

## ÍNDICE

|                    |   |
|--------------------|---|
| INTRODUCCIÓN ..... | 1 |
|--------------------|---|

### Capítulo 1. LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO Y EL MUNDO

|                                                                                                    |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.1 CONSUMO MUNDIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....</b>                                              | <b>4</b>  |
| 1.1.1 Capacidad instalada en algunos países de interés. ....                                       | 6         |
| 1.1.2 Uso de combustibles y fuentes primarias para generación de electricidad en el Mundo. ....    | 7         |
| 1.1.3 Energía Renovables en el Mundo.....                                                          | 8         |
| 1.1.3.1 Energía Eólica .....                                                                       | 10        |
| 1.1.3.2 Energía Geotérmica.....                                                                    | 11        |
| 1.1.3.3 Fuentes Hidroeléctricas .....                                                              | 12        |
| 1.1.4 Calentamiento global y las emisiones asociadas a la generación de electricidad por país..... | 13        |
| <b>1.2 EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL.....</b>                                                      | <b>15</b> |
| 1.2.1 Estructura del Sistema Eléctrico Nacional.....                                               | 15        |
| 1.2.1.1 Regiones operativas del Sistema Eléctrico Nacional.....                                    | 16        |
| 1.2.1.2 Capacidad de transmisión y distribución del Sistema Eléctrico Nacional .....               | 17        |
| 1.2.1.3 Interconexiones con el exterior de energía eléctrica.....                                  | 18        |
| 1.2.2 Capacidad instalada del Sistema Eléctrico Nacional .....                                     | 19        |
| 1.2.3 Generación nacional de energía eléctrica .....                                               | 21        |
| 1.2.4 Generación de electricidad con energías renovables en México.....                            | 23        |
| 1.2.5 Consumo nacional de energía eléctrica .....                                                  | 23        |
| 1.2.6 Prospectiva de la demanda máxima hacia el año 2024 .....                                     | 24        |
| 1.2.7 Expansión del Sistema Eléctrico Nacional .....                                               | 25        |

### Capítulo 2. EL POTENCIAL DE LA RADIACIÓN SOLAR

|                                                        |           |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| <b>2.1 CARACTERIZACIÓN SOLAR.....</b>                  | <b>27</b> |
| 2.1.1 El Sol.....                                      | 27        |
| 2.1.2 Características físicas del Sol.....             | 27        |
| 2.1.3 Composición y estructura del Sol.....            | 28        |
| 2.1.4 Radiación solar .....                            | 29        |
| 2.1.4.1 Espectro solar.....                            | 29        |
| 2.1.4.2 Unidades de medida de la radiación solar ..... | 30        |
| 2.1.4.3 Constante solar .....                          | 31        |
| 2.1.4.4 Irradiancia solar .....                        | 32        |
| 2.1.4.5 Irradiación solar .....                        | 32        |

