



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## DIRECCIÓN DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

### MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**Título:**

---

**EVALUACIÓN DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA  
DE UN SISTEMA AUTÓNOMO OPTIMIZANDO SU  
ABASTECIMIENTO ANTE LA VARIACIÓN DE LA  
RADIACIÓN.**

---

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en Electricidad  
mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

**Autor**

Chancusig López Marcelo Bernave

**Tutor**

PhD. Marrero Ramírez Secundino

**LATACUNGA –ECUADOR**

**2021**

## **AVAL DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “EVALUACIÓN DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DE UN SISTEMA AUTÓNOMO OPTIMIZANDO SU ABASTECIMIENTO ANTE LA VARIACIÓN DE LA RADIACIÓN” presentado por Chancusig López Marcelo Bernave, para optar por el título magíster en Electricidad mención sistemas eléctricos de potencia.

### **CERTIFICO**

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, octubre, 28, 2021

  
.....  
PhD. Secundino Marrero Ramírez  
CC.:175710790-7

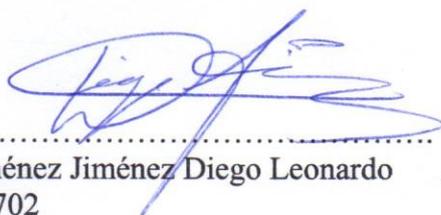
## AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: EVALUACIÓN DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DE UN SISTEMA AUTÓNOMO OPTIMIZANDO SU ABASTECIMIENTO ANTE LA VARIACIÓN DE LA RADIACIÓN, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad, mención Sistemas Eléctricos de Potencia; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, octubre, 28, 2021



.....  
MSc. Guaman Cuenca Wilian Patricio  
0603578956  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



.....  
MSc. Jiménez Jiménez Diego Leonardo  
0503493702  
LECTOR 2



.....  
MSc. Pacheco Mena Carlos Francisco  
0503072902  
LECTOR 3

## DEDICATORIA

A mi madre que me ha apoyado para seguir con mi camino en la preparación, a mis hermanos y sobrinos que me han servido de inspiración para poder llevar esta meta a cabo.

Marcelo Chancusig

## **AGRADECIMIENTO**

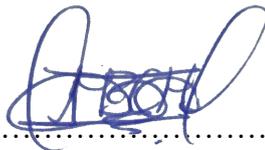
A la Universidad Técnica de Cotopaxi por brindar una educación de calidad, al tutor y a los docentes de la maestría por su paciencia, responsabilidad y conocimientos para servir de guía y ejemplo para culminar esta formación.

Marcelo Chancusig

## **RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, octubre, 28, 2021



.....  
Ing. Chancusig López Marcelo Bernave  
CC.: 050216910-5

## **RENUNCIA DE DERECHOS**

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, octubre, 28, 2021



.....  
Ing. Chancusig López Marcelo Bernave  
CC.: 050216910-5

## **AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: **EVALUACIÓN DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DE UN SISTEMA AUTÓNOMO OPTIMIZANDO SU ABASTECIMIENTO ANTE LA VARIACIÓN DE LA RADIACIÓN**, contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, octubre, 28, 2021



.....  
MSc. Guaman Cuenca Wilian Patricio  
CC: 0603578956

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD**  
**MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

**TÍTULO:** EVALUACIÓN DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DE UN SISTEMA AUTÓNOMO OPTIMIZANDO SU ABASTECIMIENTO ANTE LA VARIACIÓN DE LA RADIACIÓN.

**Autor:** Ing. Chancusig López Marcelo Bernave

**Tutor:** PhD. Marrero Ramírez Secundino

**RESUMEN**

En el presente trabajo, se determina la generación fotovoltaica de un sistema autónomo para optimizar el abastecimiento de las cargas mediante un algoritmo genético y minimizar el consumo del sistema. En primer lugar, se definen los parámetros que intervienen en el sistema fotovoltaico autónomo como son: inclinación de los paneles, acimut, distancia entre paneles (bastidores), índice de rendimiento (Performance Ratio - PR), hora solar pico (PSH) y rendimiento de energía fotovoltaica. A continuación, se establecen la función objeto y las restricciones, buscando minimizar el consumo del sistema tomando en cuenta las cargas instaladas y como restricción el censo de carga en la empresa Genim S.A. Para la optimización se utiliza el método del algoritmo genético, cumpliendo con los operadores de generación de la población, selección de individuos, cruzamiento, mutación, generación nueva población y el criterio de parada, encontrando los horas de funcionamiento óptimo de las cargas. Se implemento el algoritmo dentro de la herramienta computacional Matlab, en consecuencia las siguientes horas optimas de funcionamiento de las cargas son: motor 1 (M1) funciona 9 horas, motor 2 (M2) funciona 4 horas, motor 3 (M3) funciona 8 horas, motor 4 (M4) funciona 6 horas, motor 5 (M5) funciona 9 horas y motor 6 (M6) funciona 7 horas. En general las soluciones encontradas por el algoritmo genético implementado se consideran buenas ya que se minimiza el consumo diario en 1,65 kWh.

**Palabras clave:** Sistema fotovoltaico autónomo, algoritmo genético.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD**  
**MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

**Title:** EVALUATION OF THE PHOTOVOLTAIC GENERATION OF AN AUTONOMOUS SYSTEM OPTIMIZING ITS SUPPLY IN THE FACE OF RADIATION VARIATION.

**Author:** Ing. Chancusig López Marcelo Bernave

**Tutor:** PhD. Marrero Ramírez Secundino

**ABSTRACT**

This research work, the photovoltaic generation of an autonomous system is determined to optimize the supply of the loads through a genetic algorithm and minimize the consumption of the system. First, the parameters that intervene in the autonomous photovoltaic system are defined, such as: inclination of the panels, azimuth, distance between panels (racks), performance index (Performance Ratio - PR), peak solar time (PSH) and performance of photovoltaic energy. Next, the object function and restrictions are established, seeking to minimize the consumption of the system taking into account the installed loads and as a restriction the load census in the company Genim S.A. For optimization, the genetic algorithm method is used, complying with the population generation operators, selection of individuals, crossing, mutation, new population generation and the stopping criterion, finding the optimal operating hours of the loads. The algorithm was implemented within the Matlab computational tool, consequently the following optimal hours of operation of the loads are: motor 1 (M1) works 9 hours, motor 2 (M2) works 4 hours, motor 3 (M3) works 8 hours, engine 4 (M4) runs 6 hours, engine 5 (M5) runs 9 hours and engine 6 (M6) runs 7 hours. In general, the solutions found by the implemented genetic algorithm are considered good since daily consumption is minimized by 1.65 kWh.

**Keywords:** Autonomous photovoltaic system, genetic algorithm.

Rosales Pijal Verónica Alexandra con cédula de identidad número 1003106984 Licenciado en Idiomas con número de registro de la SENESCYT 1005-15-86071967; CERTIFICO haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: “EVALUACIÓN DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DE UN SISTEMA AUTÓNOMO OPTIMIZANDO SU ABASTECIMIENTO ANTE LA VARIACIÓN DE LA RADIACIÓN.” de Chancusig López Marcelo Bernave aspirante a magister en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

Latacunga, octubre, 28, 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Verónica Rosales', is written over a horizontal dotted line.

MSc. Rosales Pijal Verónica Alexandra  
CC. 1003106984

## INDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
AVAL DEL TUTOR.....	ii
AVAL DEL TRIBUNAL.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA.....	vi
RENUNCIA DE DERECHOS.....	vii
AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE TABLAS .....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEORICA- METODOLÓGICA.....	5
1.1.    Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte...5	
1.2    Fundamentación Teórica.....	7
1.2.1 Energías Renovables.....	7
1.2.2  Energía Solar .....	8
1.2.3  Energía Fotovoltaica.....	10
1.2.3.1  Funcionamiento.....	10
1.2.3.2  Composición .....	10
1.2.3.3  Estructura General De Un Sistema Fotovoltaico .....	11
1.2.3.4  Sistemas Fotovoltaicos Autónomos (SFA).....	12
1.2.4.  Diseño Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA).....	14
1.2.4.1  Inclinación de los paneles.....	14

1.2.4.2	Acimut .....	14
1.2.4.3	Distancia entre paneles .....	14
1.2.4.4	Índice de Rendimiento (Performance Ratio - PR).....	16
1.2.4.5	Hora Solar Pico (PSH).....	17
1.2.4.6	Rendimiento de Energía Fotovoltaica .....	17
1.2.5	Técnica de optimización – Algoritmo Genético (AG) .....	17
1.2.5.1	Codificación de variables en AG.....	18
1.2.5.2	Estructura de AG .....	18
1.2.5.3	Población .....	19
1.2.5.4	Función de evaluación .....	19
1.2.5.5	Selección Individuos .....	20
1.2.5.6	Cruce.....	22
1.2.5.7	Mutación.....	23
1.2.5.8	Elitismo.....	23
1.2.5.9	Reemplazo Nueva Población .....	23
1.2.5.10	Criterio de Parada .....	24
1.3	Fundamentación Metodológica.....	25
1.3.1	Modalidad Investigación .....	25
1.3.2	Procedimientos y Análisis .....	26
1.4.	Conclusiones Capitulo 1. ....	27
CAPÍTULO II. PROPUESTA .....		28
2.1	Título del proyecto. ....	28
2.2	Objetivo del proyecto .....	28
2.3	Descripción de la propuesta.....	28
2.4	Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados.....	30

2.4.1	Función Objetivo .....	31
2.4.2	Simulación bastidor de paneles fotovoltaicos .....	32
2.5	Conclusiones Capítulo II.-.....	34
CAPÍTULO III. APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA .....		35
3.1	Análisis de los resultados .....	35
3.1.1	Diseño Sistema Fotovoltaico Autónomo.....	35
3.1.1.1	Inclinación del panel fotovoltaico.....	36
3.1.1.2	Irradiación.....	38
3.1.1.3	Distancia entre paneles .....	42
3.1.1.4	Cantidad de Paneles.....	42
3.1.1.5	Simulación del panel fotovoltaico .....	44
3.1.1.6	Potencia Pico del sistema .....	49
3.1.1.7	Hora Solar Pico (PSH).....	49
3.1.1.8	Rendimiento de Energía Fotovoltaica .....	49
3.1.2	Desarrollo del algoritmo genético para minimizar el consumo del sistema .....	50
3.1.2.1	Planteamiento del problema.....	50
3.1.2.2	Programación del AG.....	51
3.1.2.3	Implementación y validación del AG.....	54
3.1.2.4	Resultados del AG para el problema de optimización .....	59
3.2	Validación técnica-económica de los resultados .....	91
Conclusiones Capítulo III.-.....		92
CONCLUSIONES GENERALES .....		93
RECOMENDACIONES .....		95
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		96
ANEXOS.....		99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Radiación Solar[9].....	9
Figura 1.2. Componentes Radiación Solar[9].....	9
Figura 1.3. Estructura general de una celda solar fotovoltaica[10].....	10
Figura 1.4. Clasificación de celdas Fotovoltaicas.[10] .....	11
Figura 1.5. Esquema general de un sistema solar fotovoltaico[10]. .....	12
Figura 1.6. Distancia entre paneles de un sistema solar fotovoltaico[13].....	15
Figura 1.7. Cromosoma binario. ....	18
Figura 1.8. Flujograma de un AG[16].....	19
Figura 1.9. Cruce simple o de punto. ....	22
Figura 1.10. Cruce multipunto. ....	22
Figura 1.11. Cruce uniforme. ....	23
Figura 2.1. Flujograma de la propuesta.....	28
Figura 2.2. Diagrama unifilar empresa Genim SA. ....	30
Figura 2.3. Conversor DC/DC elevador. a) Diagrama del circuito, b) Circuitos equivalentes[20].....	32
Figura 2.4. Diagrama de Flujo del Algoritmo Perturbar y Observar[21].....	33
Figura 3.1. Selección del sitio software Meteonorm.....	38
Figura 3.2. Ingreso ángulo de inclinación y acimut software Meteonorm.....	39
Figura 3.3. Selección data software Meteonorm.....	39
Figura 3.4. Tabla de datos software Meteonorm.....	40
Figura 3.5. Grafica Irradiación con datos software Meteonorm. ....	40
Figura 3.6. Grafica Irradiación 5° vs 10° . ....	41
Figura 3.7. a) Curvas I vs A y b) P vs V del panel fotovoltaico. ....	44
Figura 3.8. Curvas a) I vs A y b) P vs V del panel fotovoltaico. ....	45

Figura 3.9. Curvas a) I vs A y b) P vs V del panel fotovoltaico, identificando MPPT .....	45
Figura 3.10. Esquema simulación 1 bastidor Software Simulink .....	46
Figura 3.11. a) Salida MPPT b) Voltaje Booster c) Corriente Booster.....	47
Figura 3.12. Resultados Simulación a)Voltaje b)Corriente c)Potencia. ....	48
Figura 3.13. Pseudocódigo del AG. ....	51
Figura 3.14. Estructura del cromosoma. ....	52
Figura 3.15. Cromosoma aleatorio.....	52
Figura 3.16. Población inicial con 4 individuos.....	54
Figura 3.17. Evaluación población inicial.....	55
Figura 3.18. Selección de padres.....	55
Figura 3.19. Cruzamiento para encontrar nueva descendencia.....	56
Figura 3.20. Mutación población. ....	57
Figura 3.20. Nueva población. ....	58
Figura 3.21. Potencia 24.8 – Solución óptima 23.95 – 12% .....	61
Figura 3.22. Potencia 24.8 – Solución óptima 23.95 – 21% .....	61
Figura 3.23. Potencia 24.8 – Solución óptima 23.95 – 31% .....	61
Figura 3.24. Potencia 24.8 – Solución óptima 23.95 – 42% .....	62
Figura 3.25. Potencia 23 – Solución óptima 22.45 – 14% .....	64
Figura 3.26. Potencia 23 – Solución óptima 22.45 – 21% .....	65
Figura 3.27. Potencia 23 – Solución óptima 22.45 – 33% .....	65
Figura 3.28. Potencia 23 – Solución óptima 22.45 – 36% .....	65
Figura 3.29. Potencia 27.9 – Solución óptima 27.7 – 17% .....	68
Figura 3.30. Potencia 27.9 – Solución óptima 27.7 – 21% .....	68
Figura 3.31. Potencia 27.9 – Solución óptima 27.7 – 31%.....	68
Figura 3.32. Potencia 27.9 – Solución óptima 27.7 – 42%.....	69

Figura 3.33. Potencia 28.2 – Solución óptima 27.7 – 16%.....	71
Figura 3.34. Potencia 28.2 – Solución óptima 27.7 – 22%.....	72
Figura 3.35. Potencia 28.2 – Solución óptima 27.7 – 31%.....	72
Figura 3.36. Potencia 28.2 – Solución óptima 27.7 – 48%.....	72
Figura 3.37. Potencia 25.2 – Solución óptima 23.95 – 12%.....	75
Figura 3.38. Potencia 25.2 – Solución óptima 23.95 – 21%.....	75
Figura 3.39. Potencia 25.2 – Solución óptima 23.95 – 31%.....	75
Figura 3.40. Potencia 25.2 – Solución óptima 23.95 – 40%.....	76
Figura 3.41. Potencia 25.1 – Solución óptima 23.95 – 14%.....	78
Figura 3.42. Potencia 25.1 – Solución óptima 23.95 – 21%.....	79
Figura 3.43. Potencia 25.1 – Solución óptima 23.95 – 33%.....	79
Figura 3.44. Potencia 25.1 – Solución óptima 23.95 – 42%.....	79
Figura 3.45. Potencia 26 – Solución óptima 25.95 – 19%.....	82
Figura 3.46. Potencia 26 – Solución óptima 25.95 – 24%.....	82
Figura 3.47. Potencia 26 – Solución óptima 25.95 – 32%.....	82
Figura 3.48. Potencia 26 – Solución óptima 25.95 – 47%.....	83
Figura 3.49. Potencia 27.8 – Solución óptima 27.7 – 17%.....	85
Figura 3.50. Potencia 27.8 – Solución óptima 27.7 – 21%.....	86
Figura 3.51. Potencia 27.8 – Solución óptima 27.7 – 32%.....	86
Figura 3.52. Potencia 27.8 – Solución óptima 27.7 – 47%.....	86
Figura 3.53. Potencia 22.8 – Solución óptima 22.45 – 14%.....	89
Figura 3.54. Potencia 22.8 – Solución óptima 22.45 – 22%.....	89
Figura 3.55. Potencia 22.8 – Solución óptima 22.45 – 31%.....	89
Figura 3.56. Potencia 22.8 – Solución óptima 22.45 – 35%.....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Modalidad Investigación.....	25
Tabla 2.1 Cargas instaladas empresa Genim SA .....	31
Tabla 3.1 Estudio de cargas .....	35
Tabla 3.2 Características Módulo 1Soltech 1STH-350-WH.....	36
Tabla 3.3 Latitudes aproximadas en valor absoluto de las provincias del Ecuador continental.....	37
Tabla 3.4 Carga demandada de la empresa Genim S.A.....	50
Tabla 3.5 Resultados 08h00 con una potencia máxima: 27 kW .....	59
Tabla 3.6 Resumen resultados 08h00 con una potencia máxima: 27 kW.....	60
Tabla 3.7 Resultados 09h00 con una potencia máxima: 25.2 kW .....	62
Tabla 3.8 Resumen resultados 09h00 con una potencia máxima: 25.2 kW.....	64
Tabla 3.9 Resultados 10h00 con una potencia máxima: 30.1 kW .....	66
Tabla 3.10 Resumen resultados 10h00 con una potencia máxima: 30.1 kW.....	67
Tabla 3.11 Resultados 11h00 con una potencia máxima: 30.4 kW .....	69
Tabla 3.12 Resumen resultados 11h00 con una potencia máxima: 30.4 kW.....	71
Tabla 3.13 Resultados 12h00 con una potencia máxima: 27.4 kW .....	73
Tabla 3.14 Resumen resultados 12h00 con una potencia máxima: 27.4 kW.....	74
Tabla 3.15 Resultados 13h00 con una potencia máxima: 27.3 kW .....	76
Tabla 3.16 Resumen resultados 13h00 con una potencia máxima: 27.3 kW.....	78
Tabla 3.17 Resultados 14h00 con una potencia máxima: 28.2 kW .....	80
Tabla 3.18 Resumen resultados 14h00 con una potencia máxima: 28.2 kW.....	81
Tabla 3.19 Resultados 15h00 con una potencia máxima: 30 kW .....	83
Tabla 3.20 Resumen resultados 15h00 con una potencia máxima: 30 kW.....	85
Tabla 3.21 Resultados 16h00 con una potencia máxima: 25 kW .....	87
Tabla 3.22 Resumen resultados 16h00 con una potencia máxima: 25 kW.....	88

Tabla 3.23 Horas de funcionamiento óptimo de las cargas .....	90
Tabla 3.24 Consumo diario censo de carga .....	91
Tabla 3.25 Consumo diario luego del AG .....	91

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como finalidad evaluar la generación fotovoltaica de un sistema autónomo (SFA), optimizando el funcionamiento de las cargas del sistema para minimizar el consumo, esto en miras de buscar preservar el medio ambiente implementando energías renovables. La adquisición de datos será de la planta procesadora de alimentos Genim SA ubicada en el cantón Latacunga. Se diseña el SFA determinando cada uno de sus componentes para abastecer al sistema. Para la optimización se toma en cuenta la función objetivo y las restricciones necesarias para el método del algoritmo genético.

La estructura de la investigación se encuentra de la siguiente manera: Para el Capítulo 1 se desarrolla el estado del arte revisando diversas fuentes bibliográficas referentes al problema detallado para encontrar una posible solución, así también se investiga sobre los sistemas fotovoltaicos autónomos estableciendo conceptos de funcionamiento, diseño y las fórmulas que se utilizan para los diversos cálculos. Se describe las operaciones del algoritmo de optimización para ayudar al desarrollo de los resultados.

Para el Capítulo 2 se presenta la propuesta para la investigación planteada, explicando brevemente los métodos que se utilizan. En el Capítulo 3 se realizan los cálculos del sistema fotovoltaico autónomo, la simulación del panel fotovoltaico y las operaciones del método de optimización, mismos que se realizan en el software Matlab, la simulación en Simulink y para encontrar la irradiación se utiliza es software Meteonorm.

Por último, se formulan las conclusiones y recomendaciones basados en los resultados de la investigación planteada.

En la actualidad las energías renovables ayudaran a la solución de varios problemas ambientales que se presentan, como los cambios climáticos, residuos radioactivos, lluvias acidas y contaminación atmosférica. La energía solar absorbida por la Tierra en un año es equivalente aproximadamente a veinte veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles. Por este motivo se crea una alternativa para el desarrollo investigativo. Ecuador es un país que se caracteriza por una gran diversidad en las condiciones climáticas en cada una de sus regiones, es privilegiado con gran radiación durante gran parte del año esto por encontrarse en línea ecuatorial, estas ventajas permiten la generación de energías limpias por medio de acumulación solar (celdas solares).

Los algoritmos genéticos también se consideran una técnica de inteligencia artificial. Durante millones de años, los organismos han evolucionado biológicamente para sobrevivir y crecer en un mundo cambiante. El material genético de todos los organismos vivos está formado por cromosomas divididos en genes; su codificación y desarrollo se consideran un proceso clave en la continuación de la especie. El proceso de selección natural y la supervivencia del más apto se consideran elementos importantes de la evolución, que se ha estudiado desde el siglo XVII. El primer evolucionista fue Lamarck[1], quien en 1809 era propenso a un cambio paulatino, según el cual unas especies se transformaban en otras sin necesidad de recurrir a nuevas creaciones. El mecanismo que propuso fue que los organismos desarrollaran estructuras durante su vida que se adaptaran mejor al entorno y que estos cambios estructurales fueran heredados.

En 1859 Charles Darwin publicó "Sobre el origen de las especies a través de la selección natural"[2]. Según Darwin, existe una enorme tendencia a la variación de especies, que se ve afectada por la selección natural y la selección sexual. Aquellos organismos que posean los rasgos que mejor se adapten a su entorno tenderán a reproducirse de manera más prolífica que otros, y sus rasgos se transmitirán a las generaciones futuras en una mayor proporción.

Por lo tanto, las poblaciones mejorarían continuamente, sus adaptaciones a los entornos a los que están sometidas y las poblaciones con adaptaciones inadecuadas eventualmente se extinguirían. Los algoritmos genéticos se basan en estos aspectos de la evolución.

Con estos antecedentes, en la elaboración de este trabajo se evaluará un sistema fotovoltaico autónomo basado en la generación versus la radiación, con el fin de proporcionar las herramientas necesarias para la optimización del abastecimiento de las cargas del sistema. La interrogante principal de la presente investigación es: ¿Se puede optimizar el abastecimiento de las cargas para minimizar el consumo del sistema?

Como objetivo general se tiene:

- Determinar la generación fotovoltaica de un sistema autónomo y la optimización del funcionamiento de las cargas mediante un algoritmo genético para minimizar el consumo del sistema.

Como objetivos específicos:

- Analizar el estado del arte que se adapte al sistema fotovoltaico autónomo y la técnica de optimización.
- Diseñar el sistema fotovoltaico autónomo para satisfacer el consumo diario.
- Evaluar el modelo propuesto para la optimización del funcionamiento de las cargas.

Sistemas de tareas con relación a los objetivos específicos:

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Actividad (tareas)</b>	<b>Resultado de la actividad</b>	<b>Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)</b>
1	Búsqueda, selección y organización de la información.	Contenido científico. Ordenar los contenidos más relevantes para la investigación.	Revisión en bibliotecas físicas y virtuales.
2	Cálculo de los elementos del sistema.	Aplicación de fórmulas del sistema fotovoltaico autónomo.	Cálculos y simulación en Matlab, Irradiación en Meteonorm.
3	Análisis de las variables de decisión. Examinar técnica de optimización.	Estructura función objetivo y las restricciones. Estructuración de aspectos trascendentes del algoritmo genético.	Modelación matemática. Rutina computacional y presentación de resultados en Matlab.

**Fuente:** Propia

En general es un análisis del sistema fotovoltaico autónomo y el funcionamiento del algoritmo genético, con el fin de verificar su funcionamiento, así como también fomentar la investigación en los estudiantes y profesionales para obtener una idea más clara de cómo se realiza un sistema óptimo.

Al mismo tiempo se deja la brecha abierta para posteriores investigaciones sobre energías renovables. Se investigará y se procederá al diseño de la simulación del sistema, justificando el uso de cada uno de los componentes de este. Analizar y discutir los resultados de las pruebas efectuadas del sistema. En conclusión, se resume los resultados alcanzados en el trabajo y se resaltan los aspectos novedosos y posteriormente se determina las debidas recomendaciones para tener en cuenta.

**Hipótesis:**

La optimización del abastecimiento de las cargas aplicando un modelo matemático y el algoritmo genético podrá minimizar el consumo del sistema.

## **CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEORICA- METODOLÓGICA**

### **1.1. Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte.**

En la tesis [3] Optimización en dimensionamiento y control energético de sistemas híbridos de energías renovables en Ecuador, dice:

La creciente demanda de energía eléctrica referida como factor clave en el desarrollo de la sociedad actual, junto con una industria basada principalmente en hidrocarburos, impulsan el desarrollo de nuevas tecnologías renovables que podrían encaminar a un desarrollo sostenible. Por lo tanto, la presente Tesis tiene como objetivo analizar la factibilidad de sistemas híbridos compuestos por energías renovables, su optimización y control energético en el Ecuador[3].

Los autores C. Sánchez, D. Milone y R. Buitrago en [4] Optimización de centrales fotovoltaicas mediante algoritmos evolutivos, indican:

La generación fotovoltaica constituye una valiosa alternativa para satisfacer el consumo mundial sin recurrir a fuentes contaminantes y no renovables. Las centrales fotovoltaicas presentan algunos problemas como el sombreado estático y dinámico que pueden disminuir considerablemente su desempeño. En particular, el efecto del sombreado dinámico debido a nubosidades es muchas veces olvidado en la etapa de diseño óptimo. En este trabajo se presenta una metodología de optimización para centrales fotovoltaicas incorporando las restricciones operativas y presentando un enfoque alternativo para la resolución del problema del sombreado dinámico mediante técnicas evolutivas. Los resultados son promisorios al compararlos con los rendimientos obtenidos del monitoreo de algunas centrales en funcionamiento[4].

Refiriéndose a [5] Análisis de la convergencia del método de integración de variables aplicado en la optimización multiobjetivos de la compensación de potencia reactiva en redes de suministro eléctrico, donde indica:

Los problemas de optimización pueden ser formulados en términos de encontrar el valor de un conjunto de variables de decisión, para lo cual una función objetivo o un conjunto de ellas pueden alcanzar un valor mínimo o máximo, considerando restricciones. Estos problemas, en un número considerable suelen ser no linealizables, lo que dificulta la obtención de un óptimo global. Ello ha exigido la creación de procedimientos que permitan lidiar con estas dificultades durante la búsqueda de buenas soluciones que pueden ser no óptimas pero si satisfactorias. La solución a los problemas de optimización combinatoria multiobjetivo se aplica hoy en diferentes campos de los sistemas energéticos donde la inteligencia artificial permite superar las dificultades de la programación matemática clásica a través de técnicas como la optimización difusa por enjambre de partículas con factor de constricción  $\chi$  (EPSO-  $\chi$ ) donde se integran elementos de la optimización difusa, inteligencia de grupo y estrategias evolutivas[5].

De acuerdo con los autores D. Borges, P. Puch y G. Frías en [6] Control de demanda eléctrica aplicando algoritmos genéticos, explican:

El problema del control de la demanda y el consumo de energía en empresas productivas y de servicios constituye una importante oportunidad para la reducción de los gastos asociados al uso de la energía eléctrica. En el presente trabajo se obtiene un modelo de compensación basado en la técnica de algoritmos genéticos que permite complementar el procedimiento manual de control de demanda, usualmente denominado acomodo de cargas, de forma tal que se obtenga mínimo consumo de energía en el horario pico, con mínima demanda máxima y mínima discontinuidad del gráfico de carga. El procedimiento resultante fue implementado utilizando las herramientas de programación del MATLAB versión 7.8 (R2010a) de la Global Optimization Toolbox[6].

## **1.2 Fundamentación Teórica.**

### **1.2.1 Energías Renovables.**

Se denomina Energía Renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen o por ser capaces de regenerarse por medios naturales[7].

En consideración su grado de desarrollo tecnológico y a su nivel de penetración en la matriz energética de los países, las Energías Renovables se clasifican en Energías Renovables Convencionales y Energías Renovables No Convencionales. Dentro de las primeras se considera a las grandes centrales hidroeléctricas; mientras que dentro de las segundas se ubica a las generadoras eólicas, solares fotovoltaicas, solares térmicas, geotérmicas, mareomotrices, de biomasa y las pequeñas hidroeléctricas[7].

El sol está en el origen de todas las energías renovables porque su calor provoca en la Tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos, fuente de la energía eólica. El sol ordena el ciclo del agua, causa la evaporación que predispone la formación de nubes y, por tanto, las lluvias. También del sol procede la energía hidráulica. Las plantas se sirven del sol para realizar la fotosíntesis, vivir y crecer. Toda esa materia vegetal es la biomasa. Por último, el sol se aprovecha directamente en las energías solares, tanto la térmica como la fotovoltaica[8].

A continuación, se realiza un listado de cada una de las energías renovables en sus diferentes manifestaciones:

- Energía Solar
- Energía Fotovoltaica
- Energía Térmica
- Energía Eólica
- Energía Hidráulica
- Energía de la Biomasa
- Energía Undimotriz
- Energía Maremotérmica
- Energía Geotérmica
- Energía Mareomotriz

De los diferentes tipos de energías vamos a profundizar más acerca de la energía solar y fotovoltaica, puesto que son la base del trabajo.

### **1.2.2 Energía Solar**

Es la energía proveniente del sol. El sol es la fuente de energía más cercana a nuestro planeta y su influencia es determinante para la existencia o no de cualquier tipo de vida. El sol es equivalente a 1.3 millones de planetas Tierra y el radio solar se lo completaría con 109 Tierras, su núcleo tiene una temperatura de unos 15000000 °C y una presión equivalente a 340000 veces la presión del aire a nivel del mar en la Tierra. Cada segundo el sol en su núcleo produce 5000000 de toneladas de energía pura[9].

De la radiación solar emitida, la distribución espectral fuera de la atmósfera terrestre se distribuye como se muestra en la figura 1: un 46% se ubica en la región infrarrojo, 45% en la región visible y 9% en la región ultravioleta. La distancia entre el sol y la Tierra es de 149490000 km. Aproximadamente. La radiación solar viaja en el vacío del espacio a una velocidad de 299792458 m/s y demora en llegar a la Tierra aproximadamente 8.31 minutos[9].

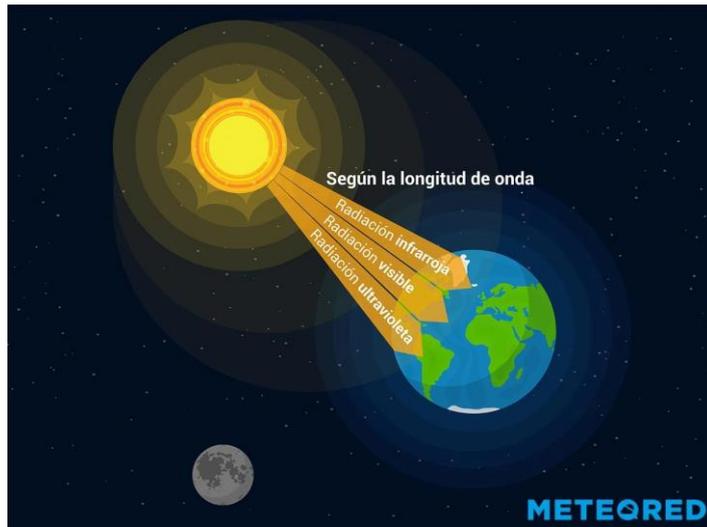


Figura 1.1. Radiación Solar[9].

La radiación que llega a la superficie de la Tierra (figura 2), se reduce considerablemente debido a diversos factores. Esta es absorbida en intervalos de longitud de onda específicos como son los gases de la atmosfera, dióxido de carbono, ozono, etc., por el vapor de agua, por la difusión atmosférica por las partículas de polvo, moléculas y gotitas de agua, por reflexión de las nubes y por la inclinación del plano que recibe la radiación respecto de la posición normal de la radiación[9].

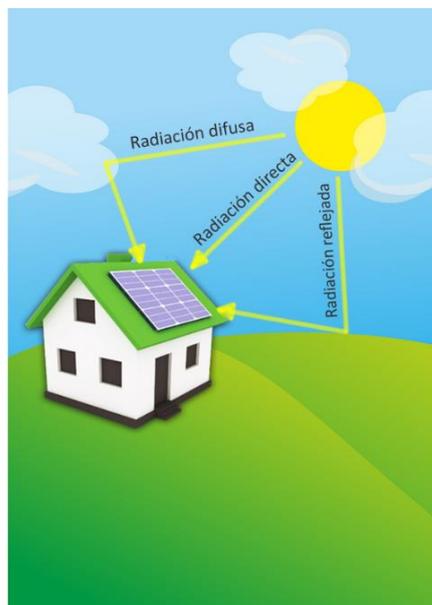


Figura 1.2. Componentes Radiación Solar[9].

### 1.2.3 Energía Fotovoltaica

Esta energía se da mediante la utilización de paneles o celdas solares fotovoltaicas, dichos elementos aprovechan la radiación y la temperatura entregada por el sol para generar electricidad.

#### 1.2.3.1 Funcionamiento

Los paneles solares fotovoltaicos están compuestos de numerosas celdas (figura 1.3) de semiconductores que aprovechan la energía de los fotones y la convierten en energía eléctrica en corriente continua. Generalmente, cada celda está compuesta de diodos que absorben y convierten la energía lumínica en eléctrica[10].

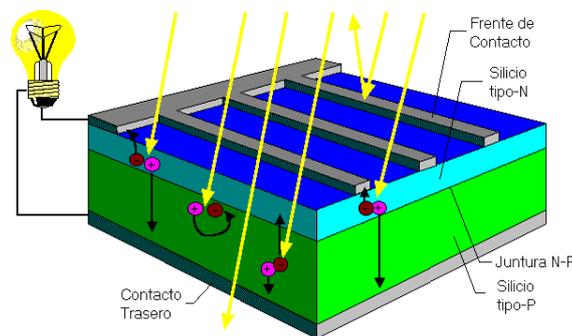


Figura 1.3. Estructura general de una celda solar fotovoltaica[10].

#### 1.2.3.2 Composición

Las celdas fotovoltaicas están compuestas de una variedad de materiales, capaces de generar electricidad a partir de la energía de los fotones. Sin embargo, los más populares están fabricados a base de elementos semiconductores como el Silicio. En la Figura 1.4 se muestra la clasificación de las celdas fotovoltaicas de acuerdo con su constitución[10].

