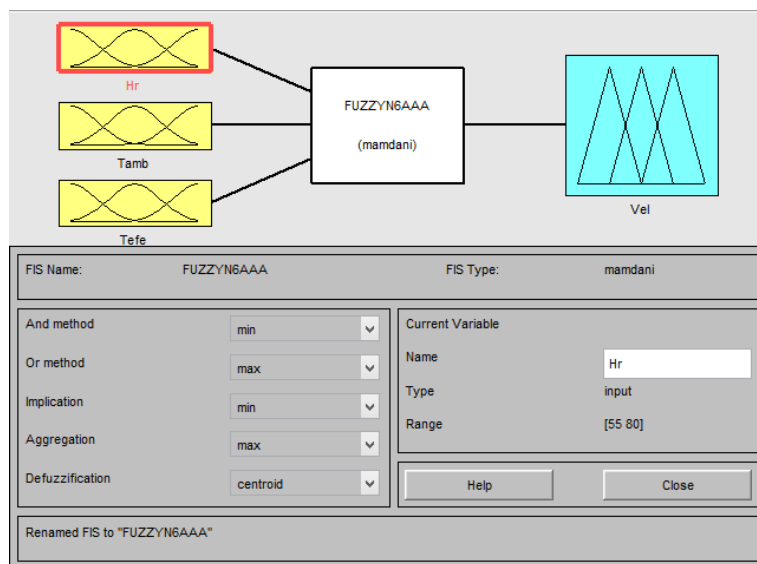
En este tipo de control, lo que se procesa no son ecuaciones, números o tablas, si no variables lingüísticas. Estas se evalúan mediante reglas como:

“Si la *temperatura* es *baja* ENTONCES *aumente flujo*”

Tal tipo de procesamiento está mucho más cercano al razonamiento del experto humano.

El controlador Fuzzy que se requiere para este caso, tiene tres variables de entrada que son, humedad relativa, temperatura ambiente y temperatura objetivo, y una variable de salida que es la velocidad del aire. La construcción de este controlador Fuzzy se realizó mediante la Toolbox Fuzzy del software Matlab®.

Figura 69. Controlador Fuzzy velocidad

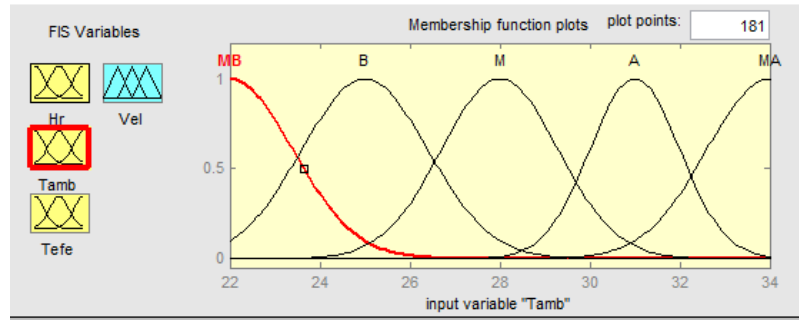


Fuente: Autores

Cada variable tiene un rango determinado y se construyen las funciones de pertenencia necesarias para satisfacer las necesidades de velocidad.

- Temperatura ambiente: opera dentro del rango $[22-34]^{\circ}\text{C}$, se determinan cinco etiquetas, “muy bajo”, “bajo”, “medio”, “alto”, “muy alto”, cada etiqueta está representada por una función de pertenencia. Se elige una función de pertenencia con forma gaussiana ya que es una de las distribuciones más reales.

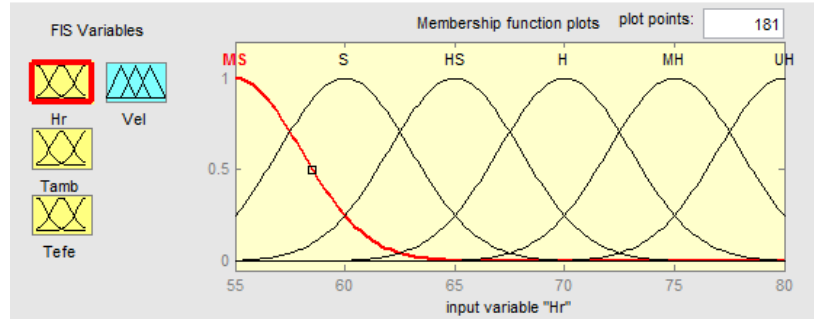
Figura 70. Funciones de pertenencia temperatura ambiente



Fuente: Autores

- Humedad Relativa: trabaja dentro del rango [55-80], se plantean seis etiquetas, “muy seco”, “seco”, “húmedo-seco”, “húmedo”, “muy húmedo”, “ultra húmedo”, cada etiqueta está representada por una función de pertenencia. Se elige una función de pertenencia con forma gaussiana ya que es una de las distribuciones más reales.

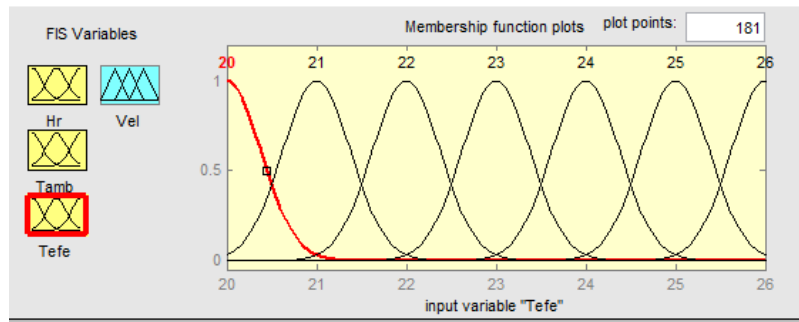
Figura 71. Funciones de pertenencia humedad relativa



Fuente: Autores

- Temperatura efectiva: opera dentro de un rango [20-26]°C, se determinan siete etiquetas, “20”, “21”, “22”, “23”, “24”, “25”, “26”, cada etiqueta está representada por una función de pertenencia de forma gaussiana.

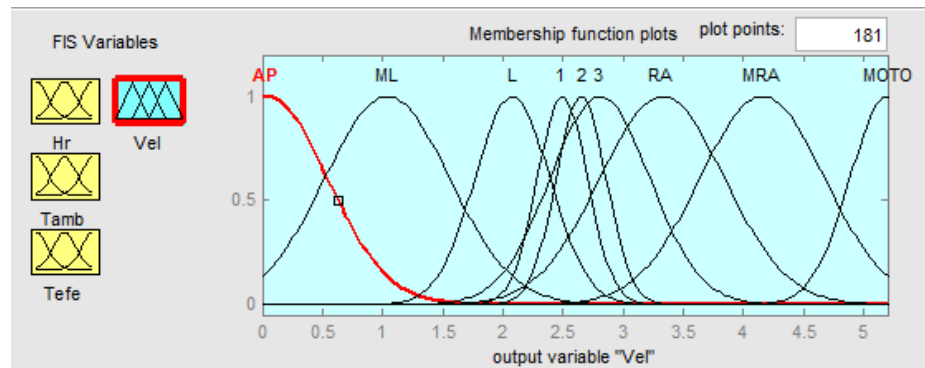
Figura 72. Funciones de pertenencia temperatura efectiva



Fuente: Autores

- Velocidad: trabaja dentro del rango [0-5.2] m/s, se determinan nueve variables lingüísticas, “AP”, “ML”, “L”, “1”, “2”, “3”, “RA”, “MRA”, “MOTO”, cada variable lingüística está representada por una función de pertenencia de forma gaussiana.

Figura 73. Funciones de pertenencia velocidad del viento



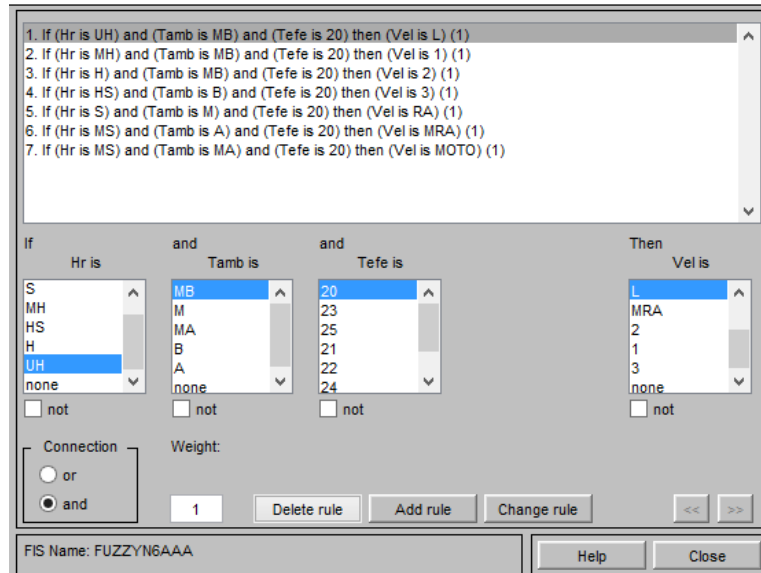
Fuente: Autores

Una vez establecidas las variables de entrada y salida, sus rangos y respectivas funciones de pertenencia, se generan las reglas que dan la forma al controlador.

Las reglas tienen la forma

“if (*Hr* is UH) and (*Tamb* is MB) and (*Tefe* is 20) then (*Vel* is L)”

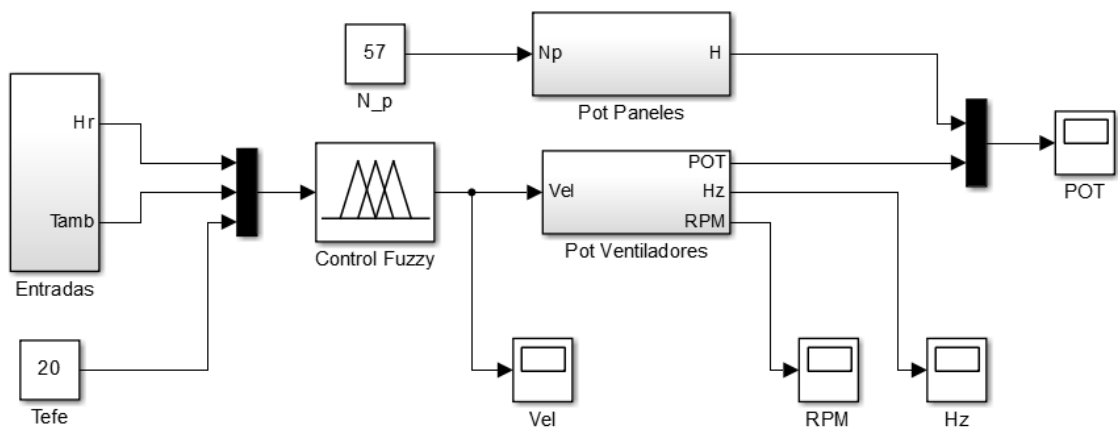
Figura 74. Reglas del controlador Fuzzy



Fuente: Autores

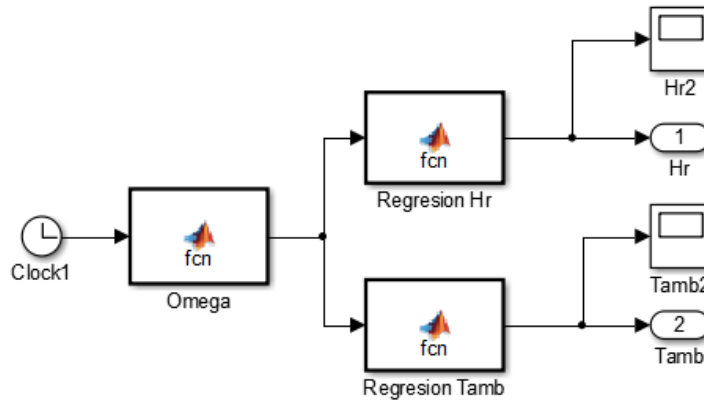
Se lleva a cabo una simulación del comportamiento del controlador difuso construido mediante Simulink®, que es una herramienta de programación gráfica, del software Matlab®. El objetivo de esta simulación es alcanzar las condiciones deseadas a la salida, es decir que el perfil de velocidad obtenido sea similar al de la figura 65.

Figura 75. Simulación controlador Fuzzy



Fuente: Autores

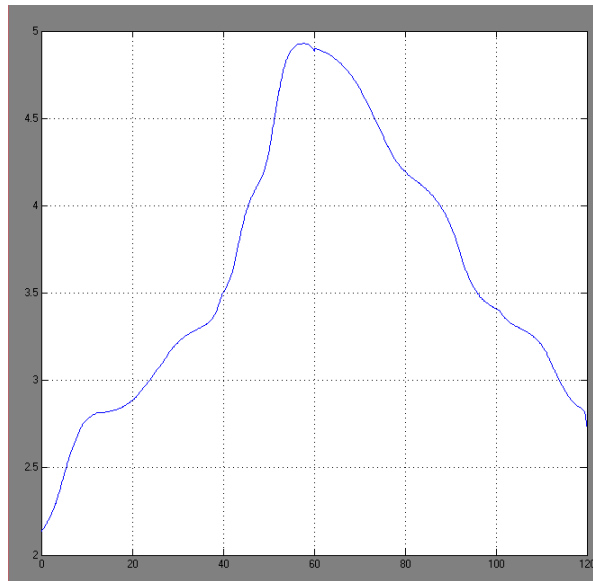
Figura 76. Bloque entradas simulación



Fuente: Autores

Realizada la simulación, a la salida del bloque Control Fuzzy, obtenemos el comportamiento de la velocidad, que se grafica mediante un scoop.

Figura 77. Gráfica velocidad simulación control

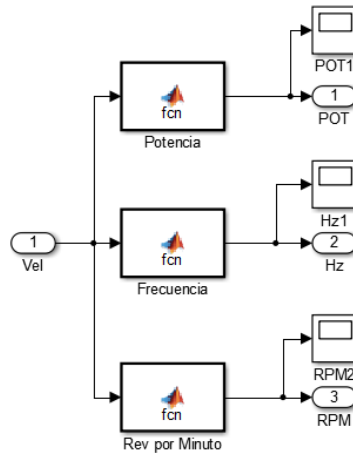


Fuente: Autores

El interés principal de controlar la velocidad, es obtener una disminución en la potencia consumida. Se observa en la simulación del controlador que hay un bloque

destinado a la potencia requerida por los ventiladores, de la cual se obtiene la curva de rpm, frecuencia y potencia.

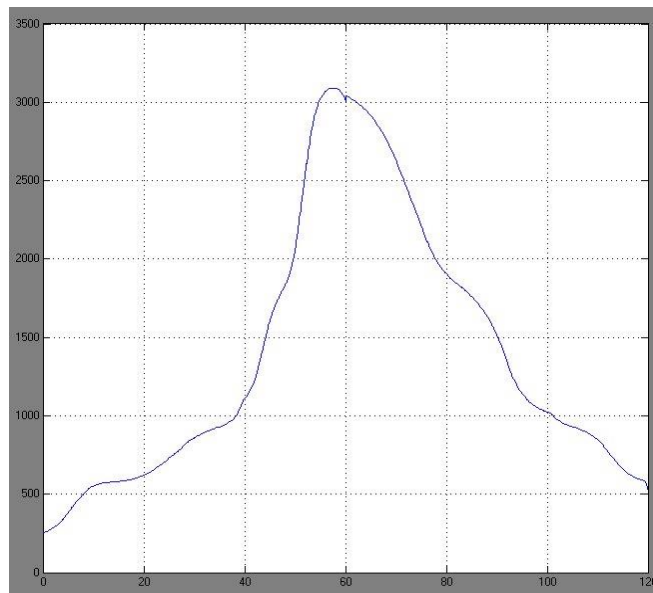
Figura 78. Bloque Potencia de ventiladores



Fuente: Autores

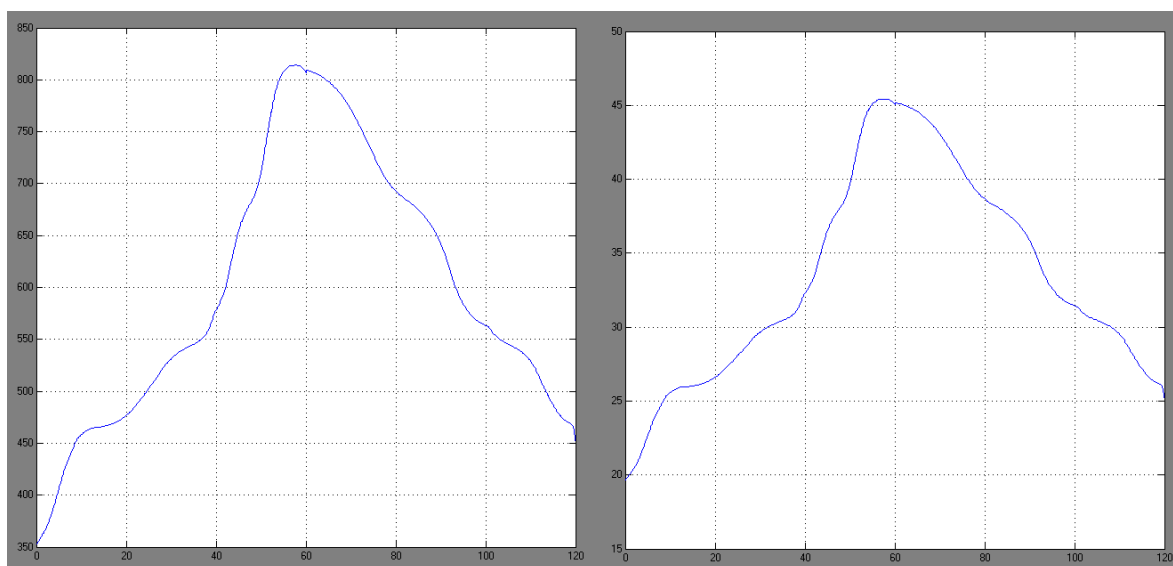
A partir de estos bloques se obtiene la potencia consumida por el galpón, 20 ventiladores, la frecuencia y las rpm a las cuales deben operar.

Figura 79. Gráfica potencia simulación control



Fuente: Autores

Figura 80. Gráfica frecuencia (izquierda) y gráfica rpm (derecha) simulación control



Fuente: Autores.

5.6 DIMENSIONAMIENTO SISTEMA RECOLECTOR

5.6.1 Selección tipo de panel

El galpón N°2 de la granja Bosque cuenta con área superficial suficiente para instalar varias veces la potencia requerida por el sistema de ventilación, por lo tanto la selección del tipo de panel se determina a partir de criterios económicos únicamente.

Por tal motivo se elige ubicar paneles de silicio policristalino, que son más económicos, presentan una eficiencia aceptable, y se consiguen fácilmente en el mercado nacional.

5.6.2 Paneles en el mercado

Se realizó una tabla organizando las características de los módulos policristalinos, para sistemas autónomos “off-grid”, que se encuentran en el mercado, estos se diferencian de los paneles grid tie ya que al ser principalmente para aplicaciones domesticas son menos robustos, y la tensión V_{mpp} tiene un valor cercano a la

tensión nominal de las baterías estándar (12VDC). La información es suministrada por el fabricante tras realizar pruebas a condiciones estándar (STC): 1000 w/m² Irradiación, 25°C Temperatura del módulo.

La tabla contiene los siguientes ítems

- Marca del panel
- Referencia
- Potencia máxima P_{max} : Potencia máxima generada por el panel
- Eficiencia del modulo
- Tensión V_{mpp} : Tensión obtenida a potencia máxima
- Corriente I_{mpp} : Corriente obtenida a potencia máxima
- Voltaje V_{oc} : Voltaje de circuito abierto
- Corriente I_{sc} : Corriente de corto circuito

Tabla 17. Características eléctricas módulos policristalinos 'off grid'

			Yingli Solar					
			JS120P	JS110P	JS100P	JS70P	JS65P	JS60P
Potencia maxima	Pmax	W	120	110	100	70	65	60
eficiencia del modulo	η	%	15,5	14,2	12,9	13,8	12,8	11,8
Tension a Pmax	V_{mpp}	V	18,5	17,8	17,1	18	17,5	17,2
Corriente a Pmax	I_{mpp}	A	6,5	6,17	5,86	3,89	3,71	3,48
Voltaje de circuito abierto	V_{oc}	V	22,9	22,1	21,5	22,3	21,7	21,3
Corriente de corto circuito	I_{sc}	A	6,89	6,55	6,17	4,15	4	3,85

Tabla 18. Características físicas módulos policristalinos 'off grid'

			Yingli Solar					
			JS120P	JS110P	JS100P	JS70P	JS65P	JS60P
Largo	L	mm	1180			770		
Ancho	A	mm	660			660		
Alto	H	mm	25			25		
Peso	m	kg	8,68			6,2		

5.6.3 Dimensionamiento del sistema FV

La granja bosque recibe el suministro eléctrico del transformador instalado para todo el sector rural aledaño, por tal motivo, la instalación de un sistema de ventilación generaría problemas en el suministro eléctrico de las fincas vecinas. Como ya se mencionó anteriormente la regulación de las condiciones ambientales conlleva un gran beneficio para la empresa, es indispensable contar con un sistema de ventilación en esta nave.

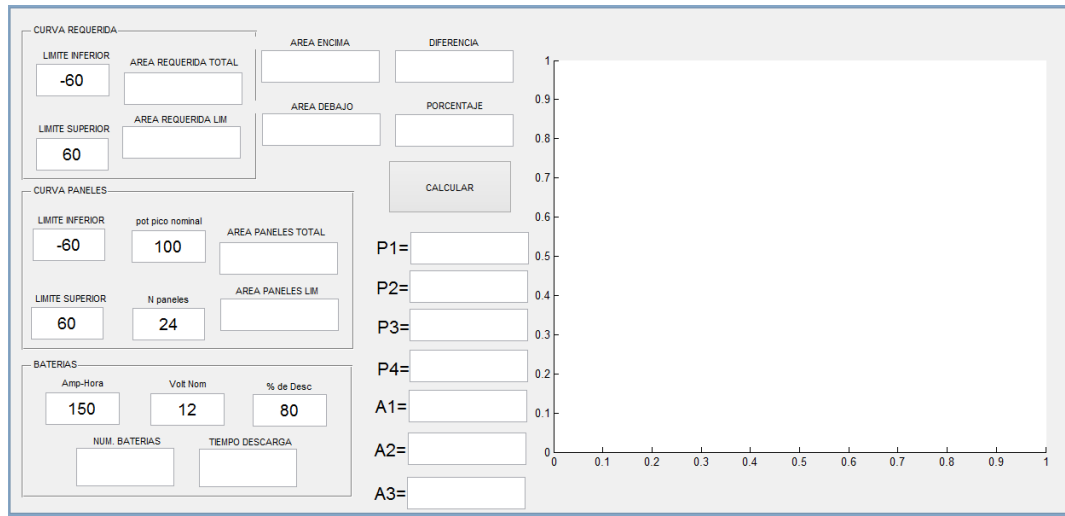
La energía que recibe la granja de la red no es suficiente para un sistema de ventilación, se plantea instalar un sistema fotovoltaico que satisfaga las necesidades, debido a las condiciones geográficas de la finca, la cantidad de energía de respaldo, esta instalación fotovoltaica es autónoma (desconectada de la red).

Se conoce la potencia consumida por un sistema de ventilación compuesto por 20 ventiladores trifásicos de 0.5 Hp, operando el día 48-49 del ciclo de vida de las aves (día crítico), bajo un esquema de control difuso, figura 72.

El sistema FV autónomo debe generar la suficiente energía para permitir el correcto funcionamiento de la nave en los días críticos. Se parte de la curva de potencia requerida para cuantificar la cantidad de módulos solares que se instalarán.

En el software Matlab®, se construyó un programa que toma la curva de potencia absorbida y calcula la energía diaria; paralelamente el usuario ingresa un número de paneles solares y las características eléctricas de los mismos. Como salida del programa se obtiene la curva de potencia generada por la instalación FV, la energía generada, la relación de energía ofrecida y energía consumida.

Figura 81. Interfaz programa dimensionamiento del sistema FV autónomo



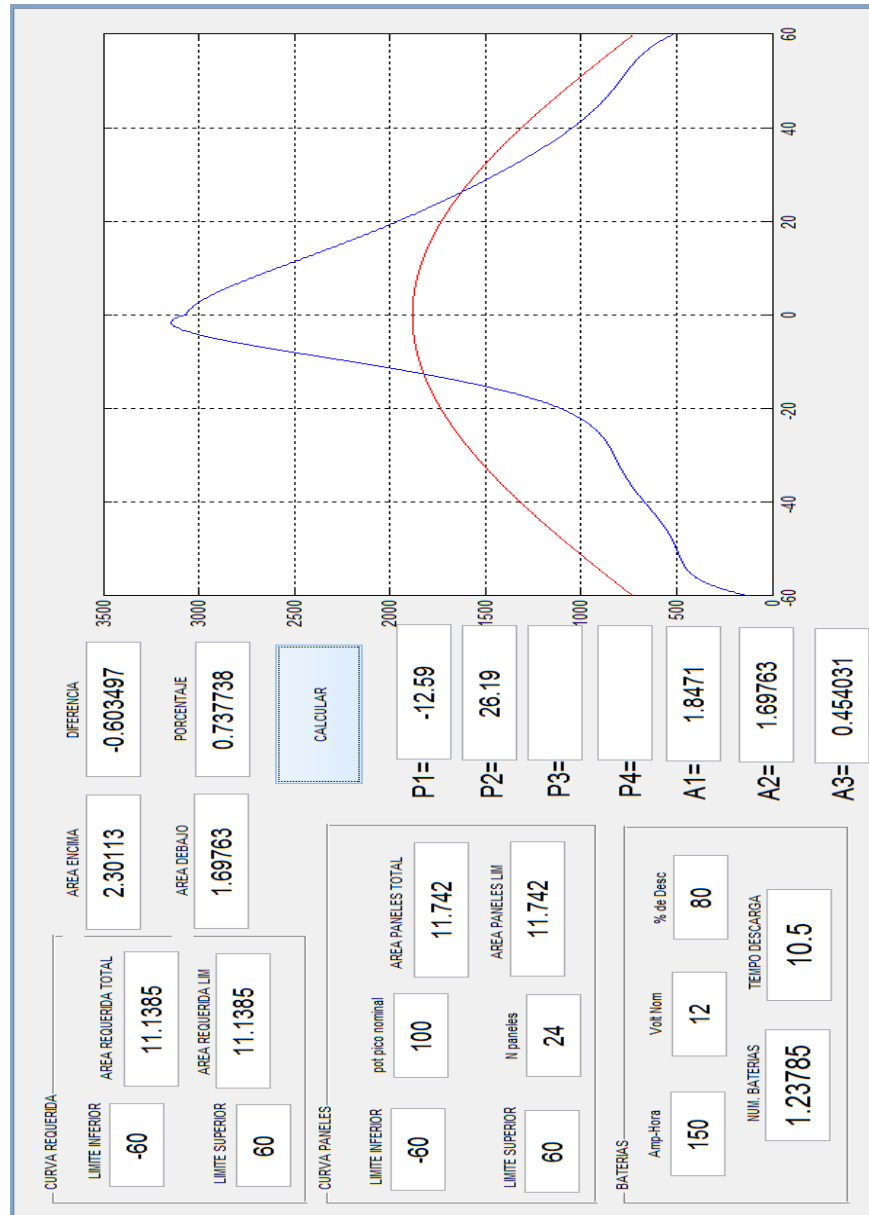
Fuente: Autores

En este escenario se dimensiona el sistema de manera que satisfaga las necesidades energéticas y entregue un pequeño excedente de energía para recargar un banco de baterías que funciona como respaldo para momentos que la instalación FV no sea suficiente.