|                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>2.2 CAUSAS DE LAS VARIACIONES DE LA RADIACIÓN SOLAR EN LA TIERRA .....</b>            | <b>34</b> |
| 2.2.1 Distancia Tierra-Sol .....                                                         | 34        |
| 2.2.2 Declinación solar .....                                                            | 34        |
| 2.2.3 Movimiento de Rotación.....                                                        | 35        |
| 2.2.4 Movimiento de Traslación .....                                                     | 36        |
| 2.2.4.1 Las Estaciones, equinoccios y solsticios .....                                   | 36        |
| 2.2.5 Atenuación atmosférica de la radiación solar .....                                 | 38        |
| 2.2.6 Coordenadas geográficas .....                                                      | 38        |
| 2.2.7 Posicionamiento del Sol respecto a la superficie terrestre .....                   | 39        |
| 2.2.7.1 Relaciones geométricas entre los rayos solares y la superficie terrestre .....   | 40        |
| 2.2.7.2 Tiempo solar .....                                                               | 42        |
| 2.2.7.3 Coordenadas horarias .....                                                       | 43        |
| 2.2.7.4 Coordenadas horizontales .....                                                   | 43        |
| <b>2.3 DATOS DE RADIACIÓN SOLAR EN MÉXICO Y EL MUNDO .....</b>                           | <b>44</b> |
| 2.3.1 Mapa mundial de la radiación solar .....                                           | 44        |
| 2.3.2 Datos de radiación solar en México .....                                           | 46        |
| 2.3.2.1 Insolación Normal Directa diferentes regiones de México .....                    | 47        |
| 2.3.3 Factores geográficos que favorecen al potencial solar de México. ....              | 47        |
| 2.3.4 Variaciones estacionales de la radiación solar en algunas regiones de México ..... | 48        |
| 2.3.5 Sonora, uno de los lugares con mayor potencial solar en México y el Mundo.....     | 51        |
| <b>2.4 APLICACIONES DE LA RADIACIÓN SOLAR .....</b>                                      | <b>52</b> |
| 2.4.1 La energía solar .....                                                             | 52        |
| 2.4.2 Aprovechamiento de la energía solar .....                                          | 52        |
| 2.4.2.1 Energía solar fotovoltaica .....                                                 | 52        |
| 2.4.2.2 Energía solar térmica .....                                                      | 54        |

### **Capítulo 3. CENTRALES SOLARES Y LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.1 CENTRALES ELÉCTRICAS TERMOSOLARES .....</b>                                    | <b>57</b> |
| 3.1.1 Central termoeléctrica solar tipo concentrador Cilíndrico-Parabólico (CCP)..... | 59        |
| 3.1.1.1 Ventajas, inconvenientes y aplicaciones de la tecnología .....                | 61        |
| 3.1.2 Central termoeléctrica solar tipo Torre Central.....                            | 63        |
| 3.1.2.1 Ventajas, inconvenientes y aplicaciones de la tecnología .....                | 65        |
| 3.1.3 Central termoeléctrica solar tipo Disco Parabólico Stirling.....                | 66        |
| 3.1.3.1 Configuración de la tecnología.....                                           | 67        |
| 3.1.3.2 Ventajas, inconvenientes y aplicaciones de la tecnología .....                | 69        |
| 3.1.4 Central termosolar tipo CCP con almacenamiento térmico.....                     | 70        |
| 3.1.4.1 Sistema de almacenamiento térmico .....                                       | 71        |
| 3.1.4.2 Almacenamiento en un único tanque.....                                        | 71        |