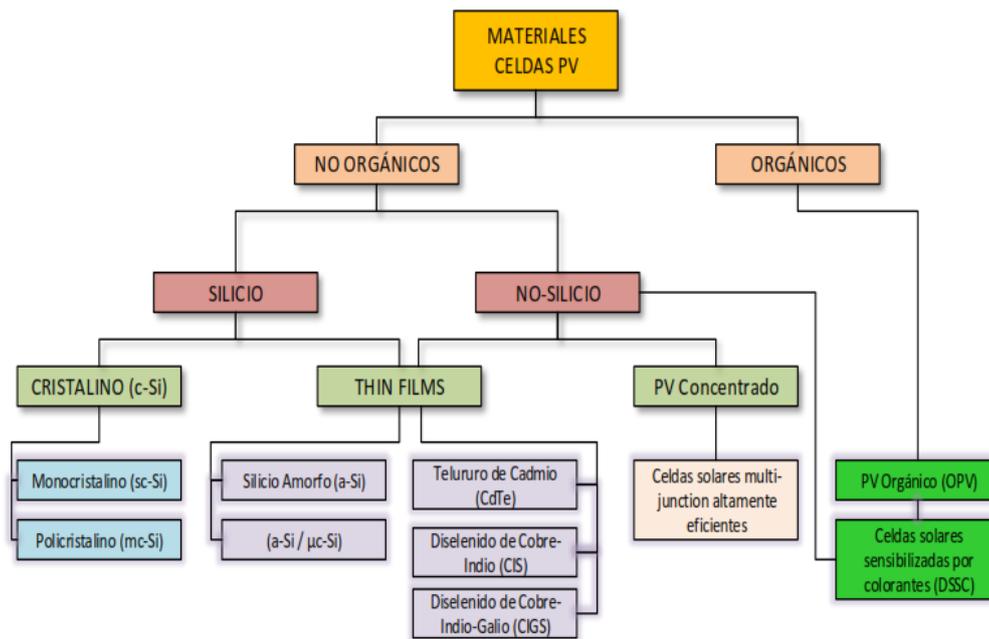


Figura 1.4. Clasificación de celdas Fotovoltaicas.[10]

### 1.2.3.3 Estructura General De Un Sistema Fotovoltaico

El componente base de estos sistemas es la celda solar fotovoltaica. Un arreglo de estas celdas, conectándolas en serie y paralelo, forma un panel solar. Para conseguir mayores niveles de potencia, es posible formar arreglos de paneles, de acuerdo con algún requerimiento específico. Los paneles solares hacen la función de generadores. Los niveles de potencia dependerán de la cantidad de irradiación incidente en los paneles solares, incluso en días nublados o lluviosos[10].

Para almacenar la energía generada comúnmente se utilizan baterías. El tamaño de las baterías depende de la capacidad de generación de los paneles. La energía almacenada y la que se genera es adecuada para su consumo mediante inversores corriente directa (DC) - corriente alterna (AC), mediante el cual, bajo ciertas condiciones, es posible conectarse con la red externa. En la Figura 5 se observa la configuración general de un sistema solar fotovoltaico[10].

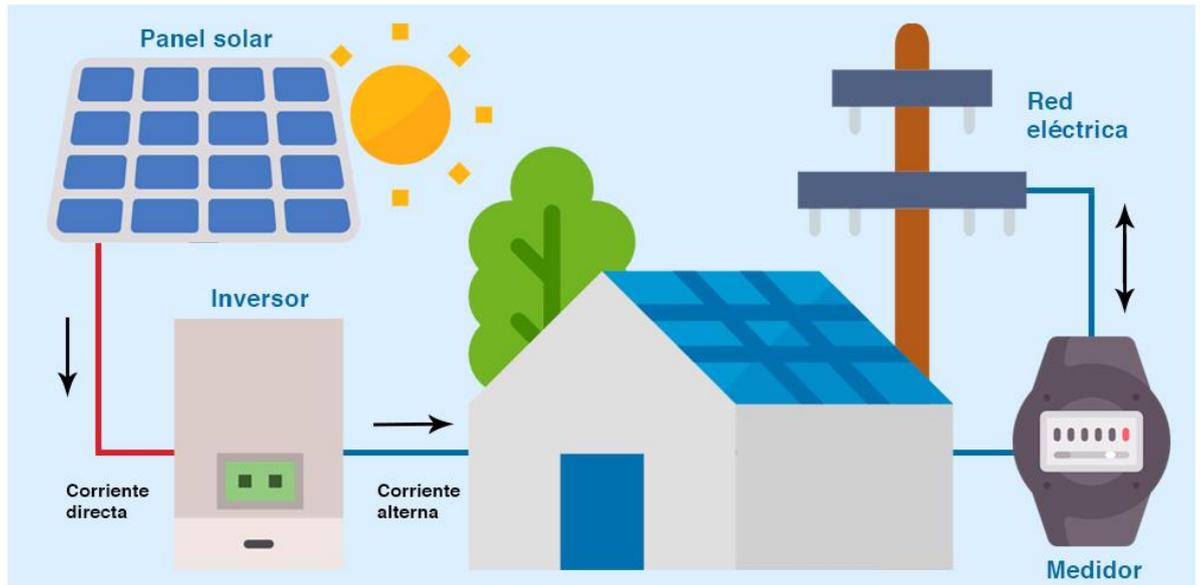


Figura 1.5. Esquema general de un sistema solar fotovoltaico[10].

#### 1.2.3.4 Sistemas Fotovoltaicos Autónomos (SFA)

Un sistema fotovoltaico autónomo (SFA) produce energía eléctrica para satisfacer el consumo de cargas eléctricas no conectadas a la red, empleando un sistema de acumulación energético para hacer frente a los períodos en los que la generación es inferior al consumo. Estos sistemas están compuestos por el generador, un acumulador electroquímico y un regulador de carga y descarga. Cuando el consumo incluye cargas de alterna es necesario que el SFA incluya un inversor. Cabe la posibilidad de que el consumo esté compuesto por cargas en continua y en alterna, o exclusivamente por cargas en alterna[11].

El funcionamiento del inversor puede ocasionar la circulación de transitorios de corriente que el regulador no es capaz de gestionar correctamente. Por este motivo, es recomendable que el inversor esté conectado directamente a la batería, y no a la salida del regulador. Los inversores para SFA suelen incorporar un mecanismo de regulación de descarga que permite esta conexión[11].

El funcionamiento de estos inversores es, en muchos aspectos, similar al de los inversores de conexión a red, pero con varias peculiaridades. La principal diferencia está en su salida, dado que estos inversores no están conectados a una red con la que sincronizar, deben funcionar como fuentes de tensión (y no como fuentes de corriente)[11].

Por lo general no incluyen un buscador del punto de máxima potencia. Como caso especial destacan los sistemas híbridos. Como se entenderá en la descripción de los métodos de dimensionado de los SFA, existe una probabilidad no nula de fallo de suministro. Así, durante un año típico, es previsible que un porcentaje de la energía demandada por la red de consumo no pueda ser correspondida por el SFA. El dimensionado de un SFA consiste, por tanto, en elegir los tamaños de generador y acumulador como una solución de compromiso entre mínima probabilidad de fallo y mínimo coste[11].

Sin embargo, existen ciertas aplicaciones que no pueden estar sometidas a cortes de suministro (principalmente las aplicaciones profesionales) o redes de consumo de un tamaño tal que exigen un generador y acumulador excesivamente grandes. En estos casos el SFA incluye un grupo electrógeno que suministra la energía deficitaria y permite reducir el tamaño del SFA[11].

Un SFA puro implica una inversión elevada, pero supone unos costes de mantenimiento muy bajos. Por el contrario, un grupo electrógeno es una adquisición poco costosa, pero está asociado a costes de mantenimiento no despreciables, principalmente en zonas remotas. La combinación de ambos permite reducir el tamaño del generador fotovoltaico y el acumulador con la aportación energética del grupo, mientras que el generador fotovoltaico permite reducir las horas de funcionamiento del grupo, y por tanto el gasto en combustible y consiguiente mantenimiento[11].

## 1.2.4. Diseño Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA)

### 1.2.4.1 Inclinación de los paneles

La inclinación de los paneles en sistemas fotovoltaicos tiene una gran importancia ya que con la inclinación adecuada se logra captar mayor radiación, se propone la siguiente relación entre el ángulo de inclinación y la latitud (ambos en grados). Para obtener el ángulo de inclinación que optimiza el funcionamiento de un sistema fotovoltaico como se indica en la ecuación 1.1[12].

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69|\Phi| \quad (1.1)$$

Donde:

$\beta_{opt}$  = Ángulo de inclinación óptimo.

$|\Phi|$  = Latitud de la ubicación del sistema fotovoltaico.

### 1.2.4.2 Acimut

En general conviene tener el módulo girado hacia el ecuador terrestre (es decir, hacia el Sur en el hemisferio norte, hacia el Norte en el Hemisferio Sur), para que durante el día el panel capte la mayor cantidad de radiación posible[12].

### 1.2.4.3 Distancia entre paneles

La distancia entre paneles se establece de tal forma que al medio día, la sombra de la arista superior del panel se proyecte, como máximo, sobre la arista inferior del panel siguiente, tal y como se observa en la figura 6[13].

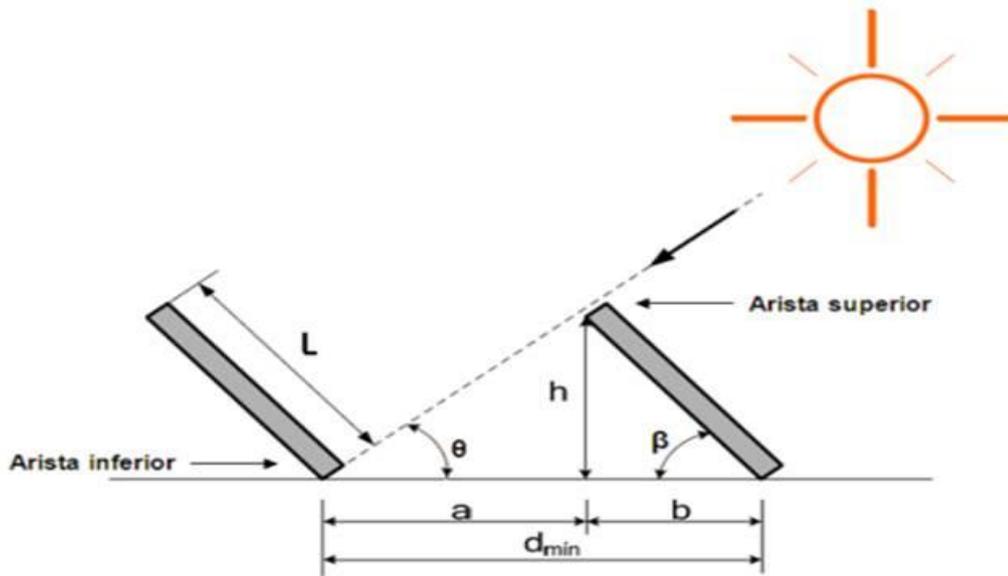


Figura 1.6. Distancia entre paneles de un sistema solar fotovoltaico[13].

Donde:

$d_{min}$ : Distancia mínima entre aristas de paneles, [m].

$L$ : Longitud del panel (columna de módulos en paralelo), [m].

$h$ : Altura solar al medio día, [m].

$\beta$ : Grado de inclinación del panel,[grados].

$\theta$ : Ángulo de la sombra, [grados].

$a$ : Distancia de la arista inferior de un panel a la arista inferior del otro, [m].

$b$ : Distancia de la arista inferior del panel a la arista superior del mismo respecto a la horizontal, [m].

Una vez obtenido el grado de inclinación del panel y la longitud del panel ( $L$ ), se calcula la altura solar al medio día y la distancia  $b$ .

$$h = \text{sen}\beta * L \quad (1.2)$$

$$b = \text{cos}\beta * L \quad (1.3)$$

Considerando el ángulo de inclinación del panel y los ángulos rectos que se forman, se complementan los demás ángulos. Enseguida se calcula la distancia  $a$ , utilizando como dato la altura ( $h$ ) y el ángulo  $\theta$ .

$$a = \frac{h}{\tan \theta} \quad (1.4)$$

Por último, se suma la distancia  $a$  más la distancia  $b$  para obtener la distancia mínima entre aristas de paneles, para evitar la sombra sobre otro panel.

$$d_{min} = a + b \quad (1.5)$$

#### **1.2.4.4 Índice de Rendimiento (Performance Ratio - PR)**

Es uno de los parámetros más importantes para evaluar el rendimiento de una planta FV. Es la relación entre la producción real y la producción nominal de la planta. Se determina al monitorear la producción real de la planta durante un periodo de tiempo definido y dividirlo por la producción de la planta en el mismo periodo. El PR cambiará de un periodo a otro según las condiciones ambientales y técnicas de la planta[14].

El PR también se usa con valores de referencia comunes en la etapa de planificación de un sistema fotovoltaico. Un PR de 0.75 a 0.80 se usa en plantas conectadas a la red y 0.65 para plantas desconectadas a la red. Esto significa que el potencial de producción bruta de energía esperado debería multiplicarse por el índice de rendimiento o reducirse en  $(1-PR)$  para reflejar la producción esperada después de las pérdidas del sistema[14].

#### **1.2.4.5 Hora Solar Pico (PSH)**

La hora solar pico traslada toda la energía recibida por el Sol a lo largo de un día a las horas en las que se recibiría toda esa energía si la irradiancia fuera hipotéticamente constante e igual a 1000 W/m<sup>2</sup>. Es decir, son las horas de irradiancia equivalentes a una irradiación de 1000 W/m<sup>2</sup> constante que se tiene en un lugar específico. Este parámetro también permite simplificar los cálculos de dimensionamiento de sistemas solares[15].

$$PSH(h) = \frac{\text{Irradiación [kWh/m}^2\text{]}}{1\text{kW/m}^2} \quad (1.6)$$

#### **1.2.4.6 Rendimiento de Energía Fotovoltaica**

$$\text{Rendimiento de Energía} = \text{Electricidad a la Red} = PSH * \text{Potencia Nominal} * PR \quad (1.7)$$

#### **1.2.5 Técnica de optimización – Algoritmo Genético (AG)**

Los algoritmos genéticos (AG) son técnicas de búsqueda guiada, basadas en probabilidad, que se engloban dentro de las técnicas metaheurísticas de optimización. Fueron desarrollados por J. Holland en la década de los setenta. Los AG están basados en la selección natural de las especies propuesta por Darwin en su libro “El origen de las especies”, en 1859, estableciendo los mecanismos de selección que utiliza la naturaleza, de acuerdo con los cuales los individuos más aptos de una población son los que sobreviven al adaptarse más fácilmente a los cambios que se producen en su entorno[16].

Se puede decir que un AG opera de la siguiente manera: trabajan con una población (grupo de individuos) generalmente aleatoria al principio del proceso y que va evolucionando con cada iteración.

Cada individuo que es parte de la población representa una posible solución del problema a resolver, y su codificación se realiza mediante cadenas binarias. Estos individuos se evalúan mediante una función que indica el grado de adaptación del individuo al entorno. A continuación, se realizan una serie de operaciones encaminadas a generar una nueva población. Estas operaciones son: selección de los individuos que participarán en el proceso de cruce y mutación de los individuos de la nueva generación. Este proceso se repite hasta que el algoritmo converja adecuadamente.

### 1.2.5.1 Codificación de variables en AG

La codificación de las variables en el proceso de los AG permite que estas se puedan evaluar con mayor rapidez. Existen varios métodos para la codificación la elección de uno u otro depende del tipo de problema que se va a resolver. En la figura 1.7 se indica un ejemplo de un cromosoma binario.

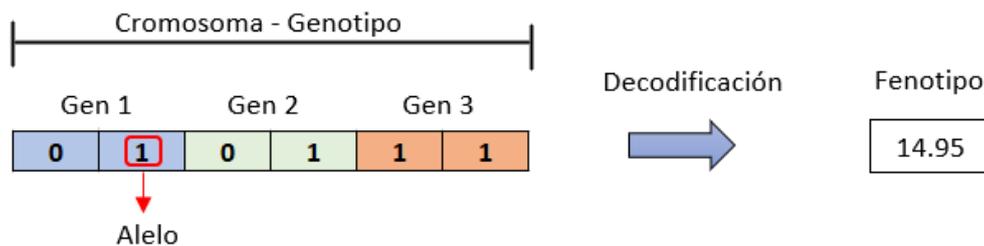


Figura 1.7. Cromosoma binario.

El cromosoma es la estructura de datos que contiene un individuo en la población, también se llama gen al subgrupo del arreglo y como alelo a un bit del gen. Además, al cromosoma se lo denomina genotipo el mismo que al ser codificado en función de su aptitud se llama fenotipo[17].

### 1.2.5.2 Estructura de AG

En la figura 1.8 se detalla los componentes del AG representado en un diagrama de flujo.

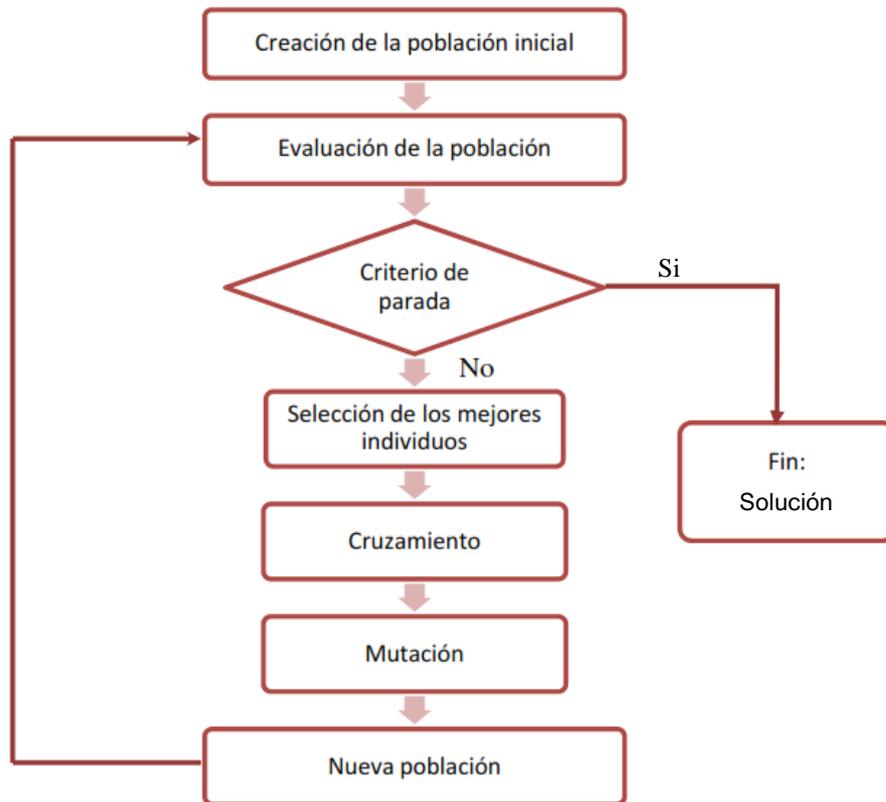


Figura 1.8. Flujograma de un AG[16].

### 1.2.5.3 Población

Es el conjunto de individuos escogidos de manera aleatoria para iniciar el AG, tienen características de evolucionar en cada iteración y de ser representada mediante cadenas binarias o cromosomas. Dentro de los individuos de la población se encuentra una posible solución del problema a resolver[17].

### 1.2.5.4 Función de evaluación

En este componente el grupo de individuos o población son sometidos a una evaluación por medio de una función de aptitud o también conocida como función objetivo, la respuesta de esta evaluación indica la “bondad” de la solución obtenida [17].

### 1.2.5.5 Selección Individuos

En la naturaleza, los individuos mejor adaptados son los que consiguen sobrevivir y transmitir su carga genética a las sucesivas generaciones manteniendo de esta manera los fenotipos exitosos. Por el contrario, los individuos peor adaptados tendrán menos probabilidades de sobrevivir y reproducirse. A este proceso se le denomina Selección Natural y da lugar a la evolución de las especies en las que se basa la teoría de los AG. Por analogía con los AG el proceso de Selección Natural se realiza mediante los operadores de selección y reemplazo[16].

El operador de selección es el encargado de determinar cuáles son los individuos que van a participar en el proceso de creación de la nueva población en función de la aptitud de cada cromosoma. Este operador permite que individuos con mejores valores de aptitud sobrevivan entre poblaciones o se reproduzcan transmitiendo su carga genética. El proceso de selección no debe eliminar por completo los individuos peor adaptados para mantener cierta diversidad y evitar problemas de convergencia prematura[16].

Existen diversos métodos de selección, se va a exponer los más difundidos:

- **Selección proporcional a la función de aptitud:** Este método es el empleado por Holland en su AG y está basado en el concepto estadístico de esperanza matemática. La selección de los padres de la futura generación se realiza en función de su aptitud, así los individuos con mayores valores tendrán más posibilidades de sobrevivir[16].
- **Selección por ruleta:** Es una técnica de selección proporcional, en la cual, a cada individuo se le asigna un valor proporcional a su aptitud de tal manera que la probabilidad de ser seleccionado es proporcional a la diferencia entre su aptitud y la de sus competidores. Se establece la siguiente analogía con el juego de la ruleta: consiste en simular el giro de una ruleta con tantos compartimentos como el tamaño de la población, cada una con tamaño proporcional a la aptitud del cromosoma que representa. En cada giro de la ruleta se selecciona un padre[16].

- **Selección estocástica:** Es otro tipo de selección proporcional, semejante al de la ruleta, que aproxima más la selección de los padres a su valor de aptitud debido a que en vez de realizar tantos giros de ruleta como padres deben ser seleccionados, se gira una sola vez la ruleta con tantas agujas como padres a seleccionar[16].
- **Selección por torneo o competición:** Este método realiza la selección comparando los valores de aptitud entre varios individuos. Existen dos modalidades de esta selección: Determinística: en este caso se selecciona al azar un número “n” de individuos (generalmente 2) y a continuación se selecciona el más apto para convertirse en padre. Probabilística: en este caso la selección del superviviente entre los participantes en el sorteo se realiza generando un número aleatorio en el intervalo [0,1]. A continuación, si el valor obtenido es mayor que el parámetro representativo de la presión selectiva, “p”, el individuo que se convierte en padre será el que posea una mayor aptitud, por el contrario, si el número aleatorio generado es menor que la presión selectiva dada para todos en el proceso, el cromosoma seleccionado será el de menor aptitud. Generalmente el valor “p” toma valores en el rango [0,5 - 1][16].
- **Selección por rango:** En esta técnica, tras la evaluación de los individuos, éstos se ordenan en función del valor de aptitud asignándoles una probabilidad de selección en función de la posición que ocupan. Así el individuo con mayor valor ocupará la primera posición del rango. La selección se realiza entonces en función de este rango en lugar de emplear el valor de aptitud. Esta técnica permite aligerar las diferencias entre individuos predominantes y aquellos con menores valores de aptitud, ya que a priori no se conoce la diferencia en términos absolutos entre la aptitud del elemento que ocupa la posición “k” y el que ocupa la posición “k+1”. Esto dificulta la convergencia prematura del AG, manteniendo la diversidad genética de la población y asignando alguna probabilidad de ser seleccionados a todos los individuos de la población[16].

### 1.2.5.6 Cruce

Una vez seleccionados los individuos que van a actuar como padres de la siguiente generación se realiza la recombinación genética entre ellos empezando por el proceso de cruzamiento que simula la reproducción natural. Mediante el cruzamiento, los padres intercambian su material genético para generar la nueva descendencia[16]. Existen diversos métodos de selección, se va a exponer los más difundidos:

- **Cruce simple o de un punto:** se selecciona una pareja de padres o cromosomas y en un punto de cruce seleccionado de manera aleatoria se los divide, así los hijos o genotipos heredan la información genética de ambos padres[17], como se puede observar en la figura 1.9.

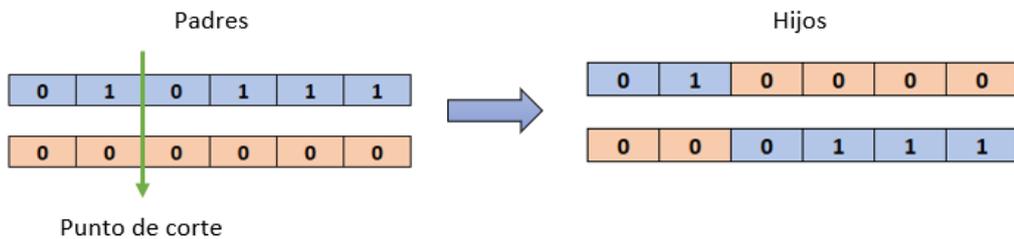


Figura 1.9. Cruce simple o de punto.

- **Cruce multipunto:** es una variante del cruce simple en donde existe n puntos de corte (generalmente 2) para generar hijos de la misma longitud de sus padres es importante comprobar que ninguno de los puntos de corte coincida con los extremos de la cadena[17], como se puede observar en la figura 1.10.

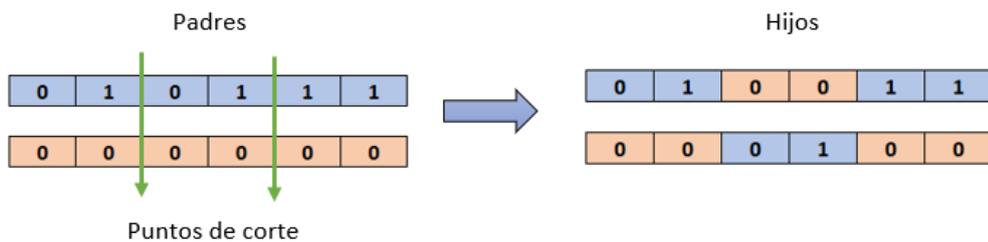


Figura 1.10. Cruce multipunto.

- **Cruce uniforme:** este método permite generar dos nuevos individuos a partir de un máscara de los padres, formada por ceros y unos escogidos aleatoriamente. El hijo 1 se forma con los valores en cero de la máscara proveniente del padre 1 y los valores en uno de la máscara proveniente del padre 2, el hijo 2 contendrá el material genético complementario del hijo 1 [17], como se puede observar en la figura 1.11.

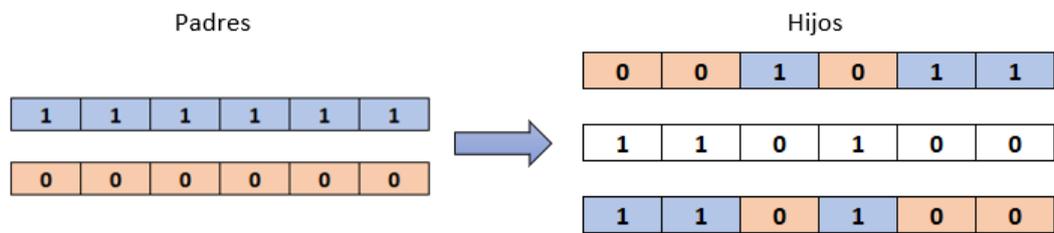


Figura 1.11. Cruce uniforme.

### 1.2.5.7 Mutación

La mutación tiene el propósito de preservar la diversidad dentro de la población al introducir pequeñas variaciones en uno o más genes de un cromosoma según una probabilidad de mutación dada “Pm”, dicha probabilidad suele ser baja, generalmente al 1% [17].

### 1.2.5.8 Elitismo

El operador élite es el encargado de mantener una serie de individuos fijos entre poblaciones, en términos de función de adaptación. Este operador se emplea para mantener vivas las mejores soluciones encontradas a lo largo del proceso generacional ya que, debido a los operadores de cruce y selección, se podría perder esta valiosa información [16].

### 1.2.5.9 Reemplazo Nueva Población

El proceso de reemplazo determina qué individuos de la población deben desaparecer en favor de la nueva descendencia [16]. Existen diversos métodos de selección, se va a exponer los más difundidos:

- **Reemplazo aleatorio:** Los individuos a eliminar de la población existente se seleccionan de forma aleatoria.
- **Reemplazo gradual o por torneo:** El reemplazo gradual o por torneo es igual que el proceso de selección por torneo. En este caso los individuos con mayor probabilidad de ser eliminados son los peor adaptados.
- **Reemplazo por rango:** Al igual que en el proceso de selección por rango, a cada individuo se le asigna un rango dentro de la población y la probabilidad de ser eliminado está relacionada con el rango en vez de con el grado de aptitud. En este caso los individuos peor adaptados no copan las probabilidades de eliminación. El problema de este método es que pueden desaparecer las soluciones con mejores valores de aptitud en favor de la descendencia[16].
- **Reemplazo por nichos:** Este método trata de mantener la diversidad genética y aligerar la presión selectiva mediante la sustitución de cromosomas similares entre la población inicial y la descendencia.
- **Reemplazo proporcional:** Esta variante asigna una probabilidad de ser eliminado inversamente proporcional a la aptitud de cada individuo. De esta forma, se ve favorecido el reemplazo de los individuos con menor valor de aptitud[16].
- **Reemplazo de los padres:** Este método es de aplicación exclusiva a los AG sin población intermedia y en él la descendencia ocupa el lugar de los padres.

#### 1.2.5.10 Criterio de Parada

Cuando el AG ha determinado una solución óptima se suele manejar los siguientes criterios:

- Si algún individuo de la población alcanza el valor prefijado de adaptación.
- El algoritmo converge, se dice que converge un gen cuando el 95% de la población tiene el mismo valor o se encuentra dentro del rango establecido.
- Si se alcanzó el número máximo de generaciones establecidas.

### 1.3 Fundamentación Metodológica

Para el desarrollo del presente trabajo, es necesario contar con los datos de información lo más exactos y actualizados, en este caso se utiliza herramientas de programación computacional, debido a que esta permite realizar con mayor facilidad, rapidez, eficacia los cálculos y el resultado que se plantea.

#### 1.3.1 Modalidad Investigación

La metodología que se utiliza es Analítico – Sintético se refiere a que el análisis es un procedimiento lógico que posibilita descomponer mentalmente un todo en sus partes y cualidades, en sus múltiples relaciones, propiedades y componentes. Permite estudiar el comportamiento de cada parte. La síntesis es la operación inversa, que establece mentalmente la unión o combinación de las partes previamente analizadas y posibilita descubrir relaciones y características generales entre los elementos de la realidad.[18]

Además, se utiliza los diferentes tipos de investigación, técnicas de investigación e instrumentos que se detallan en la tabla 1.1.

**Tabla 1.1.** Modalidad Investigación

<b>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
Método Analítico-Sintético	Análisis de los elementos del sistema fotovoltaico autónomo.
<b>TIPOS DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
Investigación Bibliográfica	Libros, Artículos Científicos, Tesis, Revistas Indexadas.
Investigación Descriptiva	Descripción del comportamiento del sistema fotovoltaico autónomo
Investigación Cuantitativa	Cálculo y análisis de la generación de los paneles fotovoltaicos
<b>TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
Cálculos y Simulación	Software Meteonorm Software Matlab

Fuente: Propia

### 1.3.2 Procedimientos y Análisis

- Adquisición de datos

Para el análisis y diseño del SFA se requiere el estudio y censo de carga, mismos datos son adquiridos de la tesis de pregrado realizada en la institución que tiene como título: “ANÁLISIS DE LA DEMANDA ELÉCTRICA ACTUAL PARA LA AMPLIACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN LA PLANTA PROCESADORA DE ALIMENTOS GENIM S.A. DEL CANTÓN LATACUNGA EN EL AÑO 2017”[19].

- Cálculos y diseño

Con los registros adquiridos se diseña el SFA que satisfaga al consumo de la planta Genim SA. Para los datos de irradiación se usa el software Meteonorm. Los cálculos se realizan en Matlab y la simulación de un bastidor de paneles fotovoltaicos en Simulink verificando todos los parámetros que intervienen en la generación.

- Optimización

La optimización se basa en el método del Algoritmo Genético, tomando en cuenta las variables de decisión, la función objetivo y las restricciones. Para el algoritmo se debe tener en cuenta la población (grupo de individuos) que se forman generalmente de forma aleatoria. Luego se realizan una serie de operaciones encaminadas a generar una nueva población, estas son: selección de los individuos que participarán en el proceso de cruce y mutación de los individuos de la nueva generación. Este proceso se repite hasta que el algoritmo converja adecuadamente.

#### **1.4. Conclusiones Capítulo 1.**

- La energía fotovoltaica es limpia, por lo que no genera daños para el medio ambiente además es una fuente de energía inagotable, una de sus principales utilidades es poder llegar con energía a zonas donde es de muy difícil acceso para la red eléctrica.
- Esta energía no genera gastos mayores después de su instalación, los gastos posteriores son de un simple mantenimiento, tiene una duración promedio de 20 años, contribuyendo aún más a la conservación del medio ambiente que tanta falta nos hace para contrarrestar los daños que se han causado por la industrialización.
- Se debe desarrollar programas de control y gestión inteligentes para instalaciones gestionables, como cogeneración, aplicadas a instalaciones de autoconsumo aisladas.
- Para la optimización se va a utilizar el método del Algoritmo Genético, tomando como restricción la demanda diaria de la empresa Genim SA para definir las horas de funcionamiento de las cargas.

## CAPÍTULO II. PROPUESTA

### 2.1 Título del proyecto.

Análisis de la generación fotovoltaica de un sistema autónomo, optimizando el consumo mediante un algoritmo genético.

### 2.2 Objetivo del proyecto

- Determinar los elementos que intervienen en la generación del sistema fotovoltaico autónomo y los criterios para la optimización del abastecimiento de las cargas para minimizar el consumo tomando en cuenta la demanda diaria de la empresa Genim SA.

### 2.3 Descripción de la propuesta

Se detalla a continuación los procesos que se van a realizar en la propuesta, se utiliza el flujograma de la figura 2.1.

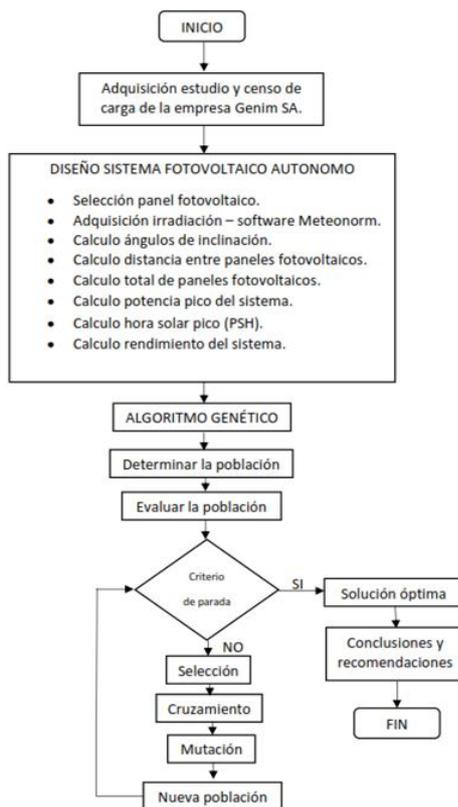


Figura 2.1. Flujograma de la propuesta.

Se adquieren los valores del estudio y censo de carga de la empresa Genim SA, estos datos nos indican el consumo y la demanda diaria para dimensionar el SFA. Se selecciona el panel fotovoltaico del sistema tomando en cuenta el voltaje, corriente y la potencia de generación.

Utilizando las coordenadas de la ubicación de la empresa se calcula los ángulos de inclinación del panel fotovoltaico ( $\alpha$ ,  $\beta$  y acimut) tomando en cuenta un valor de Latitud de 0.9 perteneciente a Latacunga, luego la distancia entre los bastidores, considerando que se tendrán 3 paneles por cada bastidor. La potencia pico del sistema estará dada por la multiplicación del total de paneles a instalar con la potencia unitaria del panel fotovoltaico.

El sistema fotovoltaico autónomo va a tener un valor de Performance Ratio (PR) equivalente a 0.65, dicho valor es proporcionado por las pérdidas del sistema en la etapa de preconversión, conversión y pérdidas generales del sistema.