Al hacer correr el programa ingresando 24 paneles de 100 [W] se obtiene la siguiente información, figura 82:

- Energía requerida por el sistema de ventilación = 11.1385 [kW-h]
- Energía ofrecida por los paneles = 11.742 [kW-h]
- Relación Energía requerida/Energía ofrecida = 0.7377
- Curva de requerimiento de potencia (azul)
- Curva de potencia generada (roja)
- Puntos de intersección de las curvas
- Área entre curvas

Figura 82. Resultado programa dimensionamiento del sistema FV autónomo



Fuente: Autores

Se observa que hay lapsos en los que la generación es mayor a los requerimientos, durante este momento esa energía extra se direcciona a las baterías en donde se almacena para su utilización durante el periodo en que la demanda es mayor a la generación. De manera que el sistema de ventilación siempre cuenta con la energía para funcionar correctamente.

De acuerdo a las necesidades energéticas del sistema de ventilación se elige instalar 24 paneles policristalinos marca Yingli Solar, referencia JS100P, con características eléctricas mostradas en la tabla 17.

5.6.4 Agrupamiento en bloques

Conocido el número de paneles del generador fotovoltaico, la tensión nominal del sistema de control y almacenamiento, se determina la forma apropiada de agrupar los módulos que puede ser en serie o paralelo. Dado el tamaño de la instalación, 2.4 kW, se recomienda operar a una tensión nominal de 24 VDC.

La siguiente ecuación permite determinar el número de módulos que se debe conectar en serie.

$$N_s = \frac{V_{bat}}{V_m} = \frac{24}{17.1} = 1.403 \approx 2$$

Donde

N_s: Numero de módulos en serie

V_{bat}: Tensión nominal de la batería (V) = 24 V

V_m: Tensión nominal de los módulos (V) = 17.1 V

El número de ramas que se deben conectar en paralelo para suministrar la energía requerida se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$N_p = \frac{N_t}{N_s} = \frac{24}{2} = 12$$

Donde

N_p: Numero de ramas a conectar en paralelo

N_t: Número total de paneles = 24

N_s : Número de módulos en serie = 2

Las características eléctricas de cada rama son:

$$V_{rama} = N_s * V_{mpp} = 34.2 [V]$$

$$I_{rama} = I_{mpp} = 5.86 [A]$$

5.7 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REGULACION

El regulador es el elemento que controla el funcionamiento de las baterías, previene la sobrecarga, limitando la energía que ingresa a la batería desde el generador y la sobredescarga, desconectando los consumos de la batería cuando el estado de carga de esta es muy bajo.

A pesar de su sencillez y su bajo costo, comparado con otros elementos como baterías o paneles, es el elemento más relacionado con la vida útil de la batería y el buen funcionamiento del sistema.

Se dimensiona a partir de la máxima corriente que circula por la instalación; se tiene en cuenta la corriente producida por el generador FV (corriente de corto circuito I_{sc}) y la que circula por la instalación.

La corriente consumida por el sistema de ventilación es 36 [A], cada ventilador absorbe 1.8 [A] nominalmente. El generador fotovoltaico produce 74.04 [A], a partir de esta corriente se selecciona el regulador de carga. Se conectan dos paneles en serie por rama, y se tiene un total de 12 ramas.

No existe en el mercado un regulador que soporte tanta intensidad y cumpla con los demás requerimientos técnicos de la instalación. Se instalan dos reguladores de carga, de manera que a cada uno se le conectan seis ramas siendo las características eléctricas de entrada las siguientes:

$$V_{inregulador} = V_{rama} = 34.2 [V]$$

$$I_{inregulador} = 6 * I_{sc} = 37.02 [A]$$

Se selecciona un regulador marca Victron Energy, serie BlueSolar charge controller MPPT 75/50, las características técnicas se observan en la tabla 19.

Tabla 19. Características técnicas regulador Victron Energy

BlueSolar charge controller	MPPT 75/50
Battery voltage	12/24 V Auto Select
Maximum battery current	50 A
Maximum PV power, 12V 1a,b)	700 W (MPPT range 15 V to 70 V)
Maximum PV power, 24V 1a,b)	1400 W (MPPT range 30 V to 70 V)
Maximum PV open circuit voltage	75 V
Peak efficiency	98 %
Self-consumption	10 mA
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 14,4 V / 28,8 V
Charge voltage 'float'	Default setting: 13,8 V / 27,6 V
Charge algorithm	multi-stage adaptive
Temperature compensation	-16 mV / °C resp. -32 mV / °C
Protection	Battery reverse polarity (fuse) Output short circuit Over temperature
Operating temperature	-30 to +60°C (full rated output up to 40°C)
Humidity	95 %, non-condensing
	ENCLOSURE
Colour	Blue (RAL 5012)
Power terminals	13 mm ² / AWG6
Protection category	IP43 (electronic components), IP22 (connection area)
Weight	1,25 kg
Dimensions (h x w x d)	130 x 186 x 70 mm
1a) If more PV power is connected, the controller will limit input power to 700W resp. 1400W 1b) PV voltage must exceed Vbat + 5V for the controller to start. Thereafter minimum PV voltage is Vbat + 1V	

5.8 DISEÑO SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

El sistema de almacenamiento como su nombre indica permite guardar una cantidad de energía y utilizarla en periodos de consumo que la generación sea insuficiente o nula, permitiendo el continuo funcionamiento de los equipos. Cumple otro fin que es estabilizar el voltaje del generador y suministrar la corriente necesaria para el arranque de los motores.

En este escenario en particular las baterías deben suministrar la energía que el generador FV no suministra el día crítico. A partir de esta energía y de los requerimientos eléctricos de los sistemas se dimensiona el banco de almacenamiento. La ecuación que determina la capacidad energética es:

$$Cn(Wh) = Ereq * 1.05 * N/Pd$$

Donde

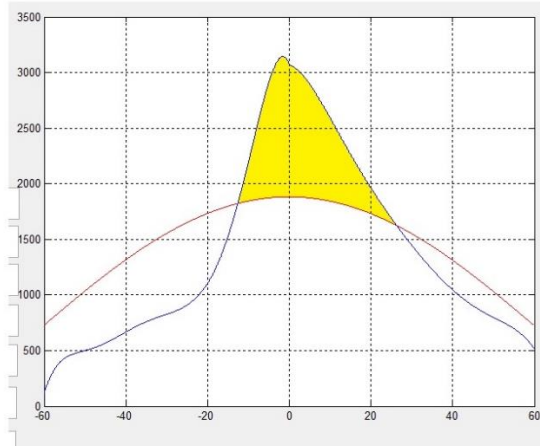
Ereq: Energía requerida

N: número de días de independencia = 1

Pd: porcentaje de descarga de las baterías = 30%

La energía requerida se toma del programa realizado en Matlab®, con el cual se dimensiono el generador FV, en la figura 83, esta área esta sombreada en color amarillo.

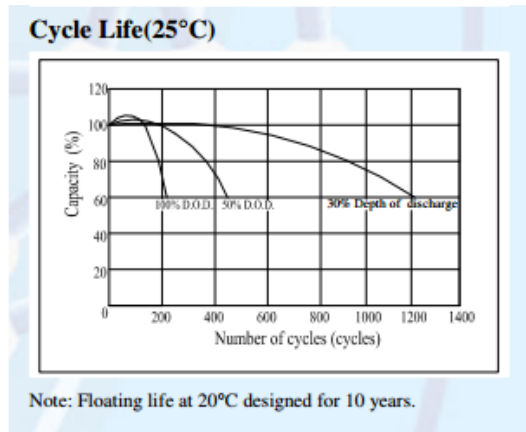
Figura 83. Energía a suministrar por baterías



Fuente: Autores

Se toma una descarga máxima del 30% por recomendaciones de los fabricantes, de esta manera alargar la vida útil de las baterías.

Figura 84. Curvas ciclos de vida y porcentaje de descarga de batería



Fuente: Hybritec.com

La energía requerida es 1.69763 [kW-h], por tanto la capacidad del sistema de almacenamiento es 5941.705 [w-h]. Como se mencionó anteriormente, dado el tamaño de la instalación, se recomienda operar el sistema de almacenamiento a 24 V. En el mercado nacional solo se consiguen baterías de 12 [V] y diferentes capacidades, por ello se deben conectar dos baterías en serie para elevar el voltaje a 24 [V].

Mediante un programa hecho en Matlab®, al cual el usuario ingresa datos técnicos de la batería, capacidad en amperio-hora, voltaje nominal en voltios, y el porcentaje de descarga deseado, todos tomados de las respectivas datasheets. Como salida del programa se da la cantidad de baterías y el tiempo de descarga. En la figura 85 se observa la interfaz del programa.

Figura 85. Programa cálculo de cantidad de baterías

BATERIAS		
Amp-Hora	Volt Nom	% de Desc
120	24	30
NUM. BATERIAS		TIEMPO DESCARGA
2.06309		28

Se selecciona instalar 4 baterías marca Mtek, referencia MT1212000, con las siguientes características técnicas:

- Voltaje nominal: 12 [V]
- Capacidad: 120 [A-h] @20°C
- Resistencia interna: 4mΩ
- Máxima corriente de carga: 36 [A]
- Peso: 35 Kg
- Dimensiones: L:409 mm A:176 mm H:225 mm

5.9 DISEÑO SISTEMA DE INVERSION

A partir de los inversores que se encuentran en el mercado se realiza una tabla que facilite su selección.

Tabla 20. Características inversores 'off grid'

	COTEK	VICTRON
	ST 1000-224	Phoenix 24/800
OUTPUT		
Voltaje AC	220/230/240 [VAC]	230 [VAC]
Potencia nominal	1000 [W]	800 [W]
Potencia pico	2000 [W]	1600 [W]
Forma de onda	Sinusoida pura (THD< 3%)	Sinusoida pura (THD< 3%)
Frecuencia	50/60 [Hz]	50/60 [Hz]
Regulacion AC	3%	3%
Factor de Potencia	0,9	
INPUT		
Consumo en vacio	0,6 [A]	6 [W]
Consumo en stand-by	0,15 [A]	2 [W]
Voltaje DC	24 [VDC]	
Rango de voltaje	21-30 [VDC]	18,4-34 [VDC]
Eficiencia	93%	93%
Fusible	20A x 4	
PROTECCION		
Sobre voltaje	30,6 [VDC]	
Alta temperatura	Desconexion de voltaje de salida	
Polaridad de bateria	apertura de fusible	
Temperatura operación	0 a 40°C	0 a 50°C

El tipo de carga requiere una onda sinusoidal pura, los inversores deben generar una onda con distorsión armónica inferior al 3% para el correcto funcionamiento de los motores de inducción.

Se selecciona el inversor Cotek ST1000-224, porque las características de la energía de salida son las requeridas por los ventiladores, la tensión de salida es la correspondiente a los motores de inducción trifásicos. El voltaje de entrada coincide con la tensión de trabajo de las baterías y el regulador, el consumo en vacío es mínimo y presenta una alta eficiencia.

El inversor ST1000-224 entrega corriente monofásica, por esa razón se instalan 3 inversores en paralelo de manera que generen la corriente trifásica requerida por los motores. Al sumar la potencia generada por cada inversor se obtiene la potencia requerida para el funcionamiento de la instalación.

Se utilizan 3 inversores monofásicos, debido a la dificultad de conseguir inversores trifásicos para sistemas no conectados en el país

5.10 DISEÑO SISTEMA DE CONDUCCION

La corriente del circuito se debe calcular como se muestra a continuación

1. Circuitos fuente fotovoltaica: es la corriente de cortocircuito de los módulos
2. Circuito de salida del regulador: corriente nominal de salida del regulador

5.10.1 Calculo fuente fotovoltaica

Los módulos de una misma rama están conectados en serie, por ende la corriente por rama es la corriente de corto circuito de los módulos.

$$I_{sc}=6,17 [A]$$

Según la norma NTC 2050 sección 690 la corriente de los conductores debe ajustarse a un valor mínimo de 125%.

$$I = 1.25 * I_{sc} = 7.71 [A]$$

Teniendo en cuenta que la regulación de tensión debe ser inferior al 1.5% se selecciona el calibre del conductor.

$$\Delta V = V_{rama} * 0.015 = 0.513 [V]$$

La ecuación que determina el área transversal del cable es

$$S = \frac{L * I}{\Delta V * \gamma} = 4.81 \text{ mm}^2$$

Donde

L: Longitud del conductor=15 [m]

I: Capacidad de corriente del conductor = 7.71 [A]

ΔV: Caída de tensión = 0.513 [V]

γ: Conductividad del cobre (a 70°C) = 46.82 [m/Ωmm²]

De la tabla 310-16 de la NTC 2050, se selecciona un conductor que tenga área mayor y soporte corriente superior a las calculadas. Se selecciona un conductor con área de 5.25 mm², que resiste una intensidad máxima de 30 A, este cable tiene un calibre #10AGW.

5.10.2 Calculo del cable salida del regulador

La máxima corriente que circula por los conductores conectados a la salida del inversor es de 50 A, debe corregirse según la NTC 2050.

$$I = 1.25 * 50 = 62.5 [A]$$

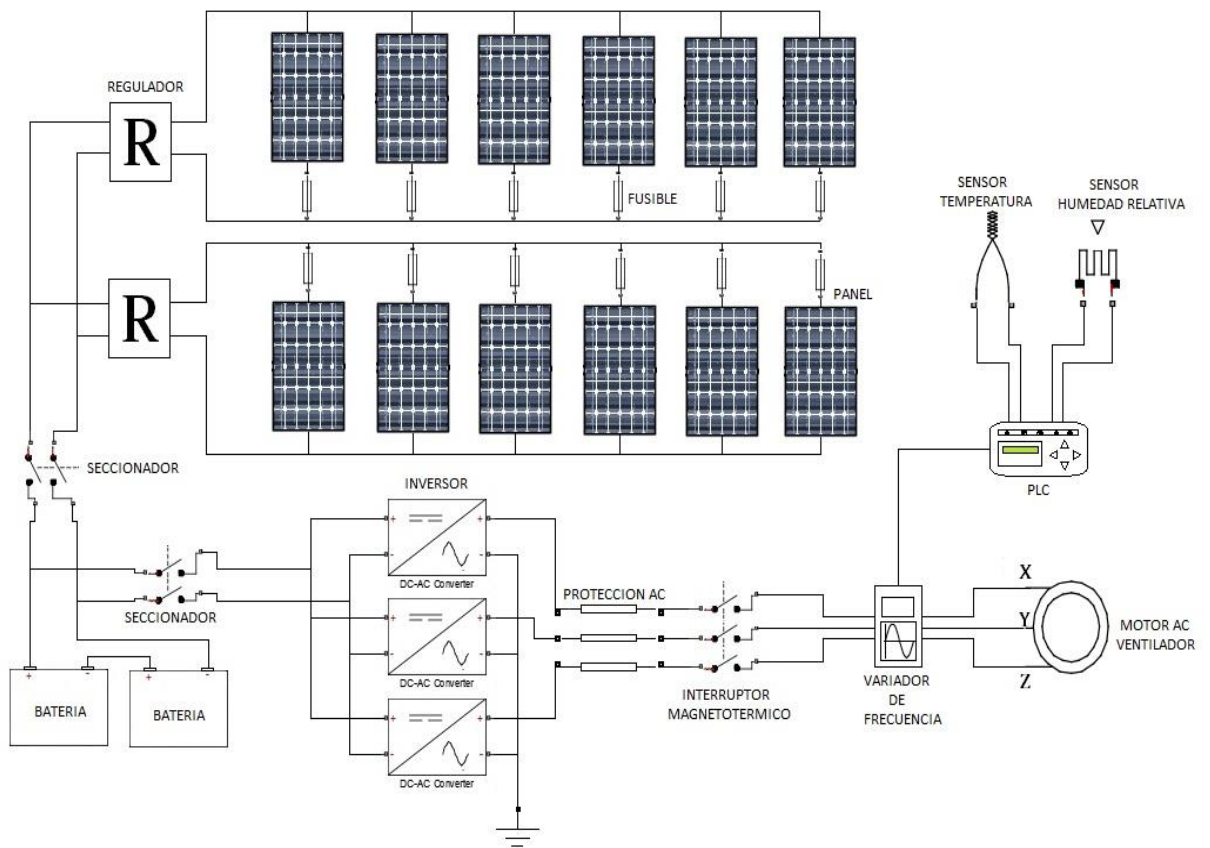
Se selecciona un conductor de calibre #6AWG con una sección transversal de 13.29 mm², que a 75°C soporta una corriente de 65 A

5.11 TOPOLOGIA DEL SISTEMA

En la figura 86 se establece la conexión del sistema fotovoltaico. Cuenta con los elementos básicos exigidos en la NTC 5549 para sistemas aislados.

- ✓ Paneles fotovoltaicos
- ✓ Sistemas de protección DC
- ✓ Sistemas de protección AC
- ✓ Seccionadores
- ✓ Inversor
- ✓ Regulador
- ✓ Baterías

Figura 86. Topología sistema FV granja Bosque



Cada bloque tiene dos paneles fotovoltaicos de 100 W, conectados en serie, protegidos por fusibles independientes.

Un regulador encargado de la rectificación de las cargas, junto con 4 baterías de 120 A-h a 12 volts. Dos baterías de ellas conectadas en serie y en paralelo con las otras dos.

3 inversores monofásicos, para asegurar la corriente trifásica necesaria para los motores de los ventiladores.

Cuanta con dos seleccionadores después de los reguladores para desconectar el sistema de paneles para casos de mantenimiento y limpieza, y un seleccionador para la parte de las baterías, para su mantenimiento y posterior cambio.

5.12 ESTRUCTURA DEL SISTEMA FV

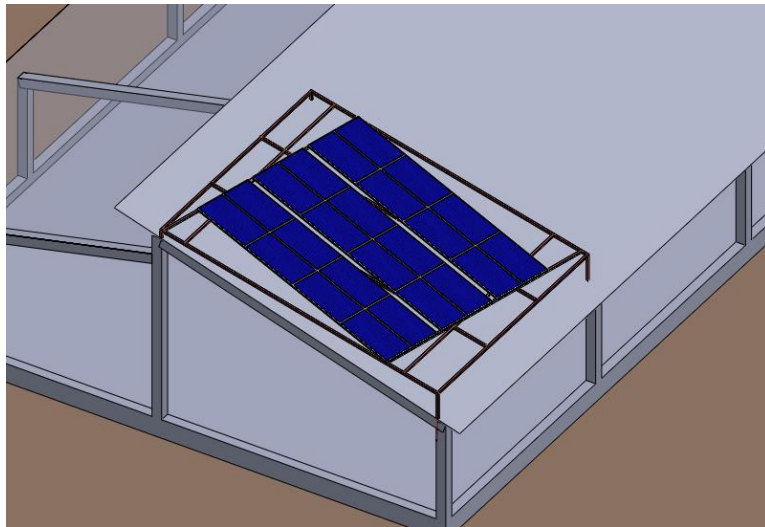
La estructura en la que instalan los bloques de paneles fotovoltaicos está construida con perfiles de aluminio, que son livianos y resistentes. La estructura propuesta cumple los ángulos requeridos para maximizar la cantidad de energía capturada.

La instalación fotovoltaica es pequeña, por lo tanto todos los bloques se instalan en una sola estructura que soporte todo el peso, y que lo distribuye a las columnas de los criaderos.

Figura 87. CAD estructura soporte granja Bosque



Figura 88. Distribución de bloques en granja Bosque



6. PRUEBAS

6.1 DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA

La necesidad de llevar a la práctica la teoría de diseño de sistemas FV y selección de cada uno de los elementos que lo conforman, además del gran interés de Avides MacPollo S.A. por el funcionamiento real de sistemas de generación de energía FV, motivó la construcción de un banco de prueba en el cual se simula a escala el sistema FV y la carga requerida por los criaderos, esto se realiza con la intención de medir cuantitativamente la eficiencia del sistema.

6.2 OBJETIVOS DE LA PRUEBA

1. Construir un sistema fotovoltaico grid-tie básico, con los siguientes componentes:
 - 3 paneles solares de 250 watts, policristalinos marca Canadian solar
 - 1 inversor de 2KVA hibrido marca Axpert Mks
 - Protecciones eléctricas adecuadas
2. Imponer cargas variables al sistema FV para mirar la eficiencia a diferentes porcentajes de carga, utilizando para esto 2 ventiladores marca breezer Katana de 0,5 HP, monofásico con un voltaje y corriente nominal de 220 [V] y 2.5 [A] respectivamente
3. Determinar la eficiencia total de sistema
4. Seguir detenidamente el comportamiento del voltaje, potencia y corrientes del sistema en las situaciones de arranque del motor.

6.3 INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES Y DISPOSICIÓN DE LA PRUEBA

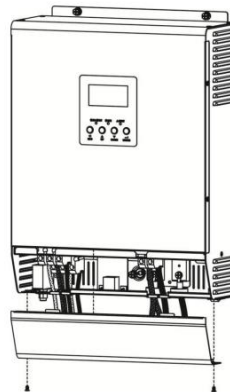
Un sistema de energía fotovoltaica tipo grid-tie, cuenta con un numero de paneles fotovoltaicos encargados de generar la energía eléctrica DC, y un sistema de inversión de corriente, que transforma la corriente DC en AC para su utilización en

la mayoría de equipos eléctricos, adicionalmente el inversor tiene conexión para la red eléctrica común.

6.3.1 Información del inversor utilizado en la prueba

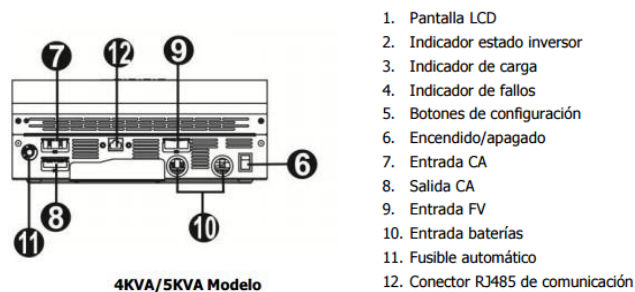
El inversor suministrado por la empresa Avidesa MacPollo es un dispositivo tipo híbrido, es decir puede operar con red eléctrica común y/o con un conjunto de baterías, permitiendo que se instale tanto en sistemas conectados a red como en sistemas autónomos. A continuación se muestran las partes principales del inversor y su esquema de conexión.

Figura 89. Inversor Axpert Mks



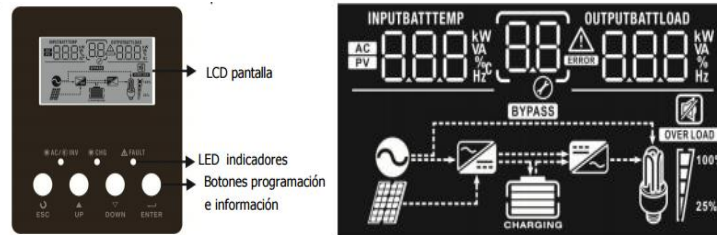
Fuente: Manual de operaciones inversor Axpert Mks

Figura 90. Partes principales inversor Axpert



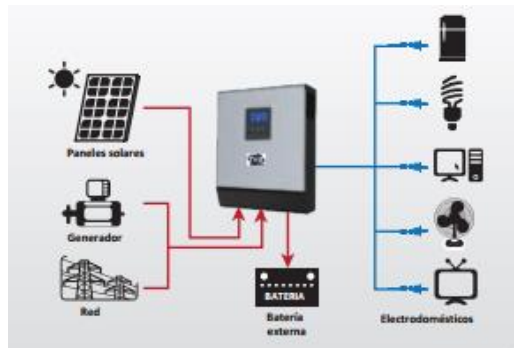
Fuente: Manual de operación inversor Axpert Mks

Figura 91. Display LCD Inversor Axpert



Fuente: Manual de operaciones inversor Axpert Mks

Figura 92. Esquema de conexión inversor Axpert



Fuente: Manual de operaciones inversor Axpert Mks

Para mayor información del inversor revisar Anexo H.

6.3.2 Información de los paneles FV utilizados en la prueba

Para la prueba se cuenta con tres paneles policristalinos de 255 [W] marca Canadian Solar, que se encargarán de generar la energía requerida para las pruebas. Los paneles tienen las características eléctricas que se muestran en la tabla 21.

Tabla 21. Características eléctricas paneles Canadian Solar 255w

Potencia max nominal (Pmax)	255 [W]
Voltaje de operación (Vmpp)	30,2 [VDC]
Corriente de operación (Impp)	8,43 [A]
Voltaje de circuito abierto (Voc)	37,4 [V]
Corriente de corto circuito (Isc)	9 [A]
Eficiencia del modulo	15,85%
Temperatura de operación	-40°C a '+85°C
Maximo voltaje del sistema	1000 [V]

Fuente: Hoja de datos panel 255 W Canadian Solar

Para mayor información de los paneles utilizados en la prueba ver Anexo C.

6.4 CONSTRUCCIÓN

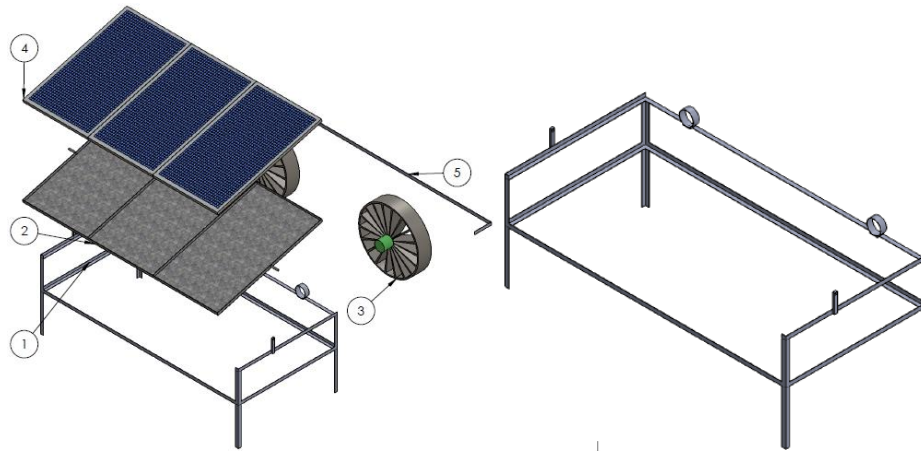
Para la realización de la prueba se construyó una estructura que soporte los paneles fotovoltaicos, permitiendo inclinarlos al ángulo requerido en los criaderos, para asegurar mayor captación de energía solar, adicionalmente esta estructura tiene un espacio para la instalación del inversor y de las cargas a utilizar.

Con el objetivo de simular lo más posible el sistema de ventilación instalado en el criadero de la granja Alpes, para la prueba se utilizarán dos ventiladores monofásicos marca Breezer Katana, con potencia nominal de 0.5 HP, y operan a 220 [VAC].

6.4.1 Diseño y construcción de la estructura de la prueba

El primer paso en la construcción de la prueba, fue diseñar y construir la estructura, para ello se utilizó el software Solidworks, que permite realizar el CAD de la estructura. En la figura 93 se observa la estructura de la prueba.

Figura 93. CAD Baco de la prueba FV



Fuente: Autores

Los planos detallados de la estructura y cada uno de sus componentes se encuentran en el Anexo A.