|                                                                                             |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.4.3 Almacenamiento en un único tanque con efecto termoclino .....                       | 71        |
| 3.1.4.4 Almacenamiento en dos tanques .....                                                 | 72        |
| 3.1.4.5 Almacenamiento térmico utilizando aceite .....                                      | 72        |
| 3.1.4.6 Almacenamiento térmico utilizando sales fundidas .....                              | 73        |
| 3.1.4.7 Funcionamiento de la central termosolar con almacenamiento en dos tanques .....     | 73        |
| 3.1.4.8 Proyectos de sistemas de almacenamiento en plantas termosolares .....               | 77        |
| 3.1.5 Central termoeléctrica solar tipo CCP híbrida ISCC .....                              | 78        |
| 3.1.5.1 Funcionamiento de la central .....                                                  | 78        |
| 3.1.5.2 Requisitos básicos para la instalación de una ISCC .....                            | 79        |
| 3.1.5.3 Ventajas de una central ISCC .....                                                  | 79        |
| 3.1.6 Centrales eléctricas termosolares en el Mundo .....                                   | 80        |
| <b>3.2 OTROS TIPOS DE CENTRALES ELECTRICAS SOLARES .....</b>                                | <b>81</b> |
| 3.2.1 Central termoeléctrica solar tipo Fresnell .....                                      | 81        |
| 3.2.1.1 Evolución y funcionamiento de la tecnología Fresnell .....                          | 81        |
| 3.2.1.2 Ventajas de utilizar sistemas Fresnell .....                                        | 82        |
| 3.2.2 Central eléctrica fotovoltaica conectada a la red .....                               | 83        |
| 3.2.2.1 Configuración de una central de energía solar fotovoltaica conectada a la red ..... | 84        |
| <b>3.3 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ELECTRICIDAD A BASE DE ENERGÍA SOLAR .....</b>                 | <b>87</b> |
| 3.3.1 Producción mundial de energía solar fotovoltaica. ....                                | 87        |
| 3.3.2 Producción mundial de energía termoeléctrica solar .....                              | 88        |
| 3.3.3 Prospectiva en el uso de la energía solar a nivel mundial .....                       | 89        |
| <b>3.4 EL FUTURO DE LA ENERGÍA SOLAR TERMOELÉCTRICA EN MÉXICO .....</b>                     | <b>90</b> |
| <br><b>capitulo 4. <u>ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA SOLAR</u></b>   |           |
| <b><u>TIPO COLECTORES CILINDRICOS PARABÓLICOS</u></b>                                       |           |
| <b>4.1 GENERALIDADES .....</b>                                                              | <b>92</b> |
| <b>4.2 DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO SELECCIONADO .....</b>                                 | <b>93</b> |
| 4.2.1 Bases de partida .....                                                                | 95        |
| 4.2.2 Condiciones de terreno .....                                                          | 96        |
| 4.2.3 Tecnología de colectores .....                                                        | 96        |
| 4.2.4 Cimentación de los colectores .....                                                   | 97        |
| <b>4.3 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA BASE .....</b>                                      | <b>98</b> |
| 4.3.1 Campo solar .....                                                                     | 98        |
| 4.3.1.1 Tecnología de Colectores Cilíndricos-Parabólicos .....                              | 98        |
| 4.3.1.2 Sistema térmico solar .....                                                         | 99        |
| 4.3.1.3 El reflector cilíndrico-parabólico .....                                            | 100       |