Para obtener los valores de irradiación se utiliza el software Meteonorm, mismo que consta con una amplia data que va a garantizar los valores adecuados para la simulación, para la radiación consta de una data de los periodos de 1991-2010 y para temperatura de 2000-2009.

Los valores resultantes del software sirven para el cálculo de la hora solar pico, este valor va a estar dado por horas al mes tomando en cuenta el valor más bajo (el peor escenario de irradiación), por último, se determina el rendimiento real o energía que entrega el sistema fotovoltaico autónomo.

La optimización se realiza mediante un Algoritmo Genético, para minimizar el consumo y determinar el funcionamiento óptimo de las cargas. Para el algoritmo se debe tener en cuenta la población y los procesos de selección, cruce y mutación de los individuos de la nueva generación. Este proceso se repite hasta que el algoritmo converja adecuadamente.

## 2.4 Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Mediante los datos obtenidos de la empresa Genim SA ubicada en Latacunga, se determinó que el horario de producción es de 08H00 a 16H00, a continuación, en la figura 2.2 se observa el diagrama unifilar y en la tabla 2.1 se indican los valores de las cargas instaladas en el sistema.

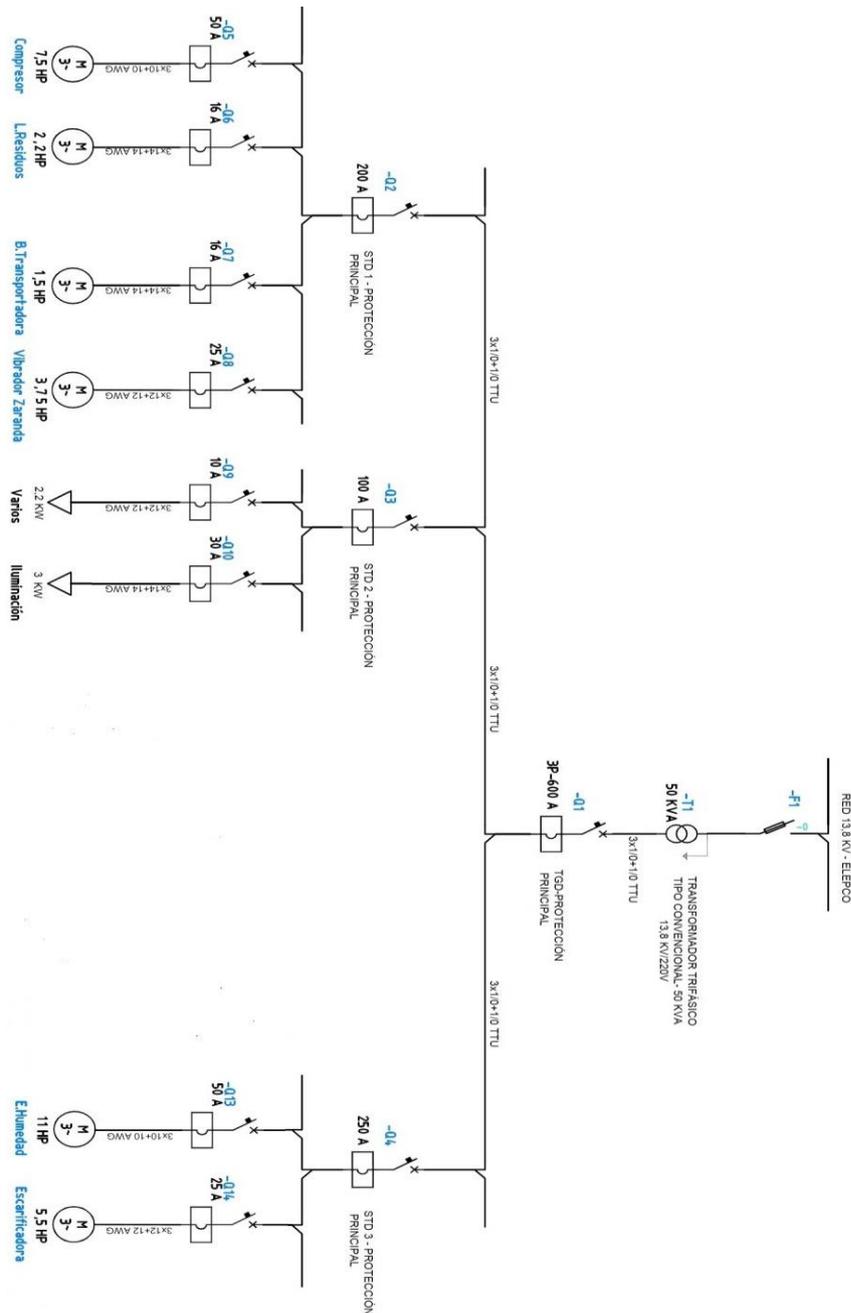


Figura 2.2. Diagrama unifilar empresa Genim SA.

**Tabla 2.1** Cargas instaladas empresa Genim SA

Tipo	Descripción	Potencia (kW)
Motor de Inducción (M1)	Extractor de humedad	11
Motor de Inducción (M2)	Compresor	7,5
Motor de Inducción (M3)	Escarificadora	5,5
Motor de Inducción (M4)	Vibrador zaranda	3,75
Motor de Inducción (M5)	Limpiador de residuos	2,2
Motor de Inducción (M6)	Banda Transportadora	1,5
Varios (V1)	Tomacorrientes, Sistema Seguridad, etc.	2,2
Iluminación	Luminarias - Led (6 de 0,5 kW c/u)	3

Fuente: Propia

### 2.4.1 Función Objetivo

La función objetivo (ecuación 2.1) consiste en minimizar el consumo del sistema, optimizando las horas de funcionamiento de las cargas que intervienen en la etapa de producción. Por lo tanto, podemos formular el problema de optimización de la siguiente manera:

$$\min\left(\sum_{i=1}^n M_i * h_i\right) \quad (2.1)$$

Sujeto a las restricciones:

$$V1 + \sum_{i=1}^n M_i \leq D_h \quad (2.2)$$

$$h_i > 0 \quad (2.3)$$

Donde:

- n es el número de cargas que intervienen en la etapa de producción (6).
- $M_i$  es la potencia de la carga (kW).
- $h_i$  son las horas optimizadas de funcionamiento de la carga al día (h).
- V1 es la potencia de tomacorrientes, sistema de seguridad, etc. (2.2 kW).
- $D_h$  es la carga demandada (kW) en una hora establecida en la etapa de producción (de 08h00 a 16H00).

## 2.4.2 Simulación bastidor de paneles fotovoltaicos

Para la simulación de un bastidor que consta de 3 paneles fotovoltaicos conectados en serie se requiere considerar 2 etapas importantes que se detallan a continuación:

- **Etapla conversor DC/DC**

Es el encargado de convertir una fuente de voltaje continuo fijo en una de voltaje continua variable. Se clasifican dependiendo de su funcionamiento, entre los más comunes tenemos: Elevador (Boost), Reductor (Buck) y Reductor – Elevador (Buck-Boost).

Para poder utilizar es sistema en la industria vamos a optar por un elevador. En el circuito de la figura. 2.3. se tiene dos modos de funcionamiento. El primer modo,  $t = 0$  ,si el transistor ( $T$ ) está conduciendo hace que la corriente que circula aumente y pasa por el inductor ( $L$ ) y el transistor ( $T$ ). El modo 2 cuando el transistor ( $T$ ) se apaga,  $t = t1$ , la corriente pasa por el inductor ( $L$ ), capacitor ( $C$ ), diodo ( $D$ ) y la carga ( $R$ ), la corriente disminuye y se enciende nuevamente el transistor ( $T$ ). Hay que tener en cuenta que el conversor siempre transfiere potencia a la carga y que el filtro de salida es muy alto por lo que se asume que el voltaje a la salida es contante[20].

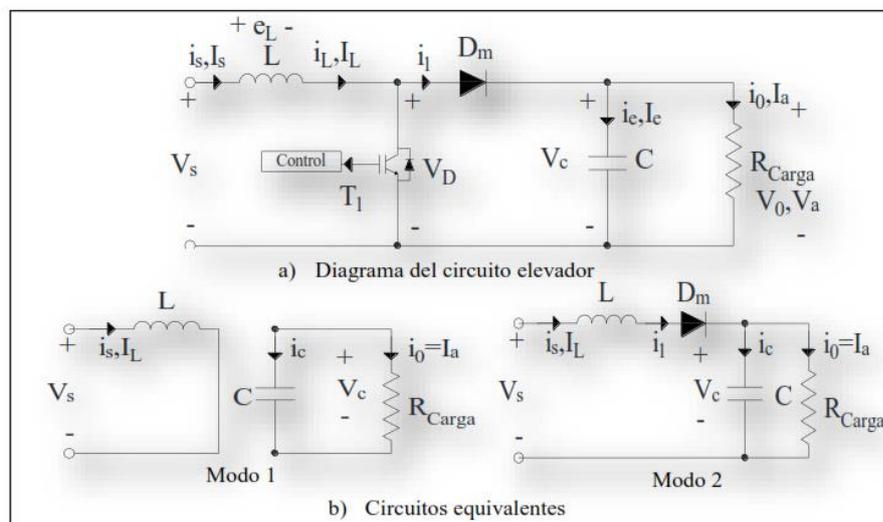


Figura 2.3. Conversor DC/DC elevador. a) Diagrama del circuito, b) Circuitos equivalentes[20].

Los valores para la simulación son los siguientes: Inductor ( $L$ ) = 5mH, el transistor ( $T$ ) va a ser un IGBT, capacitor ( $C$ ) = 3300 uF, diodo ( $D$ ) es un diodo ideal y la carga ( $R$ ) de 12  $\Omega$ .

- **Algoritmo para obtener el MPPT - Algoritmo Perturbar y Observar P&O**

Este algoritmo (figura 2.4) esta implementado en Simulink acompañado con el uso del bloque Matlab Function mediante código, el cual adquiere los valores de voltaje y corriente del panel fotovoltaico calculando la potencia. Este método se basa en medir valores de la potencia de salida antes y después de una perturbación y compararlo, según este proceso se puede determinar qué dirección debe seguir para alcanzar la potencia máxima, es decir al restar estos valores se obtiene un signo de variación[21].

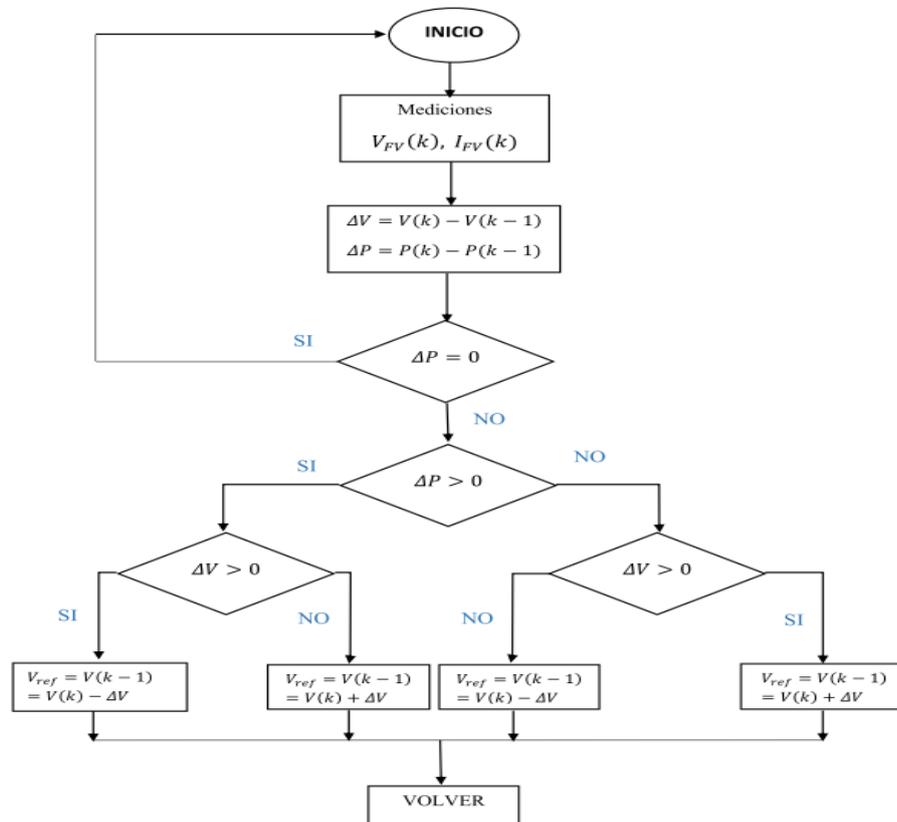


Figura 2.4. Diagrama de Flujo del Algoritmo Perturbar y Observar[21].

## 2.5 Conclusiones Capítulo II.-

- La metodología planteada permite determinar estrategias para optimizar las horas de funcionamiento de las cargas del sistema.
- La restricción (ecuación 2.2) es de suma ayuda puesto que esta va a generar la aptitud del algoritmo genético que es vital para los operadores y poder llegar a la solución óptima.
- Para el algoritmo genético solo se va a usar la etapa de producción (08h00 a 16h00) del censo de carga debido a que en este intervalo se puede determinar las horas de funcionamiento óptimo de las cargas (motores) para minimizar el consumo del sistema.

## CAPÍTULO III. APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

### 3.1 Análisis de los resultados

#### 3.1.1 Diseño Sistema Fotovoltaico Autónomo

Para el diseño del sistema (anexo 1) se empieza por el estudio de cargas, el mismo que nos determina el consumo diario requerido como se muestra a continuación en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Estudio de cargas

Tipo	Potencia (kW)	Hora uso (h)	Consumo diario (kWh/día)
Motor de Inducción (M1)	11	9	99
Motor de Inducción (M2)	7,5	9	67,5
Motor de Inducción (M3)	5,5	7	38,5
Motor de Inducción (M4)	3,75	5	18,75
Motor de Inducción (M5)	2,2	1	2,2
Motor de Inducción (M6)	1,5	1	1,5
Varios (V1)	2,2	24	52,8
Iluminación 1	0,5	16	8
Iluminación 2	0,5	16	8
Iluminación 3	0,5	16	8
Iluminación 4	0,5	16	8
Iluminación 5	0,5	12	6
Iluminación 6	0,5	12	6
			<b>324,25</b>

Fuente: [19].

La selección del panel es del módulo 1Soltech 1STH-350-WH, debido a su fácil localización en el mercado nacional y también porque con su potencia es de gran ayuda para satisfacer la demanda requerida. En la tabla 3.2 se muestran los valores utilizados de dicho elemento. Las demás características del panel seleccionado se indican en el Anexo 2.

**Tabla 3.2** Características Módulo 1Soltech 1STH-350-WH

Características	Valor
Tipo	Silicio monocristalino
Longitud	1,652 m (65 pulgadas)
Ancho	1.306 m (51,4 pulgadas)
Potencia por unidad de área	162,2 W / m <sup>2</sup>
Potencia Máxima	350 W
Voltaje en el punto de máxima potencia	42.98 V
Corriente en el punto de máxima potencia	8.13 A
Voltaje de circuito abierto	51.47 V
Corriente de cortocircuito	8.93 A
Temperatura nominal de la celda de funcionamiento	47.3°C

Fuente: Propia

### 3.1.1.1 Inclinación del panel fotovoltaico

Esta inclinación es de gran importancia en el sistema pues se logra captar la mayor radiación, en nuestro país al no tener tan marcadas las 4 estaciones de año por estar en la línea ecuatorial se tiene una gran ventaja, debido a que solo encontraremos un ángulo de inclinación óptimo ( $\beta_{opt}$ ) ayudados de la ecuación 1.1.

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69|\Phi| \quad (1.1)$$

En la siguiente tabla 3.3 se indican los valores aproximados de las latitudes en valor absoluto para ser aplicados en la ecuación.

**Tabla 3.3** Latitudes aproximadas en valor absoluto de las provincias del Ecuador continental.

<b>Provincia</b>	<b>Latitud (grados)</b>
Azuay	14°
Bolívar	58°
Cañar	33°
Carchi	29°
Cotopaxi	1°
El Oro	29°
Esmeraldas	1°
Guayas	8°
Imbabura	15°
Loja	2°
Los Ríos	4°
Manabí	2°
Morona Santiago	41°
Orellana	55°
Pastaza	30°
Pichincha	13°
Santa Elena	54°
Sto. D. Tsáchilas	28°
Sucumbíos	27°
Tungurahua	23°

**Fuente:** Propia

Para el caso de estudio se utiliza la latitud de la provincia de Cotopaxi obteniendo el valor de 1, mismo que será reemplazado en la ecuación, entonces:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69(1)$$

$$\beta_{opt} = 4.3^\circ$$

El valor obtenido es de  $4.3^\circ$ , pero se recomienda tener un ángulo de entre  $5^\circ$  y  $10^\circ$  por motivos de mantenimiento de los paneles y para evitar pérdidas.

### 3.1.1.2 Irradiación

La irradiación es la cantidad de irradiancia recibida en un lapso determinado, es decir, la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de superficie. Se suele medir en Wh/m<sup>2</sup> o unidades equivalentes. Se utiliza el software Meteonorm para encontrar dicho valor, a continuación, se describen los pasos para la adquisición.

a. Seleccionar el sitio y agregarlo (figura 3.1.).

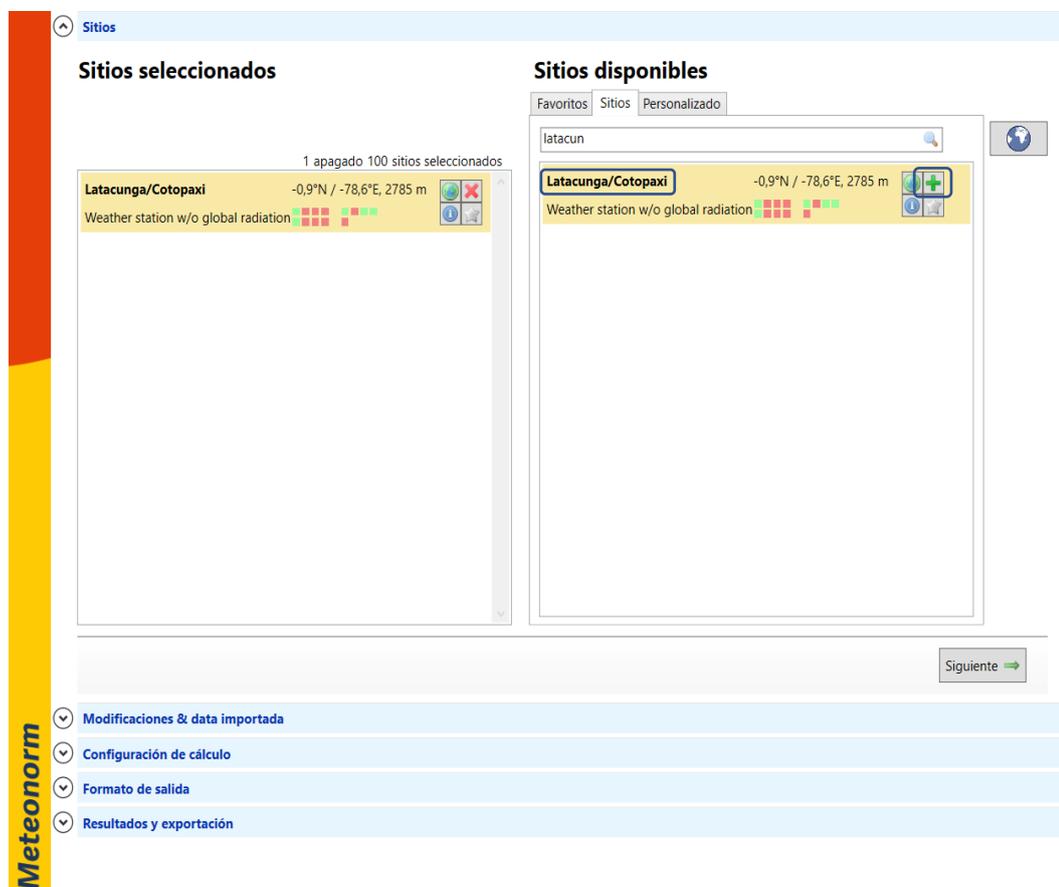


Figura 3.1. Selección del sitio software Meteonorm.

- b. Ingresar los valores de Acimut y el ángulo de inclinación  $\beta_{opt}$  (figura 3.2.).

The screenshot shows the 'Modificaciones' (Modifications) section of the Meteonorm software. The location is 'Latacunga/Cotopaxi' with coordinates -0.9°N / -78.6°E and an elevation of 2785 m. The 'General' section includes options for global radiation correction, site-specific orientation (Azimut: 0, Inclinación: 10), albedo (Automático), horizon (Ninguno), and atmospheric turbidity (Interpol.). The 'Data imported / Download time series' section has buttons for 'Valores mensuales...' and 'Valores diarios/por hora...'. Navigation buttons 'Deshacer' and 'Siguiente' are visible at the bottom.

Figura 3.2. Ingreso ángulo de inclinación y acimut software Meteonorm.

- c. Escoger la data para el análisis (figura 3.3.).

The screenshot shows the 'Configuración de cálculo' (Calculation configuration) section of the Meteonorm software. The 'Dataset' section has 'Utiliza Meteonorm 7 climate data' selected. The 'Periodo de radiación' (Radiation period) is set to '1991-2010' and 'Periodo de temperatura' (Temperature period) is set to '2000-2009'. The 'Escenario para periodos futuros' (Scenario for future periods) is set to '2020'. Navigation buttons 'Deshacer', 'Configuraciones avanzadas', 'Reiniciación', and 'Siguiente' are visible at the bottom.

Figura 3.3. Selección data software Meteonorm.

- d. De los resultados se usan los valores de la radiación horaria en planos inclinados ( $G_k$ ) de la figura 3.4. Los datos obtenidos se encuentran en el anexo 4 y 5.

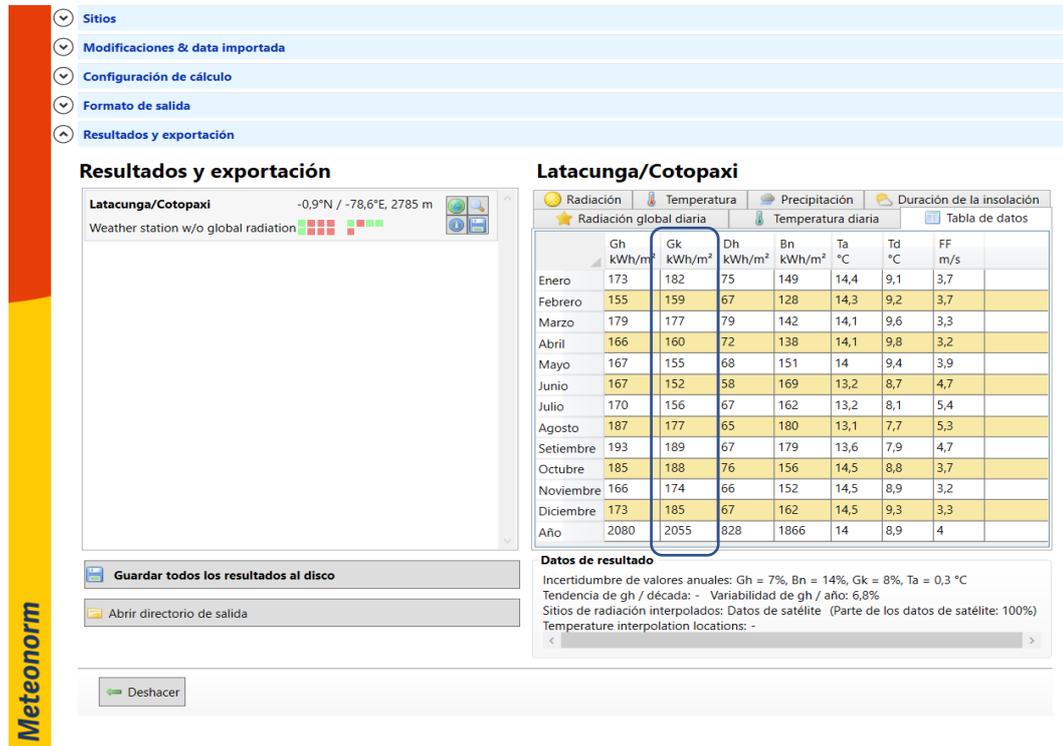


Figura 3.4. Tabla de datos software Meteonom.

Los valores se ingresan en forma de vector en Matlab para la representación gráfica (figura 3.5) para continuar con los cálculos del sistema fotovoltaico autónomo.

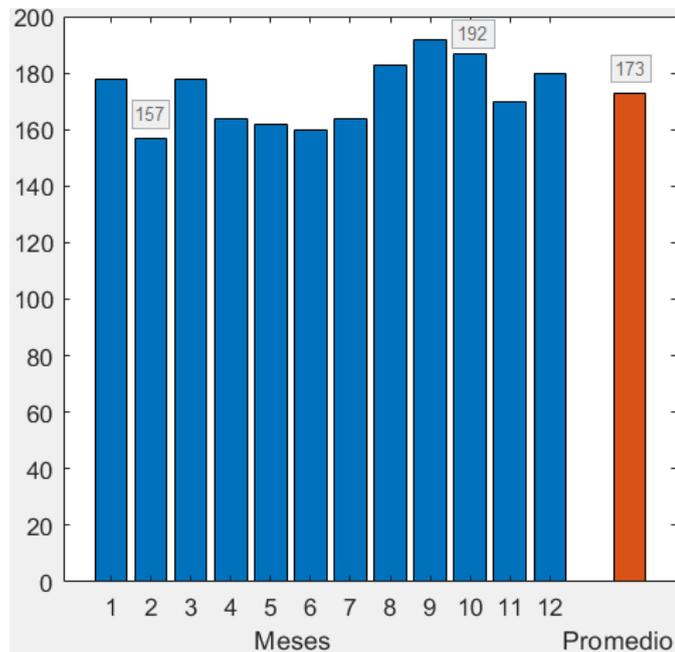


Figura 3.5. Grafica Irradiación con datos software Meteonom.

**Análisis Figura 3.5:** De los datos obtenidos del software Meeonorm se puede destacar con un ángulo de inclinación de 5° que el mes con mayor irradiación es septiembre con 192 kWh/m<sup>2</sup>, el mes con menor incidencia de irradiación es febrero con 157 kWh/m<sup>2</sup>. Se encontró un valor promedio 173 kWh/m<sup>2</sup> para la ciudad de Latacunga perteneciente a la provincia de Cotopaxi.

Con los valores adquiridos en el anexo 4 y 5 se realiza una comparación entre el ángulo de inclinación de 5° y 10° como se indica en la figura 3.6.

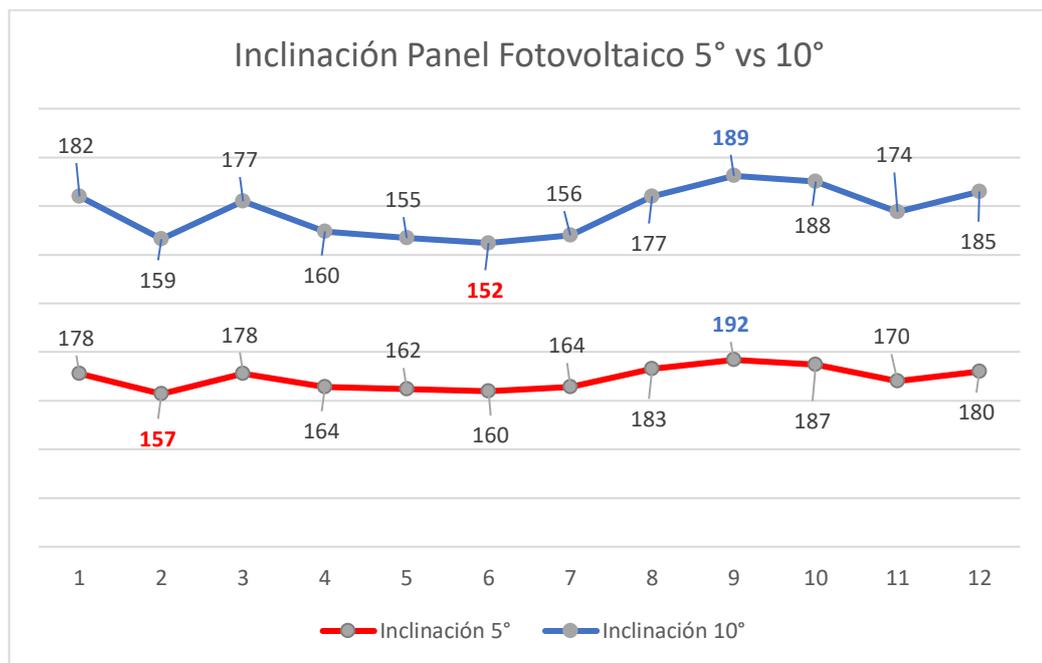


Figura 3.6. Grafica Irradiación 5° vs 10°.

**Análisis Figura 3.6:** Se tiene valores similares en la comparación con ángulos de inclinación de 5° y 10°, el mes de septiembre en ambos casos es el mayor irradiación, en cambio, el mes de menor irradiación difiere entre febrero y junio respectivamente. Por lo tanto, para la elección de la inclinación se toma en cuenta la irradiación al año, teniendo con 5° un total de 2075 kWh/m<sup>2</sup> y con 10° un total de 2054 kWh/m<sup>2</sup>.

Por consiguiente, el Acimut es de 0°, esto quiere decir que la orientación del panel solar es al norte con una inclinación con respecto a la horizontal de 5°.

### 3.1.1.3 Distancia entre paneles

Una vez obtenido el  $\beta_{opt}$  del panel y la longitud dada del datasheet multiplicado por 3 que son los paneles por bastidor, se calculan los valores con las ecuaciones 1.2 a 1.5, entonces:

$$h = \text{sen}\beta * L \quad (1.2)$$

$$h = \text{sen}(5) * (1.652 * 3)$$

$$h = \mathbf{0.4 \text{ m}}$$

$$b = \text{cos}\beta * L \quad (1.3)$$

$$b = \text{cos}(5) * (1.652 * 3)$$

$$b = \mathbf{4.9 \text{ m}}$$

$$a = \frac{h}{\text{Tan } \theta} \quad (1.4)$$

$$a = \frac{0.4}{\text{Tan}(66)}$$

$$a = \mathbf{0.2 \text{ m}}$$

$$d_{min} = a + b \quad (1.5)$$

$$d_{min} = 0.2 + 4.8$$

$$d_{min} = \mathbf{5 \text{ m}}$$

El resultado de la distancia mínima entre bastidores que consta de 3 paneles fotovoltaicos para no tener perdidas es de 5 m.

### 3.1.1.4 Cantidad de Paneles

En la investigación se toma en cuenta un área de trabajo de 25m x 25m, entonces tenemos:

$$\text{Número de columnas} = \frac{25 \text{ m}}{d_{\text{min}}}$$

$$\text{Número de columnas} = \frac{25}{5} = 5$$

$$\text{Número de filas} = \frac{25 \text{ m}}{\text{ancho panel}}$$

$$\text{Número de filas} = \frac{25 \text{ m}}{1.306} = 19$$

**Total de paneles** = Paneles por bastidor \* Número de columnas\* Número de filas

$$\text{Total de paneles} = 3 * 5 * 19 = 285$$

De lo anterior resulta que para el sistema fotovoltaico autónomo se va a requerir un total de 285 paneles fotovoltaicos 1Soltech 1STH-350-WH.

Otra forma para determinar total de paneles es utilizando el consumo diario y la hora solar mínima del mes con menor incidencia de irradiación que es junio con 157 kWh/m<sup>2</sup> como se indica a continuación:

$$\text{Factor de protección} = \text{Consumo diario} * (55\%)$$

$$\text{Factor de protección} = 324.3 \text{ kWh} * (55\%) = 178.4 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo} = \text{Consumo diario} + \text{Factor de protección} = 502.7 \text{ kWh}$$

$$\text{Hora solar mínima} = \frac{157 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]}{\frac{1 \text{ kW}}{\text{m}^2} * 31} = 5.1 \text{ h} \quad (1.6)$$

$$\text{Potencia Fotovoltaica} = \frac{\text{Consumo}}{\text{Hora sola mínima}} = \frac{502.7 \text{ kWh}}{5.1 \text{ h}} = 98.6 \text{ kW}$$

$$\text{Total Paneles} = \frac{\text{Potencia Fotovoltaica}}{\text{Potencia Módulo}} = \frac{98.6 \text{ kW}}{350 \text{ W}} = 282$$

De lo anterior resulta que para el sistema fotovoltaico autónomo se requerirá un total de 282 paneles fotovoltaicos 1Soltech 1STH-350-WH.

### 3.1.1.5 Simulación del panel fotovoltaico

El panel fotovoltaico usado para la simulación se encuentra en el Simscape de Simulink, se emplea el módulo 1Soltech 1STH-350-WH con 3 paneles en serie y un convertidor elevador DC-DC. Se muestra a continuación las gráficas correspondientes a dicho elemento. En la figura 3.7 se puede observar las curvas características Corriente vs Voltaje (a) y Potencia vs Voltaje (b) con irradiación variable.

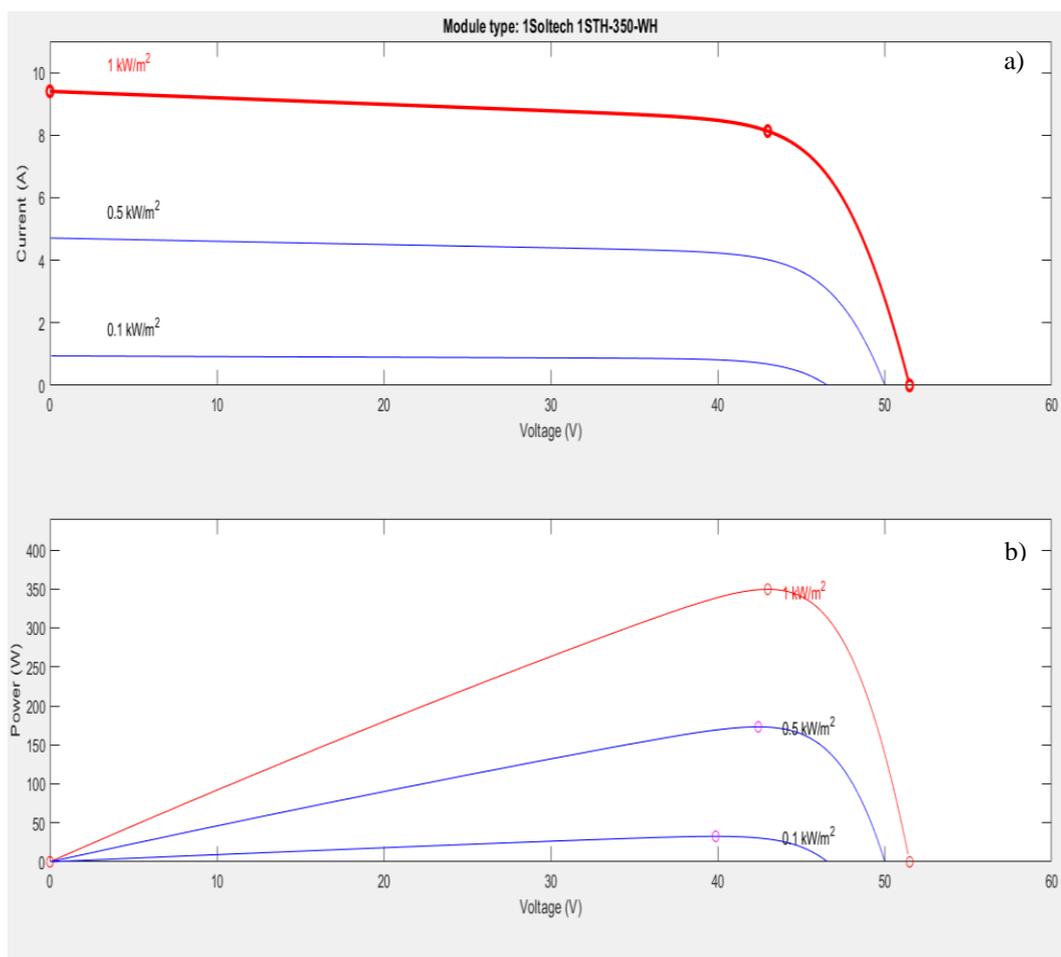


Figura 3.7. a) Curvas I vs A y b) P vs V del panel fotovoltaico.