A partir de los planos se construyó la estructura en un taller de ornamentación de la ciudad. Se utilizaron perfiles de acero tipo L de media pulgada y 1/8" de espesor, como elemento estructural.

Figura 94. Estructura del Banco de prueba



6.4.2 Montaje de los componentes en la estructura

Ya con la estructura soporte construida, se instalan los paneles FV, el inversor y la carga que se va a utilizar.

Figura 95. Cargas a utilizar en la prueba FV



Figura 96. Banco de pruebas FV



6.5 TOMA DE DATOS

6.5.1 Itinerario de la prueba

Se diseñaron 7 configuraciones del sistema para llegar a concluir la eficiencia de cada configuración y determinar más adelante el comportamiento característico de cada uno.

En la figura 97 se muestra el itinerario de la prueba, empezando la prueba a las 11:50 am y terminado ese mismo día a las 12:42, se determinó esta hora porque son las horas de mayor radiación y se podrá caracterizar mejor el sistema con sus eficiencias, voltajes y corrientes máximas.

Además la figura 97 muestra la configuración de conexión del sistema, el respectivo consecutivo de la prueba, la hora en la que se va a realizar y los estados de los contactores del sistema.

Ejemplo: se tiene que para la toma de datos para el tiempo de 11:50 am a 11:59:59 am el contactor K3 y K1 están cerrados y se tiene entrada de energía fotovoltaica y se dirige al ventilador número 1.

Figura 97. Itinerario de la prueba

ESQUEMA DE LA PRUEBA				
HORA	CON	ESTA	ESQUEMA	# CONF.
11:50:00 - 11:59:59	K1	1		1
	K2	0		
	K3	1		
	K4	0		
12:00:00 - 12:00:59	K1	1		2
	K2	0		
	K3	1		
	K4	1		
12:01:00 - 12:01:59	K1	1		3
	K2	0		
	K3	0		
	K4	0		
12:02:00 - 12:11:59	K1	1		4
	K2	1		
	K3	1		
	K4	0		
12:12:00 - 12:21:59	K1	1		5
	K2	1		
	K3	1		
	K4	1		
12:22:00 - 12:31:59	K1	0		6
	K2	1		
	K3	1		
	K4	1		
12:32:00 - 12:42:00	K1	0		7
	K2	1		
	K3	1		
	K4	0		

La configuración tiene propósitos específicos para examinar la eficiencia del sistema en la tabla 22 se describe cada una.

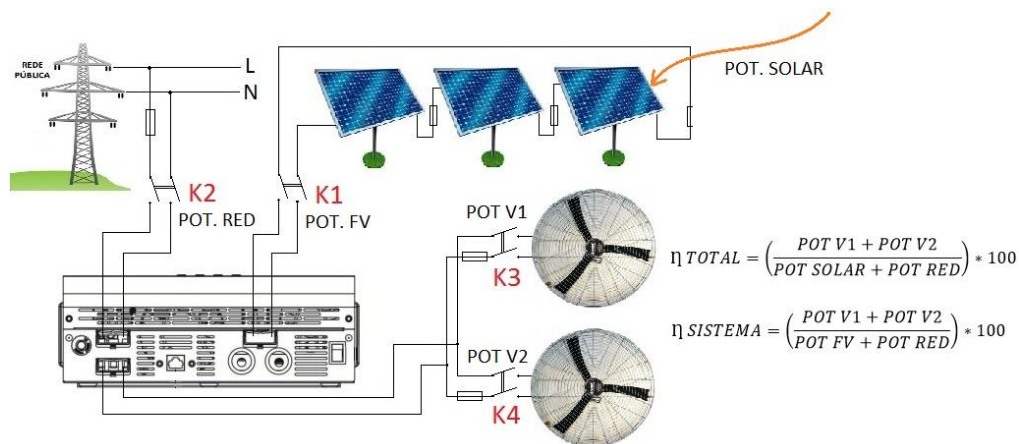
Tabla 22. Descripción de las configuraciones de la prueba

NUM. DE CONF.	DESCRIPCION	ESQUEMA
1	SE PRETENDE MIRAR EL COMPORTAMIENTO DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS CUANDO SE LE ITPONE UNA CARGA QUE CONSUMA MENOS DE LA POTENCIA OFRECIDA POR ELLOS, EN ESTE CASO SOLO SE CONECTA UN VENTILADOR, Y SOLO SE HABILITA LOS PANELES	
2	SE CONECTA AHORA EL SEGUNDO VENTILADOR, SOLO CON ALIMENTACION DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS, PARA DETERMINAR SI EL SITEMA ES CAPAZ DE RESPONDER MOMENTANEAMENTE UNA SOBRECARGA DE CORRIENTE, PARA ESTO SE DISPUSIERON DE SISTEMA DE PROTECCION PARA EVITAR EL DAÑO DE LOS EQUIPOS	
3	EN ESTA CONFIGURACION SE DESEA CORROBORAR LOS DATOS DEL FABRICANTE, GENERANDO UN CIRCUITO ABIERTO PARA MEDIR EL VOLTAJE PRODUCIDO POR LOS PANELES SIN NINGUNA CARGA PUESTA.	
4	AHORA SE CONECTA LA RED AL INVERSOR, DEJANDO ASI MOSTRAR EL COMPORTAMIENTO DE LOS PANELES Y LA RED, CON RESPECTO A UNA CARGA INSTALADA, EN ESTE CASO UN SOLO VENTILADOR, QUE SU CONSUMO ENERGETICO ES MUY INFERIOR AL OFRECIDO POR PANELES Y RED	
5	SE PRUEBA AHORA LAS DOS CARGAS, CONECTADAS A LOS DOS RECURSOS ENERGETICOS DISPONIBLE, LA RED Y LOS PANELES FOTOVOLTAICOS, ESTA CONFIGURACION ES LA DENOMINADA COMO GRID-TIE Y SE ESPERA UN SUMINISTRO BAJO DE LA RED.	
6	PARA LAS CONDICIONES DE DEFECTO DEL SISTEMA, EN TIEMPO DE POCA RADIACION, PROBLEMAS TECNICOS O MATENIMIENTO DE LOS EQUIPOS SE PRUEBA EL SISTEMA SIN LOS PANLES Y EL SISTEMA TOME TODO SU CONSUMO ENERGETICO DE LA RED, EN ESTE CASO SE PRENDEN LOS DOS VENTILADORES.	
7	SE ANALIZARA AHORA LA MISMA CONDICION DE LA CONFIGURACION ANTERIOR PERO CON UN SOLO VENTILADOR.	

La eficiencia se determinará a partir de cada configuración y se trabajará desde dos puntos de vista, el primero con respecto a la energía fotovoltaica suministrada, y el segundo con respecto a la energía solar instantánea.

En la figura 98 se explica cómo se plantearon las eficiencias de forma gráfica

Figura 98. Eficiencias del sistema

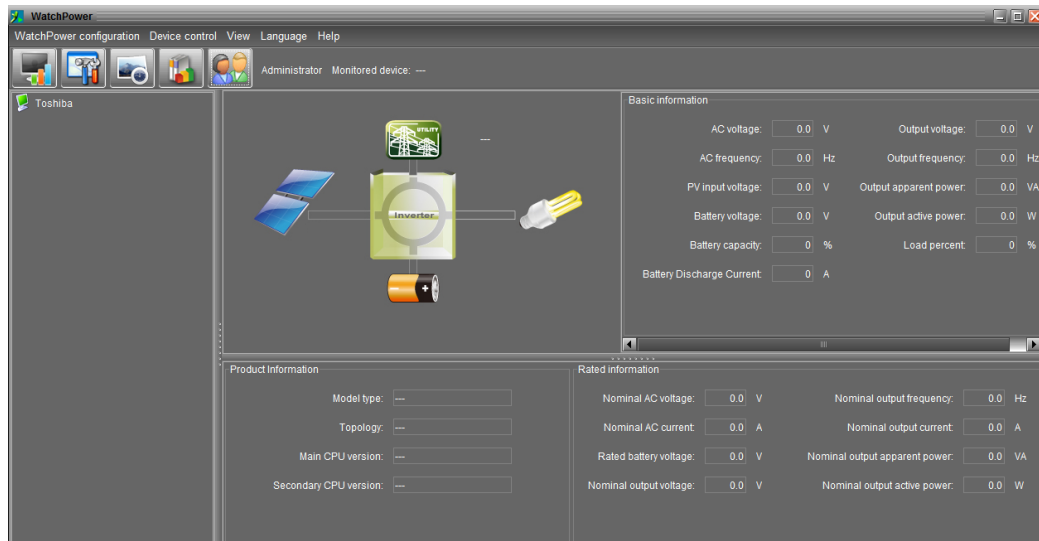


6.5.2 adquisición de datos

La toma de datos se realizó mediante el software del inversor este permite monitorear el estado de funcionamiento del sistema FV a través de un computador, entregando la siguiente información al usuario, voltaje y corriente del conjunto de paneles, características de las entradas de AC y condiciones de la energía de salida, así como estado de carga de las baterías.

Se configuró el software para que tomara datos cada segundo, y actualizara la ventana de notificaciones cada 2 segundos, estas configuraciones están disponibles en el módulo de watch power configurations en el menú de opciones en la parte superior izquierda de la interfaz del software.

Figura 99. Interfaz software Inversor Axpert



La toma de datos se realizó el día 23 de abril de 2015, en las instalaciones de la empresa Avides MacPollo sección mantenimiento de equipos de refrigeración, orientando la estructura al sur para mayor captación de radiación.

Figura 100. Eficiencias del sistema



Se comprobó el funcionamiento de los módulos FV y el correcto estado de las conexiones mediante equipos de medición eléctrica.

6.6 RESULTADOS

La primera caracterización después de la toma de datos fue la condición de arranque de los motores para estos ventiladores se resume en la tabla 23.

Tabla 23. Caracterización arranque de los ventiladores

SISTEMA	CORRIENTE DE ARRANQUE	VOLTAJE DE ARRANQUE	POTENCIA DE ARRANQUE
VENTILADOR 1	8.1 [A]	202.3 [V]	1310.9 [W]
VENTILADOR 2	8 [A]	202.8 [V]	1297.9 [W]

La corriente de arranque característica de estos ventiladores es de $3.24 \cdot I_n$ y tiene una reducción de la tensión en el arranque de 9%

Con esto se llega a la conclusión de que el sistema de paneles FV no es capaz de responder al consumo energético instantáneo en el arranque de un ventilador.

En la tabla 24 se muestran los datos de la corriente, voltaje y potencia promedio, de cada punto del sistema, dependiendo de la configuración y de la condición de radiación promedio en la que se tomaron los datos.

Este promedio se realizó con los datos totales tomados por cada configuración del sistema. Por ejemplo el promedio de corriente que circula por la línea de los paneles fotovoltaicos al inversor, medida entre las 12:12 pm y 12:21:59 pm (es decir configuración 5) con un promedio de radiación de 908.3 [w/m²] es de 7.96 Amperios

Tabla 24. Datos promedios obtenidos de la prueba

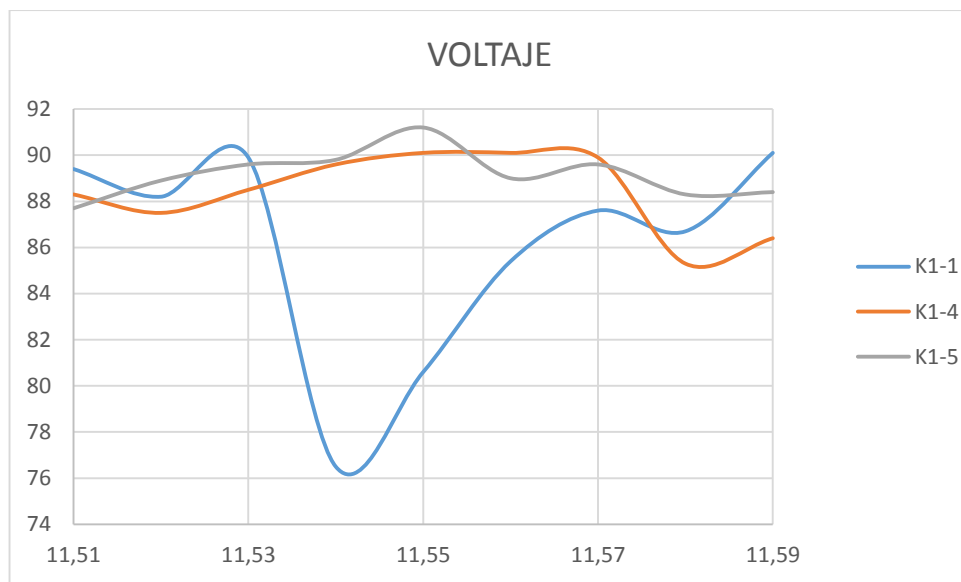
DATOS			PROMEDIO			H_PROM	ESQUEMA
HORA	CON	ESTA	V_pro	A_pro	W_pro		
11:50:00 - 11:59:59	K1	1	85.98	7.933	682	910.2 [W/m ²]	
	K2	0	0	0	0		
	K3	1	219.3	2.43	426		
	K4	0	0	0	0		
	η SISTEMA						
η TOTAL					9.92		
12:00:00 - 12:00:59	K1	1	40.3	9.1	366.73	913.1 [W/m ²]	
	K2	0	0	0	0		
	K3	1	97.3	2.3	179.032		
	K4	1	97.2	2.3	178.85		
	η SISTEMA						
η TOTAL					15.48		
12:01:00 - 12:01:59	K1	1	106.8	6.3	672.84	901.8 [W/m ²]	
	K2	0	0	0	0		
	K3	0	0	0	0		
	K4	0	0	0	0		
	η SISTEMA						
η TOTAL							
12:02:00 - 12:11:59	K1	1	88.44	7.92	701	902.2 [W/m ²]	
	K2	1	220.8	1.92	424		
	K3	1	219.4	2.45	430		
	K4	0	0	0	0		
	η SISTEMA						
η TOTAL					9.74		
12:12:00 - 12:21:59	K1	1	89.12	7.969	710	908.3 [W/m ²]	
	K2	1	220.8	0.795	176		
	K3	1	219.7	2.46	432		
	K4	1	219.6	2.44	429		
	η SISTEMA						
η TOTAL					15.41		
12:22:00 - 12:31:59	K1	0	0	0	0	915.6 [W/m ²]	
	K2	1	220.8	4.046	893		
	K3	1	219.6	2.46	432		
	K4	1	219.7	2.47	434		
	η SISTEMA						
η TOTAL					15.37		
12:32:00 - 12:42:00	K1	0	0	0	0	917.9 [W/m ²]	
	K2	1	220.7	2.062	455		
	K3	1	219.7	2.46	432		
	K4	0	0	0	0		
	η SISTEMA						
η TOTAL					15.06		

A continuación se muestran las gráficas del comportamiento de cada una de las variables de interés

6.6.1 Graficas y comparación de las diferentes configuraciones de la prueba

El voltaje necesario para la caracterización del sistema FV (voltaje DC) se analizó para en primera instancia conocer las características de potencia del sistema fotovoltaico y corroborar los datos del fabricante por tanto se graficaron los voltajes DC de las pruebas 1,4 y 5, pruebas en las cuales el sistema fotovoltaico está habilitado, de la cual se obtuvo la gráfica 101.

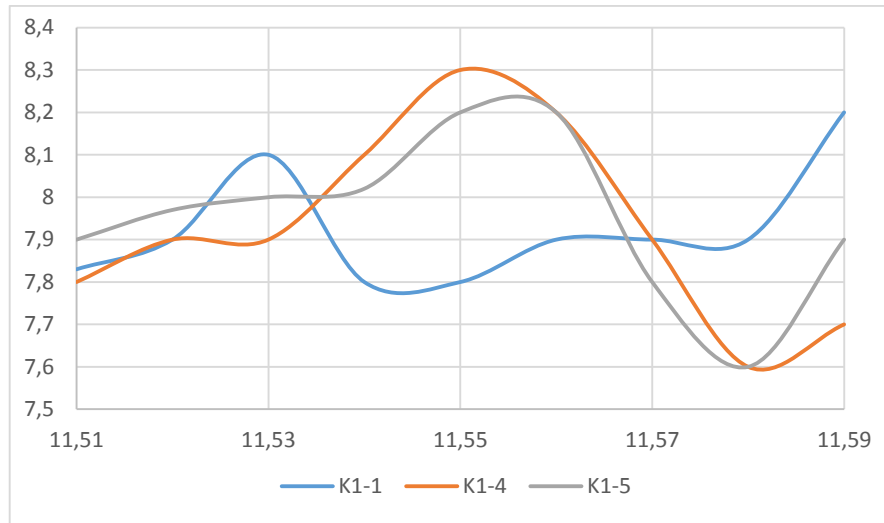
Figura 101. Voltaje DC de los paneles FV



Cabe resaltar que esta grafica se realizó con el voltaje promedio de cada minuto de la prueba, es decir de cada 60 segundos, (cada 60 datos) se determinó el promedio y se tabuló para la posterior graficacion.

El voltaje de la configuración 1, vista en la figura anterior, tiene un pico mínimo debido al paso de una nube que disminuyo la radiación directa sobre el panel.

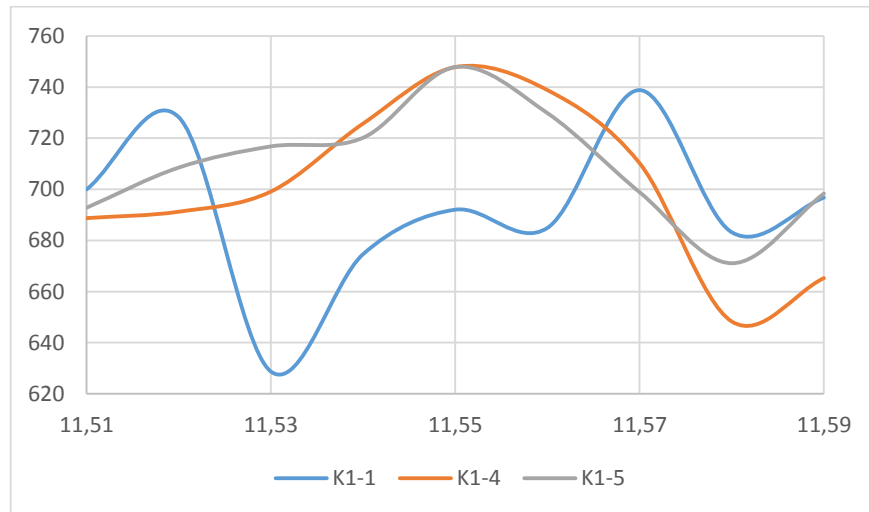
Figura 102. Corriente de paneles FV



En la figura 102 se graficó la corriente entregada por el sistema fotovoltaico, observando un comportamiento muy similar en las pruebas 4 y 5, y una disminución de la corriente generada en el momento del paso de la nube.

Con los datos de corrientes y voltajes se puede determinar la potencia entregada por el conjunto de paneles graficado en la figura 103.

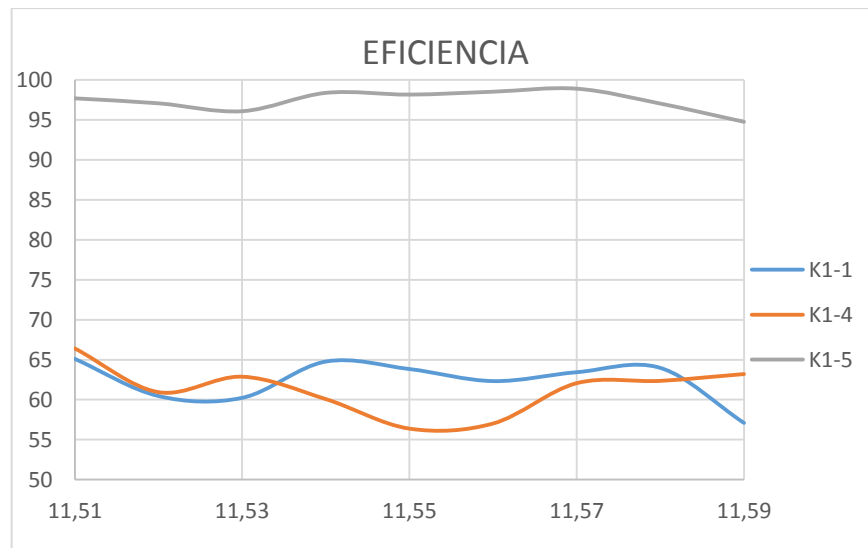
Figura 103. Potencia Instantánea



Como se puede ver sigue el comportamiento de las gráficas anteriores de voltaje y corriente, teniendo un mínimo en los instantes del paso de la nube, y con una variación de 80 vatios aproximadamente en el periodo de la toma de datos.

El fin de la prueba era determinar la eficiencia del sistema fotovoltaico, en la figura 104 se ve el comportamiento de la eficiencia durante el periodo de la toma de datos.

Figura 104. Eficiencia



La eficiencia de las configuraciones 1 y 4, son bajas debido a que la carga es menor que la energía ofrecida por los paneles, es decir la energía de los paneles sobrante se está desperdiciando ya que el inversor no permite la inyección a la red, esto disminuye la eficiencia del sistema con este tipo de inversor.

La eficiencia en la configuración 5 se acerca al 100% debido que la carga está en el mismo rango de la potencia instalada en paneles, es decir la potencia instantánea requerida por los ventiladores es igual o está un poco por encima de los paneles, entonces el sistema de paneles ofrece su mayor energía sin desperdicio alguno de energía.

7. MARCO LEGAL VIGENTE

El 13 de mayo de 2014, el congreso colombiano firmo la ley N° 1715, con la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, antes de esta ley no estaba contemplada la normativa que rigiera la interconexión entre el sistema energético nacional y las fuentes no convencionales de energía. A partir de esta ley el gobierno colombiano establece una serie de parámetros, marcos legales y disposiciones para este tipo de fuentes energéticas. En este capítulo se hará una breve descripción de la ley 1715 de 2014, enfocada en los sistemas de energía solar.

7.1 DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1°. Objeto. La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.

Artículo 2°. Finalidades de la ley:

- a) Orientar las políticas públicas y definir los instrumentos tributarios, arancelarios, contables y de participación en el mercado energético colombiano.
- b) Incentivar la penetración de las fuentes no convencionales de energía.
- c) Establecer mecanismos de cooperación y coordinación entre el sector público, el sector privado y los usuarios para el desarrollo de las fuentes no convencionales de energía.

- d) Estimular la inversión, la investigación y el desarrollo para la producción y utilización de energía a partir de fuentes no convencionales de energía.
- e) Fijar las bases legales para establecer estrategias nacionales de cooperación que contribuyan al propósito de la presente ley.

Artículo 5°. Definiciones:

1. Autogeneración. Aquella actividad realizada por personas naturales o jurídicas que producen energía eléctrica principalmente, para atender sus propias necesidades. En el evento en que se generen los excedentes de energía eléctrica a partir de tal actividad, estos podrán entregarse a la red, en los términos que establezca la CREG
2. Contador bidireccional. Contador que acumula la diferencia entre los pulsos recibidos por sus entradas de cuenta ascendente y cuenta descendente.
3. Energía solar. Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que consiste de la radiación electromagnética proveniente del sol.
4. Excedente de energía. La energía sobrante una vez cubiertas las necesidades propias, producto de una autogeneración o cogeneración.
5. Fuentes no convencionales de energía (FNCE). Son aquellos recursos de energía disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente.

7.2 DISPOSICIONES PARA LA GENERACION DE LA ELECTRICIDAD CON FNCE Y LA GESTION EFICIENTE DE LA ENERGIA

Artículo 8°. Promoción de la autogeneración a pequeña y gran escala y la generación distribuida. El gobierno nacional promoverá la autogeneración a pequeña y gran escala por medio de los siguientes mecanismos:

- a) Entrega de excedentes. Se autoriza a los autogeneradores a pequeña y gran escala a entregar sus excedentes a la red de distribución y/o transporte.

- b) Sistemas de medición bidireccional y mecanismos simplificados de conexión y entrega de excedentes a los autogeneradores a pequeña escala. Los autogeneradores a pequeña escala podrán usar medidores bidireccionales de bajo costo para la liquidación de sus consumos y entregas a la red.
- c) Venta de créditos de energía. Aquellos autogeneradores que por los excedentes de energía entregados a la red de distribución se hagan acreedores de los créditos de energía de los que habla el literal a) del presente artículo, podrán negociar dichos créditos y los derechos inherentes a los mismos con terceros naturales o jurídicos.

7.3 INCENTIVOS EN PROYECTOS DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA

Artículo 11°. *Incentivos a la generación de energías no convencionales.* Como fomento a la investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de FNCE, la gestión eficiente de energía, los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones en este sentido, tendrán derecho a reducir anualmente de su renta, por los 5 años siguientes al año gravable que hayan hecho la inversión, el cincuenta por ciento (50%) del valor total de la inversión.

El valor a deducir por este concepto, en ningún caso podrá ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente determinada antes de restar el valor de la inversión.

Artículo 12°. *Instrumentos para la promoción de las FNCE.* Incentivo tributario IVA. Para fomentar el uso de la energía procedente de FNCE, los equipos, elementos, maquinaria y servicios adicionales o importados que se destinen a la preinversión e inversión, para la producción y utilización de energía a partir de las fuentes no convencionales, así como la medición y evaluación de los potenciales recursos estarán excluidos de IVA.

Artículo 14°. Instrumentos para la promoción de las FNCE. Incentivo contable depreciación acelerada de activos. La actividad de generación de a partir de FNCE, gozara del régimen de depreciación acelerada.

La depreciación acelerada será aplicable a las maquinas, equipos y obras civiles necesarias para la pre-inversión, inversión y operación de la generación con FNCE, que sean adquiridos y/o construidos, exclusivamente para ese fin, a partir de la vigencia de la presente ley. Para estos efectos, la tasa anual de depreciación será no mayor de veinte por ciento (20%) como tasa global anual.

7.4 DEL DESARROLLO Y PROMOCION DE LAS FNCER

Artículo 19°. Desarrollo de la energía solar.

1. La energía solar se considera como FNCER.
2. El gobierno nacional a través del ministerio de minas y energía, ministerio de vivienda y ministerio de ambiente y desarrollo sostenible en el marco legal de sus funciones, fomentará el aprovechamiento del recurso solar en proyectos de urbanización municipal o distrital, en edificaciones oficiales, en los sectores industriales, residenciales y comercial.
3. El gobierno nacional incentivará el uso de la generación fotovoltaica como forma de autogeneración y en esquemas de generación distribuida con FNCER.

8. ANALISIS FINANCIERO

8.1 GRANJA TERRAZAS

8.1.1 Aspectos generales

Se identificaron dos puntos de enfoque para realizar el análisis de este proyecto: ambiental y económico.

El enfoque ambiental genera un beneficio intangible para la empresa, además ratifica el compromiso adquirido por Avidesa MacPollo con el medio ambiente y con la sociedad, siendo empresa pionera a nivel regional en incurrir en el campo de las energías renovables, contribuyendo a la disminución en las emisiones de gases de invernadero.

La tabla 25, muestra la cantidad de CO₂ que se emanaría a la atmósfera, si la energía generada por el sistema FV fuera producida por centrales termoeléctricas que utilizan gas o carbón como combustible.