|                                                                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.3.1.4 El tubo absorbedor .....                                           | 101        |
| 4.3.1.5 El sistema de seguimiento del Sol .....                            | 102        |
| 4.3.1.6 La estructura soporte .....                                        | 103        |
| 4.3.2 Sistema de fluido HTF .....                                          | 103        |
| 4.3.3 Aceite térmico HTF .....                                             | 104        |
| 4.3.4 Calderas auxiliares de gas natural .....                             | 104        |
| 4.3.5 Generador de vapor .....                                             | 105        |
| 4.3.6 Turbina de vapor .....                                               | 105        |
| <b>4.4 CRITERIOS DE DISEÑO DE LA PLANTA BASE .....</b>                     | <b>106</b> |
| 4.4.1 Dimensionamiento del campo solar .....                               | 106        |
| 4.4.2 Modos de funcionamiento básicos del campo solar .....                | 107        |
| 4.4.3 Balance energético del campo solar .....                             | 108        |
| 4.4.3.1 Parámetros básicos de la radiación .....                           | 108        |
| 4.4.3.2 Cálculo de rendimiento del campo solar .....                       | 109        |
| 4.4.3.3 Rendimiento de la turbina de vapor .....                           | 113        |
| 4.4.4 Diseño del generador .....                                           | 113        |
| 4.4.5 Hermosillo Solar I .....                                             | 115        |
| 4.4.5.1 Producción eléctrica anual de la planta .....                      | 115        |
| 4.4.5.2 Producción eléctrica con caldera auxiliar .....                    | 116        |
| 4.4.5.3 Producción eléctrica bruta .....                                   | 116        |
| 4.4.5.4 Autoconsumo de la planta y producción eléctrica neta .....         | 119        |
| 4.4.5.5 Factor de planta .....                                             | 120        |
| 4.4.5.6 Resumen de diseño de la central .....                              | 120        |
| 4.4.6 Hermosillo solar II (Con almacenamiento) .....                       | 121        |
| 4.4.6.1 Producción eléctrica bruta y neta .....                            | 123        |
| 4.4.6.2 Factor de planta .....                                             | 124        |
| <b>4.5 SISTEMA ELÉCTRICO DE LA CENTRAL “HERMOSILLO SOLAR I Y II” .....</b> | <b>125</b> |
| 4.5.1 Generalidades .....                                                  | 125        |
| 4.5.2 Transformador de potencia de la central solar .....                  | 125        |
| 4.5.3 Instalación de alumbrado y fuerza .....                              | 126        |
| 4.5.4 Protecciones del generador .....                                     | 127        |
| 4.5.5 Protecciones al transformador de potencia .....                      | 127        |
| 4.5.6 Red de puesta a tierra .....                                         | 128        |
| <b>4.6 ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO .....</b>                            | <b>128</b> |
| 4.6.1 Hermosillo solar I .....                                             | 129        |
| 4.6.1.1 Inversión inicial .....                                            | 132        |
| 4.6.1.2 Evaluación de ingresos y costos .....                              | 132        |
| 4.6.1.3 Costos .....                                                       | 132        |
| 4.6.1.3.1 Costos de combustible auxilia .....                              | 132        |
| 4.6.1.3.2 Costos de operación y mantenimiento .....                        | 134        |
| 4.6.1.3.3 Costos de seguros de operación .....                             | 135        |
| 4.6.1.3.4 Costos de agua .....                                             | 136        |
| 4.6.1.4 Ingresos .....                                                     | 136        |