En la figura 3.8 se puede observar las curvas características Corriente vs Voltaje (a) y Potencia vs Voltaje (b) con temperaturas variables.

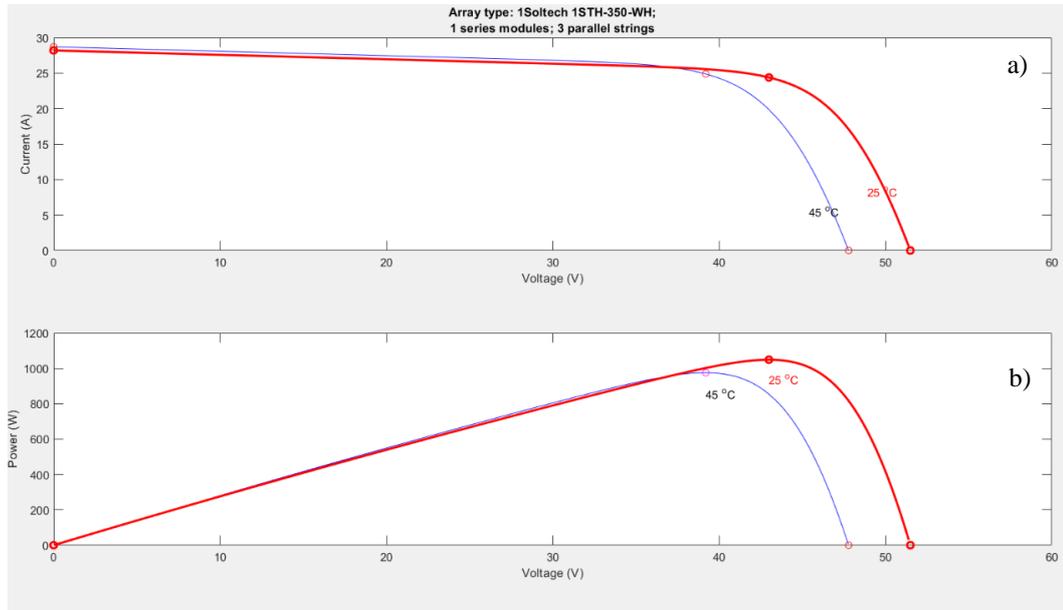


Figura 3.8. Curvas a) I vs A y b) P vs V del panel fotovoltaico.

En la figura 3.9 se puede observar las curvas características Corriente vs Voltaje (a) y Potencia vs Voltaje (b) con los que se obtiene la máxima potencia con una irradiación de  $1\text{kW/m}^2$  y temperatura de  $25^\circ\text{C}$ .

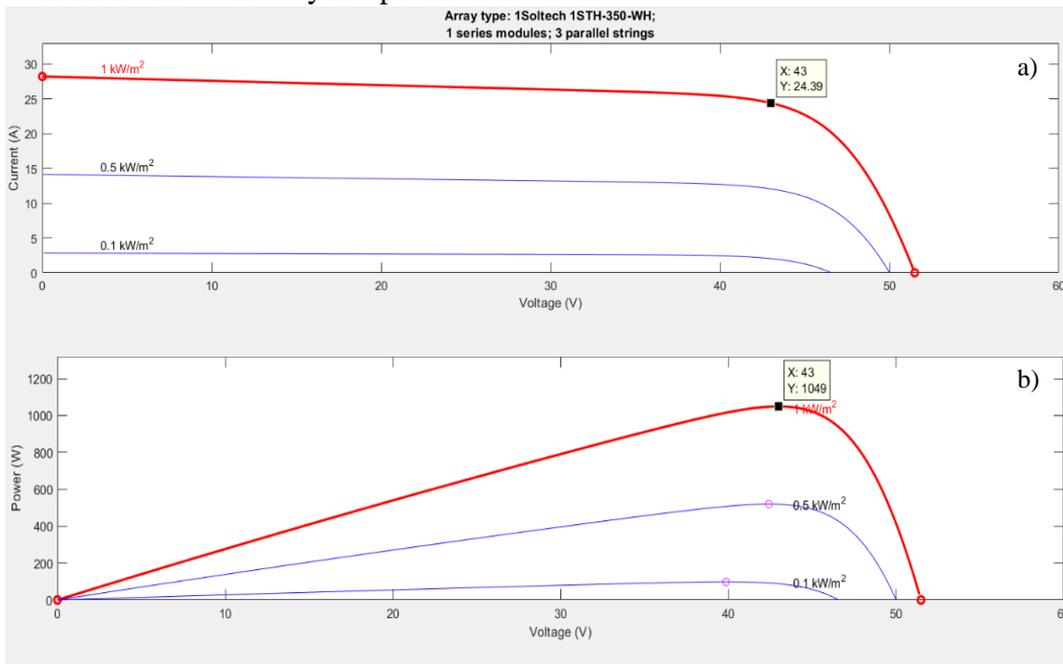


Figura 3.9. Curvas a) I vs A y b) P vs V del panel fotovoltaico, identificando MPPT

Entonces el voltaje, corriente y potencia son:

$$V_{\text{MPPT}} = 43 \text{ V} \quad I_{\text{MPPT}} = 24.4 \text{ A} \quad P_{\text{MPPT}} = 1049 \text{ W}$$

- **Esquema**

Como se ve en la figura 3.10 hay 6 bloques que representan la simulación de un bastidor del SFA y se describen a continuación:

1. Entrada: Modelo del sistema discreto debido a que los resultados son muestreados en intervalos fijos de tiempo. Valores de la irradiancia y temperatura constantes 1kWh/m2 y 25 °C respectivamente.
2. Voltaje, Corriente FV: obtención de voltaje y corriente del panel fotovoltaico.
3. Elevador (Boost): Conversor del sistema.
4. MPPT: Controlador del sistema.
5. Potencia FV: obtención de la potencia del panel fotovoltaico.
6. Resultados: Gráficas resultantes del sistema.

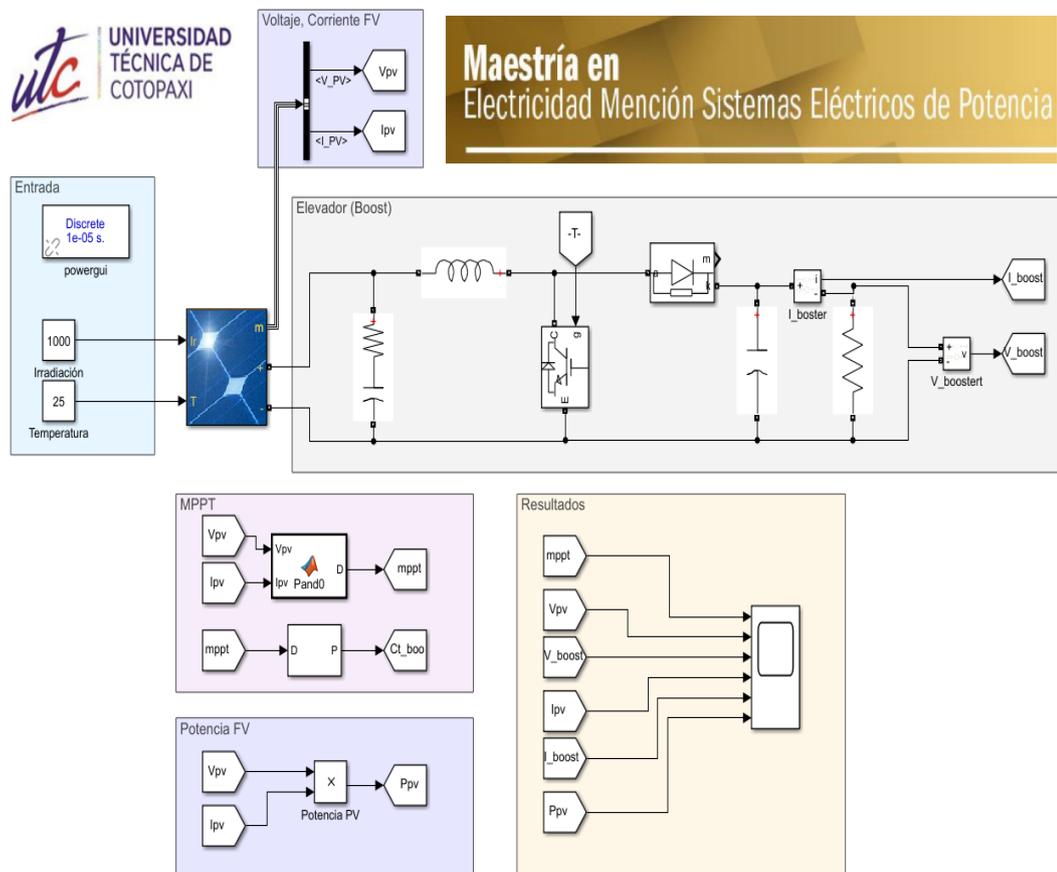


Figura 3.10. Esquema simulación 1 bastidor Software Simulink

El algoritmo MPPT va a aumentar o decrementar, obteniendo un ciclo de trabajo en valores de 0 y 1. Este ciclo de trabajo se convierte en la entrada del pwm, mismo que se conecta al IGBT del convertidor elevador. El código se presenta en el Anexo 3. A continuación en la figura 3.11 se indica los valores obtenidos de la simulación de voltaje y corriente respectivamente del circuito Boost y la salida del algoritmo.

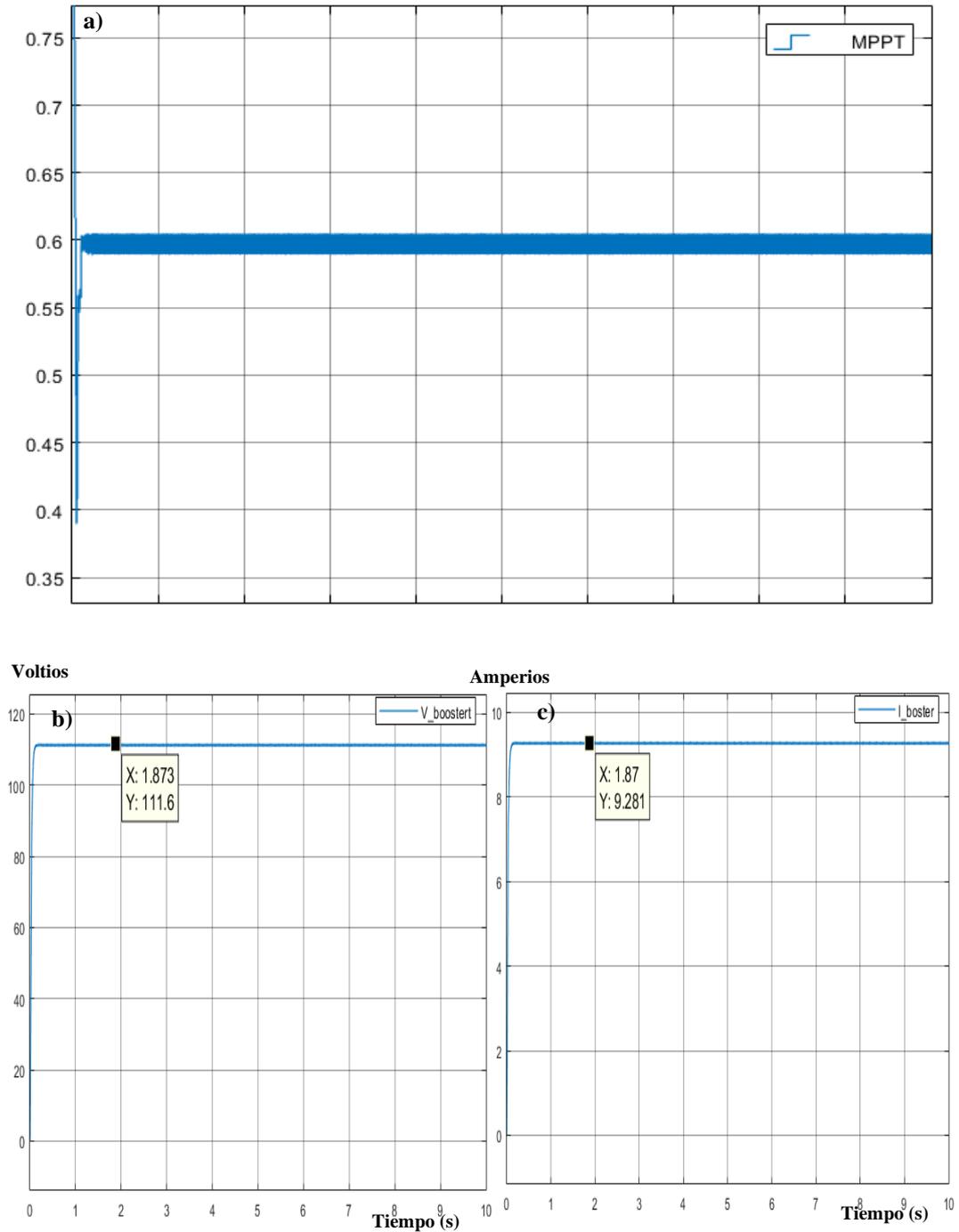


Figura 3.11. a) Salida MPPT b) Voltaje Booster c) Corriente Booster.

Para la simulación se requiere dos valores en la entrada del panel fotovoltaico que son la irradiación y la temperatura, estos tienen los valores constantes de  $1\text{kW/m}^2$  y  $25^\circ$  respectivamente. En la figura 3.12 se identifican el voltaje(a), corriente(b) y potencia(c) de un bastidor del sistema.

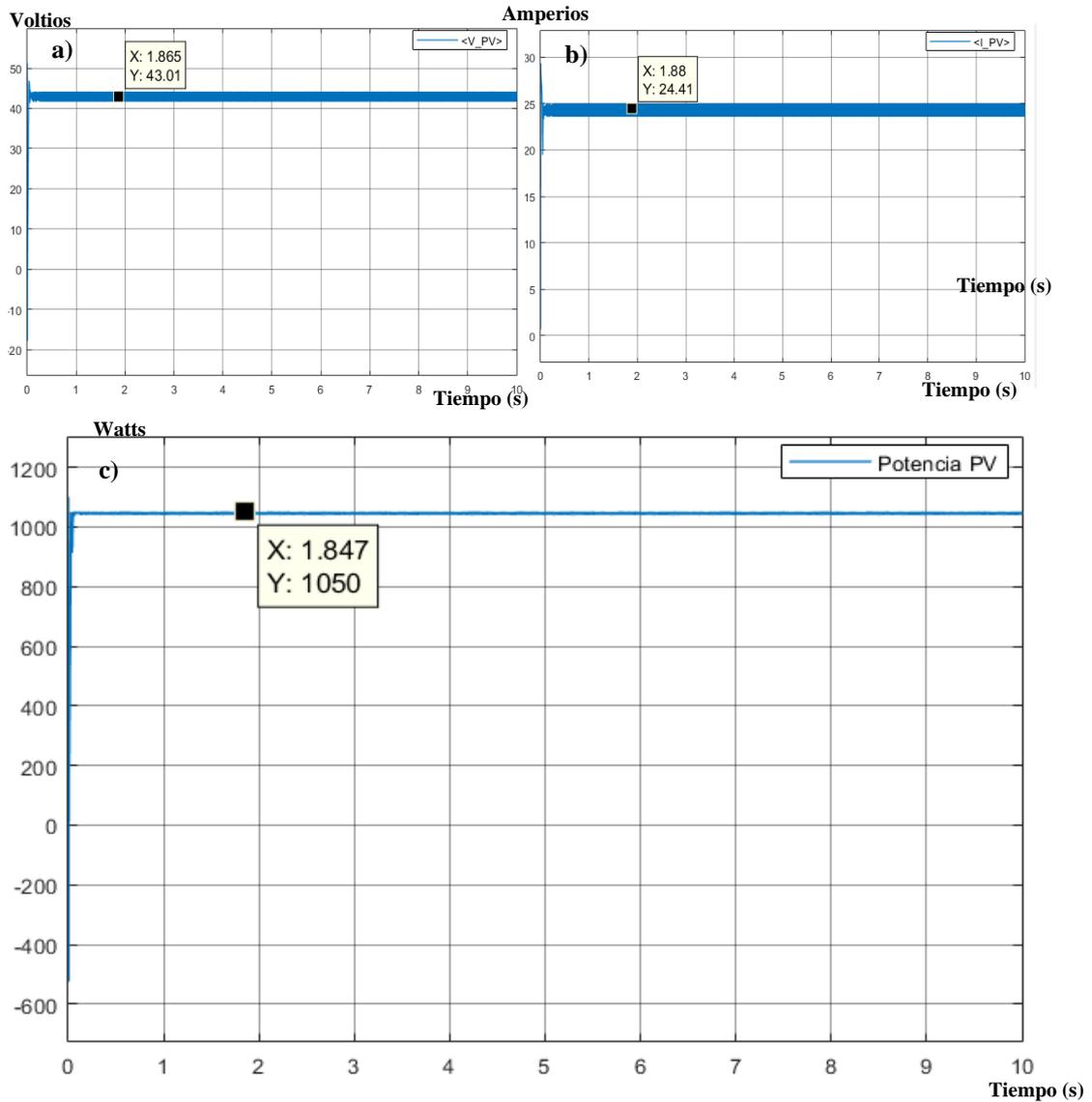


Figura 3.12. Resultados Simulación a)Voltaje b)Corriente c)Potencia.

**Análisis Figura 3.12:** El valor obtenido de la potencia en la simulación es de 1050 W aproximadamente, esta cifra considerando a los 3 paneles fotovoltaicos que están en un bastidor; por lo tanto, encontramos que para cada panel va a tener una potencia de 350 W, con la potencia verificada se calcula la potencia pico del SFA.

### 3.1.1.6 Potencia Pico del sistema

$$\text{Potencia Pico} = \text{Total de paneles} * \text{Potencia M\u00f3dulo}$$

$$\text{Potencia Pico} = \frac{285 * 350 \text{ W}}{1000}$$

$$\text{Potencia Pico} = 99.8 \approx 100 \text{ kWp}$$

$$\text{Potencia Pico} = \frac{282 * 350 \text{ W}}{1000}$$

$$\text{Potencia Pico} = 98.7 \approx 99 \text{ kWp}$$

### 3.1.1.7 Hora Solar Pico (PSH)

Con los valores obtenidos de irradiaci\u00f3n del software Meteonorm, se escoge el mes con menor incidencia de irradiaci\u00f3n del anexo 5, que es febrero con 157 kWh/m<sup>2</sup> para encontrar el PSH mensual, se utiliza la ecuaci\u00f3n 1.6.

$$PSH(h) = \frac{\text{Irradiaci\u00f3n} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]}{\frac{1 \text{ kW}}{\text{m}^2}} \quad (1.6)$$

$$PSH - \text{mes}(h) = \frac{157 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]}{\frac{1 \text{ kW}}{\text{m}^2}}$$

$$PSH - \text{mes}(h) = 157 \text{ h}$$

### 3.1.1.8 Rendimiento de Energ\u00eda Fotovoltaica

$$\text{Rendimiento de Energ\u00eda} = \text{Electricidad al sistema} = PSH * \text{Potencia Nominal} * PR \quad (1.7)$$

El valor del Performance Ratio (PR) es de 0.65 para SFA, entonces:

$$RE = 157 \text{ h} * 99.8 \text{ kW} * 0.65$$

$$RE - \text{mes} = 10.2 \text{ MWh}$$

$$RE - \text{d\u00eda} = 329 \text{ kWh}$$

$$RE = 157 \text{ h} * 98.7 \text{ kW} * 0.65$$

$$RE - \text{mes} = 10.1 \text{ MWh}$$

$$RE - \text{d\u00eda} = 324.5 \text{ kWh}$$

En consecuencia, los dos c\u00e1lculos de paneles satisfacen al consumo diario que es de 324.25 kWh.

### 3.1.2 Desarrollo del algoritmo genético para minimizar el consumo del sistema

#### 3.1.2.1 Planteamiento del problema

El problema a resolver es encontrar el funcionamiento óptimo de las cargas del sistema (motores). Para ello se considera la potencia de las cargas de la tabla 3.1, el funcionamiento estará sujeto a la restricción de la demanda en una hora establecida de la etapa de producción mismos valores se muestran en la tabla 3.4. Como se comentó en el capítulo 2, el estudio de la minimización del consumo del sistema está regido mediante las ecuaciones (2.1), (2.2) y (2.3).

**Tabla 3.4** Carga demandada de la empresa Genim S.A.

Hora	Potencia (kW)
0	6,0
1	7,9
2	8,0
3	7,6
4	6,6
5	6,6
6	4,4
7	4,8
8	27,0
9	25,2
10	30,1
11	30,4
12	27,4
13	27,3
14	28,2
15	30,0
16	25,0
17	5,7
18	9,7
19	4,7
20	6,4
21	4,5
22	4,5
23	7,8

Fuente: [19].

### 3.1.2.2 Programación del AG

La programación (anexo 6) de encontrar el funcionamiento óptimo de las cargas para minimizar el consumo del sistema se va a realizar mediante un AG su pseudocódigo se muestra en la figura 3.13.

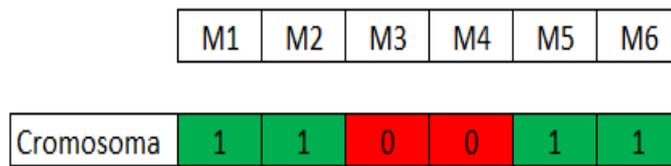
- (1) Generar Población inicial,  $P_0$ ;
- (2) Generación  $\leftarrow 0$ ;
- (3) **Mientras NO** (criterio de parada) **hacer:**
  - Comienza**
  - a. Evaluar  $P_{\text{generación}}$
  - b. Población intermedia,  $P_{\text{int}} \leftarrow \text{Seleccionar } (P_{\text{generación}})$
  - c. Población intermedia,  $P_{\text{int}} \leftarrow \text{Aplicar cruzamiento } (P_{\text{int}})$
  - d. Población intermedia,  $P_{\text{int}} \leftarrow \text{Aplicar mutación } (P_{\text{int}})$
  - e.  $P_{\text{generación}+1} \leftarrow \text{Reemplazar } (P_{\text{generación}}, P_{\text{int}})$
  - f. Generación  $\leftarrow \text{Generación}+1$
  - g.  $P_{\text{generación}} = \text{Nueva Población}$
- Termina**
- (4) Fin “Mejor solución encontrada”

Figura 3.13. Pseudocódigo del AG.

- **Codificación de las soluciones (paso 1)**

El primer paso del AG es determinar el método para codificar las potenciales soluciones del problema, es decir, definir la codificación de los cromosomas para el AG.

La variable a codificar es la potencia eléctrica en un intervalo de tiempo específico, se van a considerar como números binarios. Su tamaño depende del número de las cargas (motores) que son 6. El cromosoma representa que, si el alelo es un 1 el motor está en funcionamiento y si el alelo es un 0 el motor esta apagado, dependiendo de la posición del alelo va a representar una carga, así entonces, el alelo en la posición 1 va a representar al motor 1 (M1) y así sucesivamente hasta el motor 6 (M6) como se muestra en la figura 3.14.



M1, M2, M5, M6 en funcionamiento.  
M3 y M4 apagado.

Figura 3.14. Estructura del cromosoma.

- **Población inicial (paso 2)**

La población inicial del problema será generada mediante un procedimiento aleatorio, el cromosoma se llenará con valores comprendidos entre 0 y 1, entonces, si el alelo está comprendido entre 0 y 0.5 significa que representa a un 0 y si el alelo está comprendido entre 0.5 y 1 significa que representa a un 1 como se indica en la figura 3.15.

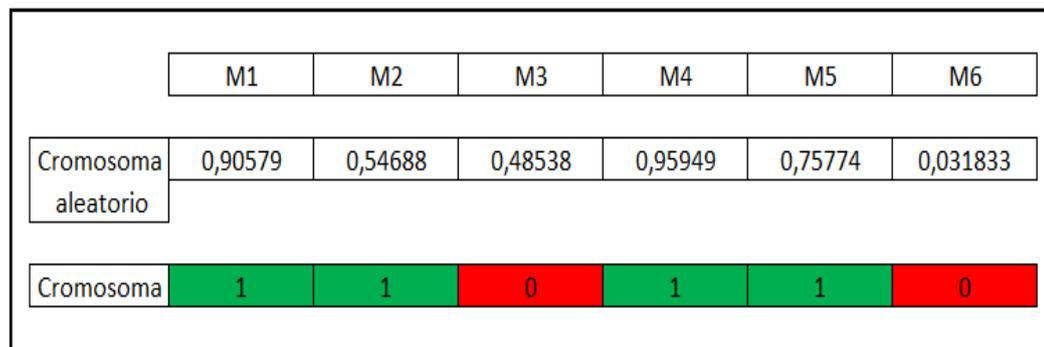


Figura 3.15. Cromosoma aleatorio.

- **Operadores genéticos (paso 3)**

Se comienza un bucle que tiene como objetivo generar una nueva población,  $P_{\text{generación}+1}$ , mediante la aplicación de los operadores genéticos a la población actual,  $P_{\text{generación}}$ . Una vez evaluada la restricción (paso a, ecuación 2.2) y mientras no se cumplan los criterios de parada, se aplicarán los operadores genéticos para crear la siguiente población para su estudio.

Es necesario realizar la selección (paso b) de los individuos que van a formar parte de los padres en el proceso de reproducción. El método a emplearse es la selección por rango, encontrando así el de menor aptitud y reemplazándolo por el de mayor aptitud. Este método permite mantener a los cromosomas más fuertes.

Luego de obtener la población de padres se realiza el cruzamiento (paso c), el método elegido es el simple o de un punto debido a que el cromosoma es pequeño y emplear otra técnica podría perder información relevante. La probabilidad de cruce para la primera pareja de padres es del 67% aproximadamente, y para la segunda pareja de padres es del 50%.

Lo siguiente es la aplicación del operador de mutación (paso d), este operador se basa en introducir diversidad en la población o rescatar información que se pudo haber perdido en los procesos anteriores. La probabilidad es del 1% y se realizará de la siguiente manera: mutación del alelo 6 de cromosoma 2, mutación del alelo 4 de cromosoma 3 y mutación del alelo 2 de cromosoma 4.

Por último, se introduce los hijos en la población existente para generar la población para la siguiente iteración. Para el reemplazo (paso g) se usa el método por rango adjuntando el elitismo. Entonces se va a evaluar la potencia máxima de los hijos y se va a mantener al de mayor aptitud (elitismo), los otros 3 cromosomas de la población se van a generar de forma aleatoria para la nueva población  $P_{\text{generación}+1}$ .

- **Criterio de parada**

Se han definido 2 criterios:

- 1) Mínimo número de generaciones: se ha establecido un número mínimo de 100 generaciones.
- 2) Tolerancia de las soluciones: se ha elegido un número mínimo de veces que debe repetirse la mejor solución.

### 3.1.2.3 Implementación y validación del AG

Luego de determinar el problema a resolver, se ha implementado el AG en Matlab. A continuación, se plantea un ejemplo del funcionamiento del algoritmo paso a paso. Para después validar el AG para minimizar el consumo del sistema y delimitar el funcionamiento de las cargas que intervienen en la etapa de producción.

- **Ejemplo de funcionamiento**

- a) Generación de la población inicial**

La población inicial se genera de forma aleatoria y es de tipo binario. Dicha población está compuesta de 4 individuos, cada uno se compone de 1 gen que representa el funcionamiento de las cargas del sistema. En la figura 3.16 se indica la población inicial y su concepción.

Cromosoma 1	0,81472	0,90579	0,12699	0,09754	0,91338	0,63236
Cromosoma 2	0,27854	0,54688	0,15761	0,95751	0,96489	0,97059
Cromosoma 3	0,95717	0,80028	0,91574	0,48538	0,14189	0,42176
Cromosoma 4	0,035712	0,79221	0,95949	0,65574	0,49123	0,84913

↓

Cromosoma 1	1	1	0	0	1	1
Cromosoma 2	0	1	0	1	1	1
Cromosoma 3	1	1	1	0	0	0
Cromosoma 4	0	1	1	1	0	1

Figura 3.16. Población inicial con 4 individuos.

### b) Evaluación

Luego de obtener la población de trabajo, se evalúa en base a la función aptitud. Para esto se codifica el cromosoma binario a su valor de potencia utilizando la tabla 3.1, después se encuentra la aptitud de potencia dividiendo la sumatoria de potencia de los 4 cromosomas para cada uno de estos como se representa en la figura 3.17.

Cromosoma 1	1	1	0	0	1	1	Potencia (kW)	Aptitud Potencia (%)
Cromosoma 2	0	1	0	1	1	1	22,2	27,96
Cromosoma 3	1	1	1	0	0	0	14,95	18,83
Cromosoma 4	0	1	1	1	0	1	24	30,23
							18,25	22,98
							<b>79,4</b>	<b>100</b>

Figura 3.17. Evaluación población inicial.

### c) Selección

Una vez evaluada la población inicial, se realiza la selección de los individuos que van a formar parte del grupo de padres. Este proceso se realiza mediante el método por aptitud. Se usan los valores del proceso anterior que se indican en la figura 3.17, entonces se va a eliminar al individuo con menor aptitud de potencia y a su vez va a ser reemplazado por el individuo con mayor aptitud de potencia como se observa en la figura 3.18.

Cromosoma 1	1	1	0	0	1	1	Potencia (kW)	Aptitud Potencia (%)
Cromosoma 2	0	1	0	1	1	1	22,2	27,96
Cromosoma 3	1	1	1	0	0	0	14,95	18,83
Cromosoma 4	0	1	1	1	0	1	24	30,23
							18,25	22,98
							<b>79,4</b>	<b>100</b>

↓ Selección

Cromosoma 1	1	1	0	0	1	1		
Cromosoma 2	1	1	1	0	0	0		
Cromosoma 3	1	1	1	0	0	0		
Cromosoma 4	0	1	1	1	0	1		

Figura 3.18. Selección de padres.

Se determina que el cromosoma 2 es el que tiene menor aptitud de potencia con un valor de 18.83%, en cambio el cromosoma 3 tiene la mayor aptitud de potencia con un valor de 30.23%. Por lo tanto, el cromosoma 2 es eliminado y posteriormente reemplazado por el cromosoma 3.

#### d) Cruzamiento

En esta operación se ha optado por el método simple o de un punto debido a que los cromosomas son pequeños y tienen un solo gen. Como se muestra en la figura 3.19, lo primero que se va a hacer es seleccionar las parejas de padres, luego se va a empezar con el cruce teniendo en cuenta que para la primera pareja de padres se tiene una probabilidad del 67% aproximadamente y para la segunda pareja de padres se tiene una probabilidad de 50% de cruzamiento.

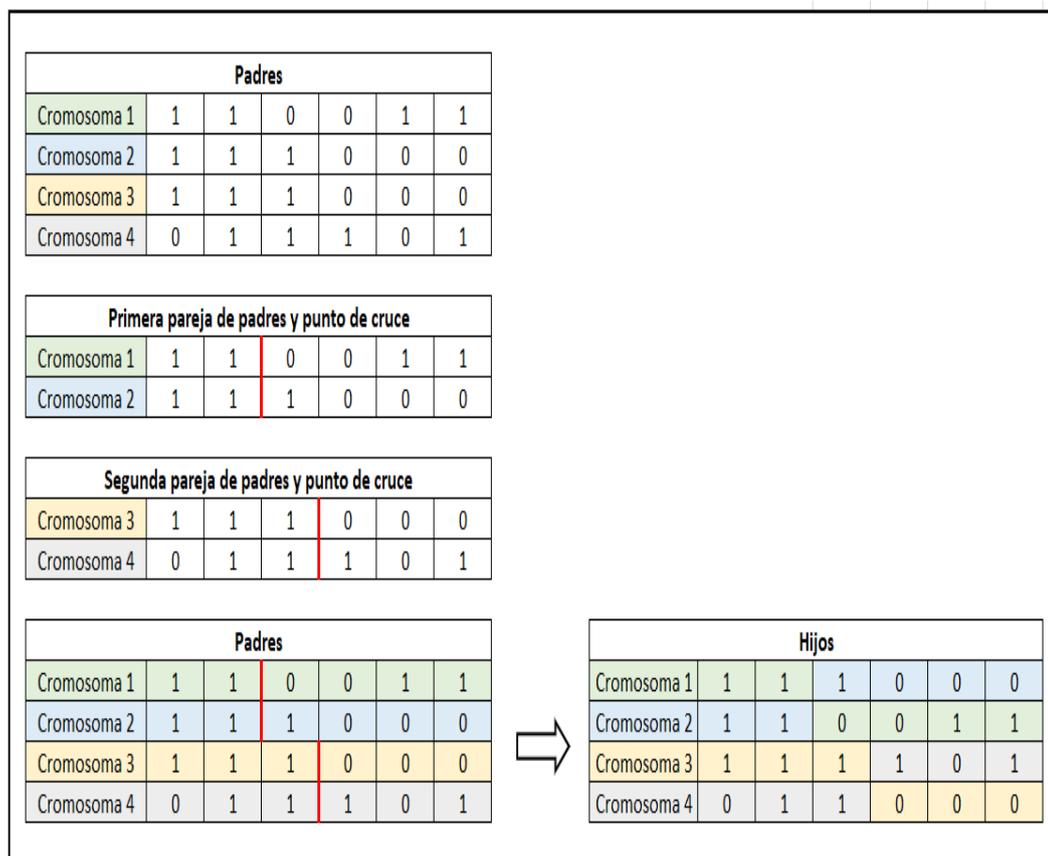


Figura 3.19. Cruzamiento para encontrar nueva descendencia

### e) Mutación

La Mutación tiene una probabilidad baja (1%), para este problema se va a mutar el alelo 6 del cromosoma 2, el alelo 4 del cromosoma 3 y el alelo 2 del cromosoma 4. En la figura 3.20 se muestra la ejecución de este proceso.

Cromosoma 1	1	1	1	0	0	0
Cromosoma 2	1	1	0	0	1	1
Cromosoma 3	1	1	1	1	0	1
Cromosoma 4	0	1	1	0	0	0

↓ Mutación

Cromosoma 1	1	1	1	0	0	0
Cromosoma 2	1	1	0	0	1	0
Cromosoma 3	1	1	1	0	0	1
Cromosoma 4	0	0	1	0	0	0

Figura 3.20. Mutación población.