Tabla 25. Disminución de emisiones de CO₂

TIPO	Emisiones de CO ₂ [KgCO ₂ /Kw-h]	Energía Generada Anual [Kw-h/año]	Disminución de emisiones [KgCO ₂ /año]
GAS	0.4	23078	9231.58
CARBON	1	23078	23078

La instalación del sistema FV grid tie, con capacidad de generación máxima de 16 [kW], reduciría hasta 23 toneladas anuales las emisiones de CO₂ a la atmosfera.

Para el enfoque económico se tiene en cuenta:

- Costos:

- Inversión inicial requerida en cada uno de los componentes del sistema FV.
- Costo de mantenimiento.
- Ahorros:
 - Ahorro energético debido a la disminución del consumo de red.
 - Ahorro de impuestos, estímulo que ofrece el estado mediante reducción en el impuesto de renta.

El proceso de optimización de costos y estimación del periodo de retorno de la inversión en función de la potencia instalada se basó en tres factores:

- ✓ Inversión inicial
- ✓ Egresos anuales
- ✓ Ingresos anuales

Se utilizó el método de periodo de recuperación (PR) donde se iguala los costos a los ingresos en el presente y se determina un número de años de recuperación.

Se parte de la premisa que los costos y los ingresos son dependientes de la potencia a instalar, por tanto se busca la potencia que cumpla los requerimientos del criadero con un costo mínimo y el tiempo de recuperación de la inversión sea el más corto.

La potencia que se requiere instalar se trabaja en watts [W], el tiempo de recuperación se determina en años, y los costos se valoran en COP (Peso colombiano)

8.1.2 Optimización

8.1.2.1 Inversión Inicial

La inversión inicial se compone principalmente de cuatro costos:

$$C_{ini} = POT(C_{winv} + C_{wpan} + C_{west} + C_{wvar})$$

Donde

C_{winv} : Costo por vatio del inversor

C_{wpan} : Costo por vatio de panel instalado = 2900 COP

C_{west} : Costo por vatio de la estructura soporte de los módulos FV

C_{wvar} : Costo por vatio de cables, conectores y otros.

$$C_{winv} = (9205 * POT^{0.7876})/POT$$

$$C_{west} = (8775 * POT^{0.4526})/POT$$

$$C_{wvar} = (826.7 * POT^{0.8533})/POT$$

El costo de los equipos y los elementos necesarios para la instalación FV, que se muestra en las ecuaciones anteriores se obtuvo mediante parametrización del valor de los mismos en el país.

8.1.2.2 Egresos Anuales

El costo de operación, se determina sumando el costo de mantenimiento del sistema FV y el valor de la energía eléctrica suministrada por la red, ambos aumentan anualmente con la inflación que afecta el país.

Avides MacPollo propone una tasa interna de retorno (TIR) del 15%, basada en políticas internas y experiencias de proyectos previos.

El costo de operación es dependiente de la potencia a instalar, se estimó que 9 [kW] de paneles FV, requieren una hora de mantenimiento al día.

$$C_{mant} = \left(\frac{A_1}{G_m - i} \right) \left[\frac{(1 + G_m)^n}{(1 + i)^n} - 1 \right]$$

$$A_1 = \frac{POT}{9000} * 2684.8 * 365$$

$$G_m = 0.04$$

Los costos totales serán la suma de los egresos anuales más la inversión inicial

$$C = C_{ini} + C_{mant}$$

Este costo total sera uno de los parametros fundamentales para la optimizacion del sistema.

8.1.2.3 Ingresos anuales

Respecto a los ingresos anuales, se tiene el ahorro energetico y la reduccion en el impuesto de renta. El ahorro enegetico se genera gracias a la instalacion FV, disminuyendo la energia que se consume de la red, esta en funcion de la potencia que se requiere instalar, la radiación de la zona, y la eficiencia global del sistema.

La energia que se esta dejando de consumir, tiene un precio promedio anual de \$359 COP por [kW-h] para el presente año, y aumenta anualmente con la inflacion del pais.

$$A_{fv} = \left(\frac{A_2}{G_r - i} \right) \left[\frac{(1 + G_r)^n}{(1 + i)^n} - 1 \right]$$

$$A_2 = area_{fv} * 365 * C_{kwred}$$

$$area_{fv} = POT * 0.00494333$$

$$G_r = 0.04$$

$$i = 0.15 (TIR)$$

La reduccion en el valor del impuesto en la renta es del 50% de la inversion inicial del sistema de generacion de energia FV. Esta deduccion en los impuestos se realiza en los siguientes cinco años de la implementacion del sistema.

$$A_{impu} = \left(\frac{A_4}{G_i - i} \right) \left[\frac{(1 + G_i)^{n_1}}{(1 + i)^{n_1}} - 1 \right]$$

$$n_1 = 5$$

$$A_4 = \frac{C_{ini}}{5 * 2}$$

$$G_i = 0.04$$

El ahorro anual es la suma de estos ahorros

$$A = A_{fv} + A_{impu}$$

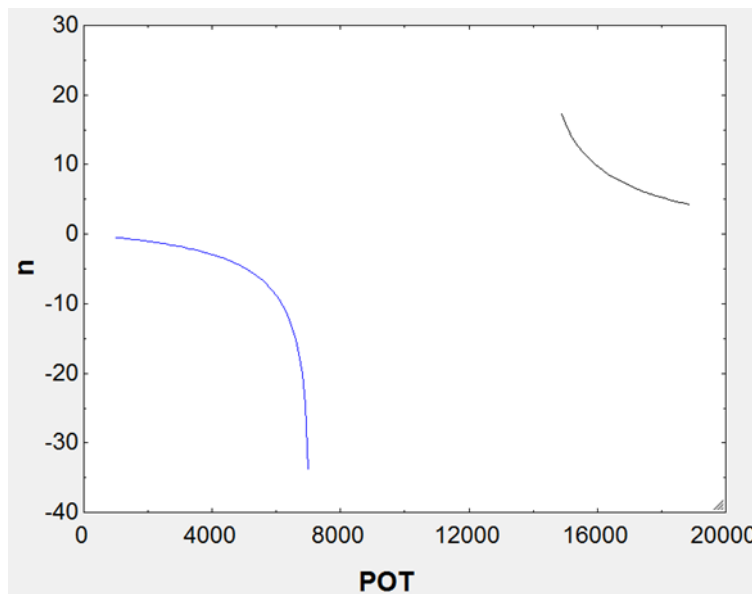
8.1.3 Resultados

Teniendo las ecuaciones planteadas y con el fin de buscar el menor periodo de recuperacion de la inversion y el costo total minimo, se igualan los ahorros esperados a el costo total.

$$C = A$$

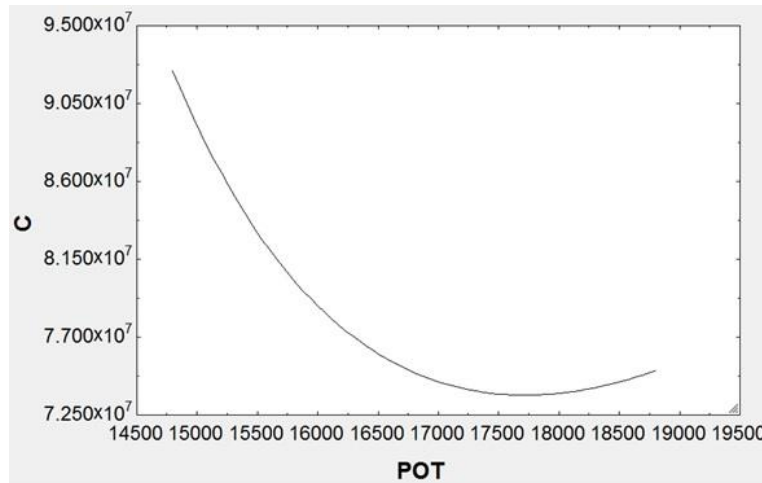
Se obtuvieron las siguientes graficas:

Figura 105. Tiempo de recuperación de la inversión granja Terrazas



La figura 105 muestra el numero de años de recuperacion de la inversion a partir de la potencia a instalar, de esta gráfica no se determina una potencia optima, ya que esta decrece de forma logaritmica y no tiene valor minimo, solo se podrá deducir que la potencia a instalar es superior a 15 [kW], ademas se observa que potencias menores a 8 [kW] no generan ningun beneficio económico.

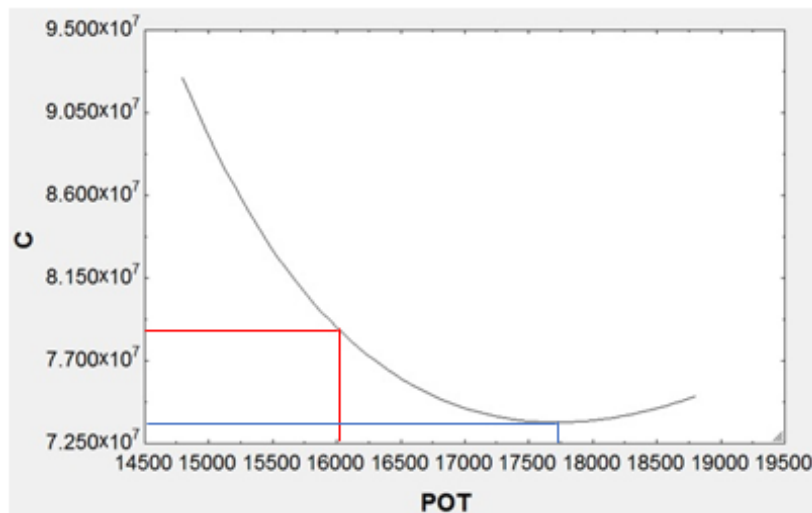
Figura 106. Optimización de potencia basado en costos granja Terrazas



La figura 106 muestra el costo total en función de la potencia a instalar, la curva presenta una potencia optima de 17.7 [kW] a un costo correspondiente de \$73'615.000 COP y tiene un periodo de recuperacion de 7 años.

Sin embargo esta potencia seria la optima para cubrir las necesidad del sistema en el dia mas critico, por tanto se decidio aplicarle un factor a esta potencia del 90%, para que en los primeros dias de crianza del ave no se desperdicie tanta energia solar, entonces la potencia a instalar sera 16 [kW].

Figura 107. Potencia real a instalar granja Terrazas



En la Figura 107 se muestra el costo mínimo (azul), y el costo real (rojo) para la potencia a instalar de 16 [kW], este costo es \$79'190.000 COP, es decir se tiene un aumento de \$5'575.000 COP respecto al mínimo, esto se debe a que se aumenta el tiempo de retorno de la inversión como se observa en la figura 108, donde se pasa de un periodo aproximado de 7 a 10 años.

Figura 108. Tiempo de retorno de la inversión

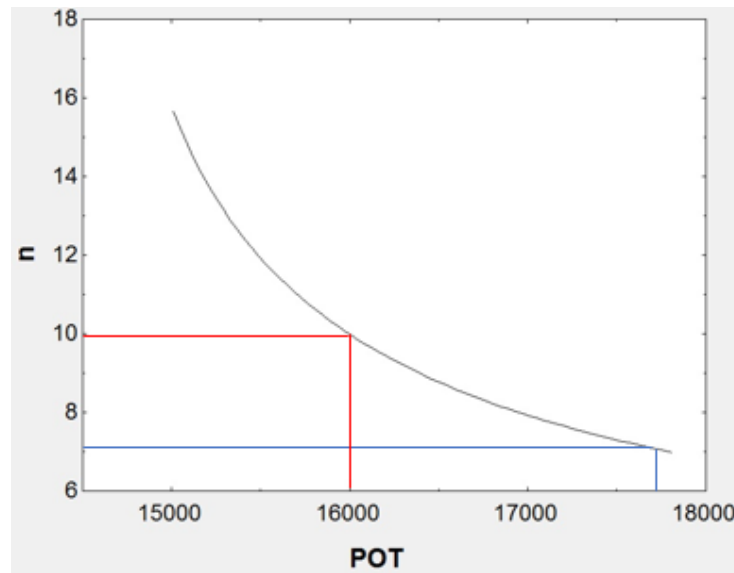
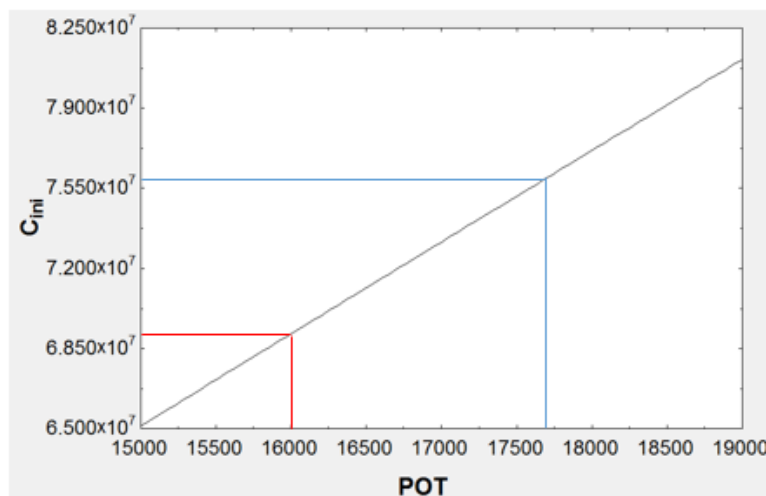


Figura 109. Inversión inicial sistema FV granja Terrazas



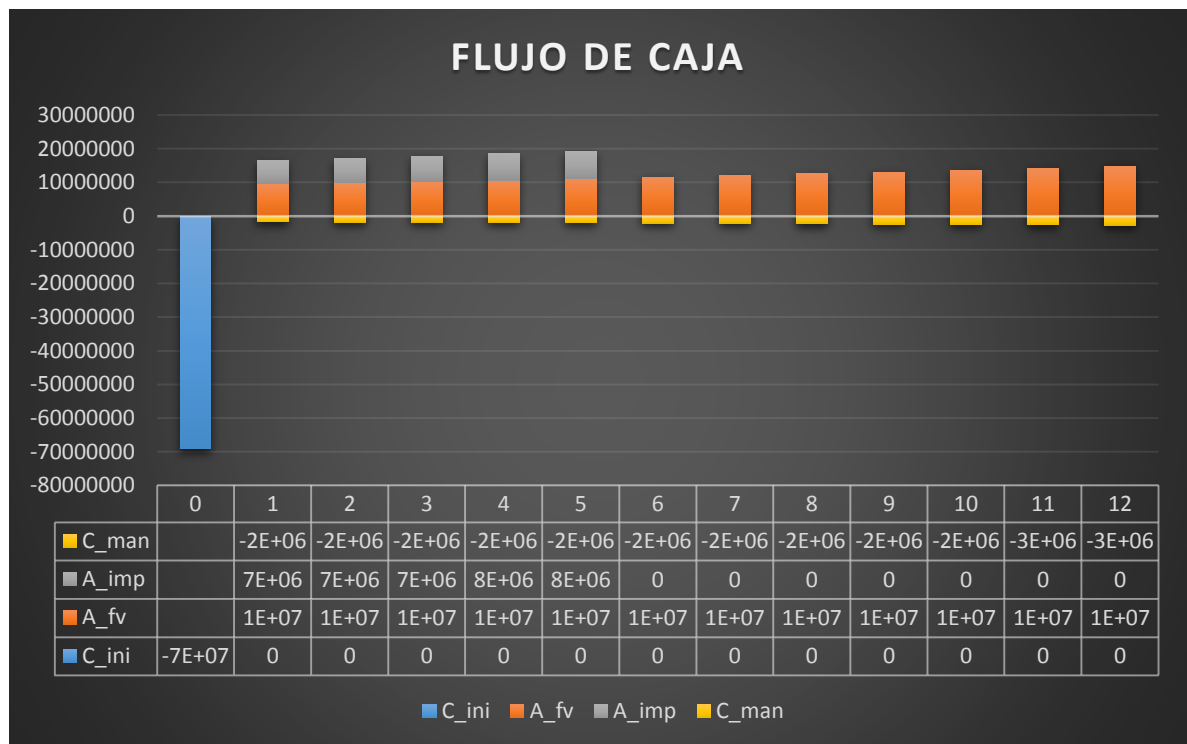
Respecto al costo inicial, la reducción es de \$6'810.000 COP como lo muestra la figura 109, instalar una potencia de 17.7 [kW] tiene un valor de \$75'950.000 COP mientras para 16 [kW] es de \$69'140.000 COP.

A continuación se detallarán los costos en base a los factores que permitieron realizar la optimización, teniendo en cuenta que la potencia a instalar es 16 [kW].

8.1.4 flujo de caja

Se calculó los egresos e ingresos del primer año, además de la inversión inicial, esto para detallar el flujo de caja del proyecto, teniendo como previo conocimiento la TIR del 15%, la inflación anual de los costos y que el periodo debe estar entre 9 y 10 años, por tanto se proyectará el flujo de caja a 12 años.

Figura 110. Flujo de caja granja Terrazas



Se observa que la inversión es bastante grande, respecto a los ingresos anuales, lo que le da un periodo de retorno extenso, los egresos anuales no son muy representativos, y los ingresos por la energía aportan la mayoría de beneficios del

sistema, además el ahorro por los impuestos solo está presente al cabo de 5 años, sin embargo generan una disminución considerable del periodo de retorno.

En la tabla 26 se muestran los valores anuales tanto de ahorro como de costos, estos son acumulables, es decir el dato que se muestra de ahorro total para el año 3 corresponde a la suma de los ahorros generados los años anteriores.

Tabla 26. Determinación del periodo de retorno granja Terrazas

VPN						
AÑOS	A_fv	A_imp	Ahorro TOTAL	C_man	Costo TOTAL	PR
1	8281739.13	6012173.91	14293913.04	-1513913.04	-70653913	-56360000
2	15771311.9	11449270.3	27220582.23	-2883017.01	-72023017	-44802434.8
3	22544490.8	16366296.6	38910787.41	-4121163.21	-73261163.2	-34350375.8
4	28669800.3	20812998.7	49482799.05	-5240878.04	-74380878	-24898079
5	34209210.8	24834364	59043574.79	-6253489.7	-75393489.7	-16349914.9
6	39218764.5	24834364	64053128.55	-7169242.86	-76309242.9	-12256114.3
7	43749143.6	24834364	68583507.59	-7997402.24	-77137402.2	-8553894.65
8	47846182	24834364	72680546.04	-8746346.37	-77886346.4	-5205800.34
9	51551329.8	24834364	76385693.84	-9423652.37	-78563652.4	-2177958.53
10	54902072.2	24834364	79736436.21	-10036172.6	-79176172.6	560263.632
11	57932308.7	24834364	82766672.79	-10590103.9	-79730103.9	3036568.89
12	60672696.6	24834364	85507060.65	-11091050.5	-80231050.5	5276010.16

Como se observa el valor presente neto (VPN) a una tasa interna de retorno (TIR) de 15% de las ganancias es mayor a los costos entre 9 y 10 años, más exactamente 9.7 años

8.2 GRANJA ALPES

8.2.1 Aspectos Generales

Este proyecto se analizará desde dos enfoques, primero ambientalmente y luego se realizara un análisis financiero.

Desde el punto de vista ambiental, Avides MacPollo refuerza el compromiso con el medio ambiente, a través de una disminución esperada en la cantidad de CO₂ emitido a la atmósfera, como se observa en la tabla 25, se reduce hasta en 23 toneladas anuales.

Para el enfoque económico se tiene en cuenta:

- Costo total: es la suma de los costos, inversión inicial realizada en los componentes del sistema y el costo del mantenimiento durante la vida útil de la instalación.
- Ahorro: disminución del consumo energético de la red. Estímulos que ofrece el estado mediante reducción de impuestos.

El proceso de optimización de costos y estimación del periodo de recuperación de la inversión en función de la potencia a instalar se basó en tres factores, inversión inicial, egresos anuales, ingresos anuales.

Se utilizó el método de periodo de recuperación (PR) donde se igualan los costos y los ingresos en el presente y se determina un número de años de recuperación.

8.2.2 Optimización

8.2.2.1 Inversión inicial

Semejante al análisis realizado para la granja Terrazas, la inversión inicial se compone principalmente de 4 costos

$$C_{ini} = POT(C_{winv} + C_{wpan} + C_{west} + C_{wvar})$$

Donde

C_{winv} : Costo por vatio del inversor

C_{wpan} : Costo por vatio de panel instalado = 2900 COP

C_{west} : Costo por vatio de la estructura soporte de los módulos FV

C_{wvar} : Costo por vatio de cables, conectores y otros.

$$C_{winn} = (9205 * POT^{0.7876})/POT$$

$$C_{west} = (8775 * POT^{0.4526})/POT$$

$$C_{wvar} = (826.7 * POT^{0.8533})/POT$$

8.2.2.2 Egresos anuales

Los egresos se determinan a partir del costo de la energía eléctrica suministrada por la red, más el valor debido a labores de mantenimiento, estos son variables y aumentan anualmente.

La tasa interna de retorno, que propone la empresa Avidesa MacPollo es de 15%, basada en proyectos anteriores y en políticas internas.

El costo del mantenimiento en el tiempo es dependiente de la potencia instalada, se estima que cada 9 [kW] requiere una hora de mantenimiento diaria. A continuación se presenta la ecuación para determinar los costos de mantenimiento.

$$C_{mant} = \left(\frac{A_1}{G_m - i} \right) \left[\frac{(1 + G_m)^n}{(1 + i)^n} - 1 \right]$$

$$A_1 = \frac{POT}{9000} * 2684.8 * 365$$

$$G_m = 0.04$$

Los costos totales serán la suma de los egresos anuales más la inversión inicial

$$C = C_{ini} + C_{mant}$$

8.2.2.3 Ingresos anuales

Como ingreso anual, se tiene el ahorro energético y la disminución en impuestos ofrecida por el estado. El ahorro energético es la energía que no se consume de la red eléctrica, generada por el sistema FV, es función de la potencia instalada, la radiación incidente en la región, y las eficiencias de los elementos como el inversor.

La energía que se deja de consumir, tiene un precio promedio anual de 389 COP por [kW-h] para el presente año, y es afectada por la inflación del país.

$$A_{fv} = \left(\frac{A_2}{G_r - i} \right) \left[\frac{(1 + G_r)^n}{(1 + i)^n} - 1 \right]$$

$$A_2 = area_{fv} * 365 * C_{kwred}$$

$$area_{fv} = POT * 0.00494333$$

La disminución de impuestos a la que accede la empresa, es del 50% de la inversión inicial, que se divide los cinco años posteriores a la implementación del sistema FV.

$$A_{impu} = \left(\frac{A_4}{G_i - i} \right) \left[\frac{(1 + G_i)^{n_1}}{(1 + i)^{n_1}} - 1 \right]$$

$$n_1 = 5$$

$$A_4 = \frac{C_{ini}}{5 * 2}$$

$$G_i = 0.04$$

El ahorro anual es la suma de estos ahorros

$$A = A_{fv} + A_{impu}$$

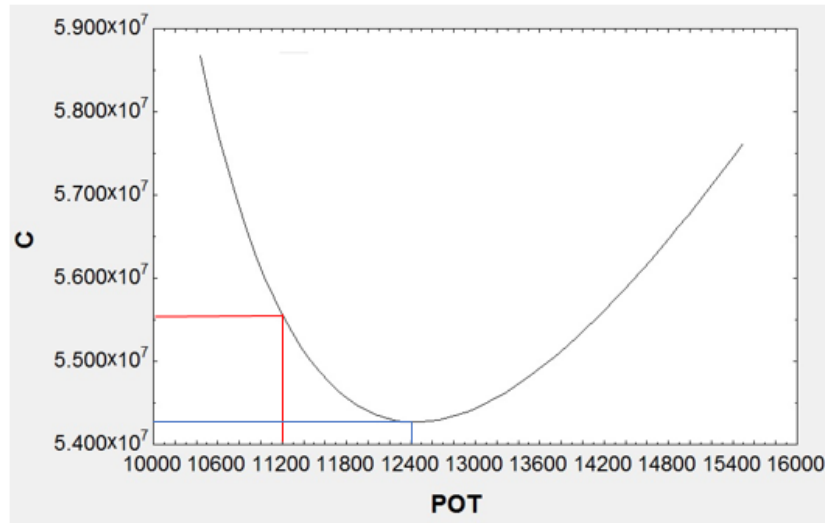
8.2.3 Resultados

Teniendo entonces las ecuaciones planteadas, y con el fin de buscar el periodo de recuperación se bucara el tiempo en que se recupera la inversion, por tanto los costos y los ahorros seran iguales.

$$C = A$$

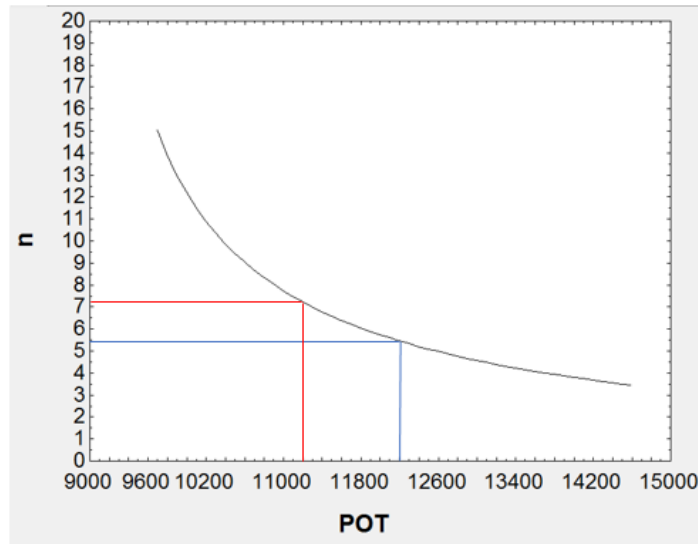
Se obtienen las siguiestnes graficas

Figura 111. Costo total en función de la potencia granja Alpes



La figura 111 muestra el costo total en función de la potencia instalada, la curva tiene un punto de costo mínimo que es $54'305.000$ COP, y corresponden a 12.4 [kW] de paneles FV Sin embargo esta potencia sería la óptima para cubrir las necesidades energéticas el día crítico del sistema, es decir sistema de ventilación y bombeo operando. Se decidió aplicar un factor a esta potencia del 90%, para que en los primeros días de crianza del ave no se pierda tanta energía solar, y este 10% lo cubra la red, un porcentaje bastante aceptable para el requerimiento del sistema, entonces la potencia a instalar será 11.2 [kW].

