

# Tabla de Contenido

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.    | Introducción y objetivos.....                                 | 1  |
| 1.1   | Introducción .....  | 1  |
| 1.2   | Objetivos .....   | 2  |
| 1.2.1 | Objetivo general .....  | 2  |
| 1.2.2 | Objetivos específicos .....                                   | 2  |
| 2.    | Antecedentes .....  | 3  |
| 2.1   | Potencial de la energía solar .....                           | 3  |
| 2.2   | Celdas Fotovoltaicas .....                                    | 4  |
| 2.2.1 | Celdas de Silicio Monocristalino .....                        | 4  |
| 2.2.2 | Celdas de Silicio Policristalino.....                         | 4  |
| 2.2.3 | Celdas de Películas Delgadas .....                            | 4  |
| 2.2.4 | Modelo eléctrico de la celda.....                             | 5  |
| 2.2.5 | Efecto de la temperatura en las celdas.....                   | 6  |
| 2.3   | Paneles Fotovoltaicos .....                                   | 7  |
| 2.4   | Transferencia de calor .....                                  | 8  |
| 2.4.1 | Conducción .....  | 8  |
| 2.4.2 | Convección .....  | 9  |
| 2.4.3 | Número de Reynolds .....                                      | 9  |
| 2.4.4 | Número de Prandtl .....                                       | 10 |
| 2.4.5 | Flujo turbulento .....  | 10 |
| 2.4.6 | Radiación .....   | 14 |
| 2.4.7 | Factores de forma .....                                       | 15 |
| 2.5   | Disipadores de calor en paneles solares.....                  | 17 |
| 3.    | Metodología.....  | 19 |
| 3.1   | Datos ambientales .....                                       | 19 |
| 3.2   | Diseño del disipador .....                                    | 20 |
| 3.3   | Definición del problema para simulación en ANSYS CFX .....    | 26 |
| 4.    | Resultados y análisis .....                                   | 33 |
| 4.1   | Resultados analíticos .....                                   | 33 |
| 4.2   | Resultados de simulaciones.....                               | 35 |
| 4.3   | Comparación resultados simulación con cálculo analítico ..... | 38 |
| 4.4   | Análisis de costos y eficiencia.....                          | 40 |

|                      |    |
|----------------------|----|
| 5. Conclusiones..... | 43 |
| Bibliografía .....   | 45 |
| Anexo A.....         | 46 |
| Anexo B.....         | 48 |

# Índice de Tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Materiales y sus propiedades ..... | 32 |
|---|----|

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Evolución de la capacidad global solar fotovoltaica instalada 2000-2014 [8].....                        | 3  |
| Figura 2. Circuito equivalente.....   | 5  |
| Figura 3. Curvas I-V y P-V de un sistema fotovoltaico @G = 1000 W/m <sup>2</sup> , T = 0, 25, 50, 75°C. [11]..... | 6  |
| Figura 4. Capas de un panel fotovoltaico.....   | 7  |
| Figura 5. Conducción de calor a través de una muralla. ....   | 8  |
| Figura 6. Descomposición de la velocidad.....   | 11 |
| Figura 7. Subdivisiones de la capa límite turbulenta.....   | 13 |
| Figura 8. Intercambio de radiación en una superficie .....  | 15 |
| Figura 9. Factor de forma asociado al intercambio de radiación entre dos superficies diferenciales .....          | 16 |
| Figura 10. Disipador de calor pasivo para una celda [5] .....   | 17 |
| Figura 11. Enfriamiento pasivo de un diseño lineal [5] .....  | 18 |
| Figura 12. Sistema de enfriamiento activo [5] .....   | 18 |
| Figura 13. Perfil arbitrario de aleta .....   | 20 |
| Figura 14. a) Elemento diferencial b) Flujo energía cubo diferencial .....  | 21 |
| Figura 15. Cuerpos considerados para el intercambio de calor por radiación.....                                   | 23 |
| Figura 16. Volumen de control.....  | 24 |
| Figura 17. Aproximación lineal de la radiación .....  | 25 |
| Figura 18. Modelo CAD del panel estudiado .....   | 26 |
| Figura 19. Porción del panel considerada en el estudio .....  | 27 |
| Figura 20. Dominio y condiciones de borde utilizados en ANSYS CFX .....   | 27 |
| Figura 21. Domino utilizado en ANSYS CFX.....   | 28 |
| Figura 22. Configuración del dominio y condiciones de borde para el caso de placa plana en ANSYS CFX.....         | 29 |
| Figura 23. Discretización de la capa límite.....  | 29 |
| Figura 24. Comparación de resultados analíticos y simulación computacional.....                                   | 30 |
| Figura 25. Malla utilizada .....  | 31 |
| Figura 26. Diagrama de flujo para obtención de q <sub>in</sub> .....  | 34 |
| Figura 27. Calor de entrada en la aleta, obtenido de bibliografía [14] .....                                      | 34 |
| Figura 28. Perfil de la aleta .....   | 35 |
| Figura 29. Perfil de temperatura caso 1 .....   | 36 |
| Figura 30. Perfil de temperatura caso 2 .....   | 36 |
| Figura 31. Perfil de temperatura caso 3 .....   | 37 |
| Figura 32. Perfil de temperatura caso 4.....  | 37 |
| Figura 33. Distribución de temperatura en la superficie del panel en la dirección del flujo .....                 | 38 |
| Figura 34. Eje utilizado para tomar muestras de temperatura en el panel.....                                      | 38 |
| Figura 35. Representación en colores de la variación del coeficiente convectivo en X y en Y.....                  | 39 |
| Figura 36. Eficiencia del panel para 4 casos distintos.....   | 41 |
| Figura 37. Costo efectivo del panel para 4 casos distintos .....  | 41 |
| Figura 38. Cantidad de paneles para 100MW, para 4 casos distintos .....   | 42 |
| Figura 39. Potencia generada del panel para 4 casos distintos.....  | 42 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 40. Modelos utilizados en el dominio del fluido.....               | 46 |
| Figura 41. Modelos utilizados en el dominio sólido. ....                  | 47 |
| Figura 42. Criterios de convergencia y esquemas numéricos utilizados..... | 47 |