Se observa que el alelo 6 del cromosoma 2 tiene un valor de 1 luego de la mutación toma un valor de 0, el alelo 4 del cromosoma 3 tiene un valor de 1 luego de la mutación tiene un valor de 0 y el alelo 2 del cromosoma 4 tiene un valor de 1 que luego de la mutación tiene un valor de 0, cumpliendo con este proceso.

### f) Nueva población – elitismo

Para este proceso se usa el método por rango y a su vez el elitismo que va a mantener al individuo más fuerte en la nueva población. La evaluación de la aptitud va a estar limitada por una potencia máxima que es la restricción del problema (ecuación 2.2). Para el ejemplo la potencia máxima tiene un valor de 24.8, a continuación, en la figura 3.21 se indica la ejecución de este proceso.

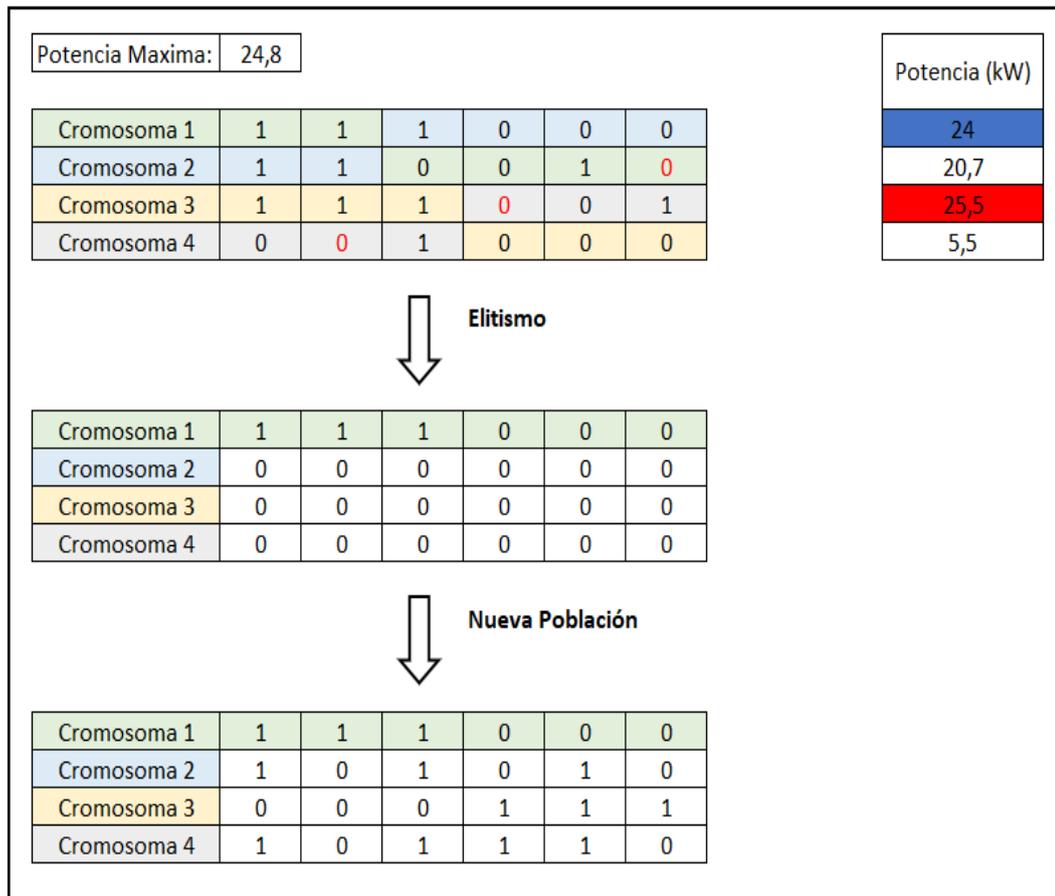


Figura 3.20. Nueva población.

Se determina que luego de evaluar la restricción el cromosoma 3 no puede ser considerada como solución del problema debido a que excede este valor, por lo tanto, el cromosoma 1 es la solución encontrada porque no excede la restricción y también es el valor que más se acerca a esta. Por el elitismo se mantiene el cromosoma 1 en la nueva generación y los cromosomas 2, 3 y 4 se van a generar de forma aleatoria.

**g) Solución final**

Este proceso se va a repetir hasta que se alcance el mínimo de iteraciones y el número mínimo de veces que debe repetirse la mejor solución.

### 3.1.2.4 Resultados del AG para el problema de optimización

#### a) Restricción potencia máxima: 24.8 kW

En la tabla 3.5 se detallan los valores adquiridos en 50 ejecuciones del AG, teniendo en cuenta que la restricción de potencia es obtenida de la tabla 3.4 en específico a las 08h00 que tiene un valor de 27 kW. Además, el criterio de parada es para valores mayores a 10%, 20% ,30% y 35%, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3.5** Resultados 08h00 con una potencia máxima: 27 kW

10%			20%			30%			35%		
Potencia	Iteraciones	%									
24	100	14	24	300	21	23,95	40900	31	23,95	655000	36
23,75	100	14	23,95	400	23	23,95	29800	35	23,95	1393600	37
23,75	100	18	23,95	400	22	23,95	9600	34	23,95	1979400	36
24	100	21	23,95	300	32	23,95	80900	31	23,95	1262000	37
23,95	100	25	24	300	22	23,95	38100	33	23,95	330800	38
22,25	100	11	23,95	100	22	23,95	64100	33	23,95	2164500	36
22,45	100	14	23,95	1900	21	23,95	73100	31	23,95	364100	38
23,95	100	15	23,95	800	22	23,95	115200	32	23,95	223600	36
23,95	100	16	23,95	700	25	23,95	55000	32	23,95	2809200	39
23,95	100	26	23,95	800	23	23,95	30800	31	23,95	501100	38
22,2	100	11	22,45	1100	21	23,95	33400	32	23,95	2212400	41
23,95	100	19	23,95	800	22	23,95	298500	34	23,95	1288000	36
23,95	100	15	23,95	300	23	23,95	28500	32	23,95	1782900	38
23,95	100	21	23,95	1100	24	23,95	37100	32	23,95	460900	37
24	100	16	23,95	800	26	23,95	54100	33	23,95	3200	36
23,95	100	12	24,45	900	25	23,95	1600	33	23,95	3104400	39
23,95	100	14	23,95	300	22	23,95	40200	35	23,95	560700	36
23,95	100	13	23,95	1700	22	23,95	11400	31	23,95	1384100	38
23,75	100	14	24	2400	24	23,95	6400	32	23,95	2595900	42
23,75	100	12	23,95	200	21	23,95	8800	34	23,95	893900	36
23,95	100	15	23,95	1500	22	23,95	147900	33	23,95	2095600	36
23,95	100	12	23,95	200	21	23,95	18900	31	23,95	1452700	38
23,95	100	13	24,45	1500	22	23,95	117400	35	23,95	1047200	38
24,45	100	16	23,95	400	23	23,95	10500	33	23,95	112300	38
23,95	100	14	23,95	200	23	23,95	94800	34	23,95	1509400	36
24,45	100	16	23,95	1800	24	24	22800	31	23,95	2035000	37
23,95	100	24	23,75	300	22	23,95	9700	32	23,95	2331900	38
24,45	100	13	23,95	1200	22	23,95	261400	36	23,95	1490100	36
21,75	100	12	23,95	1300	21	23,95	74700	32	23,95	888400	36
24	100	15	24	900	21	23,95	118500	31	23,95	76800	37
24	100	17	23,95	100	22	23,95	33000	31	23,95	831900	36

23,75	100	13	23,95	300	21	23,95	10900	32	23,95	2552100	36
24,45	100	15	24	400	24	23,95	28100	34	23,95	5552000	41
23,95	100	21	23,95	200	25	23,95	22800	33	23,95	1875700	36
24,45	100	16	23,95	100	23	23,95	183400	41	23,95	118400	36
23,75	100	14	23,95	900	21	24	261300	32	23,95	221300	36
24	100	15	23,95	600	22	23,95	39800	32	23,95	1178600	36
23,95	100	19	24	1600	22	23,95	28900	32	23,95	965600	36
20	100	11	24	2000	22	23,95	10200	32	23,95	1918300	38
23,95	100	16	23,95	600	21	23,95	50300	41	23,95	514000	36
24	100	19	23,95	100	22	23,95	3500	31	23,95	5496100	43
23,75	100	14	23,95	2200	22	23,95	47500	37	23,95	1525800	36
21,75	100	14	23,95	2000	25	23,95	19400	34	23,95	1589200	37
23,95	100	23	23,95	5400	22	24	400	32	23,95	924800	38
22,45	100	12	24	100	23	23,95	130500	36	23,95	367000	36
24,45	100	18	24,45	100	22	23,95	8200	31	23,95	4026400	37
24	100	12	23,95	200	21	23,95	10000	32	23,95	492300	36
23,95	100	19	23,95	2900	22	23,95	60800	35	23,95	1315900	37
24,45	100	14	23,95	3400	32	23,95	110000	31	23,95	3717200	36
23,75	100	15	23,95	500	26	23,95	55500	35	23,95	4276800	39

Fuente: Propia.

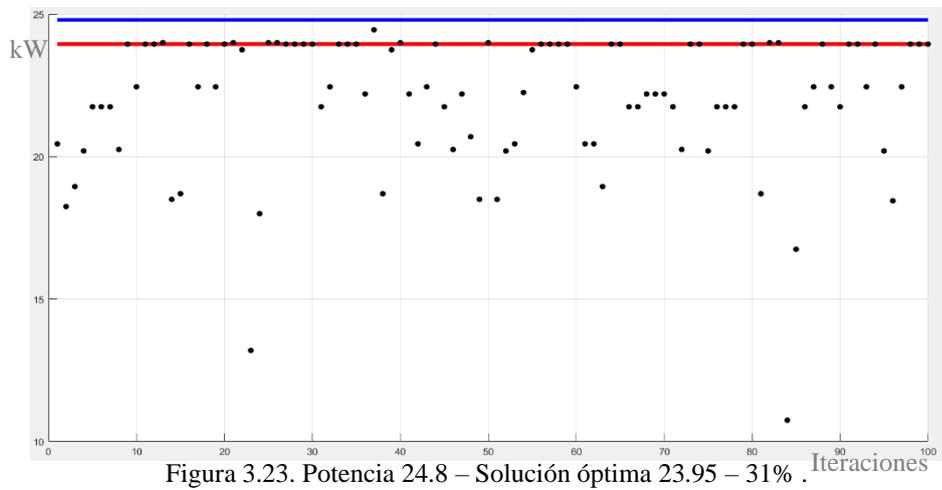
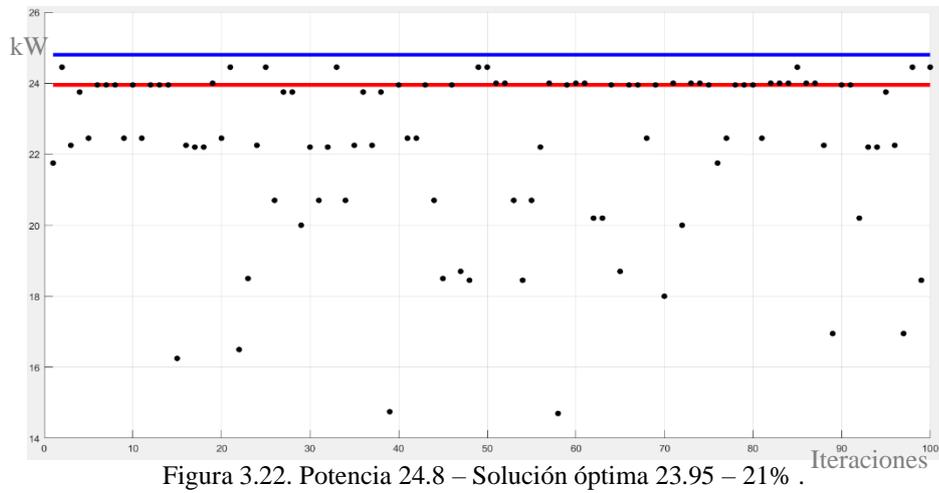
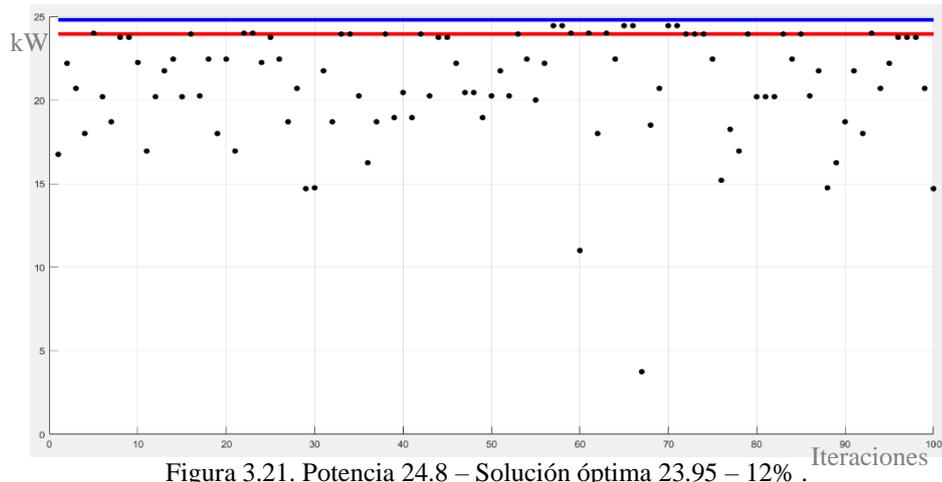
Se pueden destacar los siguientes valores que se encuentran en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6** Resumen resultados 08h00 con una potencia máxima: 27 kW

	Potencia	Moda		Potencia	Moda		Potencia	Moda		Potencia	Moda
10%	23,95	20	20%	23,95	37	30%	23,95	47	35%	23,95	50
	23,75	8		24	8		24	3		<b>Total</b>	<b>50</b>
	24	8		24,45	3		<b>Total</b>	<b>50</b>		<b>Máximo Porcentaje</b>	<b>Máximo Porcentaje</b>
	24,45	7		23,75	1						
	22,45	2		22,45	1		<b>Máximo Iteraciones</b>	<b>Máximo Iteraciones</b>			
	21,75	2		<b>Total</b>	<b>50</b>					<b>Mínimo Iteraciones</b>	<b>Mínimo Iteraciones</b>
	22,25	1		<b>Máximo Porcentaje</b>	<b>Máximo Porcentaje</b>		<b>Máximo Iteraciones</b>	<b>Máximo Iteraciones</b>			
	22,2	1								<b>Mínimo Porcentaje</b>	<b>Mínimo Porcentaje</b>
	20	1		26	32		41	43			
	<b>Total</b>	<b>50</b>		<b>Mínimo Porcentaje</b>	<b>Mínimo Porcentaje</b>		<b>Mínimo Porcentaje</b>	<b>Mínimo Porcentaje</b>			
<b>Máximo Porcentaje</b>	<b>Máximo Porcentaje</b>	<b>Máximo Iteraciones</b>	<b>Máximo Iteraciones</b>	<b>Máximo Iteraciones</b>	<b>Máximo Iteraciones</b>						
100	100	5400	5400	298500	298500						
<b>Mínimo Iteraciones</b>											
100	100	100	100	400	400						

Fuente: Propia.

A continuación, se indican en las figuras 3.21 hasta las 3.24 las gráficas resultantes de la solución óptima con una potencia de 23.95 kW.



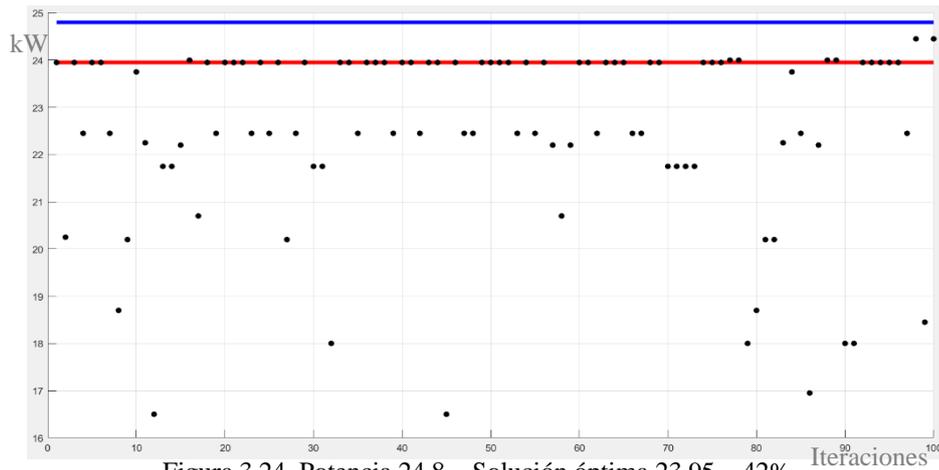


Figura 3.24. Potencia 24.8 – Solución óptima 23.95 – 42% .

**Análisis:** Por consiguiente, para la demanda de 27 kW a las 08h00 la solución óptima es: Potencia: 23.95 kW, Cromosoma:101111. Lo que quiere decir que van a funcionar los motores M1, M3, M4, M5, M6 y no va a funcionar el motor M2.

**b) Restricción potencia máxima: 23 kW**

En la tabla 3.7 se detallan los valores adquiridos en 50 ejecuciones del AG, teniendo en cuenta que la restricción de potencia es obtenida de la tabla 3.4 en específico a las 09h00 que tiene un valor de 25.2 kW. Además, el criterio de parada es para valores mayores a 10%, 20% ,30% y 33%, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3.7** Resultados 09h00 con una potencia máxima: 25.2 kW

10%			20%			30%			33%		
Potencia	Iteraciones	%									
22,25	100	16	22,2	600	23	22,45	37900	34	22,45	2265300	35
21,75	100	15	22,45	1100	23	22,45	58700	32	22,45	17240800	38
22,45	100	15	22,45	2000	21	22,45	1016300	31	22,45	1405600	36
21,75	100	12	22,45	400	23	22,45	201600	31	22,45	5266800	35
21,75	100	15	22,45	800	22	22,45	914000	31	22,45	1059700	34
22,45	100	13	22,2	200	21	22,45	57600	32	22,45	8853700	36
22,45	100	16	22,2	2600	21	22,45	195900	33	22,45	148900	37
21,75	100	13	22,45	2500	24	22,45	81700	32	22,45	5330500	34
22,45	100	13	22,45	600	21	22,45	1988800	33	22,45	2661600	35
22,45	100	18	21,75	500	23	22,45	493600	35	22,45	3736400	35
22,2	100	12	22,2	2100	23	22,45	29100	31	22,45	1684300	34
22,45	100	18	22,45	200	21	22,45	89600	34	22,45	3811400	35

22,2	100	15	22,45	1800	22	22,2	1305700	31	22,45	8650800	38
22,2	100	14	22,45	3800	21	22,45	70500	34	22,45	6186600	34
22,45	100	21	22,45	1600	25	22,45	1059500	32	22,45	561900	35
22,45	100	17	22,2	1800	28	22,45	265800	31	22,45	3809100	35
22,2	100	14	22,45	1300	21	22,45	192600	31	22,45	1790600	34
22,2	100	16	22,45	800	26	22,2	227700	31	22,45	5482000	40
22,2	100	17	21,75	400	21	22,45	288000	32	22,45	95400	34
20,7	100	16	21,75	100	21	22,45	265900	33	22,45	2520500	36
21,75	100	13	22,45	3900	22	22,45	301400	31	22,45	386800	35
20,7	100	11	22,2	1000	22	22,45	186100	31	22,45	533700	36
22,45	100	18	22,45	2100	26	22,45	153800	32	22,45	2857200	34
22,45	100	15	22,2	2000	21	22,2	767000	32	22,45	3357800	37
20,2	100	11	22,45	700	28	22,45	17900	33	22,45	1466500	34
22,45	100	19	22,45	1300	24	22,45	89600	34	22,45	4927600	38
22,45	100	16	22,45	400	24	22,45	60000	32	22,45	254600	36
21,75	100	15	22,45	800	24	22,2	45800	31	22,45	203400	35
22,45	100	26	22,45	3100	26	22,45	274500	31	22,45	6727700	35
20,2	100	12	21,75	2600	23	21,75	812400	31	22,45	310800	35
21,75	100	18	22,45	1300	22	22,45	10800	32	22,45	8032700	34
21,75	100	15	22,2	200	22	22,45	158300	32	22,45	1916300	35
22,45	100	12	22,45	1700	21	22,2	364600	31	22,45	2958200	34
22,2	100	16	22,2	400	23	22,45	835000	31	22,45	3784100	35
22,45	100	22	22,45	2400	21	22,45	85000	33	22,45	2992100	34
22,45	100	18	21,75	600	23	22,45	572700	31	22,45	7674200	37
22,2	100	16	22,45	300	24	22,45	438200	34	22,45	4316600	35
22,45	100	14	22,45	2900	22	22,45	266600	35	22,45	503600	35
22,25	100	12	22,45	300	22	22,45	596600	35	22,45	290100	34
21,75	100	11	22,45	1900	21	22,2	621700	31	22,45	313900	36
22,45	100	17	21,75	1500	22	22,45	129500	32	22,45	3074500	34
22,45	100	15	22,45	100	24	22,45	90600	31	22,45	128000	34
21,75	100	12	22,45	400	27	22,45	105500	31	22,45	3234700	34
21,75	100	16	22,45	4800	23	22,45	544200	35	22,45	146900	35
22,45	100	20	22,45	300	23	21,75	469900	31	22,45	6508100	36
22,45	100	16	22,2	600	21	22,45	159900	33	22,45	1746700	34
22,2	100	11	22,45	900	23	22,45	226900	31	22,45	876900	34
22,2	100	16	22,45	1200	21	22,45	303800	31	22,45	3709500	36
21,75	100	15	22,2	400	21	22,45	49800	32	22,45	536200	34
22,45	100	17	22,45	2300	22	21,75	86600	32	22,45	1517300	35

Fuente: Propia.

Se pueden destacar los siguientes valores que se encuentran en la tabla 3.8.

**Tabla 3.8** Resumen resultados 09h00 con una potencia máxima: 25.2 kW

	Potencia	Moda		Potencia	Moda		Potencia	Moda		Potencia	Moda
10%	22,45	22	20%	22,45	33	30%	22,45	41	33%	22,45	50
	21,75	12		22,2	11		22,2	6		<b>Total</b>	<b>50</b>
	22,2	10		21,75	6		21,75	3			
	22,25	2		<b>Total</b>	<b>50</b>		<b>Total</b>	<b>50</b>			
	22,2	2									
	20,2	2									
	<b>Total</b>	<b>50</b>									
	<b>Máximo Porcentaje</b>			<b>Máximo Porcentaje</b>			<b>Máximo Porcentaje</b>			<b>Máximo Porcentaje</b>	
	26			28			35			40	
	<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>	
11		21		31		34					
<b>Máximo Iteraciones</b>		<b>Máximo Iteraciones</b>		<b>Máximo Iteraciones</b>		<b>Máximo Iteraciones</b>					
100		4800		1988800		17240800					
<b>Mínimo Iteraciones</b>		<b>Mínimo Iteraciones</b>		<b>Mínimo Iteraciones</b>		<b>Mínimo Iteraciones</b>					
100		100		10800		95400					

Fuente: Propia.

A continuación, se indican en las figuras 3.25 hasta las 3.28 las gráficas resultantes de la solución óptima con una potencia de 22.45 kW.

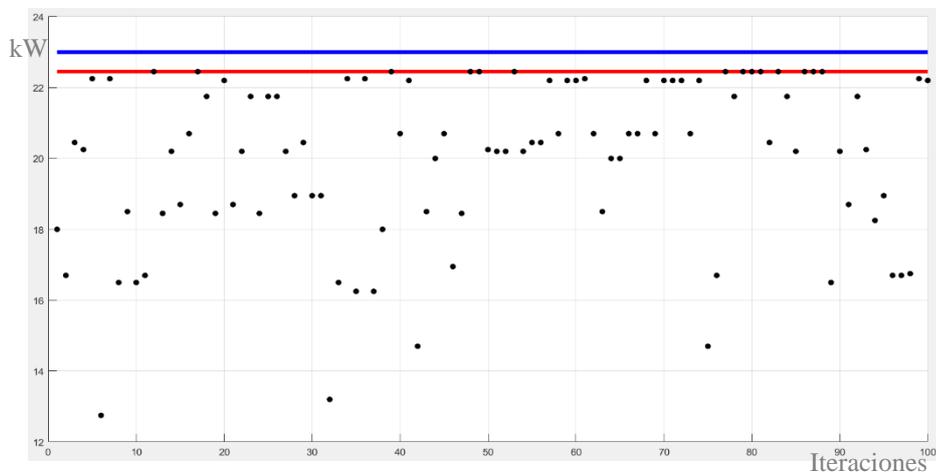


Figura 3.25. Potencia 23 – Solución óptima 22.45 – 14% .

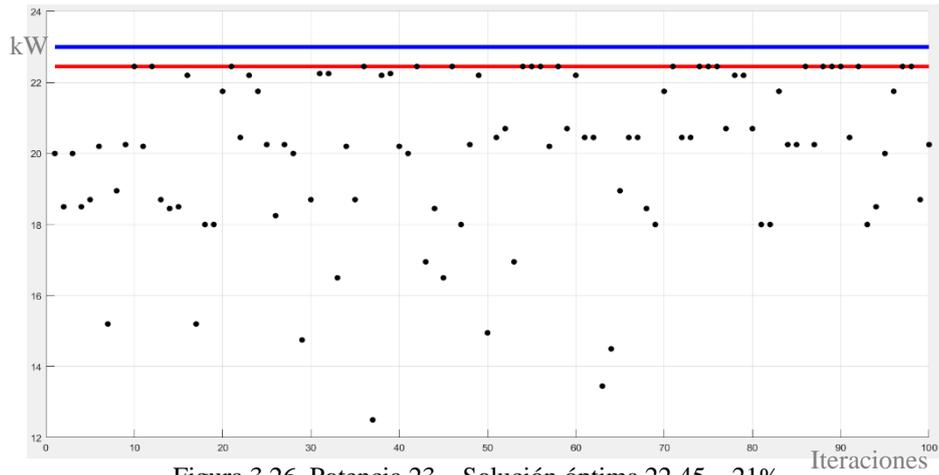


Figura 3.26. Potencia 23 – Solución óptima 22.45 – 21% .

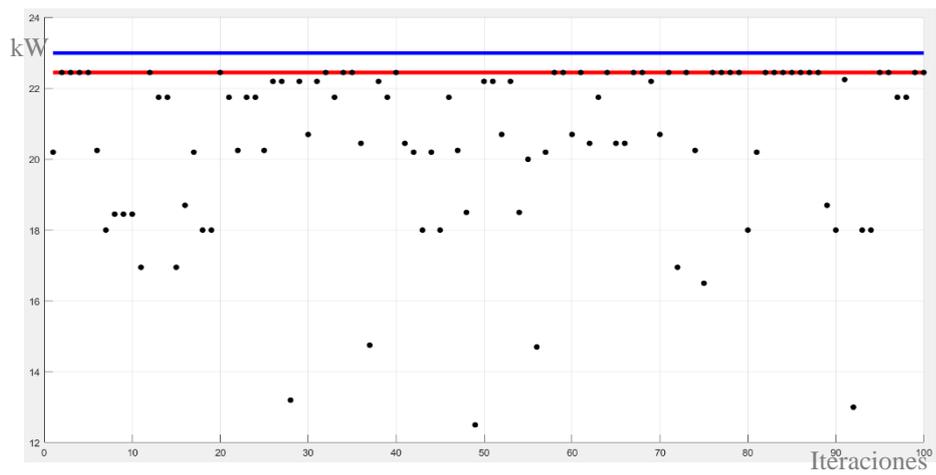


Figura 3.27. Potencia 23 – Solución óptima 22.45 – 33% .

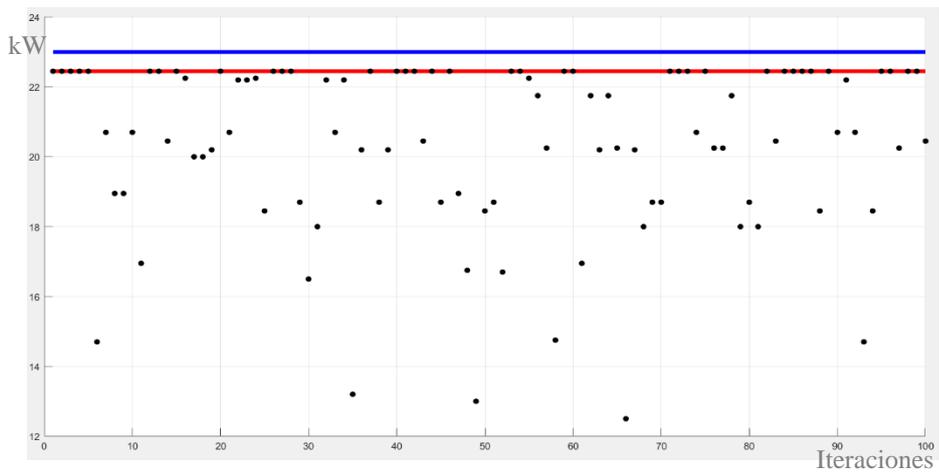


Figura 3.28. Potencia 23 – Solución óptima 22.45 – 36% .

**Análisis:** Por consiguiente, para la demanda de 25.2 kW a las 09h00 la solución óptima es: Potencia: 22.45 kW, Cromosoma: 101110. Lo que quiere decir que van a funcionar los motores M1, M3, M4, M5 y no van a funcionar los motores M2 y M6.

**c) Restricción potencia máxima: 27.9 kW**

En la tabla 3.9 se detallan los valores adquiridos en 50 ejecuciones del AG, teniendo en cuenta que la restricción de potencia es obtenida de la tabla 3.4 en específico a las 10h00 que tiene un valor de 30.1 kW. Además, el criterio de parada es para valores mayores a 10%, 20% ,30% y 40%, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3.9** Resultados 10h00 con una potencia máxima: 30.1 kW

10%			20%			30%			40%		
Potencia	Iteraciones	%									
27,7	100	30	27,7	100	25	27,7	300	36	27,7	22900	45
27,7	100	29	27,7	200	30	27,7	900	32	27,7	15800	45
27,7	100	16	27,7	200	22	27,7	700	35	27,7	6300	41
27,7	100	20	27,7	100	25	27,7	400	31	27,7	84200	41
27,7	100	18	27,7	100	29	27,7	600	35	27,7	35700	41
27,7	100	21	25,5	100	24	27,7	1200	35	27,7	10200	43
27,7	100	20	27,7	100	22	27,7	700	35	27,7	49500	46
27,7	100	26	27,7	300	24	27,7	1300	31	27,7	109000	41
25,95	100	29	27,7	100	25	27,7	800	31	27,7	5300	42
27,7	100	25	27,7	100	24	27,7	1800	33	27,7	7400	41
27,7	100	27	27,7	100	32	27,7	5000	33	27,7	22600	43
27,7	100	25	27,7	100	24	27,7	100	35	27,7	58500	44
27,7	100	35	27,7	100	25	27,7	2300	36	27,7	71800	41
27,7	100	18	27,7	100	25	27,7	700	32	27,7	30200	43
27,75	100	26	27,7	100	25	27,7	3900	38	27,7	16400	41
27,75	100	21	27,7	100	38	27,7	200	42	27,7	5200	41
26,2	100	11	27,7	100	22	27,7	500	31	27,7	20300	42
27,7	100	21	27,7	100	24	27,7	800	31	27,7	3800	43
27,7	100	27	27,75	600	21	27,7	900	31	27,7	9500	45
27,7	100	25	27,7	100	24	27,7	1500	32	27,7	60000	43
25,5	100	18	27,7	100	29	27,7	600	33	27,7	400	44
27,7	100	21	27,7	100	29	27,7	900	33	27,7	63900	42
27,7	100	39	27,7	100	34	27,7	1500	32	27,7	17700	47
27,7	100	27	27,7	100	24	27,7	700	32	27,7	21600	52
27,7	100	18	27,7	100	22	27,7	200	33	27,7	6200	41
27,7	100	32	27,7	100	32	27,7	3300	31	27,7	5500	41
27,7	100	23	27,75	200	26	27,7	6000	32	27,7	109700	41
27,7	100	21	27,7	100	30	27,7	300	35	27,7	800	42
25,95	100	18	27,7	100	21	27,7	900	36	27,7	50000	41
27,7	100	16	27,7	300	35	27,7	4500	34	27,7	16500	46
27,7	100	22	27,7	100	24	27,7	300	32	27,7	18000	42
27,7	100	26	27,7	100	22	27,7	200	35	27,7	12100	41
27,7	100	32	27,75	100	34	27,7	300	31	27,7	47500	41
27,7	100	24	27,7	100	27	27,7	600	31	27,7	33300	42

27,7	100	20	27,7	100	26	27,7	1400	39	27,7	6100	41
27,7	100	30	27,7	100	32	27,7	3100	32	27,7	40300	41
27,7	100	27	27,7	100	25	27,7	1600	36	27,7	39500	46
25,95	100	11	27,7	100	34	27,7	500	31	27,7	9900	41
27,7	100	31	27,7	100	21	27,7	1900	31	27,7	8600	42
27,7	100	33	27,7	100	25	27,7	400	33	27,7	44000	42
27,7	100	29	27,7	100	27	27,7	2400	34	27,7	19600	43
27,7	100	27	27,7	100	26	27,7	300	31	27,7	17600	41
27,75	100	21	27,75	100	35	27,7	2500	36	27,7	400	47
27,7	100	31	27,7	200	25	27,7	200	31	27,7	2200	49
27,75	100	19	27,7	100	25	27,7	800	37	27,7	15600	45
27,7	100	24	27,7	100	28	27,7	300	36	27,7	4200	44
27,75	100	23	27,7	200	22	27,7	200	35	27,7	32500	44
25,5	100	19	27,7	100	24	27,7	900	35	27,7	23700	45
27,7	100	16	27,7	100	28	27,7	100	33	27,7	29300	41
27,7	100	26	27,7	100	26	27,7	4100	34	27,7	35500	45

Fuente: Propia.