|                                                                              |         |
|------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 4.6.1.4.1 Precio de venta de electricidad .....                              | 136     |
| 4.6.1.4.2 Ingresos por Bonos de carbono.....                                 | 137     |
| 4.6.2 Hermosillo Solar II .....                                              | 139     |
| 4.6.2.1 Inversión Inicial .....                                              | 139     |
| 4.6.2.2 Costos.....                                                          | 140     |
| 4.6.2.3 Ingresos.....                                                        | 141     |
| 4.6.2.3.1 Ingresos por bonos de carbono.....                                 | 141     |
| 4.6.2.3.2 Ingresos por energía.....                                          | 141     |
| 4.6.3 Índices de rentabilidad.....                                           | 142     |
| 4.6.3.1 Valor Presente Neto (VPN).....                                       | 142     |
| 4.6.3.2 Tasa Interna de Retorno (TIR) .....                                  | 143     |
| 4.6.3.3 Índice Beneficio Costo (B/C).....                                    | 144     |
| 4.6.3.4 Costos Nivelados .....                                               | 145     |
| 4.6.4 Análisis y presentación de los resultados obtenidos .....              | 145     |
| 4.6.4.1 Generalidades .....                                                  | 145     |
| 4.6.4.2 Análisis de Resultados “Hermosillo Solar I” sin almacenamiento ..... | 146     |
| 4.6.4.3 Análisis de Resultados “Hermosillo Solar I” con almacenamiento ..... | 150     |
| <br><b>CONCLUSIONES</b> .....                                                | <br>154 |
| <br><b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....                                                | <br>165 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1: Energías renovables.....                                                                          | 9  |
| Figura 1.2: Efecto invernadero. ....                                                                          | 13 |
| Figura 1.3: Distribución de las regiones operativas del Sistema Eléctrico Nacional. ....                      | 16 |
| Figura 1.4: Red troncal del Sistema Eléctrico Nacional. ....                                                  | 17 |
| Figura 1.5: Mapa de enlaces e interconexiones internacionales. ....                                           | 18 |
| Figura 2.1: Estructura del Sol.....                                                                           | 29 |
| Figura 2.2: Rango de frecuencias y longitud de onda del espectro solar. ....                                  | 30 |
| Figura 2.3: Concepto de constante solar.....                                                                  | 31 |
| Figura 2.4: Declinación solar. ....                                                                           | 35 |
| Figura 2.5: Esquema de las líneas imaginarias del planeta Tierra. ....                                        | 36 |
| Figura 2.6: Movimiento de la tierra respecto al Sol. ....                                                     | 37 |
| Figura 2.7: Representación grafica de las coordenadas geográfica ....                                         | 39 |
| Figura 2.8: Movimiento aparente del sol en el cielo en función de .....                                       | 40 |
| Figura 2.9: Coordenadas de orientación de la superficie, $\alpha$ y $\beta$ .....                             | 41 |
| Figura 2.10: Representación de los ángulos $\alpha$ y $\alpha_s$ .....                                        | 40 |
| Figura 2.11: Mapa mundial de radiación solar. ....                                                            | 45 |
| Figura 2.12: Mapa de irradiación solar, México.....                                                           | 46 |
| Figura 2.13: Mapa que muestra la distribución de la radiación solar mínima.....                               | 50 |
| Figura 2.14: Mapa que muestra la distribución de la radiación solar máxima.....                               | 50 |
| Figura 2.15: Funcionamiento de una celda fotovoltaica. ....                                                   | 53 |
| Figura 2.16: Campo de celdas fotovoltaicas.....                                                               | 54 |
| Figura 3.1: Estructura básica de una central eléctrica termosolar. ....                                       | 57 |
| Figura 3.2: Distintas tecnologías termosolares para la generación de electricidad.....                        | 58 |
| Figura 3.3: Diferentes tecnologías utilizadas centrales termoeléctricas solares. ....                         | 58 |
| Figura 3.4: Esquema de funcionamiento del Colector Cilíndrico-Parabólico. ....                                | 59 |
| Figura 3.5: Esquema General de una central termoeléctrica solar tipo colectores Cilíndricos-Parabólicos. .... | 60 |
| Figura 3.6: Concentrador Cilíndrico-Parabólico. ....                                                          | 61 |
| Figura 3.7: Recorrido solar del colector Cilíndrico-Parabólico.....                                           | 61 |
| Figura 3.8: Central termosolar tipo concentradores Cilíndrico-Parabólico.....                                 | 62 |
| Figura 3.9: Concentrador tipo Torre Central.....                                                              | 63 |
| Figura 3.10: Central termosolar Tipo Concentrador de Torre Central. ....                                      | 63 |
| Figura 3.11: Esquema general de una central termoeléctrica solar tipo torre central. ....                     | 64 |
| Figura 3.12: Concentrador solar de Disco-Stirling.....                                                        | 67 |
| Figura 3.13: Esquema funcional de sistema Disco Parabólico.....                                               | 67 |
| Figura 3.14: Concentrador solar Disco Parabólico. ....                                                        | 68 |
| Figura 3.15: Motor Stirling montado en un concentrador solar de Disco Parabólico. ....                        | 68 |
| Figura 3.16: Central eléctrica termosolar tipo colector disco Stirling. ....                                  | 70 |
| Figura 3.17: Central termosolar con almacenamiento térmico (Andasol, España).....                             | 70 |
| Figura 3.18: Almacenamiento térmico en dos tanques. ....                                                      | 72 |
| Figura 3.19: Esquema básico de una central termosolar tipo CCP con almacenamiento térmico.....                | 74 |
| Figura 3.20: Funcionamiento de la central termosolar tipo CCP con almacenamiento.....                         | 75 |
| Figura 3.22: Esquema de funcionamiento planta ISCC.....                                                       | 79 |
| Figura 3.23: Esquema de funcionamiento de la tecnología Fresnell.....                                         | 81 |