Figura 112. Tiempo de retorno de la inversion granja Alpes

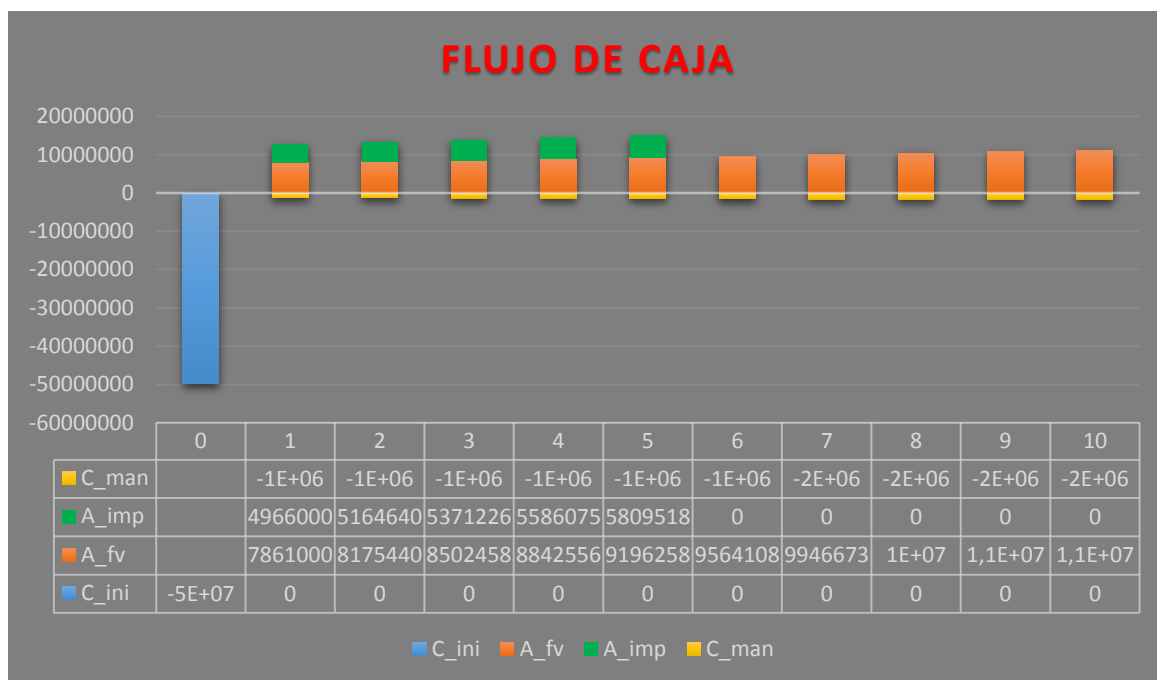


La figura 112 muestra el número de años de recuperación en función de la potencia instalada en vatios, se deduce que la potencia instalada debe estar por encima de 11 [kW], ya que a partir de este punto un aumento de potencia el tiempo de retorno es prácticamente estable. La inversión se recupera en 7 años.

8.2.4 Flujo de caja

Con la potencia seleccionada 11.2 [kW], se calculó los egresos e ingresos del primer año, además de la inversión inicial, esto para detallar el flujo de caja del proyecto, teniendo como previo conocimiento la TIR, las inflaciones anuales de los costos y que el periodo debe estar entre 7 y 8 años, por tanto se proyectará el flujo de caja a 10 años

Figura 113. Flujo de caja granja Alpes



Se observa que la inversión es bastante grande, respecto a los ingresos anuales, lo que le da un periodo de retorno extenso, los egresos anuales no son muy representativos, y los ingresos por la energía aportan la mayoría de beneficios del sistema, además el ahorro por los impuestos solo está presente al cabo de 5 años, sin embargo generan una disminución considerable del periodo de retorno

Tabla 27. Valor presente neto granja Alpes

TABLA VPN						
AÑOS	A_fv	A_imp	Ahorro TOTAL	C_man	Costo TOTAL	VPN
1	6835652.17	4318260.87	11153913.04	-1060000	-50720000	-39566087
2	13017459.4	8223470.7	21240930.06	-2018608.7	-51678608.7	-30437678.6
3	18607963.2	11755138.7	30363101.96	-2885524.39	-52545524.4	-22182422.4
4	23663723.3	14948995	38612718.3	-3669517.71	-53329517.7	-14716799.4
5	28235888.9	17837352	46073240.9	-4378520.36	-54038520.4	-7965279.46
6	32370716.9	17837352	50208068.92	-5019705.37	-54679705.4	-4471636.45
7	36110039.6	17837352	53947391.65	-5599559.64	-55259559.6	-1312167.99
8	39491688	17837352	57329040.03	-6123949.59	-55783949.6	1545090.44
9	42549874.4	17837352	60387226.39	-6598180.49	-56258180.5	4129045.9
10	45315538.6	17837352	63152890.58	-7027050.19	-56687050.2	6465840.4

Como vemos el valor presente neto (VPN) a una tasa interna de retorno (TIR) de 15% de las ganancias son mayores a los costos entre 7 y 8 años, más exactamente 7.4 años

8.3 GRANJA BOSQUE

8.3.1 Aspectos generales

De manera similar al análisis de las granjas terrazas y Alpes, se analiza el proyecto desde un enfoque ambiental y un enfoque económico. El enfoque ambiental prioriza la reducción en la emisión de gases que generan el efecto invernadero, reafirmando el compromiso que tiene la empresa con el medio ambiente.

El enfoque económico se basa en los costos totales que genera el proyecto, tanto inversión inicial como costos de mantenimiento, y el ahorro obtenido por la disminución del consumo energético de la red, la reducción en el monto de impuestos que se pagan al estado, y una menor tasa de mortalidad de las aves.

Es importante destacar, que en este escenario existe un ahorro adicional, y es la disminución de la mortalidad en los galpones ya que se estableció un control de temperatura óptima y una ventilación adecuada para el confort de las aves, brindando así una mejora al crecimiento del ave, y disminuyendo el número de aves muertas por lote.

8.3.1.1 Inversión inicial

La inversión inicial es el resultado de la suma del valor de cada uno de los componentes del sistema.

- Costo generador FV
- Costo inversor
- Costo estructura
- Costo de baterías
- Costo sistema de control
- Costos varios

El valor de los paneles es de \$2900 COP por vatio, por tanto al instalar 2.4 [kW] el costo total del sistema de generación es \$6'960.000 COP.

Como se mencionó en el capítulo de diseño detallado del sistema fotovoltaico de la granja Bosque se requiere instalar 3 inversores en paralelo; el valor unitario de cada inversor es de \$1'700.000 COP, el costo total del sistema de inversión es \$5'100.000 COP.

El costo de la estructura se calcula en \$130 COP por vatio es decir en total este costo es de \$312.000 COP.

El valor unitario de las baterías es de \$500.000 COP, se utilizan 4 baterías de 120 [A-h] para obtener la capacidad de carga requerida por el sistema con un porcentaje de descarga de 30% y maximizar la vida útil de las mismas.

En los costos de control, se tuvo en cuenta el valor del regulador de carga de las baterías, y la inversión requerida para el control de velocidad de los motores de inducción. El controlador de la velocidad de los ventiladores, tiene tres componentes primordiales, un variador de frecuencia, un sensor de humedad y temperatura y un PLC en el cual se programa y ejecuta el control Fuzzy desarrollado.

El valor del regulador es de \$550.000 COP. El variador de frecuencia tiene un costo de \$2'000.000 COP, y el PLC adecuado cuesta \$3'000.000 COP. El costo total de control es la suma de los elementos mencionados y es \$5'550.000 COP.

Los costos varios implican costos de protecciones y sistemas de interconexión, así como costos inoportunos del sistema, se calculan en 250\$/vatio es decir \$600.000 COP.

La tabla que se muestra a continuación resume los Costos iniciales de este escenario.

Tabla 28. Costo total granja Bosque

CONCEPTO		CANT.	VALOR UNI.	VALOR TOTAL
Paneles Solares		2400 [W]	2900 [\$/W]	\$6,960,000
Inversor		3	\$1,700,000	\$5,100,000
Estructura		2400 [W]	130 [\$/W]	\$312,000
Baterias		4	\$500,000	\$2,000,000
Control	Variador de frecuencia	1 X 10HP	\$3,000,000	\$3,000,000
	PLC	1	\$2,000,000	\$2,000,000
	Regulador	1	\$550,000	\$550,000
Varios		2400 [W]	250[\$/W]	\$600,000
COSTO TOTAL INICIAL				\$20,522,000

8.3.1.2 egresos anuales

El costo de mantenimiento del sistema fotovoltaico, en este escenario será nuestro costo de operación o mantenimiento, este costo es calculado a partir de las horas diarias requeridas para el mantenimiento que para este escenario se calcula en 25 minutos diarias para labores de inspección visual tanto a paneles como a las baterías, además el sistema de regulación.

A partir de esto en el primer año se calcula un egreso por concepto de mantenimiento de \$408313 COP.

Esta tendrá una inflación anual del 4 % y con la tasa interna de retorno de la empresa TIR=15%

$$C_{mant} = \left[\frac{A_1}{G_m - i} \right] \left[\frac{(1 + G_m)^n}{(1 + i)^n} - 1 \right]$$

Por medio de esta fórmula de valor presente de gradiente geométrico se podrá calcular el costo total de mantenimiento.

Tabla 29. Egresos granja Bosque

EGRESOS	A1	TIR	G
C_mant	408313	0.15	0.04

En la tabla 29 resume los egresos anuales de esta granja.

8.3.1.3 ingresos anuales

Los ingresos anuales se darán gracias a 3 ahorros generados por la implementación del sistema fotovoltaico:

1. Ahorro por energía fotovoltaica
2. Ahorro por impuestos
3. Ahorro por tasa de mortalidad

La suma de estos 3 ahorros nos dará los ingresos anuales en este escenario

$$A = A_{fv} + A_{mort} + A_{imp}$$

El ahorro por energía fotovoltaica está dado por la siguiente fórmula, con una inflación del costo de la energía de 4% anual, en el primer año se ahorra el equivalente a 11.86 [Kw-h] al día es decir \$1'685000 COP al año, el costo por [Kw-h] está valorado en \$389 COP.

$$A_{fv} = \left[\frac{A_2}{G_r - i} \right] \left[\frac{(1 + G_r)^n}{(1 + i)^n} - 1 \right]$$

$$A_2 = area_{fv} * 365 * C_{kwred}$$

$$area_{fv} = POT * 0.0049433$$

Uno de los ingresos más importantes y por lo cual se instaló el sistema de generación fotovoltaico en estos galpones de la granja el bosque, es la disminución

de la mortalidad de las aves, brindándoles un ambiente más adecuado a sus condiciones de crecimiento, esto ayuda no solamente a disminuir la cantidad de aves muertas por sofocación, y además el de mantener el ambiente optimo, a la temperatura óptima para el correcto crecimiento del pollo.

Esta disminución de mortalidad se calcula es del 4%, según estudios realizados por los veterinarios encargados de los galpones de la empresa Avidesa MacPollo

Se trabajará con una inflación del 3% anual, este representando el crecimiento del valor del kilogramo de pollo en Colombia.

$$A_{mort} = \left[\frac{A_3}{G_p - i} \right] \left[\frac{(1 + G_p)^n}{(1 + i)^n} - 1 \right]$$

$$A_3 = \Delta_{mort} * Area_{gal} * \rho_{pollo} * C_{pollo}$$

Donde

Δ_{mort} : Disminución esperada en la mortalidad de las aves = 0.04

$Area_{gal}$: Área del galpón N°2 = 1440 [m²]

ρ_{pollo} : densidad de pollos por metro = 12 [pollos/m²]

C_{pollo} : Costo del ave = 6250 [\$/pollo]

$G_p = 0.03$

El ahorro por impuesto como fue antes mencionado será el 50% de la inversión inicial, durante los próximo 5 años a la implementación del sistema.

$$A_{imp} = \left[\frac{A_4}{G_i - i} \right] \left[\frac{(1 + G_i)^m}{(1 + i)^m} - 1 \right]$$

Donde

A_{imp} : Ahorro impuesto

m : tiempo de reducción de impuestos = 5 [años]

$$A_4 = C_{ini}/10$$

$$G_i = 0.04$$

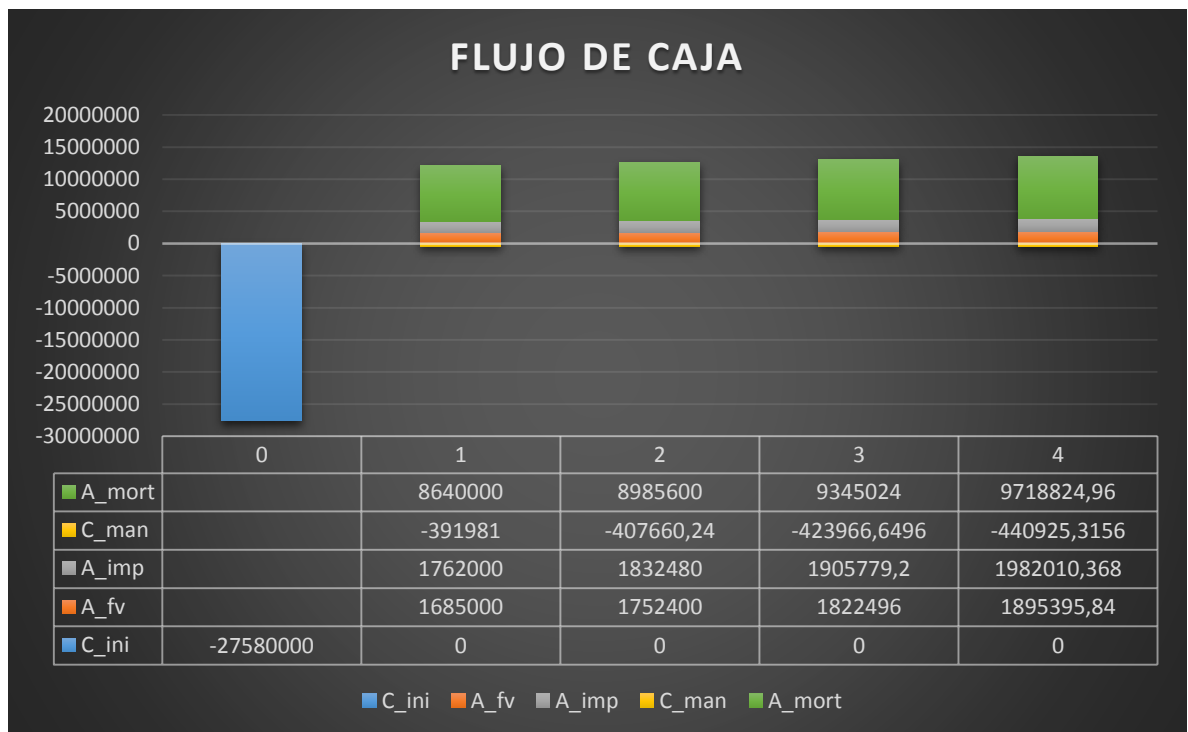
Tabla 30. Ingresos granja Bosque

INGRESOS	A	TIR	G
A_imp	1212000	0.15	0.04
A_fv	1685000	0.15	0.04
A_mort	4320000	0.15	0.03

La tabla 30 resume los ingresos para este escenario

8.3.2 flujo de caja

Figura 114. Flujo de caja granja Bosque



La figura 105 muestra el flujo de caja para la potencia seleccionada de 2.4 [kW], con TIR=15% y un gradiente geométrico.

Se observa que la inversión inicial para esta granja es bastante baja con respecto al de las granjas terrazas y Alpes, debido a la optimización energética implementada gracias al control de velocidad; los egresos anuales, son bastante bajos, ya que solo son los costos de operación o mantenimiento del sistema.

Los ingresos por energía fotovoltaica son un ahorro bastante considerable junto con la disminución de impuestos, pero el ahorro por la disminución de mortalidad es el mayor atractivo financiero, para la implementación de un sistema FV en la granja Bosque.

Gracias a esto el proyecto tiene un tiempo de retorno de la inversión de entre 2 y 3 años, un periodo bastante bajo para los proyectos de energía solar, esto se debe a la optimización energética y al gran beneficio monetario por la reducción de mortalidad.

Tabla 31. Valor presente neto granja Bosque

TABLA VPN							
AÑOS	A_fv	A_imp	A_mort	Ahorro TOTAL	C_man	Costo TOTAL	PR
1	1465217.39	1532173.91	7513043.478	10510434.8	-340853.043	-27920853	-17410418.3
2	2790283.55	2917792.06	14307448.02	20015523.6	-649102.752	-28229102.8	-8213579.12
3	3988604.26	4170872.82	20451952.99	28611430.1	-927867.706	-28507867.7	103562.358
4	5072302.98	5304093.68	26008722.7	36385119.4	-1179968.19	-28759968.2	7625151.18
5	6052343.57	6328919.5	31033975.31	43415238.4	-1407954.71	-28987954.7	14427283.7

En la tabla 31 se muestra el VPN de este escenario.

9. CONCLUSIONES

1. Se diseñaron los sistemas de generación y suministro de energía fotovoltaica tipo grid tie para los criaderos de las granjas Terrazas y Alpes basados en la situación de consumo real actual, con capacidad de generación fotovoltaica de 16 [kW] (64 paneles de 250 W) y 11.4 [KW] (60 paneles de 190 W), respectivamente obteniendo el mínimo costo de operación.
2. Se diseñó un sistema de generación y suministro de energía fotovoltaica tipo stand alone en concordancia con el control fuzzy establecido para la velocidad del aire dentro del galpón, tomando como parámetros la temperatura ambiental, la humedad relativa y la temperatura aparente del ave, con una capacidad de generación fotovoltaica de 2.4 [kW] (24 paneles de 100 W).
3. Se implementó una metodología de dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos más acorde al comportamiento de la radiación en el lugar del estudio, permitiendo conocer la curva característica de la potencia instantánea entregada por el sistema fotovoltaico.
4. Se cumplió al diseñar y seleccionar cada componente de los sistemas fotovoltaicos con las normas colombianas relacionadas con los sistemas de generación fotovoltaica NTC 5549, NTC 4405 y NTC 5710 que hablan sobre los componentes básicos de los sistemas fotovoltaicos, la eficiencia energética y las protecciones eléctricas respectivamente.
5. Se realizó un estudio de las condiciones ambientales de la granja el bosque y de su efecto junto con la velocidad del aire en la sensación térmica del ave permitiendo diseñar un sistema de control basado en lógica difusa (fuzzy) para la regulación de la velocidad del aire de los ventiladores utilizados en la granja bosque, garantizando así la sensación térmica óptima para el crecimiento de las aves. Con la implementación del control fuzzy se espera una disminución del 4% en la tasa de mortalidad por criadero, es decir de aproximadamente 500 aves, generando un ahorro de \$4'320.000 por lote y \$17'280.000 en total en la granja bosque.

6. Se espera con la implementación del control de lógica difusa una reducción de más de un 50% del consumo energético de la granja bosque respecto a la granja Alpes, esto debido a que el control permite que los ventiladores dependiendo de las condiciones ambientales del lugar y la edad del ave, operen en su punto óptimo, consumiendo la energía necesaria sin desperdicio alguno.
7. Se determinó el periodo de recuperación del proyecto en las granjas terrazas y Alpes a partir del análisis financiero de 10 y 8 años respectivamente con una tasa interna de retorno de 15%.
8. Se determinó la viabilidad financiera de instalar un sistema de generación fotovoltaico en la granja bosque, a partir del estudio económico realizado, el cual arroja un tiempo de recuperación de la inversión entre 2 a 3 años. Esto tomando como base la política de la empresa que considera un proyecto viable si tiene un tiempo de recuperación menor a 3 años.
9. Se determinó que los ventiladores implementados por la empresa para el confort del ave en la **granja Alpes** están sobredimensionados, pudiendo disminuir el consumo energético total en esta granja.
10. Se construyó un sistema grid-tie, con capacidad de generación fotovoltaica de 750 w (3 paneles de 250 w) con un inversor híbrido marca Axpert de 2kva (1600 w)
11. Se utilizaron dos ventiladores de 0.5 HP y 220v, como cargas del sistema de generación fotovoltaica, y dependiendo de la configuración del sistema se obtuvo la eficiencia del sistema y la eficiencia total en cada caso, determinado que la mejor condición de operación es la configuración número 5, utilizando al energía proveniente de los paneles solares y como respaldo la energía de la red con una eficiencia del sistema del 97.21 y una total de 15.41%.
12. Se caracterizó la condición de arranque de los ventiladores, mostrando una corriente pico de 8.1 amperios y una disminución de la tensión nominal de 18 voltios, concluyendo que el sistema fotovoltaico no es capaz de suministrar la energía instantánea requerida por el arranque del motor, y es necesario que el sistema tenga la conexión a red para que esta suministre la energía faltante

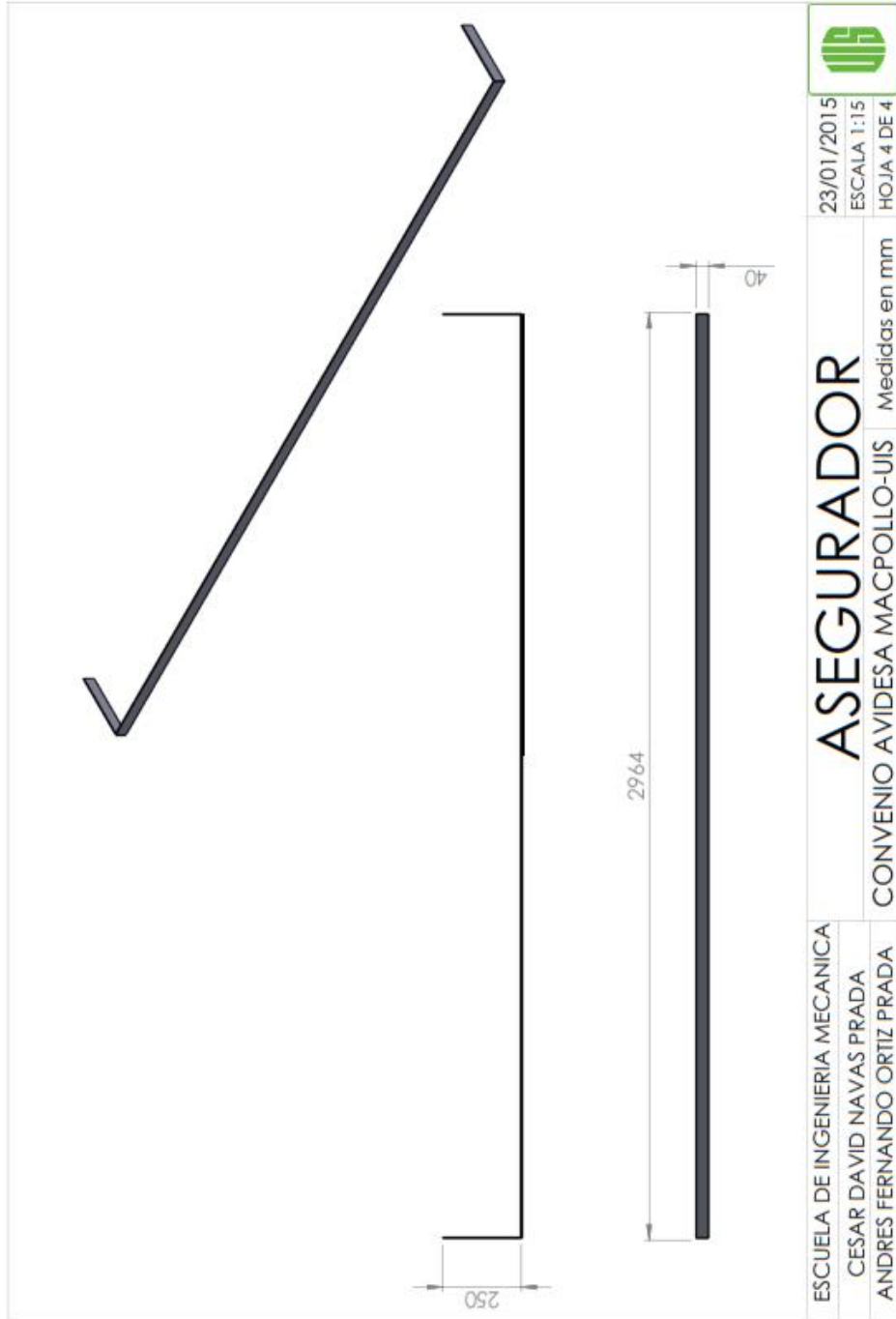
13. Se espera con la implementación del sistema de generación de energía alternativa, una reducción del dióxido de carbono desechado al ambiente de hasta 23 toneladas al año.

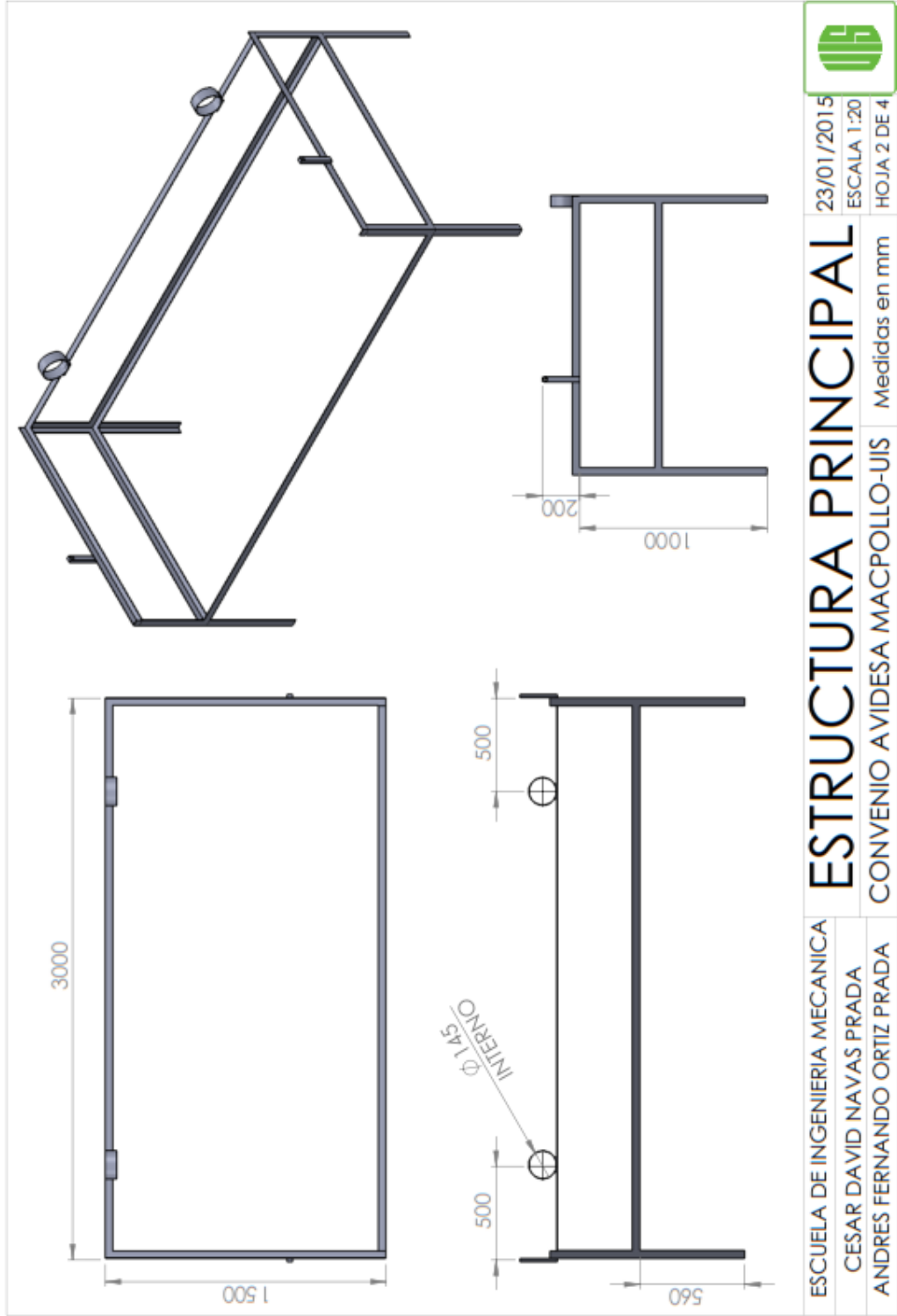
BIBLIOGRAFIA

- ALONSO A. MIGUEL. Sistemas fotovoltaicos [online] [citado 22 Nov, 2014]. Disponible world wide web:
http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf
- AVIAGEN. Manejo del ambiente en el galpón de pollo de engorde. Aviagen Inc., 2009.
- COBB. Guía de Manejo del Pollo de engorde, Cobb Vantress, 2013.
- ENRIQUEZ H. GILBERTO. ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. Primera Edición, México: Limusa, 2011-368 páginas.
- ICARUS SOLAR. Información de instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red. Cantrabria: Icarus Solar, 2008, 22 paginas.
- MINISTERIO DE AMBIENTE REPUBLICA NACIONAL DE COLOMBIA. Atlas solar de radiación en Colombia. Bogotá, 2005.
- PASTELLATTO SERGIO. Matemática del control Fuzzy. Rosario: Universidad Nacional del Rosario, 2010.