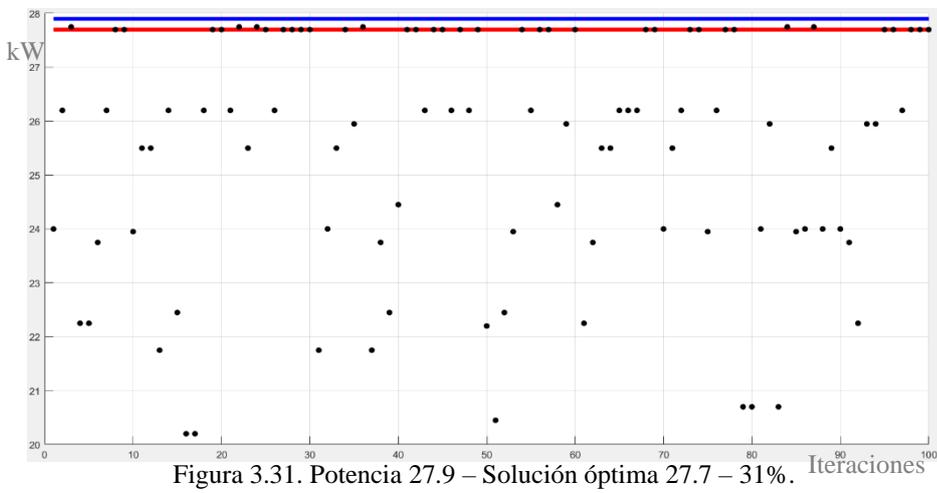
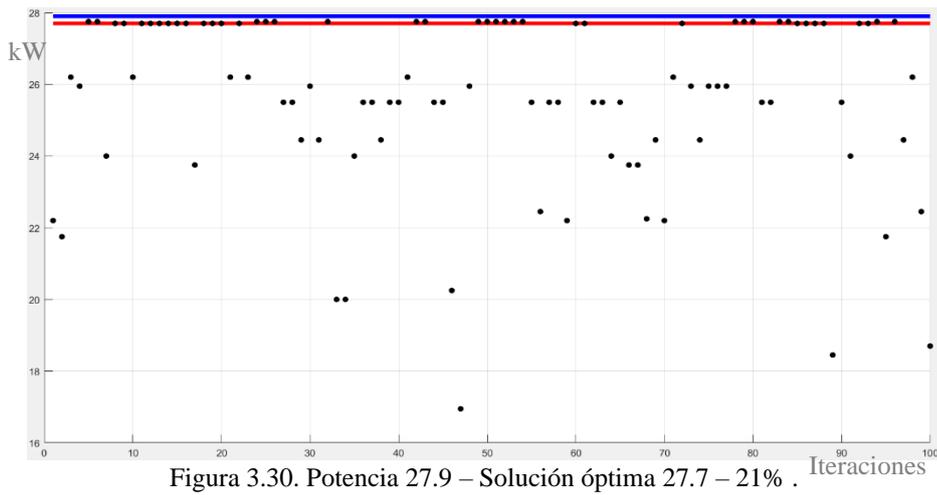
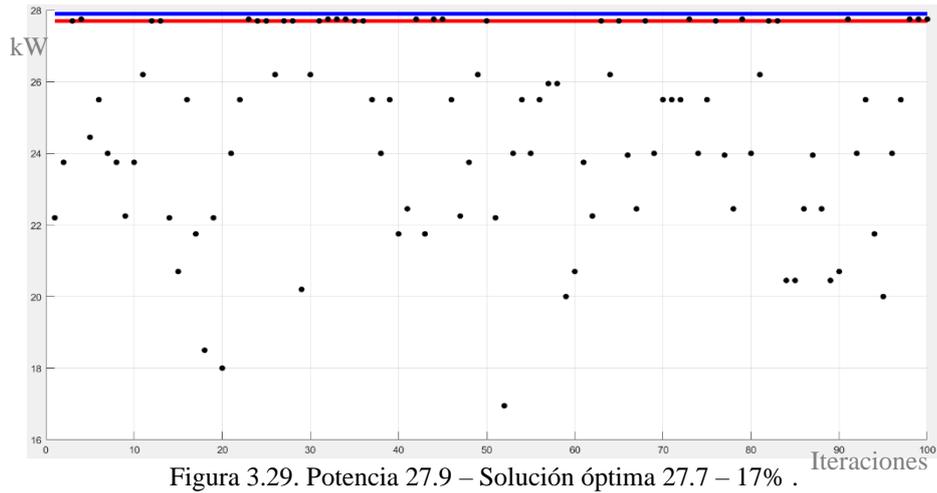
Se pueden destacar los siguientes valores que se encuentran en la tabla 3.10.

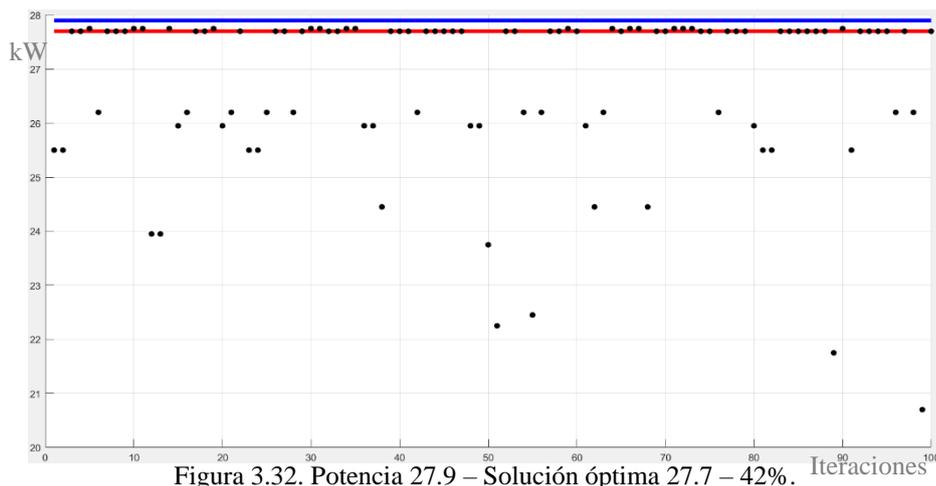
**Tabla 3.10** Resumen resultados 10h00 con una potencia máxima: 30.1 kW

	Potencia	Moda									
	27,7	39		27,7	45		27,7	50		27,7	50
	27,75	5		27,75	4		Total	50		Total	50
	25,95	3		25,5	1						
	25,5	2		Total	50						
	26,2	1									
	Total	50									
10%	Máximo Porcentaje		20%	Máximo Porcentaje		30%	Máximo Porcentaje		40%	Máximo Porcentaje	
	39			38			42			52	
	Mínimo Porcentaje			Mínimo Porcentaje			Mínimo Porcentaje			Mínimo Porcentaje	
	11			21			31			41	
	Máximo Iteraciones			Máximo Iteraciones			Máximo Iteraciones			Máximo Iteraciones	
	100			600			6000			109700	
	Mínimo Iteraciones			Mínimo Iteraciones			Mínimo Iteraciones			Mínimo Iteraciones	
	100			100			100			400	

Fuente: Propia.

A continuación, se indican en las figuras 3.29 hasta las 3.32 las gráficas resultantes de la solución óptima con una potencia de 27.7 kW.





**Análisis:** Por consiguiente, para la demanda de 30.1 kW a las 10h00 la solución óptima es: Potencia: 27.7 kW, Cromosoma: 111011. Lo que quiere decir que van a funcionar los motores M1, M2, M3, M5, M6 y no va a funcionar el motor M4.

#### d) Restricción potencia máxima: 28.2 kW

En la tabla 3.11 se detallan los valores adquiridos en 50 ejecuciones del AG, teniendo en cuenta que la restricción de potencia es obtenida de la tabla 3.4 en específico a las 11h00 que tiene un valor de 30.4 kW. Además, el criterio de parada es para valores mayores a 10%, 20% ,30% y 40%, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3.11** Resultados 11h00 con una potencia máxima: 30.4 kW

10%			20%			30%			40%		
Potencia	Iteraciones	%									
27,7	100	25	27,7	100	28	27,7	300	35	27,7	9700	41
27,7	100	23	27,7	200	23	27,7	500	43	27,7	31800	41
27,75	100	21	27,7	100	22	27,7	200	32	27,7	41500	41
26,2	100	17	27,7	100	24	27,7	100	34	27,7	57200	41
25,95	100	19	27,7	100	22	27,7	400	31	27,7	26000	43
27,7	100	22	27,75	100	23	27,7	900	31	27,7	14600	41
27,75	100	15	27,7	100	24	27,7	1100	32	27,7	31700	42
27,7	100	31	27,7	100	22	27,7	1200	34	27,7	14500	41
27,7	100	23	27,7	100	24	27,7	400	38	27,7	47200	41
27,7	100	35	27,7	100	28	27,7	200	32	27,7	5600	43
27,7	100	21	27,7	200	26	27,7	2300	37	27,7	5400	41
27,7	100	24	27,7	200	25	27,7	100	38	27,7	71700	41

27,7	100	17	27,7	100	25	27,7	700	34	27,7	25900	44
27,7	100	26	27,7	100	24	27,7	100	35	27,7	11300	42
27,7	100	22	27,7	100	23	27,7	400	35	27,7	7200	41
27,7	100	26	27,7	100	35	27,7	1500	37	27,7	16100	42
27,7	100	18	27,7	100	28	27,7	1000	36	27,7	400	41
27,7	100	23	27,75	200	28	27,7	500	31	27,7	6400	42
27,7	100	29	27,7	100	28	27,7	300	32	27,7	167500	46
27,7	100	22	27,7	100	34	27,7	200	31	27,7	21900	41
27,7	100	20	25,95	500	21	27,7	600	34	27,7	800	41
27,7	100	27	27,7	100	27	27,7	100	32	27,7	13800	41
27,7	100	31	27,7	100	24	27,7	900	32	27,7	20700	46
27,7	100	29	27,7	100	36	27,75	1100	31	27,7	73700	44
27,75	100	18	27,7	100	29	27,7	400	32	27,7	45100	42
25,5	100	18	27,7	100	21	27,7	200	34	27,7	46400	41
27,7	100	21	27,7	100	21	27,7	1500	32	27,7	56700	44
27,7	100	23	27,7	300	30	27,7	1900	39	27,7	60500	43
27,7	100	28	27,7	100	25	27,7	400	34	27,7	74400	42
25,5	100	21	25,5	100	21	27,7	400	35	27,7	2500	42
27,7	100	21	27,7	100	36	27,7	600	32	27,7	71600	41
27,7	100	20	27,7	200	32	27,75	400	32	27,7	14100	45
27,7	100	22	27,7	100	32	27,7	700	34	27,7	10800	43
27,7	100	30	27,75	100	21	27,7	400	31	27,7	54200	41
27,75	100	20	27,7	100	28	27,7	1000	32	27,7	34500	41
27,7	100	31	27,7	100	23	27,7	500	32	27,7	27000	42
27,75	100	14	27,7	100	21	27,7	400	31	27,7	88200	42
27,7	100	25	27,7	100	26	27,7	2900	32	27,7	3600	46
27,7	100	20	27,7	100	26	27,7	1500	31	27,7	3000	41
27,7	100	27	27,7	100	25	27,7	300	32	27,7	21400	41
27,7	100	26	27,7	100	30	27,7	100	33	27,7	13400	43
27,7	100	24	27,75	100	26	27,7	200	31	27,7	34600	41
27,7	100	20	27,7	100	23	27,7	300	32	27,7	37800	41
27,7	100	26	27,75	100	24	27,7	1300	34	27,7	42600	54
27,75	100	23	27,7	100	31	27,7	1300	40	27,7	66000	42
27,7	100	20	27,7	100	21	27,7	1800	33	27,7	8000	41
27,7	100	23	27,75	100	23	27,7	300	33	27,7	6100	41
27,7	100	24	27,7	100	21	27,7	300	38	27,7	82500	41
27,7	100	19	27,7	100	27	27,7	100	32	27,7	12200	43
27,7	100	28	27,7	100	34	27,75	3800	31	27,7	40600	41

Fuente: Propia.

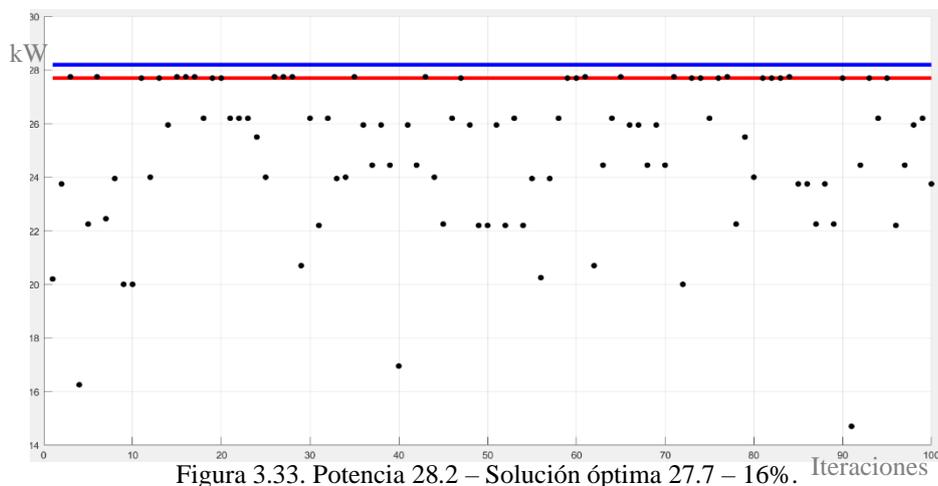
Se pueden destacar los siguientes valores que se encuentran en la tabla 3.12.

**Tabla 3.12** Resumen resultados 11h00 con una potencia máxima: 30.4 kW

	Potencia	Moda		Potencia	Moda		Potencia	Moda		Potencia	Moda
10%	27,7	40	20%	27,7	42	30%	27,7	47	40%	27,7	50
	27,75	6		27,75	6		25,75	3		<b>Total</b>	<b>50</b>
	25,5	2		25,5	1						
	25,95	1		25,95	1						
	26,2	1		<b>Total</b>	<b>50</b>						
	<b>Total</b>	<b>50</b>									
	<b>Máximo Porcentaje</b>			<b>Máximo Porcentaje</b>			<b>Máximo Porcentaje</b>			<b>Máximo Porcentaje</b>	
	35			36			47			54	
	<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>	
	14			21			31			41	
<b>Máximo Iteraciones</b>		<b>Máximo Iteraciones</b>		<b>Máximo Iteraciones</b>		<b>Máximo Iteraciones</b>					
100		500		3800		167500					
<b>Mínimo Iteraciones</b>		<b>Mínimo Iteraciones</b>		<b>Mínimo Iteraciones</b>		<b>Mínimo Iteraciones</b>					
100		100		100		400					

Fuente: Propia.

A continuación, se indican en las figuras 3.33 hasta las 3.36 las gráficas resultantes de la solución óptima con una potencia de 27.7 kW.



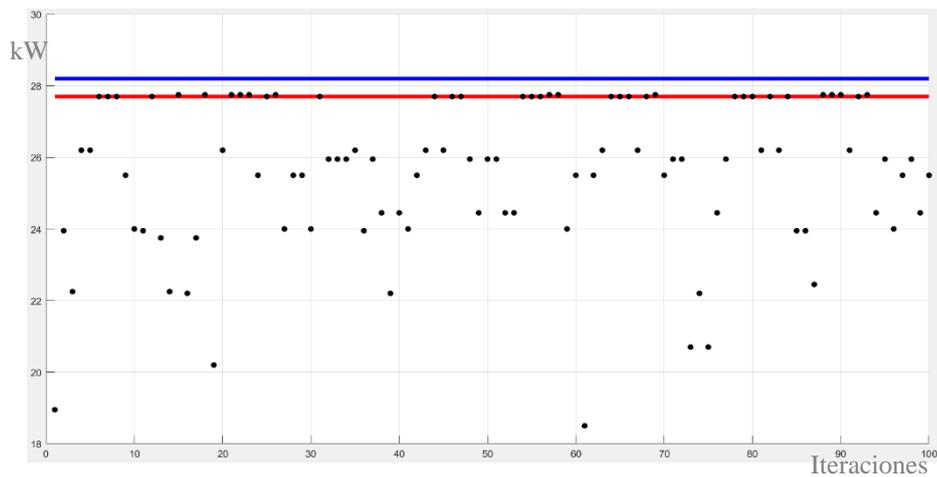


Figura 3.34. Potencia 28.2 – Solución óptima 27.7 – 22%.

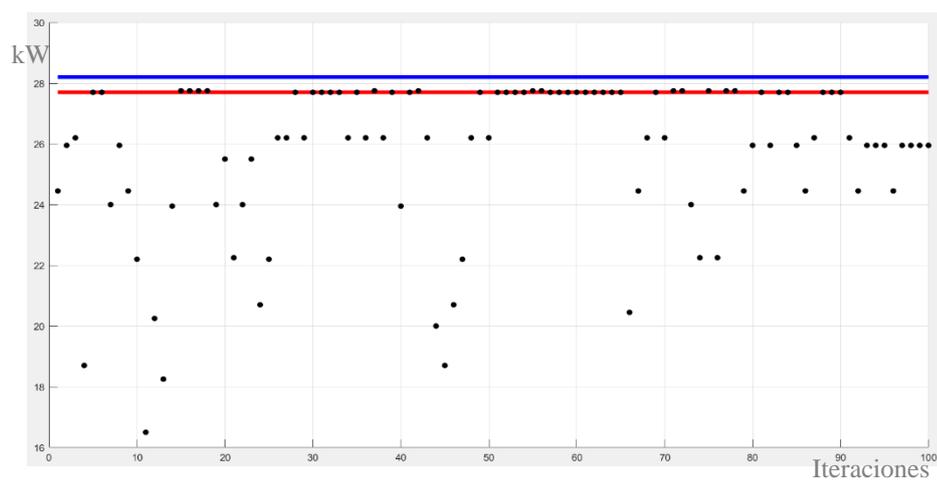


Figura 3.35. Potencia 28.2 – Solución óptima 27.7 – 31%.

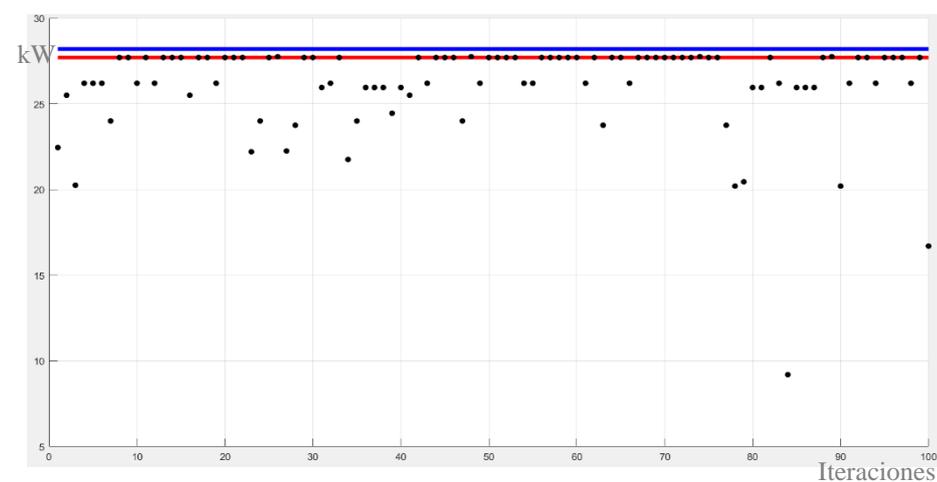


Figura 3.36. Potencia 28.2 – Solución óptima 27.7 – 48%.

**Análisis:** Por consiguiente, para la demanda de 30.4 kW a las 11h00 la solución óptima es: Potencia: 27.7 kW, Cromosoma:111011. Lo que quiere decir que van a funcionar los motores M1, M2, M3, M5, M6 y no va a funcionar el motor M4.

**e) Restricción potencia máxima: 25.2 kW**

En la tabla 3.13 se detallan los valores adquiridos en 50 ejecuciones del AG, teniendo en cuenta que la restricción de potencia es obtenida de la tabla 3.4 en específico a las 12h00 que tiene un valor de 27.4 kW. Además, el criterio de parada es para valores mayores a 10%, 20% ,30% y 35%, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3.13 Resultados 12h00 con una potencia máxima: 27.4 kW**

10%			20%			30%			35%		
Potencia	Iteraciones	%									
24,45	100	13	23,95	500	21	23,95	4500	32	23,95	1356400	36
23,95	100	18	23,95	1200	24	23,95	184900	34	23,95	259800	37
23,95	100	21	23,95	500	22	23,95	80100	33	23,95	2655800	37
24,45	100	16	23,95	100	21	23,95	130900	34	23,95	56600	39
22,45	100	12	23,95	100	22	23,95	61400	38	23,95	3626900	36
23,95	100	14	23,95	100	22	23,95	27000	32	23,95	1445600	36
23,75	100	11	23,95	900	24	23,95	126900	32	23,95	8015500	37
23,95	100	11	23,95	3100	25	23,95	28400	31	23,95	1111700	43
23,75	100	18	23,95	500	23	23,95	47200	31	23,95	1140900	36
23,95	100	15	23,95	1400	21	23,95	41300	34	23,95	46600	36
22,2	100	15	23,95	1300	21	23,95	265300	33	23,95	1914700	41
22,2	100	12	23,95	3800	26	23,95	26300	31	23,95	615200	38
23,95	100	16	24	100	24	23,95	74200	31	23,95	481100	36
23,95	100	23	23,95	100	23	23,95	74300	35	23,95	557600	37
22,25	100	14	23,95	300	23	23,95	21900	31	23,95	1978400	38
22,2	100	13	23,95	1700	27	23,95	24500	33	23,95	307600	37
24,45	100	17	23,95	800	24	23,95	85900	35	23,95	152400	37
23,95	100	30	23,95	100	24	23,95	31500	33	23,95	3135100	36
23,95	100	17	23,95	100	21	23,95	92100	35	23,95	790600	36
23,95	100	15	23,95	1700	21	23,95	14300	31	23,95	1829900	38
22,2	100	11	23,95	800	27	23,95	2700	33	23,95	2434300	36
23,95	100	17	23,95	2800	22	24	157400	32	23,95	747000	37
23,95	100	16	23,95	1400	29	23,95	87500	41	23,95	1058700	37
23,95	100	15	23,95	200	22	23,95	141500	31	23,95	412500	38
23,95	100	14	23,95	300	27	23,95	345900	31	23,95	798700	36
23,95	100	17	23,95	200	22	23,95	153700	32	23,95	1614900	38
24,45	100	15	23,95	500	21	23,95	365500	33	23,95	294700	38
23,95	100	15	23,95	300	25	23,95	108500	31	23,95	2623200	37
23,95	100	13	23,95	200	24	23,95	28500	36	23,95	2637600	36
23,95	100	18	23,95	400	22	23,95	27300	32	23,95	84600	38
23,95	100	13	23,95	1000	26	23,95	112400	32	23,95	315600	37

23,95	100	17	23,95	400	22	23,95	24700	32	23,95	3175500	37
24,45	100	12	23,95	500	22	23,95	41100	33	23,95	275400	38
23,95	100	21	23,95	1200	27	23,95	5000	31	23,95	471700	37
24	100	19	23,95	1900	24	23,95	15800	32	23,95	771400	36
23,95	100	14	23,95	100	21	23,95	9800	31	23,95	294200	39
23,95	100	16	23,95	500	21	23,95	9600	35	23,95	1817000	41
23,95	100	22	23,95	3000	27	23,95	47400	32	23,95	1737900	36
23,95	100	13	23,95	1100	22	23,95	276400	32	23,95	2504200	36
23,95	100	14	23,95	700	23	23,95	75200	32	23,95	3078300	39
23,95	100	17	23,95	900	22	24,45	34400	31	23,95	3197900	36
23,95	100	19	23,95	1400	25	23,95	129400	31	23,95	484900	38
23,75	100	15	24	1300	21	23,95	20900	36	23,95	3429500	36
23,95	100	16	23,95	100	24	23,95	23500	34	23,95	1757400	36
23,95	100	18	23,95	2400	22	23,95	59000	32	23,95	2724600	37
22,45	100	18	23,95	600	21	23,95	61500	33	23,95	919200	37
23,95	100	17	23,95	500	24	23,95	150800	31	23,95	2223800	36
23,95	100	18	23,95	1500	21	23,95	108900	31	23,95	968800	36
23,95	100	14	23,95	300	23	23,95	4000	34	23,95	1131800	39
23,95	100	15	23,95	200	22	23,95	40200	34	23,95	82300	36

Fuente: Propia.

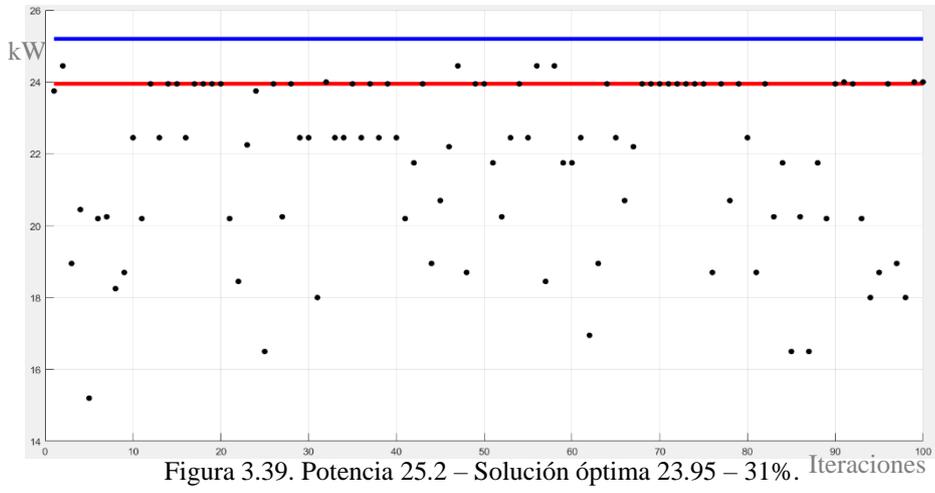
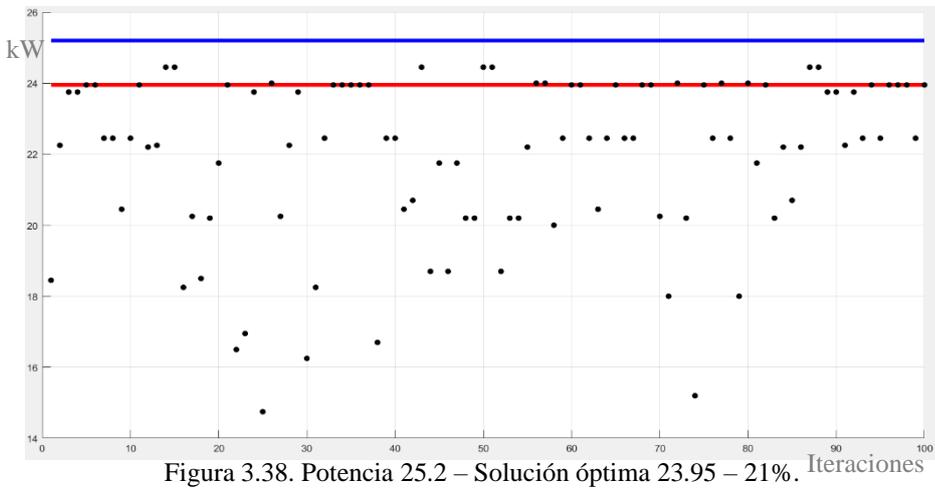
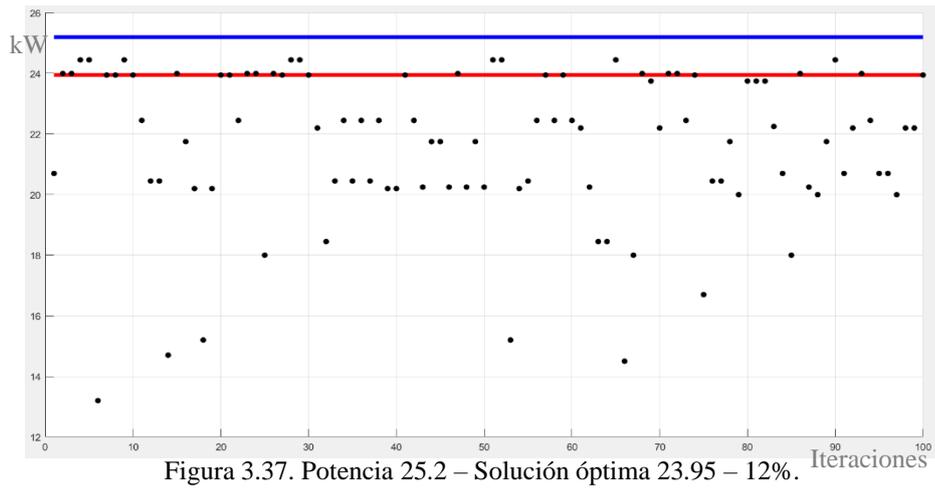
Se pueden destacar los siguientes valores que se encuentran en la tabla 3.14.

**Tabla 3.14** Resumen resultados 12h00 con una potencia máxima: 27.4 kW

	Potencia	Moda		Potencia	Moda		Potencia	Moda		Potencia	Moda			
10%	23,95	34	20%	23,95	48	30%	23,95	48	35%	23,95	50			
	24,45	5		24	2		24	1		<b>Total</b>	<b>50</b>			
	22,2	4		<b>Total</b>	<b>50</b>		24,45	1						
	23,75	3					<b>Total</b>	<b>50</b>						
	22,45	2												
	24	1												
	22,25	1												
	<b>Total</b>	<b>50</b>												
	<b>Máximo Porcentaje</b>				<b>Máximo Porcentaje</b>					<b>Máximo Porcentaje</b>			<b>Máximo Porcentaje</b>	
	30				29					41			43	
<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>					
11			21			31			36					
<b>Máximo Iteraciones</b>			<b>Máximo Iteraciones</b>			<b>Máximo Iteraciones</b>			<b>Máximo Iteraciones</b>					
100			3800			365500			8015500					
<b>Mínimo Iteraciones</b>			<b>Mínimo Iteraciones</b>			<b>Mínimo Iteraciones</b>			<b>Mínimo Iteraciones</b>					
100			100			2700			46600					

Fuente: Propia.

A continuación, se indican en las figuras 3.37 hasta las 3.40 las gráficas resultantes de la solución óptima con una potencia de 23.95 kW.



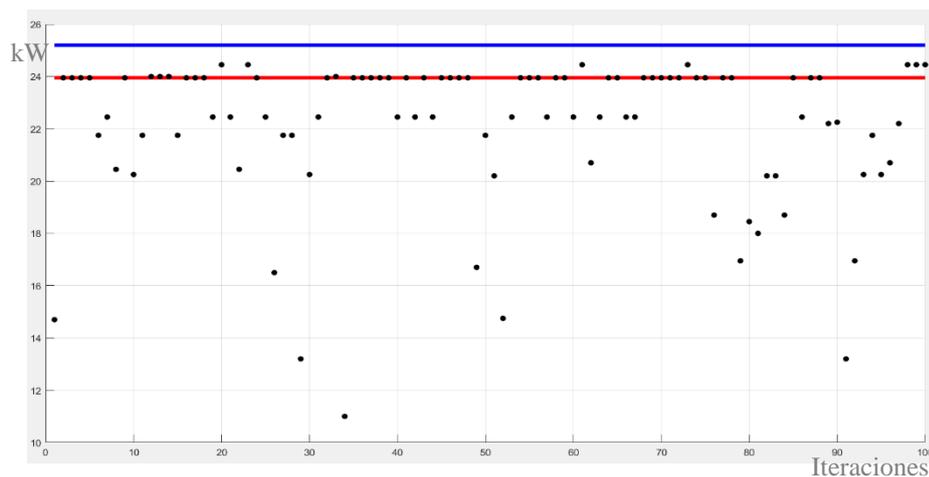


Figura 3.40. Potencia 25.2 – Solución óptima 23.95 – 40%.

**Análisis:** Por consiguiente, para la demanda de 27.4 kW a las 12h00 la solución óptima es: Potencia: 23.95 kW, Cromosoma:101111. Lo que quiere decir que van a funcionar los motores M1, M3, M4, M5, M6 y no va a funcionar el motor M2.

**f) Restricción potencia máxima: 25.1 kW**

En la tabla 3.15 se detallan los valores adquiridos en 50 ejecuciones del AG, teniendo en cuenta que la restricción de potencia es obtenida de la tabla 3.4 en específico a las 13h00 que tiene un valor de 27.3 kW. Además, el criterio de parada es para valores mayores a 10%, 20% ,30% y 35%, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3.15** Resultados 13h00 con una potencia máxima: 27.3 kW

10%			20%			30%			35%		
Potencia	Iteraciones	%									
24	100	13	23,95	800	21	23,95	37700	31	23,95	3143300	37
22,2	100	17	23,95	900	22	23,95	82900	35	23,95	133300	38
23,95	100	15	23,95	6300	25	23,95	126100	34	23,95	1716000	36
23,75	100	14	23,95	2200	23	23,95	339300	31	23,95	1964900	39
23,95	100	13	23,95	1500	22	23,95	48000	33	23,95	1031300	36
24	100	17	23,95	300	23	23,95	96500	33	23,95	156700	38
24	100	21	23,95	500	24	23,95	113900	31	23,95	2061700	36
24,45	100	14	23,95	200	26	23,95	52100	32	23,95	143900	37
24,45	100	19	23,95	400	22	23,95	22900	34	23,95	1390100	36
24,45	100	12	23,95	700	22	23,95	16200	32	23,95	49400	36
23,95	100	19	23,95	1300	21	23,95	31900	31	23,95	978300	36
23,95	100	15	23,95	100	21	23,95	9100	34	23,95	3067200	36

24	100	17	23,95	1300	22	23,95	114500	32	23,95	1445100	40
23,95	100	16	23,95	800	21	23,95	3000	32	23,95	526400	37
24	100	13	23,95	700	23	23,95	41900	35	23,95	1913800	37
23,75	100	13	23,95	200	23	23,95	22700	32	23,95	310100	41
23,95	100	18	23,95	800	24	23,95	77900	33	23,95	621900	36
24	100	14	23,95	1000	22	23,95	12800	33	23,95	603600	38
23,95	100	18	23,95	100	21	24	24700	31	23,95	177000	39
23,95	100	17	23,95	2500	22	23,95	5700	32	23,95	662900	37
24,45	100	16	23,95	600	21	23,95	7600	33	23,95	656500	37
24,45	100	17	23,95	4000	25	23,95	106600	31	23,95	213000	37
23,95	100	14	23,95	4500	23	23,95	1900	35	23,95	3581100	38
23,95	100	18	24	400	24	23,95	16800	33	23,95	1948700	37
23,95	100	16	24,45	500	21	23,95	92500	34	23,95	1756200	37
24	100	14	23,95	1400	21	23,95	138900	32	23,95	767700	36
21,75	100	14	23,95	700	22	23,95	8100	36	23,95	3187800	36
23,95	100	23	23,95	100	32	23,95	102000	32	23,95	656900	36
24	100	15	24	300	22	23,95	48000	31	23,95	23900	42
24,45	100	16	23,95	300	26	23,95	144400	31	23,95	950200	36
24	100	22	24	200	23	23,95	41200	37	23,95	1495500	43
23,95	100	22	23,95	100	22	23,95	77900	31	23,95	3818000	36
22,45	100	15	23,95	1300	21	23,95	21300	41	23,95	422600	36
22,2	100	11	23,95	1300	22	23,95	19600	32	23,95	2735700	37
23,95	100	32	23,95	100	25	23,95	55500	35	23,95	2796800	37
23,95	100	14	23,95	1700	22	23,95	29800	34	23,95	340900	38
23,95	100	12	23,95	1000	21	23,95	89700	36	23,95	108100	37
23,95	100	14	23,95	200	22	23,95	24400	33	23,95	874800	36
23,95	100	16	23,95	500	22	23,95	33100	32	23,95	333500	36
23,95	100	17	23,95	1300	21	23,95	17100	32	23,95	460800	37
22,45	100	13	23,95	500	21	23,95	47000	32	23,95	167200	37
22,45	100	16	23,95	800	25	23,95	50300	41	23,95	864000	36
24	100	16	23,95	1400	23	23,95	65200	31	23,95	610700	36
23,95	100	14	24	2300	21	24,45	129600	31	23,95	528400	36
23,95	100	15	23,95	1100	26	23,95	81600	31	23,95	3918400	36
23,95	100	14	24	700	24	23,95	36900	32	23,95	1159500	37
24,45	100	13	23,95	500	25	23,95	60800	35	23,95	180900	38
23,95	100	19	23,95	1400	22	23,95	110000	31	23,95	1669000	37
23,95	100	18	23,95	300	24	23,95	90000	31	23,95	780400	36
23,95	100	22	23,95	1000	21	23,95	111900	33	23,95	451600	36

Fuente: Propia.