|                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 3.24: Diagrama de una central eléctrica con colectores solares tipo Fresnell. ....                                | 82  |
| Figura 3.25: Vista área de una planta de Fresnell, Murcia, España. ....                                                  | 83  |
| Figura 3.26: Campo solar fotovoltaico. ....                                                                              | 84  |
| Figura 3.27: Esquema de funcionamiento de una central solar fotovoltaica conectada a la red. ....                        | 85  |
| Figura 4.1: Vista satelital de Hermosillo, Sonora. ....                                                                  | 93  |
| Figura 4.2: Red transmisión de 230 kV (línea naranja) para la salida de la energía eléctrica en Hermosillo, Sonora. .... | 95  |
| Figura 4.3: Parámetros climáticos de Hermosillo. ....                                                                    | 96  |
| Figura 4.4: Colector Cilíndrico-Parabólico. ....                                                                         | 99  |
| Figura 4.4: Parámetros geométricos del colector Eurotrough. ....                                                         | 97  |
| Figura 4.5: Funcionamiento de la central térmica-solar. ....                                                             | 99  |
| Figura 4.6: Reflector del CCP's. ....                                                                                    | 100 |
| Figura 4.7: Tubo absorbedor de calor. ....                                                                               | 101 |
| Figura 4.8: Tubo absorbedor. ....                                                                                        | 102 |
| Figura 4.9: Sistema de seguimiento hidráulico. ....                                                                      | 102 |
| Figura 4.10: Filas de colectores en la planta ....                                                                       | 103 |
| Figura 4.11: Colector en la planta Andasol-1. ....                                                                       | 103 |
| Figura 4.12: Ciclo de Vapor. ....                                                                                        | 105 |
| Figura 4.13: Plano del campo solar para el emplazamiento. ....                                                           | 106 |
| Figura 4.14: Geometría del concentrador ....                                                                             | 108 |
| Figura 4.15: Parámetros ópticos del colector Cilíndrico-Parabólico. ....                                                 | 110 |
| Figura 4.16: Esquema del generador. ....                                                                                 | 114 |
| Figura 4.17: Esquema básico de funcionamiento de una central solar con almacenamiento. ....                              | 122 |
| Figura 4.18: Determinación del Precio del combustible ....                                                               | 133 |
| Figura 4.19: Gasoducto de Gas Natural cercano a la ciudad de Hermosillo, Sonora. ....                                    | 133 |