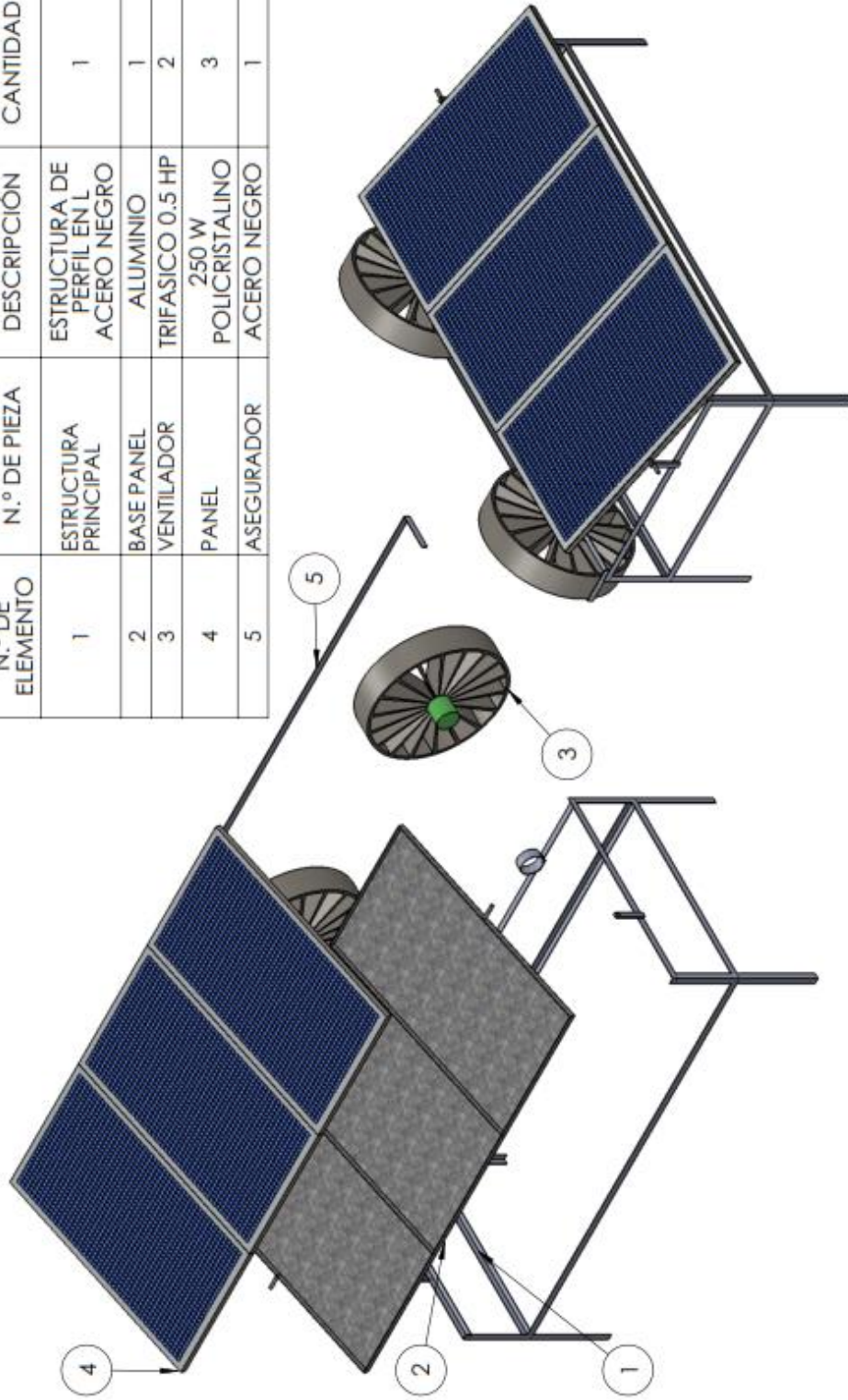
ANEXOS

ANEXO A. PLANOS DE LA ESTRUCTURA DE LA PRUEBA FV





N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	ESTRUCTURA PRINCIPAL	ESTRUCTURA DE PERFIL EN L ACERO NEGRO	1
2	BASE PANEL	ALUMINIO	1
3	VENTILADOR	TRIFASICO 0.5 HP 250 W	2
4	PANEL	POLICRISTALINO	3
5	ASEGURADOR	ACERO NEGRO	1



ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
 CESAR DAVID NAVAS PRADA
 ANDRES FERNANDO ORTIZ PRADA

EMSAMBLE TOTAL

CONVENIO AVIDESA MACPOLLO-UIS Medidas en mm

23/01/2015

ESCALA 1:15

HOJA 4 DE 4



ANEXO B. DETERMINACION DEL MEJOR ANGULO BETA

Para la determinación del mejor Angulo beta (β), es decir el Angulo formado entre la superficie horizontal y los paneles se realizó una tabla variando el ángulo beta y hallando el mayor promedio de radiación anual.

Las fórmulas utilizadas fueron:

promedio

$$n = 349 \text{ día medio del mes}$$

$$H = 4 \text{ radiacion solar promedio}$$

$$\phi = 7.3 \text{ latitud}$$

$$\rho_{\text{piso}} = 0.4 \text{ reflectividad de los alrededores}$$

$$I_{\text{sc}} = 1.353 \text{ constante solar}$$

$$\delta = 23.45 \cdot \sin \left[\left(\frac{n + 284}{365} \right) \cdot 360 \right] \text{ declinacion}$$

$$\omega_{\text{ss}} = \arccos (-\tan(\delta) \cdot \tan(\phi))$$

$$\omega_{\text{ss,prima}} = \arccos (-\tan(\delta) \cdot \tan(\phi - \beta))$$

$$H_o = \frac{24}{\pi} \cdot I_{\text{sc}} \cdot \left[1 + 0.034 \cdot \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right] \cdot \left[\cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\omega_{\text{ss}}) + \frac{\pi \cdot \omega_{\text{ss}}}{180} \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\delta) \right]$$

$$q_{s,\beta} = (H - H_d) \cdot R_b + H_d \cdot \cos^2 \left[\frac{\beta}{2} \right] + \rho_{\text{piso}} \cdot H \cdot \sin^2 \left[\frac{\beta}{2} \right] \text{ energia promedio}$$

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_{\text{ss,prima}}) + \frac{\omega_{\text{ss,prima}} \cdot \pi}{180} \cdot \sin(\delta) \cdot \sin(\phi - \beta)}{\cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_{\text{ss}}) + \frac{\omega_{\text{ss}} \cdot \pi}{180} \cdot \sin(\delta) \cdot \sin(\phi)}$$

$$K_T = \frac{H}{H_o}$$

$$\beta = 8$$

$$\frac{H_d}{H} = 1 - 1.13 \cdot K_T \text{ si } K_T > 0.3$$

Se varió el ángulo beta desde 0 hasta 20 grafos y se obtuvo la tabla siguiente:

β	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM ANUAL
0	617.894	672.81	706.1	708	684.55	663.06	663.6	686.9	699.1	672.03	628.66	601.48	667.01
5	650.15	695.75	714.9	700.69	666.3	640.28	643.1	674.8	701.1	689.22	658.15	635.99	672.54
8	667.773	707.78	718.1	694.45	653.59	624.9	629.1	665.7	700.5	697.72	674.03	654.98	674.06
11	684.061	718.12	720	686.9	639.56	608.32	608.6	655.4	698.3	704.73	688.48	672.55	673.76
12	689.151	721.28	720.4	684.05	634.65	602.56	608.6	651.7	697.4	706.75	692.9	678	673.95
14	698.859	727.07	720.3	686.9	624.36	590.61	597.6	643.8	694.9	710.35	701.46	688.72	673.74
15	703.382	729.77	720.3	694.45	618.99	584.45	591.9	639.7	693.4	711.88	705.63	693.73	673.97
18	716.191	736.57	718.6	700.69	602.18	565.27	574	626.4	688	715.49	716.64	707.96	672.33
20	723.881	740.37	716.7	708	590.32	551.88	561.5	616.9	683.6	717.15	723.19	716.56	670.85
MAYOR PROMEDIO ANUAL													674.06

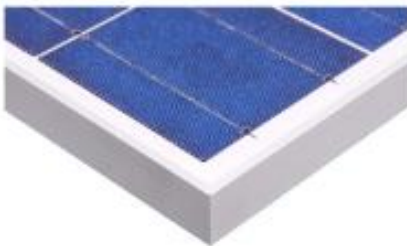
Se establece entonces que el ángulo óptimo para la ubicación de las grajas es de 8 grados, pero por disposiciones de la UPME se va a determinar este ángulo beta de 10°.

ANEXO C. HOJA DE DATOS DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

Panel FV seleccionado granja Bosque

JS 120 SERIES

YL120P-17b 4/5
YL110P-17b 4/5
YL100P-17b 4/5



ABOUT GAIN SOLAR

Founded in 2007, Baoding Jiasheng Photovoltaic Technology Co., Ltd which markets its products under the brand "Gain Solar", is a wholly owned subsidiary of Yingli Solar, specializing in R&D, manufacturing and marketing of photovoltaic (PV) off-grid products and systems. What started as the in-house off-grid PV module production of Yingli Solar has developed over the years into a full-blown provider of off-grid PV modules, building-integrated PV modules, off-grid PV systems and solar application products. Founded on the Yingli Solar technology development, production, and distribution platform, Gain Solar has rapidly grown to set up branches in major provinces and cities of China and is now expanding its presence to the global level. Gain solar is dedicated to provide high quality off-grid PV products and systems to customers and received a series of certificate, including ISO9001, TUV, UL, CE, CQC and RoHS.

PERFORMANCE

High efficiency, polycrystalline solar cells with high transmission and textured glass delivering a module efficiency of up to 15.0%, minimizing installation costs and maximizing the kWh output of your system per unit area.

QUALITY AND RELIABILITY

- Industry leading in-house manufacturing of polysilicon, ingots, wafers, cells and modules ensures tight control of our material and production quality.
- Robust, corrosion resistant aluminum frame independently tested to withstand wind loads of 2.4 kPa and snow loads of 2.4 kPa ensuring a stable mechanical life for your modules.
- Module packaging optimized to protect product during transportation and minimize on-site waste.
- This type of module is commonly use for the small off-grid system.

JS 120 SERIES

ELECTRICAL PERFORMANCE

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)

Module name		JS 120	JS 110	JS 100
Module type		11120P176 4/5	11110P176 4/5	11100P176 4/5
Power output	P_{max}	120	110	100
Power output tolerances	ΔP_{max}	%	±5	
Module efficiency	η_m	15.53	14.20	12.90
Voltage at P_{max}	V_{mp}	18.53	17.00	17.10
Current at P_{max}	I_{mp}	6.50	6.17	5.86
Open-circuit voltage	V_{oc}	22.82	22.10	21.50
Short-circuit current	I_{sc}	6.09	5.55	5.17

STC: 1000W/m² irradiance, 25°C cell temperature, AM1.5 spectrum according to IEC 60904-3
Average relative efficiency reduction of 5% at 2000h/17 according to IEC 60904-1.

Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)

Power output	P_{nom}	W	97.20	89.10	81.00
Voltage at P_{nom} <td>V_{mp}</td> <td>V</td> <td>17.00</td> <td>16.40</td> <td>16.00</td>	V_{mp}	V	17.00	16.40	16.00
Current at P_{nom} <td>I_{mp}</td> <td>A</td> <td>5.71</td> <td>5.45</td> <td>5.04</td>	I_{mp}	A	5.71	5.45	5.04
Open-circuit voltage <td>V_{oc}</td> <td>V</td> <td>20.80</td> <td>20.10</td> <td>19.50</td>	V_{oc}	V	20.80	20.10	19.50
Short-circuit current <td>I_{sc}</td> <td>A</td> <td>5.51</td> <td>5.24</td> <td>4.93</td>	I_{sc}	A	5.51	5.24	4.93

NOCT: open circuit module operating temperature at 800W/m² irradiance, 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed.

THERMAL CHARACTERISTICS

Nominal operating cell temperature	NOCT	°C	46 ±1-2
Temperature coefficient of P_{max}	γ	%/°C	-0.45
Temperature coefficient of V_{oc}	β_{oc}	%/°C	-0.37
Temperature coefficient of I_{sc}	β_{sc}	%/°C	0.06

OPERATING CONDITIONS

Max. system voltage	600V _{DC}
Max. series fuse rating	10A
Linking reverse current	Don't apply external voltages larger than Voc of the module
Operating temperature range	-40 to 65°C
Max. static load, front (e.g., snow and wind)	2000Pa
Max. static load, back (e.g., wind)	2000Pa
Max. hailstone impact (diameter / velocity)	25mm / 23m/s

CONSTRUCTION MATERIALS

Front cover (material / thickness)	low-iron tempered glass / 3.2mm
Cell quantity / material / dimensions	36 / multicrystalline silicon / 124.5mm x 156mm
Encapsulant (material)	ethylene vinyl acetate (EVA)
Frame (material / color / anodization color)	anodized aluminum alloy / silver / blue

- Due to continuous innovation, research and product improvement, the specifications in this product information sheet are subject to change without prior notice. The specifications may differ slightly and are not guaranteed.
- The data do not refer to a single module and they are not part of the offer, they only serve for comparison to different module types.

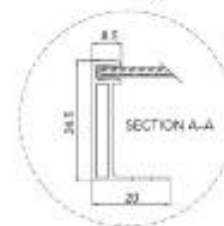
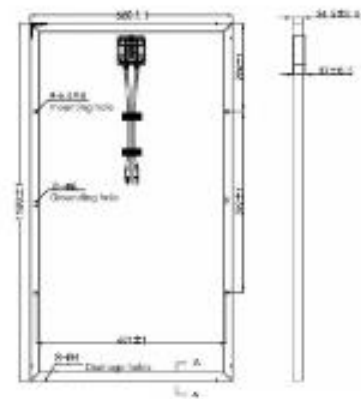
GENERAL CHARACTERISTICS

Dimensions (L / W / H)	1180mm / 660mm / 25mm
Weight	6.05kg

PACKAGING SPECIFICATIONS

Number of module per box	6
Packaging box dimensions (L / W / H)	1210mm / 690mm / 210mm

Unit: mm



Warning: Read the Installation and User manual in its entirety before handling, installing, and operating Yingli Solar modules.

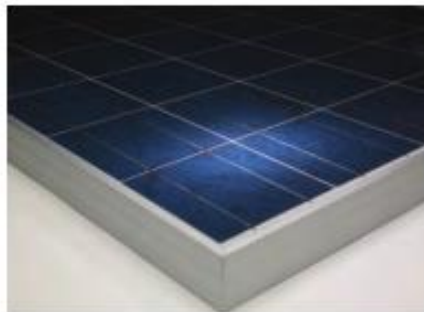
Our Partners



Panel seleccionado granja Alpes

YGE 185 SERIES

YL195P-23b
YL190P-23b
YL185P-23b
YL180P-23b
YL175P-23b



ABOUT YINGLI GREEN ENERGY

Yingli Green Energy Holding Company Limited (NYSE: YGE) is one of the world's largest fully vertically integrated PV manufacturers, which markets its products under the brand "Yingli Solar". With over 2GW of modules installed globally, we are a leading solar energy company built upon proven product reliability and sustainable performance. We are the first renewable energy company and the first Chinese company to sponsor the FIFA World Cup™.

PERFORMANCE

- High efficiency, multicrystalline solar cells with high transmission and textured glass deliver a module efficiency of up to 15.0%, minimizing installation costs and maximizing the kWh output of your system per unit area.
- Power tolerance of +/-3% minimising PV system mismatch losses.

QUALITY & RELIABILITY

- Robust, corrosion resistant aluminum frames independently tested to withstand wind loads of up to 2.4kPa and snow loads of up to 5.4kPa ensuring a stable mechanical life for your modules.
- Module packaging optimized to protect product during transportation and minimize on-site waste.
- Modules independently tested to ensure conformance with certification and regulatory standards.
- Manufacturing facility certified by TÜV Rheinland to ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 and BS OHSAS 18001:2007.

WARRANTIES

- 5-year limited product warranty¹.
- Limited power warranty¹: 10 years at 90% of the minimal rated power output, 25 years at 80% of the minimal rated power output.

¹ In compliance with our Warranty Terms and Conditions.

QUALIFICATIONS & CERTIFICATES

IEC 61215, IEC 61730, CE, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, SA 8000, PV Cycle



YGE 185 SERIES

ELECTRICAL PERFORMANCE

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)

Module name			YGE 185	YGE 190	YGE 185	YGE 180	YGE 175
Module type			Y111P-25	Y110P-25	Y110P-25	Y110P-25	Y111P-25
Power output	P_{max}	W	195	190	185	180	175
Power output tolerances	ΔP_{max}	%	±3				
Module efficiency	η_m	%	15.0	14.7	14.3	13.9	13.5
Voltage at P_{max}	V_{mp}	V	24.0	23.7	23.5	23.0	23.0
Current at P_{max}	I_{mp}	A	8.10	8.00	7.87	7.83	7.61
Open-circuit voltage	V_{oc}	V	30.3	30.1	29.5	29.5	29.0
Short-circuit current	I_{sc}	A	8.62	8.48	8.45	8.30	8.20

STC: 1000W/m² irradiance, 25°C module temperature, AM1.5g spectrum according to EN 60904-1.
Avg. efficiency reduction of 5% at 200W/m² according to EN 60904-1.

Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)

Power output	P_{nom}	W	141.0	138.0	134.3	130.7	127.1
Voltage at P_{nom} <td>V_{mp}</td> <td>V</td> <td>21.7</td> <td>21.4</td> <td>21.2</td> <td>20.7</td> <td>20.7</td>	V_{mp}	V	21.7	21.4	21.2	20.7	20.7
Current at P_{nom} <td>I_{mp}</td> <td>A</td> <td>6.53</td> <td>6.43</td> <td>6.34</td> <td>6.31</td> <td>6.13</td>	I_{mp}	A	6.53	6.43	6.34	6.31	6.13
Open-circuit voltage <td>V_{oc}</td> <td>V</td> <td>27.7</td> <td>27.5</td> <td>26.9</td> <td>26.9</td> <td>26.5</td>	V_{oc}	V	27.7	27.5	26.9	26.9	26.5
Short-circuit current <td>I_{sc}</td> <td>A</td> <td>6.98</td> <td>6.87</td> <td>6.85</td> <td>6.72</td> <td>6.64</td>	I_{sc}	A	6.98	6.87	6.85	6.72	6.64

NOCT: open-circuit module operation temperature at 800W/m² irradiance, 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed.

THERMAL CHARACTERISTICS

Nominal operating cell temperature	NOCT	°C	46 ±2
Temperature coefficient of P_{max}	γ	%/°C	-0.45
Temperature coefficient of V_{oc}	β_{oc}	%/°C	-0.37
Temperature coefficient of I_{sc}	α_{sc}	%/°C	0.06

OPERATING CONDITIONS

Max. system voltage	1000V _{DC}
Max. series fuse rating	15A
Limiting reverse current	Do not apply external voltages larger than V_{oc} of the module.
Operating temperature range	-40 to 85°C
Max. static load, front (e.g., snow and wind)	3400Pa
Max. static load, back (e.g., wind)	2400Pa
Max. hailstone impact (diameter / velocity)	25mm / 23m/s

CONSTRUCTION MATERIALS

Front cover (material / type / thickness)	low-iron tempered glass / 3.2mm
Cell (quantity / material / type / dimensions)	48 / monocrystalline / 156mm x 156mm
Encapsulant (material)	ethylene vinyl acetate (EVA)
Frame (material / color / anodization color)	anodized aluminum alloy / silver / clear
Junction box (protection degree)	IP65
Cable (length / cross-sectional area)	900mm / 4mm ²
Plug connector (type / protection degree)	MC4 / IP67 or Amphand H4 / IP68

- Due to continuous innovation, research and product improvement, the specifications in this product information sheet are subject to change without prior notice. The specifications may deviate slightly and are not guaranteed.
- The data do not refer to a single module and they are not part of the offer; they only serve for comparison to different module types.

Yingli Green Energy Holding Co. Ltd.

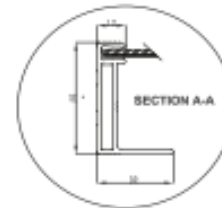
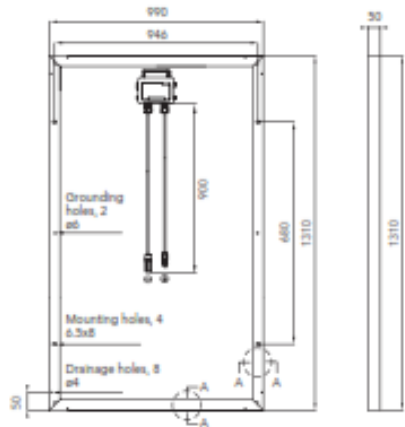
GENERAL CHARACTERISTICS

Dimensions (L / W / H)	1310mm / 990mm / 32mm
Weight	13.8kg

PACKAGING SPECIFICATIONS

Number of modules per pallet	20
Number of pallets per 40' container	32
Packaging box dimensions (L / W / H)	1380mm / 1150mm / 1170mm
Box weight	33.5kg

Unit: mm



Warning: Read the instruction manual in its entirety before handling, installing, and operating Yingli Solar modules.

Our Partners:



Panel seleccionado granja Terrazas

YGE 60 Cell 40mm SERIES

Powered by **YINGLI**

YL260F-29b
YL235F-29b
YL250F-29b
YL245F-29b
YL240F-29b
YL235F-29b
YL230F-29b



ABOUT YINGLI GREEN ENERGY

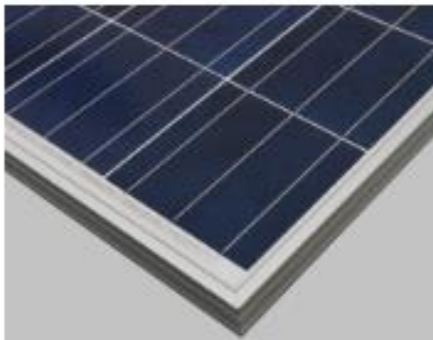
Yingli Green Energy Holding Company Limited (NYSE: YGE) is one of the world's largest fully vertically integrated PV manufacturers, which markets its products under the brand "Yingli Solar". With over 4.5GW of modules installed globally, we are a leading solar energy company built upon proven product reliability and sustainable performance. We are the first renewable energy company and the first Chinese company to sponsor the FIFA World Cup™.

PERFORMANCE

- High efficiency, multicrystalline silicon solar cells with high transmission and textured glass deliver a module efficiency of up to 16.2%, minimizing installation costs and maximizing the kWh output of your system per unit area.
- Tight positive power tolerance of 0W to +5W ensures you receive modules at or above nameplate power and contributes to minimizing module mismatch losses leading to improved system yield.
- Top ranking in the "TÜV Rheinland Energy Yield Test" and the "PHOTON Test" demonstrates high performance and annual energy production.

RELIABILITY

- Tests by independent laboratories prove that Yingli Solar modules:
 - Fully conform to certification and regulatory standards.
 - Withstand wind loads of up to 2.4kPa and snow loads of up to 5.4kPa, confirming mechanical stability.
 - Successfully endure ammonia and salt-mist exposure at the highest severity level, ensuring their performance in adverse conditions.
- Manufacturing facility certified by TÜV Rheinland to ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 and BS OHSAS 18001:2007.



WARRANTIES

- 10-year limited product warranty¹.
- Limited power warranty²: 10 years at 91.2% of the minimal rated power output, 25 years at 80.7% of the minimal rated power output.
¹In compliance with our Warranty Terms and Conditions.

QUALIFICATIONS & CERTIFICATES

IEC 61215, IEC 61730, MCS, CE, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, SA 8000, PV Cycle



YGE 60 Cell 40mm SERIES

ELECTRICAL PERFORMANCE

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)

Module type	P _{max}	W	YLG60P-210 (300*P _{max})						
			260	255	250	245	240	235	230
Power output	P _{max}	W	260	255	250	245	240	235	230
Power output tolerance	ΔP _{max}	W	D / 5						
Module efficiency	η _m	%	15.9	15.6	15.3	15.0	14.7	14.4	14.1
Voltage at P _{max}	V _{mp}	V	30.9	30.6	30.4	30.2	29.5	29.5	29.3
Current at P _{max}	I _{mp}	A	8.41	8.32	8.24	8.11	8.14	7.97	7.80
Open-circuit voltage	V _{oc}	V	38.9	38.7	38.4	37.8	37.5	37.0	37.0
Short-circuit current	I _{sc}	A	8.98	8.88	8.79	8.63	8.65	8.54	8.40

STC: 1000W/m² irradiance, 25°C cell temperature, AM1.5g spectrum according to IEC 60904-1.
Average relative efficiency reduction of 3% at 200W/m² according to EN 60904-1.

Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)

Power output	P _{max}	W	YLG60P-210 (300*P _{max})						
			180.3	184.7	181.1	177.9	174.2	170.7	167.0
Voltage at P _{max}	V _{mp}	V	28.1	27.9	27.6	27.2	26.6	26.6	26.6
Current at P _{max}	I _{mp}	A	6.70	6.63	6.56	6.54	6.50	6.42	6.29
Open-circuit voltage	V _{oc}	V	35.9	35.7	35.4	34.3	34.2	33.6	33.6
Short-circuit current	I _{sc}	A	7.27	7.19	7.12	6.99	7.01	6.92	6.81

NOCT: open-circuit module operation temperature at 800W/m² irradiance, 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed.

THERMAL CHARACTERISTICS

Nominal operating cell temperature	NOCT	°C	46 ± 2
Temperature coefficient of P _{max}	γ	%/°C	-0.45
Temperature coefficient of V _{oc}	β _{oc}	%/°C	-0.33
Temperature coefficient of I _{sc}	β _{sc}	%/°C	0.06
Temperature coefficient of V _{mp}	β _{mp}	%/°C	-0.43

OPERATING CONDITIONS

Max. system voltage	1000V _{DC}
Max. series fuse rating	15A
Limiting reverse current	15A
Operating temperature range	-40°C to 85°C
Max. static load, front (e.g., snow and wind)	3400Pa
Max. static load, back (e.g., wind)	3400Pa
Max. hailstone impact (diameter / velocity)	25mm / 23m/s

CONSTRUCTION MATERIALS

Front cover (material / thickness)	low-iron tempered glass / 3.2mm
Cell (quantity / material / dimensions / number of busbars)	60 / monocrystalline silicon / 150mm × 150mm / 2 or 3
Encapsulant (material)	ethylene vinyl acetate (EVA)
Frame (material / color / anodization color / edge sealing)	anodized aluminum alloy / silver / clear / silicone or tape
Junction box (protection degree)	> IP65
Cable (length / cross-sectional area)	1100mm / 4mm ²
Plug connector (type / protection degree)	MC4 / IP67 or YTD8-1 / IP67 or Anghard H4 / IP68

- * Due to continuous innovation, research and product improvement, the specifications in this product information sheet are subject to change without prior notice. The specifications may deviate slightly and are not guaranteed.
- * The data do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison to different module types.