Se pueden destacar los siguientes valores que se encuentran en la tabla 3.16.

**Tabla 3.16** Resumen resultados 13h00 con una potencia máxima: 27.3 kW

	Potencia	Moda		Potencia	Moda		Potencia	Moda		Potencia	Moda		
10%	23,95	25	20%	23,95	44	30%	23,95	48	35%	23,95	50		
	24	10		24	5		24	1		<b>Total</b>	<b>50</b>		
	24,45	7		24,45	1		24,45	1					
	22,45	3		<b>Total</b>	<b>50</b>		<b>Total</b>	<b>50</b>					
	22,2	2											
	23,75	2											
	22,25	1											
	<b>Total</b>	<b>50</b>											
	<b>Máximo Porcentaje</b>			<b>Máximo Porcentaje</b>			<b>Máximo Porcentaje</b>			<b>Máximo Porcentaje</b>		<b>Máximo Porcentaje</b>	
	32			32			41			43			
<b>Mínimo Porcentaje</b>		<b>Mínimo Porcentaje</b>		<b>Mínimo Porcentaje</b>		<b>Mínimo Porcentaje</b>							
11		21		31		36							
<b>Máximo Iteraciones</b>		<b>Máximo Iteraciones</b>		<b>Máximo Iteraciones</b>		<b>Máximo Iteraciones</b>							
100		6300		339300		3918400							
<b>Mínimo Iteraciones</b>		<b>Mínimo Iteraciones</b>		<b>Mínimo Iteraciones</b>		<b>Mínimo Iteraciones</b>							
100		100		1900		23900							

Fuente: Propia.

A continuación, se indican en las figuras 3.41 hasta las 3.44 las gráficas resultantes de la solución óptima con una potencia de 23.95 kW.

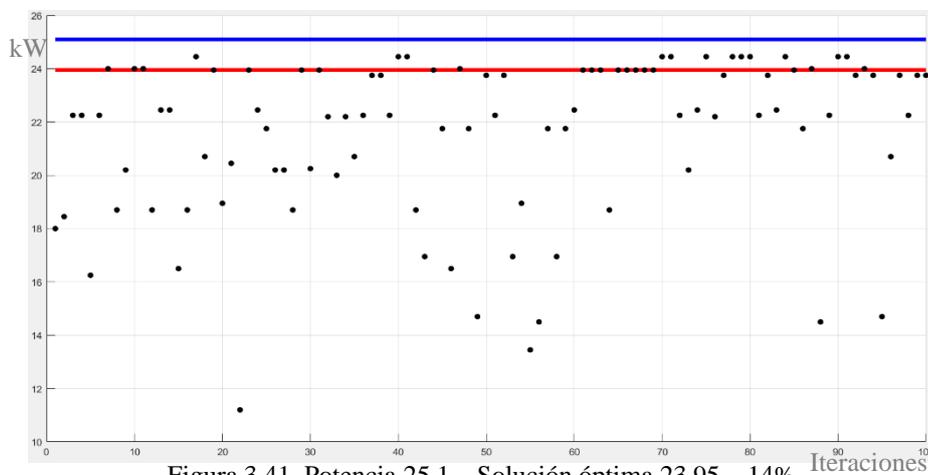
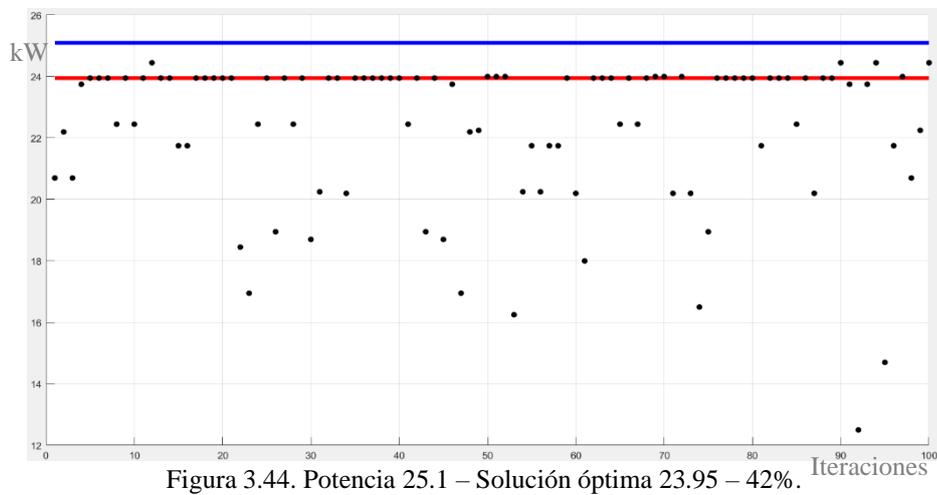
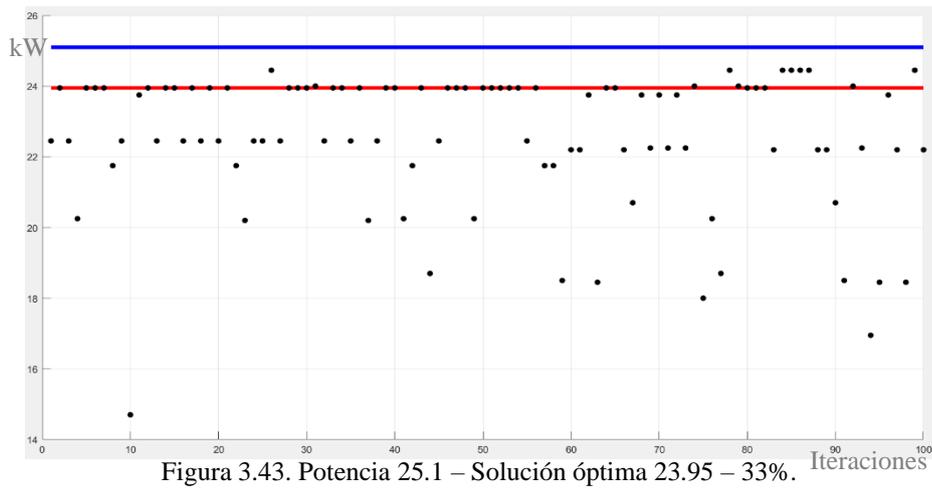
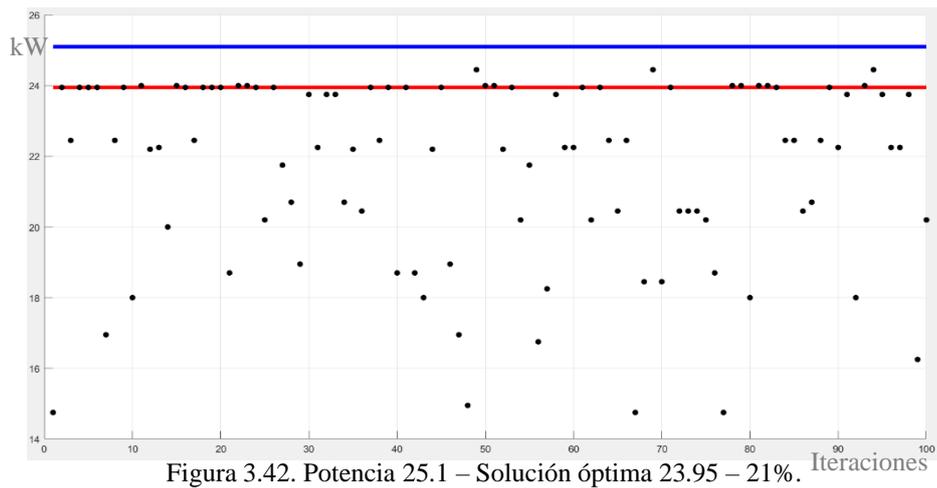


Figura 3.41. Potencia 25.1 – Solución óptima 23.95 – 14%.



**Análisis:** Por consiguiente, para la demanda de 27.3 kW a las 13h00 la solución óptima es: Potencia: 23.95 kW, Cromosoma:101111. Lo que quiere decir que van a funcionar los motores M1, M3, M4, M5, M6 y no va a funcionar el motor M2.

**g) Restricción potencia máxima: 26 kW**

En la tabla 3.17 se detallan los valores adquiridos en 50 ejecuciones del AG, teniendo en cuenta que la restricción de potencia es obtenida de la tabla 3.4 en específico a las 14h00 que tiene un valor de 28.2 kW. Además, el criterio de parada es para valores mayores a 10%, 20% ,30% y 45%, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3.17 Resultados 14h00 con una potencia máxima: 28.2 kW**

10%			20%			30%			45%		
Potencia	Iteraciones	%									
25,95	100	19	25,95	100	25	25,95	900	33	25,95	3164100	50
25,5	100	20	25,5	100	24	25,95	2000	31	25,95	97700	47
25,5	100	21	25,95	100	28	25,95	12400	31	25,95	4446500	52
25,95	100	20	25,5	200	26	25,5	2700	31	25,95	790400	47
25,95	100	30	25,5	100	21	25,95	6200	32	25,95	5000200	49
25,95	100	18	25,5	200	29	25,95	6300	31	25,95	2867700	48
25,95	100	17	25,95	300	21	25,95	9300	31	25,95	12238900	46
25,95	100	30	25,95	200	23	25,95	2800	33	25,95	1856400	47
25,95	100	28	25,95	400	22	25,5	5700	35	25,95	581500	46
24	100	14	25,5	200	22	25,95	1300	36	25,95	3920700	46
25,95	100	20	25,95	200	24	25,95	900	33	25,95	187000	46
25,5	100	19	25,5	100	23	25,95	900	43	25,95	757400	47
25,95	100	27	25,5	100	22	25,95	4900	32	25,95	4605900	46
25,95	100	23	25,95	100	22	25,95	4800	32	25,95	8516600	47
25,95	100	25	25,95	100	29	25,95	300	31	25,95	1131200	47
25,5	100	17	25,5	300	27	25,95	200	36	25,95	7228000	49
25,5	100	26	25,95	200	22	25,95	8600	34	25,95	8842400	46
25,95	100	25	25,95	200	38	25,95	1000	34	25,95	3653100	46
25,95	100	20	25,5	100	23	25,5	2400	31	25,95	842900	48
25,5	100	24	23,95	400	21	25,5	1600	35	25,95	5492600	46
25,95	100	25	25,5	100	24	25,95	400	32	25,95	4085300	48
25,5	100	23	25,95	200	32	25,95	2800	36	25,95	3195300	46
25,95	100	24	25,95	300	30	25,5	7000	39	25,95	2302000	51
25,95	100	18	25,95	300	21	25,5	2700	32	25,95	5455600	48
25,95	100	29	25,5	600	30	25,5	3100	33	25,95	13484800	46
25,95	100	21	25,95	200	27	25,5	1300	32	25,95	4308300	48
25,5	100	21	25,95	100	21	25,95	4000	31	25,95	4817100	46
25,5	100	18	25,95	200	24	25,5	6100	32	25,95	8919700	50
25,95	100	23	25,95	200	23	25,95	11000	33	25,95	5645200	47
22,45	100	12	25,95	100	28	25,5	3500	31	25,95	1375400	47

25,95	100	20	25,95	200	23	25,5	3900	33	25,95	1445400	47
25,95	100	23	25,5	100	26	25,95	2900	32	25,95	4454600	48
25,5	100	16	25,95	100	22	25,95	3200	31	25,95	1709300	46
25,95	100	28	25,5	200	21	25,5	1100	32	25,95	11134700	46
25,95	100	16	25,5	100	25	25,95	2600	32	25,95	2003900	46
25,95	100	21	25,95	200	21	25,5	2400	33	25,95	3917100	46
25,95	100	24	25,5	300	21	25,95	6900	31	25,95	4174000	46
25,5	100	18	25,95	100	23	25,5	11400	31	25,95	3839400	46
25,5	100	21	25,5	100	21	25,5	9900	32	25,95	980300	46
25,95	100	20	25,95	500	22	25,95	1000	36	25,95	13402400	47
25,95	100	24	25,95	100	28	25,95	1100	32	25,95	527100	46
25,95	100	32	25,5	400	21	25,95	1300	36	25,95	3027400	47
25,95	100	21	25,5	100	22	25,5	13900	32	25,95	6376300	49
25,5	100	26	25,5	300	25	25,5	5400	34	25,95	3067000	47
25,5	100	21	25,95	200	21	25,5	1700	38	25,95	2332200	49
23,95	100	14	25,95	100	22	25,5	9700	32	25,95	2053000	46
25,95	100	23	25,5	200	23	25,95	900	31	25,95	3501700	46
25,95	100	28	25,5	300	21	25,95	600	36	25,95	2597200	47
25,5	100	15	25,5	200	21	25,95	2100	31	25,95	2283700	48
25,5	100	17	25,95	200	25	25,95	1200	31	25,95	285000	47

Fuente: Propia.

Se pueden destacar los siguientes valores que se encuentran en la tabla 3.18.

**Tabla 3.18** Resumen resultados 14h00 con una potencia máxima: 28.2 kW

	Potencia	Moda									
	25,95	31		25,95	27		25,95	31		25,95	50
	25,5	16		25,5	22		25,5	19		<b>Total</b>	<b>50</b>
	24	1		23,95	1		<b>Total</b>	<b>50</b>			
	23,95	1		<b>Total</b>	<b>50</b>						
	22,45	1									
	<b>Total</b>	<b>50</b>									
<b>10%</b>	<b>Máximo Porcentaje</b>		<b>20%</b>	<b>Máximo Porcentaje</b>		<b>30%</b>	<b>Máximo Porcentaje</b>		<b>45%</b>	<b>Máximo Porcentaje</b>	
	32			38			43			52	
	<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>	
	12			21			31			46	
	<b>Máximo Iteraciones</b>			<b>Máximo Iteraciones</b>			<b>Máximo Iteraciones</b>			<b>Máximo Iteraciones</b>	
	100			600			13900			13484800	
	<b>Mínimo Iteraciones</b>			<b>Mínimo Iteraciones</b>			<b>Mínimo Iteraciones</b>			<b>Mínimo Iteraciones</b>	
	100			100			200			97700	

Fuente: Propia.

A continuación, se indican en las figuras 3.45 hasta las 3.48 las gráficas resultantes de la solución óptima con una potencia de 25.95 kW.

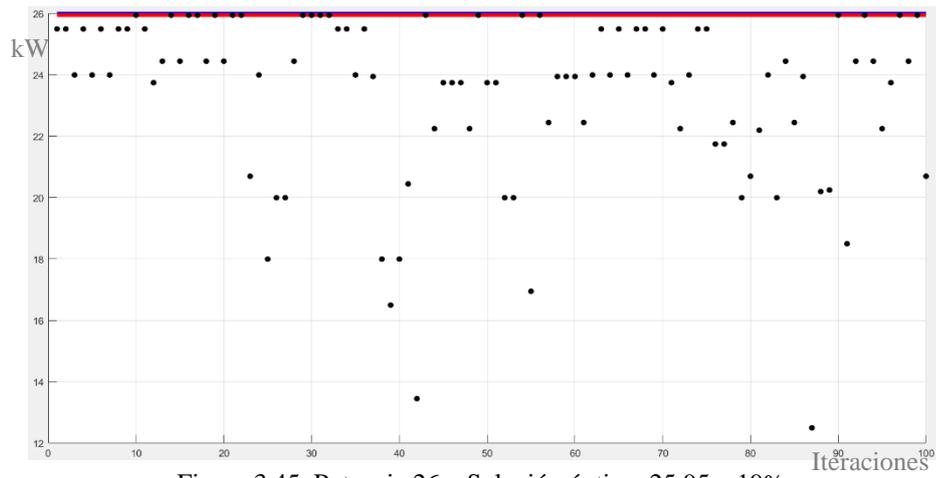


Figura 3.45. Potencia 26 – Solución óptima 25.95 – 19%.

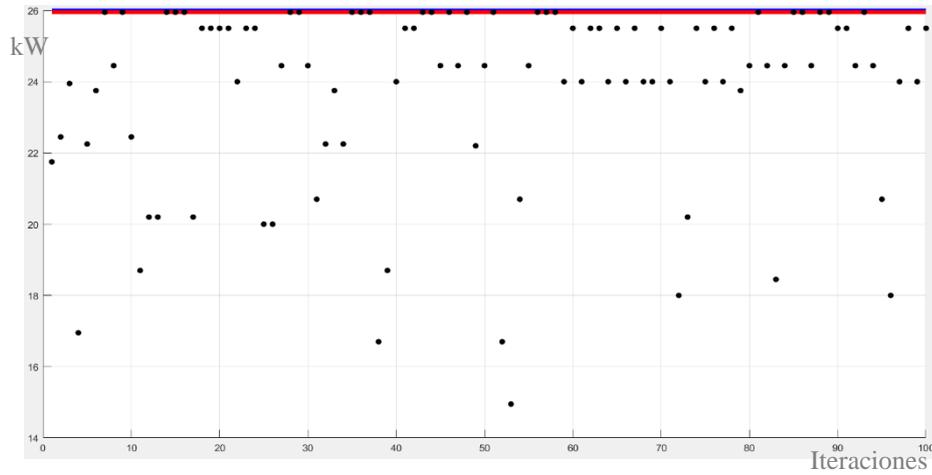


Figura 3.46. Potencia 26 – Solución óptima 25.95 – 24%.

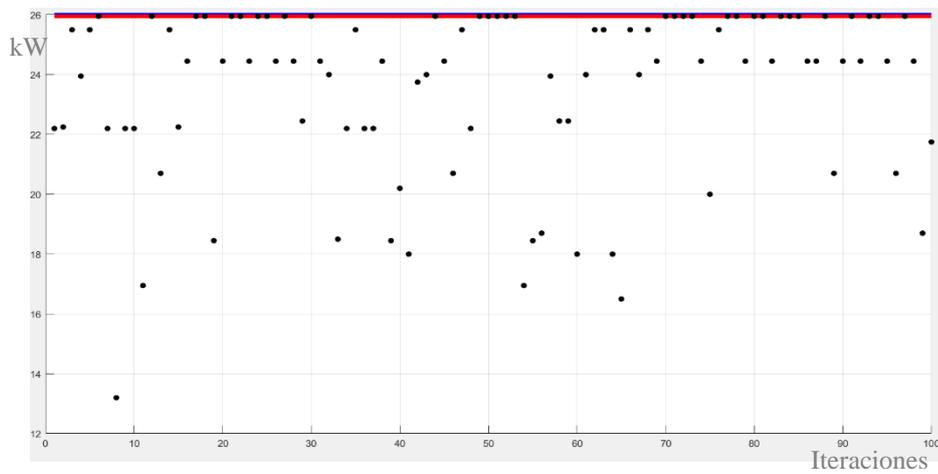


Figura 3.47. Potencia 26 – Solución óptima 25.95 – 32%.

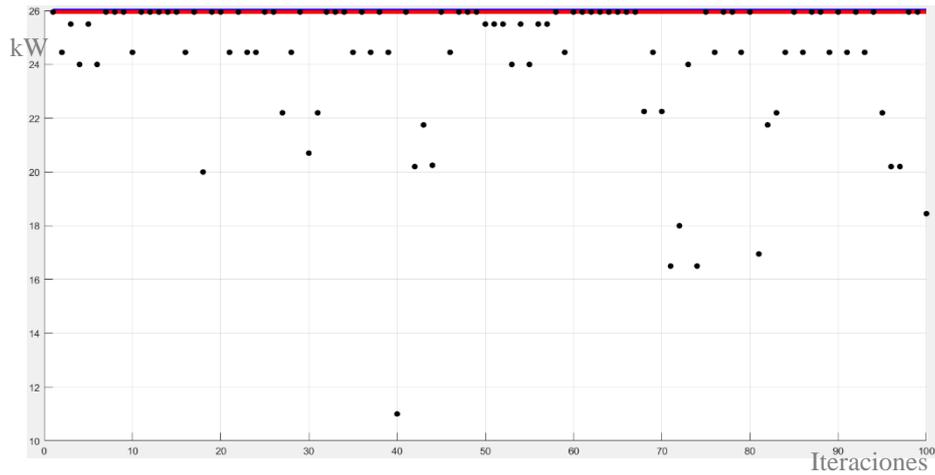


Figura 3.48. Potencia 26 – Solución óptima 25.95 – 47%.

**Análisis:** Por consiguiente, para la demanda de 28.2 kW a las 14h00 la solución óptima es: Potencia: 25.95 kW, Cromosoma:110111. Lo que quiere decir que van a funcionar los motores M1, M2, M4, M5, M6 y no va a funcionar el motor M3.

**h) Restricción potencia máxima: 27.8 kW**

En la tabla 3.19 se detallan los valores adquiridos en 50 ejecuciones del AG, teniendo en cuenta que la restricción de potencia es obtenida de la tabla 3.4 en específico a las 15h00 que tiene un valor de 30 kW. Además, el criterio de parada es para valores mayores a 10%, 20% ,30% y 40%, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3.19** Resultados 15h00 con una potencia máxima: 30 kW

10%			20%			30%			40%		
Potencia	Iteraciones	%									
27,7	100	27	27,7	100	31	27,7	700	34	27,7	133000	41
27,75	100	20	27,7	100	29	27,7	700	33	27,7	19000	43
27,75	100	17	27,7	100	24	27,7	300	31	27,7	31500	43
27,75	100	18	27,75	100	24	27,7	800	31	27,7	13900	41
27,7	100	18	27,7	200	35	27,7	100	40	27,7	138200	43
27,7	100	28	27,7	200	37	27,7	100	35	27,7	18400	43
27,7	100	21	27,7	100	22	27,7	1900	42	27,7	9300	41
27,7	100	27	27,7	200	28	27,7	200	31	27,7	34800	41

27,7	100	32	27,7	200	27	27,7	700	33	27,7	32800	41
27,7	100	23	27,7	100	23	27,7	200	32	27,7	29700	48
27,75	100	17	27,7	200	22	27,7	400	32	27,7	17100	41
27,7	100	27	27,7	100	23	27,7	900	32	27,7	37100	42
27,7	100	26	27,7	100	25	27,7	800	33	27,7	27100	48
27,75	100	18	27,75	100	23	27,7	600	34	27,7	9500	44
27,75	100	29	27,7	200	29	27,7	200	40	27,7	2500	46
27,7	100	26	27,7	100	33	27,7	1500	37	27,7	39300	41
27,7	100	28	27,7	100	31	27,7	1400	32	27,7	33600	44
27,75	100	18	27,7	200	24	27,7	300	31	27,7	38500	41
27,7	100	29	27,75	100	21	27,7	100	32	27,7	90800	41
27,75	100	21	27,7	300	28	27,7	400	32	27,7	5000	42
27,7	100	23	27,7	100	33	27,7	900	35	27,7	12800	42
27,7	100	24	27,7	200	28	27,7	200	32	27,7	17300	44
27,7	100	32	27,75	100	22	27,7	100	33	27,7	15300	45
25,5	100	22	27,7	100	23	27,7	100	32	27,7	20800	45
27,7	100	35	27,7	100	27	27,7	1300	32	27,7	5000	42
27,75	100	21	27,7	100	22	27,7	900	31	27,7	93700	41
27,7	100	18	27,7	100	26	27,7	400	35	27,7	10400	41
26,2	100	16	27,7	100	25	27,7	500	31	27,7	7300	41
27,7	100	33	27,7	100	26	27,7	1300	33	27,7	400	44
27,7	100	27	27,7	100	25	27,7	500	31	27,7	35700	43
27,7	100	24	27,75	100	28	27,7	900	39	27,7	800	45
27,75	100	18	27,7	100	35	27,7	2100	32	27,7	7800	44
27,7	100	24	27,7	100	27	27,7	300	36	27,7	51500	41
27,7	100	34	27,7	200	34	27,7	1300	31	27,7	59800	43
27,7	100	20	27,7	100	25	27,7	200	36	27,7	13500	41
27,7	100	37	27,7	200	32	27,7	100	38	27,7	70200	41
27,75	100	20	27,75	200	23	27,7	400	33	27,7	1800	42
27,7	100	27	27,7	100	29	27,7	100	39	27,7	152300	41
27,7	100	24	27,7	100	26	27,7	200	31	27,7	13800	43
27,7	100	31	27,7	300	22	27,7	400	36	27,7	96800	44
27,7	100	19	27,7	100	25	27,7	800	32	27,7	2700	44
27,7	100	31	27,7	100	28	27,7	900	38	27,7	24000	43
27,75	100	22	27,7	100	21	27,7	500	32	27,7	44200	42
27,7	100	23	27,75	300	25	27,7	800	36	27,7	79500	41
27,75	100	25	27,75	100	23	27,7	1700	37	27,7	19600	41
26,2	100	20	27,7	300	30	27,7	1600	31	27,7	21100	45
27,75	100	23	27,7	300	21	27,7	100	38	27,7	85600	41
27,75	100	20	27,7	100	24	27,7	800	32	27,7	4700	42
27,7	100	29	27,7	100	26	27,7	100	34	27,7	65400	42
25,5	100	21	27,7	200	21	27,7	500	35	27,7	30100	42

Fuente: Propia.

Se pueden destacar los siguientes valores que se encuentran en la tabla 3.20.

**Tabla 3.20** Resumen resultados 15h00 con una potencia máxima: 30 kW

	Potencia	Moda									
		27,7		31			27,7	42			27,7
	27,75	15		27,75	8		<b>Total</b>	<b>50</b>		<b>Total</b>	<b>50</b>
	25,5	2		<b>Total</b>	<b>50</b>						
	26,2	2									
	<b>Total</b>	<b>50</b>									
<b>10%</b>	<b>Máximo Porcentaje</b>		<b>20%</b>	<b>Máximo Porcentaje</b>		<b>30%</b>	<b>Máximo Porcentaje</b>		<b>40%</b>	<b>Máximo Porcentaje</b>	
	37			37			42			48	
	<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>	
	16			21			31			41	
	<b>Máximo Iteraciones</b>			<b>Máximo Iteraciones</b>			<b>Máximo Iteraciones</b>			<b>Máximo Iteraciones</b>	
	100			300			2100			152300	
	<b>Mínimo Iteraciones</b>			<b>Mínimo Iteraciones</b>			<b>Mínimo Iteraciones</b>			<b>Mínimo Iteraciones</b>	
	100			100			100			400	

Fuente: Propia.

A continuación, se indican en las figuras 3.49 hasta las 3.52 las gráficas resultantes de la solución óptima con una potencia de 27.7 kW.

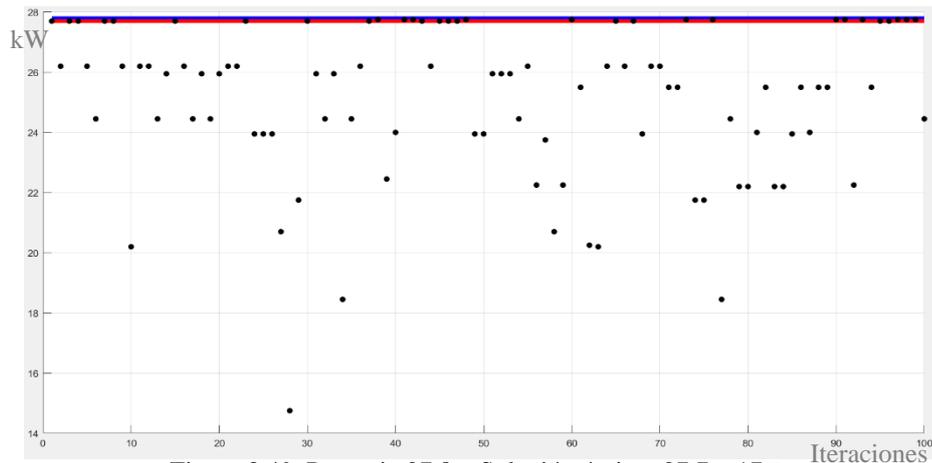


Figura 3.49. Potencia 27.8 – Solución óptima 27.7 – 17%.

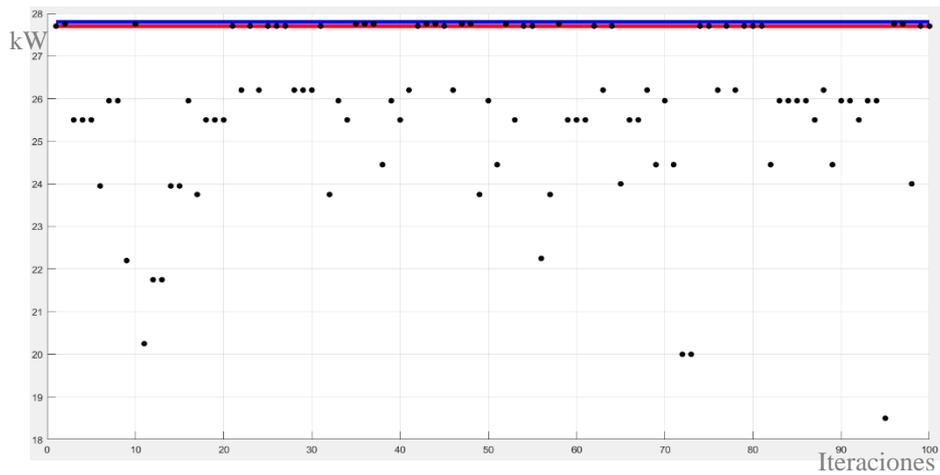


Figura 3.50. Potencia 27.8 – Solución óptima 27.7 – 21%.

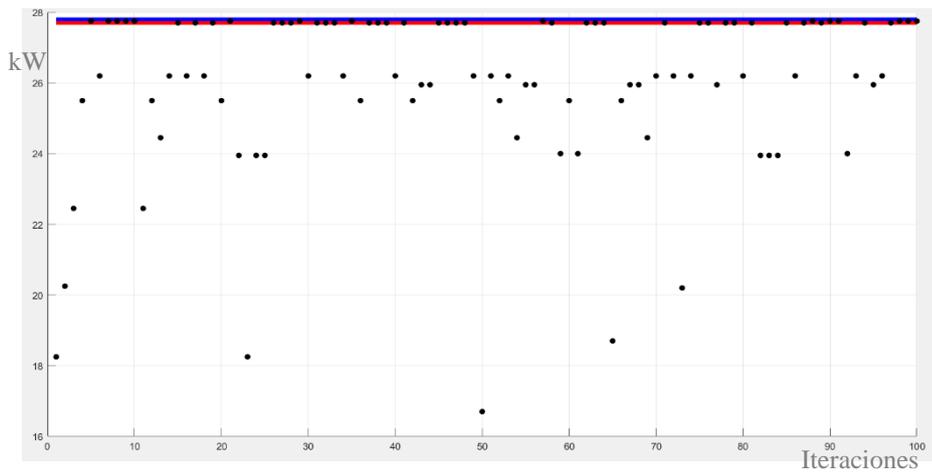


Figura 3.51. Potencia 27.8 – Solución óptima 27.7 – 32%.

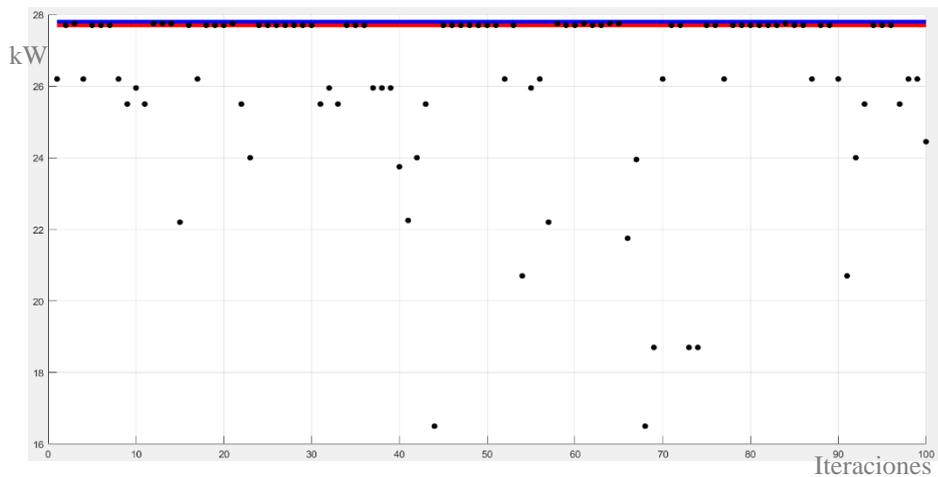


Figura 3.52. Potencia 27.8 – Solución óptima 27.7 – 47%.

**Análisis:** Por consiguiente, para la demanda de 30 kW a las 11h00 la solución óptima es: Potencia: 27.7 kW, Cromosoma: 111011. Lo que quiere decir que van a funcionar los motores M1, M2, M3, M5, M6 y no va a funcionar el motor M4.

**i) Restricción potencia máxima: 22.8 kW**

En la tabla 3.21 se detallan los valores adquiridos en 50 ejecuciones del AG, teniendo en cuenta que la restricción de potencia es obtenida de la tabla 3.4 en específico a las 16h00 que tiene un valor de 25 kW. Además, el criterio de parada es para valores mayores a 10%, 20% ,30% y 33%, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3.21 Resultados 16h00 con una potencia máxima: 25 kW**

10%			20%			30%			33%		
Potencia	Iteraciones	%									
22,25	100	14	22,45	1600	24	22,45	250900	31	22,45	810100	34
22,45	100	22	22,45	3500	23	21,75	399600	32	22,45	1331300	34
21,75	100	13	22,45	600	22	22,45	165900	35	22,45	538000	34
21,75	100	15	22,45	1500	22	22,45	219200	33	22,45	2190400	34
22,45	100	17	22,45	2500	22	22,45	24100	33	22,45	7074100	35
21,75	100	14	22,45	400	21	22,45	248300	31	22,45	2921600	34
22,2	100	17	22,2	800	24	22,45	1554200	31	22,45	370800	36
22,45	100	16	21,75	400	21	22,45	418600	35	22,45	2143500	34
22,2	100	15	22,45	1200	27	22,45	240400	34	22,45	10509500	34
21,75	100	13	22,45	1000	21	22,45	21100	31	22,45	949200	36
22,45	100	15	22,45	3200	21	22,45	313000	34	22,45	1723400	34
22,45	100	18	22,45	1700	23	22,45	145700	31	22,45	268100	34
21,75	100	18	22,45	100	29	22,45	179700	31	22,45	2119200	35
20,2	100	12	22,45	1100	26	22,45	96700	32	22,45	29700	35
21,75	100	17	22,2	800	22	22,45	1581900	31	22,45	872500	34
22,45	100	18	22,45	600	21	22,45	198000	33	22,45	1966100	37
22,2	100	16	22,45	100	21	22,2	825500	31	22,45	4446600	35
22,2	100	13	22,2	2600	21	22,45	331700	33	22,45	2190800	36
22,2	100	19	22,45	5500	21	22,45	55700	33	22,45	202400	34
22,45	100	20	22,45	3800	24	22,45	317200	32	22,45	1398000	34
22,45	100	20	22,45	700	25	22,45	93700	32	22,45	5335800	34
22,2	100	15	22,45	1100	22	22,45	440900	31	22,45	5676900	38
21,75	100	18	21,75	2200	22	22,45	20800	32	22,45	544800	37
22,45	100	18	22,45	800	24	22,45	732400	31	22,45	1766800	34
20,2	100	15	21,75	3800	22	22,45	105000	31	22,45	5557900	34
22,45	100	14	22,45	400	23	22,45	367100	31	22,45	1834700	35
20,45	100	12	22,45	1500	21	22,45	162100	32	22,45	520900	34
21,75	100	20	22,45	800	21	22,45	341200	31	22,45	5164900	34
22,2	100	17	21,75	3400	21	22,45	1184500	33	22,45	3136200	35
21,75	100	15	22,45	900	22	22,45	259700	32	22,45	4204100	34
22,2	100	14	22,45	2000	21	22,45	316400	33	22,45	1688700	35

22,2	100	12	22,45	1500	23	21,75	22000	32	22,45	1430800	36
22,45	100	16	21,75	1500	22	21,75	608200	31	22,45	4723100	34
22,45	100	17	22,2	1800	24	22,45	507400	32	22,45	1482900	35
22,45	100	13	21,75	1400	21	22,45	598700	31	22,45	3229600	34
22,2	100	14	21,75	1700	21	22,2	245100	32	22,45	1890000	35
22,45	100	17	22,45	900	22	22,45	899200	33	22,45	7730600	34
21,75	100	11	22,45	1000	24	22,45	1008700	32	22,45	2737100	35
22,2	100	18	22,45	2300	21	22,45	374900	33	22,45	4759700	34
22,45	100	20	22,2	1500	21	22,45	401400	32	22,45	718800	35
22,45	100	13	22,45	900	21	22,45	116900	31	22,45	179500	35
20,2	100	14	22,2	3200	22	22,45	172100	34	22,45	4160400	36
22,45	100	17	22,45	400	21	22,45	1004900	31	22,45	2357100	35
22,45	100	16	22,45	800	22	22,45	214700	31	22,45	1906900	35
22,45	100	12	21,75	400	25	22,2	296400	31	22,45	715500	34
22,2	100	18	22,45	1300	27	22,45	149800	31	22,45	8938000	35
22,45	100	17	22,45	100	25	22,45	142800	34	22,45	724800	36
21,75	100	15	22,45	5100	26	22,45	240500	32	22,45	1771600	34
22,45	100	16	22,45	300	22	22,45	393000	33	22,45	645300	34
22,45	100	18	22,45	3100	21	22,45	199600	32	22,45	1499800	35

Fuente: Propia.