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

|                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfica 1.1: Evolución en el consumo de energía eléctrica en las diferentes regiones del Mundo. ....           | 5   |
| Gráfica 1.2: Pronostico mundial hacia el año 2025 del uso de las principales ....                              | 8   |
| Gráfica 1.3: Participación de las energías renovables a Nivel mundial para la generación de electricidad. .... | 9   |
| Gráfica 1.4: Capacidad geotérmica instalada nivel mundial 2009. ....                                           | 12  |
| Gráfica 1.5: Distribución porcentual de la capacidad Instalada nacional en el año 2008. ....                   | 19  |
| Gráfica 1.6: Participación porcentual de la capacidad instalada nacional por tipo de ....                      | 20  |
| Gráfica 1.7: Generación nacional de energía eléctrica 2008. ....                                               | 21  |
| Gráfica 1.8: Consumo sectorial de energía eléctrica en el 2009. ....                                           | 24  |
| Gráfica 3.1: Evolución de generación de electricidad con energía Solar fotovoltaica en algunos países. ....    | 87  |
| Gráfica 3.2 Evolución de la capacidad mundial para generar electricidad con tecnología termosolar. ....        | 88  |
| Gráfica 4.1: Porcentajes de la inversión inicial "Hermosillo Solar". ....                                      | 130 |
| Gráfica 4.2: Niveles del costo de la energía solar. ....                                                       | 137 |
| Gráfica 4.3: Porcentajes de la inversión inicial "Hermosillo Solar II". ....                                   | 140 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1.1: Capacidad de instalada en países miembros.....                                            | 6   |
| Tabla 1.2: Utilización Mundial de combustibles para generación de electricidad en el 2009. ....      | 7   |
| Tabla 1.3: Capacidad Eólica instalada nivel mundial 2009. ....                                       | 10  |
| Tabla 1.4: Capacidad geotérmica instalada nivel mundial 2009. ....                                   | 11  |
| Tabla 1.5: Principales países productores de gases de efecto invernadero.....                        | 14  |
| Tabla 1.6: Capacidad instalada nacional por tipo de central .....                                    | 20  |
| Tabla 1.7: Participación de las diferentes fuentes energéticas.....                                  | 22  |
| Tabla 1.8: Capacidad instalada y generación de energía eléctrica de energías renovables 2009.....    | 23  |
| Tabla 1.9: Participación de las diferentes fuentes energéticas.....                                  | 22  |
| Tabla 1.10: Pronostico de la demanda máxima para el año 2024. ....                                   | 24  |
| Tabla 1.11: Pronóstico esperado para el consumo nacional de energía eléctrica hacia el 2024. ....    | 25  |
| Tabla 1.12: Evolución de la capacidad instalada por tecnología para el 2024 .....                    | 26  |
| Tabla 2.1: Característica Físicas del Sol. ....                                                      | 27  |
| Tabla 2.2: Composición de la fotosfera solar. ....                                                   | 28  |
| Tabla 2.3: Conversiones útiles para radiación.....                                                   | 31  |
| Tabla 2.4: Coordenadas geográficas de México en el Mundo.....                                        | 48  |
| Tabla 2.5: Radiación solar en lugares selectos de México (datos en kWh/m <sup>2</sup> por día). .... | 49  |
| Tabla 3.1: Experiencias de sistemas de almacenamiento en plantas termosolares. ....                  | 77  |
| Tabla 3.2: Primeras centrales eléctricas termosolares en el Mundo .....                              | 80  |
| Tabla 3.3: Prospectiva para la generación de electricidad con plantas termosolares en México.....    | 90  |
| Tabla 4.1: Radiación normal directa de la zona de emplazamiento.....                                 | 94  |
| Tabla 4.2: Coordenadas geográficas del lugar de emplazamiento.....                                   | 95  |
| Tabla 4.3: Parámetros ópticos del colector Eurotrough.....                                           | 97  |
| Tabla 4.5: Características del Campo Solar. ....                                                     | 107 |
| Tabla 4.6: Producción Eléctrica Mensual Estimada.....                                                | 115 |
| Tabla 4.7: Producción eléctrica anual bruta ideal. ....                                              | 117 |
| Tabla 4.8: Horas de sol mensuales. ....                                                              | 117 |
| Tabla 4.9: Grado de la carga de la planta. ....                                                      | 118 |
| Tabla 4.10: Producción eléctrica anual bruta real. ....                                              | 119 |
| Tabla 4.11: Producción de electricidad anual neta. ....                                              | 119 |
| Tabla 4.12: Datos de generación del parque termosolar “Hermosillo Solar I” .....                     | 121 |
| Tabla 4.13: Distribución de carga.....                                                               | 123 |
| Tabla 4.14: Producción eléctrica anual bruta real.....                                               | 123 |
| Tabla 4.15: Producción de electricidad anual neta. ....                                              | 124 |
| Tabla 4.16: Características del transformador elevador. ....                                         | 126 |
| Tabla 4.17: Inversión inicial del proyecto.....                                                      | 130 |
| Tabla 4.18: Parámetros principales de la central eléctrica. ....                                     | 146 |
| Tabla 4.19: Precio del kWh.....                                                                      | 147 |
| Tabla 4.20: Premisas primer análisis “Hermosillo Solar I” .....                                      | 147 |
| Tabla 4.21: Corrida primer análisis “Hermosillo Solar I” .....                                       | 148 |
| Tabla 4.21: Resultados primer análisis “Hermosillo Solar I”. ....                                    | 147 |
| Tabla 4.22: Premisas segundo análisis “Hermosillo Solar I” .....                                     | 149 |
| Tabla 4.23: Resultados segundo análisis “Hermosillo Solar I” .....                                   | 149 |

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 4.24: Corrida del segundo análisis “Hermosillo Solar I” .....  | 149 |
| Tabla 4.25: Premisas primer análisis “Hermosillo Solar II” .....     | 150 |
| Tabla 4.26: Resultados primer análisis “Hermosillo Solar II” .....   | 150 |
| Tabla 4.27: Corrida del primer análisis “Hermosillo Solar II” .....  | 151 |
| Tabla 4.28: Corrida del segundo análisis “Hermosillo Solar II” ..... | 152 |
| Tabla 4.29: Resultados segundo análisis “Hermosillo Solar II” .....  | 152 |