Yingli Green Energy Holding Co. Ltd.

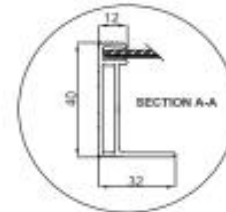
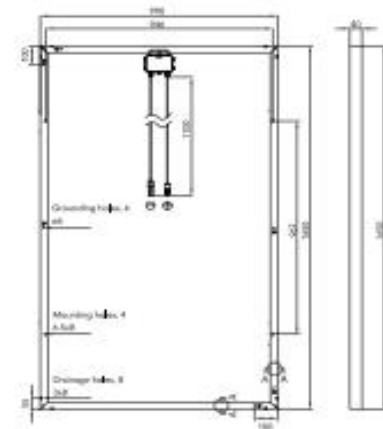
GENERAL CHARACTERISTICS

Dimensions (L / W / H)	1650mm / 990mm / 40mm
Weight	19.1kg

PACKAGING SPECIFICATIONS

Number of modules per pallet	20
Number of pallets per 40' container	28
Packaging box dimensions (L / W / H)	1700mm / 1130mm / 1100mm
Box weight	536kg

Unit: mm



Warning: Read the Installation and User manual in its entirety before handling, installing, and operating Yingli Solar modules.

Our Partners:



Panel seleccionado para la prueba



CS6P- 255 | 260P

High quality and reliability in all Canadian Solar modules is ensured by 14 years' experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

KEY FEATURES

-  Excellent module efficiency up to 16.16%
-  Outstanding low irradiance performance > 96.5%
-  Positive power tolerance up to 5 W
-  High PTC rating up to 91.96%
-  IP67 junction box for long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 5400 Pa
wind load up to 2400 Pa
-  Salt mist, ammonia and blown sand resistance, for seaside, farm and desert environments

25
years

Insurance-backed warranty
non-cancellable, immediate warranty insurance
linear power output warranty

10
years

product warranty on materials and workmanship

*Black frame product can be provided upon request.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001: 2008 / Quality management system
ISO/TS 16949: 2009 / The automotive industry quality management system
ISO 14001: 2004 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001: 2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / JET / SIL / CEC AU / INMETRO / CQC
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / PSEC (US Florida)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: TUV / IEC 60068-2-68: SGS
PV CYCLE (EU) / UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1

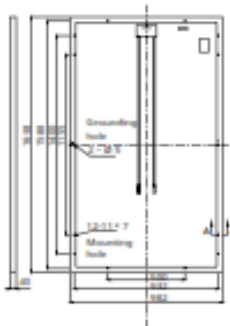


* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading manufacturer of solar modules and PV project developer with about 9 GW of premium quality modules deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

MODULE / ENGINEERING DRAWING (mm)

Rear View



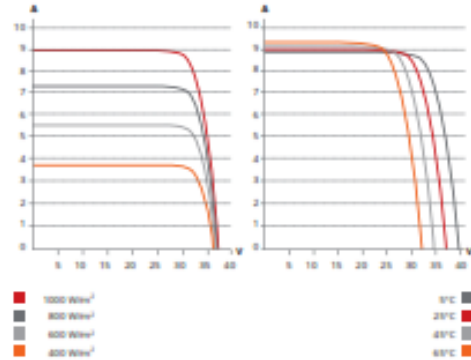
Frame Cross Section A-A



Mounting Hole



CS6P-255P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

Electrical Data CS6P	255P	260P
Nominal Max. Power (Pmax)	255 W	260 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.2 V	30.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.43 A	8.56 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.4 V	37.5 V
Short Circuit Current (Isc)	9.00 A	9.12 A
Module Efficiency	15.85%	16.16%
Operating Temperature	-40°C – +85°C	
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)	
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)	
Max. Series Fuse Rating	15 A	
Application Classification	Class A	
Power Tolerance	0 – + 5 W	

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NOCT*

Electrical Data CS6P	255P	260P
Nominal Max. Power (Pmax)	185 W	189 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	27.5 V	27.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.71 A	6.80 A
Open Circuit Voltage (Voc)	34.4 V	34.5 V
Short Circuit Current (Isc)	7.29 A	7.39 A

* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Industry leading performance at low irradiance, +96.5% module efficiency from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this Datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the module.

MODULE | MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6 × 10)
Dimensions	1638 × 982 × 40 mm (64.5 × 38.7 × 1.57 in)
Weight	18 kg (37.9 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-BOX	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm ² (IEC) or 4 mm ² & 12 AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in) (650 mm (25.6 in) is optional)
Connectors	MC4 or MC4 comparable
Stand. Packaging	24 pcs, 480 kg (quantity & weight per pallet)
Module Pieces per Container	672 pcs (40' HQ)

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.43% / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.34% / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.065% / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45 ± 2°C

PARTNER SECTION



ANEXO D. HOJA DE DATOS DE LOS INVERSORES Y REGULADOR

Inversor seleccionado para la granja Alpes



Maximum energy harvest –
cloudy or clear



Fronius IG Plus PV Inverter
The first complete solution. Reliable. Proven. Smart.

An outstanding addition to the family: The next generation Fronius IG Plus inverter builds on a successful model with multiple enhancements, including maximum power harvest, a built-in six circuit string combiner, integrated, lockable DC Disconnect, significantly improved efficiency, and unbeatable reliability. New, larger power stages expand the proven Fronius IG family from 2 to 12 kW in a single inverter.



POWERING YOUR FUTURE

INPUT DATA		Fronius IG Plus	3.0-1 _{USA}	3.8-1 _{USA}	5.0-1 _{USA}	6.0-1 _{USA}	7.5-1 _{USA}	10.0-1 _{USA}	11.4-1 _{USA}	11.4-3 _{China}	12.0-3 _{USA277}
Recommended PV-Power (Wp)			2500-3450	3200-4400	4250-5750	5100-6900	6350-8600	8500-11500	9700-13100	9700-13100	10200-13800
MPPT-Voltage Range			230 ... 500 V								
DC Startup Voltage			245 V								
Max. Input Voltage (at 1000 W/m ²)			600 V								
14°F (-10°C) in open circuit operation)			600 V								
Nominal Input Current			8.3 A	10.5 A	13.8 A	16.6 A	20.7 A	27.6 A	31.4 A	31.4 A	33.1 A
Max. usable Input Current			14.0 A	17.8 A	23.4 A	28.1 A	35.1 A	46.7 A	53.3 A	53.3 A	56.1 A
Admissible conductor size (DC)			No. 14 - 6 AWG								
Number of DC Input Terminals			6								
Max. Current per DC Input Terminal			20 A; Bus bar available for higher input currents								
OUTPUT DATA		Fronius IG Plus	3.0-1 _{USA}	3.8-1 _{USA}	5.0-1 _{USA}	6.0-1 _{USA}	7.5-1 _{USA}	10.0-1 _{USA}	11.4-1 _{USA}	11.4-3 _{China}	12.0-3 _{USA277}
Nominal output power (P _{AC, nom})			3000 W	3800 W	5000 W	6000 W	7500 W	9995 W	11400 W	11400 W	12000 W
Max. continuous output power											
104°F (40°C) 208 V / 240 V / 277 V			3000 W	3800 W	5000 W	6000 W	7500 W	9995 W	11400 W	11400 W	12000 W
Nominal AC output voltage			208 V / 240 V / 277 V							208 V / 240 V	277 V
Operating AC voltage range	208 V		183 - 229 V (-12 / +10 %)								
(default)	240 V		211 - 264 V (-12 / +10 %)								
	277 V		244 - 305 V (-12 / +10 %)								
Max. continuous output current	208 V	14.4 A	18.3 A	24.0 A	28.8 A	36.1 A	48.1 A	54.8 A	31.6 A**	n.a.	
	240 V	12.5 A	15.8 A	20.8 A	25.0 A	31.3 A	41.7 A	47.5 A	27.4 A**	n.a.	
	277 V	10.8 A	13.7 A	18.1 A	21.7 A	27.1 A	36.1 A	41.2 A	n.a.	14.4 A**	
Admissible conductor size (AC)			No. 14 - 4 AWG								
Max. continuous utility back feed current			0 A								
Nominal output frequency			60 Hz								
Operating frequency range			59.3 - 60.5 Hz								
Total harmonic distortion			< 3 %								
Power factor			1								
GENERAL DATA		Fronius IG Plus	3.0-1 _{USA}	3.8-1 _{USA}	5.0-1 _{USA}	6.0-1 _{USA}	7.5-1 _{USA}	10.0-1 _{USA}	11.4-1 _{USA}	11.4-3 _{China}	12.0-3 _{USA277}
Max. Efficiency			96.2 %								
CEC Efficiency	208 V	95.0 %	95.0 %	95.5 %	95.5 %	95.0 %	95.0 %	95.0 %	95.5 %	95.0 %	n.a.
	240 V	95.5 %	95.5 %	95.5 %	96.0 %	95.5 %	95.5 %	95.5 %	96.0 %	95.5 %	n.a.
	277 V	95.5 %	95.5 %	96.0 %	96.0 %	96.0 %	96.0 %	96.0 %	96.0 %	n.a.	96.0 %
Consumption in standby (night)			< 1 W								
Consumption during operation			8 W		15 W			22 W			
Cooling			Controlled forced ventilation, variable fan speed								
Enclosure Type			NEMA 3R								
Unit Dimensions (W x H x D)			17.1 x 24.8 x 9.6 in.			17.1 x 36.4 x 9.6 in.			17.1 x 48.1 x 9.6 in.		
Power Stack Weight			31 lbs. (14 kg)			57 lbs. (26 kg)			82 lbs. (37 kg)		
Wiring Compartment Weight			24 lbs. (11 kg)			26 lbs. (12 kg)			26 lbs. (12 kg)		
Admissible ambient operating temperature			-4 ... 122°F (-20 ... +50°C)								
Compliance			UL 1741-2005, IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A&B, NEC Article 690, C22.2 No. 107.1-01 (Sept. 2001)								
PROTECTION DEVICES		Fronius IG Plus	3.0-1 _{USA}	3.8-1 _{USA}	5.0-1 _{USA}	6.0-1 _{USA}	7.5-1 _{USA}	10.0-1 _{USA}	11.4-1 _{USA}	11.4-3 _{China}	12.0-3 _{USA277}
Ground fault protection			Internal GFDI (Ground Fault Detector/Interrupter); in accordance with UL 1741-2005 and NEC Art. 690								
DC reverse polarity protection			Internal diode								
Islanding protection			Internal; in accordance with UL 1741-2005, IEEE 1547-2003 and NEC								
Over temperature			Output power derating / active cooling								

* Complies with Canadian standard C22.2 No. 107.1-01 (Sept. 2001).

Inversor seleccionado granja Terrazas



SUNNY BOY 5000US / 6000US / 7000US / 8000US



- Highest CEC efficiency in its class
- Integrated load-break rated lockable DC disconnect switch
- Integrated fused series string combiner

- Sealed electronics enclosure & Optisol™
- Comprehensive SMA communications and data collection options

- Ideal for residential or commercial applications
- Sunny Tower compatible
- 10 year standard warranty
- UL 1741/IEEE-1547 compliant



SUNNY BOY 5000US / 6000US / 7000US / 8000US

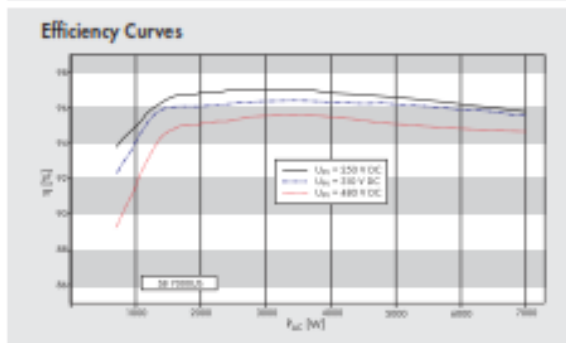
The best in their class

Our US series inverters utilize our proven technology and are designed specifically to meet IEEE-1547 requirements. Sunny Boy 6000US, Sunny Boy 7000US and Sunny Boy 8000US are also compatible with the Sunny Tower. Increased efficiency means better performance and shorter payback periods. All four models are field-configurable for positive ground systems making them more versatile than ever. Throughout the world, Sunny Boy is the benchmark for PV inverter performance and reliability.

Technical Data

	SB 5000US	SB 6000US	SB 7000US	SB 8000US
Recommended Maximum PV Power (Module STC)	6250 W	7300 W	8750 W	10000 W
DC Maximum Voltage	600 V	600 V	600 V	600 V
Peak Power Tracking Voltage	250-480 V	250-480 V	250-480 V	300-480 V
DC Maximum Input Current	21 A	25 A	30 A	30 A
Number of Fused String Inputs	3 (inverter), 4 x 20 A (DC disconnect)	3 (inverter), 4 x 20 A (DC disconnect)	3 (inverter), 4 x 20 A (DC disconnect)	3 (inverter), 4 x 20 A (DC disconnect)
PV Start Voltage	300 V	300 V	300 V	365 V
AC Nominal Power	5000 W	6000 W	7000 W	8000 W
AC Maximum Output Power	5000 W	6000 W	7000 W	NA @ 208 V 7700 W @ 240 V 8000 W @ 277 V
AC Maximum Output Current (@ 208, 240, 277 V)	24 A, 21 A, 18 A	29 A, 25 A, 22 A	34 A, 29 A, 25 A	N/A, 32 A, 29 A
AC Nominal Voltage Range	183 - 229 V @ 208 V 211 - 264 V @ 240 V 244 - 305 V @ 277 V	183 - 229 V @ 208 V 211 - 264 V @ 240 V 244 - 305 V @ 277 V	183 - 229 V @ 208 V 211 - 264 V @ 240 V 244 - 305 V @ 277 V	N/A @ 208 V 211 - 264 V @ 240 V 244 - 305 V @ 277 V
AC Frequency: nominal / range	60 Hz / 59.3 - 60.5 Hz	60 Hz / 59.3 - 60.5 Hz	60 Hz / 59.3 - 60.5 Hz	60 Hz / 59.3 - 60.5 Hz
Power Factor (Nominal)	0.99	0.99	0.99	0.99
Peak Inverter Efficiency	96.8%	97.0%	97.1%	96.5%
CEC Weighted Efficiency	95.5% @ 208 V 95.5% @ 240 V 95.5% @ 277 V	95.5% @ 208 V 95.5% @ 240 V 96.0% @ 277 V	95.5% @ 208 V 96.0% @ 240 V 96.0% @ 277 V	N/A @ 208 V 96.0% @ 240 V 96.0% @ 277 V
Dimensions: W x H x D in inches	18.4 x 24.1 x 9.5	18.4 x 24.1 x 9.5	18.4 x 24.1 x 9.5	18.4 x 24.1 x 9.5
Weight / Shipping Weight	141 lbs / 148 lbs	141 lbs / 148 lbs	141 lbs / 148 lbs	148 lbs / 152 lbs
Ambient Temperature Range	-13 to 113 °F	-13 to 113 °F	-13 to 113 °F	-13 to 113 °F
Power consumption at night	0.1 W	0.1 W	0.1 W	0.1 W
Topology	Low frequency transformer, true sinewave	Low frequency transformer, true sinewave	Low frequency transformer, true sinewave	Low frequency transformer, true sinewave
Cooling Concept	OptiCool™, forced active cooling	OptiCool™, forced active cooling	OptiCool™, forced active cooling	OptiCool™, forced active cooling
Mounting location: indoor / outdoor (NEMA 3R)	● / ●	● / ●	● / ●	● / ●
LCD Display	●	●	●	●
Communication: RS485 / wireless	□ / □	□ / □	□ / □	□ / □
Warranty: 10 years / 15 years / 20 years	● / □ / □	● / □ / □	● / □ / □	● / □ / □
Compliance: IEEE 929, IEEE 1547, UL 1741, UL 1998, FCC Part 15 A & B	●	●	●	●
Specifications for nominal conditions	● Included □ Optional			

NOTE: US inverters ship with gray lids.



SB 5000US, SB 6000US, SB 7000US, SB 8000US are registered trademarks of SMA Solar Technology AG. OptiCool is a registered trademark of SMA Solar Technology AG. All other trademarks are the property of their respective owners. Prices listed are in US dollars.

Inversor seleccionado granja Bosque

1000W Pure Sine Wave Inverters ST

FEATURES

- True sine wave output (THD < 3%)
- Power ON-OFF remote control
- Input & output fully isolation
- Load control cooling fan
- Advanced microprocessor
- Output frequency 50/60 Hz switch selectable
- Low power saving mode to conserve energy
- Built-in transfer switch and AC circuit breaker
- RDF(remote override function) or ignition lockout function option
- Speed up transfer time & synchronized operation with utility AC source
- Input polarity reverse / under voltage / over voltage protections
- Output short circuit / overload / over temperature protections
- Tri-color indicators display input, output level & failure status
- e-13 / CE / FCC approved



	MODEL No.	ST1000-112	ST1000-124	ST1000-140	ST1000-212	ST1000-224	ST1000-240
	AC VOLTAGE	100 / 110 / 120VAC			220 / 230 / 240 VAC		
	RATED POWER	1000W					
	SURGE POWER	2000W					
	WAVEFORM	True sine wave (THD < 3%)					
OUTPUT	FREQUENCY	50 / 60 Hz selectable by DIP switch					
	AC REGULATION	± 3%					
	POWER FACTOR ALLOWED	CO50-90° - CO90+90°					
	STANDARD RECEPTACLES	HARDWIRE					
	LED INDICATOR	Input voltage level, output load level and fault status					
	NO LOAD CURRENT DRAW	1.43A	0.75A	0.35A	1.25A	0.65A	0.35A
	STAND-BY CURRENT DRAW	0.25A	0.15A	0.09A	0.25A	0.15A	0.09A
INPUT	DC VOLTAGE	12VDC	24VDC	48VDC	12VDC	24VDC	48VDC
	VOLTAGE RANGE	10.5-15.0VDC	21.0-30.0VDC	42.0-60VDC	10.5-15.0VDC	21.0-30.0VDC	42.0-60VDC
	EFFICIENCY (Typ.)	88.0%	91.0%	92.0%	90.0%	93.0%	94.0%
	FUSE	40A x4	20A x 4	20A x 2	40A x 4	20A x 4	20A x 2
	CIRCUIT BREAKER	12 Amps			6 Amps		
	SYNCHRONOUS AC TRANSFER	YES					
	TRANSFER SWITCH	16 Amps					
	TRANSFER TIME	Inverter to utility AC: 8-10 msec., Utility AC to inverter: 12-14 msec					
	REMOTE CONTROL UNIT	CR0 / CR0 optional					
	BAT. LOW ALARM	11VDC	22VDC	44VDC	11VDC	22VDC	44VDC
	BAT. LOW SHUTDOWN	10.5VDC	21.0VDC	42.0VDC	10.5VDC	21.0VDC	42.0VDC
PROTECTION	OVER LOAD	Shut off output voltage, re-power on to recover					
	OVER VOLTAGE	15.3VDC	30.0VDC	61.2VDC	15.3VDC	30.0VDC	61.2VDC
	OVER TEMPERATURE	Shut off output voltage, recovers automatically after temperature goes down					
	OUTPUT SHORT	Shut off output voltage, re-power on to recover					
	BAT. POLARITY	By fuse open					
	WORKING TEMP.	0 - +40°C					
ENVIRONMENT	WORKING HUMIDITY	20% - 90% RH non-condensing					
	STORAGE TEMP. HUMIDITY	-30°C - +70°C / -22° F - +158° F / 10-90%					
	SAFETY STANDARDS	Meet UL458			---		
SAFETY & EMC	ISOLATION RESISTANCE	I/P - O/P: 100M Ohms / 200VDC					
	EMI CONDUCTION & RADIATION	Compliance to FCC class A			Compliance to EN55022 class A		
	EMC IMMUNITY	---			Compliance to EN61000-3-2, 3		

Regulador seleccionado granja Bosque

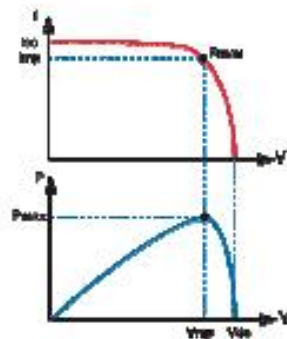


BlueSolar charge controller MPPT 75/50

www.victronenergy.com



Solar charge controller
MPPT 75/50



Maximum Power Point Tracking

Upper curve:

Output current (I) of a solar panel as function of output voltage (V).
The maximum power point (MPP) is the point P_{max} along the curve where the product $I \times V$ reaches its peak.

Lower curve:

Output power $P = I \times V$ as function of output voltage.

When using a PWM (not MPPT) controller the output voltage of the solar panel will be nearly equal to the voltage of the battery, and will be lower than V_{mp} .

Charge current up to 50 A and PV voltage up to 75 V

The BlueSolar 75/50-MPPT charge controller is able to charge a lower nominal-voltage battery from a higher nominal voltage PV array. The controller will automatically adjust to a 12 or 24V nominal battery voltage.

Ultra-fast Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Especially in case of a cloudy sky, when light intensity is changing continuously, an ultra fast MPPT controller will improve energy harvest by up to 30% compared to PWM charge controllers and by up to 10% compared to slower MPPT controllers.

Advanced Maximum Power Point Detection in case of partial shading conditions

If partial shading occurs, two or more maximum power points may be present on the power-voltage curve. Conventional MPPT's tend to lock to a local MPP, which may not be the optimum MPP. The innovative BlueSolar algorithm will always maximize energy harvest by locking to the optimum MPP.

Outstanding conversion efficiency

No cooling fan. Maximum efficiency exceeds 98%. Full output current up to 40°C (104°F).

Flexible charge algorithm

Eight preprogrammed algorithms, selectable with a rotary switch (see manual for details)

Extensive electronic protection

Over-temperature protection and power derating when temperature is high. PV short circuit and PV reverse polarity protection. PV reverse current protection.

BlueSolar charge controller	MPPT 75/50
Battery voltage	12/24 V Auto Select
Maximum battery current	50 A
Maximum PV power, 12V 1ab)	700 W (MPPT range 15 V to 75 V)
Maximum PV power, 24V 1ab)	1400 W (MPPT range 30 V to 70 V)
Maximum PV open circuit voltage	75 V
Peak efficiency	98 %
Self consumption	10 mA
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 14,4 V / 28,8 V
Charge voltage float	Default setting: 13,8 V / 27,6 V
Charge algorithm	multi-stage adaptive
Temperature compensation	-16 mV / °C resp. -32 mV / °C
Protection	Battery reverse polarity (fuse) Output short circuit Over temperature
Operating temperature	-30 to +65°C (full rated output up to 40°C)
Humidity	95 %, non-condensing
FINISH CLOSURE	
Colour	Blue (RAL 5012)
Power terminals	15 mm ² / ANGA
Protection category	IP43 (electronic components), IP22 (connection area)
Weight	1,25 kg
Dimensions (h x w x d)	150 x 186 x 70 mm
1a) If more PV power is connected, the controller will limit input power to 700W resp. 1400W 1b) PV voltage must exceed $V_{bat} + 3V$ for the controller to start. Thereafter minimum PV voltage is $V_{bat} + 1V$.	

ANEXO E. COTIZACIONES



Código oportunidad c150094vi_150122 Cot Equipos solares	Fecha de creación 22/01/2015
Número de presupuesto C3690	Fecha de caducidad 22/01/2015
Nombre de la cuenta Andres Ortiz	Nombre Andres Ortiz
	Correo electrónico anfero1025@gmail.com

Factura para Bucaramanga, Santander

Forma de pago Contado

Referencia (Hybrytec)	Marca	Producto	Cantidad	Precio antes de IVA	Subtotal	Total a pagar
IN0214	FRONIUS	INVERSOR GT 7500W-208-240V-277V FRONIUS IG PLUS V7.5-1	1,00	\$8.947.242,00	\$8.947.242,00	\$10.378.800,72
FV0041	Yingli Solar	PANEL POLI 250W-GT YINGLI YL250P-29B	1,00	\$668.103,00	\$668.103,00	\$774.999,48

Subtotal	\$9.615.345,00
Descuento (\$)	\$0,00
Subtotal antes de IVA	\$9.615.345,00
IVA (\$)	\$1.538.455,20
Total a pagar	\$11.153.800,20



Código oportunidad c150533oi_150406 Cot Baterias
 Número de presupuesto C4047

Fecha de creación 6/04/2015
 Fecha de caducidad 6/04/2015

Nombre de la cuenta Cesar Navas

Nombre Cesar Navas
 Correo electrónico cdnavas2701@hotmail.com

Factura para Bucaramanga, Santander

Forma de pago Contado

Referencia (Hybrytec)	Marca	Producto	Cantidad	Precio antes de IVA	Subtotal
BA0007	MTEK	BATERÍA AGM 12VDC-100AH MTEK MT121000A	1,00	\$406.250,00	\$406.250,00
BA0010	MTEK	BATERÍA AGM 12VDC-155AH MTEK MT121550	1,00	\$673.008,00	\$673.008,00
BA0012	MTEK	BATERÍA AGM 12VDC-255AH MTEK MT122550	1,00	\$1.489.063,00	\$1.489.063,00

Subtotal	\$2.568.321,00
Descuento (\$)	\$0,00
Subtotal antes de IVA	\$2.568.321,00
IVA (\$)	\$410.931,36
Total a pagar	\$2.979.252,36



Código oportunidad c150667 _ 150427 Cot Equipos solares
 Número de presupuesto C4170

Fecha de creación 4/27/2015
 Fecha de caducidad 4/27/2015

Nombre de la cuenta Andres Ortiz

Nombre Andres Ortiz
 Correo electrónico anfero1025@gmail.com

Factura para Bucaramanga, Santander
 Forma de pago Contado

Referencia (Hybrytec)	Marca	Producto	Cantidad	Precio antes de IVA	Subtotal
CO0123	VICTRON	CONTROLADOR MPPT 50A-12VDC/24VDC VICTRON MPPT 75/50 VOC 75	1.00	\$1.099.138,00	\$1.099.138,00
IN0237	VICTRON	INVERSOR DC-AC 1200W/24VDC PURA VICTRON PHOENIX NEMA 5-15R	1.00	\$1.857.500,00	\$1.857.500,00
IN0214	FRONIUS	INVERSOR GT 7500W-208-240V-277V FRONIUS IG PLUS V7.5-1	1.00	\$9.251.423,00	\$9.251.423,00
FV0132	YINGLI	PANEL POLI 100W-12VDC YINGLI SOLAR YL100P-17B	1.00	\$318.965,00	\$318.965,00
FV0133	YINGLI	PANEL POLI 145W-12VDC YINGLI SOLAR YL145P-17B	1.00	\$550.000,00	\$550.000,00
FV0041	Yingli Solar	PANEL POLI 250W-GT YINGLI YL250P-29B	1.00	\$722.000,00	\$722.000,00

Subtotal	\$13.799.026,00
Descuento (\$)	\$0,00
Subtotal antes de IVA	\$13.799.026,00
IVA (\$)	\$2.207.844,16
Total a pagar	\$16.006.870,16



Grupo-epm

Carretera 38 No. 24-88 San Juan de los Rios, Barranquilla, Colombia
Creador: 9107430797 Fax: 5107442338
www.essa.com.co

SEMPRE ATENDIENDO A LOS CLIENTES DESDE 1958
Incorporación: FEB 28 DE 1996

Doc. # 1900000797

Felicitaciones:

Esta al día en su pago
Valor a Pagar: \$16,964,233

Pago oportuno hasta: FEB/03/2015
Suspensión desde: FEB/04/2015

Periodo facturado

Desde: 11/03/2014
Hasta: 10/ENE/2015
Días Facturados: 31
Fecha último pago: 04/ENE/2015
Valor del último pago: \$17,799,858
Total impuesto AP: \$1,542,203

Factura de venta
No. 105343620
Expedición: 17/ENE/2015

Número para pago electrónico: 13065853

Número de cuenta
1306585 - 3

Cliente: *Tenosas*
AVIDESA MACPOLLO

NIT/C.C.: 91440894
VDA LA MESETA SAN RAFAEL FIN LA
TERRAZA CUENTA VECINA 1097350
BARRANCABERMEJA, SANTANDER
Tel:
Entidad:

Localización del predio:
Dir. Predio: CHAMET 5 ANILLO VVL
R00RD
Mapa Postal:

Consumo: 44974 kWh/mes

Tar.	Unidad	Actual	Unidad	Anterior	Cambio
44	kWh	44974	kWh	30752	14222
91	kWh	11753	kWh	11753	0

Evolución de Consumo (kWh/mes)



En el 2015 recárgate
con la mejor atención

ESSA | siempre contigo



Líneas gratuitas



Portal Web



Oficinas ESSA



Oficina Móvil



Kioskos Virtuales

Estar siempre contigo es
contar con diferentes puntos
de atención, las 24 horas, los
7 días de la semana.