Se pueden destacar los siguientes valores que se encuentran en la tabla 3.22.

**Tabla 3.22** Resumen resultados 16h00 con una potencia máxima: 25 kW

	Potencia	Moda									
		22,45		22			22,45	36			22,45
	22,2	12		22,2	6		22,2	3		<b>Total</b>	<b>50</b>
	21,75	11		21,75	8		21,75	3			
	20,2	3		<b>Total</b>	<b>50</b>		<b>Total</b>	<b>50</b>			
	22,24	1									
	20,45	1									
	<b>Total</b>	<b>50</b>									
<b>10%</b>	<b>Máximo Porcentaje</b>		<b>20%</b>	<b>Máximo Porcentaje</b>		<b>30%</b>	<b>Máximo Porcentaje</b>		<b>33%</b>	<b>Máximo Porcentaje</b>	
	22			29			35			38	
	<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>			<b>Mínimo Porcentaje</b>	
	11			21			31			34	
	<b>Máximo Iteraciones</b>			<b>Máximo Iteraciones</b>			<b>Máximo Iteraciones</b>			<b>Máximo Iteraciones</b>	
	100			5500			1581900			10509500	
	<b>Mínimo Iteraciones</b>			<b>Mínimo Iteraciones</b>			<b>Mínimo Iteraciones</b>			<b>Mínimo Iteraciones</b>	
	100			100			20800			29700	

Fuente: Propia.

A continuación, se indican en las figuras 3.53 hasta las 3.56 las gráficas resultantes de la solución óptima con una potencia de 22.45 kW.

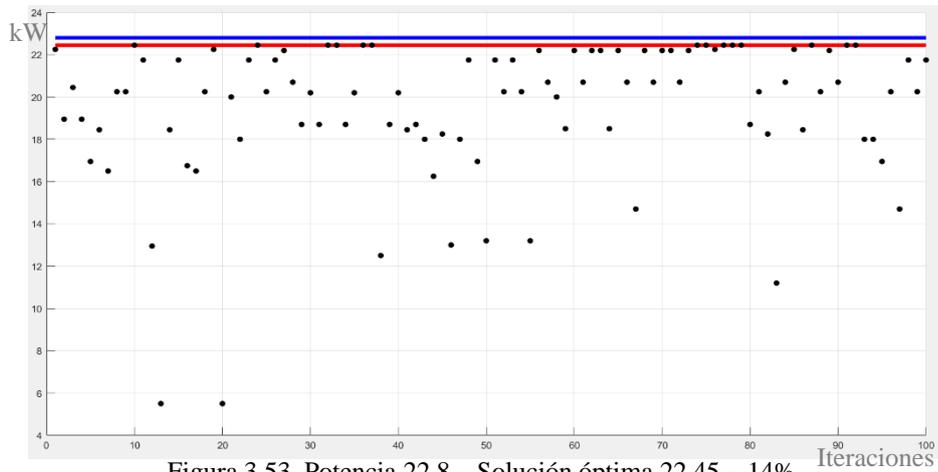


Figura 3.53. Potencia 22.8 – Solución óptima 22.45 – 14%.

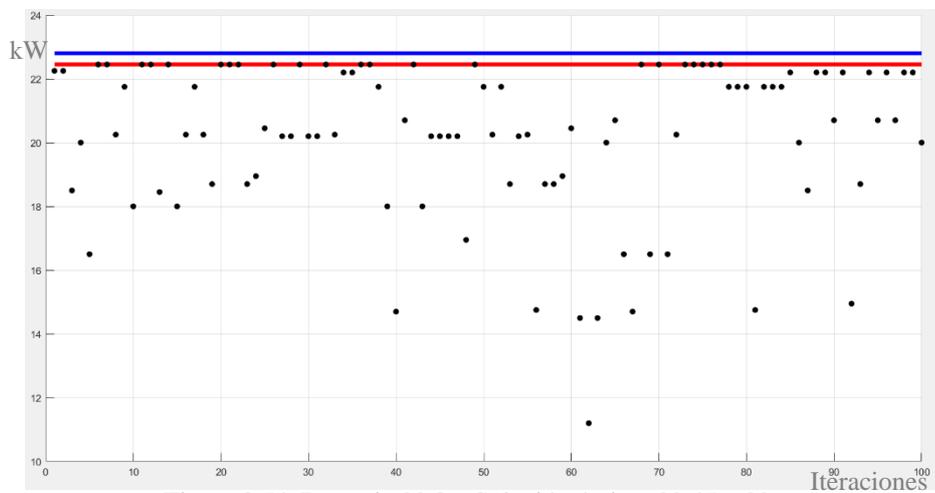


Figura 3.54. Potencia 22.8 – Solución óptima 22.45 – 22%.

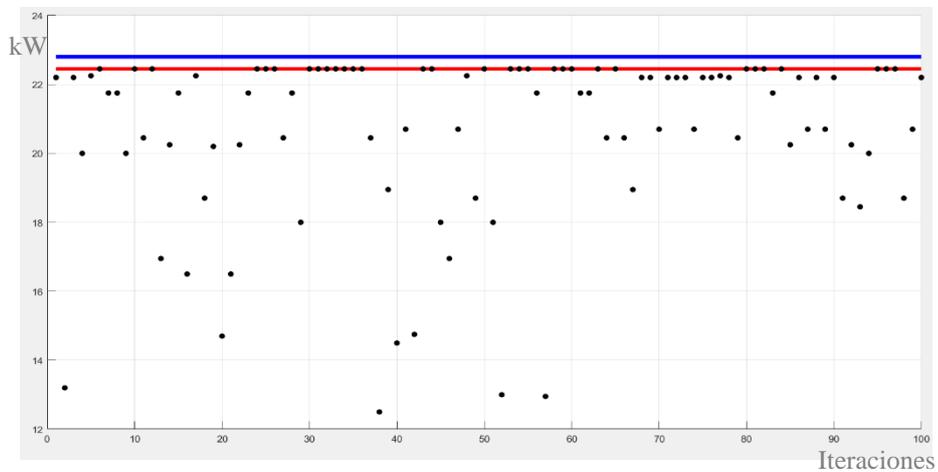


Figura 3.55. Potencia 22.8 – Solución óptima 22.45 – 31%.

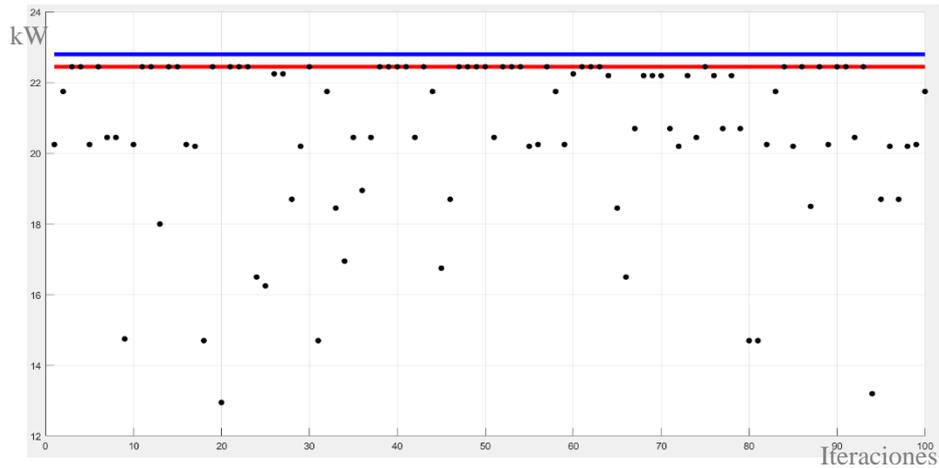


Figura 3.56. Potencia 22.8 – Solución óptima 22.45 – 35%.

**Análisis:** Por consiguiente, para la demanda de 25 kW a las 09h00 la solución óptima es: Potencia: 22.45 kW, Cromosoma:101110. Lo que quiere decir que van a funcionar los motores M1, M3, M4, M5 y no van a funcionar los motores M2 y M6.

- **Solución Final**

En la tabla 3.23 se va a definir el total de horas de funcionamiento de las cargas (motores) luego de la optimización.

**Tabla 3.23** Horas de funcionamiento óptimo de las cargas

	Potencia	M1	M2	M3	M4	M5	M6
08h00	23,95	1	0	1	1	1	1
09h00	22,45	1	0	1	1	1	0
10h00	27,7	1	1	1	0	1	1
11h00	27,7	1	1	1	0	1	1
12h00	23,95	1	0	1	1	1	1
13h00	23,95	1	0	1	1	1	1
14h00	25,95	1	1	0	1	1	1
15h00	27,7	1	1	1	0	1	1
16h00	22,45	1	0	1	1	1	0
<b>Total horas</b>		<b>9</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>7</b>

Fuente: Propia.

### 3.2 Validación técnica-económica de los resultados

Para finalizar se va a comparar la función objetivo (ecuación 2.1), en la tabla 3.24 se usan las horas de funcionamiento del estudio de carga existente, mientras en la tabla 3.25 se toman en cuenta las horas de funcionamiento encontradas en la optimización con el AG.

$$\min\left(\sum_{i=1}^n M_i * h_i\right) \quad (2.1)$$

**Tabla 3.24** Consumo diario censo de carga

Tipo	Potencia (kW)	Hora uso (h)	Consumo diario (kWh/día)
Motor de Inducción (M1)	11	9	99
Motor de Inducción (M2)	7,5	9	67,5
Motor de Inducción (M3)	5,5	7	38,5
Motor de Inducción (M4)	3,75	5	18,75
Motor de Inducción (M5)	2,2	1	2,2
Motor de Inducción (M6)	1,5	1	1,5
<b>Función objetivo</b>			<b>227,45</b>

Fuente: [19].

**Tabla 3.25** Consumo diario luego del AG

Tipo	Potencia (kW)	Hora uso AG(h)	Consumo diario AG (kWh/día)
Motor de Inducción (M1)	11	9	99
Motor de Inducción (M2)	7,5	4	30
Motor de Inducción (M3)	5,5	8	44
Motor de Inducción (M4)	3,75	6	22,5
Motor de Inducción (M5)	2,2	9	19,8
Motor de Inducción (M6)	1,5	7	10,5
<b>Función objetivo</b>			<b>225,8</b>

Fuente: Propia.

En consecuencia, hay una minimización de consumo de 1,65 kWh/día, ayudando de alguna manera al ahorro de la empresa Genim SA. Cabe recalcar que estos procesos se deben llevar de la mano con el departamento de producción para no tener percances al variar el funcionamiento de las cargas (motores).

### **Conclusiones Capítulo III.-**

- Las operaciones del algoritmo genético se realizaron de manera exacta a lo establecido en el marco teórico, esto para evitar fallos y encontrar de manera precisa la solución óptima.
- La codificación de los cromosomas es de tipo binario tomando en cuenta que un 1 representa que el motor está en funcionamiento y un 0 representa que no funciona.
- Para la selección y el remplazo el método elegido es el rango porque se debe tomar en cuenta la aptitud de potencia para que las posibles soluciones cumplan con la restricción.
- En el cruzamiento se escogió el método simple ya que el cromosoma es pequeño y tiene un solo gen, además, para la primera pareja de padres tiene una probabilidad del 67% aproximadamente y para la segunda pareja de padres es del 50%.
- Se determino diferentes porcentajes en los criterios de parada, esto debido a que se debe realizar los procesos con exactitud hasta poder obtener la solución óptima para minimizar el consumo del sistema.

## CONCLUSIONES GENERALES

- En la compilación bibliográfica realizada sobre el sistema fotovoltaico autónomo, se determinó que este es un sistema modular lo que implica que se puede ir creciendo de acuerdo con las necesidades de la empresa y al espacio físico que esta dispone. Además, sobre los algoritmos genéticos se destaca que utilizan ideas de la biología como la población de cromosomas, la selección natural para la selección de pareja, el cruzamiento para la producción de descendencia y la mutación para la diversidad.
- Se establece la ubicación geográfica como un factor determinante para los valores obtenidos. Latacunga tiene una latitud de  $0.9^\circ$  encontrando un ángulo de inclinación del panel fotovoltaico de  $\beta_{opt} = 4.3^\circ$ , optando por un ángulo de  $5^\circ$  para el diseño con una irradiación  $2075 \text{ kWh/m}^2$  al año, al mismo tiempo es una inclinación ideal para la autolimpieza.
- Para diseñar se requiere previamente un estudio de cargas de la empresa, obteniendo un valor de  $324,25 \text{ kWh}$  de consumo al día. La cantidad de paneles fotovoltaicos se determina de dos maneras, la primera optimizando una área de trabajo y la segunda usando el consumo diario con el PSH diario del mes con menor incidencia de irradiancia que es febrero con  $157 \text{ kWh/m}^2$ . Obteniendo  $329 \text{ kWh}$  y  $324.5 \text{ kWh}$  respectivamente, por consiguiente, el diseño del sistema fotovoltaico autónomo satisface las necesidades de la empresa.
- Se realizaron diferentes estudios para el criterio de parada del algoritmo genético, esto debido a que con el porcentaje adecuado se encuentra la solución óptima y con valores muy altos de este porcentaje el algoritmo no converge. Dicho porcentaje está dentro del rango del  $33\%$  y  $45\%$ , esto quiere decir que en 100 iteraciones 33 o 45 veces respectivamente se repite la solución.

- Se logro implementar el algoritmo genético dentro de la herramienta computacional Matlab, realizando los diferente procesos del algoritmo de manera eficiente. En la etapa de producción se obtuvieron los siguientes resultados: 08h00 cromosoma 101111 fenotipo 23.95 kW, 09h00 cromosoma 101110 fenotipo 22.45 kW, 10h00 cromosoma 111011 fenotipo 27.7 kW, 11h00 cromosoma 111011 fenotipo 27.7 kW, 12h00 cromosoma 101111 fenotipo 23.95 kW, 13h00 cromosoma 101111 fenotipo 23.95, 14h00 cromosoma 110111 fenotipo 25.95 kW, 15h00 cromosoma 111011 fenotipo 27.7 y 16h00 cromosoma 101110 fenotipo 22.45 kW. En consecuencia, de la tabla 3.23 se obtuvieron las siguientes horas optimas de funcionamiento de las cargas (motores): motor 1 (M1) va a funcionar 9 horas, motor 2 (M2) va a funcionar 4 horas, motor 3 (M3) va a funcionar 8 horas, motor 4 (M4) va a funcionar 6 horas, motor 5 (M5) va a funcionar 9 horas y motor 6 (M6) va a funcionar 7 horas. En general las soluciones encontradas por el algoritmo genético implementado se consideran buenas ya que se minimiza el consumo diario en 1,65 kWh.

## RECOMENDACIONES

- Revisar los procesos de fabricación de manera conjunta con el área de producción para no tener desfases ni retrasos en productos ofertados por la empresa al implementar el funcionamiento de las cargas del sistema.
- Para encontrar el rendimiento de energía fotovoltaica se debe usar el mes con menor incidencia de irradiancia, para garantizar que ante el peor escenario se pueda abastecer al funcionamiento total de la compañía.
- En la simulación en el bloque de entrada se sugiere usar los valores de irradiación 1kWh/m<sup>2</sup> y temperatura 25 °C, para poder observar los valores óptimos de funcionamiento de panel fotovoltaico en Simulink.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

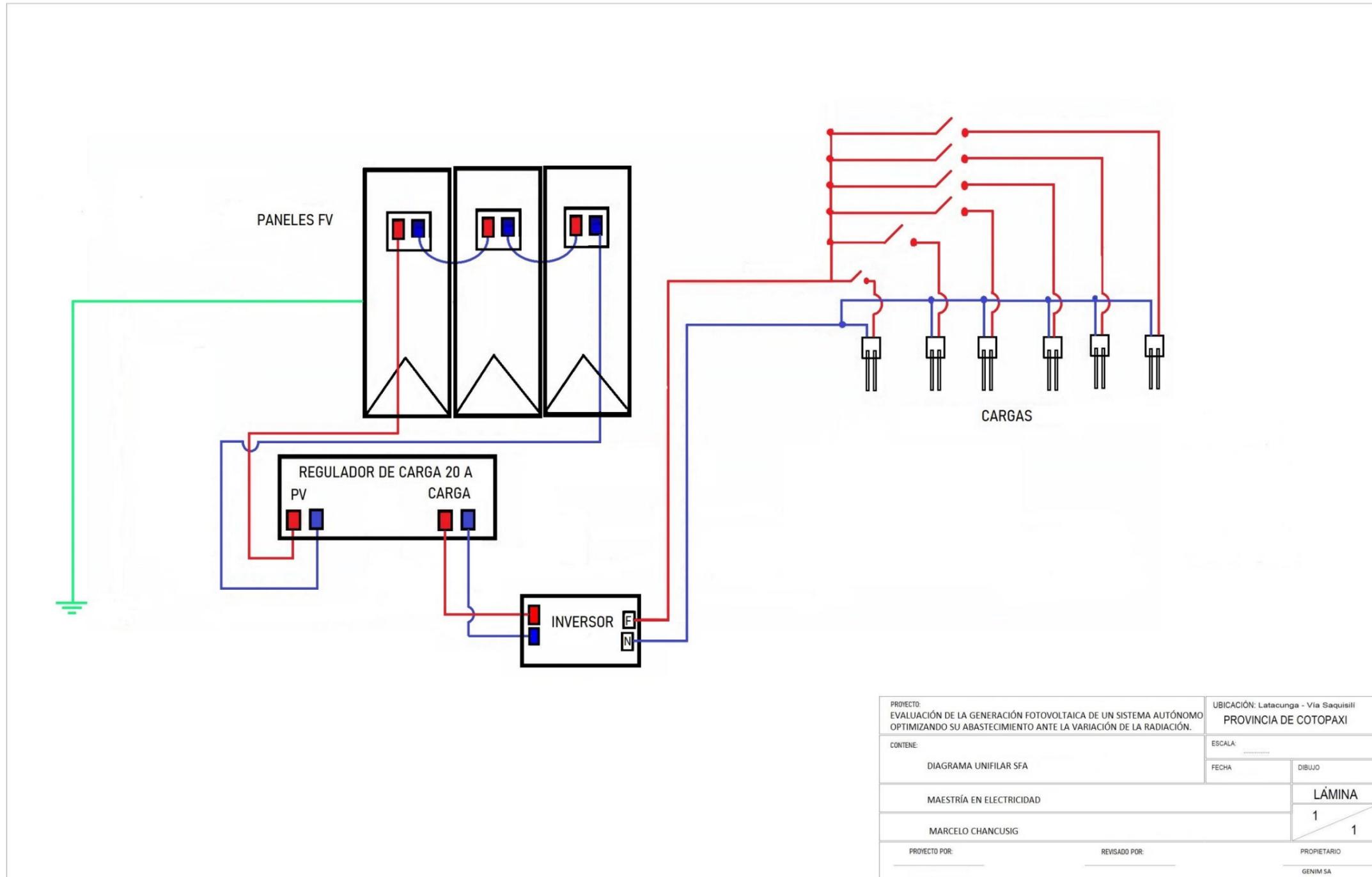
- [1] A. Guerra Hernandez, “Aprendizaje Automático: Algoritmos genéticos.,” pp. 1–13, 2004.
- [2] M. Melián Batista, J. Moreno Pérez, and J. Moreno Vega, “Algoritmos Genéticos. Una visión práctica,” *Números. Rev. Didáctica las Matemáticas*, vol. 71, pp. 29–47, 2009.
- [3] W. P. Arévalo Cordero, “TESIS DOCTORAL OPTIMIZACIÓN EN DIMENSIONAMIENTO Y CONTROL ENERGÉTICO DE SISTEMAS.”
- [4] C. Sánchez, D. Milone, and R. Buitrago, “Optimización de centrales fotovoltaicas mediante algoritmos evolutivos.,” pp. 252–263, 2012.
- [5] S. Marrero-Ramírez, I. González-Palau, and A. A. Legra-Lobaina, “Análisis de la convergencia del método de integración de variables aplicado en la optimización multiobjetivos de la compensación de potencia reactiva en redes de suministro eléctrico,” *DYNA*, vol. 82, no. 190, pp. 160–165, 2015, doi: 10.15446/dyna.v82n190.43697.
- [6] D. Borges Vasconcellos and P. Puch González, “Control de demanda eléctrica aplicando algoritmos genéticos,” *Rev. Chil. Ing.*, vol. 25, no. 3, pp. 389–398, 2017.
- [7] C. Spiegeler and J. I. Cifuentes, “Definicion e Informacion de Energias Renovables,” *Esc. Estud. PostGrado*, vol. 11, no. 2, p. 7, 2014.
- [8] L. Merino, “Las energías renovables en Uruguay,” *Iberdrola*, p. 20, 2012, [Online]. Available: <http://media1.webgarden.es/files/media1:4befe784280d2.pdf.upl/E.renovables.pdf>.

- [9] P. Roldán, “Evaluación De Las Energías Renovables No Convencionales Factibles De Desarrollarse En El Ecuador,” pp. 1–203, 2009, [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1123/1/CD-2606.pdf>.
- [10] M. Cabrera, “Coordinación óptima de protecciones en alimentadores radiales con la presencia de generación distribuida.” 2021.
- [11] O. Perpiñan, “Energía Solar Fotovoltaica,” *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, vol. 8, no. 3, pp. 779–781, 2001, doi: 10.1590/s0104-59702001000400018.
- [12] D. O. Mesias Genovez, “DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL NUEVO CAMPUS DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTENSIÓN LATACUNGA,” 2014.
- [13] R. Hernández, “Análisis de Factibilidad para la Instalación de un Sistema de Energía Limpia Mediante Celdas Fotovoltaicas para la Alimentación Eléctrica del Edificio 4 en el ITSLV,” *Ciateq*, p. 85, 2017, [Online]. Available: <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/97/1/HernandezGallegosRodolfo MMANAV 2017.pdf>.
- [14] SMA, “Coeficiente de rendimiento: Factor de calidad de la instalación fotovoltaica,” pp. 2, 3, 5, 2011, [Online]. Available: <http://files.sma.de/dl/7680/Perfratio-TI-es-11.pdf>.
- [15] “6. El concepto de hora solar pico.” [http://seslab.org/fotovoltaico/6\\_el\\_concepto\\_de\\_hora\\_solar\\_pico.html](http://seslab.org/fotovoltaico/6_el_concepto_de_hora_solar_pico.html) (accessed Mar. 24, 2021).

- [16] M. M. Alonso, “Gestión óptima de potencia reactiva en sistemas eléctricos con generación eólica.,” *Univ. Carlos III Madrid*, p. 237, 2010, [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10016/9187>.
- [17] J. Taipe, “UTILIZACIÓN DE ALGORITMOS GENÉTICOS EN LA OPTIMIZACIÓN DE POTENCIA REACTIVA PARA EL CUMPLIMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA EN LOS PUNTOS DE ENTREGA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO.”
- [18] A. Omar and R. Ean, “Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento,” no. 82, pp. 179–200, 2017.
- [19] D. Palomo and W. Quinatoa, *Universidad técnica de cotopaxi*, vol. 1. 2018.
- [20] L. Orbe, “DISEÑO UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO CON SUPERCAPACITORES PARA UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA QUE ALIMENTE UNA CARGA DE DEMANDA VARIABLE,” *Univ. Técnica Del Norte*, pp. 1–27, 2020, [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10292>.
- [21] W. Astudillo and O. Lema, “Simulación de un Sistema Fotovoltaico Residencial con Regulación de Potencia Inyectada a la Red,” p. 97, 2017.

**ANEXOS**

**Anexo 1. Unifilar SFA.**



## Anexo 2. Características del módulo 1Soltech 1STH-350-WH.

### PV Module 1STH-350-WH Details

**Manufacturer:** 1Soltech  
**Model Number:** 1STH-350-WH  
**Production Status:** unknown  
**CSI Approved:** Yes  
**CSI Model Number:** 1STH-350-WH  
**Description:** 350W Monocrystalline Module

▼ Electrical	
Power at STC (W)	350
Power at PTC (W)	309.1
Bifacial	No
Bifaciality (%)	-
Lower Power Tolerance (%)	-
Upper Power Tolerance (%)	-
Power Density at STC (W / m2)	163.551
Power Density at PTC (W / m2)	144.439
Module Efficiency (%)	-
Cell Efficiency (%)	-
Vmp: Voltage at Max Power (V)	43.0
Imp: Current at Max Power (A)	8.13
Voc: Open Circuit Voltage (V)	51.5
Isc: Short Circuit Current (A)	9.4
Max System Voltage (V)	-
Series Fuse Rating (A)	-
Bypass Diode	-
Nominal Operating Cell Temp (°C)	47.3
Open Circuit Voltage Temp Coefficient (% / °C)	-0.36
Short Circuit Current Temp Coefficient (% / °C)	0.09
Max Power Temp Coefficient (% / °C)	-0.51
▶ Mechanical	
Cell Type	Mono
Connector Type	-
Connector Cable Length (mm)	-
Length (mm)	1614.0
Width (mm)	1327.0
Module area (m2)	2.14
Depth (mm)	-
Weight (kg)	-
BIPV	No
Frame Color	-
Backsheet Color	-

### Anexo 3. Código Matlab controlador MPPT.

```
function D=Pand0 (Vpv, Ipv)
persistent Dprev Pprev Vprev
% Inicializa los valores internos para el voltaje
y la potencia en la
%primera pasada.
if isempty (Dprev)
    Dprev = 0.7;
    Vprev = 190;
    Pprev = 2000;
end
% Inicializar parámetros del algoritmo
deltaD = 125e-6;
% Calcular la potencia de la matriz medida
Ppv = Vpv*Ipv;
% Aumenta o disminuye el ciclo de trabajo según
las condiciones
if (Ppv-Pprev) ~= 0
    if (Ppv-Pprev) > 0
        if (Vpv-Vprev) > 0
            D = Dprev - deltaD;
        else
            D = Dprev + deltaD;
        end
    else
        if (Vpv-Vprev) > 0
            D = Dprev + deltaD;
        else
            D = Dprev - deltaD;
        end
    end
end
else
D = Dprev;
end
% Actualizar valores internos
Dprev = D;
Vprev = Vpv;
Pprev = Ppv;
```

**Anexo 4. Datos irradiancia software Meteonorm inclinación 5°.**

Cálculo de la radiación horaria directa (Bn) kWh/m <sup>2</sup>	149	128	142	138	151	169	162	180	179	156	152	162	1868
Cálculo de la radiación horaria difusa (Dh) kWh/m <sup>2</sup>	75	67	79	72	68	58	67	65	67	76	66	67	827
Cálculo de la radiación horaria en planos inclinados (Gk) kWh/m <sup>2</sup>	178	157	178	164	162	160	164	183	192	187	170	180	2075
Cálculo de la radiación horizontal global horaria (Gh) kWh/m <sup>2</sup>	173	155	179	166	167	167	170	187	193	185	166	173	2081
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año

**Anexo 5. Datos irradiancia software Meteonorm inclinación 10°.**

Cálculo de la radiación horaria directa (Bn) kWh/m <sup>2</sup>	149	128	142	138	151	169	162	180	179	156	152	162	1868
Cálculo de la radiación horaria difusa (Dh) kWh/m <sup>2</sup>	75	67	79	72	68	58	67	65	67	76	66	67	827
Cálculo de la radiación horaria en planos inclinados (Gk) kWh/m <sup>2</sup>	182	159	177	160	155	152	156	177	189	188	174	185	2054
Cálculo de la radiación horizontal global horaria (Gh) kWh/m <sup>2</sup>	173	155	179	166	167	167	170	187	193	185	166	173	2081
Enero													
Febrero													
Marzo													
Abril													
Mayo													
Junio													
Julio													
Agosto													
Septiembre													
Octubre													
Noviembre													
Diciembre													
Año													

## Anexo 6. Operadores AG

```
%Cromosoma
cr1=[];
res_f=[];
c=0;
v=0;
while c<=40
for k=1:100
    c=0;
    res_1=0;
    m1=[11 7.5 5.5 3.75 2.2 1.5];
    %cromosoma
    %k=1
    if k==1
        cr1=rand(6);
        cr1(5,:)= [];
        cr1(5,:)= [];
        for i=1:4
            for j=1:6
                if cr1(i,j)<=0.5
                    cr1(i,j)=0;
                else
                    cr1(i,j)=1;
                end
            end
        end
    else
        %k>1
        cr2=rand(6);
        cr2(5,:)= [];
        cr2(5,:)= [];
        for i=1:4
            for j=1:6
                if cr2(i,j)<=0.5
                    cr2(i,j)=0;
                else
                    cr2(i,j)=1;
                end
            end
        end
        cr1(2,1)= cr2(2,1);
        cr1(2,2)= cr2(2,2);
        cr1(2,3)= cr2(2,3);
        cr1(2,4)= cr2(2,4);
    end
end
end
```

```

        cr1(2,5)= cr2(2,5);
        cr1(2,6)= cr2(2,6);
        cr1(3,1)= cr2(3,1);
        cr1(3,2)= cr2(3,2);
        cr1(3,3)= cr2(3,3);
        cr1(3,4)= cr2(3,4);
        cr1(3,5)= cr2(3,5);
        cr1(3,6)= cr2(3,6);
        cr1(4,1)= cr2(4,1);
        cr1(4,2)= cr2(4,2);
        cr1(4,3)= cr2(4,3);
        cr1(4,4)= cr2(4,4);
        cr1(4,5)= cr2(4,5);
        cr1(4,6)= cr2(4,6);
    end
    %cr1
    %potencia
    for i=1:4
        for j=1:6
            if cr1(i,j)==1
                res_1=res_1+m1(j);
            end
            if j==6
                cr1(i,j+1)=res_1;
                res_1=0;
            end
        end
    end
end

%Fitnes Potencia
tot_pot=0;
for i=1:4
    tot_pot=tot_pot+cr1(i,7);
end
for i=1:4
    cr1(i,8)=(cr1(i,7)/tot_pot)*100;
end

%Seleccion
sel_1=[cr1(1,8) cr1(2,8) cr1(3,8) cr1(4,8)];
min_fit=min(sel_1);
[pos_min]=find(sel_1==min_fit);
max_fit=max(sel_1);
[pos_max]=find(sel_1==max_fit);
cr1(pos_min(1),1)=cr1(pos_max(1),1);

```

```

cr1(pos_min(1),2)=cr1(pos_max(1),2);
cr1(pos_min(1),3)=cr1(pos_max(1),3);
cr1(pos_min(1),4)=cr1(pos_max(1),4);
cr1(pos_min(1),5)=cr1(pos_max(1),5);
cr1(pos_min(1),6)=cr1(pos_max(1),6);
cr1(pos_min(1),7)=cr1(pos_max(1),7);
cr1(pos_min(1),8)=cr1(pos_max(1),8);

%Cruzamiento
cruz_1=[cr1(1,1) cr1(1,2) cr1(1,3) cr1(1,4)
cr1(1,5) cr1(1,6)];
cruz_2=[cr1(2,1) cr1(2,2) cr1(2,3) cr1(2,4)
cr1(2,5) cr1(2,6)];
cruz_3=[cr1(3,1) cr1(3,2) cr1(3,3) cr1(3,4)
cr1(3,5) cr1(3,6)];
cruz_4=[cr1(4,1) cr1(4,2) cr1(4,3) cr1(4,4)
cr1(4,5) cr1(4,6)];
cr1(1,3)=cruz_2(3);
cr1(1,4)=cruz_2(4);
cr1(1,5)=cruz_2(5);
cr1(1,6)=cruz_2(6);
cr1(2,3)=cruz_1(3);
cr1(2,4)=cruz_1(4);
cr1(2,5)=cruz_1(5);
cr1(2,6)=cruz_1(6);
cr1(3,4)=cruz_4(4);
cr1(3,5)=cruz_4(5);
cr1(3,6)=cruz_4(6);
cr1(4,4)=cruz_3(4);
cr1(4,5)=cruz_3(5);
cr1(4,6)=cruz_3(6);

%Mutación
if cr1(2,6)==1
    cr1(2,6)=0;
else
    cr1(2,6)=1;
end
if cr1(3,4)==1
    cr1(3,4)=0;
else
    cr1(3,4)=1;
end
if cr1(4,2)==1
    cr1(4,2)=0;

```

```

else
    cr1(4,2)=1;
end
%potencia luego mutación
for i=1:4
    for j=1:6
        if cr1(i,j)==1
            res_1=res_1+m1(j);
        end
        if j==6
            cr1(i,j+1)=res_1;
            res_1=0;
        end
    end
end
if cr1(1,7)<=max_pot
    ng1(1)= cr1(1,7);
else
    ng1(1)= 0;
end
if cr1(2,7)<=max_pot
    ng1(2)= cr1(2,7);
else
    ng1(2)= 0;
end
if cr1(3,7)<=max_pot
    ng1(3)= cr1(3,7);
else
    ng1(3)= 0;
end
if cr1(4,7)<=max_pot
    ng1(4)= cr1(4,7);
else
    ng1(4)= 0;
end
max_mut=max(ng1);
[p_m1]=find(ng1==max_mut);

%Nueva Generación
vec_ng=[cr1(p_m1(1),1) cr1(p_m1(1),2)
cr1(p_m1(1),3) cr1(p_m1(1),4) cr1(p_m1(1),5)
cr1(p_m1(1),6) cr1(p_m1(1),7)];
cr1=zeros(6);
cr1(5,:)= [];
cr1(5,:)= [];

```