Información de su tarifa

El valor de su factura de energía está determinado por la fórmula tarifaria (Res. CREG 119 de 2007).

Fórmula Tarifaria

Concepto	Valor	Costo Unidad Pp (\$/kWh)
Generación (G)	146.96	
Transmisión (T)	21.46	
Distribución (D)	83.73	
Comercialización (Cv)	26.73	
Pérdida (P)	12.43	
Restricciones (R)	2.00	
Elv (\$/kWh)	316.40	
Costo Total por kWh suministrado en el periodo		
Costo Unidad Pp (\$/kWh)		316.40
Costo Total (\$)		14,222,030

Desprendible de pago número de cuenta 1306585 - 3

Este es el valor que usted paga por el servicio de energía y otros conceptos.

Valor a pagar: \$15,422,030 Pago oportuno hasta: FEB/03/2015

SI NO PAGA ESTA FACTURA SE SUSPENDERÁ EN LA FECHA INDICADA
Si cancela después de la fecha de pago oportuno, se cobrará intereses de mora de 0.1% M.V.

2015 ENE 26



RECIBIDO



41517072901495180020013065853/360060019842225620150202

Cliente: AVIDESA MACPOLLO

NIT/C.C.: 91440894
VDA LA MESETA SAN RAFAEL FIN LA TERRAZA CUENTA VECINA 1097350
Topografía:

Impuesto de alumbrado público

Este es el valor que usted paga por el impuesto de alumbrado público conforme al acuerdo municipal 022 de Noviembre 25 de 2005 del municipio de BARRANCABERMEJA si tiene instalaciones o sumadores sobre la liquidación de su impuesto de alumbrado público, con relación con la actividad de su municipio.

Impuesto 020991 Contrato condiciones urbanas, ciudad 25

Concepto	Valor
Base Gravable	\$ 15,422,030
Tarifa impuesto alumbrado público (AP)	10%
Impuesto municipal alumbrado público	\$ 1,542,203
Saldo anterior	\$ 0
Total impuesto AP	\$ 1,542,203

La parte de el pago del impuesto de alumbrado público conforme al artículo 625 del Estatuto Tributario Nacional y el primer de referencias. Debe ser pagado al momento de la emisión de esta liquidación, al 70% T.M. El saldo determinado en esta liquidación, debe ser cancelado en las fechas y puntos señalados para el pago del servicio de energía eléctrica.

Número de cuenta
1306585 - 3

Factura de Venta No. 105343620

Valor Total \$16,964,233

Este es el valor que usted paga por: servicio de energía, impuesto de alumbrado público, otros conceptos.

Pago oportuno hasta FEB/03/2015



41517072901495180020013065853/360060019842225620150202

Número de referencia de pago / Número para pago electrónico: 130658535



Grupo-epm

485 983 101 3384
Caracas 01 84 04 28, Bucaramanga, Santander, Colombia
Corredor 5121 Apto 9107 Fax: 5121 840 3338
web: www.essa.com.co

AVISO: Este documento es un extracto de la factura electrónica. Para más detalles consulte el archivo PDF.

Doc. # 100000549

Felicitaciones:

Esta al día en su pago

Valor a Pagar: \$688,023

Pago oportuno hasta: FEB/03/2015

Suspensión desde: FEB/14/2015

Periodo facturado

Desde: 1 DIC 2014

Hasta: 10 ENE 2015

Días Facturados: 31

Fecha último pago: 06 ENE 2015

Valor del último pago: \$457,302

Total impuesto AP: \$69,742

Factura de venta

No. 105320201

Expiración: 17 ENE 2015

Número para pago electrónico: 133637626

Número de cuenta

1336376 - 5

Cliete: *Alps*

BAYONA SERRANO ANTONIO

NIT/C.: 5670719

VDA CASAMAN FCA LOS ALPES CASA

LEBRUA, SANTANDER

Tel:

Fax:

E-mail:

Localización del punto:

De: Postal 15 02 5 BELLLO MAL

GRON-FLORIDA AVANDELA MIE. PUL

Maja Postal: GRON-SANTANDER

Consumo: 1542 kWh/mes

Tipo	Leches (L)	Leches Achebe	Costume	PAZ
01	1	0	0	0

Evolución de Consumo (kWh/mes)



En el 2015 recárgate con la mejor atención

ESSA | siempre contigo



Líneas gratuitas



Portal Web



Oficinas ESSA



Oficina Móvil



Kioskos Virtuales

Estar siempre contigo es contar con diferentes puntos de atención, las 24 horas, los 7 días de la semana.

Información de su tarifa

El valor de su factura de energía está determinado por la fórmula tarifaria (Res. CREG 119 de 2007).

Fórmula Tarifaria

Concepto	Valor	Concepto	Valor
Generación (G)	148.95	Costo Líquido No (L) Factura	0.00
Transmisión (T)	21.45	Costo = 0	0.00
Distribución (D)	108.06		
Costo Variable (Cv) kWh	26.73		
Costo = G + T + D + Cv + P + B	27.47		
Pérdidas (P)	2.69		
Reducción (R)	2.69		
Costo (C kWh) Aproximado 387.98	344.26		
Costo Total por kWh consumido en el periodo			

Desprendible de pago número de cuenta 1336376 - 5

Este es el valor que usted paga por el servicio de energía y otros conceptos.

Valor a pagar: \$596,281 Pago oportuno hasta: FEB/03/2015

SI NO PAGA ESTA FACTURA SE SUSPENDERÁ EN LA FECHA INDICADA

Si cancela después de la fecha de pago oportuno, se cobrarán intereses de mora de 31% M.V.



(815/710726014851082051012052162536006000668023/16/2015/0201)

Cliete: BAYONA SERRANO ANTONIO

NIT/C.: 5670719

VDA CASAMAN FCA LOS ALPES CASA

Teléfono

Impuesto de alumbrado público

Este es el valor que usted paga por el impuesto de alumbrado público conforme al acuerdo municipal 0411 de Diciembre 29 de 2012 del municipio de ESPUSA. Si tiene instalados o supuestos sobre la instalación de su inmueble de alumbrado público, concórrales con la alcaldía de su municipio a la Ases 0305472. Contacto: concejalos@espsusa.gov.co, ciudad 22.

Saldo Gravable	\$	596,281
Tarifa impuesto alumbrado público (AP)		15%
Impuesto municipal alumbrado público	\$	89,742
Saldo anterior	\$	0
Total impuesto AP	\$	89,742

La tarifa de el pago del impuesto de alumbrado público se establece conforme al artículo 105 del Estatuto Tributario Nacional y el primer de dicho artículo. Con la presente liquidación presento el recurso de reconsideración al T.O.E.T.N. El valor determinado en esta liquidación debe ser pagado en los términos y partes señalados para el pago del servicio de energía eléctrica.

Número de cuenta

1336376 - 5

Factura de Venta No. 105320201

Valor Total \$688,023

Este es el valor que usted paga por: servicio de energía, impuesto de alumbrado público, otros conceptos.

Pago oportuno hasta: FEB/03/2015

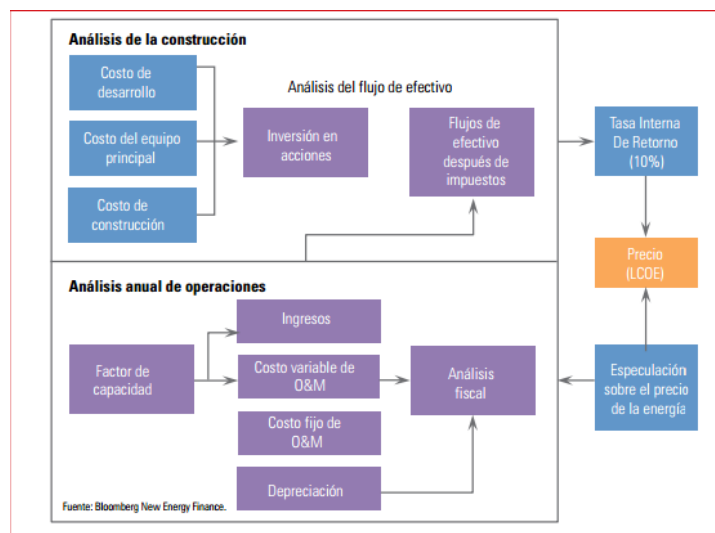


(815/710726014851082051012052162536006000668023/16/2015/0201)

Número de referencia de pago / Número para pago electrónico: 133637626

ANEXO F. COSTO NIVELADO DE LA ENERGIA

El costo nivelado de la energía o LCOE por sus siglas en inglés *Levelized costs of Energy*, es el costo de un suministro de energía durante su vida útil por unidad de energía producida. En el LCOE se consideran los gastos de fabricación, transporte, instalación y mantenimiento.



En la siguiente tabla realizada en el software Excel, se muestra la determinación del LCOE para una potencia de paneles FV determinada por el usuario.

Datos entrada del sistema		Descripcion de los datos
Tamaño instalacion [kW]	11,2	<i>Seleccione la potencia instalada</i>
Energia diaria [kWh]	55,3653	
1° año de produccion [kWh/año]	19931,508	
Tasa de degradacion	0,01	<i>inserte la degradacion anual del sistema</i>
Costos directos de entrada		
Costo [\$/W]	\$ 4.807,53	<i>Costo [\$/w]=(Costo total del sistema/tamaño total del sistema en watts)</i>
Costos de O&M [\$/w]	\$ 240,38	
Aumento de O&M [%]	0,04	<i>Inserte el aumento en costo de mantenimiento</i>
Salida LCOE		
Costos directos		
20 años	\$ 369,25	
25 años	\$ 374,78	

Calculo LCOE			
Año	Produccion [kWh]	Costo Inicial [\$]	O&M Costos [\$]
0		\$ 53.844.387,56	
1	19931,508		\$ 2.692.219,38
2	19732,19292		\$ 2.799.908,15
3	19534,87099		\$ 2.911.904,48
4	19339,52228		\$ 3.028.380,66
5	19146,12706		\$ 3.149.515,88
6	18954,66579		\$ 3.275.496,52
7	18765,11913		\$ 3.406.516,38
8	18577,46794		\$ 3.542.777,04
9	18391,69326		\$ 3.684.488,12
10	18207,77633		\$ 3.831.867,64
11	18025,69856		\$ 3.985.142,35
12	17845,44158		\$ 4.144.548,04
13	17666,98716		\$ 4.310.329,96
14	17490,31729		\$ 4.482.743,16
15	17315,41412		\$ 4.662.052,89
16	17142,25998		\$ 4.848.535,00
17	16970,83738		\$ 5.042.476,40
18	16801,129		\$ 5.244.175,46
19	16633,11771		\$ 5.453.942,48
20	16466,78654		\$ 5.672.100,18
21	16302,11867		\$ 5.898.984,19
22	16139,09748		\$ 6.134.943,55
23	15977,70651		\$ 6.380.341,29
24	15817,92944		\$ 6.635.554,95
25	15659,75015		\$ 6.900.977,14

En la siguiente tabla se muestra la variación del LCOE en función de la potencia a instalar

Pot [W]	LCOE		Costo ESSA
	20 años	25 años	
1000	463,083	463,124	389,14
1200	455,931	455,972	389,14
1400	450,104	450,144	389,14
1600	445,202	445,241	389,14
1800	440,992	441,031	389,14
2000	437,319	437,358	389,14
2200	434,062	434,101	389,14
2400	431,146	431,184	389,14
2600	428,510	428,549	389,14
2800	426,113	426,151	389,14
3000	423,912	423,950	389,14
3200	421,883	421,920	389,14
3400	420,004	420,041	389,14
3600	418,252	418,289	389,14
3800	416,614	416,651	389,14
4000	415,079	415,117	389,14
4200	413,633	413,670	389,14
4400	412,269	412,305	389,14
4600	410,979	411,015	389,14
4800	409,754	409,790	389,14
5000	408,589	408,625	389,14
5200	407,480	407,517	389,14
5400	406,421	406,458	389,14
5600	405,409	405,445	389,14
5800	404,440	404,476	389,14
6000	403,510	403,546	389,14
6200	402,617	402,653	389,14
6400	401,760	401,795	389,14
6600	400,933	400,968	389,14
6800	400,136	400,171	389,14
7000	399,367	399,403	389,14
7200	398,624	398,660	389,14
7400	397,906	397,942	389,14
7600	397,212	397,247	389,14
7800	396,539	396,574	389,14
8000	395,886	395,921	389,14
8200	395,253	395,289	389,14
8400	394,639	394,674	389,14
8600	394,041	394,076	389,14
8800	393,461	393,497	389,14
9000	392,897	392,932	389,14
9200	392,347	392,382	389,14
9400	391,812	391,847	389,14
9600	391,290	391,325	389,14
9800	390,782	390,817	389,14
10000	390,285	390,320	389,14
10200	389,801	389,835	389,14
10400	389,328	389,363	389,14
10600	388,866	388,900	389,14
10800	388,414	388,448	389,14
11000	387,973	388,007	389,14
11200	387,540	387,575	389,14
11400	387,118	387,152	389,14
11600	386,722	386,756	389,14
11800	386,299	386,333	389,14
12000	385,901	385,936	389,14
12200	385,513	385,547	389,14
12400	385,131	385,165	389,14
12600	384,757	384,791	389,14
12800	384,390	384,425	389,14
13000	384,030	384,064	389,14
13200	383,677	383,711	389,14
13400	383,330	383,364	389,14
13600	382,989	383,023	389,14
13800	382,654	382,688	389,14
14000	382,326	382,360	389,14
14200	382,002	382,036	389,14
14400	381,684	381,718	389,14
14600	381,372	381,406	389,14
14800	381,065	381,099	389,14
15000	380,762	380,796	389,14

ANEXO G. DATOS DE LA PRUEBA

HORA	CON ESTIA		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		H.PROM												
	V	A	V	W	V	W	V	W	V	W	V	W	V	W	V	W	V	W	V	W	V	W													
11:50:00	K1	1	89.4	7.83	700	88.2	7.9	696.78	89.9	8.1	728.19	76.5	7.8	596.7	80.6	7.8	628.68	85.4	7.9	674.66	87.6	7.9	692.04	86.7	7.9	684.93	90.1	8.2	738.82	85.4	8	683.2			
	K2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	K3	1	219.1	2.6	455.73	219.4	2.4	421.25	219.3	2.5	438.6	219.6	2.2	386.50	218.1	2.3	401.30	219	2.4	420.48	219.5	2.5	439	219.1	2.5	438.2	219.7	2	421.824	219.9	2.5	439.8			
	K4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
11:59:59	η SISTEMA		65.104		60.456		60.232		64.772		63.833		62.325		63.44		63.98		57.09		64.37		62.56												
	η TOTAL		10.32		9.582		9.547		10.266		10.117		9.878		10.05		10.14		9.05		10.2		9.92												
	CON ESTIA		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V												
	η TOTAL		40.3		9.1		366.73																913.1												
12:00:00	K1	1	40.3	9.1	366.73																														
	K2	0	0	0	0																														
	K3	1	97.3	2.3	179.03																														
	K4	1	97.2	2.3	178.85																														
12:00:59	η SISTEMA		97.637																				97.64												
	η TOTAL		15.48																				15.48												
	CON ESTIA		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V												
	η TOTAL		106.8		6.3		672.84																901.8												
12:01:00	K1	1	106.8	6.3	672.84																														
	K2	0	0	0	0																														
	K3	0	0	0	0																														
	K4	0	0	0	0																														
12:01:59	η SISTEMA																						901.8												
	η TOTAL																						[W/m ²]												
	CON ESTIA		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V												
	η TOTAL		88.3		7.8		688.74		87.5		7.9		691.25		88.5		7.9		696.15		89.6		8.1		705.76		90.1		8.3		747.83		90.1		
12:02:00	K1	1	88.3	7.8	688.74	87.5	7.9	691.25	88.5	7.9	696.15	89.6	8.1	705.76	90.1	8.3	747.83	90.1	8.2	738.82	89.9	7.9	710.21	85.3	7.6	648.28	86.4	7.7	665.28	88.7	7.8	691.9			
	K2	1	220.8	2.1	463.68	220.8	1.9	419.52	220.8	1.9	419.52	220.8	1.9	419.52	220.8	1.9	419.52	220.8	1.9	419.52	220.8	1.9	419.52	220.8	1.9	419.52	220.8	1.9	419.52	220.8	1.9	419.52	220.8	1.9	419.52
	K3	1	219.9	2.6	457.39	219.4	2.4	421.25	219.8	2.5	439.6	218	2.5	436.00	219.6	2.4	421.63	219.4	2.4	421.25	220.4	2.5	440.8	219.7	2.3	404.25	219	2.4	420.48	219.1	2.5	438.2			
	K4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12:11:59	η SISTEMA		66.41		60.94		62.876		60.075		56.381		57.016		62.066		62.357		63.20		63.34		61.47												
	η TOTAL		10.53		9.66		9.97		9.52		8.94		9.04		9.84		9.88		10.02		10.04		9.74												
	CON ESTIA		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V												
	η TOTAL		87.7		7.9		692.83		88.9		7.97		708.53		89.6		8		716.8		89.8		8		720.2		91.2		8.2		747.84		89		
12:12:00	K1	1	87.7	7.9	692.83	88.9	7.97	708.53	89.6	8	716.8	89.8	8	720.2	91.2	8.2	747.84	89	8.2	729.8	89.6	7.8	698.88	88.3	7.6	671.08	88.4	7.9	698.36	88.7	8.1	718.5			
	K2	1	220.8	1.1	242.88	220.8	0.81	178.85	220.8	0.7	161.18	220.8	0.7	154.56	220.8	0.6	130.27	220.8	0.6	125.86	220.8	0.8	174.43	220.8	0.98	216.38	220.8	0.94	207.552	220.8	0.7	163.4			
	K3	1	219.8	2.6	457.18	219.9	2.5	439.80	219.8	2.4	422.02	219.1	2.5	438.20	220.1	2.5	440.20	219.4	2.4	421.25	220.4	2.4	423.17	219.9	2.5	439.8	219	2.4	420.48	219.1	2.4	420.7			
	K4	1	219.7	2.6	456.98	219.6	2.4	421.63	219.6	2.4	421.63	220	2.4	422.40	219.7	2.4	421.82	219.7	2.4	421.82	220.3	2.5	440.6	219.5	2.4	421.44	219	2.5	438	219.2	2.4	420.9			
12:21:59	η SISTEMA		97.697		97.076		96.089		98.382		98.168		98.529		98.907		97.045		94.76		95.43		97.21												
	η TOTAL		15.48		15.39		15.23		15.59		15.56		15.62		15.68		15.38		15.38		15.02		15.41												
	CON ESTIA		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V												
	η TOTAL		220.8		4.3		998.44		220.8		3.9		861.12		220.8		4.1		905.28		220.8		4.1		915.6										
12:22:00	K1	1	220.8	4.3	998.44	220.8	3.9	861.12	220.8	4	887.62	220.8	4.1	905.28	220.8	4.1	905.28	220.8	3.9	861.12	220.8	3.9	861.12	220.8	4.04	892.03	220.8	4.1	905.28	220.8	4.1	905.3			
	K2	1	219.8	2.7	474.77	219.8	2.4	422.02	219.7	2.4	421.82	219.1	2.5	438.20	219.6	2.5	439.20	219.7	2.4	421.82	220.3	2.4	422.98	219.9	2.4	422.21	218.4	2.4	419.3	219.4	2.5	438.8			
	K3	1	219.7	2.6	456.98	219.8	2.4	422.02	219.8	2.5	439.6	219.2	2.5	438.40	219.7	2.5	439.40	219.7	2.4	421.82	220.3	2.4	422.88	219.9	2.5	439.8	218.6	2.5	437.2	219.9	2.4	422.2			
	K4	1	219.7	2.6	456.98	219.8	2.4	422.02	219.8	2.5	439.6	219.2	2.5	438.40	219.7	2.5	439.40	219.7	2.4	421.82	220.3	2.4	422.88	219.9	2.5	439.8	218.6	2.5	437.2	219.9	2.4	422.2			
12:31:59	η SISTEMA		98.136		98.016		97.049		96.832		97.053		97.971		98.239		96.634		94.615		95.11		96.97												
	η TOTAL		15.55		15.54		15.38		15.35		15.38		15.53		15.57		15.32		15.00		15.07		15.37												
	CON ESTIA		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V		V												
	η TOTAL		220.8		2.1		463.68		220.8		2		441.6		220.8		2.2		485.76		220.8		2		441.6										
12:42:00	K1	1	220.8	2.1	463.68	220.8	2.1	463.68	220.8	2	441.6	220.8	2.1	463.68	220.1	2.1	462.21	220.8	2	446.02	220.8	2	441.6	220.8	2.2	485.76	220.8	2	441.6	220.8	2	441.6			
	K2	1	219.7	2.6	456.98	220.7	2.5	441.40	219.6	2.4	421.63	219.1	2.5	438.20	220.1	2.5	440.20	219.4	2.4	421.25	220.4	2.4	423.17	220	2.5	440	219	2.4	420.48	219.1	2.4	420.7			
	K3	1	219.7	2.6	456.98	220.7	2.5	441.40	219.6	2.4	421.63	219.1	2.5	438.20	220.1	2.5	440.20	219.4	2.4	421.25	220.4	2.4	423.17	220	2.5	440	219	2.4	420.48	219.1	2.4	420.7			
	K4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12:42:00	η SISTEMA		98.554		95.195		95.478		94.505		95.238		94.447		95.826		90.58		95.22		95.26		95.03												
	η TOTAL		15.62		15.09		15.13		14.98		1																								

ANEXO H. HOJA DE DATOS DEL INVERSOR AXPERT MKS



Apert KS Inverter/Charger Selection Guide

MODEL	Apert KS 1K	Apert KS 2K	Apert KS 3K	Apert KS 4K	Apert KS 5K
Rated Power	1000VA / 500W	2000VA/1000W	3000VA / 2400W	4000VA / 3200W	5000VA / 4000W
INPUT					
Voltage	230 VAC				
Selectable Voltage Range	170-280 VAC (For Personal Computers) 90-280 VAC (For Home Appliances)				
Frequency Range	50 Hz/60 Hz (Auto sensing)				
OUTPUT					
AC Voltage Regulation (Batt. Mode)	230VAC \pm 5 %				
Surge Power	2000VA	4000VA	6000VA	8000VA	10000VA
Efficiency (Peak)	90%	93%			
Transfer Time	10 ms (For Personal Computers) 20 ms (For Home Appliances)				
Waveform	Pure sine wave				
BATTERY					
Battery Voltage	12 VDC	24 VDC	48 VDC		
Floating Charge Voltage	13.5 VDC	27 VDC	54 VDC		
Overcharge Protection	15 VDC	30 VDC	60 VDC		
Maximum Charge Current	10 A or 20 A	20 A or 30 A	20 A or 30 A		
SOLAR CHARGER (OPTION)					
Charging Current	50A				
Maximum PV Array Open Circuit Voltage	125 VDC				
Standby Power Consumption	1 W	2 W	2W		
PHYSICAL					
Dimension, D X W X H (mm)	95 x 240 x 318	100 x 272 x 355	115 x 295 x 455		
Net Weight (kgs)	5.0	6.4	6.9	9.5	9.8
OPERATING ENVIRONMENT					
Humidity	5% to 95% Relative Humidity(Non-condensing)				
Operating Temperature	0°C - 55°C				
Storage Temperature	-15°C - 60°C				

Product specifications are subject to change without further notice

Características / Modelo	UV41 - Axpert 1 KVA	UV42 - Axpert 2 KVA	UV43 - Axpert 3 KVA	UV44 - Axpert 4 KVA	UV45 - Axpert 5 KVA
Capacidad	1000 VA - 800 W	2000 VA - 1600 W	3000 VA - 2400 W	4000 VA - 3200 W	5000 VA - 4000 W
ENTRADA VAC					
Voltaje	230 VAC				
Rango voltaje seleccionable	170-280 VAC (para ordenadores personales) --- 90-280 VAC (para electrodomésticos)				
Rango frecuencia	50 Hz / 60 Hz auto detectable				
SALIDA VAC					
Regulación voltaje AC (Modo bat.)	230VAC ± 5 %				
Protección	2000 VA	4000 VA	6000 VA	8000 VA	10000 VA
Eficiencia (pico)	90%				
Tiempo transferencia	93%				
Forma de onda	10 ms (para ordenadores personales) ---- 20 ms (para electrodomésticos)				
Forma de onda pura					
BATERIA					
Voltaje batería	12 VDC	24 VDC	48 VDC	48 VDC	48 VDC
Voltaje de carga flotante	13.5 VDC	27 VDC	54 VDC	54 VDC	54 VDC
Protección sobrecarga	15 VDC	30 VDC	60 VDC	60 VDC	60 VDC
Máxima intensidad de carga	10 A o 20 A	20 A o 30 A	20 A o 30 A	20 A o 30 A	20 A o 30 A
CARGADOR SOLAR					
Intensidad de carga	50 A				
Voltaje máximo PV	125 VDC				
Consumo máximo en espera	1 W	2 W	2 W	2 W	2 W
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS					
Tamaño	95 x 240 x 316 mm	100 x 272 x 355 mm	115 x 295 x 455 mm	115 x 295 x 455 mm	115 x 295 x 455 mm
Peso neto	5,0 Kg	6,4 Kg	6,9 Kg	9,8 Kg	9,8 Kg
Carcasa	Carcasa de chapa metálica con fijaciones a pared. Frontal LCD plástico con pulsadores. Tapa de conexiones plástica				
ENTORNO DE OPERATIVA					
Humedad	Humedad relativa de 5-95% (sin condensación)				
Temperatura de operativa	0°C - 55°C				
Temperatura de almacenamiento	-15°C - 60°C				
INTERFACE DE GESTION					
Interface serie RS-232	Conector DB9 hembra (incluye cable serie)				
Compatibilidad	Soporta software de control diseñado para entornos Windows, Mac o Linux				